



**XXIII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GDS/23  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – X**

**GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS**

**UMA METODOLOGIA PARA MODELAGEM DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVOS E CAPACITIVOS PARA ANÁLISE DE TRANSITÓRIOS DE ALTAS FREQUÊNCIAS**

<b>Matheus de Castro Camargo(*)</b>	<b>Gustavo Marchesan</b>	<b>Lenois Mariotto</b>	<b>Ghendy C. Jr.</b>	<b>Luiz F. Gutierrez</b>
<b>UFSM</b>	<b>UFSM</b>	<b>UFSM</b>	<b>UFSM</b>	<b>UFSM</b>

**RESUMO**

O trabalho apresenta a modelagem de Transformadores de Potencial Indutivos e Capacitivos visando a análise de transitórios em Sistemas Elétricos de Potência. Os modelos atendem uma ampla faixa de frequências, e foram criados a partir de uma matriz de admitâncias, obtida através de ensaios com a utilização de um *Sweep Frequency-Response Analyzer* (SFRA) comercial. Aplica-se a então uma técnica de Ajuste Matricial que resulta na criação de um complexo modelo RLC equivalente do TPI ou TPC ensaiado, próprio para aplicação em programas de transitórios eletromagnéticos como o Alternative Transients Program (ATP-EMTP). A metodologia foi testada em equipamentos disponibilizados pela (CEEE-GT).

**PALAVRAS-CHAVE**

Modelagem de TPIs e TPCs, Transitórios Eletromagnéticos, ATP-EMTP, Ensaio em Frequência.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP) estão sujeitos à diversas perturbações que podem resultar em transitórios eletromagnéticos na rede, tais como descargas atmosféricas, curtos-circuitos e chaveamentos. A manutenção do funcionamento de um SEP durante tais ocorrências depende da correta operação de seus sistemas de medição, proteção e controle.

Os Transformadores de Potencial Indutivos e Capacitivos (TPIs) e (TPCs) devem reproduzir com fidelidade em seus terminais secundários o comportamento da tensão elétrica presente no seu terminal de alta tensão. Sabe-se, porém, da dificuldade destes equipamentos em realizarem tal tarefa quando submetidos à rápidas variações de tensão ocasionadas por fenômenos transitórios no sistema. Isso pode acarretar em falhas nos dispositivos de proteção, como, por exemplo, atuações indevidas de relés. A probabilidade desse problema aumenta à medida que são inseridos relés de atuação mais rápida e sensível no sistema, uma vez que os antigos relés eletromecânicos, devido à sua resposta mais lenta, poderiam não ser sensibilizados por fenômenos muito rápidos. Contudo, para simular e analisar previamente a resposta de um SEP frente a distúrbios de frente muito rápida, são necessários modelos eficientes dos equipamentos que o compõem em uma ampla faixa de frequência.

O estudo da modelagem de TPIs e TPCs não é novidade. Existem diversos modelos desses equipamentos disponíveis na literatura, com representações baseadas desde suas funções de transferência a até por circuitos elétricos equivalentes<sup>1,2</sup>. Porém, esses modelos possuem limitações como restrição à estudos de baixas e médias frequências, geralmente até 10 kHz, necessidade de saber os valores de todos seus parâmetros elétricos e acoplamentos mútuos, indutivos e capacitivos, além de suas características físicas e construtivas. Contudo, ao se analisar transitórios, os modelos devem considerar também comportamentos não lineares e efeitos dependentes da frequência. De forma a atender a esses requisitos, este trabalho apresenta uma alternativa de modelagem de TPIs

(\*) Avenida Roraima, n° 1000 – Sala 503 – Prédio 10 – CEP 97.105-900 Santa Maria, RS – Brasil  
Tel: (+55 55) 9711-6975 – Email: matheuskamargo@gmail.com.br

e TPCs para estudos de transitórios que resultam em frequências na ordem de até 3 MHz. Acima dessa faixa de frequência, a obtenção de um modelo confiável torna-se prejudicada por interferências e limitações técnicas do equipamento.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O processo de modelagem proposto baseia-se no conceito “Caixa Preta”, no qual se busca representar o comportamento de um quadripolo visto a partir de seus terminais para uma certa faixa de frequência. A fim de explicar mais detalhadamente o método proposto, dividiu-se o desenvolvimento do modelo em três etapas.

### 2.1 Medições de resposta em frequência

A modelagem é feita a partir do ensaio do transformador para a obtenção de sua Matriz Admitância de Curto-Circuito. Para a realização desse ensaio, utilizou-se um SFRA comercial pertencente à CEEE-GT. Uma conexão especial precisou ser utilizada<sup>3</sup>, uma vez que esse equipamento foi desenvolvido com outro propósito, o da realização de estudos de transferência de tensão para detectar possíveis deformações mecânicas ou falhas internas em transformadores de potência.

