



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

CB/GSE/20

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -VIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

**CHAVEAMENTO CONTROLADO NA ENERGIZAÇÃO DE AUTOTRANSFORMADORES DA SUBESTAÇÃO  
230kV CURITIBA NORTE - ESTUDO DE CASO**

**Gracita B. Rosas (\*)**  
COPEL

**Miguel A.S. Mikilita**  
COPEL

**Hélio P. Oliveira Jr.**  
ONS

**Mateus D. Teixeira**  
LACTEC

**Pedro A.B. Block**  
LACTEC

**RESUMO**

Este informe técnico apresenta a avaliação da adoção de dispositivos de chaveamento controlado na energização dos Autotransformadores da Subestação 230 kV Curitiba Norte. A avaliação foi realizada tanto na ferramenta computacional ATP, quanto em ensaios realizados em campo, permitindo evidenciar a eficácia destes dispositivos, na redução das correntes de inrush. Com os resultados dos ensaios em campo foi também possível mensurar o fluxo residual dos Autotransformadores e então definir a real curva de saturação destes equipamentos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Chaveamento Controlado, Energização de Transformadores, Correntes de Inrush, Curva de Saturação

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Previsões no aumento do consumo de energia elétrica tem resultado em constantes expansões no sistema elétrico brasileiro, motivando os agentes de geração, transmissão e distribuição a buscarem medidas eficazes, seguras e econômicas na construção de novas instalações, uma vez que demandam elevados custos de investimento, principalmente pelos elevados valores dispensados com a compra de equipamentos e práticas fundiárias.

Em instalações de subestações de transmissão, estima-se que o valor unitário das unidades de transformação representa em torno 10% do valor global de investimento e por esse motivo a tentativa de prolongar a vida útil destes equipamentos tem atraído a atenção de agentes de transmissão.

Diversos são os fatores que comprometem a vida útil de transformadores, entre os quais cabe destacar as correntes de curto-circuito e de inrush, as sobretensões transitórias e sustentadas, além dos carregamentos impostos aos equipamentos durante seu período de operação.

Dentro deste contexto, este informe técnico explora o comportamento das correntes de inrush, presentes nos enrolamentos primários dos transformadores durante manobras de energização em vazio. Essas correntes podem atingir valores dezenas de vezes maiores que a corrente nominal do equipamento, podendo deteriorar os enrolamentos, causar falhas internas e a operação incorreta dos relés de proteção, além de prolongar tensões harmônicas temporárias que podem degradar a qualidade de fornecimento de energia elétrica (1). Com desenvolvimentos tecnológicos, atualmente, é possível atenuar os valores das correntes de inrush através da adoção de dispositivos de chaveamento controlado, onde o procedimento de operação consiste em identificar na forma de onda da tensão o instante da energização dos transformadores que resulte em menores valores para essas correntes (2).

(\*) Rua José Izidoro Biazzetto, N° 158 – Sala 161 - Bloco A – CEP 81.200-240 Curitiba, PR – Brasil.

Tel: (+55 41) 3331-4910 – Email: gracita.rosas@copel.com

## 2.0 - O FENÔMENO DA CORRENTE DE INRUSH

Para análise de fenômenos envolvendo transformadores, toma-se como exemplo o modelo equivalente de um transformador monofásico de dois enrolamentos, onde a saturação esta representada no primário (3), conforme ilustrado na Figura 1, onde a resistência  $R_f$  ( $\Omega$ ) representa as perdas no núcleo por histerese e correntes de Foucault e a indutância não linear  $L_n$  (H) é responsável pela corrente de magnetização  $I_m$  (A), que representa uma parcela da corrente de excitação  $I_e$  (A) do transformador (3).

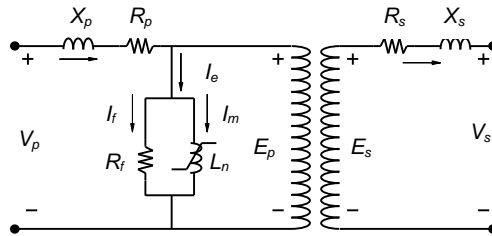


FIGURA 1 – Modelo equivalente de transformadores

Considerando que na maioria dos dispositivos de potência, a queda de tensão resistiva, em funcionamento sem carga é muito pequena, pode-se afirmar que a tensão (força eletromotriz) induzida  $E_p$  (V) no enrolamento primário é muito próxima da tensão aplicada  $V_p$  (V) (4). Considerando ainda que a Lei de Faraday relaciona a força eletromotriz induzida  $E_p$  em uma espira com a taxa de variação do fluxo magnético  $\phi$  (Weber) através desta espira, tem-se que (4):

$$V_p(t) \sim E_p(t) = -\frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

Integrando da equação 1, é possível obter a equação do fluxo magnético em função da tensão aplicada.

