



## Medições de diagnóstico e análise estatística

# Prognosticar com segurança a vida útil restante de cabos de média tensão

Através de um fluxo de trabalho contínuo desde o diagnóstico de cabos até a avaliação, a Baur GmbH oferece aos gestores de ativos uma solução com a qual eles podem diagnosticar o estado de cabos de média tensão. Agora isto é complementado com o prognóstico estatístico da vida útil do cabo. O conhecimento sobre o tempo de uso restante permite um planejamento mais exato dos investimentos de substituição e de retardá-lo muitas vezes por alguns anos a mais.

Para gestores de ativos está cada vez mais difícil manter as redes de distribuição em ordem com os orçamentos disponíveis. Muitos cabos de média tensão foram instalados há várias décadas e agora se encontram em uma idade na qual as interrupções se tornam mais prováveis. A isso somam-se outras cargas à rede – através do aumento do consumo ou da alimentação descentralizada de energia.

### Manutenção preditiva em vez de controlada por intervalos

Sob essas condições, assegurar uma alta disponibilidade com eficiência de custos e poucas interrupções da rede de

média tensão somente é possível com base em uma avaliação do estado do cabo. Ela permite planejar investimentos em reparos e investimentos de substituição não com base na idade (Figura 1), mas com base no estado de envelhecimento real (Figura 2). Caso contrário, cabos envelhecidos levariam a interrupções de rede antes do esperado ou cabos ainda intactos seriam substituídos antes do necessário – ambos resultariam em uma relação desfavorável de custo-benefício.

Para a avaliação das condições de cabos de média tensão se estabeleceram dois métodos de diagnóstico: a medição de descarga parcial e a medição de fator de

dissipação (também chamada de medição  $\tan \delta$ ). A medição de descarga parcial é um procedimento local. Com ela é possível, por exemplo, detectar falhas em assessorios ou descargas parciais locais em um isolamento de material polimérico danificada e um isolamento insuficiente de papel impregnado. Além dos valores da descarga parcial, a medição fornece também a distância ao local da falha, simplificando assim a detecção dos pontos a serem observados ou reparados.

### O fator de dissipação fornece indícios para o envelhecimento real

A medição de fator de dissipação, cuja

avaliação doravante será o foco, é um processo não-destrutivo para a avaliação de todo o segmento de cabo medido. Ela fornece indícios de arborescências em água (através de isolamento danificada por água em cabos com isolamento de material polimérico), bem como de pontos de falha na isolamento de cabos com isolamento de papel impregnado, de umidade em assessórios e de possíveis descargas parciais. Uma vez que o fator de dissipação cresce em função do aumento das arborescências em água, o valor é um indício para a qualidade do efeito da isolamento. Em cabos novos o fator de dissipação está perto de zero, mas com o crescente envelhecimento este valor aumenta no isolamento de material polimérico devido às influências de umidade mencionadas.

É possível tirar conclusões sobre o estado do cabo já na medição de fator de dissipação. Com o software 4.0 da Baur os usuários podem usar sequências de diagnóstico padronizadas ou de definição própria, e fazer as primeiras avaliações já durante os ciclos de medição. Com base em ciclos de medição uniformes e a comparabilidade dos resultados, os gestores de ativos obtêm uma avaliação objetiva das condições da rede de cabos. Isso lhes dá uma boa base de decisão para o planejamento da manutenção.

**Prognóstico estatístico da vida útil restante**

Com o novo software stalex, os resultados de medição podem ser amplamente avaliados, sobretudo, para cabos com isolamento de material polimérico (Figura 3). O stalex é vendido exclusivamente pela Baur e é um desenvolvimento conjunto com a Electric Power Corporation (Kepco). A concessionária opera uma rede de energia na Coreia do Sul a qual inclui, entre outros, 41000 km de cabos subterrâneos ( $u_0 = 13,2 \text{ kV}$ ). Para estruturar a manutenção da rede com o menor custo possível, há cerca de dez anos a Kepco se ocupou intensamente com o diagnóstico de cabos e comparou procedimentos usuais disponíveis na época. Depois da comparação, a operadora de rede escolheu a medição de descarga parcial e de fator de dissipação com fontes VLF senoidal (Very Low Frequency). Em seguida, a Kepco, em cooperação com a Universidade Coreana de Mokpo, desenvolveu um método e um software, com o qual é possível elaborar um prognóstico sobre a vida útil restante. Para isto a Baur e a Kepco