Essas conexões alternativas entre o SFRA e o equipamento ensaiado, para a obtenção das relações de tensões V11 e V12 que serão utilizados para criar os elementos a matriz de admitâncias, de ordem 2x2, são apresentadas na Figura 1. Nessas ilustrações, as expressões *Measurement*, *Reference* e *Output* representam os terminais disponíveis no SFRA, enquanto que, nos esquemas dos TPIs e TPCs, para a notação da matriz admitância (2x2), H1=1 e X1=2. A partir da Figura 1 (a), a medição da relação de tensões V22, é realizada apenas pela troca da conexão entre os terminais H1 e X1, ficando X1 ligado às saídas *Reference* e *Output* do SFRA e o terminal H1 aterrado. Enquanto isso, para obter a relação de tensões V21, a partir da Figura 1 (b), basta inverter as ligações dos terminais H1 e X1, ficando o terminal X1 ligado à *Measurement* e H1 conectado à *Reference* e *Output*. Além de seguir tais conexões, ao ensaiar os elementos da diagonal principal, é importante se unir as blindagens dos cabos do SFRA sem aterrá-las. Já para a medição dos elementos fora da diagonal principal, esse aterramento deve ser realizado.

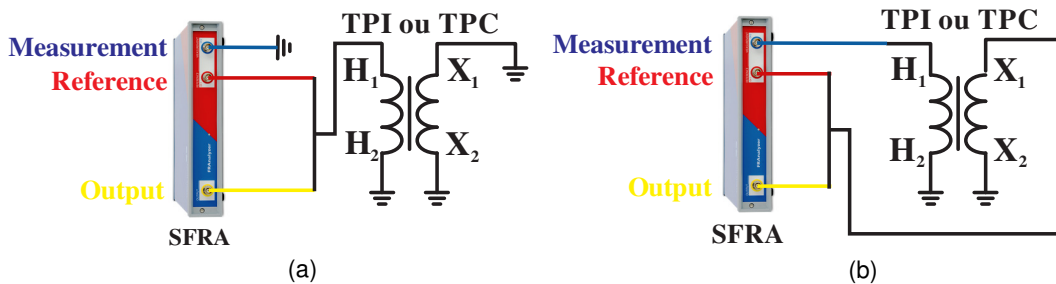


FIGURA 1 – Conexão entre SFRA e o TPI ou TPC para medição das relações de tensões:  
(a) Medição da relação de tensões V11 e (b) Medição da relação de tensões V12.

### 2.2 Correção da matriz de admitâncias

Conforme comentado anteriormente, o SFRA disponível é designado para o diagnóstico de defeitos em transformadores através da análise das transferências de tensão entre seus terminais, não apresentando a possibilidade de medir diretamente corrente elétrica. Entretanto, essa medição pode ser realizada indiretamente através de um resistor shunt interno de 50  $\Omega$  do equipamento. Sendo assim, a matriz de admitâncias obtida através do ensaio não é simétrica e precisa ser corrigida<sup>3</sup>.

A aquisição de dados do SFRA dá-se a partir da injeção de uma tensão através do canal Output e medição da relação do módulo e ângulo das tensões nos terminais Reference ( $V_{REF}$ ) e Measurement ( $V_{MEAS}$ ). Normalmente o SFRA não disponibiliza as tensões medidas, fornecendo apenas a magnitude em decibéis da relação  $R(s) = V_{MEAS}(s) / V_{REF}(s)$ . O resultado de R(s) é expresso na forma polar, com valores de magnitude (“Vij” em decibéis) e fase (“Fij” em graus). Com isso, além da conversão da magnitude de logaritmo para linear, é necessário transformar essa relação de tensões para a forma retangular, a ser chamada de “Tji”. As Equações (1) e (2) realizam, consecutivamente, essas conversões para os elementos da diagonal principal (“Tii”) e para os elementos fora da diagonal (“Tji”).

$$T_{ii} = 10^{(V_{ii}/20)} e^{i \cdot (F_{ii} \cdot \pi / 180)} \quad (1)$$

$$T_{ji} = 10^{\left( \frac{V_{ji}}{20} \right)} \cdot e^{i \cdot (F_{ji} \cdot \pi / 180)} \quad (2)$$

A partir daí, os elementos da matriz de admitâncias  $Y(s)$  podem ser corretamente calculados<sup>3</sup>. Os componentes da diagonal principal, chamados de admitâncias próprias, são ajustados pela Equação (3).

$$Y_{ii}(s) = \frac{V_{MEAS}(s)}{Z_{in}(V_{REF}(s) - V_{MEAS}(s))} \quad (3)$$

Ao dividir o numerador e denominador dessa operação por “ $V_{REF}$ ”, obtém-se a Equação (4) a seguir.