$$\phi = -V_p \int_0^t \text{sen } \omega t dt \quad (2)$$

Conforme a equação 2, pode-se afirmar que se a tensão aplicada é senoidal, o fluxo magnético também será senoidal, porém o mesmo não pode ser afirmado para a corrente de excitação, presente nos enrolamentos primários do transformador quando da tensão aplicada, conforme equação 3, da teoria de circuitos magnéticos.

$$\phi = \left(\frac{NA}{l}\right) I_e \mu \quad (3)$$

Considerando que a área da seção transversal  $A$  ( $m^2$ ), o comprimento do circuito  $l$  (m) e o número de espiras  $N$  são constantes, cabe a corrente de excitação  $I_e$  (A) acomodar o efeito não linear da permeabilidade magnética  $\mu$  do núcleo, para manter o fluxo magnético senoidal.

A permeabilidade  $\mu$  de materiais magnéticos, conforme equação 4, estabelece uma relação entre a indução magnética  $B$  ( $\text{Weber} / m^2$  ou Tesla) e a intensidade de campo magnético  $H$  (A.espiras/m), através das curvas de histerese (4).

$$B = \mu H \quad (4)$$

As curvas de histerese são obtidas em função das variações das tensões aplicadas ao circuito do transformador e o lugar geométrico dos vértices dos laços de histerese define com uma aproximação simples e útil a curva de magnetização ou curva de saturação dos transformadores, conforme ilustrado na Figura 2 (3) (5).

A curva de saturação pode ser dividida em duas regiões. A região não saturada com característica linear, compreendida entre a origem e o joelho da curva, corresponde a operação em regime permanente. A inclinação desta região ( $\phi \times I_m$ ) representa a indutância linear de magnetização (3). Para a região saturada, identificada além do joelho da curva, observa-se que para uma pequena variação do fluxo magnético em função da tensão aplicada, faz-se necessário um grande valor para corrente de magnetização, inclusive ultrapassando o valor da corrente nominal. Nesta condição os enlaces de fluxos se estabelecem pelo ar, definindo a reatância do núcleo de ar. A operação na região saturada é observada durante manobras de energização de transformadores ou durante a

eliminação de defeitos aplicados aos terminais do transformador (3). Nestas situações a corrente observada nos enrolamentos primários é a corrente de excitação transitória, também denominada corrente de inrush. Quanto menor for a inclinação da curva além do joelho, menor será a reatância do núcleo de ar e mais severas serão as correntes de inrush.

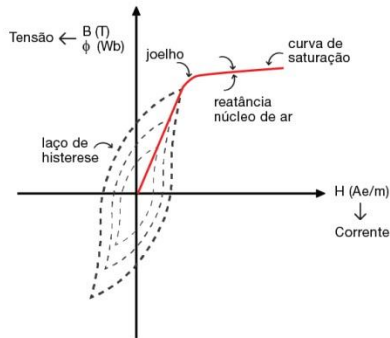


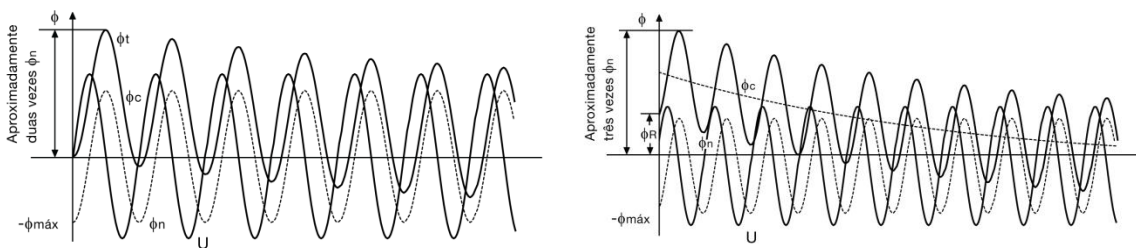
FIGURA 2 – Laços de Histerese e Curva de Saturação

As correntes de inrush contemplam componentes harmônicas de baixa ordem, sendo as mais significativas as de 3º e 7º ordem e podem atingir nos primeiros ciclos após a energização, valores correspondentes a várias vezes a corrente nominal do transformador manobrado, decrescendo em amplitude com duração da ordem de segundos, até entrar em regime permanente (2).

### 3.0 - CHAVEAMENTO CONTROLADO NA ENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES

Dependendo do ponto da onda de tensão alternada, onde acontece a energização de transformadores, obtém-se a operação do equipamento na região saturada do material magnético do núcleo.

