

Influência das pontas metálicas na disrupção do polietileno

HERMÍNIO DUARTE-RAMOS

Professor Extraordinário da U.L. (Angola)

1 — INTRODUÇÃO

O estudo da disrupção do polietileno tornou-se importante na tecnologia devido às vantagens económicas e óptimas propriedades dieléctricas do polietileno no isolamento em alta tensão. O fenómeno de disrupção revelou-se ser precedido do fenómeno de arvorejamento, o qual se prolonga durante o tempo de serviço dos equipamentos no seio do dieléctrico desde eventuais heterogeneidades condutoras no seu interior ou à sua superfície até se dar o colapso completo do material isolante.

A influência das pontas metálicas mostra-se portanto muito expressiva na compreensão do processo de disrupção. Por isso se dispensou um longo trabalho de investigação ao comportamento do polietileno sob diversos tipos e condições de eléctrodos em ponta. Começou-se por estudar a influência do campo eléctrico na disrupção através da descrição matemática dos modelos com pontas elípticas e hiperbólicas [1] ou esféricas [2]. Detectou-se o significado da estrutura do polietileno no desenrolar do arvorejamento, em particular o efeito da orientação macromolecular relativamente ao campo eléctrico aplicado e às pontas metálicas [3].

Para se complementar a correspondente análise observaram-se experimentalmente as influências de diversos parâmetros da configuração electrónica na disrupção do polietileno, tais como a profundidade da ponta e o seu raio de curvatura, que constituem o tema do presente artigo.

2 — CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Os ensaios sobre a disrupção do polietileno foram realizados em placas de polietileno prensado, com a es-

pessura de 4,5 mm, do tipo 1812 DXSK usado no isolamento de cabos eléctricos.

O modelo hiperbolóide-plano (fig. 1a) foi realizado por intermédio de agulhas de coser em aço inoxidável, cujo raio de curvatura da extremidade se controlou rigorosamente ao microscópio, sendo a penetração efectuada a frio sob a acção manual de compressão num engenho de furar parado. Devido às forças mecânicas que o material então exerce sobre a heterogeneidade metálica, esta sofre uma ligeira repulsão ao se retirar a acção de compressão dando lugar à formação de uma cavidade na extremidade (como se observa nas fig. 2a), b), onde se passam a desencadear descargas parciais quando se aplica uma alta tensão eléctrica aos eléctrodos. Para evitar este inconveniente colocou-se sobre o eléctrodo hiperbólico uma massa pesada de chumbo (fig. 1d) eliminando a referida cavidade.

Outra solução adoptada no desaparecimento dessa cavidade consistiu em aquecer localmente o polietileno até uma temperatura de amaciamento antes da penetração da agulha (fig. 1c). Este método aliás foi sempre utilizado na realização do modelo elipsóide-plano por meio de uma agulha idêntica às anteriores mas enfiada no centro de um eléctrodo plano (fig. 1b). No caso de raios de curvatura elevados tornaram-se pontas em latão. Em qualquer das situações a profundidade da ponta elíptica foi controlada pelo número de rotações da respectiva heterogeneidade, cujo passo de rosca M3 se escolheu de maneira a permitir o avanço de 0,5 mm por volta completa.

Mergulhou-se o provete num banho de óleo a fim de evitar descargas superficiais nas elevadas tensões aplicadas aos eléctrodos.

A tensão foi aplicada aos provetes à razão de 0,5 kV/s até ao valor pretendido.

3 — DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ARVOREJAMENTO

Quando se aplica uma tensão eléctrica entre dois eléctrodos, em que um deles contém uma ponta, verifi-

