



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GAT/04

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMA DE POTÊNCIA (GAT)

VALIDAÇÃO DO MODELO DO CER CEARÁ MIRIM ENTRE O PSCAD, O ATP E O RTDS

**Venilton Rodrigues de Oliveira(*)
JORDÃO ENGENHARIA**

**Saulo José da Silva Filho
JORDÃO ENGENHARIA**

RESUMO

A ALSTOM/GE GRID USA é o fabricante do Compensador Estático de Reativo (CER) de Ceará Mirim, no Rio Grande do Norte, Brasil. Esse equipamento tem capacidade de -75/150 Mvar, sendo composto de dois reatores controlados de 102,14 Mvar, dois filtros capacitivos de 27,15 Mvar (para o 5° e 7° harmônicos) e dois capacitores chaveados de 122,85 Mvar.

O modelo do PSCAD do CER de Ceará Mirim foi disponibilizado pelo Fabricante e utilizado como referência para o desenvolvimento do modelo do ATP com dois níveis de curto circuito, mínimo (1966.7 MVA) e máximo (4902.2 MVA). No contexto do ATP foram apresentados os detalhes a modelagem dos equipamentos (filtros, tiristores controlados, linha, etc.) e descrição das lógicas de controle e medição. O modelo do ATP desenvolvido atende a todos os critérios estabelecidos pelo ONS, como por exemplo, Inicialização em 300 ms, passo de integração de 10µs e a portabilidade do modelo.

A validação entre os modelos foi dividida em três partes: A primeira a validação entre o PSCAD e o ATP. A segunda entre o PSCAD e o RTDS e a terceira entre o RTDS e o ATP.

A validação do modelo do ATP com o PSCAD foi realizada em duas etapas. Sendo a primeira off-line, onde foi realizada uma validação bloco a bloco, onde os mesmos valores de entrada dos blocos do PSCAD foram utilizados como entrada no modelo ATP e a saída do ATP comparada com a do PSCAD, em todos os blocos de controle validados as respostas foram idênticas. Após a validação de cada bloco de controle, foi realizada a validação do modelo com a rede elétrica. Onde foram aplicados eventos na rede elétrica, como por exemplo, degraus e curtos circuitos e comparadas as grandezas elétricas e de controle entre o PSCAD e o ATP. Também apresentaram o mesmo desempenho.

Estando validado o modelo do ATP com o PSCAD iniciou-se o processo de validação com o RTDS no qual foram realizados os mesmos eventos e grandezas para a comparação e da mesma que a validação com o PSCAD o desempenho foi muito similar.

Portanto, este artigo tem por objetivo apresentar a metodologia utilizada e os resultados da validação entre todos os programas.

PALAVRAS-CHAVE

ATP, Compensador Estático, SVC, PSCAD, RTDS

(*) Avenida Rio Branco, n° 120 – Grupo 830 – CEP 20.040-001 Rio de Janeiro, RJ, – Brasil.

Tel.: (+55 21) 2413-5743 – (+55 21) 3553-4902– E-mail: venilton.oliveira@jordaoengenharia.com.br

1.0 - INTRODUÇÃO

A ALSTOM/GE GRID USA é o fabricante do Compensador Estático de Reativo (CER) de Ceará Mirim, no Rio Grande do Norte, Brasil. Esse equipamento tem capacidade de -75/150 Mvar, sendo composto de dois reatores controlados de 102,14 Mvar, dois filtros capacitivos de 27,15 Mvar (para o 5° e 7° harmônicos) e dois capacitores chaveados de 122,85 Mvar.

O modelo do PSCAD do CER de Ceará Mirim foi disponibilizado pelo Fabricante e utilizado como referência para o desenvolvimento do modelo do ATP com dois níveis de curto circuito, mínimo (1966.7 MVA) e máximo (4902.2 MVA). No contexto do ATP foram apresentados os detalhes a modelagem dos equipamentos (filtros, tiristores controlados, linha, etc.) e descrição das lógicas de controle e medição. O modelo do ATP desenvolvido atende a todos os critérios estabelecidos pelo ONS, como por exemplo, Inicialização em 300ms, passo de integração (timestep) de 10 μ s e a portabilidade do modelo, (2).