$$Y_{ii}(s) = \frac{V_{MEAS}(s) / V_{REF}(s)}{Z_{in}(1 - (V_{MEAS}(s) / V_{REF}(s)))}. \quad (4)$$

Por fim, designando “ $T_{ii}$ ” igual à relação  $V_{MEAS}(s) / V_{REF}(s)$ , e assumindo o valor de  $50 \Omega$  da impedância interna do instrumento, “ $Z_{in}$ ”, os valores das admitâncias próprias são obtidos através da Equação (5).

$$Y_{ii}(s) = \frac{T_{ii}(s)}{50(1 - T_{ii}(s))}. \quad (5)$$

O procedimento de correção para as admitâncias mútuas entre os terminais  $j$  e  $i$ , representadas pelos elementos fora da diagonal principal da matriz de admitâncias, é apresentado na Equação (6).

$$Y_{ji}(s) = - \left( \frac{V_{MEAS}(s)}{Z_{in} \cdot V_{REF}(s)} + Y_{jj} \cdot \frac{V_{MEAS}(s)}{V_{REF}(s)} \right). \quad (6)$$

De maneira similar ao que foi feito com as equações (3) e (4), e assumindo o valor de  $50 \Omega$  para “ $Z_{in}$ ”, as admitâncias mútuas resultam da Equação (7).

$$Y_{ji}(s) = - \left( \frac{T_{ji}}{50} + Y_{jj} \cdot T_{ji} \right). \quad (7)$$

### 2.3 Aplicação da aproximação racional através do ajuste matricial

Após seu processo de construção e correção, a matriz de admitâncias é submetida ao método de Ajuste Matricial. O objetivo nessa etapa é de se obter um circuito equivalente cuja matriz admitância nodal corresponda à matriz admitância do transformador original. Esse ajuste é uma aproximação da resposta em frequência por meio de funções racionais, e faz parte da rotina do Ajuste Vetorial<sup>4,5,6</sup>.

O método do Ajuste Vetorial aproxima a resposta em frequência,  $f(s)$ , por funções racionais expressas em frações parciais, conforme Equação (8). Nessa equação, as variáveis “ $d$ ” e “ $e$ ” são opcionais, enquanto que “ $r$ ” e “ $p$ ” representam, respectivamente, os resíduos e pólos das frações.

$$f(s) \approx \sum_{k=1}^N \frac{r_k}{s - p_k} + d + se \quad (8)$$

Basicamente, esse método de ajuste é uma técnica de realocação iterativa de pólos através da repetida solução de problemas lineares até que se atinja o critério de convergência. A ferramenta do Ajuste Matricial é de domínio público e está livremente disponível para fins não-comerciais no programa MATLAB<sup>®</sup>. Como resultado desse processo têm-se a função racional aproximada, expressa na forma de espaço de estados ou modelo de pólos e resíduos, e seu circuito equivalente RLC. Esse modelo RLC é próprio para aplicação em programas de análises de transitórios eletromagnéticos, tal como o ATP-EMTP.

### 3.0 - CRIAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Disponibilizados pela CEEE-GT, o TPI e TPC utilizados nesse estudo foram submetidos a dois ensaios preliminares. Primeiramente foram realizados os procedimentos com o SFRA, do qual obtiveram-se as relações de

de transferência de tensão do transformador para o posterior cálculo da matriz de admitâncias. Em seguida, efetuou-se um teste de resposta ao degrau de tensão em cada equipamento, para comparar a resposta ao degrau de tensão do modelo criado no ensaio. O degrau de tensão foi aplicado ao terminal de alta tensão do TPI e do TPC através de um gerador de funções, e as medições realizadas através de um osciloscópio. Os modelos criados foram validados através da análise comparativa entre as respostas ao degrau de tensão realizado na prática e a resposta obtida no modelo sob as mesmas condições através do ATP-EMTP.

### 3.1 Modelagem do Transformador de Potencial Indutivo

O TPI utilizado, disponível no Sistema Jacuí da CEEE-GT, é da classe 138 kV, e tem seus dados de placa descritos na Tabela 1.

TABELA 1 – Dados de Placa TPI de 138 kV

Tensão Primária (kV)	$138/\sqrt{3}$
Tensão Secundária (V)	$100/\sqrt{3}$
Relação de Transformação	1380:1
Frequência (Hz)	60

Seguindo as etapas de modelagem apresentadas, utilizou-se o SFRA para obter a matriz de transferência de tensão do TPI, com taxa de amostragem de 150 frequências logaritmicamente distribuídas entre 20 Hz e 3 MHz. Após o processo de cálculo e correção da matriz admitância, foi aplicado o método do Ajuste Matricial com uma ordem de aproximação de 140 polos. Ao final do processo de ajuste, foi criado o modelo RLC equivalente do TPI.

