

# Características dieléctricas de óleos electroisolantes minerais. Um meio de vigilância de óleos novos\*

DIETMAR APPELT

Lic.º C. Físico-Químicas (UP)

Departamento de Investigação e Desenvolvimento (EFACEC)

## resumo

Tendo em vista a sua importância relativa em transformadores de potência e de medida, põe-se em foco a necessidade de controlar atentamente a qualidade com que são fornecidos os óleos electroisolantes minerais. Após uma breve revisão dos mecanismos responsáveis pelas perdas dieléctricas em líquidos, mostra-se que a medida do factor de dissipação dieléctrica, indicativo imediato das suas qualidades como dieléctrico, constitui um óptimo critério para avaliação de eventuais contaminações em óleos novos. Dada a complexidade de que se reveste esta medida, analisa-se, com o mesmo objectivo, a validade da medida da resistividade.

## 1 — Introdução

Apesar dos crescentes progressos que se têm vindo a verificar no desenvolvimento de dieléctricos líquidos sintéticos, a esmagadora maioria dos transformadores de potência e de medida continua a usar óleo isolante de origem mineral.

Nem mesmo a instabilidade nos preços do petróleo bruto, do qual aquele dieléctrico deriva, que se tem

## abstract

*In view of its relative importance in power and instrument transformers, the need to control stringently the quality of mineral electrical insulating oils as delivered is highlighted. After a brief review on dielectric loss mechanisms in insulating liquids, it is shown how the dielectric dissipation factor, which by itself represents an immediate index of the oil's performance as a dielectric, can be taken as an excellent criterion to evaluate possible contaminations in new oils. Due to the complexity involved in this type of measurement, the meaning of a resistivity measurement with the same purpose is analysed.*

verificado desde há cerca de uma dezena de anos, tem logrado provocar uma substituição significativa do óleo electroisolante mineral naquele tipo de equipamento, devido ao seu preço ainda mais baixo em comparação com eventuais sucedâneos. Dependendo do tipo construtivo, o óleo isolante representa cerca

---

(\*) Adaptação de comunicação apresentada no Encontro de Materiais 83, Lisboa, 16 a 18 de Maio de 1983.

de 15 % a 25 % da massa total de um transformador de potência, mas apenas cerca de 4,5 % a 5 % do seu valor.

A necessidade actual de transmitir potências crescentes a distâncias cada vez maiores obriga a elevar os níveis de tensão nominal das grandes redes eléctricas, tendência que obrigatoriamente se propaga aos transformadores de potência em serviço em tais redes. Por outro lado, razões económicas e concorrenciais levam os construtores a procurar reduzir ao máximo o volume (atravancamento) e a massa dos transformadores que fabricam. Tal facto não impede, porém, que o consumo de óleo isolante mineral cresça incessantemente, cifrando-se actualmente em Portugal em cerca de 2500 t por ano.

Estas considerações evidenciam quão é importante dedicar uma cuidada atenção a este tipo de dieléctrico.

## 2 — Vigilância de óleos novos

O quadro I resume as especificações de óleos electroisolantes novos [1].

Desde o seu armazenamento inicial nos depósitos do produtor, última operação de fabricação, o óleo electroisolante sofre um número variável de manipulações, de natureza diversa, até à sua chegada ao utilizador final.

Quaisquer tipos de manipulações são susceptíveis de introduzir contaminantes no óleo, que poderão ter consequências adversas quando em serviço. Sob certo ponto de vista, tais contaminantes podem ser classificados nas seguintes categorias:

— gases dissolvidos, em particular o ar, que podem ser libertados durante o serviço, com

### QUADRO I

Especificação para óleos minerais isolantes novos para transformadores e aparelhagem

Recomendação CEI 296 (1982)

Óleo não inibido

CARACTERÍSTICA	VALORES LIMITES PARA ÓLEOS DA CLASSE		
	I	II	III
Viscosidade cinemática, 40° C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ] ... ..	≤ 16,5	≤ 11,0	≤ 3,5
Viscosidade cinemática, -15° C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ] ... ..	≤ 800		
Viscosidade cinemática, -30° C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ] ... ..		≤ 1800	
Viscosidade cinemática, -40° C [mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ] ... ..			≤ 150
Ponto de inflamação [°C] . . . . .	≥ 140	≥ 130	≥ 95
Ponto de escoamento [°C] . . . . .	≤ -30	≤ -45	≤ -60
Massa volúmica, 20° C [kg . m <sup>-3</sup> ] . . . . .		≤ 895	
Tensão interfacial, 25° C [mN . m <sup>-1</sup> ] . . . . .		≥ 40	
Índice de neutralização [mg KOH/g] . . . . .		≤ 0,03	
Enxofre corrosivo . . . . .		Não corrosivo	
Teor em água [mg . kg <sup>-1</sup> ] . . . . .		≤ 30 a granel, ≤ 40 em tambor	
Estabilidade à oxidação:			
Índice de neutralização [mg KOH/g] . . . . .		≤ 0,40	
Depósito [% massa] . . . . .		≤ 0,10	
Tensão disruptiva:			
No estado de fornecimento [kV] . . . . .		≥ 30	
Após tratamento [kV] . . . . .		≥ 50	
Factor de dissipação dieléctrica, 90° C, 40 a 60 Hz . . . . .		≤ 0,005	