Considerando a ausência de fluxo residual no núcleo e que o transformador é praticamente um componente indutivo, as ondas de corrente de excitação e de fluxo magnético estão atrasadas de 90º em relação à onda de tensão, logo se o disjuntor, responsável pela energização de transformadores, é fechado no momento em que a onda de tensão esta no valor zero, o fluxo magnético estará em seu valor máximo, como exemplo, no máximo negativo. Nesta situação o fluxo magnético do núcleo de transformador variaria instantaneamente de zero ao valor máximo negativo, o que na prática não acontece. Na realidade o que acontece neste caso é o aparecimento de uma componente de fluxo magnético transitória com valor inicial dado por  $\phi_c = -(\phi_n - \phi_r)$ , onde  $\phi_r$  é o fluxo magnético residual e  $\phi_n$  é o fluxo magnético nominal (3).



(a) Sem fluxo magnético residual.

(b) com fluxo magnético residual no valor máximo positivo.

FIGURA 3 – Energização de Transformadores no Instante de Fluxo Magnético Nominal no valor máximo negativo.

Conforme a Figura 3 - (a), a presença desta componente transitória faz com a forma de onda do fluxo magnético ao invés de começar no valor máximo negativo e seguir pela linha pontilhada, começa na origem seguindo pela curva  $\phi_t$ . Nesta condição o fluxo magnético pode atingir valores até duas vezes o valor do fluxo magnético nominal, por consequência os valores de indutância diminuem e elevados valores da corrente de inrush estarão presentes nos enrolamentos primários dos transformadores (3). Essa elevação dos valores dos fluxos magnéticos é justificada pela integral da onda tensão entre dois pontos de zeros consecutivos, conforme equação 2 (1).

De acordo com a Figura 3 - (b), consideram-se agora as mesmas condições de energização acima descritas, porém com a presença de um fluxo magnético residual no núcleo com valor máximo positivo. Neste caso, o fluxo magnético pode atingir valores até três vezes o valor do fluxo nominal e por consequência dos valores ainda mais elevados de correntes de inrush estarão presentes nos enrolamentos primários do transformador (3).

Atualmente existem diferentes tecnologias disponíveis no mercado, capazes de atenuar ou até mesmo anular a corrente de inrush. Entre elas cabe destacar os dispositivos de chaveamento controlado, que são capazes de identificar o instante ideal na onda de tensão para a energização de transformadores que resulte nos menores valores possíveis para as correntes de inrush.

O princípio geral de funcionamento de tais dispositivos, considerando o enrolamento primário aterrado e a ausência de fluxo magnético residual, consiste no fechamento da fase correspondente ao núcleo magnético central, no caso de transformadores com três ou cinco núcleos, no pico da onda de tensão, no instante  $t_1$ , equivalente ao fluxo magnético nulo, evitando com isso a presença de transientes neste fluxo, conforme Figura 4 - (a) (1), a seguir.

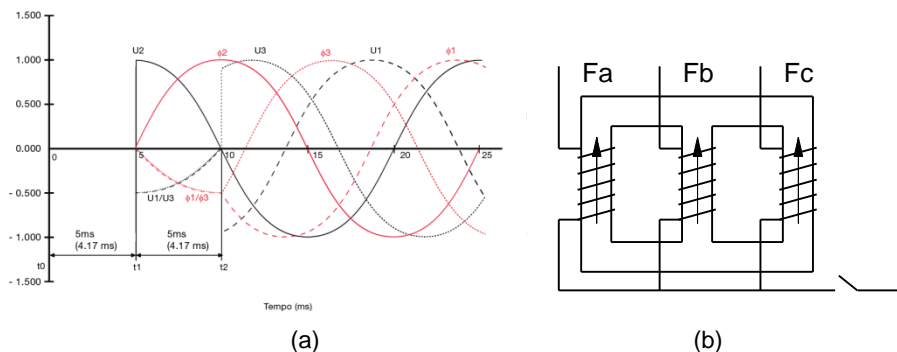


FIGURA 4 – (a) Instantes de Chaveamento – Energização de Transformadores  
(b) Correntes no Núcleo do Transformador

A corrente de magnetização associada a fase fechada começa a circular no ponto de neutro para a terra, e fornecer excitação para as demais fases, neste caso cada uma das fases tem a metade do fluxo magnético durante este estágio, conforme Figura 4 - (b). Em  $\frac{1}{4}$  de ciclo após o fechamento da primeira fase, os fluxos magnéticos nas demais fases já atingiram níveis correspondentes ao seu valor trifásico em regime permanente, permitindo o fechamento destas fases sem transientes, conforme Figura 4 - (a) (5).

No caso da energização de transformadores com fluxo magnético residual, o fechamento da primeira da fase do disjuntor deve ocorrer no instante da onda de tensão passando pelo pico, correspondente ao valor instantâneo do fluxo magnético nominal tão próximo quanto possível do fluxo residual presente núcleo devido a última operação de desenergização. Porém para esta técnica faz-se necessário mensurar o fluxo magnético residual. Estudos (1) apontam que a energização de transformadores com fluxo residual de 70% do valor nominal eleva a corrente de inrush média por um fator de 2,2.