De forma a validar o modelo do TPI, um degrau de tensão de 20 V de amplitude foi aplicado no seu terminal primário de AT. A Figura 2, onde a tensão primária está representada em azul forte e a tensão secundária em azul fraco, compara as respostas ao degrau do TPI ensaiado (a) e do modelo gerado (b). A Figura 2 (a) apresenta uma escala de 10 V por divisão para a tensão primária e 2 V para a tensão no terminal secundário.

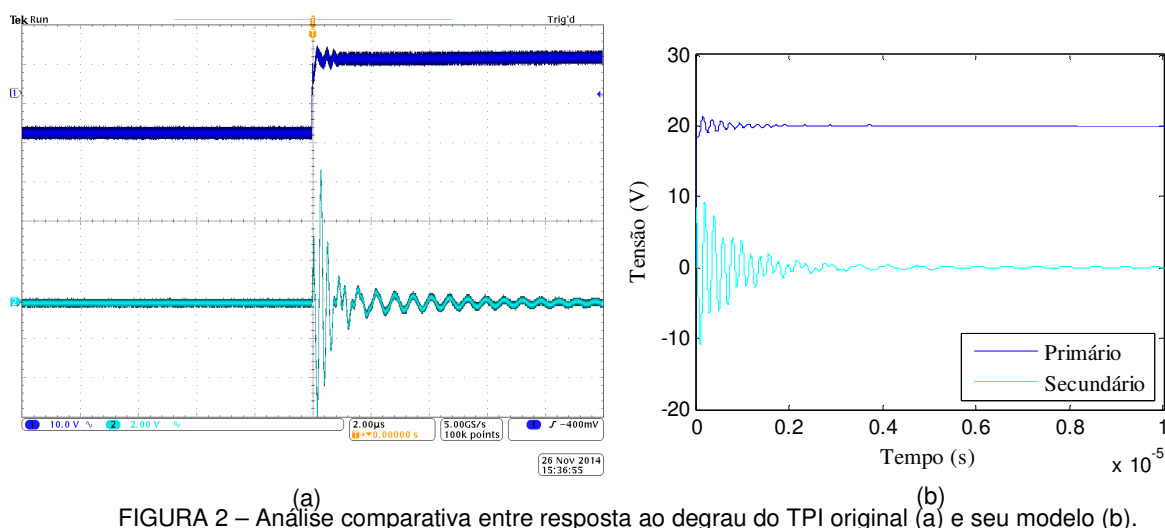


FIGURA 2 – Análise comparativa entre resposta ao degrau do TPI original (a) e seu modelo (b).

Analisando ambos gráficos, percebe-se uma excelente correspondência entre as respostas, apresentando concordâncias em amplitude, fase e frequência.

### 3.2 Modelagem do Transformador de Potencial Capacitivo

O TPC ensaiado é da classe de 230 kV e está localizado no depósito da CEEE-GT na cidade de Canoas - RS. A Tabela 2 especifica alguns dados de placa desse TPC.

TABELA 2 – Dados de Placa TPC de 230 kV

Tensão Primária (kV)	$230/\sqrt{3}$	
Tensão Secundária (V)	X1-X3	115
	X2-X3	$115/\sqrt{3}$
Tensão Intermediária (kV)	$23/\sqrt{3}$	
Relação de Transformação	1154,7 - 1380:1	
Capacitâncias ( $\mu\text{F}$ )	C1	0,0129
	C2	0,1160
Frequência (Hz)	60	

A etapa de obtenção das tensões transferidas com a utilização do SFRA se deu com a coleta de 400 pontos em frequências logaritmicamente espalhadas entre 20 Hz e 3 MHz. Realizados o cálculo e correção da matriz admitância, essa foi submetida ao Ajuste Matricial para realização da aproximação e criação do modelo. O resultado da aproximação para 140 polos pode ser visualizado na Figura 3, onde os dados da matriz de admitâncias original está em azul, as linhas vermelhas marcam o resultado da aproximação, e a diferença entre ambas está em verde. Nessa figura, são representadas três curvas pelo fato de a matriz de admitâncias corrigida ser simétrica, não sendo necessário calcular duas vezes o elemento fora da diagonal.