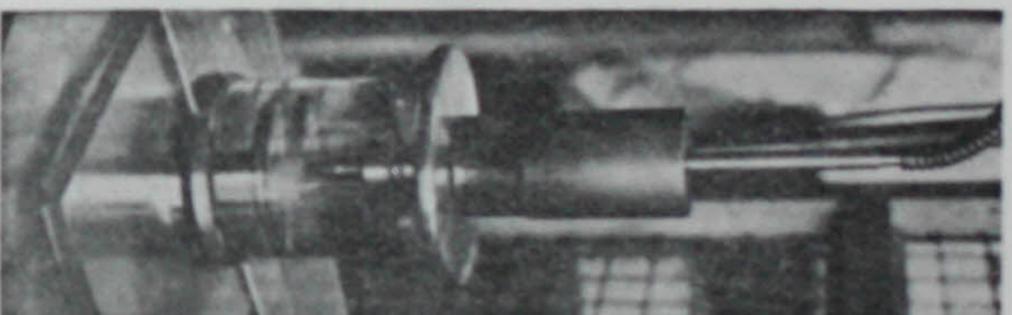
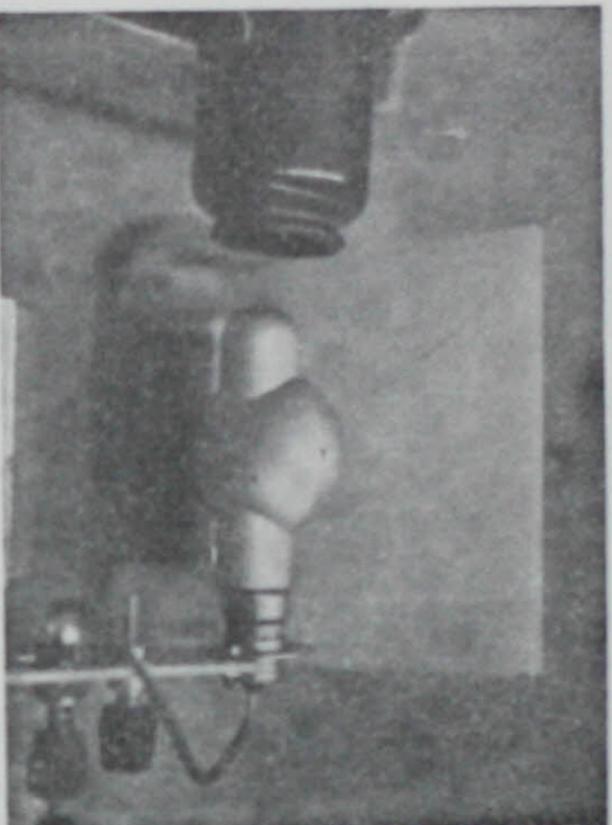
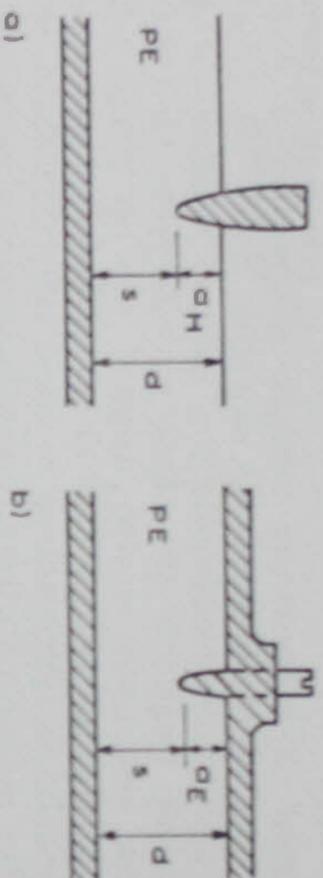


Fig. 1 — Condições experimentais.

- a) Modelo hiperbolóide-plano.
- b) Modelo elipsóide-plano.
- c) Pré-aquecimento do polietileno (PE) na penetração da heterogeneidade metálica.
- d) Procede em ensaio.

ca-se uma elevação muito grande da intensidade do campo eléctrico na extremidade que pode ser suficiente para provocar a ruptura intrínseca incompleta do meio dieléctrico [4], resolvendo-se na abertura de uma pequena cavidade no isolante sólido adjacente à heterogeneidade metálica (fig. 2a). Imediatamente se começam a detectar descargas parciais nesta cavidade, as quais prolongam os ramos do arvorejamento consoante as linhas de força do campo eléctrico e a estrutura macromolecular do material [3].