consequências indesejáveis. A solubilidade dos gases no óleo depende da sua natureza, sendo de cerca de 10 % (volume/volume) para o ar às condições ambientes médias [2];

— água dissolvida, emulsionada ou em suspensão, com efeitos francamente prejudiciais sobre o comportamento dieléctrico e de envelhecimento do sistema de isolamento geral. À temperatura ambiente, a solubilidade da água em óleo de transformador é de cerca de 50 mg/kg [3];

— sólidos em suspensão, com efeito prejudicial sobre o comportamento dieléctrico em serviço;

— substâncias dissolvidas (além de água e gases), não voláteis, de efeitos eventualmente deletérios, especialmente no respeitante às características dieléctricas e de envelhecimento.

Os primeiros três tipos de contaminações são pouco preocupantes, porquanto poderão ser facilmente eliminadas através de um tratamento relativamente simples do óleo, aliás habitualmente realizado pelo construtor, imediatamente antes do enchimento do transformador: consiste numa filtração a quente sob vácuo.

Pelo contrário, as contaminações por substâncias dissolvidas são de difícil eliminação, pelo que é necessário vigiar particularmente o estado do óleo novo com vista à sua detecção.

### 2.1 — *Controlo da tensão interfacial*

A tensão interfacial (IFT) é uma grandeza cuja medida tem sido preconizada e largamente utilizada para a detecção de contaminantes polares dissolvidos no óleo. Consiste essencialmente na determinação da força de tensão superficial na superfície de transição entre fases de um sistema óleo-água [4]. A presença de substâncias polares, justamente aquelas cuja contaminação tem efeitos mais nocivos, tende a provocar uma diminuição daquela grandeza.

A simplicidade da determinação torna o critério aliciante. No entanto, a experiência acumulada de inúmeras medidas efectuadas ao longo de vários anos, mostra o seu reduzido significado e baixa fiabilidade como critério de avaliação do estado de pureza do óleo.

### 2.2 — *Controlo do factor de dissipação dieléctrica*

O factor de dissipação dieléctrica (FDD, vulgarmente também designado por  $\text{tg}\delta$ ) é uma grandeza usada por excelência para avaliar a qualidade de um dieléctrico como tal [3]. No domínio dos óleos isolantes, tem sido utilizado essencialmente para monitorar o seu estado de envelhecimento. No que se segue, tenta-se mostrar o interesse desta grandeza na avaliação do estado de pureza de óleos novos.

A corrente de fuga que atravessa um isolante líquido sujeito a um campo eléctrico alternado, pode ter origem em três processos distintos: condução iónica, orientação dipolar e polarização por carga espacial [5].

A condução iónica é devida quer às moléculas dissociadas constituintes do próprio líquido, quer a impurezas electrolíticas acidentalmente presentes. Em líquidos de estrutura complexa, como é o caso dos óleos de origem mineral, supõe-se que não há iões simples, resultantes da dissociação das moléculas, mas essencialmente agregados moleculares, em que os iões individuais estão envolvidos por uma nuvem de moléculas neutras. A aplicação de um campo eléctrico alternado induz uma oscilação nos iões, o que por seu turno origina uma dissipação de energia por efeito do atrito interno. A amplitude da oscilação depende da intensidade do campo aplicado, o que por sua vez influencia a grandeza da dissipação iónica. Como a mobilidade dos iões é grandemente influenciada pela viscosidade do meio em que se movem, as perdas iónicas dependem fortemente da temperatura. A frequência do campo aplicado tem uma influência relativamente pequena neste processo.

As perdas dipolares ocorrem em líquidos que contenham moléculas polares, sendo devidas ao desfasamento temporal entre o campo aplicado e o processo de orientação dos dipolos ou partículas. Este fenómeno pode ser assaz complicado, já que, conforme a natureza das moléculas polares envolvidas, estas podem sofrer uma rotação completa ou apenas parte da molécula pode sofrer uma orientação. Este processo é fortemente influenciado pela temperatura e pela frequência, mas largamente independente da intensidade do campo.

