

Por Daniel Bento\*

## Capítulo X

# Ensaio em cabos isolados de média tensão

Os cabos isolados de média tensão (1) estão presentes em vários tipos de instalações, tais como: ruas das grandes cidades, instalações industriais, parques eólicos e solares. Normalmente, são escolhidos para alimentar as principais cargas ou para escoar a energia gerada, como no caso das usinas. Sua alta confiabilidade e segurança determina sua utilização. Com o surgimento dos polímeros (XLPE e EPR) após a segunda guerra mundial, que substituíram os cabos com isolamento de papel impregnado a óleo, novos desafios foram colocados, como por exemplo, os testes e ensaios de comissionamento e de manutenção (preditiva e preventiva).

Nos últimos 30 anos, muitas pesquisas foram desenvolvidas para entender o processo de envelhecimento do isolante, e com isso, estabelecer padrões de manutenção para evitar a falha, precoce ou ainda de final de vida. Nestas pesquisas, ficou evidente como o teste de tensão aplicada na forma contínua (HIPOT-DC) é maléfico para os isolantes poliméricos (2). O principal motivo para não utilizar tensão contínua é que este tipo de teste pode polarizar o isolante, levando à falha quando energizado. A solução encontrada para substituir o Hipot – DC, que por muitos anos atendeu de forma satisfatória os testes nos cabos com isolamento de papel impregnado a óleo, foi o desenvolvimento de um novo teste em tensão alternada. Como o equipamento precisava ser portátil, utilizar a frequência industrial (60Hz) geraria uma série de problemas, pois necessitaria de muita potência para gerar altas tensões. A solução encontrada foi um teste em AC com uma frequência muito baixa (0,1Hz). Este teste é conhecido (VLF) no acrônimo inglês Very Low Frequency.

Neste fascículo, vamos abordar os principais tipos de testes e ensaios estabelecidos nas normas internacionais.

### CARACTERÍSTICAS DOS CABOS ISOLADOS DE MÉDIA TENSÃO

Os cabos isolados de média tensão são constituídos de várias camadas, sendo as principais: o condutor ao centro, ao redor a primeira camada semicondutora; em seguida, a isolação; depois, a segunda camada semicondutora; posteriormente, a blindagem, e por fim, a cobertura.

O condutor possui a finalidade de conduzir a corrente elétrica; as camadas semicondutoras uniformizam o campo elétrico; a isolação restringe o efeito do campo elétrico provocado pela tensão presente no condutor; a blindagem conduz para terra a corrente gerada por eventual falha da isolação e a cobertura protege mecanicamente o cabo.

### TIPOS DE TESTES E ENSAIOS NO CABO ISOLADO

As normas IEEE 400.2, IEC 60270 e IEEE 1617 são referências para manutenção em cabos isolados. A IEEE 400.2 estabelece os valores e testes de tensão aplicada em VLF para comissionamento e manutenção preventiva, bem como os valores e parâmetros para a medição de Tangente Delta. A IEC 60270 trata das medições de descargas parciais e a IEEE 1617 da blindagem dos cabos.

### TESTE DE TENSÃO APLICADA (VLF)

O guia IEEE 400.2 estabelece três momentos diferentes que devem ser realizados os testes:

- **Instalação** – O cabo lançado, porém sem os acessórios (emendas e terminações) confeccionados.
- **Aceitação** – Cabo lançado e com todos os acessórios confeccionados.
- **Manutenção** – Cabos em operação.

Table 3—VLF withstand test voltages for sinusoidal and cosine-rectangular waveforms (see Note 1)

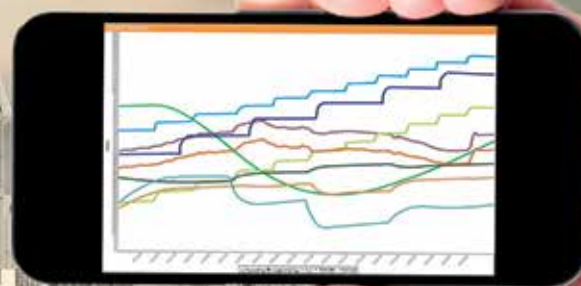
Waveform	Cable system rating (phase to phase) [kV]	Installation (phase to ground)		Acceptance (phase to ground)		Maintenance <sup>2</sup> (phase to ground) (see Note 2)	
		[kV rms]	[kV peak]	[kV rms]	[kV peak]	[kV rms]	[kV peak]
Sinusoidal	5	9	13	10	14	7	10
	8	11	16	13	18	10	14
	15	19	27	21	30	16	22
	20	24	34	26	37	20	28
	25	29	41	32	45	24	34
	28	(Note 3)	(Note 3)	36	51	(Note 3)	(Note 3)
	30	32	45	(Note 3)	(Note 3)	27	38
	35	34	48	38	54	29	41
	46	39	55	44	62	(Note 3)	(Note 3)
	69	51	72	57	81	43	61
Cosine-Rectangular	5	13	13	14	14	10	10
	8	16	16	18	18	14	14
	15	27	27	30	30	22	22
	20	34	34	37	37	28	28
	25	41	41	45	45	34	34
	28	45	45	51	51	38	38
	30	48	48	54	54	41	41
	35	55	55	62	62	47	47
	46	72	72	81	81	61	61
	69	106	106	119	119	89	89

Figura 1: Excerto da norma IEEE 400.2.