O sistema elétrico utilizado no processo de validação em todos os programas foi representado por um equivalente de curto circuito, ou seja, uma barra infinita conectada ao CER através de uma impedância.

2.0 - MODELO DO CER NO ATP

O Modelo do CER no ATP foi desenvolvido a partir do modelo de referência no PSCAD disponibilizado pela própria fabricante. Visando a modelagem mais fidedigna possível, todos os componentes elétricos e blocos de controle no modelo PSCAD foram traduzidos para o ATP. Para auxiliar a criação do modelo ATP foi utilizada a ferramenta gráfica ATPDraw.

2.1 Rede Elétrica

Na Figura 1, está apresentado de forma reduzida o sistema implementado. O Compensador Estático é constituído por dois TCRs, dois TSCs e filtros de quinta e sétima harmônica.

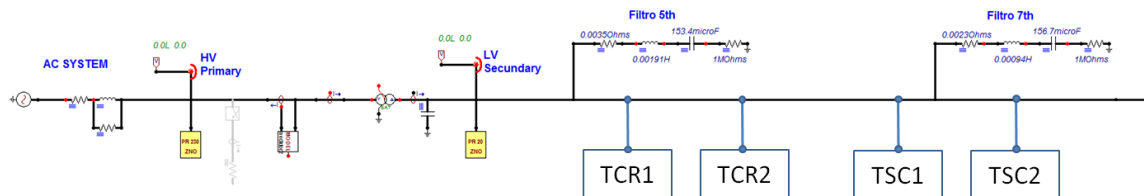


Figura 1 – Modelo da rede elétrica no ATPDraw

2.2 Controle do CER

Todas as partes de condicionamento de sinais e controle do compensador foram modeladas em blocos do ATP que utilizam a linguagem MODELS. A linguagem MODELS é nativa do ATP. Consiste em uma linguagem estruturada, similar ao Pascal ou Fortran. Sua estrutura é dividida em três partes: Declarações (DATA, CONST, INPUT, OUTPUT, VAR), inicializações (t=0) e execução.

No ATPDraw, DATA aparece na interface da caixa representativa da MODELS. O usuário é habilitado a editar os nós e DATA de uma determinada MODELS, desenhar uma Figura representativa, etc. Um nó de uma MODEL pode ser conectado com outra model, com TACS, componentes elétricos de forma física ou apenas colocando mesmo nome para ambos os nós (entrada e saída). A Figura 2 mostra os blocos MODELS adicionados ao modelo.

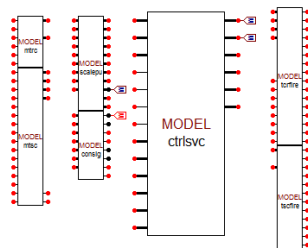


Figura 2 – Blocos MODELS do controle do CER

Por se tratar de um modelo muito complexo e com muitas entradas e saídas de medições e sinais, foi necessário dividi-lo em sete blocos menores. As funções de cada um dos blocos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Funções dos blocos MODELS

Bloco	Descrição
mtcr	Recebe as medições de corrente dos TCRs
mtsc	Recebe as medições de tensão e corrente dos TSCs
scalegu	Transforma as medições de corrente e tensão para pu
consig	Calcula valores RMS para tensão primária, potência reativa e correntes
ctrlsvc	Realiza todo controle do compensador
tcrfire	Faz a distribuição dos pulsos de disparo para os tiristores dos TCRs
tscfire	Faz a distribuição dos pulsos de disparo para os tiristores dos TSCs

2.2.1..Rede CA

O sistema CA foi representado através da conexão do modelo do CER a uma fonte de tensão conectada à uma impedância que fornece o nível de curto-circuito do sistema. Essa impedância pode ser modificada de forma a se obter dois níveis de curto-circuito: baixo (1966,7 MVA) e alto (4902 MVA). Os valores das resistências e indutâncias para obter estes níveis de curto-circuito encontram-se na Tabela 2.

