



**Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes-GTM**

**MODELAGEM DO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA EM ALTAS FREQUÊNCIAS ATRAVÉS DE MEDIÇÕES EM CAMPO**

**Gabriela Sampaio Rema (1)(2); Dickson Silva de Souza (2); Carlos Magno Rodrigues Vasques (2);  
Guilherme Sarcinelli Luz (3); Rogerio Magalhaes de Azevedo (2); Rômulo dos Santos Delgado (2);  
Helvio Jailson Azevedo Martins (4); Benedito Donizeti Bonatto (1);  
Antonio Carlos Siqueira de Lima (5); Davi Sixel (6).**

**UNIFEI (1); CEPEL (2); ONS (3); CONSULTOR (4); UFRJ (5); FURNAS (6)**

**RESUMO**

Neste trabalho apresenta-se a modelagem de um transformador de potência monofásico de 200 MVA instalado em uma subestação. Esta modelagem foi elaborada a partir de medições de admitância na frequência utilizando cabo coaxial associado a uma técnica para compensação de seu efeito. Faz-se a comparação com os resultados obtidos em trabalhos anteriores (1-2) (5-6) quando a medição foi realizada utilizando fitas de cobre da instrumentação até o terminal da bucha do transformador. Com esta nova medição, obteve-se uma curva que se aproxima mais do comportamento do transformador na frequência e um modelo que representa melhor o equipamento em altas frequências.

**PALAVRAS-CHAVE**

Modelagem de Transformadores, Resposta em Frequência, Modelagem *Black-Box*, Análise em Altas Frequências, Transitórios Eletromagnéticos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O sistema elétrico está sujeito a solicitações eletromagnéticas que podem colocar em risco os equipamentos ligados a ele, como as variações transitórias de altas frequências. E é justamente em um curto período de tempo que os equipamentos estão expostos às maiores solicitações, o que pode comprometer sua vida útil e, conseqüentemente, a confiabilidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica. Sendo assim, são relevantes e necessários estudos sobre a interação entre os equipamentos de alta tensão e o sistema elétrico de potência e a análise das solicitações elétricas impostas aos equipamentos (1-2).

Motivados pela investigação apresentada em (3-4) e exposta em (1-2) e (5), foram realizados estudos a respeito da modelagem de transformadores em altas frequências. O problema de pesquisa foi a análise da interação entre as solicitações transitórias geradas a partir das manobras de chaves seccionadoras e o transformador de potência, sendo necessária sua modelagem em altas frequências (5).

Através da metodologia *black-box* e a partir de métodos existentes na literatura, chegou-se a três modelos de um transformador de potência monofásico de 200 MVA,  $500/\sqrt{3}/138/\sqrt{3}/13,8$  kV, instalado em uma subestação do sistema elétrico brasileiro de grande importância para o suprimento de energia de uma região. Os modelos foram baseados na medição em campo de impedância terminal na frequência (5-6). Em (6), realizou-se a medição de resposta em frequência e a modelagem do transformador na faixa de 10 Hz a 2 MHz. Já em (5) o modelo foi apresentado com um melhor ajuste à curva em altas frequências e a medição de resposta em frequência e modelagem foram realizadas até 10 MHz. Comparou-se a simulação e medição em campo da tensão transitória gerada a partir da manobra de chave seccionadora na subestação blindada isolada a gás SF<sub>6</sub>.

Constatou-se a influência das interferências nas medições de resposta em frequência na modelagem, pois pequenas variações na curva impactam no ajuste do modelo. Acreditava-se que, com uma medição de

impedância terminal na frequência com menor interferência, o resultado da modelagem irá melhorar de forma significativa (1).

Com o objetivo de se chegar a uma resposta em frequência que se aproximasse mais do comportamento do transformador, foram realizadas novas medições de admitância terminal em campo com a utilização de cabo coaxial, associadas a uma técnica para minimizar o efeito do cabo nas medições. Este artigo, portanto, tem como propósito analisar a modelagem do transformador a partir das duas configurações de medição de resposta terminal na frequência. Para tanto, compara-se a medição de admitância terminal na frequência, a modelagem e os resultados das simulações de solicitações transitórias realizadas nas duas configurações. As medições apresentadas neste trabalho foram realizadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL.

## 2.0 - METODOLOGIA

Um ponto crítico ao se trabalhar com modelos baseados na resposta de um equipamento no domínio da frequência é o arranjo das medições, pois a reprodutibilidade dos resultados depende deste arranjo e a sua influência na medição fica cada vez mais criteriosa em função do aumento do limite superior da faixa de frequência em que se deseja avaliar ou modelar o equipamento. A disposição física dos terminais de equipamentos de alta tensão, dadas as dimensões das suas buchas, impede que de forma prática o sinal seja aplicado diretamente nestes, fazendo com que seja necessário um meio para transmissão do sinal (7).

Com o aumento da frequência, aumenta-se a reatância indutiva dos condutores e conexões e a reatância capacitiva possui valor muito baixo (1), tornando-se um caminho de baixa impedância. O efeito dominante dos cabos nas medições é a sua capacitância para a terra (8).

