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

APLICAÇÃO DA NOVA FERRAMENTA COMPUTACIONAL ANAHVDC EM ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS DE MANOBRA

RODRIGO GODIM DE AZEVEDO(1);SERGIO GOMES JUNIOR(1,2);LEONARDO PINTO DE ALMEIDA(2);THIAGO JOSE MASSERAN ANTUNES PARREIRAS(2)
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE(1);CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA CEPEL(2)

RESUMO

Neste artigo será apresentado a aplicação do novo programa AnaHVDC, baseado em fasores dinâmicos, para simulações de transitórios de manobra com ênfase na modelagem fasorial do para-raios e da magnetização de transformadores. Serão apresentados resultados da validação do AnaHVDC com o ATP em rede equivalente, mostrando as vantagens na precisão de resultados e desempenho computacional. Tais resultados demonstrarão a importância da aplicação proposta em relação à redução do esforço de preparação de dados de simulação e ganhos de precisão ao permitir análise de diferentes pontos de operações, consistentes com condições operativas realistas, que podem ser definidos diretamente em arquivos de fluxo de potência.

PALAVRAS-CHAVE: Fasores dinâmicos, Transitórios eletromagnéticos; Transitórios de manobra; Energização de Linhas de Transmissão; Energização de Transformadores; Religamento de linhas de transmissão.

1.0 INTRODUÇÃO

Os transitórios eletromagnéticos de manobra estão relacionados aos chaveamentos dos equipamentos de manobras ou variações bruscas na rede elétrica, como por exemplo, os curtos-circuitos. Os estudos de transitórios de manobra subsidiam as especificações de equipamentos, dimensionamento do isolamento em linhas de transmissão e subestações, além de permitir verificar potenciais situações de riscos aos equipamentos durante a operação.

No contexto do Sistema Interligado Nacional (SIN), tais estudos situam-se no âmbito do planejamento (realizado pela EPE, através do Relatório R2) ou no âmbito da operação (realizada pelo ONS, nos estudos de acesso, de superação de equipamentos e projeto básico de instalações de transmissão).

Os principais transitórios de manobra são: energização e religamento (monopolar e tripolar) de linha de transmissão, rejeição de carga, chaveamento de capacitores e reatores, curtos-circuitos, energização de transformadores e tensão de restabelecimento transitória (1) e (2). Hoje em dia, essas simulações são realizadas em programas computacionais como o ATP e PSCAD.

Nos estudos de transitórios de manobras é imperioso que a rede elétrica esteja bem representada. Tal representação, na atual prática, é realizada utilizando equivalentes, que representam regiões reduzidas do sistema elétrico, cuja preparação e ajustes geralmente são bastante dispendiosos. Se por um lado o equivalente é trabalhoso, por outro, a representação completa da rede acaba sendo inviável pela grande quantidade de dados e detalhes para correta modelagem nos programas atualmente disponíveis, como é o caso do PSCAD e do ATP.

Outra questão importante é a precisão. Devido às dificuldades na preparação dos equivalentes, muitas vezes, na prática atual, não há uma preocupação do ajuste do ponto de operação, limitando-se a validar os níveis de curtos-circuitos do equivalente com os calculados pelo ANAFAS desprezando o carregamento do sistema. É bastante comum a simulação de transitórios não ser conduzida com ajustes precisos dos fluxos em todas as linhas de transmissão do equivalente, não há uma precisão das fontes equivalentes de barras de fronteira, e nem sempre os elementos de compensação reativa e cargas elétricas são corretamente considerados, além do estudo muitas vezes se limitar a uma única ou poucas condições operativas da rede, havendo apenas variações de rede degradada.

Neste trabalho propõe-se aplicar o novo programa AnaHVDC (3) desenvolvido pelo Cepel, baseado em fasores dinâmicos, para simulações de transitórios de manobra. Dentro deste trabalho, pretende-se utilizar uma nova modelagem fasorial de para-raios e magnetização de transformadores, que está sendo implementada no AnaHVDC, modelos estes bastante importantes para a análise dessa categoria de transitórios.

godim86@gmail.com

A formulação dos equacionamentos em fasores dinâmicos e o uso dos dados de fluxo de potência permitem a inicialização em regime permanente, mesmo com a presença de elementos não lineares e a representação completa do sistema de potência, diferentemente da prática convencional dos estudos de transitórios eletromagnéticos. Além disso, os dados adicionais trifásicos e da dinâmica das máquinas, elos HVDC, equipamentos FACTS e sistemas de controle definidos pelo usuário são aproveitados dos arquivos do ANAFAS e do ANATEM, que já são preparados e mantidos pela EPE e ONS para os estudos de curto-circuito e estabilidade transitória.

Com a utilização do programa AnaHVDC, pode-se analisar múltiplos pontos de operação, analogamente ao que é feito nos estudos de estabilidade transitória, além de poder incluir o efeito de elementos de ações nem tão lentas no transitório, como é o caso dos reguladores de tensão e dos enrolamentos elétricos das máquinas síncronas que compõem uma usina elétrica. Com isso, muda-se o paradigma dos estudos atuais, onde se passa a adotar uma análise de múltiplas condições operativas, levando a uma maior confiabilidade nos resultados de simulação e maior facilidade na obtenção de condições críticas.

