

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICO-QUÍMICA

EFEITOS DA RADIAÇÃO-GAMA SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA  
DOS CRISTAIS LÍQUIDOS COLESTÉRICOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

WILSON KNIPHOFF DA CRUZ  
DEZEMBRO/1980

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"MESTRE EM CIÊNCIAS"  
NA ESPECIALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E APROVADA EM SUA FORMA  
FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.

S. Jayaraman  
PROF. SUBRAMANIA JAYARAMANN, PH. D

Fauk Nome  
PROF. FARUK J. N. AGUILERA, PH. D

BANCA EXAMINADORA

S. Jayaraman  
PROF. SUBRAMANIA JAYARAMANN, PH. D

Ted Ray Taylor  
PROF. TED RAY TAYLOR, PH. D

Fernando Cabral  
PROF. FERNANDO CABRAL, PH. D

À MINHA ESPOSA LEOCÁDIA E  
AOS MEUS FILHOS ALEXANDRE  
LUCIANA  
E JONAS.

## AGRADECIMENTOS

Sem o auxílio de muitas pessoas e entidades, o presente trabalho não poderia ser realizado. A eles, especialmente aos abaixo relacionados, o agradecimento.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

APESC - ASSOCIAÇÃO PRÓ-ENSINO SUPERIOR DE SANTA CRUZ DO SUL

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO E CULTURA DO RIO GRANDE DO SUL

CAPES

CNPQ

ORIENTADOR PROF. SUBRAMANIA JAYARAMANN

PROF. TED RAY TAYLOR

COORDENADOR PROF. FARUK JOSÉ NOME AGUILLERA

ABSTRACT

The cholesteric liquid crystals possess a helicoidal structure and thus show very interesting optical properties. The pitch of the helix varies when cholesteric liquid crystals are subject to irradiation with gamma rays. This effect was used by various authors to estimate the effects of gamma radiation on the cholesteric liquid crystals. These effects were due, probably, to the radiolytic dissociation of the cholesteric molecules. One expects that the radiolytic dissociation of the cholesteric molecules may alter significantly the low frequency conductivity of the cholesteric liquid crystals.

In the present work, the low frequency electrical conductivity of the cholesteric liquid crystals is measured for the first time as a function of temperature and the radiation dose throughout the cholesteric region. The effects of gamma radiation from  $^{60}\text{Co}$  teletherapy source on cholesteric liquid crystals (e.g. Cholesteric Pelargonate CP - 100% and a binary mixture of Cholesteric Chloride CC - 86% and CP 14%) are investigated from the point of view of suitability as a gamma dosimeter. These cholesteric liquid crystals are dissolved in carbon tetrachloride ( $\text{CCl}_4$ ) and then irradiated using a teletherapy  $^{60}\text{Co}$  unit. Gamma rays produce radiolytic dissociation of cholesteric molecules directly and also by the collision of the free radicals "Cl" and " $\text{CCl}_3$ " with the cholesteric molecules. After irradiation, the solvent is removed by vacuum evaporation. The low frequency conductivity was measured using the universal capacitance

bridge.

It is found that in the case of CP (100%), the conductivity change is not linear with gamma dose. This nonlinearity is probably due to the proximity of a Smetic-A phase close to the cholesteric phase and due to the subsequent influence of the short range order effect of a Smetic-A phase of CP over its cholesteric region. On the other hand, in the case of a binary mixture of CC and CP, the conductivity response is linear with gamma dose. This is probably because the binary mixture at low concentration of CP does not exhibit a Smetic-A phase at lower temperatures. Conductivity changes of the order of  $10^{-9}$   $\Omega$ /m per kilorad is observed for the binary mixture. These effects could be usefully employed for the gamma ray dosimetry of teletherapy  $^{60}\text{Co}$  sources.

RESUMO

Os cristais líquidos colestéricos possuem uma estrutura helicoidal e apresentam propriedades óticas interessantes. O passo da hélice varia quando os cristais líquidos colestéricos são expostos à irradiação com raio-gama. Estes efeitos foram usados por vários autores para avaliar os efeitos da radiação gama nos cristais líquidos colestéricos. Estes efeitos são devidos, provavelmente, à dissociação radiolítica das moléculas do colestérico. Supõe-se que a dissociação radiolítica das moléculas dos colestéricos podem modificar significativamente a condutividade elétrica dos cristais líquidos colestéricos, em baixa frequência.