Este processo progride ao longo do tempo (fig. 2b), até se atingir a ruptura completa do isolante (fig. 2c), sob o efeito das sucessivas descargas parciais e de acordo com as condições em que se realizam. De facto quando os ramos do arvorejamento se aproximam demasiado do eléctrodo oposto constata-se o crescimento repentino de um deles, em virtude do plasma no seu interior em cada descarga parcial, sendo condutor, se comportar como uma fina agulha que localmente eleva muitíssimo a intensidade do campo eléctrico de modo a

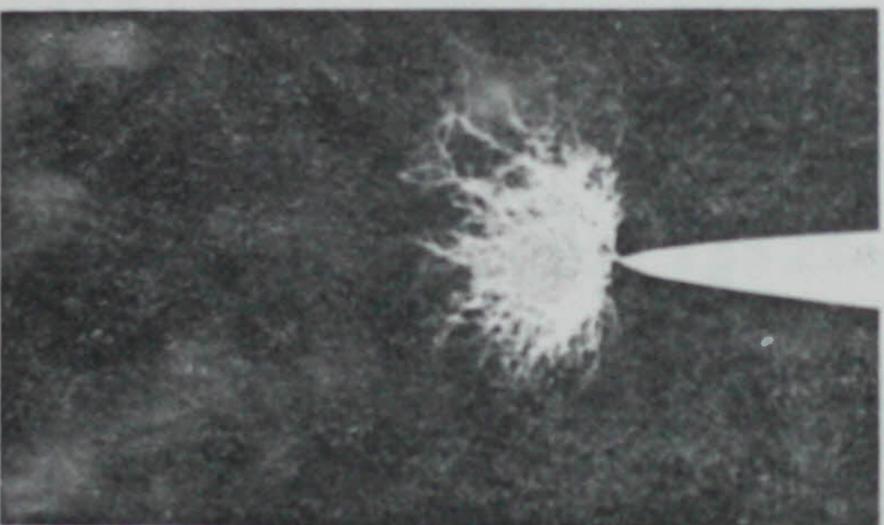


Fig. 2 — Ruptura do polietileno (espessura de 4,5 mm) em ponta hiperbólica de 5 mm de raio de curvatura e sob 20 kV.

- a) Estágio inicial do arvorejamento (após 0,5 s do início).
- b) Estágio intermédio do arvorejamento (após 30 s do início).
- c) Ruptura completa (actua de 60 s após o início do arvorejamento).

exceder a rigidez dielétrica intrínseca do polietileno [4].

Todo este processo de arvorejamento se revela por conseguinte como um efeito de descargas parciais entre fenómenos locais de disrupção intrínseca. Além disso mostra-se que a disrupção do polietileno é condicionada em princípio pelo aparecimento do fenómeno de arvorejamento e depois pela sua propagação na distância interelectródica. Daí a necessidade de analisar, por um lado, os factores que podem influir no início do arvorejamento e, por outro lado, observar as condições determinantes até à disrupção completa.

4 — TEMPO DE ESPERA ATÉ AO ARVOREJAMENTO

Aplicando uma tensão a qualquer configuração electródica manifesta-se pois decisivo, na análise do fenómeno de disrupção, o início do arvorejamento no seio do polietileno. Este parecer conduziu ao estudo da influência de vários factores no estabelecimento do processo de deterioração do dielétrico. Resumem-se em seguida os resultados obtidos.