Gustavsen apresenta em (9) um método para compensação do efeito do cabo coaxial para medição da matriz de admitância de transformadores de potência através da representação destes por meio do modelo de linhas de transmissão longas (7).

Utilizou-se nas medições um cabo coaxial de 9 metros da instrumentação até o terminal da bucha do transformador. Através do gerador de funções foi aplicado um sinal de tensão senoidal de 20 Vpp variando a frequência de 50 Hz a 10 MHz. Mediu-se a tensão e, por meio de um HFCT – *High Frequency Current Transformer* –, mediu-se também a corrente. Levou-se em consideração como ponto de acesso para medição da resposta em frequência o terminal de alta tensão (H1) do transformador. A Figura 1 representa o arranjo de medição de admitância terminal na frequência.

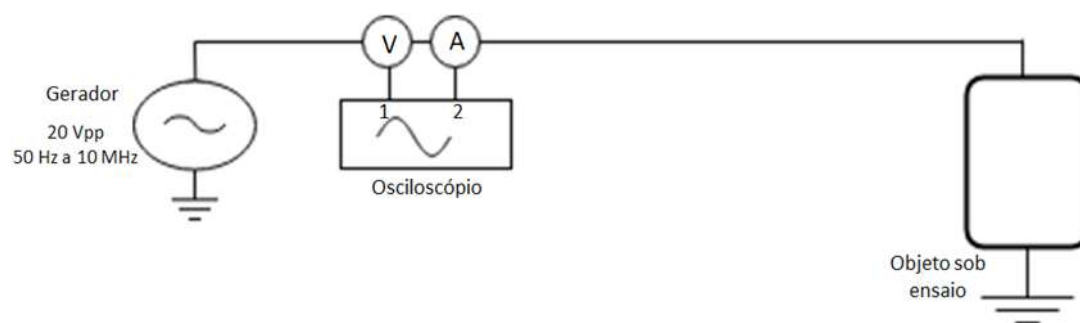


Figura 1 – Representação do sistema de medição de admitância terminal na frequência.

Anteriormente a medição havia sido feita utilizando um medidor RLC com aplicação de um sinal de tensão senoidal de 2 Vpp e fitas de cobre da instrumentação até a bucha do transformador. Em relação ao nível de tensão, aplicou-se um sinal com amplitude dez vezes maior, o que implica em uma medição com menor interferência. Quanto à utilização do cabo coaxial, é possível fazer a compensação do seu efeito, pós-medição, o que não é possível com a utilização das fitas devido à sua geometria e disposição.

Outro aspecto para comparação entre as medições é a condição dos terminais. Na medição feita com as fitas de cobre, mediu-se a impedância; já na medição feita com cabo, foi medida a admitância. Para medição de impedância, os demais pontos de acesso devem permanecer abertos. Já para medição de admitância, devem

estar aterrados. A Tabela 1 indica os pontos de acesso e relaciona com os enrolamentos do transformador e a Figura 2 representa a condição dos terminais na medição de impedância (a) e admitância (b) que serão apresentadas.

Tabela 1 – Pontos de acesso e relação com os enrolamentos do transformador.

PONTOS DE ACESSO	ENROLAMENTOS	
	H1	Alta tensão
X1	Baixa tensão	Secundário
Y1	13,8 kV	Terciário
Y2		

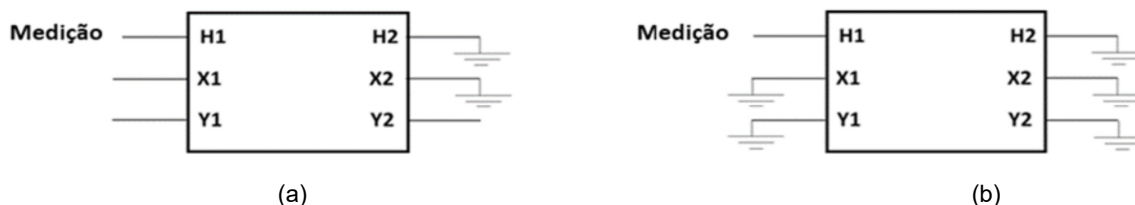


Figura 2 – Condição dos terminais na medição de impedância (a) e admitância (b) vista pelo terminal de alta tensão.

A condição dos demais terminais influencia consideravelmente na medição de resposta em frequência até, aproximadamente, 10 kHz. Sendo assim, para análise em altas frequências, não há alterações impactantes. Todavia, para modelagem através do *Vector Fitting*, os dados devem estar em admitância. Além disso, a medição de admitância possui menor interferência externa pelo fato dos terminais estarem aterrados.

