



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

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

GRUPO - X

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

**VALIDAÇÃO DA CURVA DE SATURAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
A PARTIR DE MEDIÇÕES DE CAMPO.**

Janaina Mirses de S. C. Costa*
COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF

**Mateus D. Teixeira, Pedro A. B. Block, André E. Lazaretti, Marcio R. Sans,
Luiz Felipe R. B. Toledo, Victor S. Borges e Ricardo C. Scholz**
INSTITUTOS LACTEC

RESUMO

Este artigo apresenta uma metodologia que permite validar os parâmetros da curva de saturação usados no modelo computacional de transformadores de potência representados nos estudos de transitórios eletromagnéticos. A metodologia toma como base a forma de onda das correntes e tensões registradas durante manobras de energização e desenergização do transformador. A curva é levantada pela aplicação da técnica desenvolvida e é comparada com aquela fornecida pelo fabricante. É verificado o impacto das diferenças encontradas nos resultados dos estudos pré-operacionais. Será apresentada a metodologia desenvolvida para o levantamento da curva de saturação e validação do modelo, como também alguns casos avaliados.

PALAVRAS-CHAVE

Curva de magnetização, Inrush, transformador de potência, transitórios eletromagnéticos, medições de campo.

1.0 - INTRODUÇÃO

Diante da preocupação em se ter modelos precisos de transformadores de potência em formato ATP_EMTP (1) para uso em estudos de transitórios eletromagnéticos, nos quais o modelo adotado para transformador é o Saturable Transformer Component (STC), a Chesf tem realizado, sistematicamente, medições de grandezas elétricas durante a energização de seus transformadores (2), a fim de confrontar e validar os parâmetros utilizados nos estudos realizados na fase pré-operacional, os quais vão definir ajustes de proteção e recomendações operativas para energização e operação de um novo transformador.

Nesse processo foi verificado que em alguns casos não se conseguia reproduzir as formas de onda registradas, principalmente as das correntes de inrush do transformador sob análise. Entre os fatores que poderia estar influenciando esses resultados, a curva de saturação modelada no ATP, a partir dos dados fornecidos pelo fabricante, poderia ser a causa das divergências encontradas, uma vez que, para grandes transformadores, essa curva é geralmente obtida através de cálculos e estimativas, visto que os laboratórios normalmente não possuem potência elétrica suficiente para levar o transformador aos níveis de saturação adequados para obtenção de dados precisos da curva.

Inserido nesta perspectiva, foi desenvolvida uma metodologia, através de um projeto de P&D, desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL, sob número 0048-029/2006, fruto da parceria da Chesf com o Instituto Lactec, que permite o levantamento das características de magnetização de transformadores em operação no sistema elétrico, a partir do registro das formas de onda da corrente de energização e tensão de energização e desenergização desses equipamentos.

(*) R. Delmiro Gouveia, 3333/ Anexo II – BL A – sala 312 – CEP 50761-901-Recife, PE – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-4177 – Fax: (+55 81) 3229-4174 – Email: jmirses@chesf.gov.br

Para avaliar a resposta do modelo do transformador utilizado nos estudos de transitórios eletromagnéticos é comparada a forma de onda da corrente de inrush medida em campo, com aquela obtida nos resultados de simulação, onde a condição operacional em que o transformador sob análise foi energizado é reproduzida.

Este trabalho pretende apresentar o procedimento que vem sendo utilizado para aferição de parâmetros elétricos e magnéticos de transformadores de potência em operação no sistema Chesf, usados no modelo STC do ATP, para estudos de transitórios eletromagnéticos. Como exemplo será mostrado detalhadamente um dos casos avaliados e será discutido se as diferenças encontradas tem impactado nos resultados dos estudos pré-operacionais realizados e nas recomendações operativas sugeridas a partir desses estudos.

2.0 - PROCEDIMENTO PARA VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS USADOS NO MODELO STC DO ATP.

2.1 Registro das grandezas elétricas de interesse

A Chesf realiza sistematicamente o acompanhamento da integração de novos transformadores ao seu sistema elétrico (2). Neste contexto são realizadas medições de grandezas elétricas de interesse durante a energização desse equipamento através de oscilografia portátil levadas à campo, como também através dos Registradores Digitais de perturbação (RDP) que compõe a rede oscilografia da respectiva subestação, cujos registros podem ser capturados remotamente.

