



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

**EXPLORAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA ESTIMAÇÃO DE VIDA ÚTIL DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA**

**HALLEY JOSE BRAGA DA SILVA(1); FLÁVIO ALESSANDRO SERRÃO GONÇALVES(2); FERNANDO PINHABEL MARAFÃO(3); HELMO KELIS MORALES PAREDES(4); DANIELLA GONZALES TINOIS DA SILVA(5);**

**CPFL Energia(1); Unesp Sorocaba(2); Unesp Sorocaba(3); Unesp Sorocaba(4); UNESP Bauru(5);**

**RESUMO**

A estimação do tempo de vida útil de um transformador de potência pode viabilizar a melhoria do uso do ativo, bem como do planejamento quanto a sua confiabilidade frente ao seu impacto no sistema elétrico de potência por falhas. Neste contexto, este artigo faz a análise de duas metodologias de avaliação de ciclo de vida de transformadores considerando a aplicação de ambas em um universo de 230 equipamentos em operação na rede de alta tensão, as metodologias avaliadas baseiam em análise de taxa de saúde e análise estatística de falha dos subcomponentes e acessórios dos transformadores.

**PALAVRAS-CHAVE**

Transformadores de Potência, Modelo de Ciclo de Vida.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os transformadores de potência são os dispositivos considerados mais críticos e caros de um sistema de potência (1), podendo comprometer até 60% do valor do investimento necessário para a construção de uma subestação. Assim, este importante componente do sistema elétrico de potência deve ser um dispositivo que apresente alta taxa de confiabilidade, para que os desembolsos realizados com o investimento não se percam com energia não suprida ou penalizações das agências regulatórias. O processo de mensuração da confiabilidade de transformadores basicamente envolve a realização de duas etapas, a primeira envolve a detecção prévia de falhas iminentes e a segunda o desenvolvimento prévio de um planejamento adequado de substituição das unidades com previsão de falha, no menor tempo possível.

No Brasil o Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico (MCPSE) estabelece que a taxa de depreciação anual para transformadores de potência a ser considerada deve ser de 2,86%, perfazendo aproximadamente um montante de 35 anos para integrar a sua depreciação de forma total (2), não sendo interessante para o investidor que a máquina não complete seu ciclo de vida.

Em (3) é relatado que bibliografias oriundas do AIEE (*American Institute of Electrical Engineers*) datadas anteriormente a 1942, já descreviam os efeitos da degradação do isolamento dos condutores do enrolamento do transformador, em função do tempo e temperatura a que as máquinas eram submetidas. Porém, somente em 1956 a AIEE criou um grupo de trabalho para abordar a influência do carregamento dos transformadores em seu ciclo de vida.

Conforme (4), uma pesquisa realizada em 2005 pela EPRI (*Electric Power Research Institute*) demonstrou que 66,7% das companhias de energia elétrica entrevistadas consideraram que o envelhecimento dos transformadores de potência uma preocupação de grande relevância, pois os efeitos ocasionados em função da degradação do

meio isolante acarretam danos aos condutores do enrolamento de um transformador em função do tempo e temperatura a que eram submetidos.

Por outro lado, os transformadores atualmente estão operando em um contexto de desempenho funcional diferente do que foram projetados no início da sua utilização. A inserção de Geração Distribuída (GD), principalmente baseada em painéis fotovoltaicos, e a grande disseminação de cargas não lineares passaram a ser elementos comuns nos sistemas elétricos. Por exemplo, os conversores utilizados para conectar as fontes de energia renováveis a rede elétrica podem gerar distúrbios não intencionais devido a sua frequência de chaveamento e/ou topologia utilizada (monofásica, bifásica ou trifásica), característica que pode gerar distorções e/ou desequilíbrios nas formas de onda das correntes e/ou tensões. Ao mesmo tempo, existem condicionadores de energia (bancos capacitivos e filtros passivos) que foram concebidos para operação senoidal e que quando operando sob tensão distorcida, podem estar sujeitos a ressonâncias (5).

Dos vários efeitos observados, constata-se que a existência de novas fontes de energia, em geral acopladas à rede através de conversores eletrônicos chaveados, em conjunto com cargas com características não senoidais, tem resultado em distorções harmônicas de tensão e/ou corrente, trazendo como efeito colateral o aumento das perdas no enrolamento do transformador, da temperatura do enrolamento e conseqüentemente impactando na redução da vida útil do transformador (6).