#### 4.0 - DETERMINAÇÃO DO FLUXO RESIDUAL

Recente trabalho de pesquisa desenvolvido pela Companhia do Vale do São Francisco – CHESF em parceria com o Instituto Lactec foi capaz de definir a curva da saturação de transformadores através das formas de onda das correntes de inrush e das tensões aplicadas durante manobras de energização destes equipamentos, obtidas em ensaios de campo, contornando a necessidade de estrutura laboratorial para simulação destas grandezas.

De acordo com a forma de onda da corrente de inrush medida e com a forma de onda do fluxo magnético, calculada através da integral da tensão aplicada durante a energização de transformadores é possível definir a curva real de saturação destes equipamentos, inclusive para as regiões mais elevadas de saturação, conforme ilustrado na Figura 5, a seguir (6).

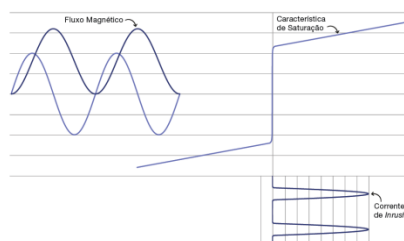


FIGURA 5 – Formas de onda do fluxo magnético e da corrente de inrush para determinar a curva de saturação

## 5.0 - BASE DE DADOS

As análises de energização de transformadores foram realizadas para os dois Autotransformadores 230/138/13,8kV – 150MVA, da nova instalação de transmissão Subestação 230 kV Curitiba Norte, localizada no município de Almirante Tamandaré, região metropolitana da cidade de Curitiba. Para as simulações computacionais utilizou-se o sistema ilustrado na Figura 6, modelado no programa ATP, conforme as diretrizes para elaboração de projetos básicos do Operador Nacional do Sistema - ONS (2). Na simulação da energização dos transformadores sem o chaveamento controlado foi considerado o fechamento dos três polos do disjuntor no instante em que a onda de tensão cruza o eixo zero, sendo a polaridade de fluxo no transformador inversa ao máximo fluxo residual (2). Quando da energização com o chaveamento controlado, foi considerado o fechamento do primeiro pólo do disjuntor no pico da tensão, na mesma polaridade do fluxo residual do transformador. Os demais polos fecham a 90 graus elétricos da primeira fase (1).

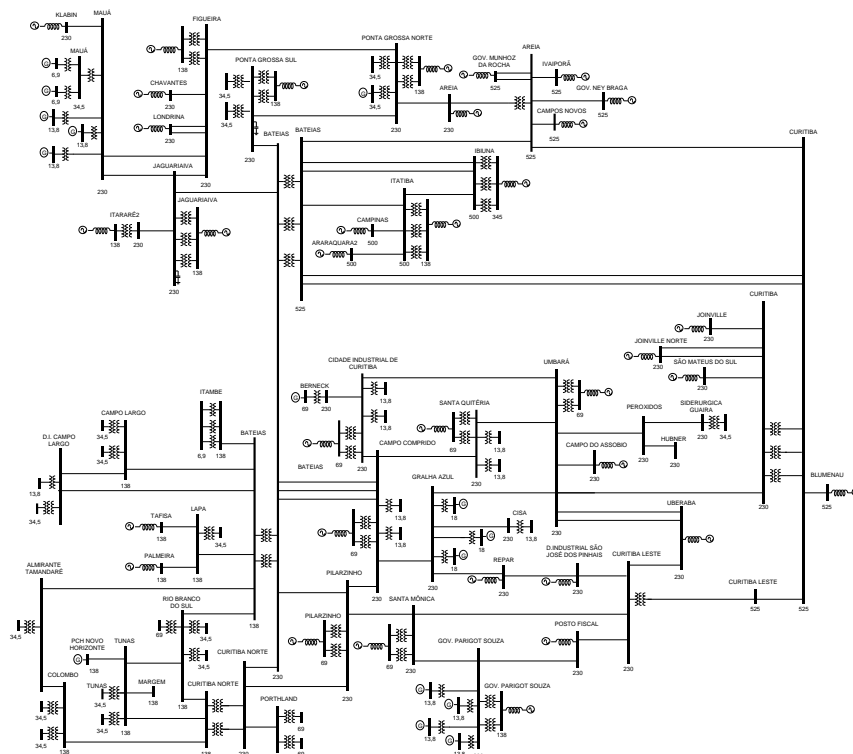


FIGURA 6 – Região Modelada SE 230 kV Curitiba Norte

As simulações em campo foram realizadas em duas oportunidades. A primeira realizada em 15.05.2016, contou com a Subestação 230kV Curitiba Norte energizada apenas pela Subestação Bateias 230kV, sem qualquer outra conexão energizada. Na segunda oportunidade realizada em 03.07.2016 todas as conexões da subestação em 230 kV estavam energizadas e o setor de 138kV estava energizado por Tunas e de maneira radial por Almirante Tamandaré. Nas duas oportunidades foram realizadas manobras de energizações dos Autotransformadores de maneira isolada e com a primeira unidade de transformação já energizada, além da energização com e sem o dispositivo de chaveamento controlado, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Manobras de Energização de Autotransformadores