Além de outras grandezas de interesse, são registradas as formas de onda das tensões terminais do transformador manobrado, das suas correntes de fase e de neutro, como também dos que se encontram em operação na respectiva subestação. A partir desses registros e da metodologia apresentada em (3) é levantada a curva de saturação do transformador manobrado. Esses resultados são confrontados com os resultados de simulação obtidos nos estudos pré-operacionais para entrada do transformador em questão e é avaliada a necessidade de correção ou refinamento dos parâmetros e modelos usados nesses estudos e por fim se é necessário modificar alguma recomendação operativa vigente.

2.2 Levantamento da curva de saturação do transformador

A curva de magnetização dos transformadores é obtida traçando-se um gráfico do fluxo magnético (ϕ) em função da corrente (ver Figura 1-(b)). Para obter essa curva foi desenvolvido um método baseado na medição da corrente de inrush durante manobras de energização desse equipamento. Este método alia precisão na medição com praticidade, uma vez que não é necessário a utilização de fontes para aplicação de sinais elétricos, deslocamento dos transformadores para laboratórios, nem o conhecimento prévio das dimensões do ferro e dos enrolamentos.

O método consiste basicamente em medir a corrente de inrush de um transformador e calcular a integral da tensão medida, do instante de energização (t_0) até o primeiro pico de corrente (t_1), a fim de obter o fluxo magnético correspondente (ver Figura 1-(a)). Este método permite alcançar as regiões mais elevadas de saturação do transformador, uma vez que a corrente durante a energização de um transformador pode atingir valores superiores a quatro vezes a corrente nominal.

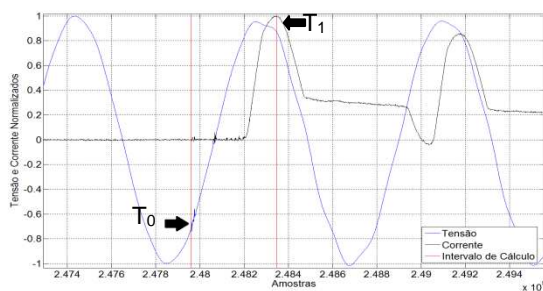


FIGURA 1 - (a): Esquema da metodologia empregada

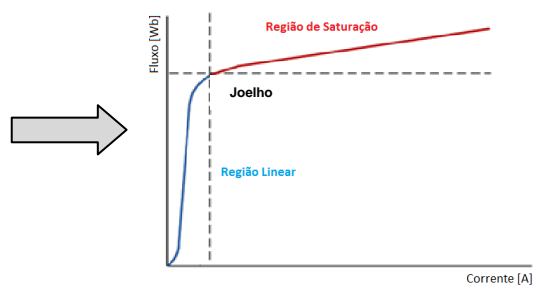


FIGURA 1 – (b): Composição da curva de saturação

2.2.1 Identificação dos instantes de chaveamento.

A identificação dos instantes de energização (T_0) de cada uma das fases do transformador é fundamental para o levantamento do fluxo magnético que irá compor a curva de saturação. Uma das dificuldades no método proposto é a visualização desse instante na forma de onda da tensão a partir do transitório provocado pela energização do transformador em questão, devido à disposição dos transformadores de potencial (TP) na subestação.

No caso da Chesf, há subestações que dispõe de TP nas conexões do transformador (CT), ficando fácil a visualização da energização de cada uma das fases (ver arranjo do tipo 1 - Figura 2). Já em outras, a medição da

tensão de energização é feita pelo TP de barra e, neste caso, fica difícil a identificação do instante de energização na forma de onda registrada (ver arranjo do tipo 2 - Figura 2). Para esses casos o processo de detecção da energização envolve a identificação do transitório de chaveamento na forma de onda tensão e para contornar tal dificuldade, foi desenvolvido um método de identificação automática baseado em estimação espectral através da utilização do filtro de Kalman (4).