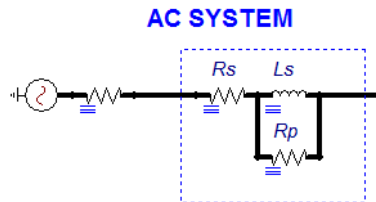


Figura 3 – Sistema no ATPDraw

Tabela 2– Parâmetros do sistema para diferentes níveis de curto-circuito

Parâmetro	Nível de curto-circuito	
	Baixo – LSCL (1966,7 MVA)	Alto – HSCL (4902 MVA)
Rs	4,166	1,009
Ls	26,5703	10,7442
Rp	2000	2000

3.0 - VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação entre os modelos foi dividida em três partes: A primeira a validação entre o PSCAD e o ATP. A segunda entre o PSCAD e o RTDS e a terceira entre o RTDS e o ATP.

3.1 Validação offline

A validação do modelo do ATP com o PSCAD foi realizada em duas etapas. Sendo a primeira off-line, onde foi realizada uma validação bloco a bloco, onde os mesmos valores de entrada dos blocos do PSCAD foram utilizados como entrada no modelo ATP. Sendo comparada a saída do ATP com a do PSCAD, em todos os blocos de controle validados as respostas foram idênticas. Após a validação de cada bloco de controle, foi realizada a validação do modelo com a rede elétrica. Sendo aplicado eventos na rede elétrica, como por exemplo, degrau e curto circuito. Sendo comparadas grandezas elétricas e de controle entre o PSCAD e o ATP. Também apresentaram o mesmo desempenho.

Ressalta-se que durante o processo de validação foi necessário fazer adaptações em alguns blocos de controle para que ambos os programas tivessem o mesmo desempenho, a destacar os seguintes blocos: o controle de disparo (*Firing Control*), o filtro de medição (MAF – *Moving Average Filter*) e entre outros.

A validação é muitas vezes considerada a etapa mais crítica e às vezes demorada, de um projeto. Devido ao alto grau de importância, torna-se interessante desenvolver uma metodologia de validação. Os itens abaixo resumizam esse procedimento: Cada bloco é avaliado individualmente, em malha aberta; Os mesmos parâmetros de passo de integração são adotados; É utilizada a mesma frequência de plotagem; São representadas as mesmas entradas no ATP/PSCAD; São comparadas as saídas dos dois programas; Caso haja discordância, medidores internos são utilizados com a finalidade de depurar o código; A comparação das entradas/saídas pode ser realizada em mais de um aplicativo (Excel, PlotXY, PlotCEPEL), com a finalidade de usar recursos específicos de cada um desses programas e para melhor entendimento em caso de discordância; Uma vez que os blocos individuais, em malha aberta, estão validados, a validação passa a ser sistêmica em malha fechada.

Nos itens a seguir serão demonstrados alguns dos blocos validados:

- TCR Phase Control
- TSC Switching

3.1.1 TCR Phase control

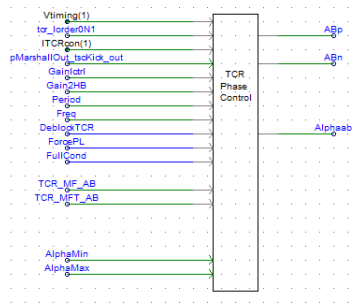


Figura 4 – Bloco TCR Phase Control

3.1.1.1 Sinais de entrada – TCR Phase Control

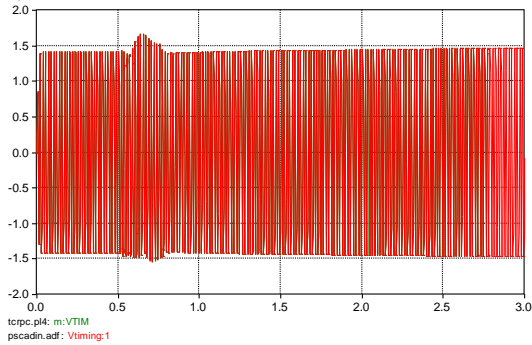


Figura 5 – Tensão de sincronismo (ATP x PSCAD)

