

Uma Metodologia de Busca Otimizada de Transformadores de Distribuição Eficiente para qualquer Demanda

A.F.Picanço⁽¹⁾, M.L.B.Martinez⁽²⁾, P.C.Rosa⁽²⁾, E.G. Costa⁽¹⁾, E.W.T.Neto⁽²⁾

⁽¹⁾Universidade Federal de Campina Grande.

⁽²⁾Universidade Federal de Itajubá.

Abstract— Os transformadores de distribuição são essenciais à distribuição da energia para os consumidores. E, apesar de ser um equipamento com alto rendimento, possui baixa eficiência durante um ciclo diário. Isto porque está submetido a uma carga variável durante sua operação, uma vez que as perdas no cobre são dependentes do quadrado da corrente de carga. Uma alternativa para redução das perdas em transformadores é a aplicação de equipamentos com perdas reduzidas e viáveis economicamente. O problema é definir um projeto de transformador eficiente que seja independente do fator de energia consumida. A proposta deste estudo é indicar um transformador com perdas reduzidas e tempo de retorno do investimento menor do que 5 anos através da avaliação da massa da parte ativa do equipamento. Tal avaliação define o intervalo de valores para o índice de proporção de massa, de modo a obter-se um projeto de transformador eficiente.

Palavras-chave: Distribuição, Perdas, Transformadores, Tempo de Retorno do Investimento.

I. INTRODUÇÃO

Transformadores de distribuição são equipamentos utilizados para alterar o nível da tensão e da corrente, através de um núcleo magnético e de dois enrolamentos: primário e secundário. A operação do transformador é acompanhada por perdas nos seus enrolamentos, denominada perdas em carga ou no cobre, que são dependentes do quadrado da corrente de carga. E, também, por perdas no núcleo, denominada perdas em vazio ou no ferro, devido à magnetização do núcleo, e que são constantes durante o seu funcionamento em carga.

No sistema de distribuição de energia, os transformadores são responsáveis por aproximadamente 33,3% das perdas no sistema [1]. As perdas podem ser representadas através da quantidade de combustíveis fósseis que poderia ser economizada na geração térmica. E, considerando o aspecto econômico, a perda de energia pode ser capitalizada no período do ciclo de vida do equipamento.

Os enrolamentos são, em sua maioria, constituídos de cobre e o núcleo por lâminas de aço-silício. Tais matérias-primas por serem commodities possuem seus preços definidos conforme as oscilações do mercado de valores. Por esse motivo, o preço de venda de um transformador pode influenciar no valor das suas perdas de energia. A União Européia adotou os documentos de harmonização (HD 428) que estabelece limites para as perdas em transformadores, com o objetivo para a redução das perdas no sistema e, também, o uso da Equação de Capitalização [1]. A equação de capitalização total dos transformadores de distribuição considera o preço inicial, o custo da energia e o valor das perdas capitalizadas a uma taxa de juros e tempo de análise [2]. Portanto, em se tratando das perdas em carga, a demanda é a variável chave, que não pode ser generalizada, uma vez que depende dos hábitos da classe de consumo e da região dos clientes da concessionária.

Uma alternativa para a redução das perdas em transformadores envolve adequação de projeto e a equação de capitalização, de modo, a obter um desempenho com menor impacto de perdas técnicas e econômicas [3]. A proposta deste artigo é indicar projetos de transformadores eficientes, onde se tenha uma redução do impacto do carregamento. Neste contexto, o artigo é apresentado através da avaliação do carregamento com a utilização do fator de energia consumida, análise de projetos de transformadores eficientes, definição do índice de proporção de massa e conclusão.

II. FATOR DE ENERGIA CONSUMIDA

No sistema de distribuição alguns fatores são utilizados para descrever o comportamento da carga. Nesse contexto, a demanda é definida como a carga nos terminais receptores, tomada em valor médio, em um determinado intervalo de tempo [4]. Devido às flutuações de tensão, tornou-se prática usual utilizar o intervalo de medição entre 10 a 15 minutos.