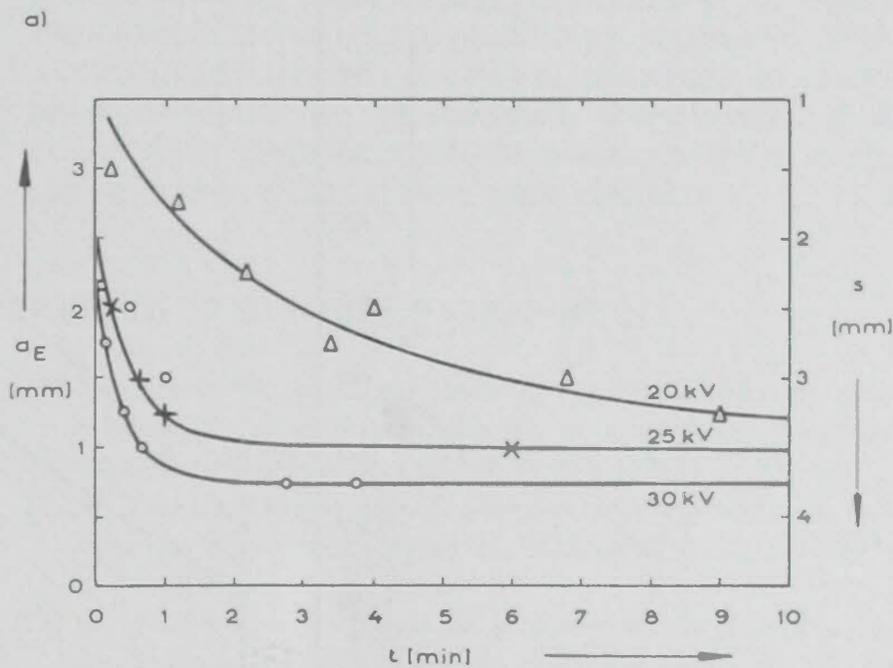
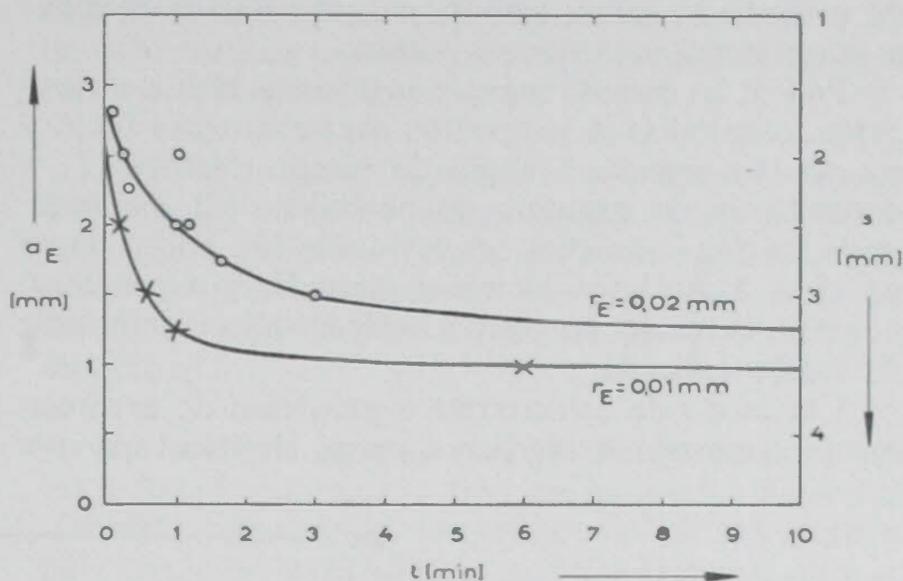
O tipo de ponta é essencial na definição do início do processo: uma ponta hiperbólica facilita o estabelecimento das condições da disrupção intrínseca relativamente à ponta elíptica, pois com o mesmo raio de curvatura e igual profundidade no dielétrico uma dada tensão aplicada origina muito maior intensidade do campo eléctrico na extremidade.

Num dado modelo elipsóide-plano verificou-se que o raio de curvatura da ponta é deveras importante: quanto menor for o raio de curvatura mais rapidamente se estabelece o arvorejamento, para uma certa profundidade da ponta no dielétrico e sob uma dada tensão nos eléctrodos (fig. 3a). Raios de curvatura grandes exigem tensões muito elevadas entre eléctrodos para que o fenómeno se manifeste.