Os efeitos prejudiciais causados nas máquinas elétricas devido a existência de componentes harmônicos presentes no sistema elétrico de potência são de conhecimento estabelecido da comunidade científica e técnica há algumas décadas.

Este artigo apresenta a aplicação de duas metodologias de obtenção de perda de vida útil de transformadores de potência, sendo uma com aplicação de indexador de saúde do transformador (1) e uma segunda baseada na análise de dados de inspeção (4).

Um índice de saúde permite uma maneira rápida e eficiente de avaliar e comparar o estado geral do transformador de potência. Esse tipo de avaliação é baseado em testes de rotina, cujos resultados são transformados em pontos que, uma vez processados, explicam o estado geral do transformador de potência. Assim, todos os mecanismos de deterioração são identificados e listados. Com base nos resultados, o modelo sugere as prováveis tendências de falhas e deficiências necessárias de serem corrigidas e fornece uma solução para manter o transformador em condições de funcionamento por mais um período. Essa indexação de saúde é diferente dos testes de manutenção normais dos transformadores, pois, é apropriadamente representada por meio de um sistema de pontuação quantificada. Tal metodologia é descrita com mais detalhes no item 2 (7).

A modelagem baseada em dados de inspeção usa uma combinação da metodologia do indexador de saúde e de outra metodologia baseada em ferramentas estatísticas. Tal modelo apresenta estatisticamente o comportamento esperado das unidades a medida que envelhecem e, ajusta a tendência do seu índice de saúde versus a idade, a esse comportamento através de uma análise de regressão. Assim, obtém-se um modelo que relaciona o índice de saúde com a idade. Assim, com as idades ajustadas pelo índice de saúde, os valores são inseridos em um modelo de probabilidade de falha para encontrar seu valor real de probabilidade de falha. Esta metodologia está descrita em 3 (4).

Ambas as metodologias foram exploradas e implementadas, para serem comparadas, considerando um cenário com 230 máquinas, com potências entre 12,5 MVA e 50 MVA e com níveis de tensão no enrolamento de alta tensão entre 69 kV e 138 kV.

## 2.0 - INDEXADOR DE SAÚDE (IS)

O modelo de ciclo de vida com base em um indexador de saúde, proposto em (7) é um sistema computacional fuzzy no qual é realizada uma avaliação comparativa do estado geral do transformador de potência. O modelo se baseia em ensaios de manutenção preventiva e dados de manutenção e operação, realizados a partir do comissionamento do transformador. A determinação do indexador de saúde utiliza um sistema de pontos, no qual o transformador recebe pontuações de acordo com o estado do item avaliado. Cada item possui faixas de valores estabelecidos considerando aspectos de taxas de saúde recomendadas nas normatizações como a *IEC (International Electrotechnical Commission)* e o *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering)*. Desta forma, a metodologia de estimação baseada no indexador de saúde visa avaliar o dado recebido, comparar com faixas pré-estabelecidas, pontuar e ponderar de acordo a importância do item para a saúde do transformador. Conforme ilustra a Figura 1, os dados relacionados com a análise de carregamento, dos gases envolvidos, e da manutenção e proteção, são empregados para a obtenção do modelo de ciclo de vida baseado no indexador de saúde.

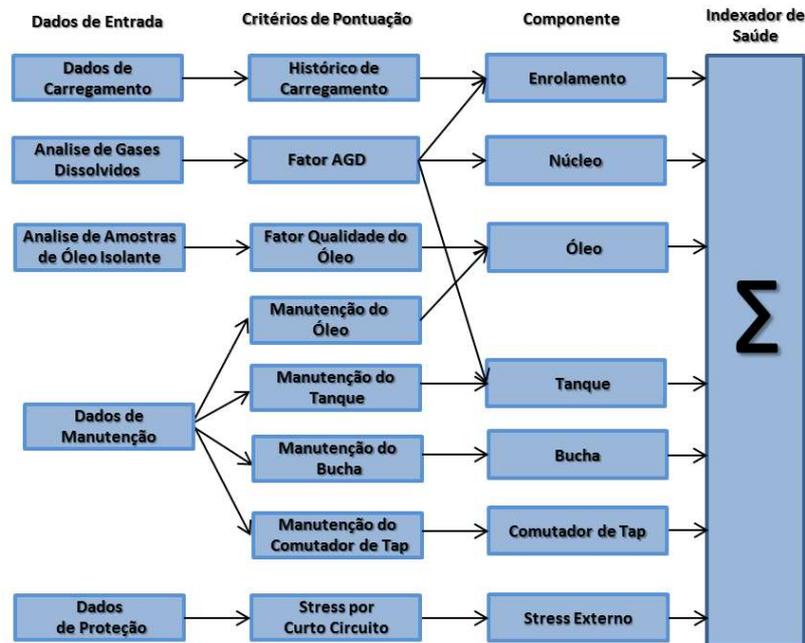


FIGURA 1 – Diagrama de Funcionamento do Indexador de Saúde.