O objetivo do artigo é apresentar de forma didática esta aplicação inovadora da ferramenta fasorial AnaHVDC na análise de transitórios de manobra. Serão apresentados resultados de validação do AnaHVDC com o ATP em rede equivalente, apresentando os ganhos na precisão dos resultados e o desempenho computacional. Acredita-se que os resultados deste artigo demonstrarão a importância da aplicação proposta em relação à redução do esforço de preparação de dados de simulação e ganhos de precisão ao permitir análise de diferentes pontos de operações, consistentes com condições operativas realistas, que podem ser definidos em arquivos de fluxo de potência.

2.0 TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS DE MANOBRA

Os fenômenos transitórios, de um modo geral, de um sistema elétrico encontram-se usualmente na faixa entre 0Hz a aproximadamente 50MHz, no qual valores acima da frequência industrial são normalmente típicos dos fenômenos eletromagnéticos, e inferiores são usualmente de fenômenos eletromecânicos (1). A FIGURA 1 ilustra os principais fenômenos transitórios e suas respectivas faixas de frequência.

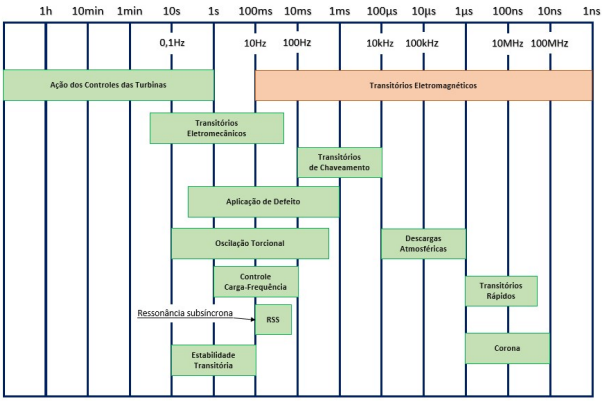


FIGURA 1 – Faixa de frequências nos sistemas de potência. Adaptado de (1)

Além disso, de forma mais específica, os transitórios eletromagnéticos podem ainda ser subdivididos em três categorias (FIGURA 2) dependendo da sua origem:

- Surtos atmosféricos, ou sobretensões de frente rápida, que são fenômenos de duração muito curta (dezenas de microssegundos);
- Surtos de manobra ou chaveamento, ou sobretensões de frente lenta, que são decorrentes de manobras tais como: energização, rejeição de carga, religamento tripolar e monopolar;
- Sobretensões temporárias que ocorrem após o amortecimento das sobretensões transitórias iniciais.

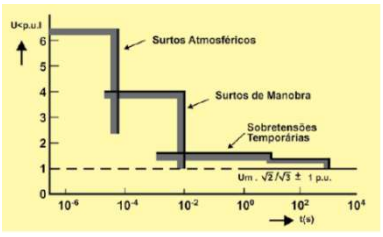


FIGURA 2 – Sobretensões transitórias e suas origens (4)

Considerando o ponto de vista do planejamento do Sistema Interligado Nacional (SIN) o foco desse trabalho se concentra nos denominados transitórios eletromagnéticos de manobra ou chaveamento. Nessa categoria de transitório, as sobretensões observadas são de origem multifatorial, dependendo, por exemplo: do valor da tensão, do instante de fechamento da chave, da modelagem da rede, da dispersão dos polos do disjuntor (5). Para as análises são utilizadas ferramentas voltadas para transitórios eletromagnéticos, tais como o PSCAD e o ATP. No entanto, o objetivo desse artigo é propor o uso em uma nova ferramenta computacional, o AnaHVDC, e como programa de referência para realizar a validação será utilizado o ATP.

3.0 MODELOS IMPLEMENTADOS: PARA-RAIOS E MAGNETIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES

Nesse trabalho dois modelos essenciais para análise de transitórios de manobra em sistemas de potência foram considerados: os para-raios e a magnetização de transformadores. As próximas subseções exploram a modelagem matemática dos modelos contemplados.

3.1 Modelo de para-raios

O modelo do para-raios implementado é baseado no elemento NLRES92 do ATP. Esse modelo permite a inclusão da curva **V** *versus* **I** do para-raios, que determina o comportamento deste tipo de equipamento, do ponto de vista de absorção (ou injeção) de corrente elétrica. Através do modelo implementado, é possível obter medições de potência consumida e da energia absorvida pelo equipamento. De acordo com a sobretensão observada e a respectiva curva linear por partes do para-raios, haverá maior escoamento de corrente e consequentemente energia. A FIGURA 3 mostra esquematicamente esse processo.

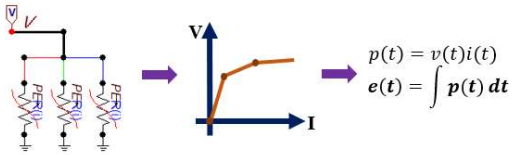


FIGURA 3 – Modelagem do para-raios

3.2 Modelo de magnetização

O modelo de magnetização implementado é baseado no elemento SATTRAFO do ATP. Esse modelo permite a inclusão da curva **Vrms** *versus* **Irms** (correntes e tensões RMS obtidas do ensaio em vazio) ou **I** *versus* **F** (corrente e fluxo) da magnetização, que também determina o comportamento deste tipo de equipamento, quando se observa sua corrente elétrica absorvida (ou injetada).

Cabe ressaltar que nessa etapa do desenvolvimento ainda não estão sendo consideradas a histerese nem o fluxo residual, logo a entrada de dados consiste em segmentos de reta de modo que o modelo é representado de forma linear por partes. Essa modelagem apresentou resultados visualmente coincidentes com o ATP (que serão apresentados na seção subsequente) e está sintetizada na FIGURA 4.

