



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

CRITÉRIO PARA TRANSPOSIÇÃO DO FENÔMENO DA FALHA DE COMUTAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS E ELETROMECAÑICOS

**RAQUEL ALVES FERREIRA (1); GUILHERME SARCINELLI LUZ (1); MATHEUS SOARES DA SILVA (1);
ARJAN CARVALHO VINHAES (1); LEANDRO PENNA (1); LEONARDO PINTO DE ALMEIDA (2)
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO ONS (1); CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA
ELETRICA CEPEL (2)**

RESUMO

A configuração *Multi-Infeed* torna-se determinante para a estabilidade eletromecânica do SIN devido ao fenômeno da falha de comutação (FC). Assim, os estudos de definição de limites da transmissão, calculados pelo programa Anatem, também são impactados. O trabalho desenvolvido apresenta um critério para transpor, para o programa Anatem, os resultados obtidos com o programa PSCAD para simulações do sistema que ocorram FC, visto que, este último contém a modelagem trifásica das pontes conversoras e as restrições impostas aos tiristores, representando de forma mais fidedigna a ocorrência da FC e o seu tempo de duração.

PALAVRAS-CHAVE

Elos de corrente contínua, falha de comutação, configuração *Multi-Infeed*, Anatem, PSCAD

1.0 - INTRODUÇÃO

A configuração atual do Sistema Interligado Nacional (SIN), com múltiplos elos de corrente contínua (CCAT) operando em configuração *Multi-Infeed*, traz maiores desafios para o seu planejamento e sua operação elétrica.

No caso do SIN, encontram-se atualmente em operação três pares de bipolos, com a existência de quatro subestações inversoras interligadas em uma mesma área, na região Sudeste. A ocorrência de falha de comutação em um dos inversores provoca uma variação abrupta da tensão e do ângulo nesta subestação que acaba por influenciar os demais inversores podendo, também, provocar falhas de comutação nos mesmos. Esse fenômeno determina uma interrupção temporária da potência ativa transmitida, o que agrava a estabilidade do sistema elétrico, principalmente quando há a interrupção momentânea da soma das potências injetadas pelos inversores.

Os estudos de transitórios eletromecânicos (TEMEC) permitem avaliar a estabilidade do SIN perante contingências e, com isso, determinar as restrições operativas que delimitam a região de operação com um nível de segurança aceitável.

O programa Anatem é atualmente a referência oficial para a representação dos modelos de todos os equipamentos e circuitos que fazem parte do SIN e, conseqüentemente, para a definição dos limites operativos através dos estudos de estabilidade eletromecânica **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Entretanto, a falha de comutação somente pode ser avaliada através da representação trifásica do sistema CCAT, e suas redes CA correspondentes, em um programa de transitórios eletromagnéticos (TEMAG) contendo a modelagem da ponte conversora onde é possível representar a restrição da tensão de polarização reversa em seus tiristores.

Por consequência, as empresas responsáveis pelos empreendimentos associados às estações conversoras dos elos CCAT, desenvolvem os estudos de desempenho dinâmico utilizando-se de modelos desenvolvidos no programa PSCAD (2), em razão da sua versatilidade em modelos na área de dispositivos baseados em eletrônica de potência. Deste modo, os modelos para simulação off-line disponíveis neste programa são os mais detalhados em relação aos modelos disponíveis no programa Anatem. Além disso, é exigida uma validação destes modelos do PSCAD, utilizando-se dos cubículos reais de controle através de simulações em tempo real (on-line) no RTDS. Dessa forma, é possível validar o desempenho dos referidos modelos em relação ao comportamento dos elos CCAT reais.

Porém, um programa de TEMAG possui limitações tanto para a representação de toda a rede CA, quanto dos inúmeros modelos relevantes para a análise da estabilidade eletromecânica, exigindo uma representação equivalente do sistema. Para isso, o sistema equivalente utilizado no programa de TEMAG precisa representar adequadamente o impacto nas amplitudes e ângulos das tensões terminais dos conversores dos elos CCAT. Considerando-se que a falha de comutação acontece em um tempo relativamente curto, uma alternativa é analisar

seu tempo de duração separadamente em um programa de TEMAG e, posteriormente, representar o seu impacto no programa de TEMEC.

Dessa forma, este artigo se propôs a criar um critério que transponha o efeito da falha de comutação do programa TEMAG para o programa de TEMEC, propondo e analisando diferentes critérios que permitissem ajustar as curvas de potência CC no inversor, como por exemplo o tempo de falha de comutação (TFC) que contabiliza o tempo entre o início da falha, quando ocorre uma variação abrupta entre a corrente contínua e as correntes alternadas de cada fase, e o instante em que os pulsos de disparo voltam ao sincronismo permitindo às válvulas a recuperação do processo adequado de inversão.

Ao final deste trabalho foi definido o critério que se denominou como Tempo de Tensão CC do inversor abaixo de Zero (TVZ), criado a partir deste estudo.

Além da criação deste critério, foi proposta uma nova modelagem para a linha CC representada no programa Anarede, onde seu arquivo histórico, contendo o ponto convergido de fluxo de potência, é lido pelo programa Anatem. Foi observado que a representação da capacitância da linha CC e a representação do reator de alisamento separadamente da linha CC, trouxeram impactos significativos para a aproximação das curvas entre Anatem e PSCAD.