As perdas por carga espacial são devidas à acumulação de cargas na superfície de separação entre duas camadas dieléctricas de condutividades e permitividades diferentes, pelo que são particularmente significativas em isolamentos mistos sólido-líquido. Podem também ocorrer em isolantes líquidos quando, a nível microscópico, há fases secundárias dispersas na fase principal; tais fases secundárias poderão ser partículas de água ou vestígios de outras impurezas aprisionadas. Este processo depende da frequência do campo apli-

cado e, como a temperatura e intensidade do campo aplicado condicionam a condutividade e permitividade das fases microscópicas, aqueles parâmetros influenciam igualmente este processo de perdas.

A frequência industrial e na gama de temperaturas entre a ambiente e a temperatura de serviço habitual, o processo predominante é o de condução iónica. Admite-se também que o processo de polarização por carga espacial, que se manifesta essencialmente a temperaturas baixas até à ambiente, possa, a temperaturas mais elevadas, degenerar num processo de perdas por condução iónica, devido à libertação de cargas originalmente aprisionadas em condições de viscosidade mais elevada.

A determinação do FDD de um óleo é uma operação delicada e exige equipamento especializado e oneroso. A fim de se obterem resultados comparativos e significativos, é necessário fixar com bastante rigor os parâmetros intervenientes [6] e respeitar um rigoroso procedimento de lavagem da célula. As medidas são habitualmente efectuadas à temperatura ambiente e a 90° C.

### 3 — Controlo rotineiro de óleos novos

Face à falta de expressividade das medidas de IFT para detectar no óleo contaminações eventualmente ocorridas durante as manipulações inerentes ao fornecimento (especialmente quando ele se efectua a granel), a medida do FDD a 90° C (eventualmente à temperatura ambiente) aparece como uma alternativa válida.

#### 3.1 — Óleos fornecidos a granel

O fornecimento descontínuo de óleo, como em geral de qualquer produto, torna-se tanto mais económico quanto maiores forem as quantidades transferidas de cada vez. Assim, o transporte por navio-tanque é uma solução aliciante e, desde que rodeado de um certo número de cuidados, tecnicamente válida, produzindo no destino um produto com boas características. Dada a habitual exiguidade de meios de armazenamento do utilizador final, na prática este processo de fornecimento obriga a uma armazenagem em entreposto, donde se vão fazendo as transferências de óleo em menores quantidades. O esquema é pois o seguinte: refinaria, carga e transporte em navio-tanque, descarga e armazenagem em entreposto, carga e transporte em camião-cisterna, descarga no destino.

Medidas sistemáticas sobre quase seis dezenas de amostras, representativas de outros tantos fornecimentos, distribuídos ao longo de dois anos e meio,

conduziram aos resultados reunidos nas figuras 1 e 2.

Se bem que os histogramas referentes à temperatura ambiente ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) e a 90° C não sejam sobreponíveis, eles exibem no entanto a mesma tendência, isto é, uma acentuada concentração na região dos baixos valores de FDD. Com efeito, 62 % dos forne-

