



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

BR/GMI/16
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – XII

GRUPO DE ESTUDOS DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO – GMI

PROPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO EM CAMPO DE UM NOVO CONCEITO PARA O DIAGNÓSTICO DO ESTADO OPERACIONAL DE CABOS ISOLADOS

LOANA N. VELASCO(*)
(UFU)

JOSÉ C. OLIVEIRA
(UFU)

LUIZ C. G. FREITAS
(UFU)

ANTÔNIO P. FINAZZI
(UFMT)

FERNANDO N. LIMA
(UFMT)

HILTON C. MARTINS
(CEMIG)

WHESTER J. ARAÚJO
(CEMIG)

RESUMO

No contexto da continuidade dos suprimentos ressaltam-se as interrupções não programadas oriundas das falhas dos isolamentos de cabos subterrâneos. Dos fenômenos responsáveis pela degradação destes, surge o da arborescência, que pode impactar sobre os materiais dielétricos. Portanto, procedimentos capazes de avaliar e indicar o estado operacional de cabos mostram-se altamente atrativos. Neste cenário, este informativo sintetiza os indicadores de desempenho clássicos e avalia o desempenho de um novo indicador para os objetivos em foco. Para evidenciar a consistência da metodologia são apresentados resultados de estudos conduzidos através de medições em cabos de média tensão de instalações subterrâneas da CEMIG.

PALAVRAS-CHAVE

Arborescência, Cabos Elétricos, Degradação, Interrupções, Qualidade da Energia.

1.0 - INTRODUÇÃO

A identificação do estado de degradação de cabos isolados apresenta de grande importância para a confiabilidade e continuidade da operação de sistemas elétricos de potência. Dentre os mais distintos fenômenos responsáveis pela degradação do isolamento de cabos, o da arborescência consiste num tipo relativamente comum de problema que se desenvolve na camada de isolamento destes componentes. Normalmente isto ocorre quando o cabo apresenta vazios e impurezas no interior da isolação, falhas ou saliência nas camadas dos semicondutores nos cabos XLPE, etc. [1]. Com o avanço da degradação, a forma de onda da corrente de fuga estabelecida entre o cabo condutor, a camada de isolamento e a malha de terra sofre alterações tanto em magnitude como na sua forma de onda, fatores estes que podem evidenciar que a vida útil do componente encontra-se significativamente comprometida [1]. Visando, pois o diagnóstico da situação operacional com que se encontra um cabo isolado, vários métodos foram desenvolvidos e têm sido empregados para fins de tomada de decisões sobre a necessidade ou não de providências diversas variando desde reparos até a substituição deste componente. Neste particular, visando meios práticos para o ajuizamento dos efeitos finais do fenômeno da arborescência sobre a degradação dos cabos e observando, de forma pontual, os estudos sobre a modelagem e métodos de diagnósticos, diversos trabalhos, a exemplo de [1]-[11], se destinam a proposição de procedimentos para a detecção deste tipo de falha através da extração de informações e parâmetros de desempenho sobre o nível de degradação da camada de isolação de cabos. Os métodos encontrados nas mencionadas referências possuem abordagens diferentes. Uns requerem que o cabo esteja desenergizado enquanto que outros se baseiam em medições com o componente energizado, porém, à vazio. Pesquisas realizadas e descritas em [12]-[16], complementarmente ao tema, relatam contribuições na direção do estabelecimento de modelos matemáticos destinados a representação e simulação do fenômeno da arborescência e, a partir dos sinais amostrados, são apontadas direções para a obtenção de parâmetros de desempenho do estado operacional de cabos isolados.

Avançando neste tópico, o presente artigo encontra-se focado para estudos avaliativos de desempenho da aplicação dos processos classicamente utilizados para a avaliação dos indicadores de estado de cabos. Somado a estes estudos de natureza clássica, o informativo apresenta um novo indicador de estado, fundamentado no padrão de não linearidade atrelado com o fenômeno da arborescência. Visando o estabelecimento de meios comparativos para uma avaliação da consistência da metodologia proposta, através de medições em cabos comerciais, reconhecidamente novos e antigos, existentes em três instalações da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG D), são apresentados resultados de desempenho extraídos dos procedimentos clássicos e a estratégia ora proposta.