2.0 - OBJETIVO E METODOLOGIA

O trabalho teve como objetivo a criação de um critério para transpor o impacto da falha de comutação, diante de faltas no sistema inversor, simulada em uma ferramenta com modelagem trifásica da rede (PSCAD), que por sua vez possui uma representação mais fidedigna do fenômeno, para uma ferramenta de modelagem monofásica do sistema (Anatem).

Após identificar o critério TVZ e a nova modelagem da linha CC como sendo a melhor maneira de transpor o referido fenômeno do programa PSCAD para o programa Anatem, o trabalho se direcionou para validar o critério e a modelagem, conforme a metodologia descrita nessa seção.

Foram representados em ambos os programas, PSCAD e Anatem, o mesmo controle básico de bipolo CCAT e as redes CA conectadas no retificador e no inversor do bipolo CCAT, de forma que houvesse a maior similaridade possível entre as ferramentas de representação trifásica e monofásica.

Como a Área de Interrupção de Potência (AIP) de um bipolo é o parâmetro mais decisivo para a análise da estabilidade do SIN, em função de qualquer contingência que provoque a ocorrência da falha de comutação no mesmo, a comparação do perfil da potência em ambos os programas é o critério mais adequado para reproduzir no programa Anatem o mesmo impacto observado no programa PSCAD. Esta área é formada por dois componentes principais: o tempo de interrupção da potência (TIP) e a taxa de subida da potência até alcançar novamente o seu valor de regime.

Na Figura 1 são ilustrados os momentos em que ocorrem os referidos componentes que formam a AIP, numerados como um (1) correspondente ao TIP, dois (2) referente ao momento em que há a taxa de subida da potência e três (3) quando a potência alcança seu valor de regime permanente.

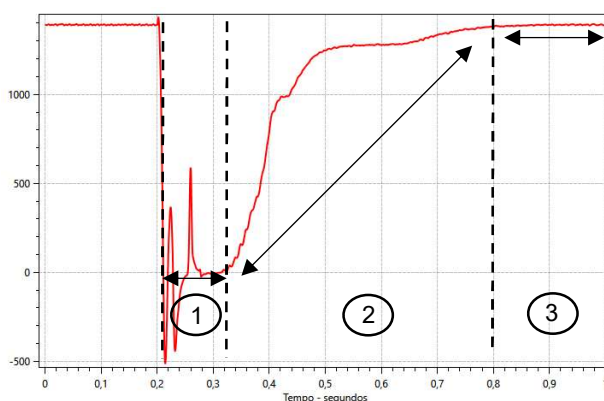


Figura 1 –Comportamento da potência (MW) na ocorrência de uma falha de comutação

O tempo de falha de comutação do programa PSCAD foi considerado adequadamente transposto para o programa Anatem quando as potências injetadas pelo inversor em ambos os programas são compatíveis. Contudo, tendo em vista as diferenças de modelagem trifásica senoidal (PSCAD) e monofásica RMS (Anatem), é aceitável pequenas diferenças das respostas quando comparadas ponto a ponto.

Além disso, é importante considerar que a diferença de representação matemática de um elo CCAT no programa Anatem não permite a reprodução de fenômenos intrínsecos ao modelo detalhado do PSCAD, como por exemplo a

dinâmica de reflexão de onda na linha CC, consequente da interrupção abrupta da potência, bem como a recuperação detalhada das tensões e correntes CC, no retificador e inversor, sendo, portanto, aproximada a comparação da potência injetada pelo inversor na rede CA.

O foco do critério TVZ é o de definir os instantes para aplicação e remoção da falha de comutação pelos comandos APFC (Aplica Falha de Comutação) e RMFC (Remove Falha de comutação), recurso que o programa Anatem possui para que esses instantes possam ser definidos pelo usuário, de modo a melhor reproduzir o mesmo TIP durante a falha de comutação que o programa PSCAD identificou, bem como identificar o que seja necessário para reproduzir a mesma taxa de subida da potência.

Desse modo, os seguintes sistemas foram considerados para esta avaliação, tomando como base a comparação da potência no inversor decorrente de faltas no sistema CA:

- 1) Sistema equivalente estático simples: formado por um bipolo alimentado em cada lado por uma barra infinita através de impedância série.
- 2) Sistema estático de 14 barras: formado por um bipolo; o sistema retificador possui duas fontes estáticas com dois transformadores e quatro linhas; o sistema inversor possui três fontes estáticas com três transformadores e seis linhas.
- 3) Sistema dinâmico de 14 barras: formado por um bipolo e os mesmos sistemas no retificador e inversor do caso anterior, exceto que no lugar das fontes estáticas existem máquinas síncronas com reguladores de tensão; no retificador um dos geradores possui um PSS e no inversor dois geradores possuem PSS de maneira a estabilizar os modos locais.
- 4) Sistema *Multi-Infeed*: esse sistema é representado por um equivalente do SIN, formado por seis bipolos de modo que cada um deles refletissem as potências CC, os transformadores conversores e os filtros CA dos atualmente existentes nos bipolos reais. Os controles foram mantidos conforme será descrito no item subsequente, de modo que a representação entre os programas PSCAD e Anatem se mantivesse coerente. Já na rede CA foram mantidas 45 subestações incluindo os síncronos de Ibiúna, Araraquara e Terminal Rio, sendo o restante do sistema representado através de impedâncias de transferências e 11 fontes equivalentes.