Manobras realizadas em 15.05.2016					Manobras realizadas em 07.03.2016					
Caso	Horário	Manobra	Presença de Sincronizador	Energização ATF-A Isolado	Energização ATF-B, com ATF-A Energizado.	Caso	Horário	Manobra	Presença de Sincronizador	Energização ATF-A, com o ATF-B Energizado.
1	10:33	Energização		X		11	10:42	Desenergização		X
2	11:02	Desenergização		X		12	10:50	Energização		X
3	11:08	Energização		X		13	11:03	Desenergização		X
4	11:14	Desenergização		X		14	11:04	Energização	X	X
5	11:17	Energização	X	X		15	11:21	Desenergização	X	X
6	11:21	Energização			X	16	11:22	Energização		X
7	11:36	Desenergização			X					
8	11:39	Energização			X					
9	11:43	Desenergização			X					
10	11:45	Energização	X		X					

## 6.0 - RESULTADOS

Para a definição das reais curvas de saturação dos Autotransformadores 230/138/13,8kV da Subestação Curitiba Norte, foram medidas as tensões nos enrolamentos primários, após manobras de desenergização, a fim de determinar os fluxos residuais, além das medições das correntes de inrush e as tensões aplicadas no momento da energização dos Autotransformadores.

As reais curvas de saturação dos Autotransformadores A e B, ATF-A e ATF-B, respectivamente, obtidas através das medições realizadas em campo, estão ilustradas na Figura 7, onde se observa que estas curvas definidas através de ensaios realizados em campo apresentaram uma inclinação maior na região linear saturada quando da comparação com a curva de saturação teórica definida pelo fabricante. A reatância do núcleo de ar definida pelo fabricante foi de 113,78%, enquanto essas reatâncias definidas em campo foram de 140,37% para o ATF-A e 129,24% para o ATF-B.

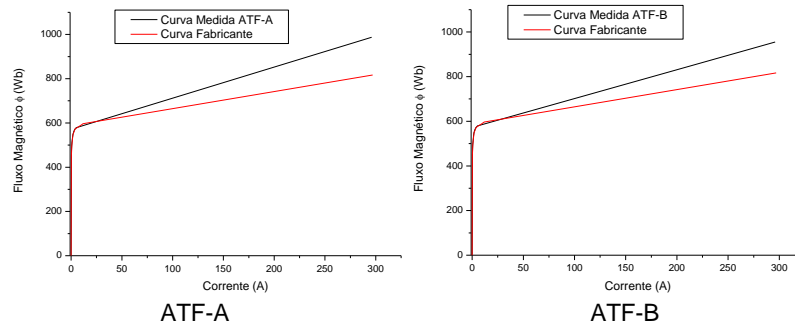


FIGURA 7 – Curvas de Saturação dos Autotransformadores 230/138/13,8kV da SE Curitiba Norte

Uma vez determinada as reais curvas de saturação dos Autotransformadores, foram definidas as curvas de histerese, através da rotina Hysteresis Hevia do programa Alternative Transient Program – ATP, onde além das curvas de saturação, foram consideradas as perdas em vazio por histerese, calculadas conforme definições da própria rotina, no valor de 8.262,45W para o ATF-A e de 8.168,53W para o ATF-B, além dos fluxos magnéticos residuais máximos definidos nos ensaios em campo, no valor de valor de 246,92Wb (aproximadamente 50% do fluxo máximo nominal) para o ATF-A e 263,20Wb (aproximadamente 67% do fluxo máximo nominal) para o ATF-B. Para a definição da curva de histerese do fabricante, utilizada na etapa de projeto básico do empreendimento, foram considerados na rotina, além da curva de saturação, o valor de 8.262,45W para as perdas em vazio por histerese e fluxo residual de 349,9Wb, ou seja, 70% do fluxo máximo nominal (2). A Figura 8 ilustra as curvas de histerese para os casos considerados.