2.0 - INDICADORES DE DESEMPENHO DO ESTADO DE DEGRADAÇÃO DE CABOS ISOLADOS

Cabos que apresentam níveis variados de degradação possuem formas de onda de corrente de fuga, entendendo-se por esta denominação aquela estabelecida entre o condutor e sua blindagem aterrada, com características físicas apropriadas ao diagnóstico do estado físico com que se encontram seus isolamentos. Além dos valores eficazes, ângulos de fase, perdas ativas, etc. algumas propriedades particulares, a exemplo da manifestação de correntes harmônicas de terceira harmônica como efeito dominante e pequenos níveis de corrente contínua [7], [8] também se apresentam como grandezas relevantes a análise em pauta. Os métodos tradicionais e outros não tão clássicos já difundidos na literatura, incluindo o novo conceito aqui explorado, conforme estabelecido em [12]-[16], se apresentam como:

2.1 Indicadores Convencionais

- ✓ Potência dissipada no dielétrico – A potência dissipada (P) é um indicador de estado que está diretamente associado o grau de perdas encontrado para o isolamento do cabo e pode ser empregado para a estimativa da densidade da deterioração [1];
- ✓ Fator de perdas dielétrico – O fator de perda dielétrica ($\tan(\delta)$) correlaciona os valores relativos das reatâncias capacitivas equivalentes do isolamento com os respectivos valores das resistências de fuga, portanto, reconhecendo-se que, com o aumento da degradação o efeito resistivo torna-se mais preponderante, haverá um impacto direto sobre este indicador.

2.2 Indicadores não Convencionais

- ✓ Distorção harmônica total da corrente de fuga (DHT_1) – Este indicador apresenta valores crescentes à medida que o grau da deterioração aumenta [1];
- ✓ Componente harmônica individual da corrente de fuga (I_3) – A magnitude da componente de corrente harmônica de ordem 3 presente na corrente de fuga, em consonância com [5] tende a crescer à medida que a degradação aumenta. O comportamento deste indicador é similar ao do DHT_1 , todavia, o mesmo se apresenta como uma alternativa para contornar a dispersão que pode ocorrer na análise, visto que a componente em pauta se apresenta dominante;
- ✓ Ângulo de fase da componente de terceira harmônica (θ_3) – Trata-se de um indicador de estado que tende ao mesmo ângulo de fase da componente fundamental da corrente de fuga à medida que o grau de deterioração da camada isolante aumenta [1];
- ✓ Coeficiente de Não Linearidade da relação $V \times I$ (Δp) – Trata-se de um indicador que relaciona os valores instantâneos das tensões aplicadas ao cabo e suas respectivas correntes de fuga, obtendo-se, deste modo, correlações que expressam uma maior ou menor linearidade da relação. Diante do exposto neste artigo, esta estratégia se mostra promissora para os fins aqui delineados. À luz destes fatos, para os propósitos da caracterização de nível de não linearidade presente nas medições utiliza-se um indicador tratado em [15], [16], cujos fundamentos são ressaltados na sequência.

3.0 - INDICADOR DE NÃO LINEARIDADE

O mecanismo envolvido no processo da circulação da corrente de fuga entre o condutor interno de um cabo, seu isolamento, a blindagem e o aterramento podem ser sumariamente compreendido através da Figura 1(a). Esta esclarece que o material condutor propriamente dito é identificado por (A) enquanto que a blindagem do cabo que é externa à área isolada é indicada por (B). Esta superfície metálica oferece proteção e segurança para o cabo através de sua conexão a um ou mais pontos de aterramento. Esta estrutura construtiva determina, pois uma configuração geométrica responsável pela existência de um efeito capacitivo similar aqueles obtidos pela associação de dois materiais cilíndricos concêntricos separados por um isolante químico qualquer. Isto implica na existência de um capacitor equivalente, advindo de uma situação idealizada, a qual, para fins práticos, pode ser ainda complementada com uma inevitável resistência equivalente e representativa das componentes ativas das correntes de fugas. Portanto, idealmente, o circuito equivalente associado com a presença das reconhecidas correntes de fuga se apresenta com características de um arranjo RC. A Figura 1(b) fornece um corte transversal do componente em pauta.