3.0 - MODELAGEM DOS CONTROLES

Para este trabalho foram utilizados os controles dos estudos de planejamento dos bipolos do projeto Madeira executados pela EPE (3), disponíveis em arquivo PSCAD.

Os controles dos bipolos CCAT utilizados pela EPE no programa PSCAD foram transcritos para a linguagem em CDU do programa Anatem, de maneira que tivessem o mesmo comportamento em ambos os programas. Em seguida foram validados cada um dos respectivos blocos de controle, quais sejam: o CCA (*Current Control Amplifier*) e o VDCOL (*Voltage Dependant Current Order Limiter*) do retificador e inversor, bem como os limitadores ALFAMIN no retificador e ALFAMAX no inversor.

Para isso, foi utilizada uma função do Anatem (SINARQ) que recebe como entrada um arquivo de sinal externo. Desse modo, esta função tornou possível comparar as saídas de ambos os programas, com os mesmos controles representados, dado um mesmo sinal de entrada, para compatibilizar as saídas dos blocos de controles construídas em CDU a partir de uma estrutura previamente pronta dos controles modelados para o PSCAD. Os controles foram testados tanto em malha aberta, quanto após o fechamento da malha de controle.

Os gráficos contidos na Figura 2, Figura 3 e Figura 4 mostram os resultados dos blocos de controle, utilizando a função SINARQ do Anatem, com a utilização de um sinal de entrada correspondente a um evento de uma queda de tensão no inversor, de 1,05 pu para 0,6 pu durante 1,0 segundo, feito no PSCAD. Como pode ser observado na comparação entre as saídas de ambos os programas, todos os blocos produzem exatamente os mesmos resultados.