As perdas em vazio e em carga, que ocorre durante a operação do transformador, são capitalizadas considerando o custo da energia, a taxa de juros, o tempo de análise e, no caso da perda em carga, tem-se a contribuição do carregamento, conforme Equações (1) e (2).

$$C_{w0} = 8,76 \cdot C_E \cdot W_0 \cdot \left[\frac{(1+j)^n - 1}{(1+j)^n \cdot j} \right]. \quad (1)$$

A.F.Picanço é bolsista de pós-doutorado da UFCG, PB (e-mail: alessandra_picanco@yahoo.com.br).

E.G.Costa é Professor no Dep. de Eng° Elétrica na UFCG, PB (e-mail: edson@dee.ufcg.edu.br).

M.L.B.Martinez é Professor no Dep. de Eng° Elétrica na UNIFEI, MG (e-mail: martinez@lat-efei.org.br).

E.W.T.Neto é Professor no Dep. de Eng° Elétrica na UNIFEI, MG (e-mail: estacio@lat-efei.org.br).

$$C_{WL} = 0,365 \cdot C_E \cdot W_{cu} \cdot FE \cdot \left[\frac{(1+j)^n - 1}{(1+j)^n \cdot j} \right]. \quad (2)$$

Onde:

C_{W0} é custo das perdas em vazio (R\$);
 C_{WL} é o custo das perdas em carga (R\$);
 C_E é o custo da energia (R\$/kWh);
 W_0 é a perda em vazio (W);
 W_{cu} é a perda em carga (W);
 j é a taxa de juros ao ano;
 n é o tempo de análise em anos;
 FE é o fator de energia consumida.

O fator de energia consumida é a variável do carregamento na equação das perdas em carga capitalizada como mostrado na Equação (3).

$$FE = \frac{60}{\Delta t} \cdot \sum_{i=1}^{24} \left(\frac{kVA_i}{kVA_N} \right)^2. \quad (3)$$

Onde:

Δt é o intervalo de medição da carga;
 kVA_i é a potência transformada;
 kVA_N é a potência nominal do transformador.

O fator de energia consumida pode ser interpretado como o tempo, no qual, o transformador está submetido à condição de carregamento nominal. Se, por exemplo, o FE é igual a 5, significaria dizer que, o transformador comporta-se como se estivesse em carregamento nominal durante 5 horas do seu ciclo diário. Desse modo, o valor máximo permitido para este fator é 24. Um estudo de caso, realizado na comunidade de Paraisópolis em São Paulo, onde transformadores eficientes foram projetados baseados no fator de energia é apresentado em [2,5].

As perdas capitalizadas são as parcelas da Equação de Capitalização Total ou Custo Total, juntamente com o custo de aquisição do transformador conforme Equação (4). A equação de capitalização é uma ferramenta que permite a avaliação da viabilidade econômica ao adquirir um equipamento com maior eficiência [3,5].

$$C_{Total} = C_{Aquisição} + C_{W0} + C_{WL}. \quad (4)$$

Onde:

C_{Total} é o custo total (R\$);
 $C_{Aquisição}$ é o custo de aquisição do transformador amortizado no tempo de análise (R\$).

III. PROJETOS DE TRANSFORMADORES EFICIENTES

Os ajustes de projeto com a variação na massa da parte ativa para redução das perdas é uma prática conhecida. E a

metodologia descrita em [5] apresenta os parâmetros construtivos que devem ser alterados para a redução de determinada perda. Esta metodologia gera superfícies das perdas em relação ao custo total, calculado conforme Equação (4), para dada demanda. Os projetos economicamente viáveis e com menores perdas são obtidos a partir dos pontos de mínimo local e global das superfícies geradas [3,5].