A Tabela 2 resume a comparação entre as condições de medição de resposta em frequência. As Figuras 3 e 4 mostram os resultados do módulo da admitância (impedância invertida ponto a ponto) utilizando fitas de cobre e da admitância medida com cabo coaxial e com a compensação do efeito do cabo. A Figura 3 mostra toda a faixa de frequência medida – de 50 Hz a 10 MHz – e a Figura 4 mostra a faixa de frequência de maior interesse: a partir de 100 kHz. A Figura 5 apresenta o ângulo de fase na faixa a partir de 100 kHz. Definiu-se essa faixa de frequência a partir de simulações da tensão transitória gerada pelas manobras de chaves seccionadoras na subestação em estudo.

Tabela 2 – Comparação entre as condições de medição de resposta em frequência do transformador.

INSTRUMENTAÇÃO	LIGAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TERMINAL DA BUCHA	CONDIÇÃO DOS TERMINAIS
Medidor RLC	Fitas de cobre	Abertos (medição de impedância)
Gerador de Funções, HFTC e Osciloscópio	Cabo coaxial (com compensação de seu efeito)	Aterrados (medição de admitância)

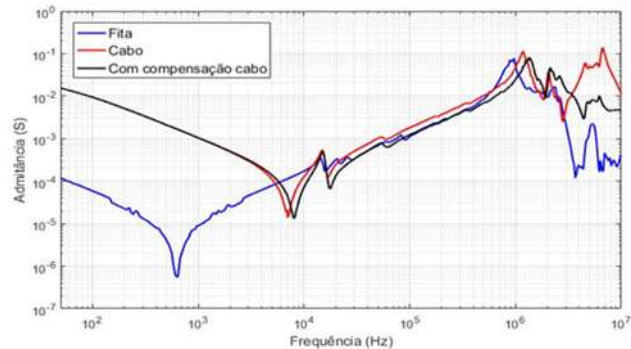


Figura 3 – Módulo da admitância terminal do transformador medido com fita de cobre, cabo coaxial e com a compensação do efeito do cabo.

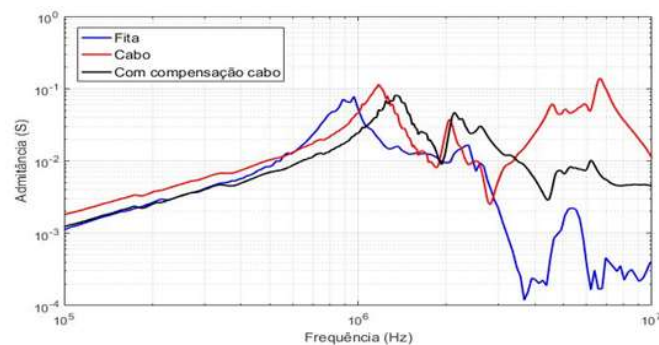


Figura 4 – Módulo da admitância terminal do transformador de 100 kHz a 10 MHz medido com fita de cobre, cabo coaxial e com a compensação do efeito do cabo.

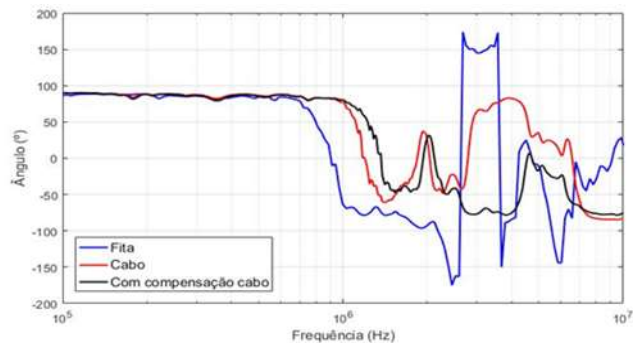


Figura 5 – Ângulo da admitância terminal do transformador de 100 kHz a 10 MHz medido com fita de cobre, cabo coaxial e com a compensação do efeito do cabo.

Nesta faixa de frequência há a predominância da ressonância série entre o comportamento capacitivo e a indutância ligados ao arranjo de medição e conexões (1). Nota-se o quanto o arranjo de medição influencia nas medições em altas frequências. Tem-se agora uma medição que se aproxima mais do comportamento do transformador nesta faixa de frequência, uma vez que, a medição com a fita de cobre representa o equipamento mais o efeito das fitas – principalmente o efeito capacitivo para a terra – e com a medição através do cabo coaxial, é possível fazer a sua compensação.

A ressonância série próxima à frequência de 1 MHz é deslocada e, a partir de 2 MHz, a diferença entre as curvas é ainda maior. Na medição de fase com o cabo coaxial o ângulo da admitância fica entre  $\pm 90^\circ$ ; já com a fita de cobre e o medidor RLC o ângulo ultrapassa essa faixa, o que representa um erro na medição de admitância terminal.

### 3.0 - MODELAGEM

Um modelo é uma representação de um dado sistema e sua validade depende do quanto este se aproxima do comportamento real do mesmo (10). O transformador pode ser modelado como um número de diferentes circuitos RLC ligados e acoplados uns aos outros (11).

Para modelagem do transformador de potência, analisou-se a curva de admitância terminal em função da frequência objetivando-se chegar a uma síntese que represente o transformador em altas frequências (1). Como as curvas de admitância terminal medidas com as fitas de cobre e com a compensação do efeito do cabo são diferentes, os ajustes e, conseqüentemente, os modelos serão diferentes.