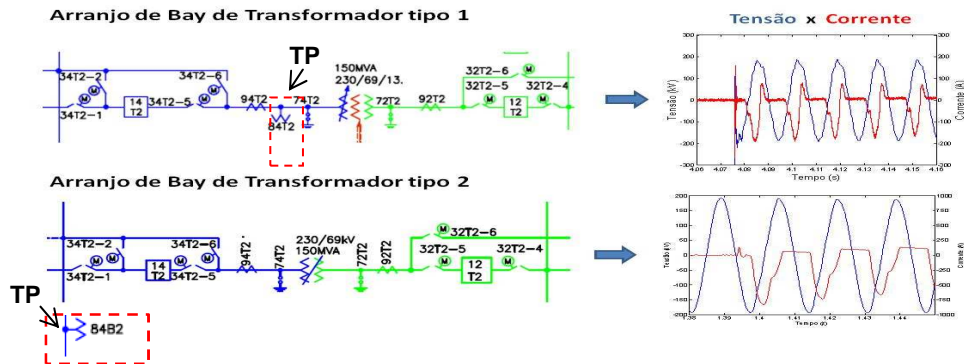


FIGURA 2 - Detecção do instante de chaveamento de acordo com a topologia da subestação

2.2.2 Correção da corrente de magnetização devido enrolamento em delta

Devido a dispersão entre os polos do disjuntor, as fases do transformador não são energizadas simultaneamente, consequentemente as tensões serão desequilibradas aparecendo uma corrente de sequência zero que circulará no enrolamento ligado em Delta do transformador durante sua energização. Assim, essa corrente deverá ser subtraída da corrente primária (inrush) para se obter a corrente de magnetização, conforme (3) (5):

2.2.3 Medição do fluxo residual

O conhecimento do fluxo residual define a altura do joelho da curva de magnetização, que será levantada a partir da energização subsequente do transformador.

A forma adotada para se calcular o fluxo residual é proposto em (6). Esta técnica consiste em medir a tensão durante a desenergização do transformador e, em seguida, calcular a integral desse sinal, que corresponde ao fluxo magnético remanescente. De modo que, para compor a curva é necessário a medição da tensão nos enrolamentos do transformador, após a desenergização do mesmo e em seguida realizar a reenergização para medir a tensão e corrente de inrush que definirá a parte não linear da curva.

No entanto, para medir a tensão após a desenergização do transformador é necessário ter um TP em uma das suas CT e como apresentado no item 2.2.1, nem sempre isto é possível. Desta forma, quando não for possível medir a tensão que se mantém sob os enrolamentos do transformador, após sua desenergização, foi decidido adotar a parte linear da curva de saturação medida pelo fabricante do transformador e substituir a região de saturação pela levantada pela metodologia. Contudo, para esses casos, o joelho não é aferido.

2.2.4 Ferramenta computacional – Saturômetro

Foi desenvolvida, além de um dispositivo de medição, uma ferramenta computacional através da Plataforma C#, onde a metodologia para levantamento da curva de saturação descrita no item 2.2 foi implementada (ver Figura 3).



FIGURA 3 - Ferramenta Computacional – Saturômetro

3.0 - ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir, será mostrado com maior detalhe um dos casos analisado e outros a título de ilustração da aplicação da metodologia para levantamento da curva de saturação.

3.1 Validação dos parâmetros dos transformadores da SE Igaporã II

3.1.1 Topologia da Subestação

A Figura 4 mostra o diagrama operacional da SE Igaporã II - Chesf. Esta subestação possui dois transformadores 230/69/13,8kV de 150MVA (04T1 e 04T2) e dispõe de TP (84T1 e 84T2) instalado em sua CT de 230kV. Esta disponibilidade permitiu a medição das tensões trifásicas de energização e desenergização dos mesmos, no lado de 230kV, permitindo precisão da detecção do instante de chaveamento e medição do fluxo residual. A medição das correntes de inrush dos transformadores 14T1 e 14T2 foi realizada respectivamente através dos TCs 94T1 e 94T2.