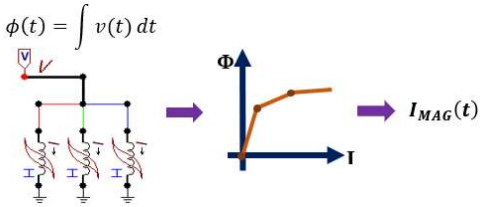


FIGURA 4 – Modelagem da magnetização

4.0 ANÁLISE DOS CASOS E RESULTADOS

Para a validação dos modelos implementados foi utilizado um caso baseado no sistema teste denominado “BenchCA”, distribuído na atual versão Beta do programa AnaHVDC. As análises serão feitas considerando a inclusão dos equipamentos e modelos a partir da barra 09, para energização de linhas e transformadores, e entre as barras 08 e 09 para estudos de religamento. Contudo, uma etapa prévia que se faz necessária consiste no ajuste do ponto de operação nos programas AnaHVDC e ATP. Como o ajuste é realizado em ferramentas de natureza distinta, as soluções não necessariamente são idênticas, em especial o ângulo (4). No entanto, foi considerado um esforço maior de modo a obter um ponto de operação tão próximo quanto possível, isso por se tratar principalmente de uma etapa de validação dos resultados. Assim, quanto mais próximo ponto de operação, mais adequada a validação.

Assim sendo, foram elevadas as tensões nos barramentos terminais dos geradores até que um dos barramentos do sistema atingisse a tensão pré-manobra de 1,1pu e medido a tensão e ângulo da barra de interesse, no caso a barra 09. A FIGURA 5 apresenta esse ponto de operação obtido no ANAREDE, com destaque para a tensão pré-manobra de 1,1pu na barra 06 e de 1,077pu na barra 09.

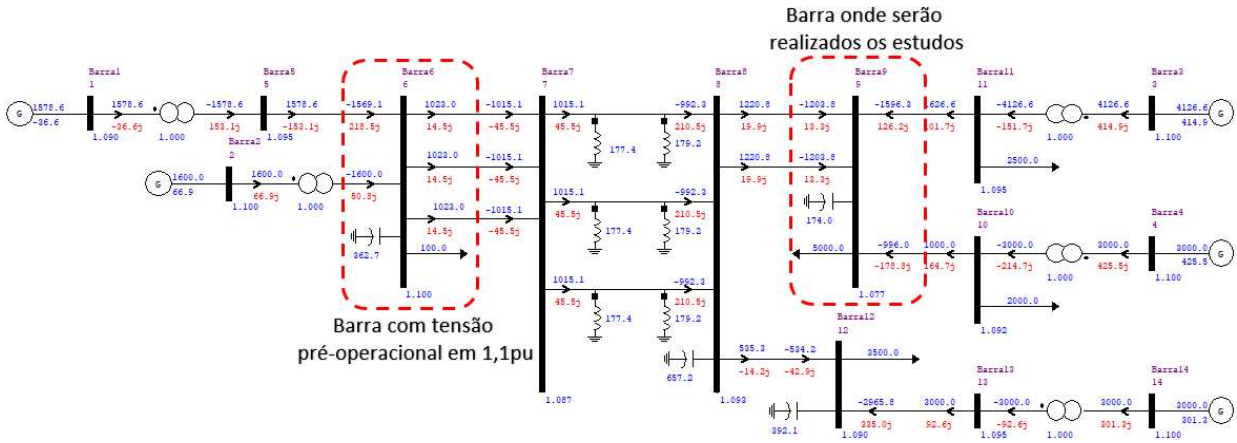


FIGURA 5 – Ponto de operação do caso base no ANAREDE

O AnaHVDC utiliza a base de dados de fluxo de potência do ANAREDE, de curto-circuito do ANAFAS e de estabilidade do ANATEM. No modelo em análise além dos dados do fluxo de potência também são obtidos os dados de sequência zero do ANAFAS. Assim, a representação desse ponto de operação no ATP pode ser mais precisa. A FIGURA 6 mostra o diagrama unifilar do sistema BenchCA modelado no ATPDraw.

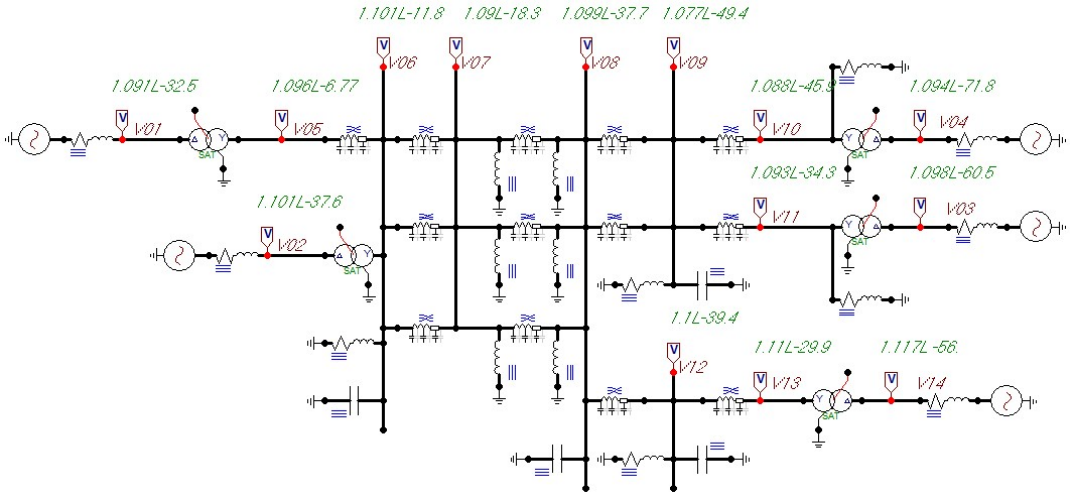


FIGURA 6 – Ponto de operação do caso base no ATP

A TABELA 1 apresenta as informações numéricas para o caso base para as barras do sistema. As barras 1, 2, 3, 4 e 14 são as barras de geração e estão na base de 20kV, e as demais barras do sistema estão na base de 500kV, onde todos os transformadores são elevadores de tensão.