Em (1) constatou-se que os modelos que levam em consideração os pontos ressonantes da curva de admitância terminal na frequência trouxeram bons resultados até, aproximadamente, 2 MHz. A partir desta frequência, devido ao comportamento da curva, o ajuste através dos pontos ressonantes fica comprometido.

Diante disso, optou-se por fazer a modelagem utilizando o *Vector Fitting*. Fez-se a aproximação com 15 polos – 1 polo real e 7 polos complexos conjugados – na faixa de 50 Hz a 10 MHz. As Figuras 6 e 7 mostram os resultados na faixa de 100 kHz a 10 MHz do ajuste a partir da medição com as fitas de cobre e com a compensação do efeito do cabo coaxial, respectivamente.

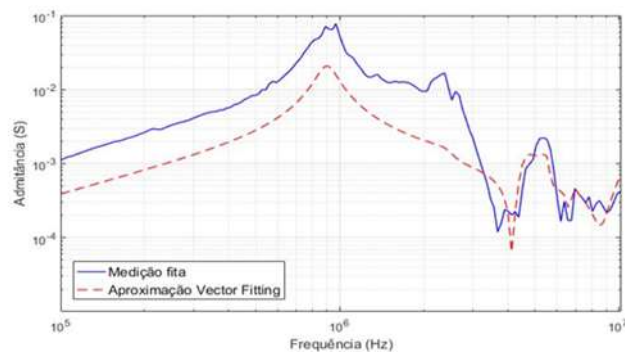


Figura 6 – Aproximação através do *Vector Fitting* a partir da medição com as fitas de cobre.

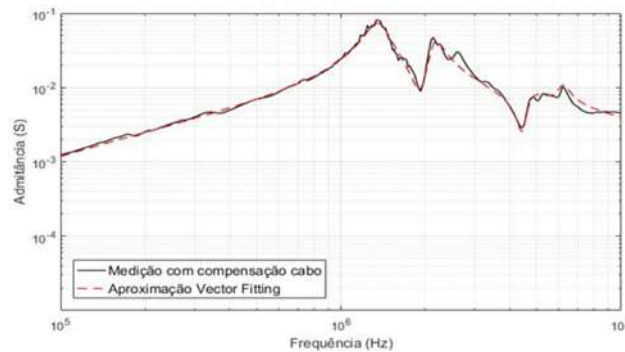


Figura 7 – Aproximação através do *Vector Fitting* a partir da medição com a compensação do efeito do cabo coaxial.

Utilizando-se a mesma ordem de aproximação, a partir da medição com a compensação do efeito do cabo coaxial, chega-se a um ajuste mais próximo à curva medida. Comprova-se, assim, o que havia sido suposto em (1): que, com uma medição de resposta em frequência mais próxima do comportamento do transformador, a aproximação através do *Vector Fitting* melhora significativamente. Logo, tem-se um modelo que representa melhor o equipamento em altas frequências.



#### 4.0 - RESULTADOS

As simulações das manobras das chaves seccionadoras, que atualmente encontram-se restritas para operação na subestação de 500 kV, foram realizadas utilizando o software *ATPDraw / ATP – Alternative Transients Program* – (1-2), (5) com os dois modelos do transformador de potência – a partir da medição com as fitas de cobre e com a compensação do efeito do cabo – aproximados através do *Vector Fitting*. O diagrama unifilar do trecho manobrado da subestação é mostrado na Figura 8 e o resultado de tensão transitória que será apresentado é referente à manobra da chave 9437, destacada na Figura.

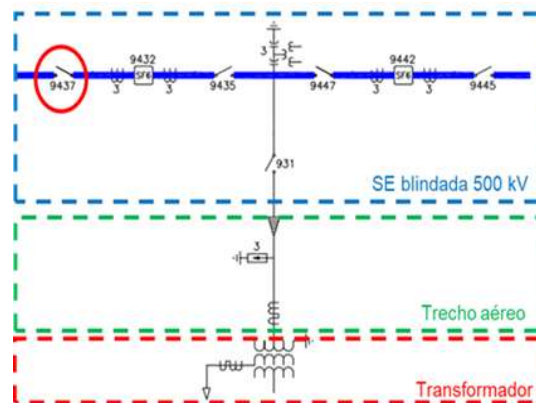


Figura 8 – Diagrama unifilar do trecho manobrado da subestação (2).

A subestação de 500 kV foi representada pelo modelo JMarti, que leva em consideração a variação dos parâmetros com a frequência e o trecho aéreo (saída da subestação de 500 kV até os transformadores) modelado por parâmetros distribuídos e constantes. Para as chaves seccionadoras e disjuntores utilizou-se o modelo de chave controlada por tempo. No modelo dos disjuntores, há uma capacitância série representando o capacitor de equalização. Foi representada uma diferença máxima de tensão entre os terminais da chave através do carregamento do trecho em desenergização com mesma amplitude e polaridade oposta a do sistema associada à última reignição da manobra de abertura. Utilizou-se nas simulações um passo de tempo ( $\Delta t$ ) de 1 ns, no qual, segundo o teorema da amostragem de *Nyquist-Shannon*, é possível representar frequências até 500 MHz (1).