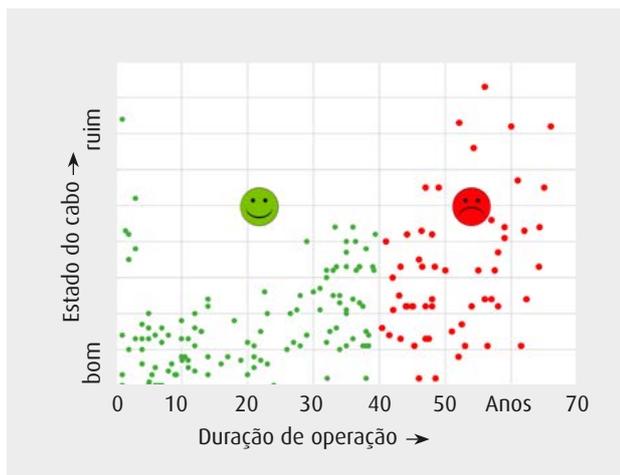


Figura 1. Uma estratégia alternativa orientada à idade absoluta levaria à substituição de muitos cabos ainda intactos (representados na área inferior direita do diagrama).

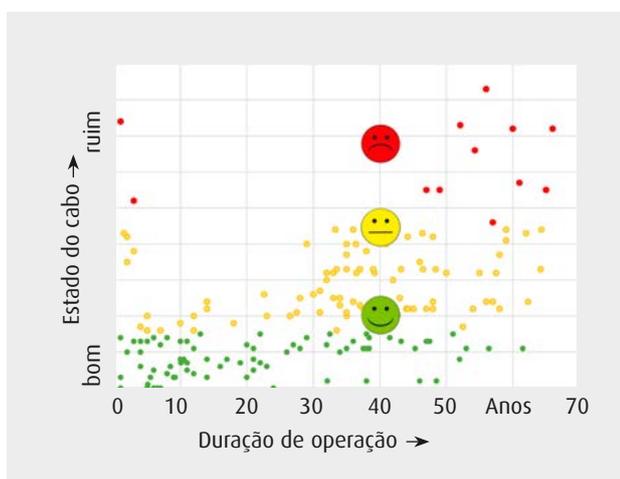


Figura 2. Em uma conservação de rede orientada ao estado com base em medições de diagnóstico, cabos antigos intactos podem continuar a ser usados e cabos mais novos em estado ruim, podem ser detectados e substituídos em tempo hábil. Isso minimiza os custos e aumenta a disponibilidade da rede.

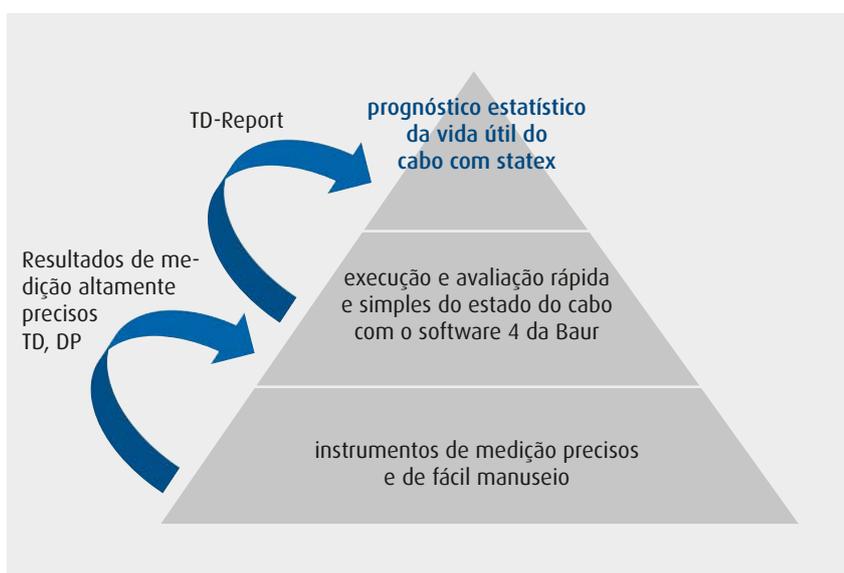


Figura 3 Com o novo software stalex é possível fazer um prognóstico da vida útil restante de cabos de média tensão a partir dos valores da medição de fator de dissipação.