## 2.1 Histórico de Carregamento (HC)

O estado de deterioração do isolante sólido do enrolamento é altamente dependente da temperatura de operação do enrolamento, a qual sofre influência direta do carregamento do transformador. Assim, tal fator é avaliado pelo histórico de carregamento (HC) do transformador, calculado utilizando a relação entre a máxima potência ( $S_i$ ) registrada no mês e a potência nominal ( $S_B$ ). O registro é efetuado, sempre que a relação  $S_i/S_B$  se encontra em algumas das seguintes faixas de valores:  $N_0$ :  $S_i/S_B < 0,6$ ;  $N_1$ :  $0,6 < S_i/S_B < 1$ ;  $N_2$ :  $1 < S_i/S_B < 1,3$ ;  $N_3$ :  $1,3 < S_i/S_B < 1,5$  e  $N_4$ :  $S_i/S_B > 1,5$ . A partir dos registros é calculado o histórico de carga conforme a Equação 1, sendo  $i$  o valor referente a cada faixa de valores da relação e  $N_i$  é a relação entre  $S_i$  e  $S_B$ .

$$HC = \frac{\sum_{i=0}^4 (4-i) N_i}{\sum_{i=0}^4 N_i} \quad (1)$$

## 2.2 Análise de Gases Dissolvidos (AGD)

A análise de gases dissolvidos (AGD) emprega dados provenientes de ensaios periódicos de cromatografia, para avaliar quantitativamente a concentração de gases presentes no meio isolante líquido, para posteriormente pontuar de acordo com as recomendações normatizadas deste item. O fator AGD pode ser calculado através da Equação 2, onde  $i$  é referente ao número de gases analisados, sendo: hidrogênio, metano, etano, etileno, acetileno, monóxido de carbono e dióxido de carbono.

$$AGD = \frac{\sum_{i=1}^7 S_i W_i}{\sum_{i=1}^7 W_i} \quad (2)$$

Sendo  $S_i$  a pontuação específica de cada gás de acordo com o seu nível de concentração e  $W_i$  é o peso ponderado, em função da relevância da presença do gás no isolante líquido.

### 2.3 Análise de Fator de Qualidade do Óleo Isolante (FQO)

A análise do fator de qualidade do óleo isolante (FQO) emprega ensaios físico-químico de amostras do óleo isolante para realizar a avaliação quantitativa de alguns elementos presentes no óleo. O fator de qualidade do óleo (FQO) pode ser determinado por meio da Equação 3, onde  $i$  é referente aos elementos analisados no FQO, sendo: teor de água, rigidez dielétrica, acidez, tensão interfacial, coloração e fator de dissipação.

$$FQO = \frac{\sum_{i=1}^6 S_i W_i}{\sum_{i=1}^6 W_i} \quad (3)$$

Sendo  $S_i$  é a pontuação específica de cada elemento de acordo com o seu nível de concentração e  $W_i$  é o peso ponderado, em função da relevância da presença do elemento no isolante líquido.

### 2.4 Análise de Dados de Manutenção (ADM)

O impacto do histórico de manutenções é avaliado com base no número de manutenções corretivas realizadas nos últimos 5 anos. O fator ADM é pontuado de acordo com as classes (A, B, C, D e E) apresentadas na Tabela 1, em que é possível constatar que há o estabelecimento de uma relação contrária, em que recebem uma pontuação mais alta, os itens que sofreram menor número de manutenções corretivas.