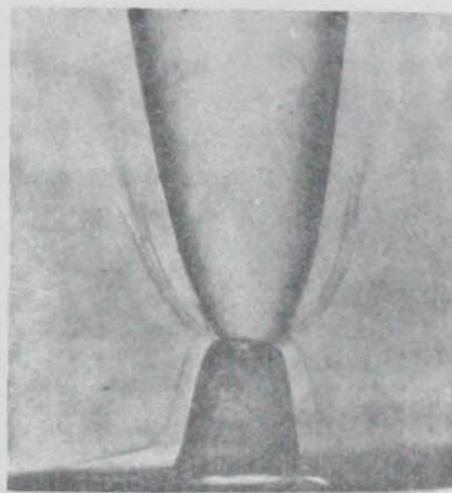
No mesmo modelo também se constatou que quanto maior for a profundidade da ponta embebida no material isolante mais depressa se atingem as condições de início do arvorejamento, mantendo a tensão constante e para igual raio de curvatura da extremidade (fig. 3a). Se a ponta penetra muito no dielétrico a distância disruptiva torna-se excessivamente pequena e a disrupção completa dá-se sem o estágio do arvorejamento, ou pelo menos a sua duração é tão curta que se torna difícil a sua detecção (fig. 3c). Este facto da disrupção imediata justifica-se porquanto a ponta nas condições enunciadas se comporta como sendo hiperbólica [1], dando lugar a uma intensidade do campo eléctrico muito superior que excede a rigidez dielétrica do polietileno, sendo por seu turno a distância disruptiva muito curta.

Ainda no modelo referido a influência da tensão aplicada, em elipsóides com igual raio de curvatura e para as mesmas distâncias disruptivas, caracteriza-se por um aparecimento facilitado do arvorejamento nos altos valores (fig. 3b). Conjugando porém com a redução da distância disruptiva conclui-se que a influência do valor da tensão tende a uniformizar-se, sendo então longos os tempos de espera até ao arvorejamento.

A pré-existência de uma cavidade adjacente à ponta metálica é muito significativa no início do arvorejamento, quaisquer que sejam as restantes condições: se existir uma cavidade imediatamente se desenca-



b)



c)

Fig. 3 — Tempo de espera até ao arvorejamento do polietileno (espessura de 4,5 mm) com ponta elíptica.

- Influência da profundidade do elipsóide conforme os raios de curvatura 0,01 mm e 0,02 mm sob 25 kV.
- Influência da profundidade do elipsóide conforme as tensões aplicadas 20 kV, 25 kV e 30 kV para o raio de curvatura 0,01 mm.
- Disrupção imediata (sem arvorejamento) numa distância disruptiva muito reduzida de 1 mm e grande raio de curvatura de 0,3 mm sob 60 kV.

deiam descargas parciais e o processo inicial de rotura é mais rápido do que se não existir esse defeito.

5 — INFLUÊNCIA DA TENSÃO APLICADA NO PROGRESSO DO ARVOREJAMENTO

Uma vez iniciado o arvorejamento há que analisar o seu desenvolvimento ao longo do tempo. Este problema conduz à necessidade de métodos estatísticos e a estudos demorados, característicos de pesquisa da duração de vida dos materiais, que excedem o objecto