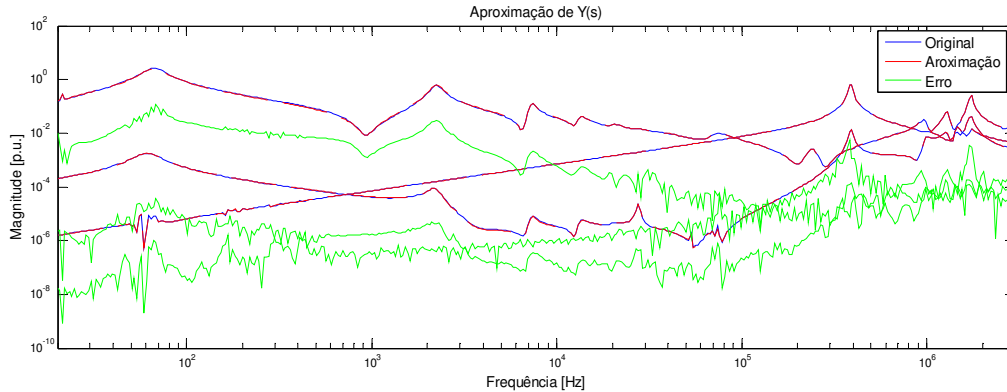


FIGURA 3 – Resultado da aproximação da Matriz de Admitâncias do TPC

A validação do modelo, apresentada na Figura 4, foi realizada através da comparação entre as respostas ao degrau das tensões primária (a) e secundária (b) do TPC ensaiado, em vermelho, e de seu modelo gerado, em preto.

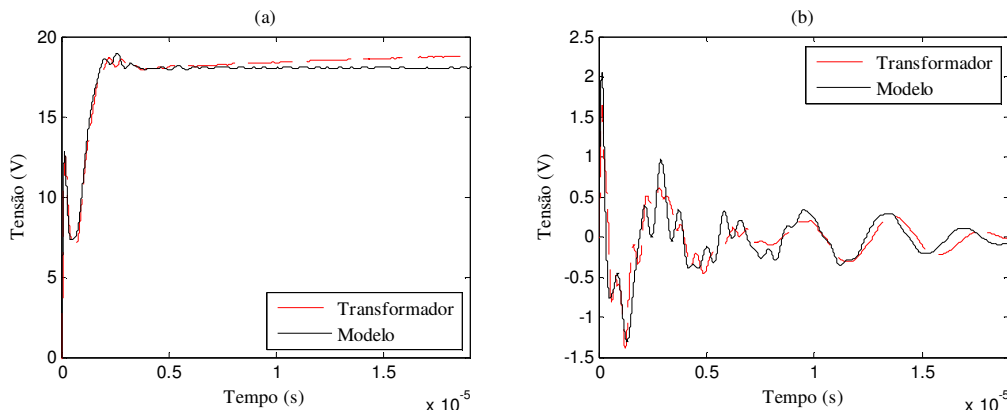


FIGURA 4 – Análise comparativa entre as respostas do teste a degrau das tensões do terminal primário (a) e secundário (b) do TPC original, em vermelho, e seu modelo, em preto.

A análise acima revela uma boa concordância entre os resultados do TPC real e de seu modelo. Entretanto, também é possível notar que, a partir de 10  $\mu$ s, começa a aparecer uma pequena discrepância entre suas amplitudes e fases. Essa diferença pode ser explicada pela não-linearidade existente em baixas frequências em TPCs com núcleo de ferro embutido no secundário do transformador intermediário, que não pode ser representada pelo modelo.

#### 4.0 - APLICAÇÃO DOS MODELOS NA SIMULAÇÃO DE TRANSITÓRIOS EM UM SEP

Os modelos criados do TPI e TPC foram aplicados em simulações no programa ATP-EMTP para comprovar sua funcionalidade na análise de transitórios em SEP. A partir de sistemas elétricos testes, dois fenômenos foram testados: curto-circuito trifásico e teste padrão de impulso atmosférico 1,2/50  $\mu$ s. As configurações dos eventos na simulação são iguais. O curto-circuito, com uma impedância de falta de 100  $\Omega$ , consiste no fechamento de uma chave em 10 ms que é conectada ao terminal primário dos equipamentos, e tem 5 ms de duração. A descarga atmosférica, representada por uma fonte de corrente de 10 kA com tempo de frente de onda de 1,2  $\mu$ s e tempo de cauda de 50  $\mu$ s, foi inserida, em ambos os casos, em 10 ms e extinta 100  $\mu$ s depois. Em todas as simulações, um resistor de 1 M $\Omega$  é conectado ao terminal secundário do TPI ou TPC apenas para ser possível a medição da tensão no terminal, visto que o modelo RLC equivalente criado está representado por um bloco.

#### 4.1 Aplicações com o modelo do TPI

O modelo do TPI foi empregado a um equivalente elétrico de um SEP real, obtido a partir do programa ANAFAS®, do Sistema Interligado Nacional (SIN) na barra de 138 kV da subestação Santa Maria 1 (SM1), cidade localizada no estado do Rio Grande do Sul. A Figura 5 representa o sistema utilizado através de seu diagrama unifilar, onde foram adicionados uma linha de transmissão e uma carga com fator de potência unitário.