TABELA 1 - Tabela de Pontuação do Histórico de Manutenção

Componentes do Transformador	Classificação				
	A	B	C	D	E
Bucha	0	1 - 2	3 - 4	5 - 7	> 7
Vazamento de Óleo	0 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	> 8
Nível de Óleo	0	1 - 2	3 - 4	5 - 6	> 6
Resfriamento	0 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 15	> 15
Tanque Principal	0	1 - 2	3 - 4	5	> 5
Tanque Óleo	0	1 - 2	3 - 4	5 - 6	> 6
Aterramento	0	1 - 2	3	4 - 6	> 6
Conexões	0	1 - 2	3	4	> 6

### 2.5 Classificação e Pontuação do Indexador de Saúde

O indexador de saúde interpreta as condições do transformador de acordo com os fatores elencados que afetam a vida útil do transformador. O método emprega ao todo 22 fatores de avaliação para compor o sistema de pontuação do indexador de saúde, com seus respectivos pesos, conforme ilustra a Tabela 2. O indexador de saúde pode ser calculado pela equação 4.

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

$$IS = 0,6 \times \frac{\sum_{i=1}^{19} S_i W_i}{\sum_{i=1}^{19} W_i} + 0,4 \times \frac{\sum_{i=20}^{22} S_i W_i}{\sum_{i=20}^{22} W_i} \quad (4)$$

TABELA 2 – Critério de Pesos e Pontuações do Indexador de Saúde

item	Fator	Peso (W <sub>i</sub> )	Classificação	Pontos (S <sub>i</sub> )
1	HC	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
2	AGD	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
3	FQO	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
4	Fator Potência	8	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
5	Estado Geral do Transformador	6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
6	Buchas	5	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
7	Tanque Principal	2	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
8	Refrigeração	2	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
9	Tanque Expansão	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
10	Fundação	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
11	Aterramento	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
12	Juntas e Vedações	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
13	Conexões	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
14	Vazamento de Oleo	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
15	Nive de Oleo	1	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
16	Relação de Transformação	5	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
17	Resistência do Enrolamento	8	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
18	Reatâncias	8	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
19	Polarização	10	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
20	AGD do Comutador	6	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
21	FQO do Comutador	3	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0
22	Estado Geral do Comutador	2	A,B,C,D,E	4,3,2,1,0

## 2.6 Aplicação da Metodologia de Indexador de Saúde

A metodologia de indexador de saúde, foi aplicada a um banco de dados contemplando envolvendo 230 unidades de transformadores, com potências nominais entre 12,5 MVA e 50 MVA, níveis de tensão primária de 69 kV e 138 kV, com idade média dos transformadores de 22,5 anos e com datas de fabricação variando de 2016 a 1949. A metodologia do indexador de saúde foi aplicada no universo de dados adotado e como resultados foram obtidas as seguintes informações:

- i) a expectativa de vida média é de 24,1 anos;
- ii) o transformador com maior expectativa de vida resultará em um ciclo de vida de 83 anos;
- iii) o transformador com menor expectativa de vida resultará em um ciclo de vida de 19 anos.

A Figura 2 apresenta um gráfico porcentual considerando os resultados de expectativas de vida obtidos empregando a metodologia IS, da qual é possível concluir que a concessionária detentora dos ativos, deverá estabelecer um plano de substituição de aproximadamente 23 unidades transformadoras a partir de 10 anos, ou ainda, que para esses 23 transformadores com menor expectativa de vida, deve ser verificar a redução das

expectativas de vidas ao longo dos próximos ensaios e manutenções preventivas, porém trazendo um bom relato quanto a aproximadamente 138 unidades, e acompanhamento da redução natural da vida útil do restante dos transformadores.

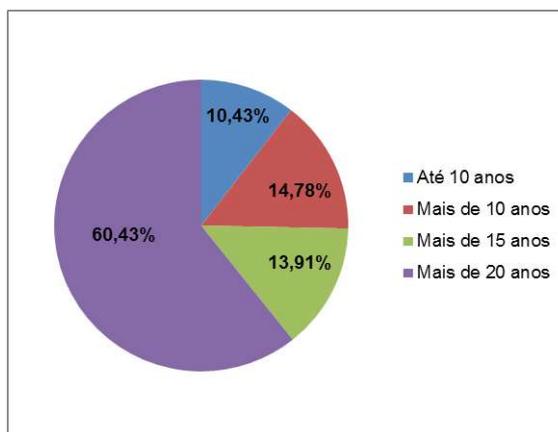


FIGURA 2 - Percentual de expectativa de vida – metodologia IS.