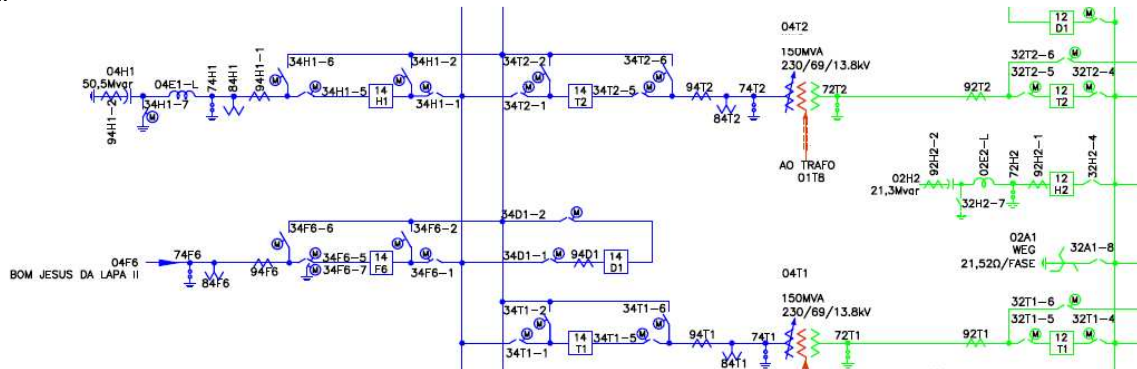


FIGURA 4 – Diagrama operacional simplificado da SE Igaporã II- Chesf

Na Tabela 1 se encontram os dados de placa dos transformares das SE Igaporã II.

TABELA 1 - Dados elétricos dos transformadores

Posição	Potência	Tensões terminais	Ligações	Impedância dos enrolamentos ($S_{base} = 150MVA$)
04T1/04T2	150 MVA	230/69/13,8 kV	Y-D-Y	XAM = 13,11% XAB = 57,69% XBM = 43,84%

3.1.2 Resultados de medição do transformador 04T1.

A partir da forma de onda registrada durante a desenergização do transformador (ver Figura 5), foi possível calcular o fluxo residual para cada uma das fases (fase A = -111,83Wb, fase B 89,84Wb e fase C = -23,69Wb).

Nas FIGURA 6 e 7, respectivamente, são apresentados os registros das tensões na CT de 230 kV e das correntes de inrush durante a energização do transformador 04T1, onde a fase A foi a que apresentou maior valor de pico (1090 A – 2,89 pu).

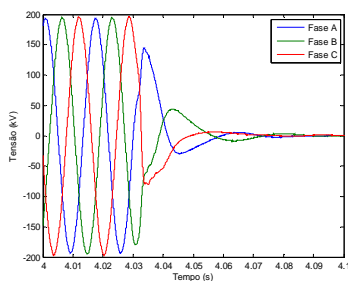


FIGURA 5 - Tensão na CT de 230kV - Desenergização.

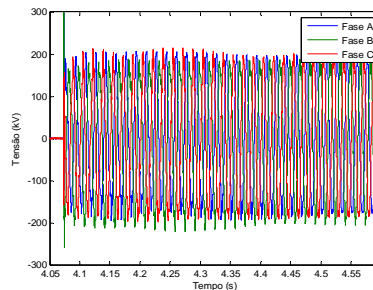


FIGURA 6 – Tensão na CT de 230kV - Energização.

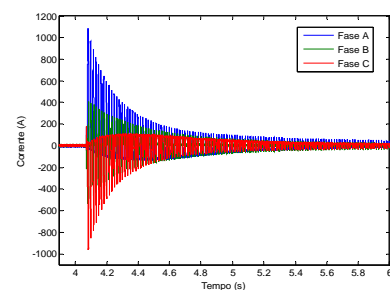


FIGURA 7 – Corrente de inrush.

A forma de onda da tensão e corrente da fase A (Ver Figura 8) foi a que apresentou melhor resultado na determinação da curva de saturação. Na Figura 9 é mostrada a curva de saturação levantada em campo sem considerar o fluxo residual (vermelho) e a curva do fabricante (azul). Descontando o valor do fluxo residual, calculado com base na forma de onda da desenergização da fase A, temos a curva final apresentada na Figura 10, na qual pode-se observar que o valor do joelho é menor e a inclinação (X_{ac}) é maior do que os informados pelo fabricante.