No presente trabalho, a condutividade elétrica dos cristais líquidos colestéricos, em baixa frequência, é medida como uma função da temperatura e da dose de radiação-gama em toda região colestérica. Os efeitos da radiação-gama sobre os cristais líquidos colestéricos (Pelargonato de Colesterila CP - 100% e uma mistura binária de Cloreto de Colesterila CC - 86% e CP - 14%) são avaliados para dosimetria-gama. Estes cristais líquidos colestéricos são dissolvidos em tetracloreto de carbono ( $\text{CCl}_4$ ) e então irradiados numa bomba de  $^{60}\text{Co}$  de teleterapia. Os raios-gama produzem dissociação radiolítica das moléculas colestéricas diretamente e também pela colisão de radicais livres "Cl" e " $\text{CCl}_3$ " com as mesmas.

Após a irradiação, o solvente é removido pela evaporação a vácuo. A condutividade elétrica, em baixa frequência é medida por uma ponte de capacitância.

No caso do CP (100%), a variação da condutividade não é linear com a dosagem gama. Esta não linearidade é provavelmente devido à presença da mesofase esmética-A próximo da mesofase colestérica e subsequente influência dos efeitos de ordem de curto alcance da mesofase esmética-A sobre a região colestérica. Por outro lado, no caso da mistura binária de CC e CP, a variação da condutividade é linear com a dosagem gama.

Isto pode ser devido ao fato da mistura binária, em baixa concentração de CP, não exibir a mesofase esmética-A nas temperaturas inferiores. Variação da condutividade da ordem de  $10^{-9}$  u/m por Krad é observada para a mistura binária. Estes efeitos podem ser empregados em dosimetria da radiação gama nas fontes de  $^{60}\text{Co}$  de teleterapia.

# ÍNDICE

<u>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</u>	11
1.1 - Cristais líquidos	11
1.2 - Mesofase colestérica	12
1.3 - Presença das mesofases	17
<u>CAPÍTULO II</u>	20
2.1 - Avaliação dos danos produzidos por radiação gama pela variação do passo da hélice	20
2.2 - Finalidade da dissertação	23
<u>CAPÍTULO III - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL</u>	25
3.1 - Preparo das soluções	25
3.2 - Dosagem gama	26
3.3 - Extração do $\text{CCl}_4$ das amostras	26
3.4 - O capacitador para a medida da condutividade de elétrica	26
3.5 - O forno	31
3.6 - Conjunto para a medida da capacitância	34
3.7 - Osciloscópio	36
3.8 - Observação visual	39
3.9 - Fórmula para o cálculo da condutância	39
3.10 - Valor da condutividade	46
<u>CAPÍTULO IV - RESULTADOS OBTIDOS</u>	47
<u>CAPÍTULO V - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</u>	63
<u>CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO</u>	67

## ÍNDICE DAS FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS

1 - Representação das mesofases nemática e emética-A	13
2 - Representação da mesofase colestérica	15
3 - Fórmula da molécula de Pelargonato de Colesterila	18
4 - Lâmina de vidro com as placas do capacitador	29
5 - Estrutura das paredes do forno	32
6 - Ponte de capacitância	37
7 - Esquema de observação visual do cristal líquido	40
8 - Diagrama vetorial. Relação entre os fatores D e Q	42
9 - Esquema do equipamento de controle da temperatura	44
10 - Gráfico da condutividade elétrica em função da temperatura para o CP	49
11 - Tabela da condutividade elétrica em função da dose de radiação e da temperatura para o CP	51
12 - Gráfico da condutividade elétrica em função da temperatura para as amostras irradiadas de CP	53
13 - Gráfico da variação da condutividade elétrica em função da dose de radiação para o CP, em temperaturas constantes	55
14 - Tabelas dos valores da condutividade elétrica em função da dose de radiação e da temperatura para a mistura (CP + CC)	57
15 - Gráfico da condutividade elétrica em função da temperatura para as amostras irradiadas de (CP + CC)	59
16 - Gráfico da variação da condutividade elétrica em função da dose de radiação para o (CP + CC) em temperaturas constantes	61

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CRISTAIS LÍQUIDOS

Cristal líquido é a denominação genérica de todas as substâncias que apresentam fases intermediárias entre sólido e líquido isotrópico. O primeiro cristal líquido foi descoberto pelo botânico austríaco Reinitzer<sup>1</sup> em 1888 e a denominação "Cristal Líquido" foi dada pelo físico germânico Lehmann<sup>2</sup> em 1889.