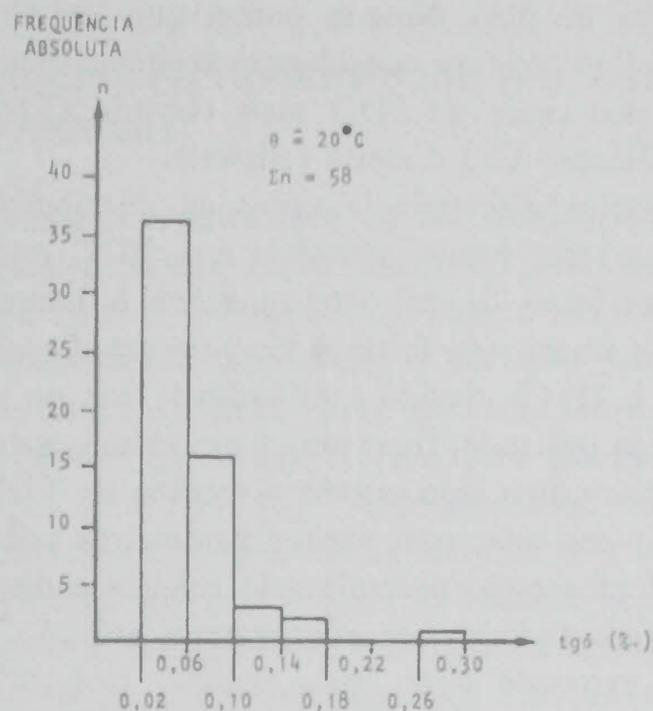


Fig. 1 — Distribuição de valores de FDD medidos à temperatura ambiente

Valor médio: 0,066 ‰  
Desvio padrão: 0,042 ‰  
Coeficiente de variação: 64 %

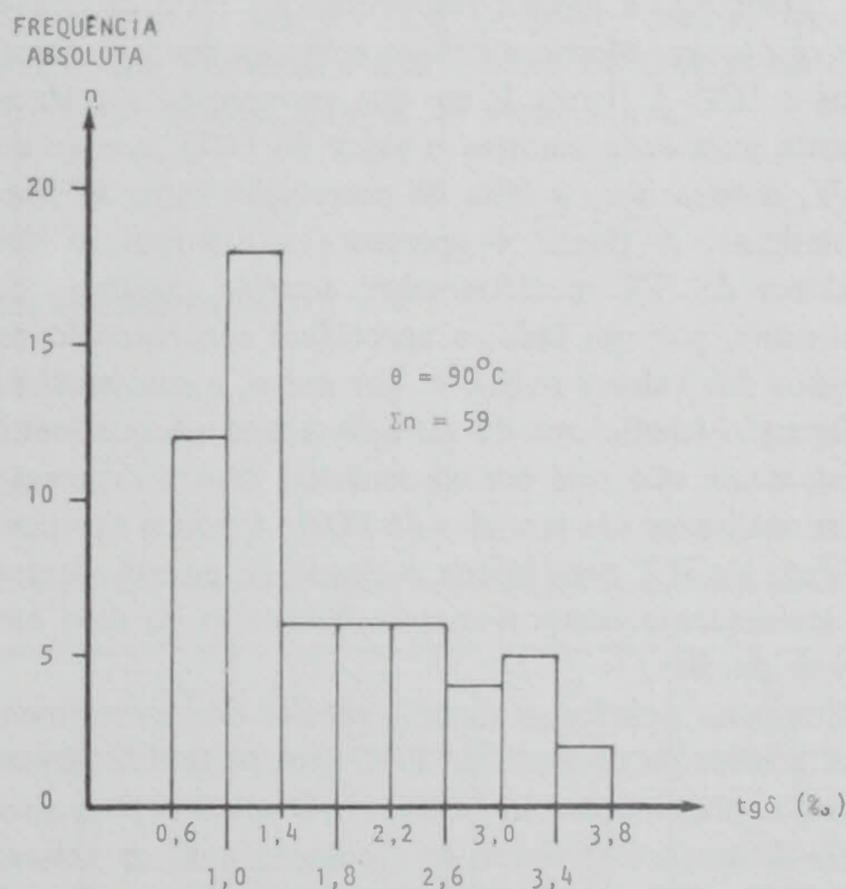


Fig. 2 — Distribuição de valores de FDD medidos a 90° C

Valor médio: 1,77 ‰  
Desvio padrão: 0,82 ‰  
Coeficiente de variação: 46 %

cimentos apresentam à temperatura ambiente valores entre  $2 \times 10^{-5}$  e  $6 \times 10^{-5}$  e cerca de 51 % têm a  $90^\circ\text{C}$  valores entre  $6 \times 10^{-4}$  e  $1,4 \times 10^{-3}$ . São pois óleos com um grau de pureza técnica francamente bom, satisfazendo amplamente a especificação CEI.

Naturalmente que os resultados apresentam uma dispersão apreciável, o que põe em evidência o efeito aleatório das operações de manipulação sobre o estado de pureza do óleo. Note-se porém que, em todos os casos, o óleo pode ser considerado aceitável, porquanto mesmo nos casos de FDD mais elevado ( $3,8 \times 10^{-3}$ ) a especificação CEI é ainda satisfeita.

A ligeira discrepância entre as distribuições de valores à temperatura ambiente e a  $90^\circ\text{C}$  reside em parte no facto de as determinações à temperatura ambiente terem sido feitas à temperatura do laboratório ( $18$  a  $25^\circ\text{C}$ ), devido à dificuldade em, no sistema de medida utilizado, fixar uma temperatura certa nessa gama; por outro lado, sendo a medida do FDD uma operação delicada, com muitos parâmetros influentes, os resultados estão naturalmente sujeitos a dispersões importantes (admitem-se afastamentos até 25 % entre valores extremos e de, pelo menos,  $1 \times 10^{-4}$  [6]), pelo que sobre os valores absolutos baixos se faz sentir uma forte influência relativa dos erros acidentais. Note-se, porém, que todos os valores obtidos devem ser considerados fiáveis, porquanto a sua repetibilidade foi testada através de resultados concordantes (segundo o critério referido) em determinações duplas.