### 3.0 - ANÁLISE COMBINADA (INDEXADOR DE SAÚDE + ESTATÍSTICA) (AC)

A análise combinada é uma metodologia que utiliza o indexador de saúde em conjunto com a realização de análise estatística, visando efetuar a correção de lacunas existentes nas metodologias quando utilizadas de forma separada, com a premissa de prover informações de expectativa de vida para o transformador e uma probabilidade de falha. Assim, basicamente a metodologia combinada envolve a modelagem estatística com base no comportamento das unidades ao longo do seu envelhecimento, e ajusta os indexadores de saúde para cada grupo etário, a partir de uma análise estatística.

#### 3.1 Indexador de Saúde com Variação Etária

Esta fase da metodologia consiste em realizar um estudo da tendência do indexador de saúde dos transformadores, em função da idade. Esta análise visa identificar a existência de um padrão para o indexador de saúde, dentro de um grupo de transformadores com a mesma idade cronológica. Assim, o estudo consiste nas seguintes etapas:

- i) Ordenar os transformadores por idade crescente;
- ii) Formar grupos de mesma idade;
- iii) Remover os *outliers*<sup>1</sup> de cada grupo;
- iv) Calcular o indexador de saúde médio de cada grupo etário;

Para realização da etapa iii foi aplicado o teste de Grubbs, o qual determina, se os valores mais extremos de uma amostragem é um *outliers*, posteriormente foi realizada uma análise de regressão linear afim de se obter o valor do residual quadrático da regressão, que foi de 0,96. Os resultados desta etapa são apresentados na Figura 3.

<sup>1</sup> *Outlier* é o termo utilizado em análise estatística para um valor atípico em um conjunto de amostras, que apresenta um grande afastamento dos demais da série (que está "fora" dela), sendo inconsistente.

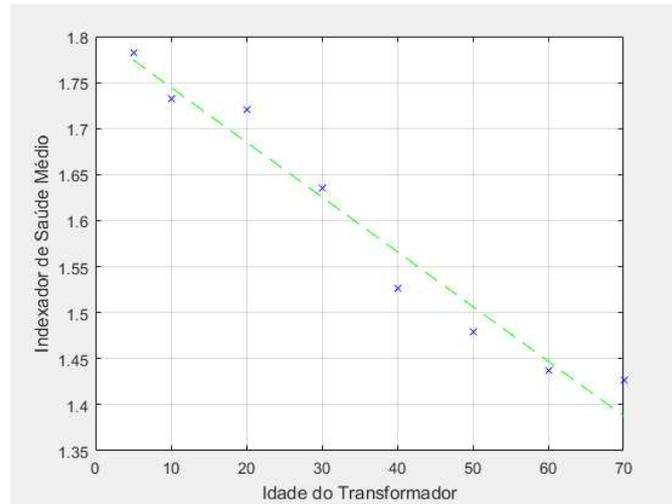


FIGURA 3 - Indexador de saúde médio por grupo etário de transformadores.

### 3.2 Cálculo da Expectativa da Vida em Função do Indexador de Saúde (EV)

A expectativa de vida do transformador pode ser calculada pela subtração da idade efetiva, da idade cronológica e dividida pela taxa de envelhecimento, conforme Equação 5. A idade efetiva é a idade que o transformador apresenta em função do indexador de saúde e a taxa de envelhecimento é a relação entre a idade cronológica e a idade efetiva.(8)

$$EV = \left| \frac{Id_{efetiva} - Id_{cronológica}}{Tx_{envelhecimento}} \right| \quad (5)$$

### 3.3 Resultado da Metodologia Combinada

Para a metodologia combinada foi utilizado o mesmo banco de dados descrito no item 2.5. Porém, após aplicação do indexador de saúde com variação etária foram descartadas 39 unidades, sendo consideradas *outliers*, pelo critério do teste de Grubbs. Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia combinada indicaram que:

- i) a expectativa de vida média é de 27,3 anos;
- ii) o transformador com maior expectativa de vida resultará num ciclo de vida de 76 anos;
- iii) o transformador com menor expectativa de vida resultará num ciclo de vida de 11,6 anos.