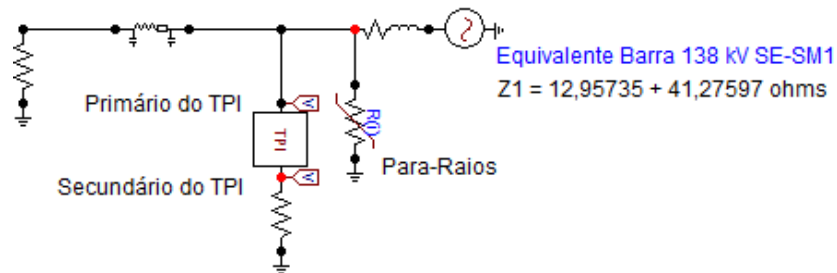


FIGURA 5 – Sistema teste para simulação do modelo do TPI.

Para a reprodução do curto-circuito trifásico, a chave foi posicionada no nó do primário do TPI, na zona de 138 kV. As Figuras 6-a e 6-b comparam, com valores de pico fase-terra, respectivamente as respostas das tensões dos terminais primário e secundário do TPI.

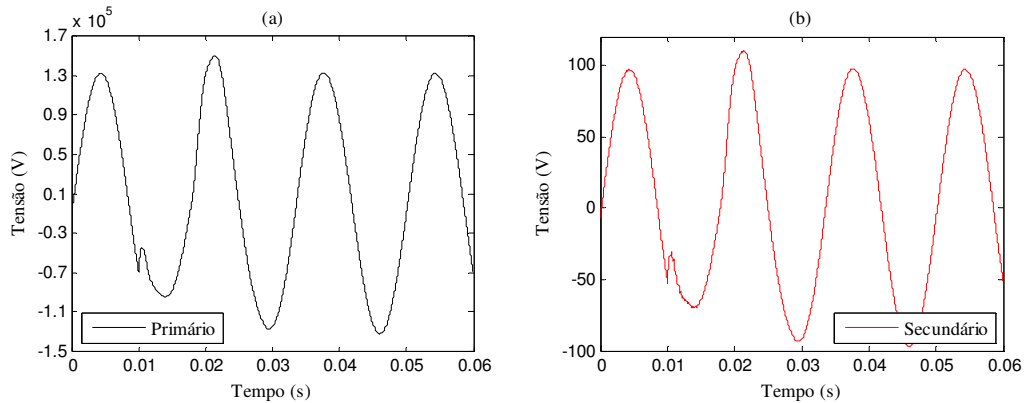


FIGURA 6 – Resposta Tensão Terminal Primário (a) e Secundário (b) do TPI na simulação de curto-circuito trifásico.

Observa-se que a tensão no secundário reproduz de maneira adequada a tensão do terminal primário do TPI tanto durante a ocorrência do curto quando após sua extinção.

O teste de impulso atmosférico foi inserido no sistema a partir do terminal de 138 kV do TPI. As Figuras 7-a e 7-b mostram, respectivamente, a influência da descarga nas tensões dos terminais primário e secundário do TPI.

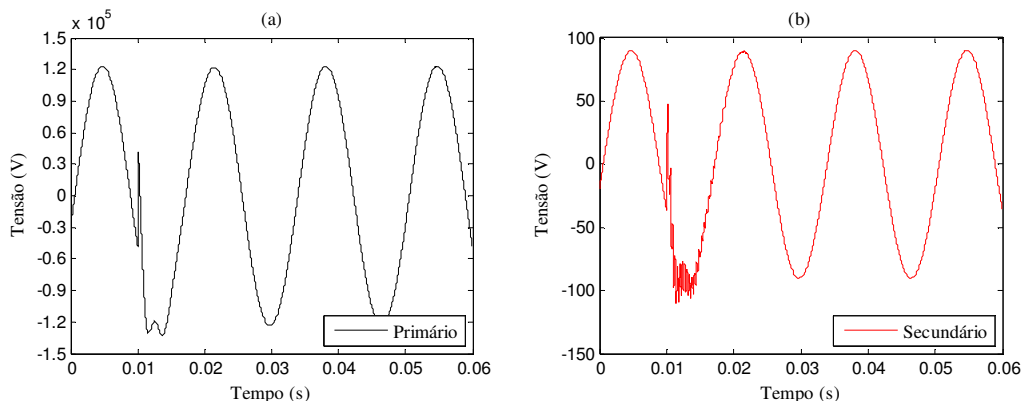


FIGURA 7 – Resposta Tensão Terminal Primário (a) e Secundário (b) do TPI na simulação de Descarga Atmosférica.