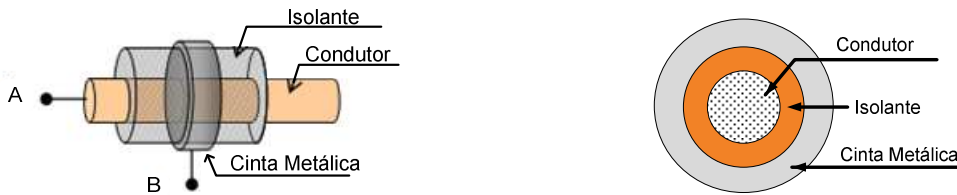


Figura 1–(a) Concepção física e construtiva de um cabo isolado (b) Seção transversal representativa de um cabo isolado.

Neste cenário, para as porções não degradadas, o modelo equivalente de um cabo isolado consiste na combinação RC anteriormente referida, em que pese os valores a serem atribuídos a tais parâmetros, já que nem toda a superfície se encontra sob condições normais de operação. No que tange às seções que evidenciam os problemas aqui contemplados, há de se reconhecer que as mesmas se apresentam com características não lineares, como ressaltado em algumas publicações sobre o tema [1], [2], [5], [10]-[16]. A título de ilustração, a Figura 2 representa a relação corrente versus tensão esperada para um componente não linear, a qual, para os objetivos deste trabalho, poderia ser utilizada para a representação da região degradada de um determinado cabo. Vale observar que, tanto mais linear seria a relação entre as grandezas quanto menos degradado se apresentar o cabo. A tensão indicada seria aquela associada com a de suprimento do cabo enquanto que a corrente seria indicativa de sua correspondente fuga.

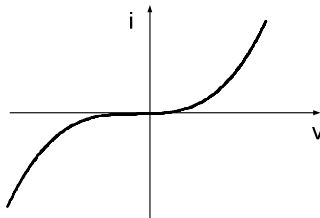


Figura 2–Estratégia concebida para a modelagem das regiões degradadas dos cabos isolados – relação não linear.

Diante do exposto fica, pois evidenciado que a modelagem de um trecho de cabo, que se apresenta com regiões normais e deterioradas, pode ser idealizada através da combinação de circuitos equivalentes compostos por componentes lineares e não lineares. A Figura 3 mostra a concepção física em pauta e permite constatar dois circuitos distintos e complementares, um destinado a representação das partes sãs (vários conjuntos RC em paralelo), e outra, composta pela combinação série de um arranjo resistivo não linear e outro do trecho destinado a modelar as áreas sãs da região onde se localiza as arborescências. Naturalmente, os valores atribuídos a tais parâmetros ditarão os níveis de degradação envolvidos para cada situação sob análise.

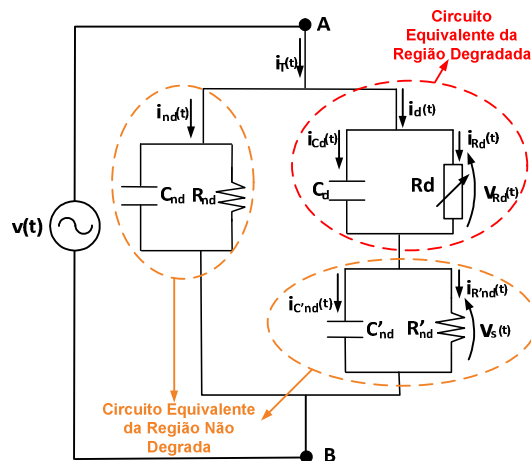


Figura 3 - Circuito equivalente para uma dada extensão de cabo compreendendo partes sãs e outras degradadas. Na figura anterior:

- ✓ C_{nd} – Capacitância equivalente do trecho não degradado da extensão longitudinal do cabo;
- ✓ R_{nd} – Resistência equivalente do trecho não degradado da extensão do cabo;
- ✓ C_d - Capacitância equivalente da extensão de cabo degradada;
- ✓ R_d - Resistência não linear representativa da região danificada do trecho degradado do cabo;

- ✓ C'_{nd} - Capacitância equivalente à região não danificada da seção transversal do trecho degradado do cabo;
- ✓ R_{nd} - Resistência equivalente à região não danificada da seção transversal do trecho degradado do cabo.