Tabela 1 - Legenda de cor

Legenda	
	PSCAD
	Anatem

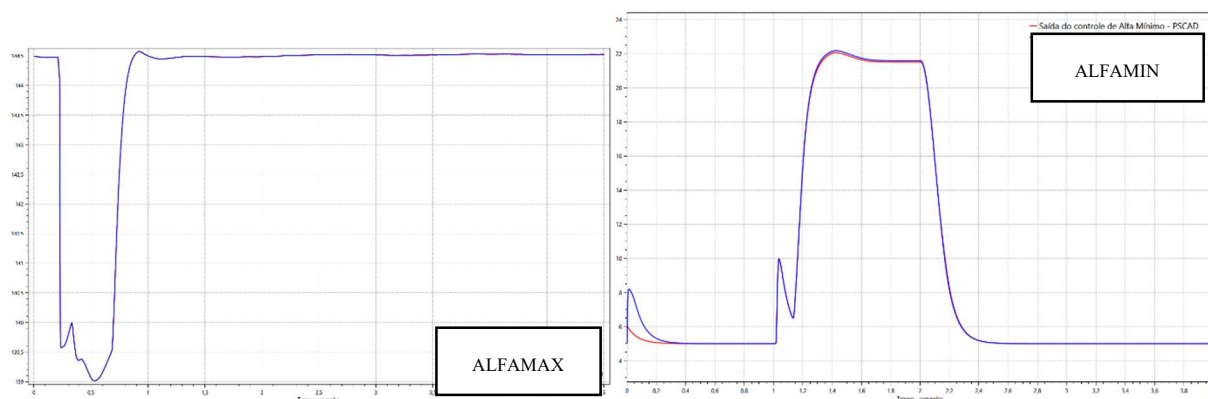


Figura 2 – Saída dos blocos ALFAMAX e ALFAMIN em graus – PSCAD e Anatem

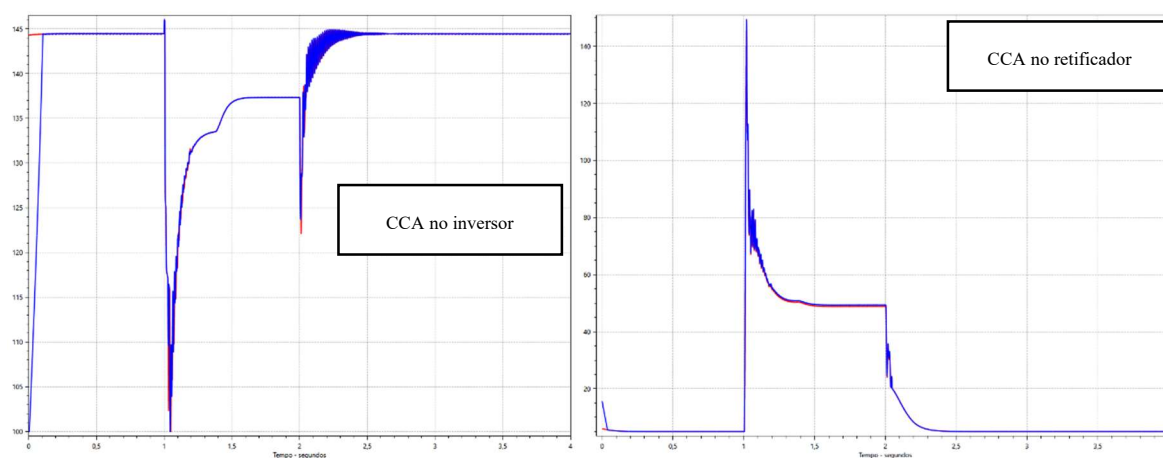


Figura 3 - Saída dos blocos CCA em graus – PSCAD e Anatem

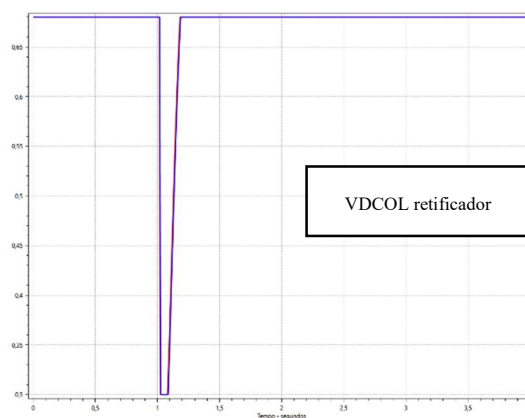


Figura 4 - Saída do bloco VDCOL em pu de corrente – PSCAD e Anatem

É relevante observar que, mesmo com os controles igualmente modelados tanto do retificador como do inversor, em uma simulação realizada em Anatem, as entradas de tensões CA da barra conversora, tensões no lado CC e, consequentemente, a ordem de corrente definida pelo VDCOL, não são reproduzidas da mesma forma que o programa PSCAD, fazendo com que surjam diferenças na definição dos ângulos de disparo em cada conversor e, consequentemente, nas demais variáveis que decorrem do mesmo. Além disso, o processo da conversão destes ângulos em pulsos associados às válvulas em correspondência às tensões instantâneas de cada fase da rede CA através do PLL (*Phase-Locked Loop*), não existe no programa Anatem.

Um outro fator que impõe diferenças associadas à modelagem de um bipolo no programa Anatem, corresponde à modelagem da linha e à representação do processo de falha de comutação. O tempo de trânsito da onda associado ao impacto do evento em um dos lados do bipolo não é reproduzido no programa Anatem já que o modelo da linha é representado de forma simplificada. Adicionalmente, durante a ocorrência de uma falha de comutação, este programa impõe um valor zero para a tensão CC no lado inversor, e isso não reproduz as oscilações das tensões

em ambos os lados que ocorrem no programa de transitórios eletromagnéticos como o PSCAD. Estes fatores poderão ser visualizados nos resultados que serão apresentados nas próximas seções.

4.0 - RESULTADOS

O sistema equivalente estático, por ser o sistema mais simples, comparado aos demais descritos no item 2.0 - foi utilizado como base para definição de um critério que pudesse refletir os resultados obtidos com o programa PSCAD no programa Anatem. Para esse sistema serão mostrados resultados de aplicação de curto-circuito trifásico e monofásico. O critério TVZ adotado a partir do referido sistema foi validado pelos demais sistemas, a fim de consolidá-lo. Para os demais sistemas, serão apresentados apenas os resultados da aplicação do curto-circuito monofásico, dado que é o foco principal desta análise, tendo em vista a sua utilização na definição dos limites operativos.

Como no programa Anatem não há a representação da linha CC pelo modelo Bergeron e é utilizado o modelo de linha "T", foi utilizada a linha CC seccionada em diversas seções de circuitos em "T" com a representação da capacitância. Essa representação permitiu uma melhor reprodução da dinâmica que ocorre no lado CC de cada bipolo diante dos transitórios de falta no inversor e falhas de comutação, influenciando a sua recuperação de modo a aproximar melhor as respostas de potência observadas no programa PSCAD. Ademais, a representação da indutância do reator de alisamento de forma separada da indutância total da linha CC também permite que valores de tensão CC no Anatem tenham um comportamento mais próximo aos encontrados pelo PSCAD.

4.1 Comparação dos critérios TFC e TVZ

O programa Anatem considera nula a tensão CC no inversor durante a ocorrência de uma falha de comutação e, conseqüentemente, a potência CC a partir deste instante. O valor de TVZ inicia quando a tensão CC no inversor é igual ou inferior a zero e termina quando passa a ser positiva definitivamente. Este valor reproduz com mais fidelidade o tempo de interrupção da potência quando comparado ao TFC. Além disso, é um critério que possui a vantagem adicional de ser bem mais simples de se medir do que o TFC, o que possibilitou a automatização de medição do TVZ medido no PSCAD para utilização no Anatem.

A Figura 5 ilustra as diferenças dos tempos TFC, TVZ e TIP. Na Figura 6 é apresentada apenas a interface da lógica implementada para automatização do processo de medição do TVZ.