Os cristais líquidos são classificados em duas classes: liotrópicos e termotrópicos. Os cristais líquidos liotrópicos são formados pela concentração adequada de solutos de moléculas alongadas, em solventes isotrópicos. Cristais líquidos termotrópicos são aqueles que aparecem com variação de temperatura.

Os cristais líquidos termotrópicos apresentam mesofases: nemática, colestérica e esmética. Esta classificação das mesofases<sup>3</sup> é feita baseada na organização molecular das moléculas.

A mesofase nemática se caracteriza pela orientação das moléculas alongadas em uma direção preferencial. A figura 1.a apresenta um esquema da mesofase nemática.

Além da orientação das moléculas em uma direção preferencial, a mesofase esmética apresenta as moléculas ordenadas em camadas. Dependendo da forma como as moléculas se ordenam nas camadas, a mesofase esmética se subdivide em esmético A, esmético B, esmético C, etc. A mesofase esmética

ca é mais ordenada do que a colestérica ou nemática e aparece portanto em temperaturas inferiores. A figura 1.b esquemmatiza um esmético A.

## 1.2 MESOFASE COLÉSTERICA

O presente trabalho foi realizado com cristais líquidos colestéricos. A mesofase colestérica possui as moléculas dispostas de forma que a direção preferencial, representada pelo diretor  $\hat{n}$ , varia continuamente, formando uma estrutura helicoidal. A figura 2 apresenta a estrutura da mesofase colestérica.

A simetria de inversão das moléculas dos colestéricos proporciona uma repetitividade de posição a cada giro de  $180^\circ$  no diretor  $\hat{n}$ .

A estrutura helicoidal pode ser descrita matematicamente por:

$$n_x = \cos (q_0 z + \phi)$$

$$n_y = \text{sen} (q_0 z + \phi)$$

$$n_z = \text{zero}$$

onde:

$\phi$  é o ângulo de fase, ângulo entre o diretor  $\hat{n}$  na origem do sistema de coordenadas e o eixo 0X.

$z$  é a distância ao longo do eixo 0Z.

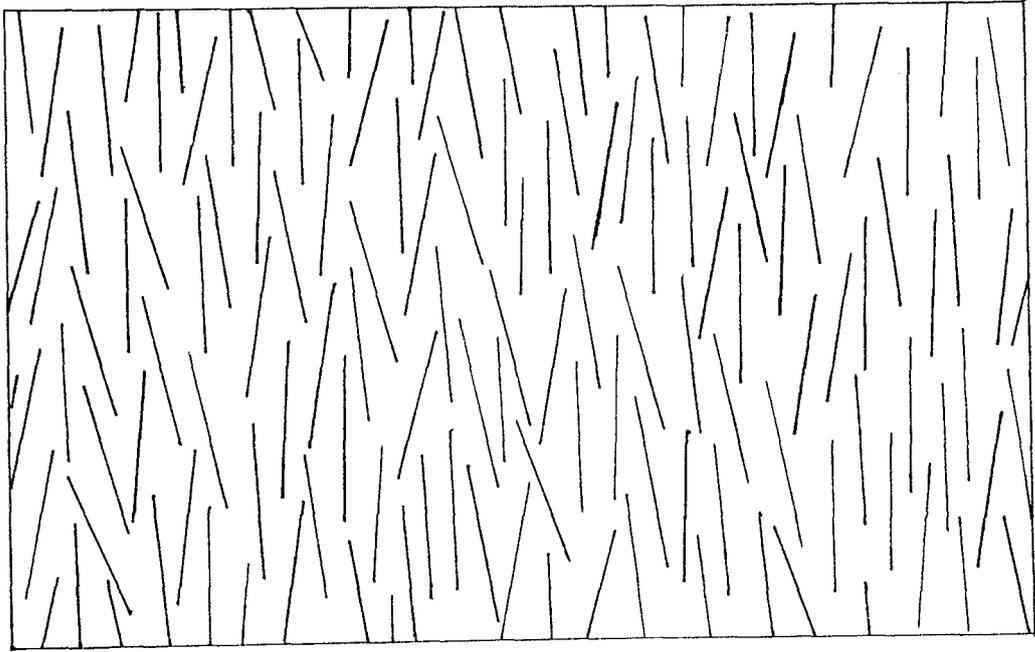
$$q_0 \text{ é a helicidade. } q_0 = \frac{\text{Ângulo de torção } (\pi)}{\text{Unidade de comprimento (L)}}$$