A variação e a combinação de oito componentes construtivos da parte ativa do transformador permitem a análise das opções de projeto gerada. O comportamento dos projetos em relação à capitalização das perdas, impedância percentual e dissipação térmica na superfície das bobinas podem indicar um transformador eficiente [5]. Nesta análise é verificado que o aumento da massa de cobre, não necessariamente resulta em redução das perdas em carga. Isto é limitado por parâmetros de projetos, tal como exemplo, a resistência do enrolamento.

As combinações desses parâmetros formam matrizes de projeto tridimensionais e os resultados das perdas, impedância, custo e temperatura são analisados e agrupados permitindo a formação de conjuntos de soluções de projeto. Esta metodologia utiliza os seguintes parâmetros construtivos:

- a) espessura do condutor de BT;
- b) largura do condutor de BT;
- c) densidade da corrente de AT;
- d) indução magnética;
- e) espessura da isolamento das bobinas;
- f) altura da cabeça das bobinas;
- g) altura do calço e;
- h) distância entre as bobinas de AT e BT.

Os conjuntos de projetos, primeiramente analisados, foram:

- a) variação da densidade da corrente de BT, de AT e da indução magnética;
- b) variação da densidade da corrente de AT, da espessura da isolamento e da indução magnética;
- c) variação da densidade da corrente de BT, da espessura da isolamento e do condutor de AT;
- d) variação da densidade da corrente de AT, da distância entre enrolamentos e da indução magnética;
- e) variação do calço, da cabeça da bobina, da espessura da isolamento e da indução magnética;
- f) variação da distância entre enrolamentos, da espessura da isolamento e da indução magnética;
- g) variação da densidade da corrente de BT, da espessura da isolamento e do calço mais cabeça da bobina e;
- h) variação da densidade da corrente de AT, da espessura da isolamento e da distância entre enrolamentos.

A norma nacional estabelece os valores limites para as perdas em vazio e perdas totais. Isto permite que os projetos possam ser adequados de acordo com o preço das commodities, uma vez que as perdas em carga estão livres, o que não representa, necessariamente, a melhor opção para a

concessionária. As análises dos conjuntos, através da busca pelo ponto de mínimo local e global das superfícies de custo total, determinam o projeto com menor custo total, menor perda a vazio, menor perda em carga e menor temperatura do ponto mais quente. Características que podem ser escolhidas segundo a solicitação do cliente [3].

As superfícies de custo total são as representações gráficas das matrizes tridimensionais de projeto de transformadores formadas a partir da combinação dos parâmetros construtivos. A busca dos pontos mínimos nas superfícies foi realizada a partir de uma rotina desenvolvida em MATLAB® [3,5]. Os projetos com menor custo total em relação ao transformador padrão apresentam as restrições técnicas e econômicas satisfeitas no processo de busca exaustiva. As restrições técnicas compreendem os limites para os valores das perdas e da impedância percentual, conforme estabelecido pela NBR 5440. E a restrição econômica compreende o valor de 5 anos para o tempo de retorno do investimento.

A curva típica da carga do transformador é um fator decisivo para a obtenção dos resultados esperados. E para facilitar a varredura do conjunto de soluções de projeto, foi utilizado o conceito do fator de energia consumida (FE) para definir o comportamento da carga. Para valores de FE menores do que 4, os projetos indicados são aqueles que possuem variação na densidade da corrente de BT, AT e espessura da isolação. Isto devido às mudanças no valor da razão altura e largura da janela. Observa-se que, neste caso, não se tem alteração na indução magnética para a redução das perdas a vazio, ou seja, o diâmetro da coluna do núcleo foi mantido constante. E quanto maior o FE, maiores são as opções de projeto, sendo o conjunto de soluções com variação na densidade da corrente de AT, distância entre enrolamentos e altura da cabeça da bobina com mais possibilidades de projetos eficientes em relação aos demais conjuntos de solução.

Foi verificado em [5] que alguns conjuntos de soluções apresentaram perda em carga menor sem aumentar a massa de cobre, e que a variação adequada para a indução magnética seja de $\pm 10\%$ em relação ao valor padrão. Isto ocorre devido ao tipo de lâmina (espessura de 0,27mm e de grão orientado) comercializada no Brasil para transformadores de distribuição.