TABELA 1 – Ponto de operação do caso base

Barra	Geração		Potência		Transformador					Carga		Filtro
	V [pu]	Fase [°]	P [MW]	Q [Mvar]	$S_{3\phi}$ [MVA]	V_1 [kV]	V_2 [kV]	Xpu	X [%]	P [MW]	Q [Mvar]	Q [Mvar]
1	1,090	-2,5	1579,0	-36,6	1800	20	500	0,1	0,55556	-	-	-
2	1,100	-7,5	1600,0	66,9	1800	20	500	0,1	0,55556	-	-	-
3	1,100	-30,0	4127,0	414,9	5400	20	500	0,1	0,18519	-	-	-
4	1,100	-42,0	3000,0	425,5	3600	20	500	0,1	0,27778	-	-	-
5	**1,095**	**-6,7**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	**1,100**	**-12,0**	-	-	-	-	-	-	-	100	50	362,7
7	**1,087**	**-18,0**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	**1,093**	**-38,0**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	657,2
9	**1,077**	**-49,0**	-	-	-	-	-	-	-	5000	200	174
10	**1,092**	**-46,0**	-	-	-	-	-	-	-	2000	50	-

11	**1,038**	**-34,0**	-	-	-	-	-	-	-	2500	50	-
12	**1,090**	**-39,0**	-	-	-	-	-	-	-	3500	100	392,1
13	**1,095**	**-30,0**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1,100	-26,0	3000,0	636,7	3600	20	500	0,1	0,27778	-	-	-

A TABELA 2 resume os parâmetros das linhas de transmissão do sistema. As linhas foram modeladas por seus parâmetros de sequência positiva e zero por unidade de comprimento.

TABELA 2 – Parâmetros das linhas de transmissão

Linha de Transmissão									Compensação Shunt	
De	Para	nc	R1	X1	B1	R0	X0	B0	distância [km]	P (De) [MW]	P (Para) [MW]
5	*6*	1	0,04545	0,6660	61,40	0,39567	3,1786	31,19	50	-	-
6	*7*	1	0,09054	1,3290	122,92	0,78349	6,3263	62,54	100	-	-
6	*7*	2	0,09054	1,3294	122,92	0,78349	6,3263	62,54	100	-	-
6	*7*	3	0,09054	1,3294	122,92	0,78349	6,3263	62,54	100	-	-
7	*8*	*1*	0,25984	3,9020	372,85	2,10570	18,0030	192,76	300	177,4	179,2
7	*8*	*2*	0,25984	3,9020	372,85	2,10570	18,0030	192,76	300	177,4	179,2
7	*8*	*3*	0,25984	3,9020	372,85	2,10570	18,0030	192,76	300	177,4	179,2
8	9	1	0,13488	1,9873	184,70	1,15570	9,4121	94,2	150	-	-
8	9	2	0,13488	1,9873	184,70	1,15570	9,4121	94,2	150	-	-
8	*12*	*1*	0,04545	0,6660	61,40	0,39567	3,1786	31,19	50	-	-
9	*10*	*1*	0,04545	0,6660	61,40	0,39567	3,1786	31,19	50	-	-
9	*11*	*1*	0,13488	1,9873	184,70	1,15570	9,4121	94,2	150	-	-
12	*13*	*1*	0,04545	0,6660	61,40	0,39567	3,1786	31,19	50	-	-

O ponto de operação, na variável instantânea, pode ser visualizado na FIGURA 7, para a fase a. A figura à direita com a aproximação no intervalo de tempo de 0,5s e a 0,55s corrobora com a interpretação de que os resultados estão visualmente coincidentes, tanto em amplitude, como em fase. As mesmas conclusões são obtidas para as fases b e c. Logo, entende-se que o ponto de operação está adequadamente ajustado e o caso pronto para fazer a validação a partir de estudos de transitórios de manobra.

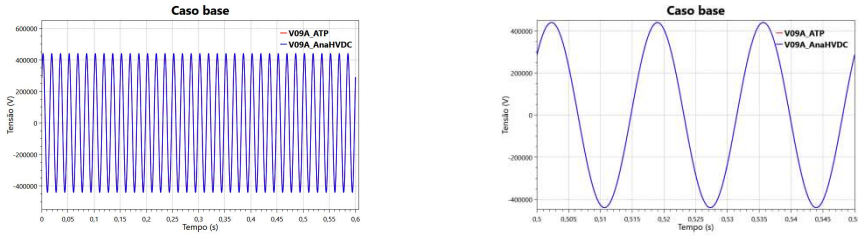


FIGURA 7 – Tensão na barra 09, fase a, (escala original e ampliada entre 0,5s e 0,55s) para o caso base

Tendo, enfim, obtido e validado o ponto de operação, este passa a ser o caso base para as demais análises e resultados. Assim, tem-se as seguintes etapas subdivididas nas próximas subseções: i) validação dos modelos de para-raios e magnetização considerando diversos estudos de transitórios de manobra; e ii) variação de cenários geração/carga motivando a automatização desses cenários sem a preparação de equivalentes.