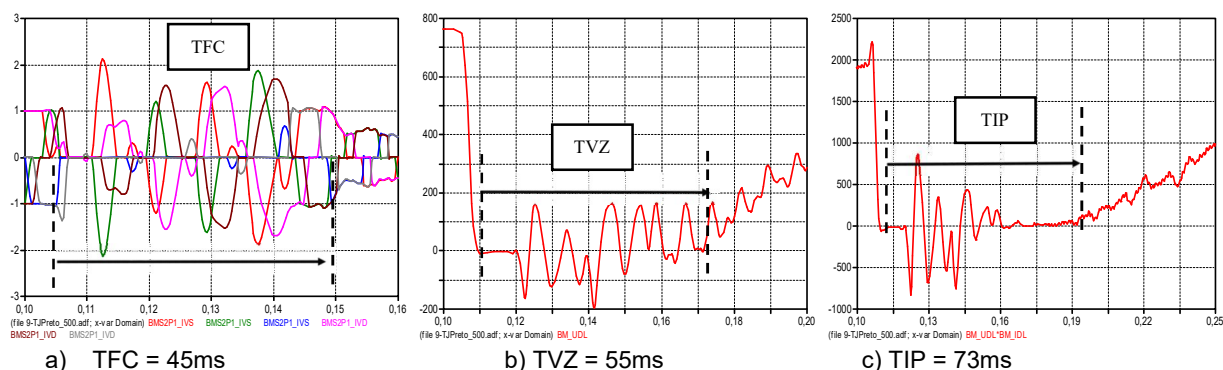


Figura 5 – Comparação dos tempos TFC, TVZ e TIP

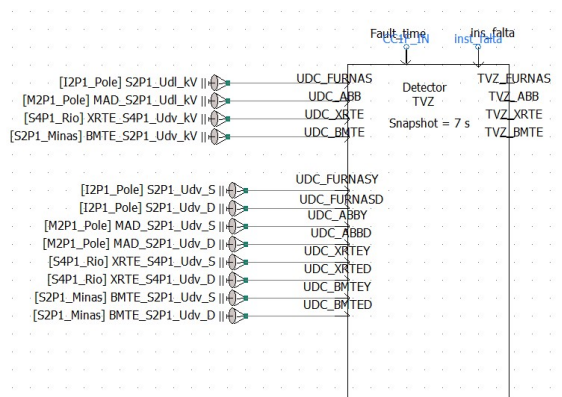


Figura 6 – Automatização da detecção do TVZ no PSCAD

4.2 Sistema equivalente estático simples

A Figura 7 e Figura 8 apresentam os resultados de ambos os programas, PSCAD e Anatem, para aplicação de um curto-circuito trifásico na estação conversora do lado inversor.

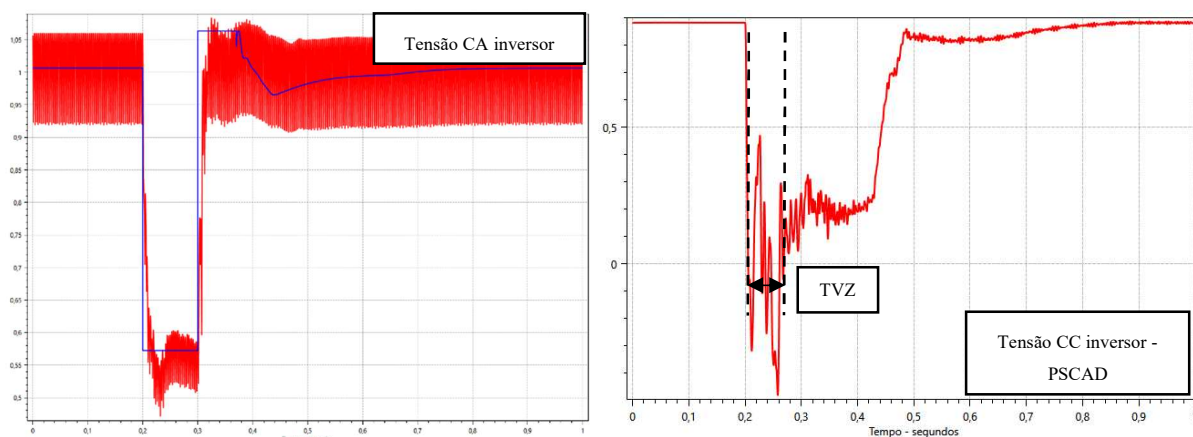


Figura 7 - Valor RMS da tensão CA no inversor e tensão CC no inversor – pu de tensão

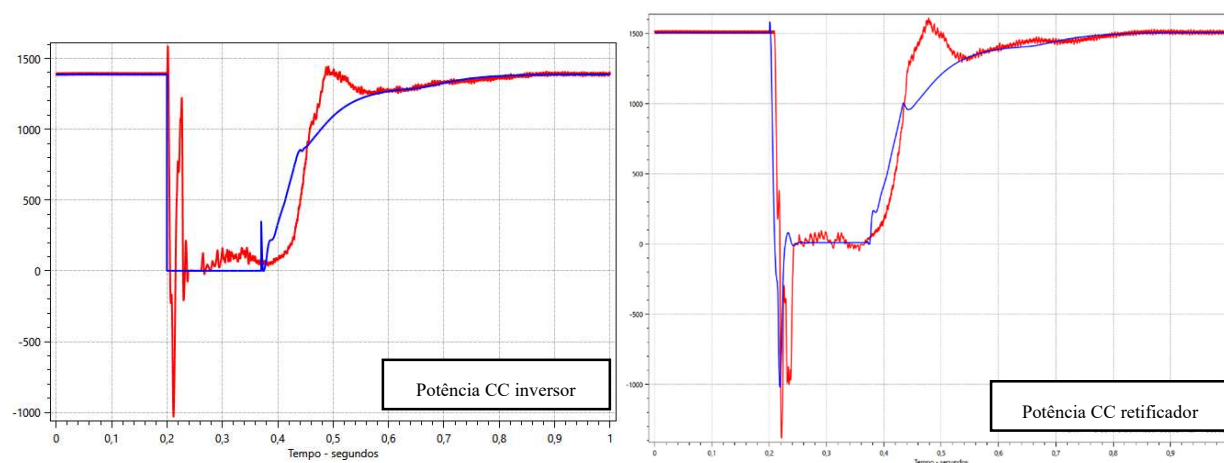


Figura 8 – Potência CC (MW) no inversor e retificador

A Figura 9 apresenta os resultados de tensão CA e CC no inversor de ambos os programas, PSCAD e Anatem, para aplicação de um curto-circuito monofásico na estação conversora do lado inversor.