IV. ÍNDICE DE PROPORÇÃO DE MASSAS

O projeto de transformadores eficientes é baseado na Equação de Custo Total, ou seja, do preço de aquisição do equipamento amortizado e capitalização das perdas em vazio e em carga. A perda em vazio não depende do carregamento e é constante durante o ciclo de carga diário. As perdas em carga dependem do carregamento ao longo do dia, e pode ser caracterizado pelo fator de energia consumida (FE). Desse modo, o objetivo é definir um projeto de transformador eficiente para os diferentes valores de FE, no qual, o transformador pode ser submetido ao longo da sua vida útil, minimizando as perdas econômicas e técnicas. Uma proposta é verificar se o projeto de transformador pode ser eficiente

independente do carregamento a ele submetido utilizando o índice de proporções de massa da parte ativa empregada (IPM).

O IPM é a relação entre a massa do núcleo e a massa total dos enrolamentos como mostrado na Equação (4).

$$IPM = \frac{M_{Núcleo}}{M_{Enrolamentos}} \quad (4)$$

Ao observar o comportamento do índice de proporção de massa e o tempo de retorno do investimento, tem-se um intervalo de valores padrões para o IPM em projetos de transformadores eficientes. Isto significa que o confronto dos dados técnicos com a análise da viabilidade econômica resulta em valores de IPM, no qual, o transformador pode ser considerado eficiente independente da carga aplicada. Essa indicação pode facilitar a gerência de estoque de transformadores eficientes adotada pela concessionária. O IPM pode facilitar a questão da indicação de um projeto de transformador eficiente. Isto devido à variação da área da janela do núcleo para diversos valores de perdas.

Considerando os transformadores de distribuição trifásicos padronizados pela NBR 5440, o intervalo de valores para IPM dos transformadores eficientes foi obtida a partir da avaliação dos projetos com variações dos parâmetros construtivos versus fator de energia consumida. A análise econômica, para os exemplos a seguir, considera a taxa de juros de 8% ao ano, custo de energia de 93,40 R\$/MWh e tempo de análise de 10 anos.

O comportamento do IPM em relação às perdas em carga e em vazio para um transformador de 45 kVA é mostrado através das superfícies, conforme Figura 1. Cada ponto da superfície corresponde a um projeto. As superfícies representam o conjunto de projetos onde se tem a variação simultânea da densidade da corrente de BT, da distância entre enrolamentos e da cabeça da bobina. Neste exemplo, observa-se que o IPM pode variar até 7, porém o eixo das perdas em carga apresenta valores elevados para IPM acima de 5.

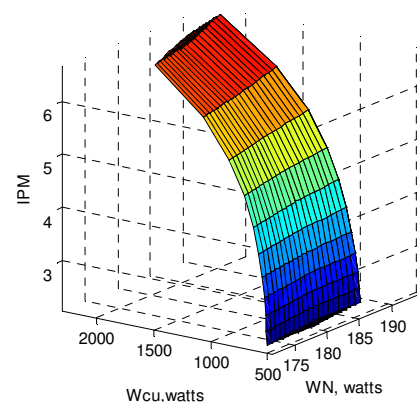


Fig. 1 – Superfície do IPM para um transformador trifásico de 45 kVA.

A metodologia da busca de projetos ótimos foi realizada agregando como resultado o IPM para cada conjunto de

projeto e foi realizada para todos os valores possíveis do fator de energia. Ao selecionar os projetos de transformadores com perdas menores em relação ao padrão tem-se um conjunto de dados de IPM para transformadores eficientes. Confrontando os dados com os valores do tempo de retorno do investimento (TRI) menor do que 5 anos e custo total menor do que o valor padrão, obtém-se o intervalo de IPM entre 2,30 e 3,40 para projetos de transformador trifásico eficiente de 45 kVA.