Tendo por base o circuito equivalente proposto, através de um processo de análise detalhado em [16], chega-se a uma grandeza definida por Coeficiente de Pearson ou Fator de Não linearidade. Para tanto, considera-se que as grandezas a serem correlacionadas são: a tensão e a corrente, atreladas ao elemento não linear. Nesse sentido, a existência de uma característica não linear entre essas grandezas, retrata o nível de degradação dos cabos. Quanto maior o nível da degradação do cabo, maior a não linearidade, sendo assim, a característica levantada para um cabo em condições nominais de operação será representada por uma relação linear perfeita, onde o Coeficiente de Pearson será igual a 1. Por outro lado, com o surgimento da arborescência, a relação entre a tensão e a corrente deixa de ser linear, conforme apresentado em Figura 2, e o Coeficiente de Pearson diminui. Este coeficiente é derivado da seguinte relação:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 \sum (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

Onde:

- r – Correlação de Pearson
- x_i – Valores medidos da variável X
- \bar{X} – Média aritmética da variável X
- y_i – Valores medidos da variável Y
- \bar{Y} – Média aritmética da variável Y

Todavia, diante do objetivo maior deste informativo técnico, os desenvolvimentos que se seguem ficarão restritos aos estudos avaliativos e comparativos de desempenho do processo, o qual poderá ser minuciosamente compreendido na referência supra destacada.

4.0 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE ATRAVÉS DE MEDIÇÕES EM CAMPO

Os estudos aqui realizados e reportados compreendem uma síntese de um grande número de medições e análises conduzidas em campo. Das distintas situações contempladas nos trabalhos, optou-se pela apresentação de três cabos representativos do assunto em pauta. Estes compreenderam trabalhos realizados para cabos comerciais da CEMIG, na cidade de Uberlândia-MG, a saber:

- ✓ Cabo 1 - Usina de Capim Branco

Cabo de 400mm², com extensão aproximada de 3 km e classe de tensão de 8,7/15 KV, com isolamento XLPE. Ressalta-se que muito embora o mesmo se encontre instalado há 12 anos, seu uso foi muito pequeno.



Figura 4—Instalação onde se localiza o Cabo 1 – Usina de Capim Branco, Uberlândia-MG.

- ✓ Cabo 2 - Subestação CEMIG Uberlândia

Cabo de 400mm², com extensão aproximada de 60 m e classe de tensão de 8,7/15 KV, com isolamento XLPE, operando por aproximadamente 25 anos.



Figura 6—Instalação onde se localiza o Cabo 2 – Subestação, Uberlândia-MG.

✓ Cabo 3 – Rede subterrânea na Av. Floriano Peixoto

Cabo de 400mm², com extensão aproximada de 145 m e classe de tensão de 8,7/15 KV, com isolamento XLPE, em operação há cerca de 6 meses.



Figura 5—Instalação onde se localiza o Cabo 3 – Rede Subterrânea na Av. Floriano Peixoto, Uberlândia-MG.

Utilizando de um registrador de tensões e correntes, para o caso um medidor de qualidade de energia, obteve-se as formas de onda das Figs. 7(a) a 7(c). Vale lembrar que as correntes significam as de fuga, a tensão a de suprimento nominal do cabo, e ainda, que estes se encontram sem carga.