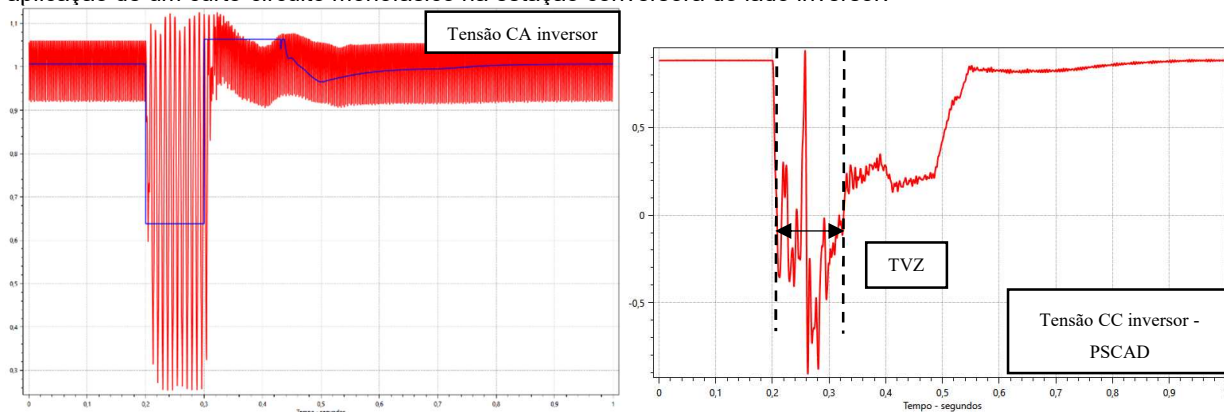


Figura 9 - Valor RMS da tensão CA no inversor e tensão CC no inversor – pu de tensão

A Figura 10 apresenta os resultados da potência CC no inversor para as diferentes representações da linha CC para o programa Anatem, comparado com a resposta do PSCAD. Pode-se observar a maior aproximação das curvas

quando a linha CC é modelada em múltiplas seções de “T”, juntamente com a representação da indutância do reator de alisamento representado separadamente da linha CC (cor em azul no gráfico).

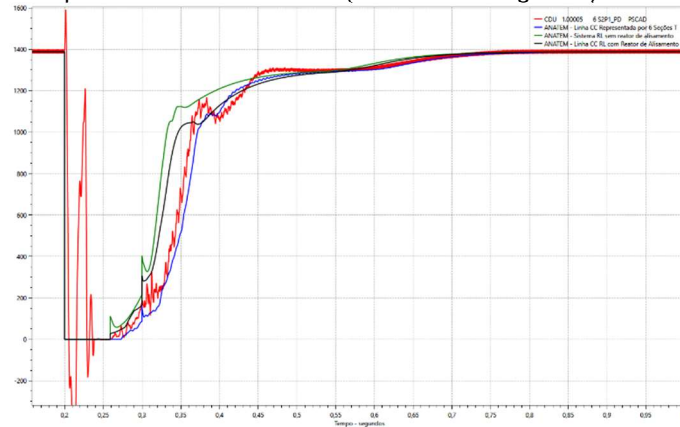


Figura 10 - Potência CC no (MW) inversor para diferentes modelagens da linha CC

4.3 Sistema estático e dinâmico de 14 barras

Esse sistema benchmark foi utilizado nos trabalhos publicados em (1) e (5). No caso do sistema estático, foram eliminadas as dinâmicas, ou seja, as máquinas foram substituídas por fontes estáticas. A Figura 11 apresenta os resultados da potência CC para os dois sistemas, estático e dinâmico, medida pelo lado do inversor, de ambos os programas, PSCAD e Anatem, considerando, também, a diferença de modelagem da linha e reator, original e proposta, para aplicação de um curto-circuito monofásico na estação conversora do lado inversor.