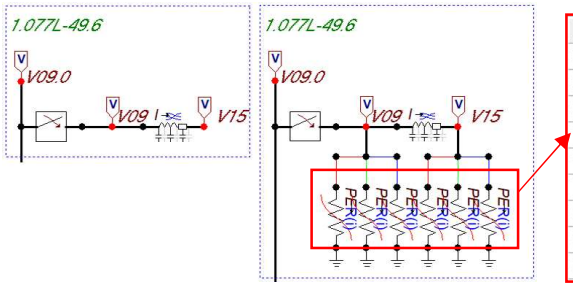
3.1 Validação dos modelos implementados em estudos de transitórios de manobra

Os estudos de energização foram feitos sem e com para-raios, por dois motivos: i) validar o sistema sem inclusão do modelo; e ii) analisar o efeito do modelo de para-raios na mitigação das sobretensões observadas. Os estudos de religamento, por sua vez, já consideram o modelo de para-raios diretamente incluído no caso.

As medições apresentadas partem das seguintes premissas: i) sempre será apresentada a tensão no barramento terminal (com numeração distinta a depender do caso em análise) e respectiva ampliação da faixa de visualização em determinada escala de tempo; ii) energia dos para-raios sempre que o modelo estiver presente no caso em questão; e iii) corrente de magnetização sempre que o modelo estiver presente no caso em questão.

3.1.1 Energização de linhas de transmissão

A energização de linha de transmissão foi simulada sem e com o modelo de para-raios. Assim, essa seção de resultados demonstra a mitigação das sobretensões com o para-raios e a respectiva validação do modelo. O trecho da linha de transmissão considerada foi de 300km e a chave de energização contou com dispersão dos polos, sendo os tempos de fechamento $t_a = 0{,}202s$, $t_b = 0{,}200s$ e $t_c = 0{,}198s$. A FIGURA 8 mostra o diagrama unifilar no ATP nos casos sem e com para-raios (com sua respectiva curva V versus I).



I [A]	U [V]
0.001	633647.8261
0.01	661182.6087
0.1	671800
1	684073.913
10	711204.3478
100	751900
300	779030.4348
1000	817789.1304
3000	864297.8261

FIGURA 8 – Diagrama unifilar no ATP: Energização de LT (sem e com para-raios)

A FIGURA 9 apresenta os resultados das tensões no terminal receptor da linha sem e com para-raios, respectivamente para as três fases no AnaHVDC e no ATP, com as curvas visualmente coincidentes.

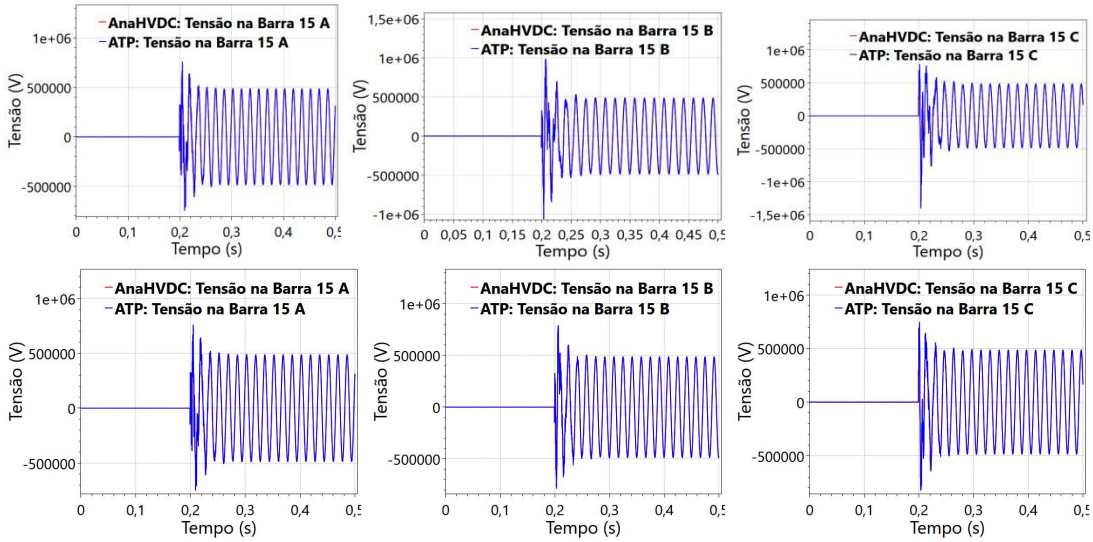


FIGURA 9 – Energização de linha de transmissão: Energização sem e com para-raios

A FIGURA 10, por sua vez, mostra a comparação do caso sem e com para-raios no AnaHVDC, destacando a redução das sobretensões no caso com para-raios e a energia absorvida nos para-raios, respectivamente.