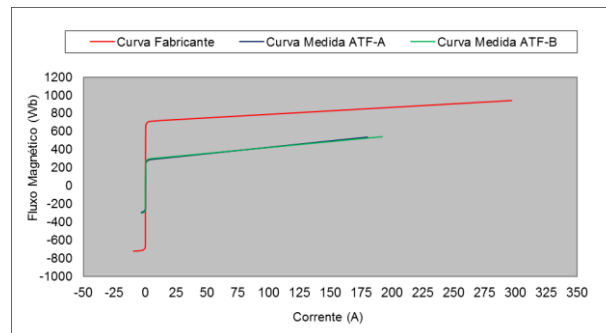


FIGURA 8 – Curvas de Histerese

Na etapa de projeto básico, os estudos de energização de transformadores são realizados somente com informações obtidas do fabricante para a composição das curvas de histerese e os instantes de chaveamento são definidos conforme seção 3.0, e por este motivo optou-se por explorar o efeito do chaveamento controlado na energização destes equipamentos, primeiramente com enfoque teórico e computacional, além das informações do fabricante. A Figura 9 - (a) ilustra as máximas correntes de inrush obtidas na energização do ATF-A com e sem a presença do chaveamento controlado, realizado pelo dispositivo sincronizador, conforme os casos 3 e 5 da Tabela 1, respectivamente, enquanto a Figura 9 - (b) ilustra as máximas correntes de inrush obtidas na energização do ATF-B com e sem a presença do sincronizador, conforme os casos 8 e 10 da Tabela 1, respectivamente. Para a ilustração da Figura 9 - (a) foi alcançada uma redução no valor da corrente de inrush de 609A, ou seja, 76%, enquanto para a ilustração da Figura 9 - (b) essa redução foi de 614A, confirmando a eficácia do chaveamento controlado na energização dos transformadores.

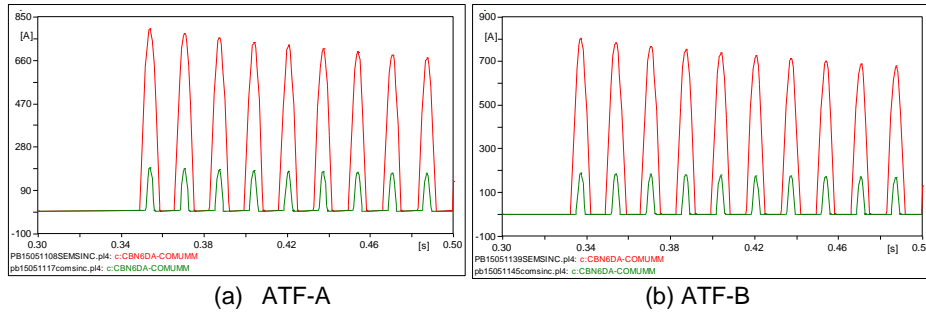


FIGURA 9 – Curvas de Inrush alcançadas com a utilização da curva de saturação do fabricante

Ainda explorando o enfoque computacional e a sequência de chaveamentos definidas na seção 3.0, porém utilizando as curvas de histerese obtidas de informações de ensaios em campo, as simulações dos casos 3, 5, 8 e 10 da Tabela 1 foram repetidas e os resultados estão ilustrados na Figura 10, onde a parte (a) ilustra a redução das máximas correntes de inrush na energização do ATF-A com e sem o sincronizador, conforme os casos 3 e 5, respectivamente e neste caso a redução foi de 360A, ou seja, 53%. A parte (b) da Figura 10 ilustra a redução das máximas correntes de inrush com a utilização do sincronizador quando da energização do ATF-B, conforme os casos 8 e 10, respectivamente. Para esta condição a redução da corrente de inrush foi de 390A.

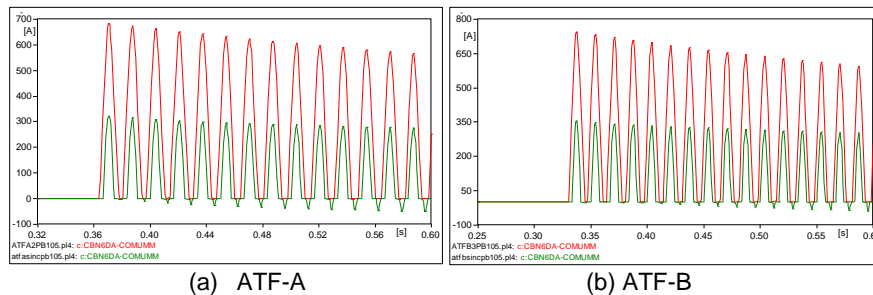


FIGURA 10 – Curvas de Inrush alcançadas com a utilização das curvas de saturação definidas em ensaios.