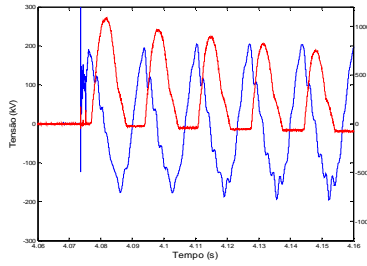


FIGURA 8 – Tensão vs corrente de inrush (fase A)

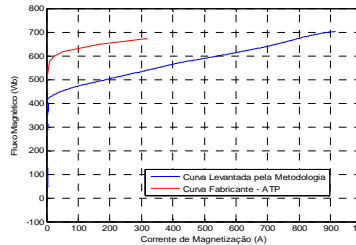


FIGURA 9 – Curva de saturação do 04T1 (sem fluxo residual)

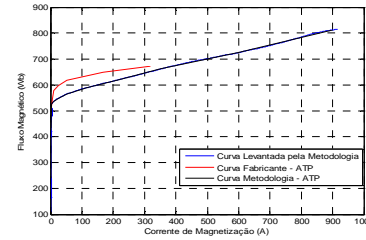


FIGURA 10 – Curva final do 04T1 (com fluxo residual)

4.0 - VALIDAÇÃO DO MODELO DO 04T1 DE IGAPORÃ

4.1 Aferição da curva de Magnetização

A fim de verificar o real impacto das diferenças encontradas e a sensibilidade da resposta do modelo STC do ATP à variação dos valores da curva de magnetização, foram realizadas simulações de energização do transformador 04T1 da SE Igaporã II, utilizando os parâmetros magnéticos informados pelo fabricante (ver Figura 11) e os determinados pelo Saturômetro (ver Figura 12), na condição operacional em que o transformador foi energizado em campo, buscando a reprodução das grandezas medidas.

```
C
C 04T1 JOELHO = 1,18PU E Xac = 35,0%
C
TRANSFORMER 1.7040498.14T1IGDA
C CORRENTE (A) >< FLUXO (V-s) >
1.70400008E+00 4.98137515E+02
5.33213851E+00 5.47951267E+02
1.10406544E+01 5.77839518E+02
2.52593408E+01 5.97765018E+02
5.14641321E+01 6.17690519E+02
1.66652964E+02 6.47578770E+02
3.18370407E+02 6.72485645E+02
9999
```

FIGURA 11 - Curva de saturação ATP- Fabricante

```
C
C 04T1 JOELHO = 1,10PU E Xac = 47,0%
C
TRANSFORMER 0.7040433.74T1IGDA
C CORRENTE (A) >< FLUXO (V-s) >
2.90400000E+00 519.51400
5.33213851E+00 524.05126
1.10406544E+01 530.93951
2.52593408E+01 546.86501
5.14641321E+01 563.29051
116.436000E+00 586.94520
220.120000E+00 615.72100
350.324000E+00 645.64500
9999
```

FIGURA 12 - Curva de saturação ATP- Medida

A partir dos resultados de simulação, foi comparada a forma de onda das correntes de inrush obtidas nos dois casos. A Figura 13 mostra as duas correntes de inrush sobrepostas e não se observa diferenças significativas. Comparando-se essas correntes com a corrente obtida no registro de campo, observou-se que nenhum dos resultados de simulação reproduziu o pico, nem o amortecimento registrado.

Diante das diferenças encontradas, foi feita avaliação dos parâmetros elétricos (resistência e reatância dos enrolamentos), representados no modelo do transformador em questão.