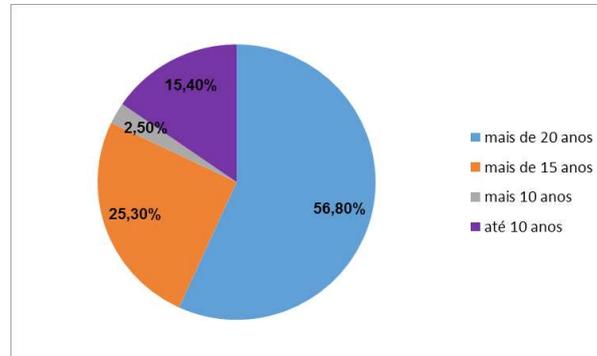


FIGURA 4 - Percentual de expectativa de vida - metodologia AC

Observe que, da aplicação deste método, resultam 15% dos equipamentos com expectativa de vida de até 10 anos, ou seja, menor que a média. Entretanto, a maioria das máquinas, 56,8%, possui expectativa de mais de vinte anos de vida útil de acordo com seu índice de saúde.

#### 4.0 - CONCLUSÃO

O presente artigo explorou a implementação prática de duas metodologias de avaliação de ciclo de vida de transformadores de potência, nomeadamente, a metodologia do indexador de saúde e a metodologia do indexador de saúde ajustada por análise estatística, aplicadas em um conjunto de 230 transformadores com potências entre 12,5 MVA e 50 MVA e com níveis de tensão no enrolamento de alta tensão de 69 kV e 138 kV.

A primeira metodologia implementada, baseada no indexador de saúde, apesar de detalhar bem como deve ser classificado e pontuado o indexador ou taxa de saúde do transformador, apresenta deficiências e necessidades de adequação para utilização na íntegra no cenário nacional. O primeiro item que deve ser observado é que algumas das faixas de valores dos fatores de classificação não estão de acordo com a NBR-5356 (9). Outro aspecto que requer atenção é a tabela de pontos, a qual teoricamente deveria fornecer 100 pontos máximos para transformadores com indexadores de saúde altos. Assim, os valores dos pesos empregados nesta metodologia devem ser revistos, afim de que a tabela de expectativa de vida não fique sem classificação a todos grupos de pontuações.

A segunda metodologia, baseada no indexador de saúde ajustado a faixa de idade dos transformadores, demonstrou melhor aderência quanto a customização do indexador de saúde ao longo do processo. Entretanto, apesar de utilizar um tratamento estatístico de complexidade mediana, requer um considerável universo de transformadores, com respectivas massas de dados para que torne o índice de correção do indexador de saúde em função da idade, com elevada taxa de confiabilidade. Assim, não sendo recomendado sua aplicação em casos em que o parque seja composto apenas por poucas unidades de transformadores.

Apesar da maioria das normatizações considerar a equação para cálculo de vida útil baseada na “Lei de Arrhenius”, nenhuma das duas metodologias exploradas neste artigo levou em consideração os efeitos da temperatura e seus fatores de influência no enrolamento do transformador com conseqüente degradação do isolante sólido.

A deterioração ocasionada pelas distorções harmônicas, quer seja na tensão, corrente ou suas combinações, é de conhecimento da comunidade técnico/científica há algum tempo. Para incluir o efeito das distorções e obter melhor resultado para otimizar as políticas de manutenção/substituição dos transformadores, espera-se que novos modelos sejam estudados, utilizando as novas teorias de potência, as quais permitem avançar na mensuração e classificação dos efeitos nos circuitos elétricos sob condições não senoidais, podendo contribuir de maneira efetiva na explanação e correção desses efeitos indesejados.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) PRADHAN, M., RAMU, T., Criteria for estimation of end of life of power and station transformer in service”, Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2004.

- (2) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico - MCPSE, 2015.
- (3) MCNUTT, W. J., KAUFMANN, G. H., Evaluation of Functional Life Test Model for Power Transformer, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. 1151-1162, 5 May 1983.
- (4) ABBASI, E., MALIK, O. P., Failure rate estimation of power transformers using inspection data, Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), Beijing, pp. 1-4, 2016.
- (5) E. V. Liberado, "Metodologia de projeto cooperativo para condicionadores de qualidade de energia," Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru-SP.
- (6) PAREDES, K. M. Paredes, Teoria de Potência Conservativa: Uma Nova Abordagem para o Controle Cooperativo de Condicionadores de Energia e Considerações Sobre Atribuição de Responsabilidades. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- (7) CHITNAVIS, K., BHASME, N. R., Review of Critical Analysis for Life Estimation of Power Transformer 4th International Conference on Power, Control & Embedded Systems (ICPCES), March.2017.
- (8) JAHROMI, A., PIERCY, R. , CRESS, S. , SERVICE, J. , FAN, W. , "An approach to power transformer asset management using health index," IEEE Elect. Insul. Mag., vol. 25, pp. 20-34, Mar./Apr. 2009.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Transformadores de Potência - NBR 5356:2010. Brasil