Considerando o exemplo do transformador de 45 kVA da Figura 1. O comportamento das perdas em vazio em relação ao IPM, quando se tem a redução da densidade da corrente de BT no sentido decrescente de IPM e redução da distância entre enrolamentos no sentido decrescente das perdas, é mostrado na Figura 2. A perda em vazio para um transformador padrão é de 181,90 watts, o que significa que o valor para o IPM atinge um valor máximo de 5,5.

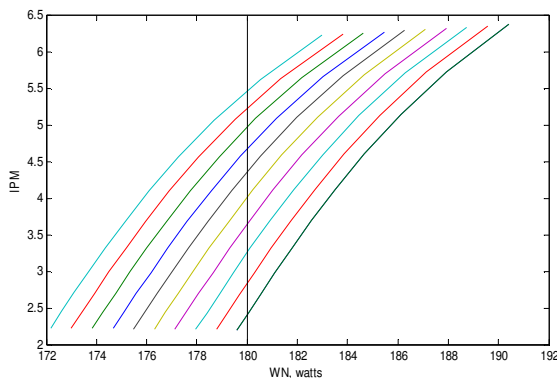


Fig. 2 – Comportamento do IPM em relação às perdas em vazio para o projeto de um transformador de 45 kVA.

A Figura 3 apresenta o comportamento do IPM em relação às perdas no cobre para o mesmo transformador de 45 kVA. A redução da densidade da corrente de BT está no sentido decrescente das perdas em carga. O transformador padrão apresenta perda no cobre de 767,87 watts, e o IPM atinge um valor máximo de 4,0. Porém, alguns desses projetos não possuem tempo de retorno do investimento.

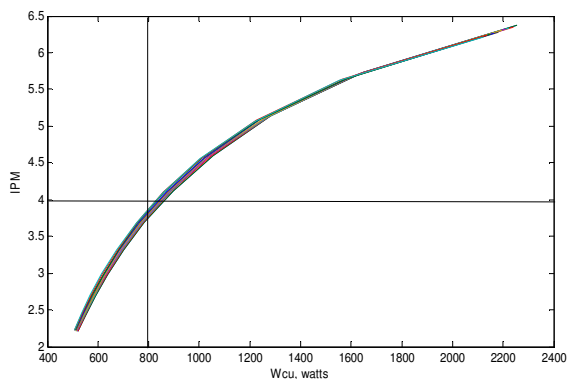


Fig. 3 – Comportamento do IPM em relação às perdas em carga para o projeto de um transformador de 45 kVA.

Neste contexto, confrontando todos os dados de projeto, observou-se que para transformadores de 45 kVA o intervalo

de IPM está entre 2,30 e 3,40 e se mantém independente do projeto e do fator de energia consumida ou carregamento. A Tabela 1 apresenta os resultados do mesmo exemplo de projeto do transformador de 45 kVA da Figura 1. O IPM para o transformador eficiente é de 3,31.

TABELA 1 – EXEMPLO DE UM TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 45 kVA.

Transformador Trifásico de 45 kVA							
FE	TRI anos	IPM	WN watts	CW0 R\$	Wcu watts	CWL R\$	
						Eficiente	Padrão
2	5,26	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	315,19	351,30
4	2,91	3,31	178,47	979,86	688,94	630,39	702,62
6	2,02					945,59	1.053,90
12	1,05	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	1.891,20	2.107,90
18	0,71	3,74	181,90	998,68	767,87	2.836,80	3.161,80
24	0,53					3.782,40	4.215,70

Para o transformador trifásico de 30 kVA, considerando o fator de energia até 6, é aconselhável manter o transformador padrão ao invés de investir em um transformador de distribuição eficiente. Salvo se, o transformador possuir um núcleo amorfo, no qual, seria necessária uma análise apropriada. E para o fator de energia superior a 12, é aconselhável que os projetos de transformadores de distribuição eficiente tenham uma proporção de massa entre 1,25 e 2,30. Os projetos com esta proporção de massa apresentam TRI em relação ao padrão menor de que 5 anos.