Com os resultados apresentados nas Figuras 9 e 10 é possível observar que a curva obtida do fabricante quando transformada em curva de histerese para simulação de energização de transformadores apresenta reduções maiores nas correntes máximas de inrush quando do chaveamento controlado, devido ao fato de apresentar uma reatância de núcleo de ar de menor valor quando comparada com as reatâncias do núcleo de ar alcançadas para os Autotransformadores ATF-A e ATF-B nos ensaios em campo. Ainda do comparativo destas Figuras, observa-se também que a utilização da curva de saturação definida pelo fabricante alcançou maiores valores para as máximas correntes de inrush, ainda devido ao fato da menor inclinação da região saturada, definida pela reatância do núcleo de ar. Outra análise interessante consiste em repetir as simulações computacionais acima ilustradas, porém considerando não só as curvas de histerese obtidas dos ensaios de campo, como também os instantes de chaveamento alcançados nestes ensaios. Considerando a reprodução dos casos 3 e 8 da Tabela 1 dos ensaios de campo no ATP foram alcançados os resultados apresentados na Figura 11.

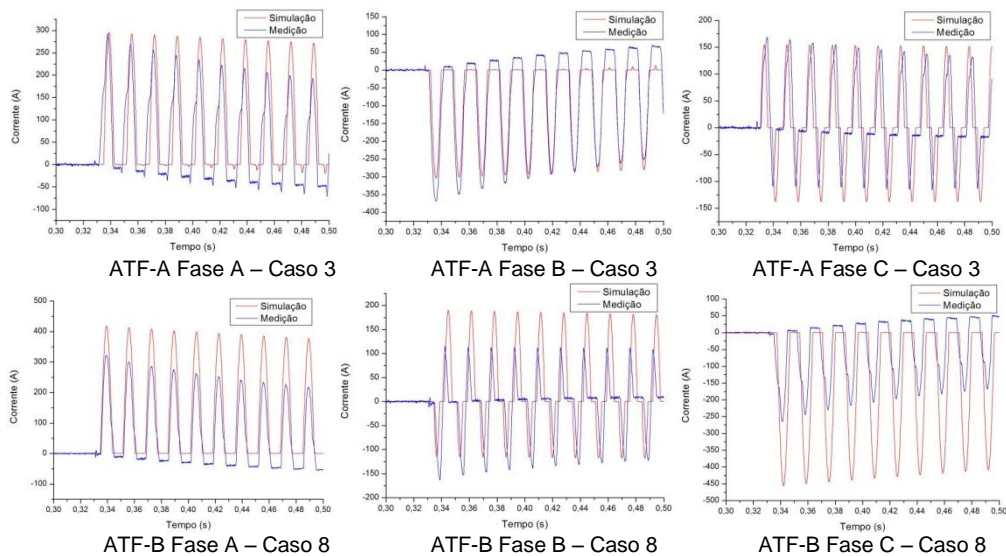


FIGURA 11 – Curvas de Inrush alcançadas com a reprodução dos casos 3 e 8 dos ensaios de campo no ATP

Em análise a Figura 11 observa-se que os valores máximos das correntes de inrush alcançados em campo, durante a energização dos Autotransformadores sem sincronizador, casos 3 e 8 da Tabela 1 foram reproduzidos com boa aceitação no ATP, garantindo que os dados obtidos dos ensaios foram corretamente utilizados na rotina Hysteresis Hevia do ATP.

Ainda no contexto da reprodução das simulações realizadas em campo no ATP, foram realizadas análise dos casos 5 e 10 da Tabela 1, considerando a energização dos Autotransformadores com a presença do chaveamento controlado.

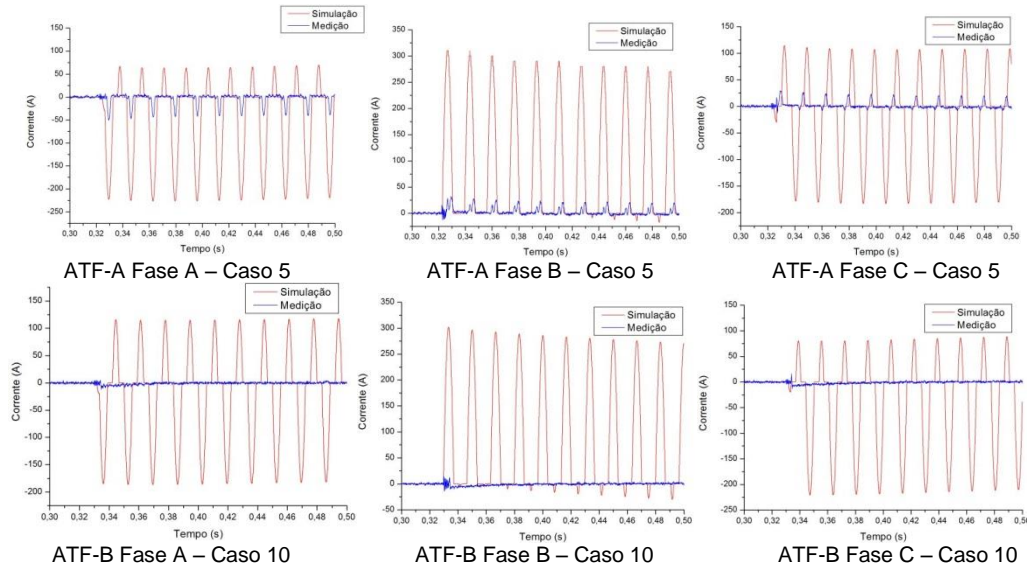


FIGURA 12 – Curvas de Inrush alcançadas com a reprodução dos casos 5 e 10 dos ensaios de campo no ATP