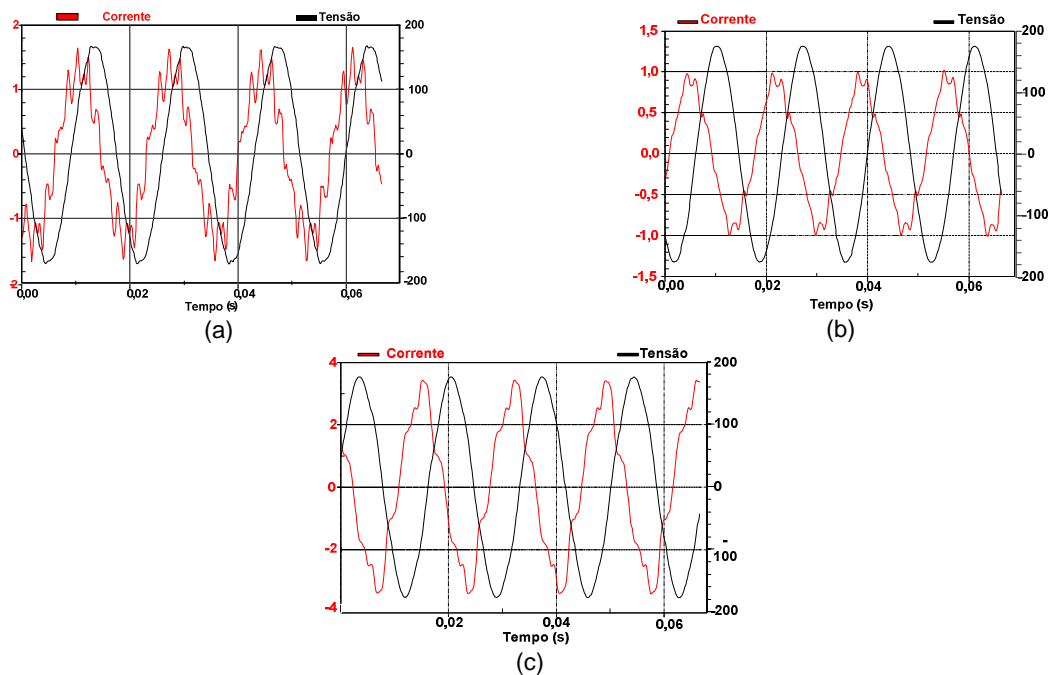


Figura 8- Correntes de fuga e tensões medidas: a) Cabo 1; b) Cabo 2 e c) Cabo 3.

Considerando que o fenômeno de arborescência acarreta, predominantemente, na corrente de fuga, harmônicos de terceira ordem, decidiu-se, para simplificação da análise, considerar, na simulação, apenas os harmônicos de corrente até a nona ordem. Uma vez eliminadas as componentes harmônicas de ordem superior à esta, as formas de onda das correntes de fuga obtidas passam a se apresentar com os aspectos indicados na Figura 9. As correspondentes correlações entre as tensões medidas e as correntes conduzem aos resultados indicados na Figura 10. Vale lembrar que estes desempenhos gráficos são fornecidos pelo aplicativo computacional desenvolvido pelos autores e encontram-se fundamentados no novo processo avaliativo.