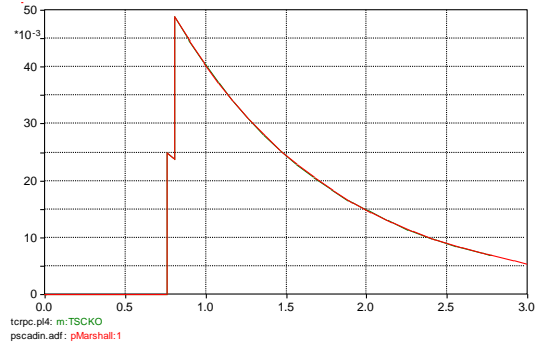


Figura 6 – Sinal de kick do TSC (ATP x PSCAD)

3.1.1.2 Sinais de saída – TCR Phase Control

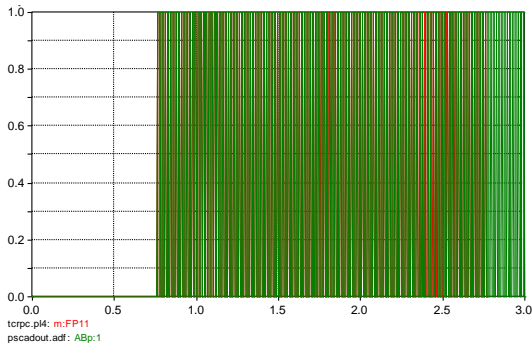


Figura 7 – pulso de disparo positivo

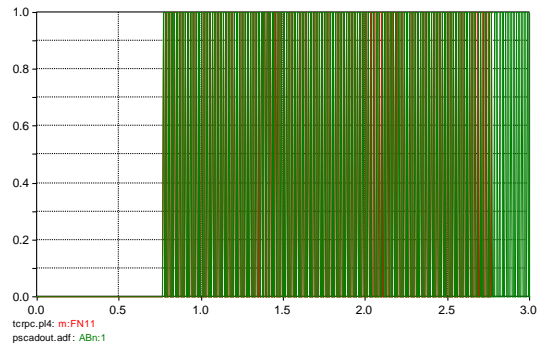


Figura 8 – pulso de disparo negativo

3.1.2 TSC Switching

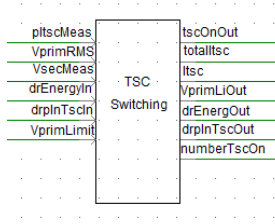


Figura 9 – Bloco TSC Switching

3.1.2.1 Sinais de entrada – TSC Switching

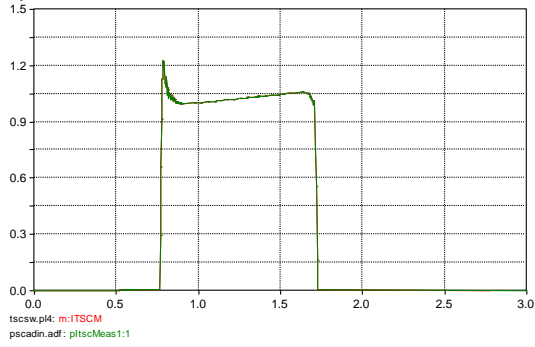


Figura 10 – Corrente do TSC (PSCAD x ATP)

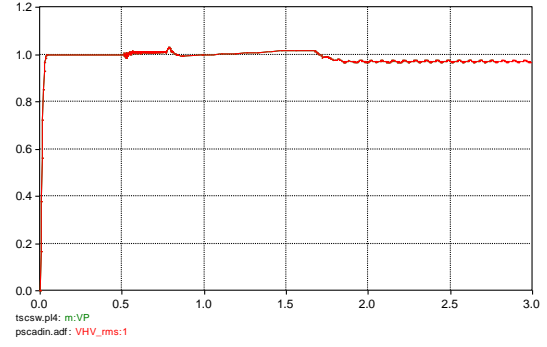


Figura 11 – Tensão primária RMS (PSCAD x ATP)