A Figura 9 mostra o resultado da simulação da tensão transitória que chega ao terminal de alta tensão do transformador a partir da manobra da chave 9437, utilizando os modelos a partir da medição com as fitas de cobre e com a compensação do efeito do cabo. As chaves 9435, 9447, 9445 e 931 encontram-se fechadas e os disjuntores 9432 e 9442 estão abertos. Foi utilizado um tempo máximo de simulação de 50  $\mu$ s. Para melhor visualização do sinal, na Figura 9 é mostrada a simulação até 15  $\mu$ s.

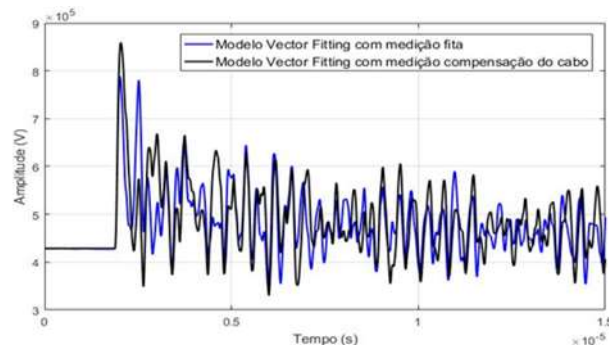


Figura 9 – Tensão transitória simulada a partir da manobra da chave 9437.

Analisando o fenômeno no domínio do tempo já é possível verificar a presença de oscilações em altas frequências. Observa-se que, como esperado, há diferença na tensão transitória a partir dos dois modelos. O

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

modelo a partir da medição com a compensação do cabo apresenta maiores amplitudes.

A Figura 10 mostra as componentes de frequências dos sinais de tensão transitória simulados. O eixo vertical refere-se à amplitude em pu, utilizando como valor base o valor de pico da tensão fase-terra nominal levando em consideração a posição do tap –  $525 / \sqrt{3} \hat{i} \sqrt{2}$  kV. Utilizando tempo máximo de simulação de 50  $\mu$ s, atinge-se uma resolução de frequência de 20 kHz. Iniciou-se a escala de frequência em 300 kHz, pois a primeira componente de frequência de maior amplitude encontra-se em, aproximadamente, 700 kHz.

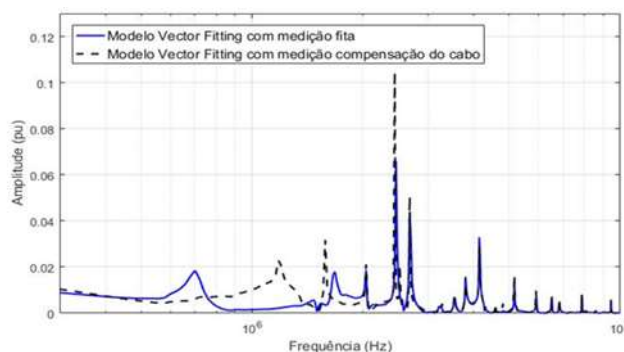


Figura 10 – Componentes de frequências da tensão transitória simulada a partir da manobra da chave 9437.

Observa-se um deslocamento das componentes de frequências inferiores a 2 MHz devido ao deslocamento da ressonância série da admitância terminal. A componente em torno de 2,5 MHz possui amplitude maior utilizando o modelo com a compensação do efeito do cabo (0,105 pu em comparação com 0,066 pu com o modelo através da medição com a fita). Já a partir de, aproximadamente, 3 MHz, mesmo com modelos do transformador de potência com respostas em frequências diferentes, as componentes em frequências da tensão transitória vista a partir do terminal de alta tensão do transformador são praticamente as mesmas, tanto em frequência quanto em amplitude.

Diante disso, para verificar o comportamento da admitância na frequência vista a partir da chave manobrada, utilizou-se a ferramenta *Frequency Scan* do *ATPDraw / ATP* no ponto manobrado, conforme Figura 11, para os dois modelos de transformadores de potência. Os resultados em módulo e ângulo são mostrados nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

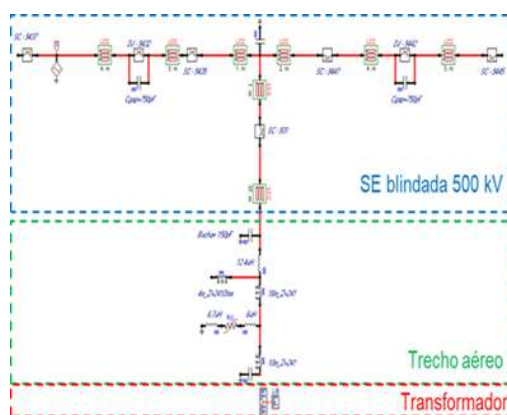


Figura 11 – Trecho simulado da subestação – *Frequency Scan* no ponto manobrado.