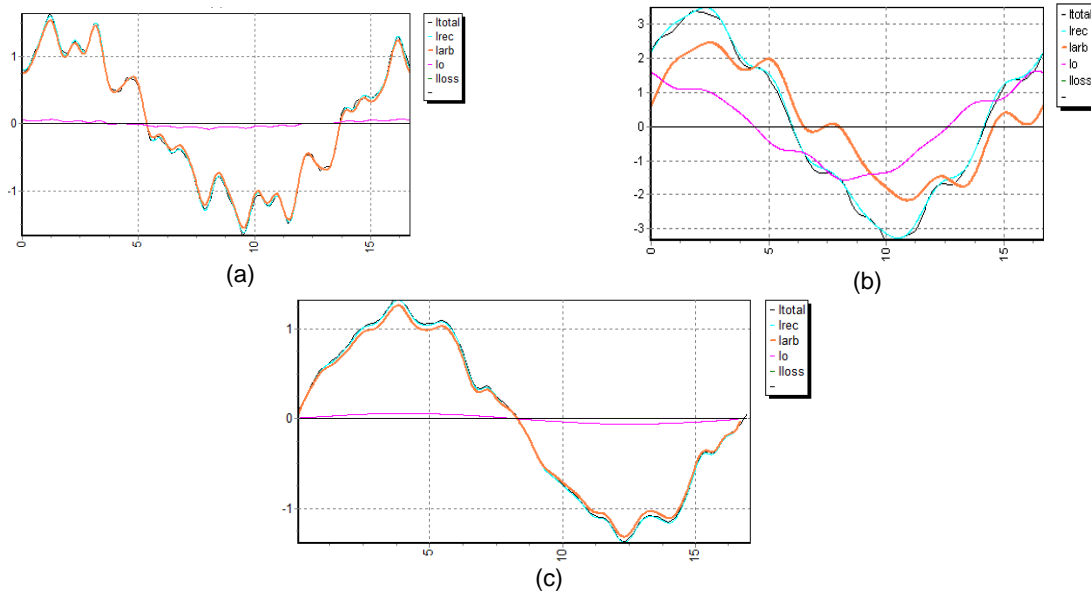


Figura 9 - Correntes de fuga medidas: a) Cabo 1; b) Cabo 2 e c) Cabo 3.

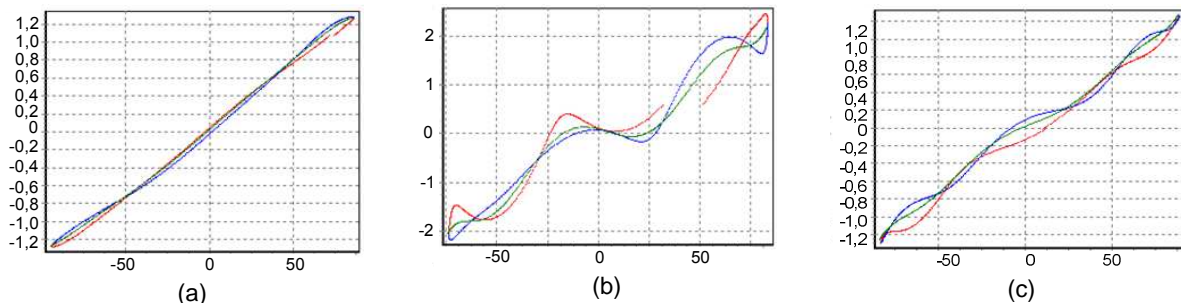


Figura 10 - Característica tensão versus corrente: a) Cabo 1; b) Cabo 2 e c) Cabo 3.

Por fim, foram realizadas avaliações comparativas entre distintos indicadores de estado, envolvendo os métodos tradicionalmente empregados e a proposição aqui referida. Os resultados encontram-se sintetizados na Tabela I e permitem uma pronta comparação entre as grandezas utilizadas, e aqui proposta, para a identificação do grau de degradação das amostras de cabos utilizadas para os trabalhos anteriores. Para maior clareza dos resultados alcançados, o Coeficiente de Não Linearidade é apresentado de forma porcentual entre o valor medido e a referência unitária ($\Delta\rho\%$).

De uma maneira geral, os resultados associados aos indicadores convencionais do estado de degradação de cabos isolados ratificam uma inconsistência com os valores esperados, conforme já reportado em [12], [13], [17], [18]. Nesse sentido, em função dos indicadores $\tan\delta$ e θ_3 ($^\circ$), verifica-se que o Cabo 3 se apresenta com os maiores níveis de degradação. Por outro lado, os resultados obtidos para a DHT_1 e o I_3 implicam que o Cabo 1 seria o mais degradado dentre todos os analisados. No que se refere aos valores da Resistência Equivalente, estes não se mostram compatíveis com os estados das amostras. Frente a essas análises, observa-se que apenas o indicador de Potência Dissipada refletiu uma condição coerente com o grau de degradação dos cabos em estudo. Esta análise comparativa, todavia, compreende uma área de estudos não focada nesta pesquisa e as fragilidades dos procedimentos clássicos já foram consideradas em trabalhos anteriores.

Por fim, no que tange ao novo indicador aqui proposto, as avaliações realizadas através das estratégias mencionadas anteriormente revelaram uma boa aderência de desempenho deste às condições físicas previamente conhecidas para as amostras utilizadas, ficando evidenciado que o Cabo 2, em utilização há 25 anos, se apresenta com maior estado de degradação.

Tabela I- Síntese dos resultados obtidos.