No caso do transformador trifásico de 75 kVA, um projeto de transformador eficiente possui IPM entre 1,70 e 2,65. A Tabela 2 apresenta os resultados de um exemplo de um projeto de transformador eficiente de 75 kVA. O transformador é eficiente em relação ao padrão por apresentar menores perdas e, conseqüentemente, menor custo total. Independente do fator de energia é possível obter um TRI menor do que 5 anos. Neste caso, tem-se um transformador eficiente para um FE de 2 sem incrementar a massa do núcleo. Isto significa que a indução magnética é a mesma do transformador padrão.

TABELA 2 – EXEMPLO DE UM TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 75 kVA.

Transformador Trifásico de 75 kVA							
FE	TRI anos	IPM	WN watts	CW0 R\$	Wcu watts	CWL R\$	
						Eficiente	Padrão
2	4,58	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	492,21	533,87
4	2,88	2,57	221,25	1.214,70	1.075,90	984,42	1.067,80
6	2,10					1.476,60	1.601,60
12	1,16	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão	2.953,30	3.203,30
18	0,80	2,97	229,07	1.257,60	1.166,90	4.429,90	4.804,90
24	0,61					5.906,50	6.406,50

E para o transformador de 112,5 kVA, um projeto eficiente possui o índice de proporção de massa entre 2,20 e 3,60. A Tabela 3 apresenta como exemplo os valores para o projeto de um transformador eficiente de 112,5 kVA. Neste caso, tem-se um TRI de aproximadamente 3 anos em relação ao transformador padrão para um FE de 2.

Observa-se que o índice de proporção de massa (IPM) para o transformador eficiente deve ser menor do que o IPM para o transformador padrão. Ou seja, se a massa do núcleo for mantida a mesma, em ambos os projetos para o transformador

padrão e eficiente, pode-se verificar que a massa de cobre para o transformador eficiente é maior em relação ao padrão. E, se a massa dos enrolamentos for mantida constante em ambos os projetos, verifica-se que a massa do núcleo para o transformador eficiente é menor do que para o transformador padrão.

TABELA 3 – EXEMPLO DE UM TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 112,5 kVA.

Transformador Trifásico de 112,5 kVA							
FE	TRI anos	IPM	WN watts	CW0 R\$	Wcu watts	CWL R\$	
						Eficiente	Padrão
2	2,57	Eficiente 3,53	Eficiente 321,93	Eficiente 1.767,40	Eficiente 1.048,30	644,30	719,42
4	1,06					1.288,60	1.438,80
6	0,56					1.932,90	2.158,30
12	0,56	Padrão 3,97	Padrão 329,47	Padrão 1.808,80	Padrão 1.572,50	3.865,90	4.316,50
18	0,38					5.798,80	6.474,80
24	0,29					7.713,70	8.633,10

V. CONCLUSÃO

A definição de projetos de transformadores de distribuição eficiente foi desenvolvida em [3,5] através das superfícies de custo total. Dessa forma, os projetos selecionados eram baseados no carregamento, uma vez que, o custo total utiliza a capitalização das perdas durante a operação do transformador.

O fator de energia consumida (FE) indica o comportamento do carregamento do transformador em um ciclo diário de operação e possui valores entre 0 e 24. Este fator está incluso na capitalização das perdas em carga, juntamente com o custo da energia, taxa de juros e tempo de análise. Portanto, a seleção dos projetos de transformadores eficiente está vinculada ao fator de energia consumida, ou seja, com o carregamento.

O objetivo do artigo foi definir os projetos de transformadores de distribuição eficiente com tempo de retorno do investimento menor (TRI) do que 5 anos em relação ao transformador padrão para qualquer carregamento. Isto pode facilitar o emprego de transformadores eficientes pelas concessionárias, uma vez que não prevê alterações na política de estoque.