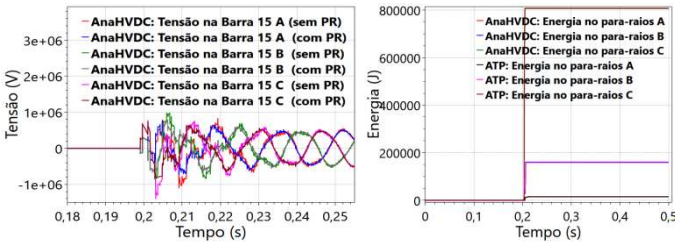
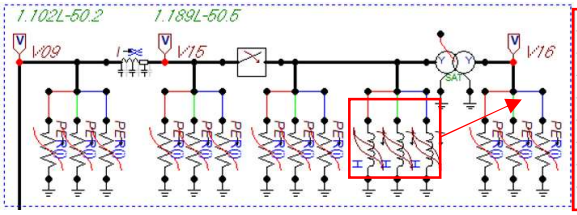


FIGURA 10 – Energização de linha de transmissão: Sobretensões e Energia dos para-raios

3.1.2 Energização de transformadores

A energização de transformador foi simulada com os modelos de para-raios (em ambos os terminais da linha e do transformador) e magnetização (no terminal primário do transformador). Desse modo, essa seção de resultados apresenta a validação desses modelos. O trecho da linha de transmissão considerada foi de 300km e chave de energização contou com dispersão dos polos, sendo os tempos de fechamento $t_a = 0{,}203s$, $t_b = 0{,}200s$ e $t_c = 0{,}197s$. A FIGURA 11 mostra o diagrama unifilar no ATP e os dados da curva **F** versus **I**. A curva V versus I é a mesma informada na seção 3.1.1 (com as tensões corrigidas para a terminal de baixa do transformador).



I [A]	Fluxlinked [Wb-T]
1.05083159	866.329375
5.00111128	1082.91172
6.87440267	1137.0573
9.90403064	1191.20289
13.7024932	1245.34848
18.797932	1299.49406
347.003827	1353.63965
771.727584	1407.78523

FIGURA 11 – Diagrama unifilar no ATP: Energização de transformadores

A FIGURA 12 apresenta os resultados das tensões e correntes de magnetização no terminal de baixa do transformador com para-raios e magnetização, respectivamente para as três fases no AnaHVDC e no ATP, com as curvas visualmente coincidentes.

A simulação apresenta uma sobretensão com conteúdo harmônico sustentada em regime permanente caracterizando o fenômeno de ferroressonância. A FIGURA 13 mostra tal fenômeno em três faixas temporais: (i) considerando a simulação completa; (ii) considerando a energização e transitório inicial e, por fim; (iii) considerando o regime permanente com sobretensão sustentada.

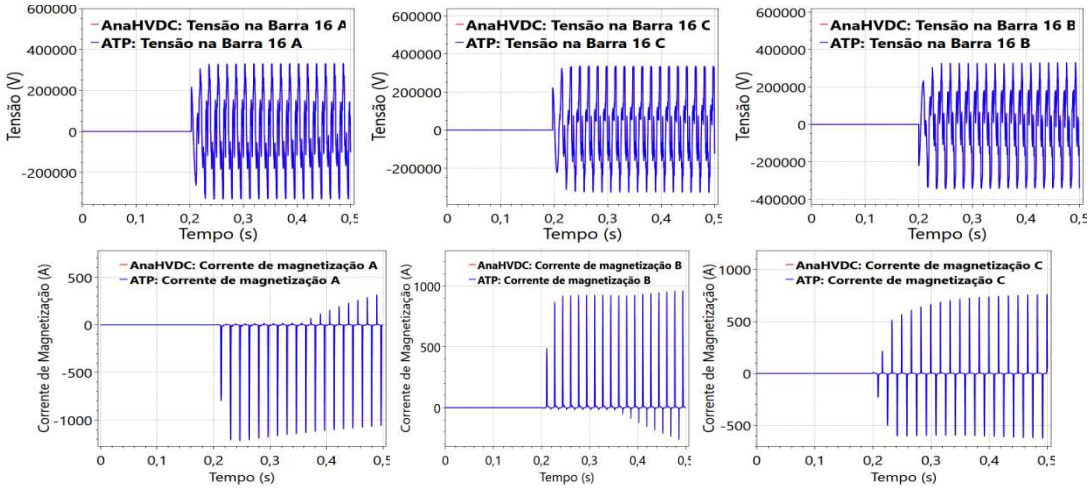


FIGURA 12 – Energização de transformador: Energização sem e com para-raios

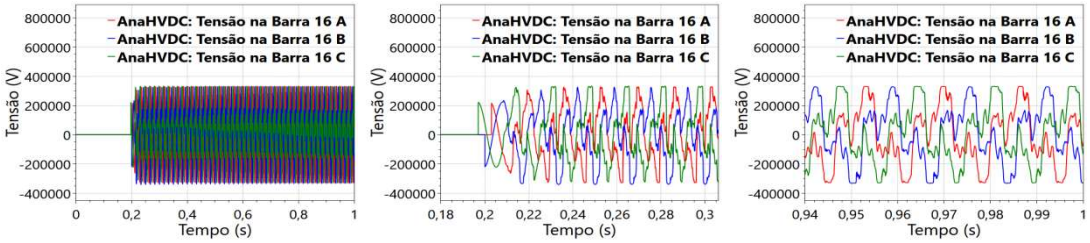
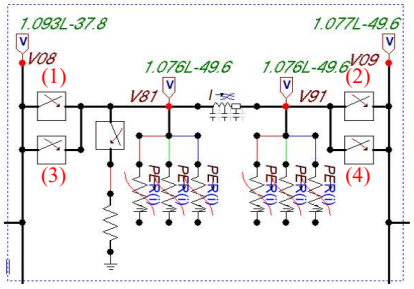


FIGURA 13 – Energização de transformador: Efeito de ferrorressonância

3.1.3 Religamento de linhas de transmissão

O religamento de linha proposto entre as barras 08 e 09. O defeito considerado foi monofásico com resistor de 10 Ω tanto para o religamento tripolar como para o religamento monopolar. Na FIGURA 14 está o diagrama unifilar no ATP e a sequência de operação das chaves. Para o religamento tripolar foram monitoradas as sobretensões no terminal oposto ao de aplicação do defeito e no religamento monopolar no mesmo terminal de aplicação do defeito.