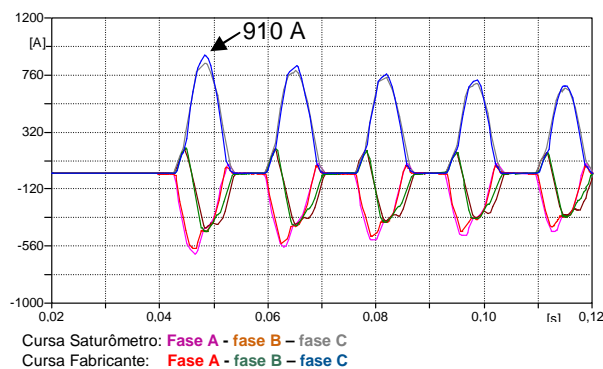


FIGURA 13: Inrush - curva fabricante vs curva Saturômetro

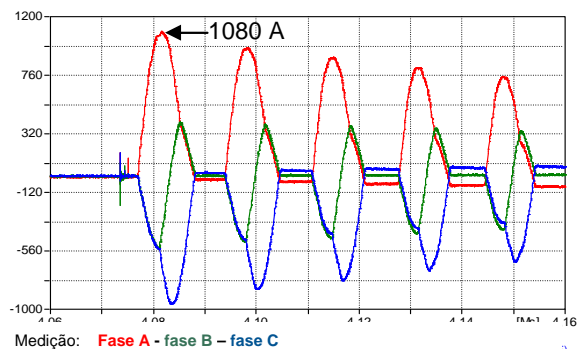


FIGURA 14: Inrush medição de campo

4.2 Aferição dos parâmetros elétricos

Procurando obter maior precisão nos resultados de simulação, foi verificado o impacto das impedância série de cada enrolamento do transformador, representadas no modelo.

4.2.1 Cálculo das impedâncias dos transformadores de três enrolamentos (Método 1)

Da teoria clássica, para se calcular a impedância de cada enrolamento dos transformadores de três enrolamentos, a partir das impedâncias de dispersão, em pu, obtidas dos ensaios de curto circuito e contidas nos dados de placa, são geralmente usadas as seguintes equações:

$$X_P = \frac{1}{2} (X_{PS} + X_{PT} - X_{ST}), \quad X_S = \frac{1}{2} (X_{PS} + X_{ST} - X_{PT}) \quad e \quad X_T = \frac{1}{2} (X_{TS} + X_{PT} - X_{PS})$$

Onde:

X_{PS} = Impedância obtida de ensaio com alimentação primária, com secundário em curto e o terciário em aberto.

X_{PT} = impedância obtida de ensaio com alimentação primária, com secundário em aberto e o terciário em curto

X_{ST} = impedância obtida de ensaio com alimentação secundária, com primário em aberto e o terciário em curto

Mesmo considerando que há diferenças na geometria entre transformadores de dois e três enrolamentos, observa-se que as impedâncias entre alta e média (X_{PS}) obtidas nos ensaios de curto-circuito, matem-se com valores muito próximos. No entanto, foi verificado que as impedâncias, em ohm, dos enrolamentos de alta (XA) e média (XM) tensão, calculadas a partir das equações acima, tem resultado em valores elevados quando comparados com os valores de impedância de um transformador de dois enrolamentos do mesmo fabricante, de mesma potência e de mesmo nível de tensão primária e secundária.

4.2.2 Cálculo das impedâncias dos transformadores de três enrolamentos (Método 2)

Diante dessa observação, foram recalculados os valores de impedância de alta e média dos transformadores da SE Igaporã, desprezando-se o terciário. Fazendo-se $X_P = \frac{1}{2} X_{PS}$, e $X_S = \frac{1}{2} 3 * X_{PS}$. A impedância terciária é calculada a partir de $X_T = X_{PT} - X_P$. Fazendo-se todas as mudanças de base necessárias, os valores em ohms de cada enrolamento são bem distintos, dos que aqueles obtidos pelo método 1 (ver Tabela 2).

TABELA 2 – Impedâncias representadas no modelo STC do ATP

TR	Impedância dos enrolamentos (ohm)	
	(método 1)	(método 2)
04T1/04T2	XA = 45,18 XM = 0,28 XB = 0,57	XA = 23,18 XM = 6,24 XB = 0,65

Foi feita uma nova simulação utilizando os novos parâmetros obtidos e foi possível reproduzir com maior precisão a corrente de inrush medida em campo, tanto quanto ao maior pico observado, quanto ao amortecimento (ver Figura 15).

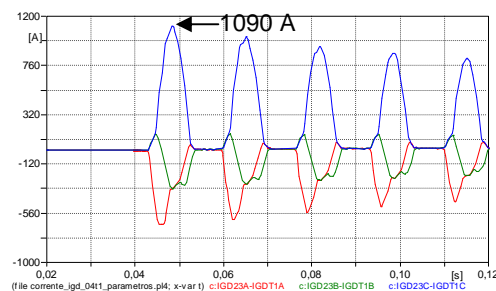


FIGURA 15: Inrush - com reatância calculada pelo método 2.