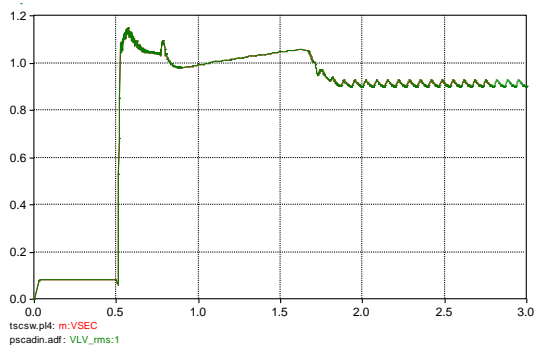


Figura 12 – Tensão secundária RMS (PSCAD x ATP)

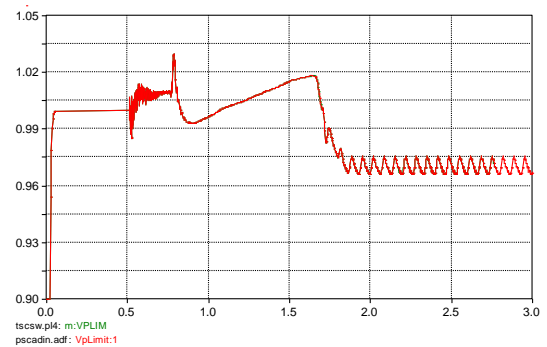


Figura 13 – Limite de tensão primária (PSCAD x ATP)

3.1.2.2 Sinais de saída – TSC Switching

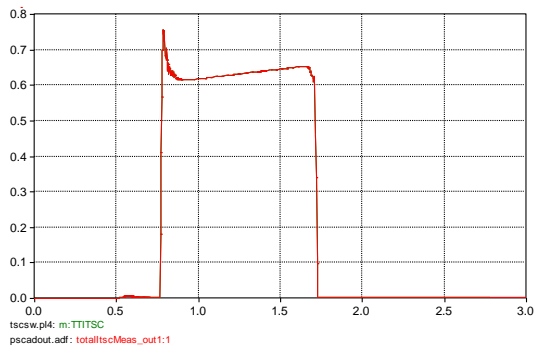


Figura 14 – Corrente do TSC (PSCAD x ATP)

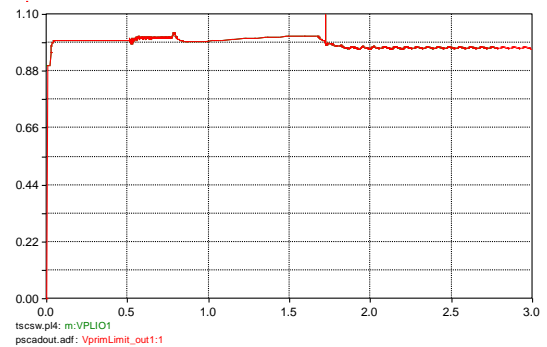


Figura 15 – Limite de tensão primária (PSCAD x ATP)

3.2 Comparação ATP x PSCAD e RTDS

Os testes em malha fechada, isto é, com a representação do sistema elétrico, foram realizados com dois níveis de curto circuito mínimo e máximo. Sendo realizados os seguintes eventos:

- Degrau positivo e negativo;
- Curto circuito monofásico e trifásico;
- Degrau para máxima potência reativa indutiva;
- Degrau para máxima potência reativa capacitiva;
- Teste de subtensão.

Estando validado o modelo do ATP com o PSCAD iniciou-se o processo de validação com o RTDS no qual foram realizados os mesmos eventos e grandezas para a comparação e da mesma que a validação com o PSCAD o desempenho foi muito similar.

Nos itens a seguir serão mostradas alguns dos casos simulados para a validação do modelo ATP.

- Degrau positivo
- Degrau negativo
- Curto-circuito trifásico

3.2.1 Degrau positivo

Neste teste a tensão da fonte foi mantida em 1 pu e a referência de tensão do CER foi alterada de 0.965 pu para 0.991 pu (0% slope).