Religamento Tripolar
- Curto 1Φ em t=0,02s (lado barra 08)
- Abertura disjuntor1 em t=0,12s
- Abertura disjuntor2 em t=0,14s
- Extinção do curto em t=0,18s
- Religamento do disjuntor3 em t=0.62s
- Religamento do disjuntor4 em t=0,64s

Religamento Monopolar
- Curto 1Φ em t=0,02s (lado barra 08)
- Abertura disjuntor1, fase a, em t=0,12s
- Abertura disjuntor2, fase a, em t=0,14s
- Extinção do curto em t=0,5s
- Religamento do disjuntor3, fase a, em t=0.62s
- Religamento do disjuntor4 , fase a, em t=0,64s

FIGURA 14– Diagrama unifilar no ATP: Religamento de LT

A FIGURA 15 mostra as sobretensões no lado oposto ao da aplicação do defeito tanto no AnaHVDC quanto no ATP. Nota-se que as curvas estão visualmente coincidentes para as três fases monitoradas.

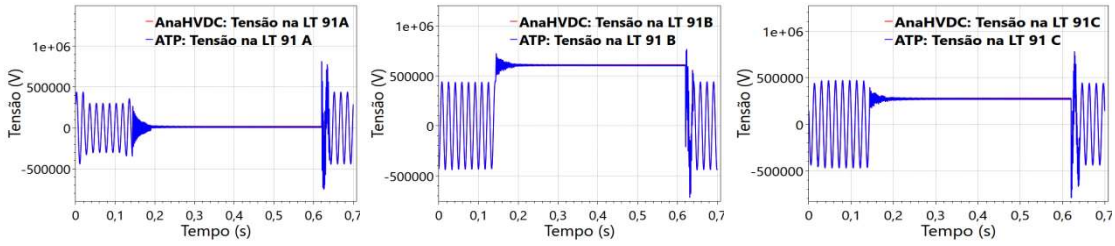


FIGURA 15 – Religamento Tripolar

A FIGURA 16, por sua vez, mostra as sobretensões no lado de aplicação do defeito tanto no AnaHVDC quanto no ATP. Assim como no religamento monopolar, percebe-se as três fases visualmente coincidentes.

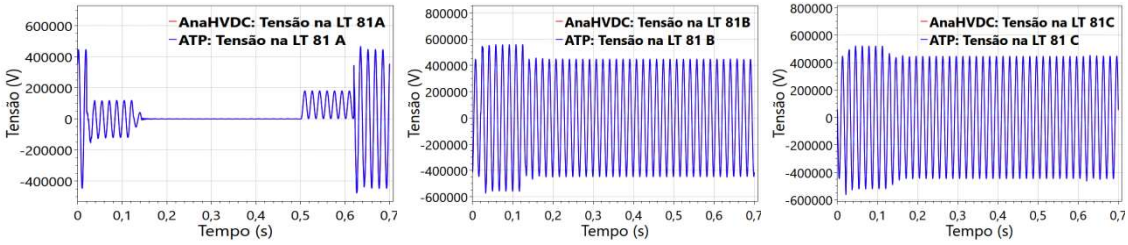


FIGURA 16 – Religamento Monopolar

A FIGURA 17 mostra a corrente de curto-circuito em três momentos distintos: (i) corrente de curto-circuito no intervalo de simulação; (i) corrente de curto-circuito antes do religamento (arco primário) e; (iii) corrente de curto-circuito depois do religamento e antes da extinção (arco secundário).

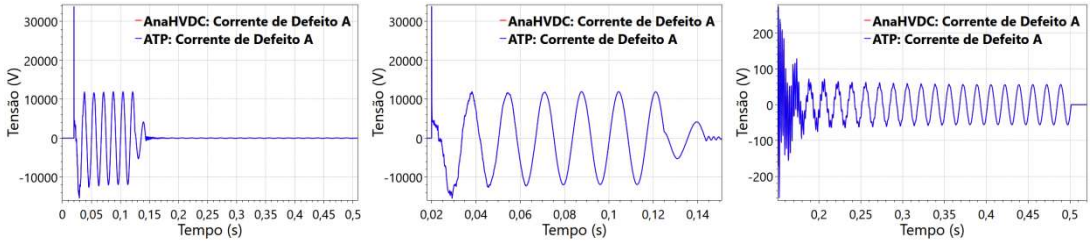


FIGURA 17 – Corrente de defeito: Arco primário e secundário

3.1.3.1 Variação de cenários geração/carga utilizando os modelos implementados.

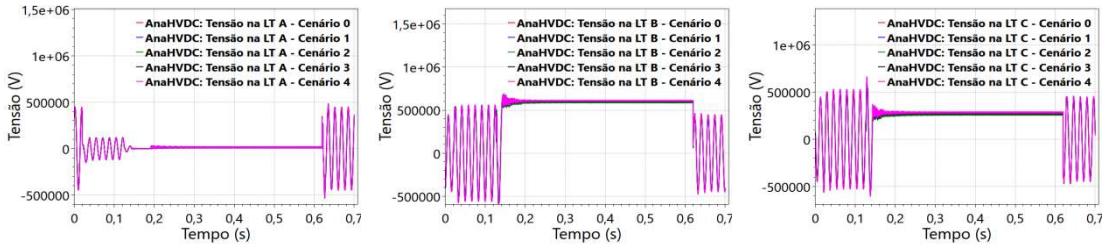
Essa seção se destina realizar a análise frente a cenários considerando diferentes níveis de carregamento do sistema. A partir do cenário existente no caso base, outros cenários foram criados e seguem apresentados na TABELA 3. Com isso pretende-se avaliar essas diversas condições operativas para o estudo do religamento de linha de transmissão.