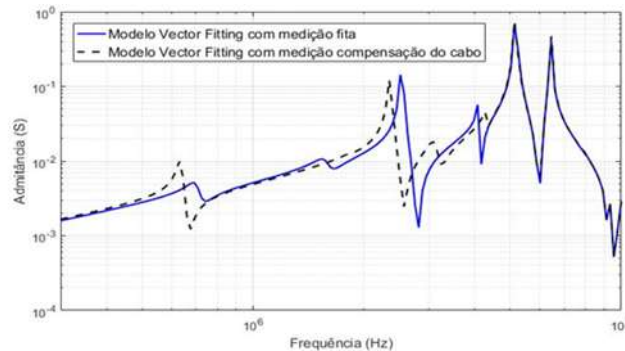


Figura 12 – Módulo da admitância vista da chave seccionadora manobrada.

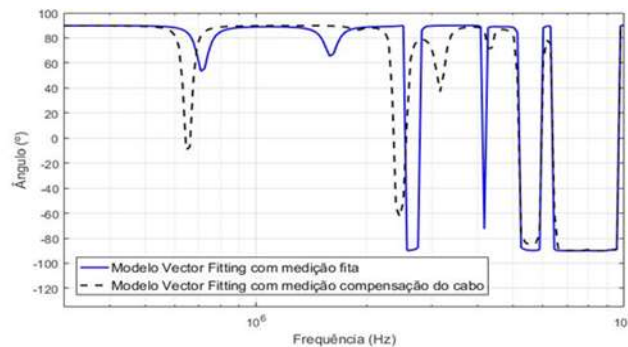


Figura 13 – Ângulo da admitância vista da chave seccionadora manobrada.

Observa-se que, a partir de, aproximadamente, 4 MHz a admitância simulada no *ATPDraw / ATP* vista do ponto manobrado é, praticamente, a mesma tanto com o modelo do transformador a partir da medição com as fitas de cobre quanto com o modelo do transformador a partir da medição com a compensação do cabo. Ou seja, a partir desta faixa de frequência, o modelo do transformador tem pouca influência nos resultados desta simulação com o *ATPDraw / ATP* da tensão transitória em seus próprios terminais, quando são realizadas manobras da chave seccionadora 9437.

## 5.0 - CONCLUSÕES

Chegou-se a uma curva de admitância terminal na frequência mais próxima do comportamento do transformador, uma vez que, retirou-se o efeito do cabo coaxial de medição, e a um ajuste mais próximo da curva medida. Desta forma, tem-se um modelo do transformador que melhor representa o comportamento do equipamento na faixa de frequência considerada.

A alteração do modelo do transformador trouxe diferenças nas componentes de frequências da tensão transitória simulada através da manobra da chave seccionadora até, aproximadamente, 3 MHz. Verificou-se que, a partir de, aproximadamente, 4 MHz o modelo do transformador pouco influencia a admitância que é vista a partir do ponto onde está a chave manobrada, ou seja, o trecho de barramento e equipamentos entre a chave seccionadora e o transformador apresenta uma resposta mais significativa do que o próprio transformador nesta faixa de frequência.

A modelagem do arco elétrico ligado à manobra das chaves seccionadoras e a representação do trecho aéreo através do modelo JMarti – que leva em consideração a variação dos parâmetros com a frequência – são pontos a serem aperfeiçoados na simulação.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) REMA, Gabriela Sampaio. “Modelagem Black-Box de Transformadores de Potência em Altas Frequência”. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá – Unifei. Itajubá, MG. Novembro de 2018.