Mantendo a prática tradicional e com o objectivo de comparar valores, mediu-se sobre as mesmas amostras a IFT. A figura 3, em que se representa graficamente para cada amostra o valor do FDD face ao da IFT, mostra bem a falta de correlação entre as duas grandezas. A figura 4 apresenta a distribuição dos valores de IFT medidos sobre aquelas amostras; de salientar, por um lado, a apreciável concentração na região dos valores baixos e, por outro, a sua pequena dispersão (coeficiente de variação 1,8 %), o que manifestamente não está em consonância com a expressão dos resultados das medidas do FDD. A pouca expressividade da IFT para inferir o estado de pureza técnica e conseqüente comportamento dieléctrico do óleo torna-se patente.

Em casos isolados, o rastreio regular dos fornecimentos através da medição do FDD tem permitido alertar para contaminações importantes. O quadro II mostra três destes casos; chama-se a atenção para os valores de IFT relativamente elevados, pelo menos comparáveis aos de óleos tecnicamente puros, evidenciando claramente o reduzido significado desta grandeza.

Uma forma de fornecimento a granel também usual é em camião-cisterna directamente da origem. Medidas

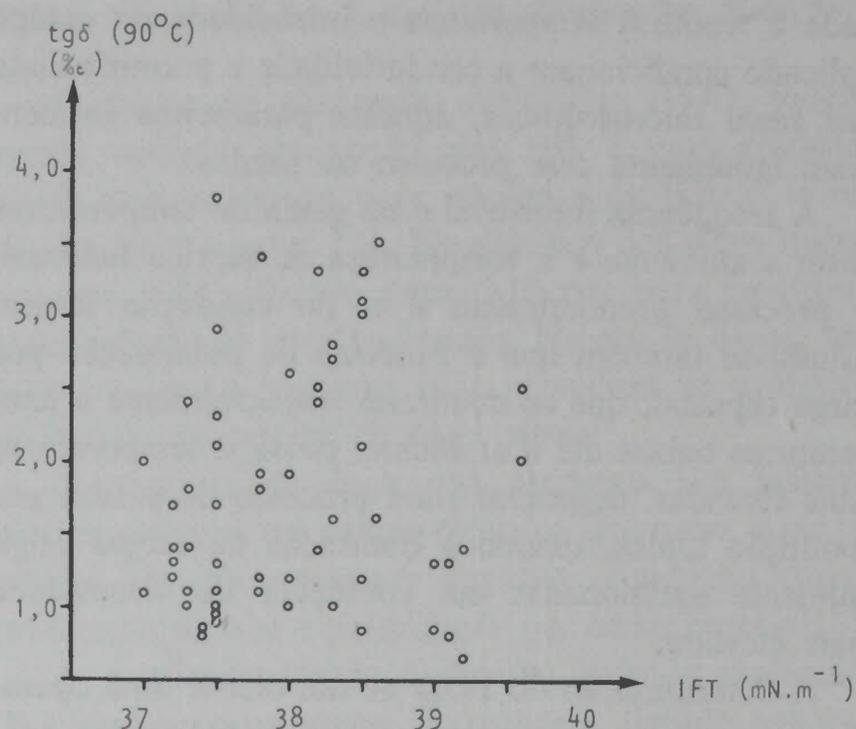


Fig. 3 — FDD perante IFT

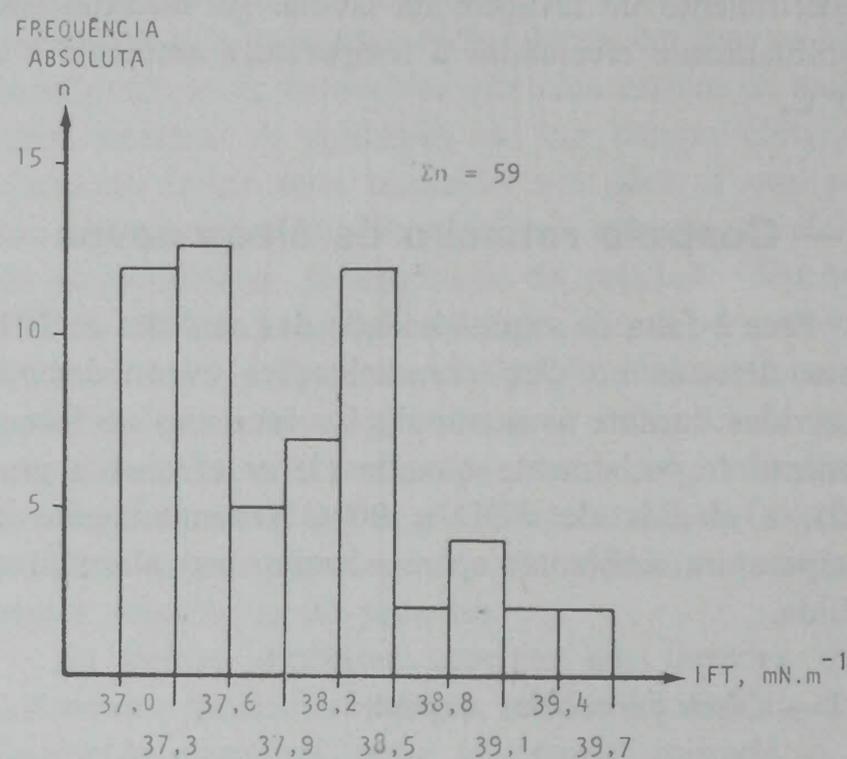


Fig. 4 — Distribuição dos valores de IFT medidos a  $25^\circ\text{C}$

Valor médio:  $38,0 \text{ mN.m}^{-1}$   
Desvio padrão:  $0,68 \text{ mN.m}^{-1}$   
Coeficiente de variação: 1,8 %

## QUADRO II

### Óleos novos de características dieléctricas deficientes

Referência	IFT [ $\text{mN.m}^{-1}$ ]	$\text{tg}\delta$ ( $\theta=20^\circ\text{C}$ ) [%o]	$\text{tg}\delta$ ( $\theta=90^\circ\text{C}$ ) [%o]
81.121	38,6	4,2	34
81.141	40,5	0,81	18
81.158	38,0	0,49	8,9

efectuadas sobre quatro casos disponíveis, evidenciam as excelentes características dieléctricas do óleo assim transportado (quadro III).

### 3.2 — Óleos fornecidos em tambor

Há uma crença generalizada, certamente derivada de uma análise talvez demasiado superficial, de que esta forma conduz ao mais elevado estado de pureza técnica do óleo no destino.

O quadro III resume igualmente os resultados de medidas efectuadas sobre cinco tambores, mostrando que o óleo tem uma qualidade que não é superior à do fornecimento a granel, situando-se até as suas características dieléctricas a um nível significativamente inferior ao fornecimento em camião-cisterna directo da origem.