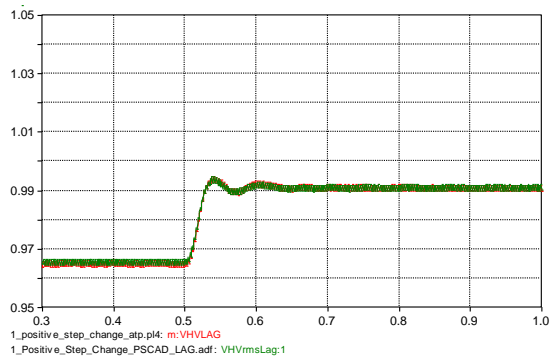


Figura 16 – Tensão RMS (ATP x PSCAD)

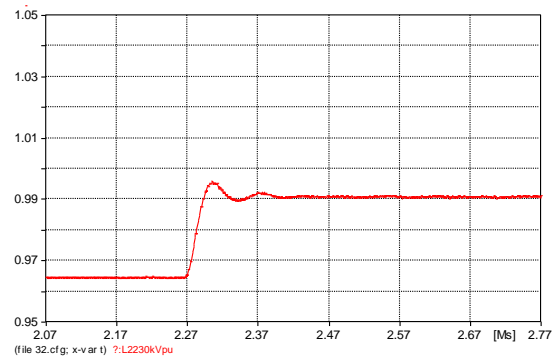


Figura 17 – Tensão RMS (RTDS)

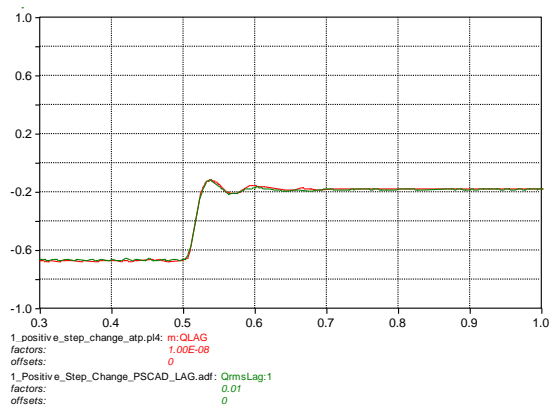


Figura 18 – Potência reativa (ATP x PSCAD)

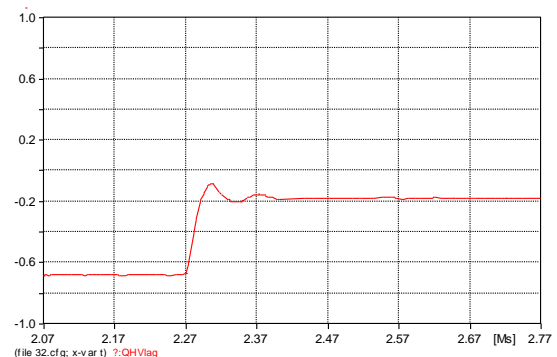


Figura 19 – Potência reativa (RTDS)

3.2.2 Degrau negativo

Neste teste a tensão da fonte foi mantida em 1 pu e a referência de tensão do CER foi alterada de 0.991 pu para 0.965 pu (0 % slope).

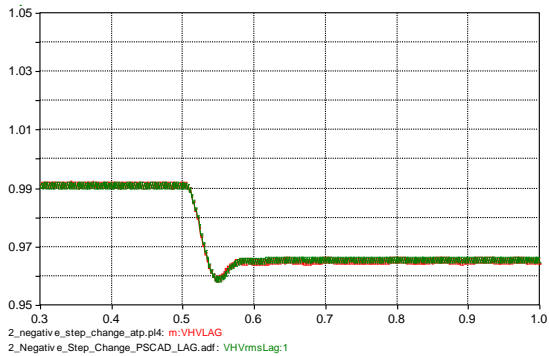


Figura 20 – Tensão RMS (ATP x PSCAD)

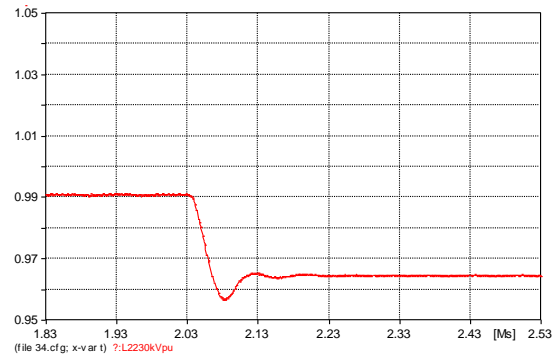


Figura 21 – Tensão RMS (RTDS)