# Monitoramento de Pressão do Óleo em linhas de transmissão subterrâneas

## Dados disponíveis na palma da sua mão

- ✓ Indicação de possíveis vazamentos de óleo em caixas subterrâneas;
- ✓ Medição nos pontos de pressurização e alarmes para variação fora dos padrões;
- ✓ Visualização e alarmes no SCADA ou nuvem.



Dutos de energia



Transformador



Data Logger



Transmissor de Pressão



O tempo do teste pode variar de 15 minutos até 60 minutos, dependendo da criticidade do cabo. Para o teste de aceitação, o tempo recomendado pela norma é de 60 minutos.

### DIAGNÓSTICO DA ISOLAÇÃO

O cabo apresenta as características de um capacitor, pois ele possui dois materiais condutores (condutor e blindagem) separados por um isolante (isolação). Portanto, quando é aplicada tensão elétrica no cabo, a corrente gerada apenas pela energização deveria ser somente capacitiva, porém, em função de pequenas falhas nesta isolação, podem surgir correntes resistivas.

O ensaio de Tangente Delta realiza as medições das correntes resistiva ( $I_r$ ) e capacitiva ( $I_c$ ), sendo que o ângulo formado entre elas permite analisar o grau de envelhecimento e deterioração do material isolante, conforme ilustra a Figura I.

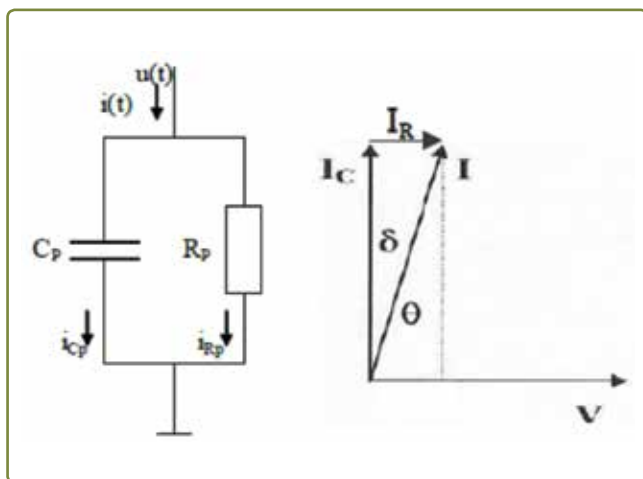


Figura II: Ilustração da relação entre corrente resistiva e capacitiva.

Caso o resultado do ensaio indique que o ângulo  $\delta$  esteja elevado, significa que há presença de elevado nível de corrente resistiva em relação à corrente capacitiva presente no cabo. Tal situação sinaliza a existência de defeito na isolação.

Os ensaios de descargas parciais servem para detectar problemas incipientes no isolante do cabo e/ou nos acessórios (emendas e terminações). A seguir, está apresentado um resultado prático de ensaios realizados em um circuito.

Os resultados da medição de Tangente delta foram muito elevados, demonstrando que o circuito apresenta alto nível de envelhecimento e risco de falha por conter arborescências de água (water tree) e também foi constatada atividade de descargas parciais.

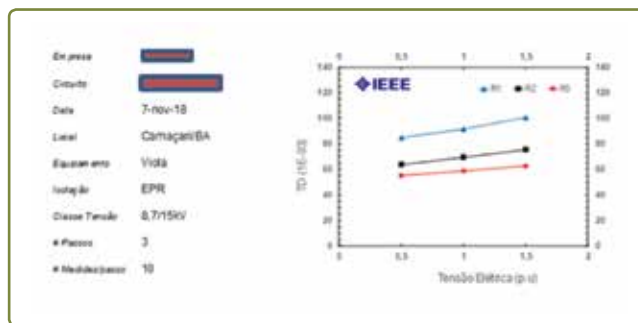


Figura III: Resultado de Tangente Delta.



Figura IV: Cabos com água.

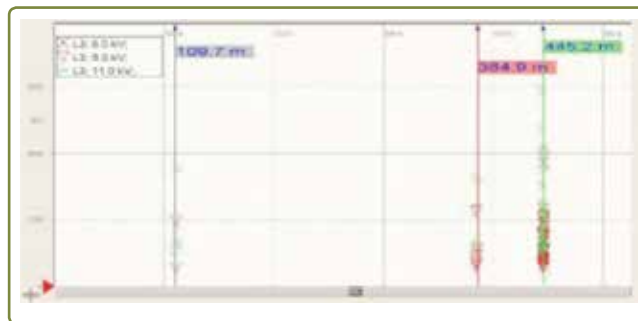


Figura V: Resultado de Descargas Parciais.