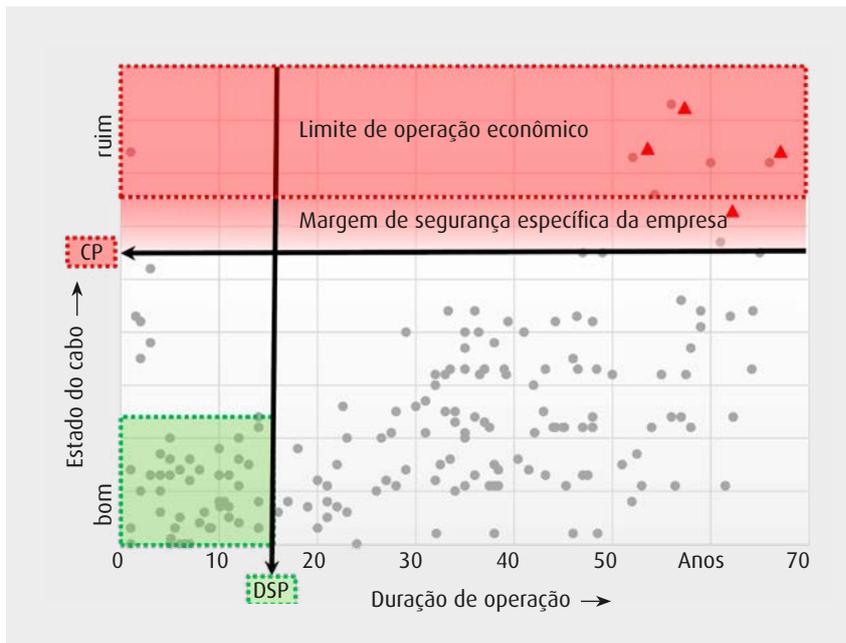


Figura 4. Normalmente o processo de envelhecimento de cabos PEX inicia somente depois de mais de dez anos, quando os antioxidantes na isolamento de cabo são liberados e se formam as primeiras arborescências de água.

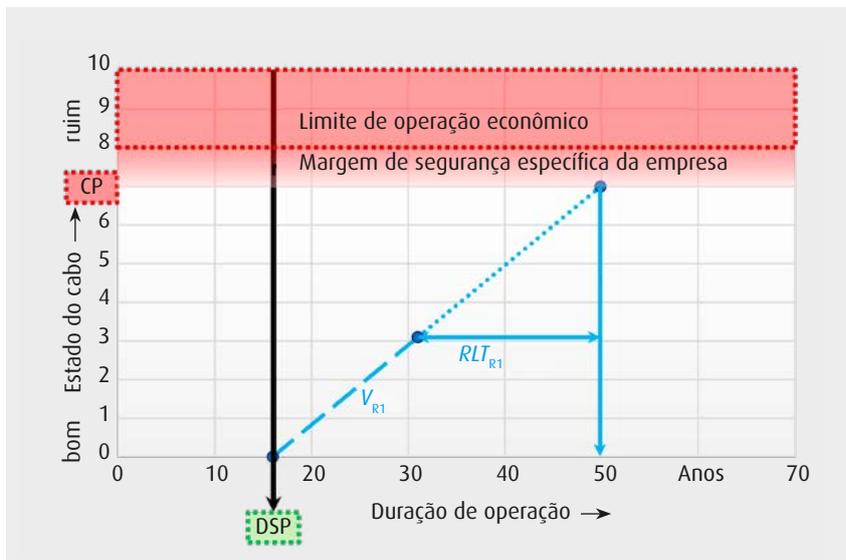


Figura 5. O software statex pode calcular o índice de envelhecimento do cabo com base nos valores medidos  $\tan \delta$  e prognosticar a vida útil restante do cabo.

desenvolveram o software apropriado, que agora está disponível sob o nome statex. Ele foi aplicado nos valores medidos de milhares de cabos com isolamento de material polimérico. Até o presente momento cerca de 90000 resultados de medição foram inseridos.

**Calcular o índice de envelhecimento a partir dos valores medidos**

Para o cálculo da vida útil restante de um cabo PEX são essenciais três aspectos:

- quando começa o envelhecimento do cabo
- com que velocidade o envelhecimento avança
- a partir de qual estado o cabo é considerado como crítico.

Para descobrir a partir de quando o envelhecimento começa em isolamentos de material polimérico, (Figura 4), o Kepco Research Institute fez análises. Para os cabos na Kepco o Degradation Starting Point (DSP) estava em média em 13 anos.