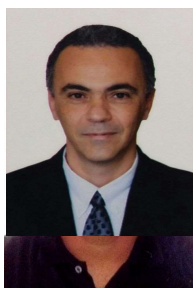
- (2) REMA, Gabriela Sampaio. SOUZA, Dickson Silva de. VASQUES, Carlos Magno Rodrigues. AZEVEDO, Rogério Magalhães de. LUZ, Guilherme Sarcinelli. BONATTO, Benedito Donizeti. LIMA, Antonio Carlos Siqueira de. DELGADO, Rômulo dos Santos. MARTINS, Helvio Jailson Azevedo. SIXEL, Davi. "Black-Box Modeling of Power Transformers at High Frequencies". International Conference on Power Systems Transients, IPST. Perpignan, França. 2019.
- (3) P. C. V. Esmeraldo, F. M. Salgado Carvalho. "Surge Propagation Analysis: an Application to the Grajaú 500 kV SF6 Gas-Insulated Substation". International Conference on Large High Voltage Electric Systems. Cigré. Paris, 1988.
- (4) J. M. da S. Feitosa, A. G. Ferreira, W. J. França, F. M. S. Carvalho, F. A. Chagas. "Relatório sobre os Ensaio para Medição de Transitórios gerados pela Operação de Chaves Seccionadoras na Subestação Blindada Isolada a SF6". FURNAS Centrais Elétricas.
- (5) REMA, Gabriela Sampaio. BONATTO, Benedito Donizeti. SOUZA, Dickson Silva de. VASQUES, Carlos Magno Rodrigues. AZEVEDO, Rogério Magalhães de. LUZ, Guilherme Sarcinelli. SIXEL, Davi. LIMA, Antonio Carlos Siqueira de. MARTINS, Helvio Jailson Azevedo. DELGADO, Rômulo dos Santos. SANTOS, Luiz Eduardo. "Modelagem de Transformadores de Potência para Análise de Transitórios Eletromagnéticos de Frente Rápida - Comparação entre Simulação e Medições em Campo". IX Workshop Internacional sobre Transformadores de Potência, Equipamentos, Subestações e Materiais, IX Workspot 2018. Foz do Iguaçu - PR.
- (6) REMA, Gabriela Sampaio. BONATTO, Benedito Donizeti. SOUZA, Dickson Silva de. VASQUES, Carlos Magno Rodrigues. AZEVEDO, Rogério Magalhães de. LIMA, Antonio Carlos Siqueira de. MARTINS, Helvio Jailson Azevedo. DELGADO, Rômulo dos Santos. "Modeling the Terminal Impedance of Power Transformers for Studies of Fast Front Electromagnetic Transients". VII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, SBSE 2018. Niterói – RJ, Maio de 2018.
- (7) SOUZA, Dickson Silva de. SANTOS, Luiz Eduardo Dias. "Compensação do efeito dos cabos coaxiais nas medições de admitância em equipamentos elétricos". Relatório Técnico DLE-9550/18. Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. 2018.
- (8) B. Gustavsen. "Wide Band Modeling of Power Transformers", IEEE Transactions of Power Delivery, v. 19, n. 01, pp. 414-422, January 2004.
- (9) B. Gustavsen. "Eliminating Measurement Cable Effects From Transformer Admittance Measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, v. 31, n. 4, pp. 1609-1617, August, 2016.
- (10) OGATA, Katsuhiko. "Engenharia de Controle Moderno". 3ª edição. Ed.: LTC. 1998.
- (11) FRONTIN, Sergio O. "Equipamentos de Alta Tensão – Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas". 1ª ed. Brasília, 2013.
- (12) B. Gustavsen and A. Semlyen, "Rational approximation of frequency domain responses by Vector Fitting", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 14, no. 3, pp. 1052-1061, July 1999.
- (13) B. Gustavsen, "Improving the pole relocating properties of vector fitting", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 21, no. 3, pp. 1587-1592, July 2006.
- (14) D. Deschrijver, M. Mrozowski, T. Dhaene, and D. De Zutter, "Macromodeling of Multiport Systems Using a Fast Implementation of the Vector Fitting Method", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 18, no. 6, pp. 383-385, June 2008.
- (15) A. Semlyen and B. Gustavsen, "A half-size singularity test matrix for fast and reliable passivity assessment of rational models", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 24, no. 1, pp. 345-351, January 2009.
- (16) B. Gustavsen, "Fast passivity enforcement for pole-residue models by perturbation of residue matrix eigenvalues", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 23, no. 4, pp. 2278-2285, October 2008.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Gabriela Sampaio Rêma** – Nascida em Volta Redonda - RJ (1992). Graduada em Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica (2015) pela Faculdade de Engenharia de Resende – FER/AEDB, bolsista pelo ProUni. Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI (2018), bolsista pelo CNPq e pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Doutoranda do Programa de Engenharia Elétrica da UNIFEI, bolsista de pesquisa no CEPEL e professora substituta na área de Eletrônica no Instituto de Engenharia de Sistemas e Tecnologias da Informação – IESTI – na UNIFEI. Estuda as áreas de simulação e modelagem de equipamentos

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG



elétricos, resposta em frequência, transitórios eletromagnéticos e processamento de sinais voltados ao diagnóstico de falhas em equipamentos de alta tensão.

**Dickson Silva de Souza** – Formado em Engenharia Elétrica (2009) pela Universidade Gama Filho, trabalhou por seis anos como engenheiro no setor de geração distribuída e usinas termoeletricas. Trabalha desde 2015 como pesquisador do CEPEL onde atua na área de diagnósticos de equipamentos elétricos desenvolvendo principalmente tecnologias para medição de resposta em frequência online e medição de transitórios eletromagnéticos.



**Carlos Magno Rodrigues Vasques** – Graduado em Engenharia Eletrônica e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (2004), especialista em Automação Industrial pelo SENAI-RJ (2009) e mestre em Engenharia Elétrica na área de Processamento de Sinais e Inteligência Computacional pela COPPE/UFRJ (2011). É pesquisador no CEPEL, participa de pesquisas voltadas à interação entre transitórios eletromagnéticos e equipamentos de alta tensão, além de ensaios e pesquisas para monitoramento, avaliação e diagnóstico de equipamentos dando subsídio às áreas de manutenção e pesquisas das empresas do setor elétrico. Autor de trabalhos, nacionais e internacionais, participando ativamente de grupos de trabalho do Cigré.