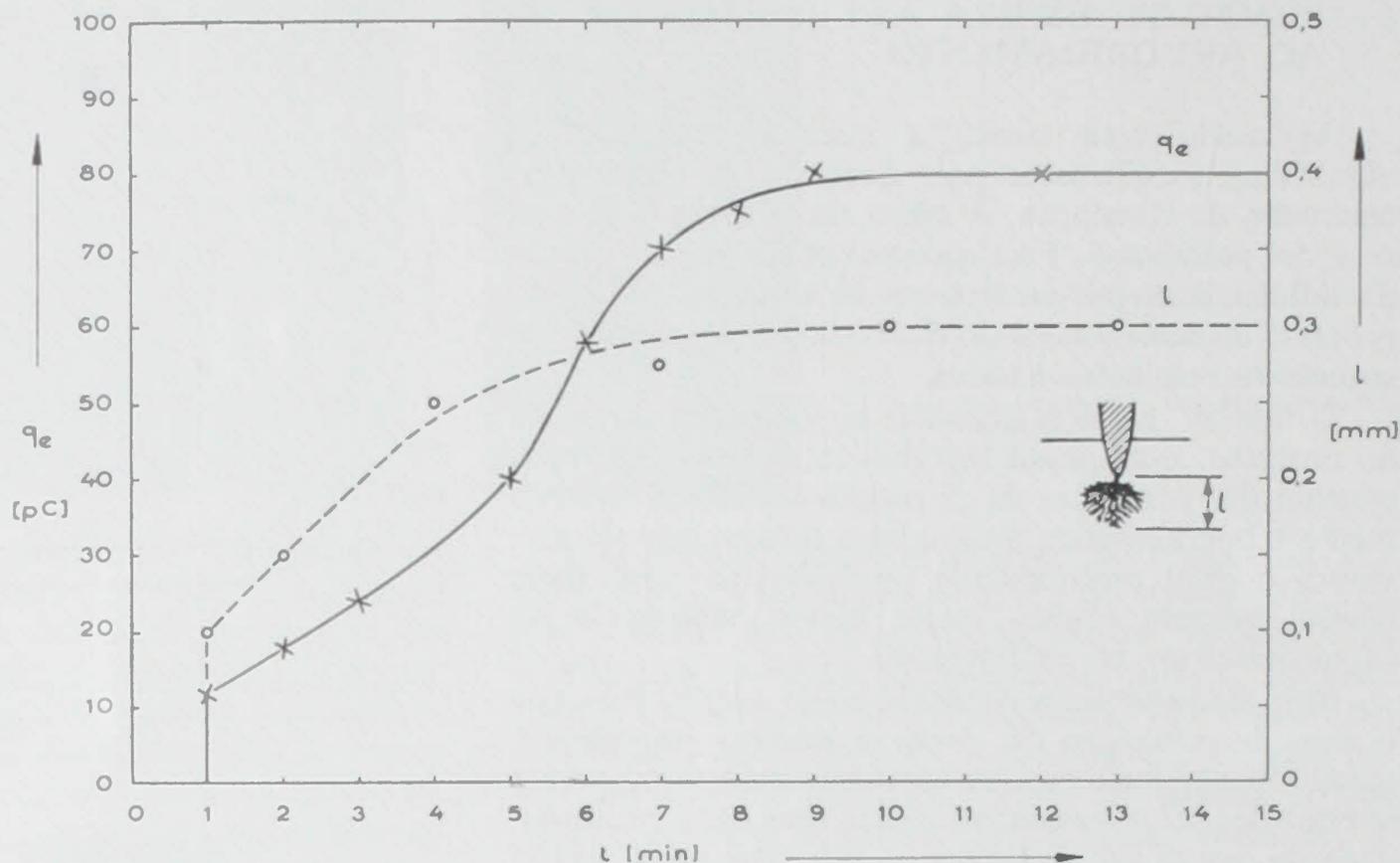
do presente trabalho, embora não se deixe de ressaltar a sua extrema importância prática.

Podem no entanto registrar-se diversos efeitos a curto prazo, como aliás já se apontou em publicações anteriores no que respeita à acção do campo eléctrico [1], à dependência da estrutura do polietileno [2] e à interpretação das ionizações em cavidades [5]. Sob o ponto de vista tecnológico interessa quantificar o progresso do arvorejamento no tempo evidenciando a influência da tensão aplicada.