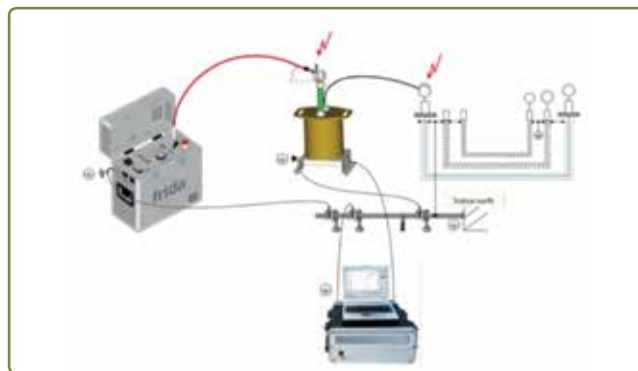


Figura VI: Arranjo elétrico para medições.

### ENSAIO NA BLINDAGEM

A blindagem de um cabo isolado de média tensão pode sofrer danos durante sua instalação; podem ocorrer problemas, como por exemplo, tração excessiva no lançamento ou curvatura muito acentuada, além de danos à capa de proteção, o que irá permitir a entrada de água, gerando water tree.



Figura VII: Exemplo de reflectometria em cabo com indício de falha no trecho inicial.

Ao longo da operação, a blindagem pode ser danificada, por exemplo, devido à ocorrência de um curto-circuito com correntes superiores ao qual foi projetado.

Para identificar essa situação, é possível realizar a medição da resistência elétrica da blindagem e a análise de sua reflectometria, haja vista que o rompimento parcial da blindagem aumentará sua resistência e um rompimento total impedirá totalmente a circulação de corrente elétrica.

O Guia IEEE 1617 – 2007 apresenta uma metodologia para realizar a medição da resistência elétrica da blindagem de cabos isolados de média tensão. O valor de resistência elétrica calculada deve ser comparado com o valor teórico esperado para o cabo em análise.

O ensaio consiste em injetar uma corrente de 30A na blindagem metálica pelo sistema de aterramento a uma frequência de 60Hz, sendo que uma fração dessa corrente flui pelo sistema de aterramento e a fração complementar pela blindagem metálica.

A reflectometria, por sua vez, emprega a mesma técnica utilizada em radares. Um sinal é enviado pelo cabo e, quando ele encontra alguma barreira, que neste caso é caracterizado por diferença de impedância, há um retorno. De acordo com o tempo em que o sinal retorna e a forma deste retorno, é possível interpretar o tipo de problema e a sua distância, ilustrado na figura VII.

## CONCLUSÕES

Existem muitas técnicas para avaliar as condições de conservação dos cabos isolados de média, permitindo uma análise de confiabilidade que suporte um plano de manutenção.

Além de diagnosticar uma falha existente, estes ensaios podem ser realizados de forma preditiva, de modo a obter previamente a análise se há indício de início de um problema no cabo, antecipando, assim, uma falha que impacte a operação e evitando trocas apenas devido ao término da vida útil média esperada.

## REFERÊNCIAS

- [1] NBR 7286 - Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de borracha etileno-propileno (EPR, HEPR ou EPDM) para tensões de isolamento de 1 kV a 35kV.
- [2] NBR 7287 - Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV.
- [3] S. C. Moh, „Very Low Frequency Testing - It's effectiveness in detecting hidden defects in cables,“ CIREC 17th international Conference on Electricity Distribution , Barcelona, 2003.
- [4] SOLIDAL CONDUTORES ELÉTRICOS. Guia Técnico. 10ª edição. Solidal – Condutores Elétricos. Portugal, 2007.
- [5] IEEE - Power and Energy Society. IEEE Std 400. Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems Rated 5 kV and Above. EUA, 2012.
- [6] IEEE - Power and Energy Society. IEEE Std 400.2: IEEE Guide for field testing of shielded power cables systems using very low frequency (VLF) (less than 1 Hz). EUA. 2013.
- [7] IEEE - Power and Energy Society. IEEE Std 1617: IEEE Guide for detection, mitigation, and control of concentric neutral corrosion in medium-voltage underground cables. EUA. 2007.
- [8] IEC 60270 - High-Voltage Test Techniques - Partial Discharge Measurements
- [9] KELLY, Lawrence J.: High voltage testing of medium voltage shielded power cables. IEEE. EUA. 1988.

\*Daniel Bento é engenheiro eletricista, especializado em redes subterrâneas. É também diretor da Baur do Brasil.

## CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em: [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para:  
[redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)