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Halley José Braga da Silva possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Paulista – UNIP (2008), Especialista em Gestão de Pessoas, pela Faculdade Anhanguera (2011), é Mestrando do Programa de Pós Graduação Faculdade de Engenharia de Bauru-FEB/UNESP, de 1998 a 2009, foi colaborador da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP, desenvolvendo atividades nas áreas de proteção, automação, controle e medição em instalações do sistema de transmissão, atualmente é coordenador de viabilidade de obras de subestações e linhas de distribuição do grupo CPFL, atuando nos processos de construção de subestações e linhas de distribuição das concessionárias do grupo CPFL.

Flávio Alessandro Serrão Gonçalves possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (1998), mestrado (2001), doutorado (2005) e pós-doutorado (2008) em Engenharia Elétrica com especialização na área de Eletrônica de Potência pela UNESP. Em 2011 foi Professor Visitante na Università degli Studi di Padova, Itália. Desde 2010 é professor doutor da UNESP no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba. Tem experiência no desenvolvimento de projetos tecnológicos com ênfase em Eletrônica Industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: Análise, projeto e implementação de conversores estáticos com comutação não dissipativa; Qualidade do processamento eletrônico da energia elétrica; Correção ativa do fator de potência; Técnica de interleaved para conversores; Conversores CC-CC e CA-CC; Controle e Acionamentos de Máquinas Elétricas.



Noel Nascentes Burnier, 1755, 1º andar – Bloco 3 – CEP 13088-900, Campinas, SP - Brasil  
Tel: (+55 19) 3756-8769 – Email: halley@cpfl.com.br



Fernando Pinhabel Marafão é Engenheiro Eletricista pela UNESP, com mestrado e doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Em 2002 foi pesquisador visitante na Universidade de Padova, Itália, e em 2013 foi pesquisador visitante na Colorado School of Mines, Estados Unidos. Desde 2005, é professor no Campus de Sorocaba da UNESP, onde é pesquisador do Grupo de Automação e Sistemas Integráveis (GASI). Tem participado como coordenador ou integrante de diversos projetos de pesquisa, extensão e/ou desenvolvimento tecnológico, com mais de 130 trabalhos publicados em revistas, jornais e conferências. Suas principais áreas de interesse são análise e condicionamento de energia elétrica, micro geração distribuída de energia, técnicas de controle para redes inteligentes de energia e teorias de potência para circuitos elétricos modernos. É membro da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência, da Sociedade Brasileira de Automática e do IEEE. Desde 2015 é membro de três Comitês Técnicos do Conselho Estadual de Política Energética de São Paulo.



Daniella Gonzalez Tinois da Silva possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (1998), mestrado (2001), pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" – FEIS/UNESP, Doutoranda em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia de Bauru/Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" – FEB/UNESP, atualmente é docente do curso de engenharia elétrica do Centro Universitário de Lins – UNILINS e docente do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Ensino Superior do Interior Paulista – FAIP, desenvolve atividades de conselheira da Câmara Especializada de Engenharia Elétrica do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo – CREA-SP.

Helmo Kelis Morales Paredes, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Nacional de San Agustín (UNSA) de Arequipa, Perú (2002), com mestrado e doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2006 e 2011, respectivamente. De outubro de 2009 a junho de 2010 foi pesquisador visitante na Universidade de Padova, Itália, de novembro de 2013 a janeiro de 2014 realizou estágio de pesquisa na Universidade de Nottingham, Inglaterra e em 2018 foi pesquisador visitante na *Colorado School of Mines*, Estados Unidos. Desde 2011, é professor da UNESP no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS). Atualmente é líder do Grupo de Automação e Sistemas Integráveis (GASI/UNESP/CNPq) e Presidente (desde junho de 2013) da Comissão Interna de Conservação de Energia do ICTS. Também é professor colaborador na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) desde 2012. É membro efetivo do IEEE, da Sociedade Brasileira de Automática (SBA) e da Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP). Em 2011 recebeu o "*Prize Paper Award in the IEEE TRANSACTIONSON POWER ELECTRONICS*". Atualmente é membro sênior do IEEE e Editor associado do *IEEE Latin America Transactions*.