Desse modo, o artigo apresentou uma metodologia para a determinação de transformadores eficientes para qualquer carregamento através do índice de proporção de massa (IPM). A partir da determinação dos pontos de mínimo nas superfícies de custo total, foram analisadas as opções de projeto eficiente que apresentam TRI menor do que 5 anos para cada fator de energia consumida. Verificou-se que, existe um intervalo para o IPM de transformadores eficientes que se mantém com as mudanças no FE. E o valor de IPM para o projeto de um transformador padrão é maior em relação ao projeto eficiente. Foram estudados e definidos os intervalos de IPM para transformadores de distribuição eficientes trifásicos de 30, 45, 75 e 112,5 kVA. Para o caso de transformadores de 30 kVA com FE menor do que 12, o TRI é maior do que 5 anos quando o projeto eficiente é comparado com o padrão. Para as demais potências, é possível a aplicação do IPM sem restrições.

A redução de perdas em transformadores de distribuição pode contribuir para minimizar o efeito da emissão de gases de efeito estufa, no caso das termelétricas. E a energia economizada com a substituição por transformadores eficientes representa uma vantagem à concessionária e à sociedade.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq por meio do Projeto 558287/2008-5: Sistema de Monitoramento e Medição de Corrente e Potência Aplicados a Pára-Raios a ZnO, que concedeu a bolsa de recém doutor a Alessandra F. Picanço.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] A.F.Picanço, C. de Salles, M.L.B.Martinez, “Perdas Oriundas em Transformadores Operando em Sobrecarga”, XII ERIAC, Décimo Segundo Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRÉ, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, maio de 2007.
- [2] A.F.Picanço, H.R.P.M. de Oliveira, M.L.B.Martinez, P.C.Rosa, “Development of Economic Analysis and Technical Solutions for Efficient Distribution Transformers in MV Grid”, EPEC 2008, Electrical Power and Energy Conference, Vancouver, Canada, October 2008;
- [3] A.F.Picanço, C. de Salles, M.L.B.Martinez, P.C.Rosa, “Development of Economical Analysis and Technical Solutions for Efficient Distribution Transformers”, MedPower 2008, 6th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, Thessaloniki, Greece, November, 2008;
- [4] N. Kagan, C.C.B. de Oliveira, E.J. Robba, “Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica”, 1ª Edição, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2005;
- [5] A.F.Picanço, “Desenvolvimento de uma Metodologia para a Aplicação de Transformadores Eficientes com Base nos Perfis de Carregamento”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Itajubá, Agosto de 2009.

VIII. BIOGRAFIAS

Alessandra F. Picanço nasceu em 1978 em Manaus no estado do Amazonas – Brasil. Recebeu o diploma de Engenheira Eletricista pela Universidade Federal do Amazonas em 2002, e o Título de Mestre em 2006 e de Doutor em 2009, ambos em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil. Atualmente, é bolsista de Pós-Doutorado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Edson G. Costa nasceu no Brasil em 1954. Recebeu o título de Engenheiro Eletricista em 1978, em 1981 recebeu o título de mestre (M.Sc) e em 1999 recebeu o título de doutor (D.Sc) todos da Universidade Federal da Paraíba. Suas áreas de interesse são: alta tensão, campos elétricos, descargas parciais, pára-raios e isoladores. Desde 1978 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.

Estácio Tavares Wanderley nasceu em Campina Grande. Graduiu-se pela Universidade Federal da Paraíba em 2001. Recebendo os títulos de mestre e doutor pela Universidade Federal de Campina Grande em 2003 e 2007, respectivamente. Atualmente trabalha como professor adjunto no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá. Suas áreas de interesse são equipamentos elétricos, geração e transmissão de energia elétrica.

Manuel L.B. Martinez nasceu em 1959 em Santos, estado de São Paulo – Brasil. Recebeu o diploma de Engenheiro Eletricista e o título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá, e o Título de Doutor em Engenharia Elétrica pela PEA-USP. É responsável pelo Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá desde 1995.