Verifica-se na onda de tensão primária, que a descarga, pela atuação dos para-raios, não eleva muito a tensão no ponto, embora seu efeito seja muito rápido. Essa mudança brusca de tensão é refletida no terminal secundário, sendo corretamente representada pelo modelo do TPI.

#### 4.2 Aplicações com o modelo do TPC

O sistema utilizado na aplicação do modelo do TPC é um equivalente elétrico de um SEP real do SIN na barra de 230 kV da subestação Santa Maria 3 (SM3). Complementarmente ao equivalente, conforme diagrama unifilar da Figura 8, inseriu-se um para-raios da classe de 230 kV, além de uma linha de transmissão e uma carga com fator de potência unitário.

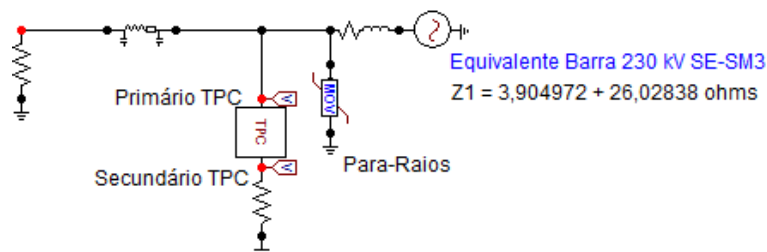


FIGURA 8 – Sistema teste para simulação do modelo do TPC.

O curto-circuito foi reproduzido pelo fechamento de uma chave posicionada no nó do primário do TPI no tempo de 10 ms, sendo eliminado 5 ms depois. As Figuras 9-a e 9-b comparam, respectivamente, as respostas das tensões dos terminais primário e secundário do TPC.

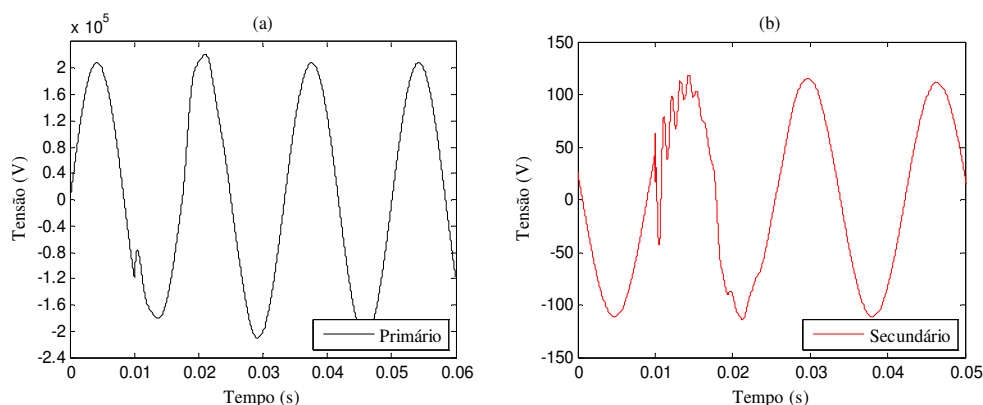


FIGURA 9 – Resposta Tensão Terminal Primário (a) e Secundário (b) do TPC na simulação de curto-circuito.

Devido à característica presença da coluna capacitiva e reator de compensação no TPC, e aliado à súbita presença da falta, a tensão no terminal secundário apresenta significativa dificuldade em representar rapidamente a tensão do terminal primário. Embora esse fato, já esperado, o modelo consegue representar muito bem o comportamento do TPC.

A descarga atmosférica, representada por um rápido impulso de corrente elétrica de 10 kA, foi injetada diretamente no ponto primário do TPC. As Figuras 10-a e 10-b representam, nessa ordem, o comportamento das tensões nos terminais primário e secundário do TPC em função do impulso injetado.

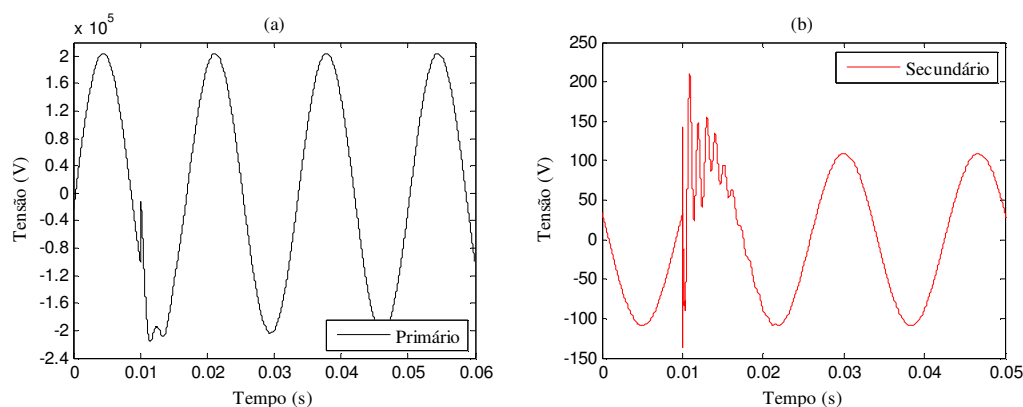


FIGURA 10 – Tensão Terminal Primário (a) e Secundário (b) do TPC na simulação de Descarga Atmosférica.