O índice de envelhecimento do cabo medido resulta do

$$R = \sqrt{TD_{norm}^2 + DTD_{norm}^2 + TD_{skirt}^2}$$

Aqui  $TD_{norm}$  é o valor do  $\tan \delta$  e  $DTD_{norm}$  o desvio (delta) do  $\tan \delta$ .  $TD_{skirt}$  informa o quão estável o fator de dissipação se mantém durante vários valores medidos de um ciclo de medição, pois em cabos com perda de isolamento existem prenúncios. Por exemplo, o aumento ou a queda constante do valor  $\tan \delta$  ou a sua flutuação dentro de um nível de tensão, pode indicar o grau do envelhecimento.

Para determinar o  $TD_{skirt}$  é traçada uma linha virtual entre o maior e menor valor do  $\tan \delta$  de oito medições subsequentes. Uma tendência linear (crescente) nos valores medidos indica uma alteração das perdas dielétricas da isolamento de cabo, uma tendência decrescente ou não linear, por sua vez, é um indicio de umidade ou descargas elétricas em um ou mais acessórios.

**Determinar a vida útil restante com apenas uma medição  $\tan \delta$**

O índice de envelhecimento  $R$  já pode ser medido com base em uma medição de fator de dissipação (Figura 5). Em medições repetidas no mesmo cabo, o software de estatística se baseia nos resultados novos e especifica o prognóstico (Figura 6). A partir do índice de envelhecimento e da idade efetiva menos o DSP, é possível calcular a velocidade do envelhecimento e, portanto, o intervalo de tempo até atingir um ponto crítico. Os usuários têm a possibilidade de eles mesmo definirem o ponto crítico no Life Time Wizard do software para cada tipo de cabo, permitindo assim a inclusão de um acréscimo de segurança individual. Também pode ser especificado o DSP. Além da vida útil restante a ser esperada, o software fornece também recomendações de quando deve ocorrer o próximo diagnóstico de cabos ou para quando devem ser planejados trabalhos de manutenção ou a substituição do cabo.

Complementarmente o statex fornece uma representação tridimensional dos valores medidos para o(s) cabo(s) medido(s) (Figura 7). Nesta representação

3-D, para a comparação, os usuários podem exibir valores medidos próprios ou armazenados no statex da Kepco e comparar o estado dos cabos entre si.

### Prognósticos confiáveis sobre a vida útil restante

Na Kepco o statex já é usado há alguns anos. Através do software foi possível postergar alguns investimentos, pois na média os cabos se encontravam em um estado melhor do que seria presumido com base na idade. Nos cabos mais antigos medidos, a quantidade das falhas por km era até menor do que em cabos que ainda não tinham atingido o DSP (aqui: 13 anos). Se a Kepco tivesse planejado investimentos de substituição com base na medição de fator de dissipação e na avaliação conforme a IEEE 400.2, dos 15.000 quilômetros medidos 255 seriam recomendados para a substituição. Com o statex, contudo, foi possível calcular que era necessário substituir urgentemente apenas 54 quilômetros de cabo. Em relação aos critérios IEEE resultou em média uma vida útil restante de cerca de onze anos mais longa.

### Diversas versões de software

Com o statex o prognóstico da vida útil restante está disponível com exclusividade para clientes da Baur. O statex está disponível com diversos modelos de licença:

- O statex Core permite a conservação e monitoramento de dados do cabo no banco de dados e a administração dos dados do cabo. Além disso, com a versão Core é possível calcular o índice de envelhecimento R, fazer uma análise de estado, criar um gráfico 3-D e elaborar relatórios.
- O statex Pro oferece adicionalmente a função para determinar a vida útil restante estatística. Na versão Pro está contido um Life Time Wizard, no qual os usuários podem introduzir um DSP individual (o ponto inicial do processo de envelhecimento) e um Critical Point empírico. Com a licença de software o cliente adquire um treinamento de dois dias no local para introdução e um outro curso de dois dias para o aprofundamento dos conhecimentos. Através da licença adicional outros colaboradores podem acessar o banco de dados do statex Pro. Entretanto o Life Time Wizard somente é configurável por um usuário, o que assegura a consistência dos dados.