Indicadores de Estado	Cabo 1	Cabo 2	Cabo 3
$\tan\delta$	0,54	0,574	0,966
DHT ₁ (%)	3,18	3,36	1,86
P (W/m)	4,56	25,52	6,97
θ_3 (°)	262,18	193,11	160,14
I ₃ (%)	2,31	1,80	0,53
R _{eq} (KΩ)	0,141	0,30	0,07
Δp (%)	0,13	3,18	0,45

5.0 - CONCLUSÃO

O presente trabalho foi dedicado à avaliação de desempenho dos procedimentos atualmente estabelecidos para o diagnóstico das condições operacionais com que se encontram os cabos isolados, assim como, contribuir para o processo de análise através da proposição de um procedimento alternativo fundamentado na relação entre as tensões aplicadas e as respectivas correntes de fuga.

Empregando-se um registrador para as medições em campo, o qual foi desenvolvido pelos autores, foram realizados diversos testes em distintas amostras de cabos comerciais. Os resultados selecionados para apresentação e discussões neste trabalho correspondem a três investigações conduzidas em instalações reais da concessionária de distribuição local. Os indicativos obtidos, fundamentados em medições feitas para três cabos em operação em campo, mostraram a factibilidade do estabelecimento de estratégias consistentes para os propósitos em pauta. No que tange aos resultados advindos dos métodos clássicos, estes se mostraram, fisicamente, com boa aderência às expectativas. Quanto ao processo avaliativo através da caracterização da não linearidade entre a tensão aplicada e respectiva corrente de fuga, este ainda se apresenta como uma alternativa promissora, todavia, ainda merecedora de maiores investigações.

Por fim, vale ressaltar que muito embora os resultados atingidos sejam encorajadores, os autores reconhecem que trabalhos adicionais devam ainda ser conduzidos até a consolidação de uma metodologia confiável para a caracterização e emissão de parecer sobre o estado operacional da camada isolante de cabos.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BULINSKI T., SO E., BAMJI S. S., "Measurement of the Harmonic Distortion of the Insulation Loss Current as a Diagnostic Tool for High Voltage Cable Insulation," 0-7803-5935-6/00/\$10.00 © 2000 IEEE, pp 1615-1620, 2000.
- (2) FURUHASHI T., TOHYAMA K., IMAI T., MURATA Y., "Dissipation Current Waveform of Water Tree Deteriorated Low Density Polyethylene Sheet", IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 529-532, 2006.
- (3) NAKAJIMA A., KASHIWAGI N., MURATA T., TAKASHI S., FUKUDA O., KITAL S., TOKUMARU K., and HIROTAU K., "Development of a hot-line diagnostic method for XLPE cables and the measurement results," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, No. 2, pp. 857-862, April 1989.
- (4) YAMAGUCHI S., SODA S., TAKADA N., "Development of a New Type Insulation Diagnostic Method for Hot-Line XLPE Cables", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4 no. 3, pp. 1513-1520, July 1989.
- (5) TSUJIMOTO T., NAKADE M., YAGI Y., ADACHI K., TANAKA H., EGASAKI-CHO, TSURUMI-KU, YOKOHAMA, KANAGAWA, YAWATA-KAIGANDORI, ICHIHARA, CHIBA, HIGASHI-SHINAGAWA, SHINAGAWA-KU, "Development of ON-SITE Diagnostic for XLPE Cable by Harmonics in AC Loss Current," 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, pp. 73-76, 2003.
- (6) HASHIZUME T., SHINODA C., TANI T., and TANIGUTI T., "A consideration on Life of XLPE cable by dry-curing process", 6th International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 27-34, 1989.
- (7) ZHANG, W., YUTAO, Z., BAITUN Y., LIU Y., "Study on DC Component Method for Hot-Line XLPE Cable Diagnosis", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 95-98, 1994.
- (8) ZHANG, W., YUTAO, Z., BAITUN Y., LIU Y., "A Study on DC Component Method of On-Line Diagnosis for XLPE Cables", 4th International Conference on Properties and Applications Dielectrics Materials, vol.1 pp. 375-378, 1994.