Nota-se que, no momento da ocorrência do evento, a tensão no terminal secundário chega a atingir um valor em torno de 2 p.u. de sua tensão em regime permanente. A variação da tensão nesse terminal do modelo ratifica o fato de o secundário levar um certo tempo até reproduzir fielmente a tensão do primário frente à sua rápida variação. ■

## 5.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para a modelagem de Transformadores de Potencial Indutivos e Capacitivos válidos para estudos de transitórios em baixas, médias e alta frequências. A partir da utilização de um SFRA comercial com conexões adaptadas, em conjunto com uma rotina no MATLAB® de correção, criou-se uma matriz admitância que representa o TP visto a partir de seus terminais para uma grande faixa de frequências. Ao aplicar o método do Ajuste Matricial nessa matriz, foi obtido um circuito equivalente RLC adequado para utilização em programas de transitórios.

Os modelos criados pelo método proposto foram validados através da análise entre suas respostas e as dos TPIs e TPCs submetidos a um teste de um sinal em degrau de tensão. Foram analisadas, através do programa ATP-EMTP, as respostas dos modelos do TPI e TPC conectados em um SEP submetido a curtos-circuitos trifásicos e descargas atmosféricas. Os resultados dos testes comprovam o comportamento não ideal da tensão secundária dos TPIs e TPCs na presença de falhas e transitórios em seus terminais primários, levando algum tempo para normalizar sua operação. A fidelidade das respostas dos modelos construídos estimulam novos estudos sobre o tema.

O tema deste trabalho é parte integrante de um projeto de P&D aprovado pela ANEEL e desenvolvido em parceria entre a UFSM e a CEEE-GT sob o registro CEEE-GT/9947883.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SULE, I.; ALIYU, U. O.; VENAYAGAMOORTHY, G. K. Simulation Model for Assessing Transient Performance of Capacitive Voltage Transformers. In: Power Engineering Society General Meeting, Montreal. IEEE, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1709533>>. Acesso em: 9 mar. 2015.
- (2) FERNANDES JÚNIOR., D.; NEVES, W. L. A.; VASCONCELOS, J. C. A. Identification of Parameters for Coupling Capacitor Voltage Transformers. In: International Conference on Power Systems Transients, 4., Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/profile/Wla\\_Neves/publication/228897262\\_Identification\\_of\\_parameters\\_for\\_coupling\\_capacitor\\_voltage\\_transformers/links/540eed3c0cf2d8daaac52d1.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Wla_Neves/publication/228897262_Identification_of_parameters_for_coupling_capacitor_voltage_transformers/links/540eed3c0cf2d8daaac52d1.pdf)>. Acesso em: 1 mar. 2015.
- (3) HOLDYK, A.; GUSTAVSEN, B.; ARANA, I.; HOLBOELL, J. Wideband Modeling of Power Transformers Using Commercial sFRA Equipmanet. **IEEE Transactions on Power Delivery**, n. 29, 14 Fev. 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6740866>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- (4) GUSTAVSEN, B.; SEMLYEN, A. Rational approximation of frequency domain responses by vector fitting. **IEEE Transactions on Power Delivery**, n. 14, Jul. 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=772353>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- (5) GUSTAVSEN, B. Improving the pole relocating properties of vector fitting. **IEEE Transactions on Power Delivery**, n. 21, Jun. 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1645204772353>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- (6) DESCHRIJVER, D.; MROZOWSKI, M. DHAENE, T.; DE ZUTTER, D. Macromodelling of Multiport Systems Using a Fast Implementation of the Vector Fitting Method. **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**, n. 18, Jun. 2008. Disponível em: <[http://www.sumo.intec.ugent.be/sites/sumo/files/sumo/2008\\_06\\_IEEE\\_MWCL.pdf](http://www.sumo.intec.ugent.be/sites/sumo/files/sumo/2008_06_IEEE_MWCL.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Matheus de Castro Camargo** nasceu no dia 8 de março de 1991 em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Formou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM em setembro de 2013. Atualmente é estudante de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSM, atuando em pesquisas na área de Sistemas Elétricos de Potência.