Em análise a Figura 12, observa-se que o chaveamento controlado dos Autotransformadores, nos ensaios realizados em campo resultou em valores de corrente de inrush bastante reduzidos comprovando a eficácia desta técnica de energização. Quando da reprodução destes casos de simulação no ATP, observou-se valores maiores para as correntes de inrush, como era de se esperar, uma vez que se trata de uma modelagem aproximada da rede elétrica.

## 7.0 - CONCLUSÃO

Os resultados obtidos em simulações computacionais, realizadas no programa ATP, bem como em simulações realizadas em campo para a energização dos Autotransformadores 230/138/13,8kV da Subestação Curitiba Norte comprovam que os dispositivos sincronizadores, utilizado para o chaveamento controlado destes equipamentos, reduziram os valores das correntes de inrush, comprovando a eficácia destes dispositivos e garantindo menores esforços aos Autotransformadores. Ainda dos resultados, foi possível comprovar que a rotina Hysteresis Hevia do ATP, bastante utilizada em estudos de energização de transformadores na etapa de projeto básico de novos empreendimentos de transmissão é capaz de modelar curvas de histerese que utilizadas em simulações computacionais no ATP reproduzem com boa aceitação valores alcançados em ensaios de campo, comprovando a eficácia desta rotina.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers – Guide for Applications: Lines, Reactors, Capacitors, Transformers (1st Part, 2nd Part), Revista ELECTRA do Cigrè, N° 183/85, abril - agosto de 1999.
- (2) Diretrizes para Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão – Estudos Elétricos, Especificações das Instalações, de Equipamentos e de Linhas de Transmissão – Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS.
- (3) D´Ajuz, A. et al., Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – Aplicação em Sistemas de Potência de Alta Tensão. Furnas Centrais Elétricas S.A., 1987.
- (4) Fitzgerald, A.E.; Kingsley Jr, C.; Kusko, A., Máquinas Elétricas – Conversão Eletromecânica da Energia de Processos, Dispositivos e Sistemas, 1975.
- (5) Ferreira, C., Transitórios Eletromagnéticos – Curso de Especialização em Proteção de Sistemas Elétricos. Universidade Federal de Itajubá. Campinas, 2008.
- (6) Costa, J. M. S. C. et al., Saturômetro – Dispositivo para Medir Curva de Saturação de Transformadores.



## 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Gracita Batista Rosas** é graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, com Especialização em Proteção de Sistemas pela Universidade Federal de Itajubá, mestrado em Sistemas de Potência pela Universidade Federal do Paraná – UFPR e desde 2017 é aluna de Doutorado em Engenharia Elétrica da UFPR. Atualmente participa da Equipe de Estudos de Transitórios Eletromagnéticos de Sistemas de Transmissão, da divisão de Planejamento e Estudos Elétricos da Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

**Hélio Pessoa de Oliveira Júnior** é graduado e pós-graduado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Atualmente é engenheiro eletricista do Operador Nacional do Sistema – ONS, responsável por estudos de engenharia, dimensionamento e aquisição de equipamentos para o planejamento de longo e médio prazo, como também estudos pré-operacionais e de recomposição de sistemas, além de participar de assuntos de regulamentação setorial, da elaboração de Anexos Técnicos para Editais de Leilões de Transmissão e do acompanhamento de projeto das transmissões em corrente contínua dos complexos do Madeira e de Belo Monte.

**Mateus Duarte Teixeira** é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João Del-Rey, com mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia e doutorado em Engenharia e Ciências pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Atualmente é pesquisador dos Institutos Lactec, professor da UFPR e vice-presidente da Sociedade Brasileira de Qualidade de Energia Elétrica (SBQEE).

**Miguel Armino Saldanha Mikilita** é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, com Especialização em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Itajubá e mestrado em Sistemas de Potência pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Atualmente participa da Equipe de Estudos de Transitórios Eletromagnéticos de Sistemas de Transmissão, da divisão de Planejamento e Estudos Elétricos da Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

**Pedro Augusto Biasuz Block** é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, com mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná – UFPR. Atualmente é pesquisador dos Institutos Lactec na área de desenvolvimento de projetos de pesquisa e desenvolvimento e serviços tecnológicos, com ênfase em qualidade da energia elétrica, geração distribuída, energias eólica e fotovoltaica, eficiência energética, entre outros.