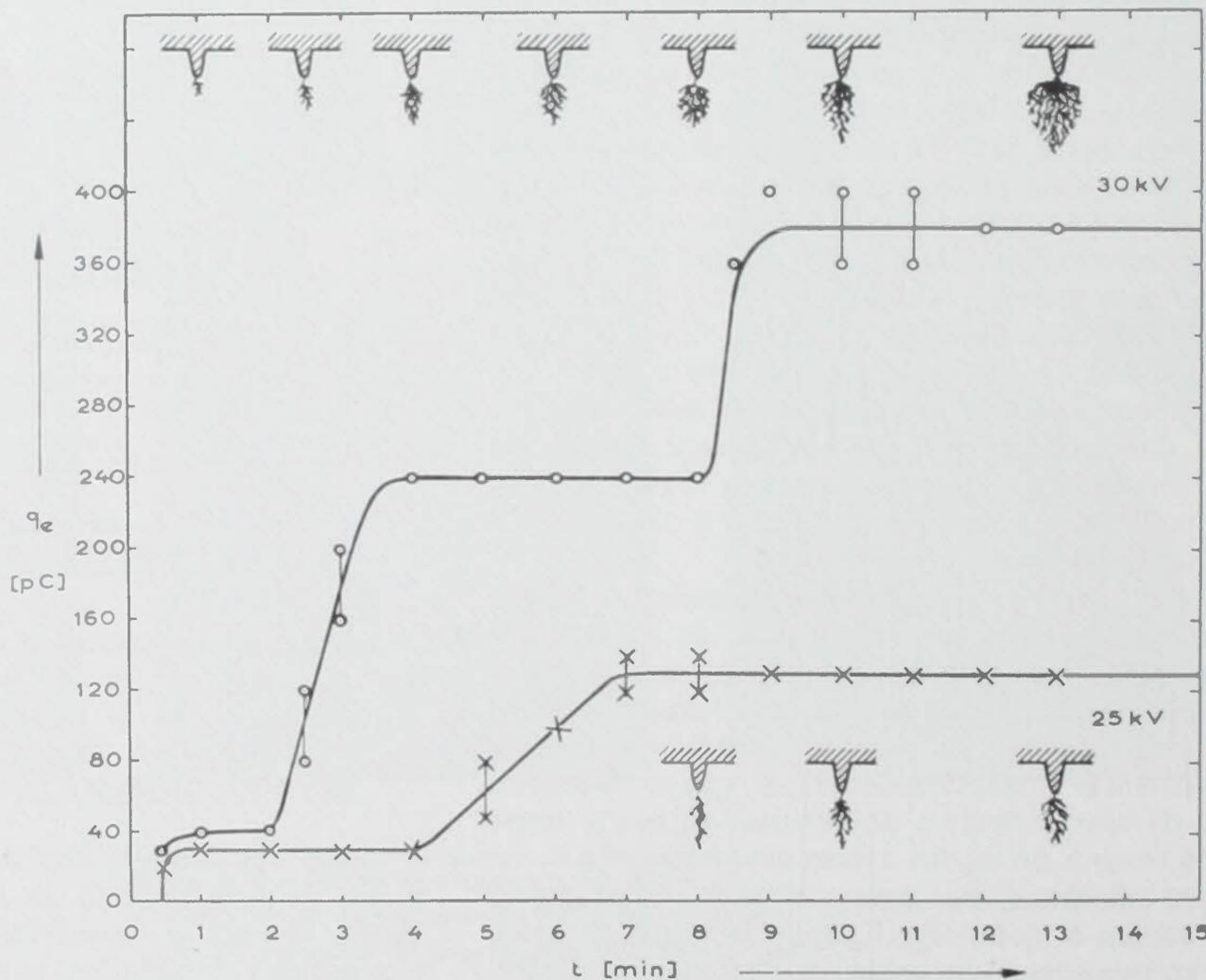
Um modo de caracterizar o progresso do arvorejamento consiste em registrar a carga eléctrica aparente

das descargas parciais (no circuito exterior ao provete). De facto verifica-se um aumento dos valores de pico-coulomb medidos quando ocorre o crescimento dos ramos do arvorejamento, e mantém-se um valor constante da carga eléctrica se o arvorejamento não progride especialmente (fig. 4a).

O crescimento da cavidade do arvorejamento dá-se de uma maneira não contínua: após um intervalo de tempo de rápido crescimento segue-se outro período em que o incremento se não verifica, correspondente à difusão na cavidade dos gases desenvolvidos que impedem a entrega da energia às moléculas da estrutura



a)



b)

Fig. 4 — Crescimento do arvorejamento do polietileno.

a) Carga eléctrica e comprimento dos maiores ramos do arvorejamento por uma ponta hiperbólica com o raio de curvatura de 0,025 mm sob 10 kV.

b) Influência da tensão na evolução da carga eléctrica por ponta elíptica com o raio de curvatura de 0,01 mm sob 25 kV e 30 kV.

do polietileno pelas partículas ionizadas nas descargas parciais, o que retarda o estabelecimento das condições de disrupção intrínseca. Assim a carga eléctrica em função do tempo representa-se por uma curva em escada com os patamares sucessivamente maiores e os degraus de menor amplitude até à disrupção completa (fig. 4b).