$$L = \frac{P}{2}, \text{ P é o passo da hélice.}$$

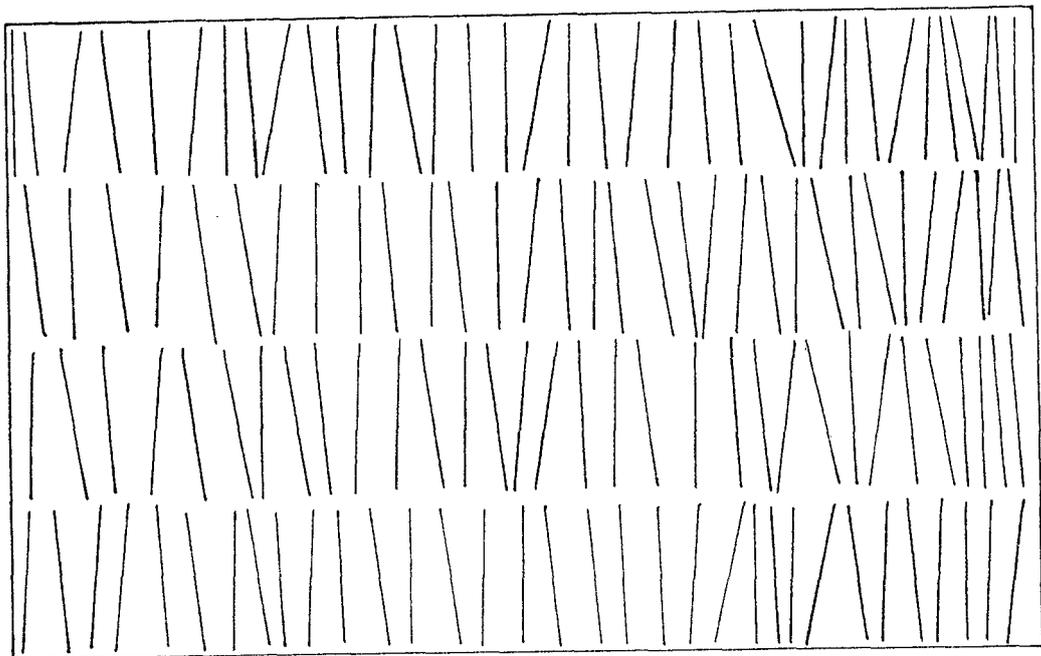
O ângulo de fase  $\phi$  e a direção do eixo 0Z dependem das condições de contorno.

Figura 1.a - Esquema da ordem molecular da mesofase nemática, observando-se a orientação preferencial das moléculas segundo o diretor  $\hat{n}$ .

Figura 1.b - Esquema da ordem esmética-A de um cristal líquido, vendo-se que além da orientação das moléculas em uma direção preferencial, existe uma ordem das moléculas em camadas. Na mesofase esmética-A, o diretor  $\hat{n}$  é perpendicular ao plano que divide as camadas.