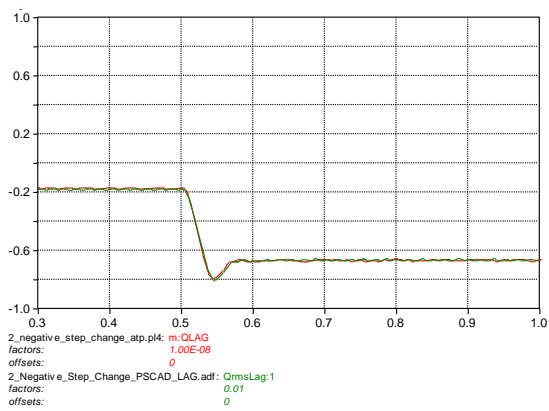


Figura 22 – Potência reativa (ATP x PSCAD)

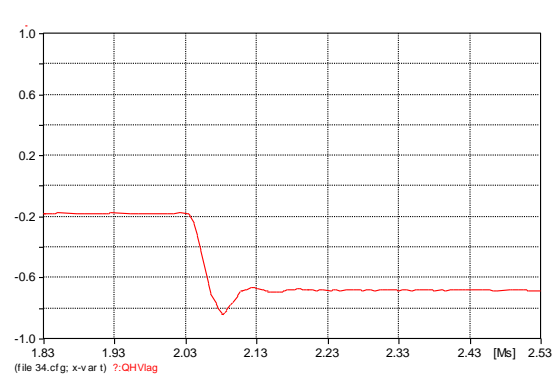


Figura 23 – Potência reativa (RTDS)

3.2.3 Curto-circuito trifásico

Neste teste a tensão da fonte foi mantida em 1 pu e um curto-circuito trifásico foi aplicado com uma resistência (8 Ω) and removido após 150 ms. (3 % slope)

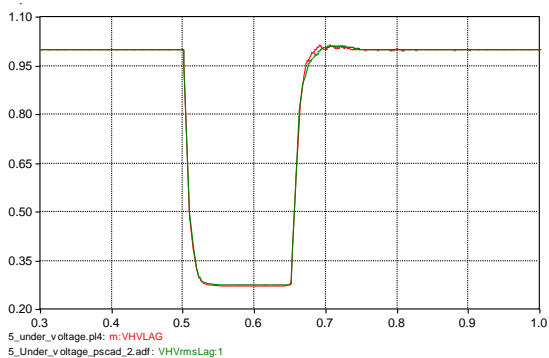


Figura 24 – Tensão RMS (ATP x PSCAD)

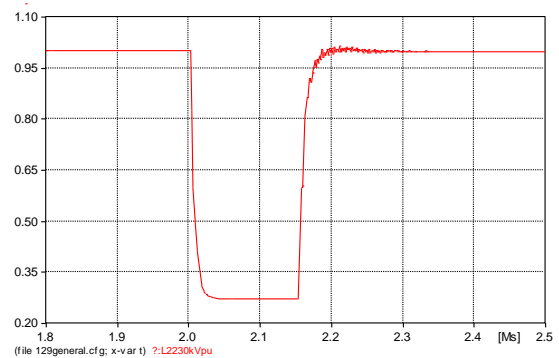


Figura 25 – Tensão RMS (RTDS)

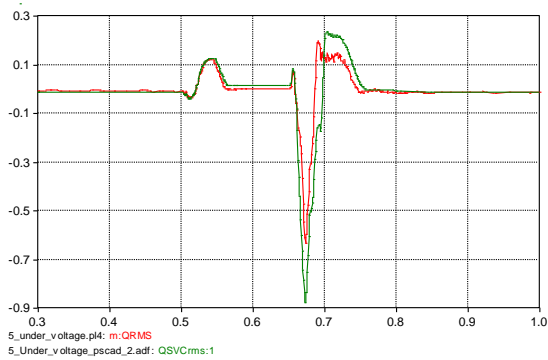


Figura 26 – Potência reativa (ATP x PSCAD)