Para o caso dos transformadores da SE Igaporã, a curva de saturação informada pelo fabricante foi validada e os parâmetros elétricos foram refinados de forma a se obter um modelo mais preciso dos transformadores em questão.

5.0 - OUTROS RESULTADOS

A seguir são apresentados outros exemplos de curvas de magnetização levantadas a partir da ferramenta computacional Saturômetro. A Tabela 3 apresenta as características de três transformadores monitorados.

TABELA 3 – Transformadores monitorados em campo para determinação da curva de magnetização

Subestação	Transformador	Potência (MVA)	Tensões terminais (kV)	Ligações
SE Aquiraz II	04T1	150	230/69/13.8	Y-D-Y
SE Pici II	04T4	100	230/69	Y-D
SE Sobral II	04T4	100	230/69	Y-D

Para cada um dos transformadores apresentados na Tabela 3, foram monitoradas as formas de onda das tensões e correntes de energização e traçadas as curvas de magnetização dos transformadores através do Saturômetro. Nas subestação de Sobral II foi possível monitorar o desligamento do transformador, de forma que foi calculado o fluxo residual. Já para os transformadores das subestações de Aquiraz II e Pici II a curva final foi obtida pela composição da curva medida e com a curva fornecida pelo fabricante.

A Figura 16 apresenta as curvas de magnetização determinadas pela metodologia em comparação à curva declarada pelo fabricante para cada transformador.

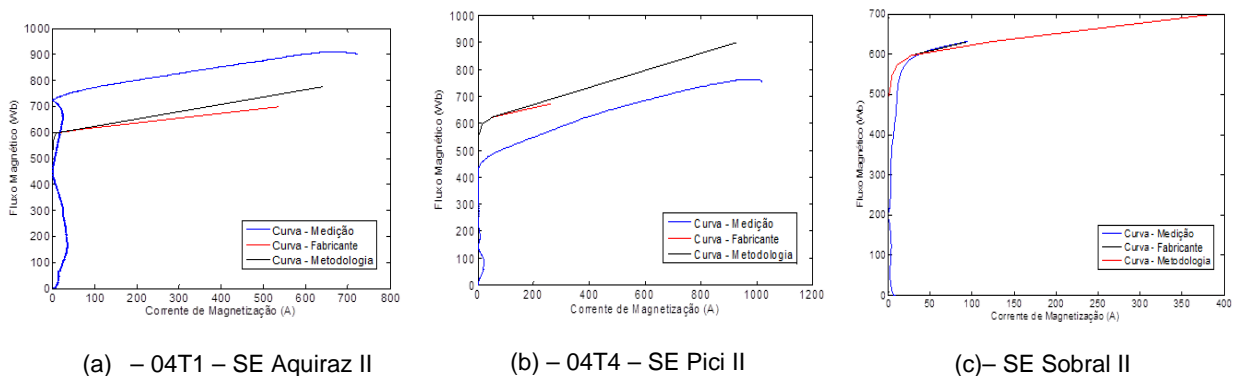


FIGURA 16 – Curvas de magnetização determinadas pelo Saturômetro a partir das medições em campo

Através da análise das curvas apresentadas na Figura 16 é possível verificar o processo de composição das curvas para os transformadores de Aquiraz II (Figura 16 – (a)) e Pici II (Figura 16 – (b)), onde a curva azul resultante do cálculo realizado a partir dos dados das medições é composta com a curva fornecida pelo fabricante (vermelha), tendo como resultado final a curva preta. Já no caso de Sobral verifica-se que a curva determinada a partir dos dados de medição representa a curva final com a aplicação completa da metodologia uma vez que foi possível computar o fluxo residual a partir das medições do desligamento do transformador. Cabe ressaltar que o transformador 04T4 da SE Sobral II (Figura 16 – (c)) apresentou correntes de energização muito baixas, 0,5 p.u, e desta forma, foi obtido apenas o início da região não linear. Contudo, suficiente para definir o X_{ac} .

6.0 - CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um procedimento adotado pela Chesf para aferir os parâmetros usados nos modelos STC do ATP utilizado nos estudos de transitórios eletromagnéticos, tendo como base dados de medições das tensões e correntes de energização e desligamento destes transformadores. Além disso, foi apresentada a metodologia desenvolvida através de um projeto de P&D - ANNEL, fruto da parceria da Chesf com o Instituto Lactec, para determinação da curva de magnetização de transformadores de potência.