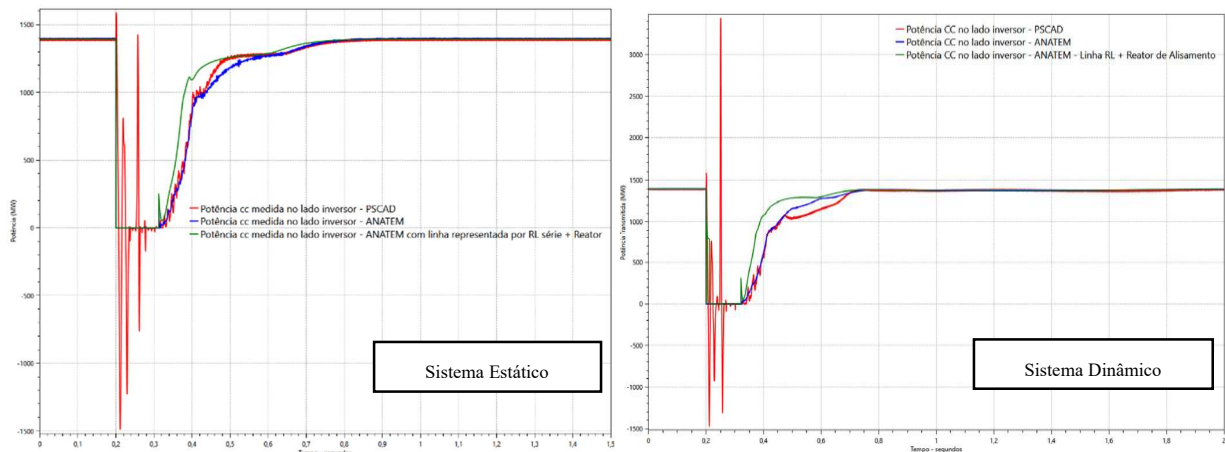


Figura 11 - Potência CC (MW) no inversor para diferentes modelagens da linha CC

Outras faltas também foram avaliadas a fim de complementar a avaliação do critério estabelecido e do modelo de linha CC proposto para verificação de sua eficiência. A Tabela 2 apresenta as demais faltas aplicadas e a síntese dos resultados através do cálculo da área de interrupção de potência (AIP), calculada pela integração numérica, utilizando o método trapezoidal, traduzida em unidade de energia (MJ). Conforme apresentado, a similaridade entre os resultados do PSCAD e do Anatem pode ser considerada como um indicativo de forma a consolidar o critério TVZ proposto. A tabela também apresenta o ganho de precisão ao se utilizar a modelagem da linha CC dividida em seções de “T”. Além disso, considerando-se as alterações propostas na representação do bipolo, os resultados do Anatem apontam um valor de AIP mais próximo em relação ao do PSCAD e, em sua maioria, levemente superior resultando em resultados mais conservativos, como desejável.

Tabela 2 – Cálculo da área de interrupção de potência

Cálculo da AIP			
Sistema Estático	PSCAD	ANATEM	Erro (%)
Falta monofásico no inversor – Linha CC e reator como propostos	311,2 MJ	333,1 MJ	+7,0
Falta monofásico no inversor – Linha CC e reator como original	311,2 MJ	276,3 MJ	-11,2

Sistema Dinâmico	PSCAD	ANATEM	Erro (%)
Falta monofásico no inversor – Linha CC e reator como propostos.	366,1 MJ	359,3 MJ	-1,9
Falta monofásico no inversor – Linha CC e reator como original	366,1 MJ	272,1 MJ	-25,7
Falta monofásico - barra remota nº: 9 - como propostos	313,3 MJ	338,0 MJ	+7,9
Falta monofásico - barra remota nº: 9 - original	313,3 MJ	278,5 MJ	-11,1
Falta monofásico - barra remota nº: 12 - como propostos	313,9 MJ	341,8 MJ	+8,9
Falta monofásico - barra remota nº: 12 - original	313,9 MJ	280,9 MJ	-10,5

4.4 Sistema Multi-Infeed

Diferentemente dos sistemas anteriores, que possuem uma rede CA menor, este sistema exigiu um trabalho minucioso a fim de aproximar o máximo possível o estado de regime permanente em ambos os programas. Nesta configuração, a falha de comutação de um dos bipolos produz uma interação entre eles podendo provocar falha de comutação nos demais.

A Figura 12 apresenta os resultados da potência CC para todos os bipolos representados na rede, Xingu - Terminal Rio, Xingu - Estreito, Foz - Ibiúna e Porto Velho – Araraquara 2, respectivamente. A potência é medida pelo lado do inversor, de ambos os programas, PSCAD e Anatem, para aplicação de um curto-circuito monofásico na subestação de Terminal Rio.