## 4 — Óleos em transformadores novos

É boa prática controlar as características dieléctricas de uma amostra de óleo retirada do transformador novo, antes da sua expedição. Note-se que, desde a sua recepção até este estado, o óleo sofreu mais algumas manipulações, nomeadamente descarga, armazenagem, tratamento e enchimento no transformador. Se bem que estas operações ocorram adentro de circuitos e equipamentos dedicados, há sempre hipótese de acidentes.

Também aqui a medida do FDD se revela como um critério sensível. O quadro IV reúne os resultados de três casos, pondo em evidência a elevada qualidade dieléctrica do óleo que efectivamente se encontra no transformador, satisfazendo ainda amplamente a especificação CEI. Mais uma vez se nota a falta de significado dos valores da IFT.

## 5 — Medida da resistividade (em corrente contínua)

Define-se a resistividade de um líquido, como de recto para qualquer outro material, como sendo o quociente entre a intensidade do campo eléctrico contínuo aplicado e a densidade de corrente resultante.

O método de medida desta grandeza em dieléctricos líquidos é igualmente fixado com pormenor na publicação CEI 247 [6]. Após a determinação do FDD, curto-circuita-se a célula durante 1 min, aplica-se a tensão contínua e faz-se a medida decorridos 60 s. Também esta grandeza é fortemente influenciada pelas condições experimentais, por isso se aceitam afastamentos até 35 % entre valores sobre tomas distintas da mesma amostra.

O valor da resistividade tem sido usado preponderantemente como critério de avaliação do estado de óleos em serviço. No entanto, tendo em atenção a forma mais expedita da sua determinação e a maior simplicidade do equipamento envolvido em comparação com a medida do FDD, impõe-se encarar igualmente esta grandeza como critério de apreciação do estado de pureza técnica de óleos novos.

QUADRO III

Comparação de várias formas de fornecimento

N — número de amostras medidas

tg $\delta$  — factor de dissipação dieléctrica (valor médio)

$\sigma$  — desvio padrão (peso N-1)

C<sub>v</sub> — coeficiente de variação

FORMA DE FORNECIMENTO	N	$\theta = 20^\circ \text{C}$			$\theta = 90^\circ \text{C}$		
		tg $\delta$ [% <sub>0</sub> ]	$\sigma$ [% <sub>0</sub> ]	C <sub>v</sub> [%]	tg $\delta$ [% <sub>0</sub> ]	$\sigma$ [% <sub>0</sub> ]	C <sub>v</sub> [%]
Navio-tanque + camião-cisterna	59	0,066	0,042	64	1,77	0,82	46
Camião-cisterna	4	0,051	0,004	8	1,16	0,07	6
Tambor	5	0,151	0,079	52	2,63	0,28	11

Assim, foi possível fazer a medida da resistividade sobre parte das amostras (em número de óleo a granel, tativas de fornecimentos regulares de óleo a granel, rastreados através do FDD. Os resultados obtidos resumem-se no Quadro V.