- (9) T. OZAKI, N. ITO, I. SENGOKU, J. KAWAI, AND S. NAKAMURA, "Changes of capacitance and dielectric dissipation factor of water-treed XLPE with voltage", International Symposium Electrical Insulating Material, pp. 459-462, 2001.
- (10) YAGI, Y., TANAKA, H., and KIMURA, H., "Study on Diagnostic Method for Water Treed XLPE Cable by Loss Current Measurement", Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 653-656, 1998.
- (11) M. SUZUKI, N. YOSHIMURA, "Three-dimensional equivalent circuit analysis of water tree," in Proc. of International Conference on Power and Energy Systems., pp.1-4, 2011.
- (12) LIMA, F. N., OLIVEIRA, J. C., ANDRADE, D. A., et. all, "Modeling Water Tree Phenomenon for Insulated Cable Loss Current Estimation", IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, pp. 1-6, 2008.
- (13) LIMA, F. N., "A contribution to the insulated cable operational performance estimation due to water tree phenomenon", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia 2008.
- (14) VELASCO, L. N., OLIVEIRA, J. C., FREITAS, L. C. G., LIMA, F. N., FINAZZI, A. P., "Uma proposta de modelagem para estudos da degradação de cabos isolados devido ao fenômeno de arborescência", Eletrônica de Potência - SOBRAEP, vol.16, pp 118-129, Março 2011.
- (15) VELASCO, L. N., OLIVEIRA, J. C., FREITAS, L. C. G., LIMA, F. N., FINAZZI, A. P., MARTINS, H. C., ARAÚJO, W. J., BORGES, J. M., "A real site application of a diagnose method at Estimating Insulated Cables Degradation using Non Linearity Indicators", International Conference on Renewable Energies and Power Quality, pp. 1-6, 2013.
- (16) VELASCO, L. N. "Proposta e Avaliação de Desempenho de um Novo Indicador para o Diagnóstico do Isolamento de Cabos Elétricos Subterrâneos", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- (17) F. PIAZZA, et al., "Avaliação de Cabos Isolados em Polietileno utilizados em Redes Subterrâneas Utilizando Ensaios de Retorno", XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2002.
- (18) M. I. QURESHI, N. H. MALIK,; A. A. AL-ARAINY,; M. N. SAATI,; O. A. AL-NATHER,; S. ANAM, "Investigation of resistance toward water tree growth in XLPE insulated MV cables produced in the Arabian Gulf region", International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp.1195-1198, 2008.

7.0 - DADOS BIBLIOGRÁFICOS



Loana Nunes Velasco nascida em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Obteve o título de Bacharel em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Mato Grosso – Brasil e o título de Mestre na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Ilha Solteira. Atualmente é aluna de doutorado do programa de Pós Graduação na área de Qualidade e Racionalização da Energia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia-Brasil.



Luiz Carlos Gomes de Freitas, nascido em Uberlândia (MG), em 1976, é engenheiro eletricitista (2001), mestre (2003) e doutor (2006) pela Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Elétrica (UFU-FEELT). Atualmente é professor adjunto nível I da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU, fazendo parte do Núcleo Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP) e do grupo de Qualidade e Racionalização da Energia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia-Brasil.



José Carlos de Oliveira nascido em 24/08/1947 em Itajubá-MG é engenheiro eletricitista (1970) e mestre (1974) em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Itajubá, e doutor (1978) em Engenharia Elétrica pela University of Manchester Institute of Science Technology, Manchester, GB. Atualmente é professor da Faculdade Engenharia Elétrica da UFU. Sua área de interesse é: sistemas potência e qualidade da energia elétrica.



Fernando Nogueira de Limas nasceu em Campina Grande – PB, Brasil. Concluiu a graduação e o Mestrado na Universidade Federal da Paraíba – Brasil e o Doutorado na Universidade Federal de Uberlândia – MG, Brasil. Atualmente é professor e pesquisador do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso - Brasil. Sua área de interesse é Qualidade de Energia.



Antônio de Pádua Finazzi, nasceu em Moji-Mirim – SP, Brasil. Concluiu a graduação na Universidade Federal de Uberlândia e o Mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina - Brasil. Atualmente é professor e pesquisador do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso - Brasil. Sua área de interesse é Qualidade de Energia.