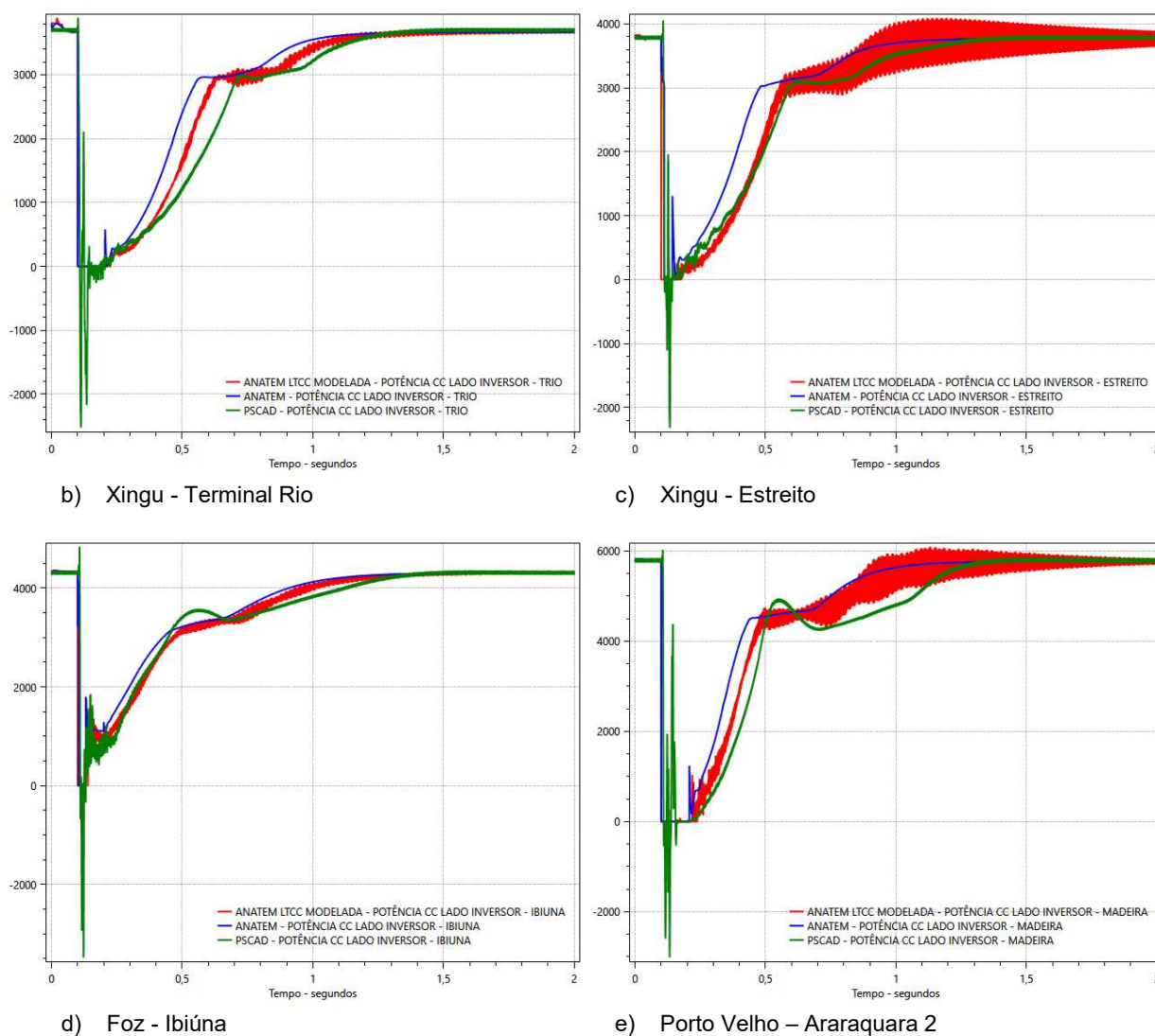


Figura 12 - Potência CC (MW) nos inversores dos bipolos para diferentes modelagens da linha CC

A análise comparativa entre os dois programas, Anatem e PSCAD, a partir da potência injetada pelo inversor, utilizando-se de um sistema mais complexo contendo todos os bipolos do SIN, indicou que a utilização do valor de TVZ fornece valores para aplicação e remoção da falha de comutação para o programa Anatem que reproduz de forma coerente o comportamento da potência injetada pelo inversor vista pelo programa PSCAD. Dessa forma, é possível estabelecer este critério para a transposição do fenômeno da falha de comutação do programa PSCAD para o Anatem. Além disso, vale ressaltar a vantagem adicional que este critério possui de ser bem mais simples de se medir do que o TFC.

5.0 - CONCLUSÃO

A análise comparativa entre os dois programas, Anatem e PSCAD, da potência injetada pelo inversor, indicou que a utilização do valor de TVZ refletirá resultados consistentes para a definição dos valores de aplicação e remoção de falha de comutação utilizados no programa Anatem para a transposição do fenômeno da falha de comutação. Esse procedimento reflete uma definição de limites operativos da transmissão de forma mais precisa, delimitando a região de operação de forma mais segura. Dessa forma, obtemos um melhor desempenho dinâmico do sistema frente a perturbações, o que afeta diretamente o preço da energia para a sociedade.

Além disso, a representação da linha CC no programa Anatem, através da associação em série de múltiplas seções de circuito "T", permite uma melhor reprodução da dinâmica que ocorre no lado CC de cada bipolo. Esta representação diante dos transitórios de falta no inversor e falhas de comutação, influencia a recuperação dos bipolos de modo a aproximar a resposta do Anatem quando comparada com as observadas no programa PSCAD.

6.0 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- (1) [Manual do Anatem CEPEL](#), versão 12.1 - Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos de propriedade do CEPEL, RJ
- (2) ONS Procedimentos de Rede, "Requisitos mínimos para elos em corrente contínua", Requisitos - Submódulo 2.8, Revisão 2020.12, Dez 2020
- (3) P. C. V. Esmeraldo, D.S. Carvalho, E.M.A. Araújo, "HVDC Transmission System – Planning Development and Final Design"; paper no B4_306_2010, Cigré Session 43, Paris, August 2010.
- (4) L.P.Almeida, F.L.Lirio, S.Gomes Jr, G.Sarcinelli, "Sistema Benchmark no PSCAD e ATP contendo Elo de Corrente Contínua e Máquinas", XIII SEPOPE, Maio 2014, Foz do Iguaçu, Brazil.
- (5) L.P.Almeida, F.L.Lirio, S.Gomes Jr, G.Sarcinelli, A.R.C.D.Carvalho, "Avaliação do Esforço Computacional em Programas de Transitórios Eletromagnéticos", XXIII SNTPEE, Out 2014, Foz do Iguaçu, Brazil.
- (6) ONS Relatório Técnico – DPL-0356/2019 – "Estudo de transposição dos tempos de falha de comutação do programa PSCAD para o Anatem", 2019
- (7) ONS Relatório Técnico – DPL-0396/2020 – "Validação da transposição dos tempos de falha de comutação do programa PSCAD para o Anatem", 2020

DADOS BIOGRÁFICOS



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.

(2) 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 Electroconsult del Paraguay.

(3) 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.

(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) LEANDRO DEHON 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.

(6) 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.