Aceitando que as perdas dieléctricas no óleo são, nas condições experimentais usadas, essencialmente devidas a condução iónica, o dieléctrico pode ser representado por um modelo equivalente muito simples,  $R//C$  (fig. 5).

Atendendo à definição de FDD, é

$$FDD = \frac{I_a}{I_r} = \text{tg}\delta$$

e, admitindo o modelo equivalente figurado, resulta

$$\text{tg}\delta = \frac{U/R}{U\omega C} = \frac{1}{\omega RC} \quad (1)$$

em que a capacidade  $C$  do condensador (célula de medida com óleo) se pode exprimir em função da capacidade da célula vazia,  $C_0$ , e da permitividade relativa do óleo,  $\epsilon_r$

$$C = C_0 \cdot \epsilon_r \quad (2)$$

Por outro lado, a resistência  $R$  concentra a componente resistividade  $\rho$  do óleo,

$$\rho = K \cdot R \quad (3)$$

$$\text{sendo } K = 0,113 \cdot C_0 \quad (4)$$

a constante da célula, expressa em metros quando  $C_0$  se exprime em picofarads.

Por combinação conveniente das equações (1) a (4) de modo a eliminar  $R$  e  $C_0$ , introduzindo os factores de conversão de unidades adequados e tomando para  $\omega$  o valor correspondente à frequência industrial de 50 Hz, obtêm-se a expressão prática

$$\text{tg}\delta = \frac{360}{\delta \epsilon_r \rho}$$

com  $\text{tg}\delta$  em ‰ e  $\rho$  em  $G\Omega \cdot m$ .

No caso presente procurou-se a relação empírica entre a resistividade e o FDD, tomando as medidas efectuadas em duplicado sobre aquelas oito amostras à temperatura ambiente e a 90°C (fig. 6). A correlação é boa, o que mostra que o valor da resistividade é também um critério válido para estimar o estado de óleos novos. Note-se no entanto que os parâmetros da relação obtida, além de se referirem a óleos novos

QUADRO IV

Óleo em transformadores novos

Referência	IFT [mN.m <sup>-1</sup> ]	tgδ (θ=20° C) [‰]	tgδ (θ=90° C) [‰]
81.152	27,8	0,081	2,1
81.168	34,5	0,081	1,7
81.184	34,9	0,16	3,7

QUADRO V

Medida da resistividade sobre 8 amostras

θ=20° C	GRANDEZA	θ=90° C
$\rho = 5600 G\Omega.m$	Valor médio	$\rho = 76 G\Omega.m$
$\sigma = 1700 G\Omega.m$	Desvio padrão	$\sigma = 20 G\Omega.m$
$C_V = 30 \%$	Coeficiente de variação	$C_V = 26 \%$