Das análises realizadas, verifica-se que a resposta dos modelos, quanto às correntes de inrush, é muito mais sensível a variações nos valores da inflexão “joelho” da curva de magnetização do que nos valores de inclinação (X_{ac}) da mesma, mesmo considerando a região de alta saturação

A partir das análises comparativas feitas em alguns dos transformadores de potências em operação no sistema Chesf, de nível de tensão e fabricantes diferentes, verificou-se que, as diferenças encontradas nas curvas de magnetização medidas em relação as curvas fornecidas pelo fabricante, tanto no joelho quanto no X_{ac} , impuseram variações pouco representativas no pico das correntes de inrush simuladas, o que é um indicativo que as curvas fornecidas pelos fabricantes representam de maneira satisfatória o comportamento magnéticos de seus transformadores, atendendo aos estudos pré-operacionais de energização desses equipamentos, logo não impactando nas recomendações operativas já implantadas.

Quanto a impedância representada no modelo STC do ATP, verificou-se que para transformadores de 3 enrolamentos a representação é mais precisa quando as impedâncias de alta e média são calculadas desprezando-se o enrolamento terciário.

Destaca-se que, existem diversos outros fatores inerentes a modelagem que devem ser considerados e que podem vir a ser mais impactantes nos resultados dos estudos pré-operacionais de energização de transformadores. Desta forma é necessário verificar também a modelagem do sistema, escolha do local dos equivalentes de sistema, entre outros aspectos.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Leuven EMTP Center, "ATP - Alternative Transient Program - Rule Book", Herverlee, Belgium, 1987.
- (2) Costa, J.M. S. e outros. "Metodologia e Critérios para Estudos de Energização de Transformadores de Potência: Experiência da Chesf". XII ERIAC, Argentina, maio 2009.
- (3) TEIXEIRA, D. T. e outros. "Modeling of the Saturation Curve of Power Transformers for Eletromagnetic Transient Programs". IEEE PES Transmission & Distribution Conference e Exposition (T&D-LA 2014), Medellin, Colômbia, Setembro de 2014
- (4) LAZZARETI, A. et. al. "A New Approach for Event Detection in Smart Distribution Oscillograph Recorders". IEEE PES Conference On Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013, São Paulo, Brazil, 15-17 April 2013.
- (5) ABDULSALAM, S. G. et al. "Estimation of Transformer Saturation Characteristics From Inrush Current Waveforms". IEEE Transactions on Power Delivery, v. 21, n. 1, p. 170-177, jan. 2006
- (6) APOLÔNIO, Roberto. Modeling and Transformers Controlled Switching: Computational Analysis and Experimental Validation. 2004. PhDI Thesis - Federal University of Uberlândia, 2004.
- (7) YACAMINI, R.; BRONZEADO, H. Transformer inrush calculations using a coupled electromagnetic model. IEEE Proceedings – Science, Measurement and Technology, v. 141, n. 6, p. 491-498, nov. 1994.
- (8) FERREIRA, A. G; CASTRO, V. D; ALCANTRA, L. P. Estimation of Transformers Saturation Curve. GCOI, 1982.
- (9) LIN, C. E.; CHENG, C. L.; HUANG, C. L. Hysteresis Characteristic Analysis of Transformer Under Different Excitations Using Real Time Measurement. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 6, n. 2, p. 873-879, abr. 1991.
- (10) FEYZI, M.R.; SABAHII, M. Online Dynamic Parameter Estimation of Transformer Equivalent Circuit. 42nd International Universities Power Engineering Conference, Shanghai, v.2, p. 01-05, 2007.

DADOS BIOGRÁFICOS



Janaina Mirses de Sousa Cruz Costa, nascida em Recife-PE, 1972, é engenheira eletricitista formada em 2002, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Em 2009, obteve especialização em sistemas elétricos, com ênfase em transmissão, pela UNIFEI. Trabalha na Chesf desde 2002, onde atualmente realiza estudos elétricos da Operação. Sua principal área de interesse é transitórios eletromagnéticos. Leciona no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), desde 1994.