Inúmeros ensaios apresentaram sempre o mesmo aspecto típico da carga eléctrica em função do tempo, mas a duração e a amplitude de cada zona da curva são diferentes conforme o valor da tensão aplicada (fig. 4b): quanto maior for a tensão mais depressa se desenvolve o processo do arvorejamento.

Note-se todavia que a forma do arvorejamento não é a mesma para altos e para baixos valores da tensão: no caso de elevados valores o arvorejamento tende a adquirir uma forma mais preenchida, devido ao efeito do intenso campo eléctrico provocado pela ponta se sobrepor preponderantemente à acção das descargas parciais nos canais do arvorejamento (ver na fig. 4b esboços do arvorejamento apresentados após treze minutos de aplicação da tensão de 30 kV e de 25 kV em provetes iguais). Por isso se verifica que sob tensões inferiores a disrupção completa se atinge com valores mais baixos da carga eléctrica de descargas parciais.

6 — CONCLUSÕES

O estudo teórico-experimental do arvorejamento provocado no polietileno por pontas metálicas conduziu a alguns resultados fundamentais na interpretação do fenómeno de disrupção.

I — A disrupção completa do dieléctrico é em geral precedida de um fenómeno de arvorejamento cujo início se deve à disrupção intrínseca incompleta do material isolante.

II — As condições de início do arvorejamento são preenchidas após um tempo de espera mais ou menos longo consoante o valor da tensão aplicada, o tipo de

eléctrodo heterogéneo (hiperbólico ou elíptico), o raio de curvatura da extremidade, a profundidade da ponta (ou seja a distância disruptiva).

III — O progresso espacial do arvorejamento conduz à disrupção completa numa duração mais ou menos prolongada conforme o valor da tensão aplicada, o tipo e dimensões do eléctrodo em ponta, o seu raio de curvatura e profundidade de penetração, a estrutura do dieléctrico.

No fundo da questão a influência dos factores referidos (tensão aplicada e tipo de eléctrodos e suas dimensões) corresponde aos efeitos do campo eléctrico, pois este é determinado por aqueles factores, quer em intensidade quer em direcção. No entanto sob o aspecto estritamente tecnológico é muito mais expressivo referir a participação de cada um desses elementos no arvorejamento, e portanto na disrupção dos dieléctricos, do que traduzir cientificamente os correspondentes efeitos pelo conceito vectorial de campo eléctrico ■

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Duarte-Ramos: *Significado do campo eléctrico no arvorejamento de polímeros devido a uma heterogeneidade elíptica e hiperbólica*; TÉCNICA 413 (1971) p. 131-141.
- [2] H. Duarte-Ramos: *Significado das heterogeneidades esféricas em meios dieléctricos*; ELECTRICIDADE 105 (1974) p. 386-392.
- [3] H. Duarte-Ramos: *Efeito do estiramento do polietileno no arvorejamento devido a um eléctrodo em ponta*; ELECTRICIDADE 72 (1971) p. 196-202.
- [4] H. Duarte-Ramos: *Crítica da disrupção de dieléctricos sólidos*; Memória EL-5 da Universidade de Luanda (1972).
- [5] H. Duarte-Ramos: *Contribuição para a análise e interpretação física de descargas parciais em dieléctricos sólidos*; Memória EL-4 da Universidade de Luanda (1972).

TRANSISTORES POR EFEITO DE CAMPO

Prof. Eng. A. A. de Carvalho Fernandes
Eng. Isabel Maria Cacho Teixeira
Eng. João Paulo Cacho Teixeira

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projecto de Investigação Científica TLE/7 do INSTITUTO DE ALTA CULTURA, sob o título «Comportamento de Dispositivos Semicondutores em Frequências Elevadas».

Por lapso, esta referência não acompanhou o artigo publicado no n.º 105, pág. 369.