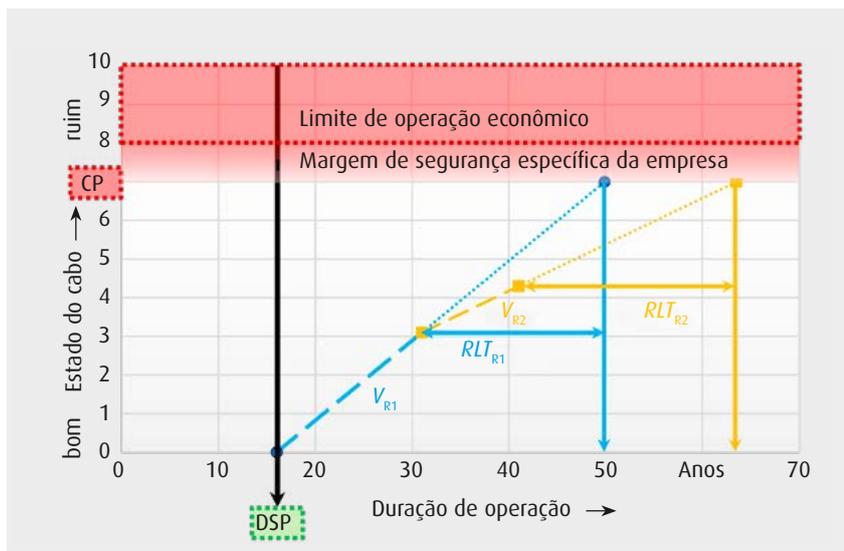


Figura 6. Em medições repetidas o statex recalcula a vida útil restante.

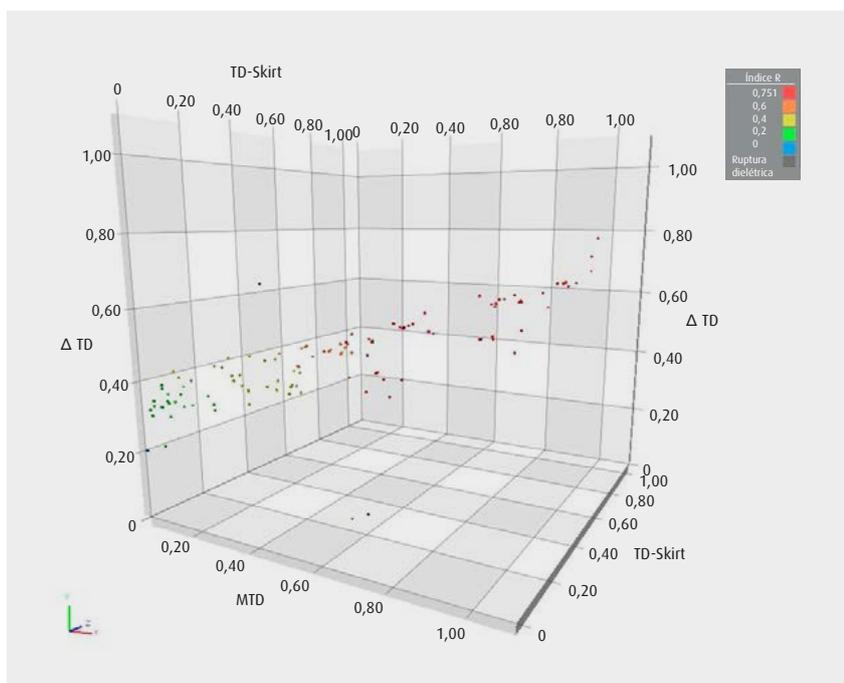


Figura 7. Representação do índice de envelhecimento R (ver legenda) para todas as fases medidas em um gráfico tridimensional. Cada ponto representa o estado de uma fase medida.

### O statex fornece informações e recomendações para gestores de ativos

Com a combinação da técnica de medição VLF, do software da BAUR para a realização das medições e da interpretação imediata dos valores, bem como do software statex para o prognóstico estatístico da vida útil restante de cabos, os gestores de ativos têm à mão ferramentas para poder manter a rede de distribuição de forma ainda mais econômica. Com os resultados do software statex,

os cabos de média tensão podem ser usados, em média, por alguns anos a mais do que se fossem baseados em sua idade absoluta, na avaliação do estado do cabo segundo os critérios IEEE ou na classificação com base nos valores  $\tan \delta$ .

- >> **Martin Jenny**,  
Diretor de Gestão de Produtos,  
Baur GmbH, Sulz/Áustria
- >> [headoffice@baur.at](mailto:headoffice@baur.at)
- >> [www.baur.at](http://www.baur.at)