Ressalta-se que nesse momento esses cenários são criados no AnaHVDC a partir de pontos de operação distintos definidos no arquivo de fluxo de potência.

TABELA 3 – Cenários com variação de geração e carga

Cenários	Gerações [MW]					Cargas [MW]				
	P_{01}	P_{02}	P_{03}	P_{04}	V_{14}	P_{06}	P_{09}	P_{10}	P_{11}	P_{12}
0	1579	1600	4127	3000	3000	100	5000	2000	2500	3500
1	1492	1700	4652	3500	3500	120	5200	2500	3000	3800
2	1603	1800	5590	4000	4000	200	6000	3000	3500	4000
3	1596	1500	3668	2500	2500	80	4500	1800	2200	3000
4	1520	1400	3287	2000	2000	50	4000	1500	2000	2500

Os resultados para os cenários apresentados considerando as três fases e sua respectiva faixa de ampliação no transitório de religamento é apresentado na FIGURA 18.



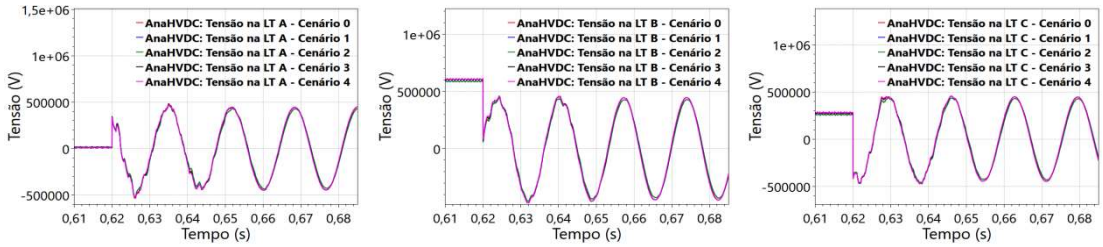


FIGURA 18 – Análise dos cenários

Neste caso a variação da sobretensão máxima entre o caso com maior e menor sobretensão foi pequena, ou seja, 534,861 kV e 524,074 kV, respectivamente, representando apenas 2,016% de variação. No entanto em outros casos, estas variações podem ser significativas e acredita-se que este recurso pode ser importante para maior precisão destes valores máximos que podem ocorrer. Ressalta-se ainda que nos estudos deve-se considerar as situações de rede degradada e a evolução do sistema ao longo do horizonte de operação, onde este recurso deve facilitar bastante na questão de redução do esforço necessário na preparação de equivalentes utilizados em um estudo com programas convencionais. Com isso ilustra-se a possibilidade da ferramenta ser capaz de automatizar a análise de diversos cenários operativos. O artigo mostrou essa aplicação em uma rede representada por equivalentes, contudo como consequência futura o mesmo poderá ser obtido em um sistema completo, a exemplo do SIN.

4.0 CONCLUSÃO

Destaca-se que o trabalho apresentado validou os modelos de para-raios e magnetização de transformadores implementados no programa AnaHVDC, porém ainda não foram exauridas as possibilidades de modelagem e análise. Entre os desenvolvimentos subsequentes podem ser destacados: estudo de tensão de restabelecimento transitória; consideração da histerese e do fluxo residual no modelo de magnetização; análise estatística nos modelos de chaves; e consideração de modelos de linhas de transmissão dependentes com a frequência.

Algumas vantagens podem ser evidenciadas na abordagem proposta pela ferramenta. O compartilhamento da base de dados de fluxo de potência (ANAREDE), curto-circuito (ANAFAS) e estabilidade (ANATEM) pelo AnaHVDC permite que uma automatização de cenários seja obtida. Além disso ao utilizar a rede elétrica completa, evita-se a dispendiosa preparação de equivalentes. E, por fim, a modelagem por fasores dinâmicos permite a inicialização em regime permanente dos componentes do sistema em análise, mesmo em cenários possivelmente instáveis.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) D'AJUZ, Ary et al. 1987. Transitórios elétricos e coordenação de isolamento: aplicação em sistemas de potência de alta tensão. 1987.
(2) JÚNIOR, Luiz Cera Zanetta. Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência Vol. 52. EdUSP, 2003.
(3) GOMES JR, S. et al. O novo Programa Computacional ANAHVDC para Simulação dos Múltiplos Elos HVDC do SIN considerando Transitórios Eletromecânicos e Eletromagnéticos. Belo Horizonte, Brasil, 2019.
(4) Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão.
(5) DE CARVALHO, Paulo Fernando Santos Dias. ANÁLISE DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS DE MANOBRA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

6.0 DADOS BIOGRÁFICOS

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 trabalha em desenvolvimento de software como contratado no Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) com foco em modelos de acompanhamento em fasores dinâmicos (MAFD) aplicado em componentes e equipamentos na área de transitórios eletromagnéticos de manobra.

(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) 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.

(4) 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.