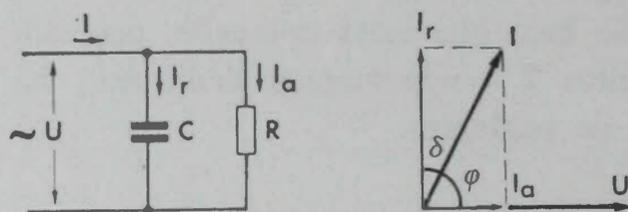


Fig. 5 — Modelo simplificado de condensador com perdas dieléctricas

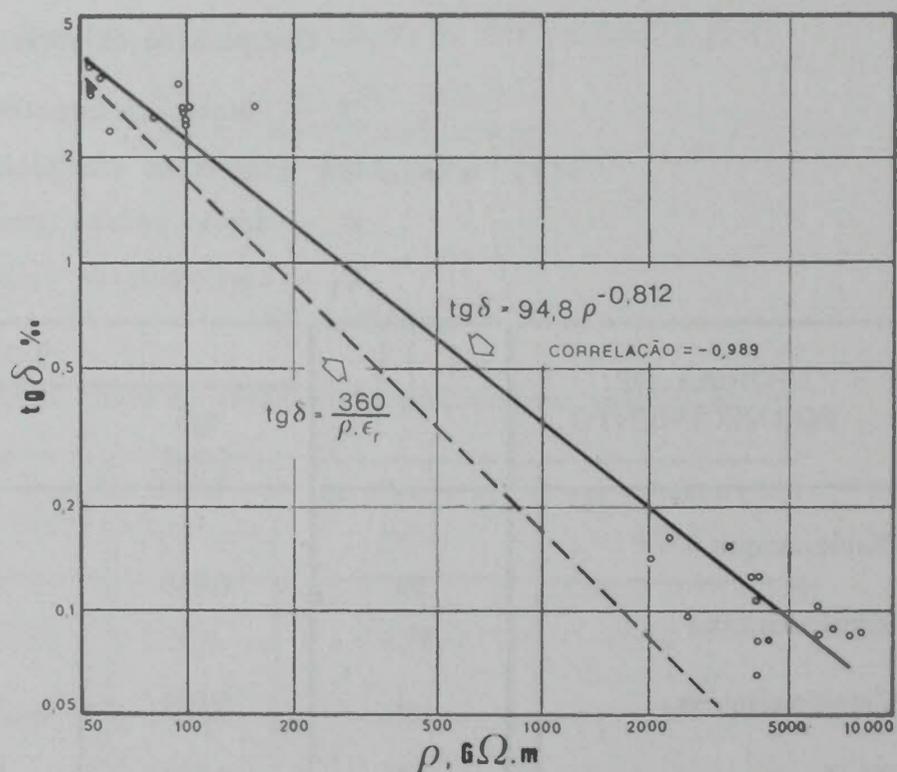


Fig. 6 — Relação entre o FDD e a resistividade

tecnicamente puros, isto é, a valores baixos de FDD e elevados da resistividade, podem variar significativamente para óleos de origens diferentes.

Representou-se no mesmo gráfico (fig. 6) a função  $\text{tg}\delta(\rho)$  deduzida. Os valores do FDD medidos situam-se genericamente acima dos calculados através daquela relação, sendo o afastamento maior na região dos pequenos FDDs (ou elevadas resistividades). Tal é certamente devido ao facto de, na realidade, as perdas dieléctricas não serem exclusivamente originadas por condução iónica (único fenómeno tido em conta no estabelecimento do modelo simplificado). O maior afastamento na zona dos pequenos FDD, corresponde, no conjunto de medidas efectuadas, à região das temperaturas mais baixas (ambiente) em que é de esperar uma certa influência de polarização por carga espacial.

## 6 — Conclusão

Dentre as várias contaminações que um óleo electroisolante sofre desde que acaba de ser produzido até ser introduzido num transformador, a que é ocasionada por substâncias polares solúveis no óleo é a mais embaraçosa por ser de difícil eliminação posterior. A simples medida da tensão interfacial não parece ser o meio mais eficaz de a detectar. Se bem que exigindo equipamento oneroso e técnica delicada, a medida do factor de dissipação dieléctrica constitui um critério sensível e seguro para tal finalidade. Por

seu turno, a medida da resistividade, bastante mais simples, parece ser uma alternativa válida.

A vigilância sistemática das características dieléctricas de óleos electroisolantes fornecidos a granel mostra que esta forma de fornecimento, desde que feita em boas condições, produz no destino um óleo com um estado de pureza técnica amplamente satisfatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Commission Électrotechnique Internationale: *Spécification des huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion*; Publication 296 (1982).
- [2] R. B. KAUFMAN; E. J. SHIMANSKI; K. W. Mac FADYEN: *Gas and Moisture Equilibrium in Transformer Oil*, Trans. AIEE I, vol. 74 n.º 19 (Jul. 1955), pg. 312-318.
- [3] D. APPELT: *Óleos isolantes para transformadores*; *Electricidade*, n.º 113 (Mar. 1975), pg. 60-73.
- [4] International Organization for Standardization: *Petroleum Products — Mineral Oil — Determination of Interfacial Tension of Oil against Water by the Ring Method*; ISO/DIS 6295.
- [5] R. BARTNIKAS: *Dielectric Loss in Insulating Liquids*; IEEE Trans. Elec. Insul., vol. EI-2, n.º 1 (Abr. 1967), pg. 33-54.
- [6] Commission Électrotechnique Internationale: *Mesure de la permittivité relative, du facteur de dissipation diélectrique et de la résistivité (en courant continu) des liquides isolants*; Publication 247 (1978).

# Electricidade

## energia • electrónica

ASSINATURA ANUAL EM 1984

Portugal: 900\$00

Estrangeiro: 3000\$00

Envie cheque ou vale postal para  
EDEL — Rua D. Estefânia, 48, 3.º Esq. - 1000 Lisboa