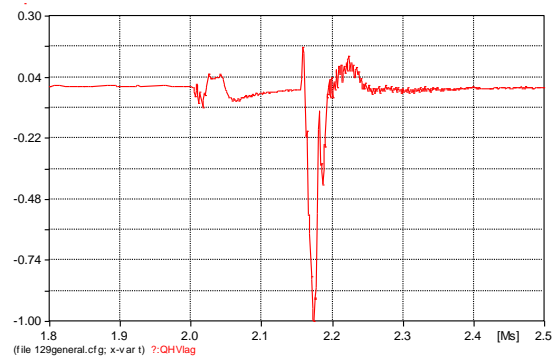


Figura 27 – Potência reativa (RTDS)

4.0 - CONCLUSÃO

O modelo ATP do CER foi desenvolvido a partir do modelo PSCAD fornecido pela fabricante e sua validação foi dividida em três partes: A primeira a validação com o modelo PSCAD. A segunda entre o PSCAD e o RTDS e a terceira entre o ATP e RTDS.

A validação do modelo do ATP com o PSCAD foi realizada em duas etapas. Sendo a primeira off-line, onde foi realizada uma validação bloco a bloco, onde os mesmos valores de entrada dos blocos do PSCAD foram utilizados como entrada no modelo ATP e a saída do ATP comparada com a do PSCAD, em todos os blocos de controle validados as respostas foram idênticas como pode ser visto em alguns exemplos neste artigo. Após a validação dos blocos de controle, foi realizada a validação do modelo com a rede elétrica. Onde foram aplicados eventos na rede elétrica, como por exemplo, degraus e curtos circuitos e comparadas as grandezas elétricas e de controle entre o PSCAD e o ATP. Também apresentaram o mesmo desempenho.

Então, iniciou-se o processo de validação com o RTDS no qual foram realizados os mesmos eventos e grandezas para a comparação e da mesma que a validação com o PSCAD e o desempenho foi muito similar.

A partir das comparações entre simulações feitas no ATP, PSCAD e RTDS é possível confirmar a validade do modelo desenvolvido no ATP, visto que suas respostas são essencialmente as mesmas do PSCAD e do RTDS. Mostrando que a metodologia de validação aplicado no desenvolvimento do modelo do ATP é de fato adequada para este tipo de validação. Sendo, portanto, totalmente aplicável e este tipo de modelagem, garantindo um modelo adequado aos critérios definidos pelo ONS.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) EMTP Rule Book
- (2) Nota Técnica do ONS (NT-0165/2-14)", item 2.1 - Requisitos Gerais
- (3) 430-P-00137-32-STU0-013 – Ceara Mirim Dynamic Performance Study Rev1 Final
- (4) RL-CL181-03-16 – Validação do Modelo ATP do CER de Ceará Mirim com RTDS
- (5) RL-CL181-04-16 – Manual de uso do modelo ATP do CER de Ceará Mirim

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Venilton Rodrigues de Oliveira, Engenheiro Eletricista Sênior, com formação em Sistemas de Potência, com conhecimento do Sistema Elétrico Brasileiro. Com grande experiência em estudos regime permanente, transitório eletromecânico, comissionamento, modelagem e ajuste de equipamento de controle, tais como: Reguladores de Tensão (RT), Reguladores de Velocidade (RV), estabilizador de sistemas de potência (PSS), compensadores estáticos (SVC), capacitor série controlável (TCSC). Grande experiência com programas de simulação, entre eles: ANAREDE, ANATEM, ANAFAS, PACDYN, PSCAD/EMTDC e algum conhecimento nos seguintes programas ATP/EMTP e Eurostag.

Hoje é sócio da empresa Jordão Engenharia, uma empresa reconhecida pela Aneel com uma das 10 empresas que mais se envolvem em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento.



Saulo José da Silva Filho, nascido em Nova Friburgo-RJ em 1989. Graduado em engenharia elétrica na Universidade Federal Fluminense em Julho de 2015. Experiência com programas de simulação, entre eles: ANAREDE, ANATEM, ANAFAS, PSCAD/EMTDC e ATP/EMTP. Atualmente presta serviços de consultoria como engenheiro eletricista na Jordão Engenharia.