**Guilherme Sarcinelli Luz** – Brasileiro, nascido no Rio de Janeiro (1957), Engenheiro Eletricista pela UFRJ (1981). Engenheiro do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS – lotado na EGE/DPL. Áreas de atuação: Simulação de Transitórios Eletromagnéticos e Sistemas de Corrente Contínua utilizando os programas ATP e PSCAD. Trabalhou em FURNAS de 1993 a 2017, após trabalhar 11 anos na área de Consultoria na PROMON, THEMAG e Eletroconsult de Paraguay.

**Rogério Magalhães de Azevedo** – Nascido em Belo Horizonte/MG, é Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (1990) – e mestre em Ciências pela UFRJ/COPPE (1993). Desde 1995, é pesquisador do CEPEL, atuando, principalmente, nas áreas de coordenação de isolamento, simulação de transitórios eletromagnéticos e sistemas de HVDC, e análise de sistemas de potência. É membro do Cigré, atuando nos Comitês de Estudos B4 – Elos de Corrente Contínua e Eletrônica de Potência, e C4 – Desempenho de Sistemas Elétricos.



**Rômulo dos Santos Delgado** – Nascido em Volta Redonda - RJ (1988). Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA (2011). Mestre em Engenharia Elétrica pela UFRJ (2018). Atuou no setor de manutenção industrial. Trabalha como Pesquisador do CEPEL desde 2013, na área de diagnóstico de equipamentos elétricos, principalmente na aplicação das técnicas desenvolvidas pelo Centro de Pesquisa em medições em Subestações.

**Helvio Jailson**  
Engenharia Elétrica  
Mestrado em  
(2007). Sua  
No CEPEL desde  
de equipamentos  
técnicas para  
mais de 100  
de trabalho do Cigré.

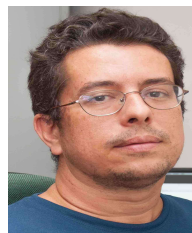


**Azevedo Martins** – Nascido em Nova Friburgo – RJ (1955). Graduado em (sistemas de potência) pela UFRJ (1979), onde também obteve o grau de Engenharia Elétrica (Alta Tensão) (1987) e Doutorado em Engenharia Elétrica experiência profissional inclui a ex-PTEL-Projetos e Estudos de Engenharia. 1985, atuava no desenvolvimento de técnicas de ensaios aplicados na avaliação elétricos de alta tensão, desenvolveu pesquisas relacionadas a métodos e monitoramento, avaliação e diagnóstico de equipamentos elétricos. É autor de trabalhos, nacionais e internacionais, participando ativamente de alguns grupos. Desde 2018, atua como consultor independente, principalmente, na avaliação dos efeitos nos dielétricos de transformadores de potência e TIs, devido a manobras de seccionadores em AIS e GIS. É coordenador do Comitê de Estudos do Cigré CE A3 – Equipamentos de Alta Tensão e do WG A3.42 – Failure analysis of

recent AIS instrument transformer incidents.



**Benedito Donizeti Bonatto** – Engenheiro Eletricista pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI, hoje UNIFEI, (1991), Mestre pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (1995). *Ph.D. in Electrical and Computer Engineering* pela UBC - *The University of British Columbia*, Canadá (2001), com o apoio da CAPES e sob a supervisão do Prof. Dr.-Ing. Hermann W. Dommel (o autor do EMTP - *Electromagnetic Transients Program*). Sua experiência profissional foi enriquecida com diversos trabalhos técnicos em indústrias, de Engenharia, de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no setor elétrico e atuações gerenciais em concessionária de eletricidade, tendo sido Gerente de Educação Corporativa na ELEKTRO - Eletricidade e Serviços S.A.. Atualmente é Professor Associado III na UNIFEI, sendo um dos líderes do Grupo de Estudos, Ensino, Pesquisa e Extensão em Tecnologias de Potência Avançadas e Inovações em Sistemas e Redes Elétricas Inteligentes (*aPTIs-SG2 - Advanced Power Technologies and Innovations in Systems and Smart Grids Group*), registrado no CNPq. É vice-presidente da SBQEE - Sociedade Brasileira de Qualidade da Energia Elétrica (2017- 2019). Suas áreas de interesse incluem redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*), qualidade da energia elétrica, transitórios eletromagnéticos, regulação e modelagem econômica do mercado elétrico, segurança no trabalho e educação ativa em engenharia. Ele é um engenheiro profissional registrado no CREA e é também *Senior Member* do IEEE - *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*.



**Antonio Carlos Siqueira de Lima** – Graduação (1995), mestrado (1997) e doutorado (1999) em Engenharia Elétrica pela UFRJ. Atualmente é professor associado da UFRJ. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase na área de Transmissão da Energia Elétrica e Modelagem de Equipamentos Elétricos, atuando principalmente nos seguintes temas: transitórios eletromagnéticos em sistemas de energia, modelagem de linhas de transmissão e cabos subterrâneos/submarinos, métodos de solução de redes elétricas.

**Davi Sixel Arentz** – Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense – UFF (1997). É engenheiro de FURNAS.