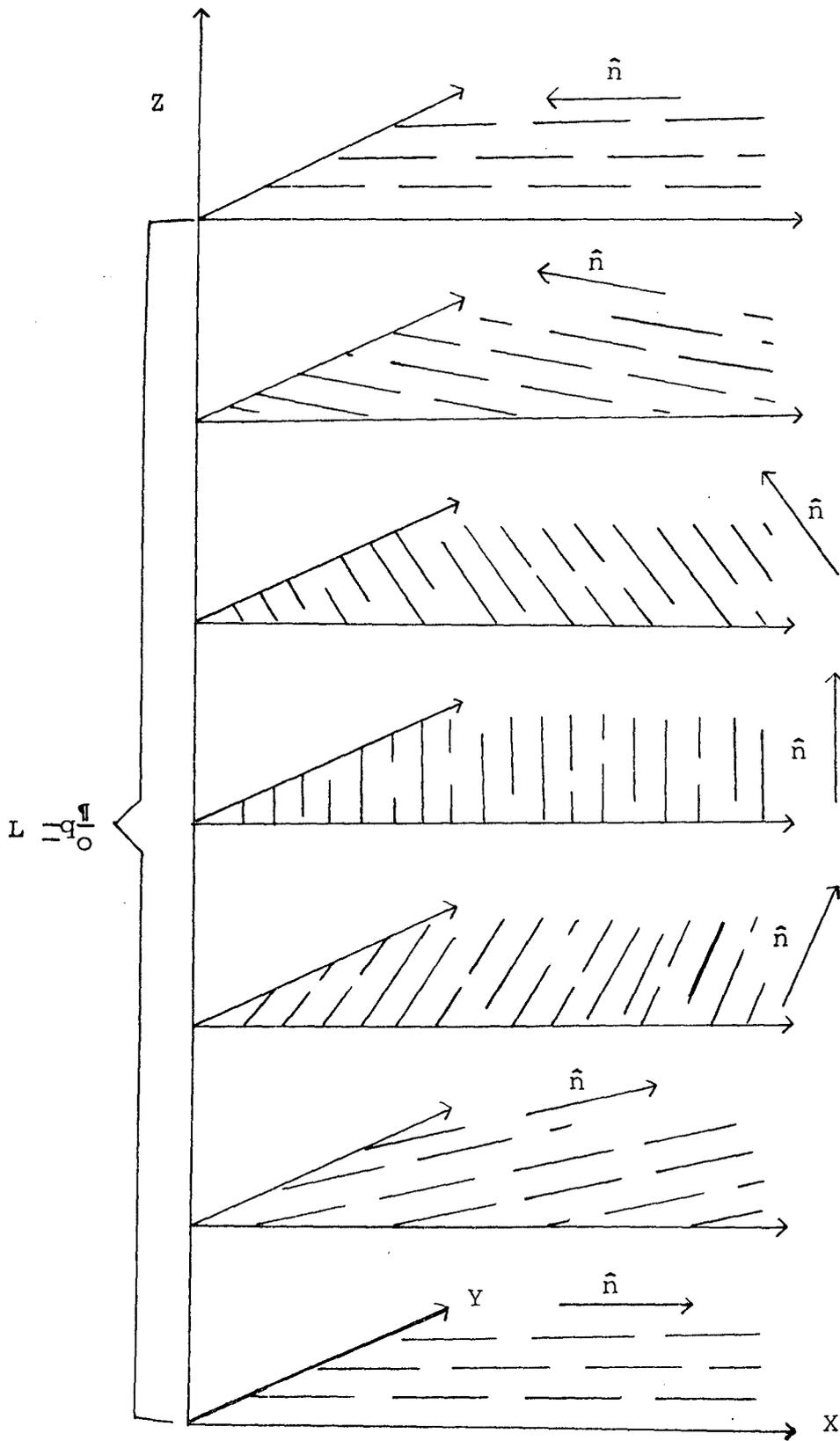


$\hat{n}$  ↑



$\hat{n}$  ↑

Figura 2 - O desenho mostra a variação contínua do diretor  $\hat{n}$  ao longo do eixo Z num cristal líquido colestérico.



Uma das propriedades físicas apresentadas pela mesofase colestérica é o espalhamento de Bragg provocado pela periodicidade da estrutura helicoidal. O espalhamento de Bragg ocorre para o comprimento de onda da radiação incidente que (dentro do cristal) é igual ao passo P da hélice.

O passo da hélice varia com:

- (1) Temperatura
- (2) Impurezas
- (3) Mistura de cristais líquidos
- (4) Pressão
- (5) Radiação gama<sup>5</sup>

A denominação colestérico deve-se ao fato de que a maioria dos cristais líquidos colestéricos são formados de derivados do colesterol. A figura 3 apresenta a fórmula de uma molécula de Pelargonato de Colesterila.

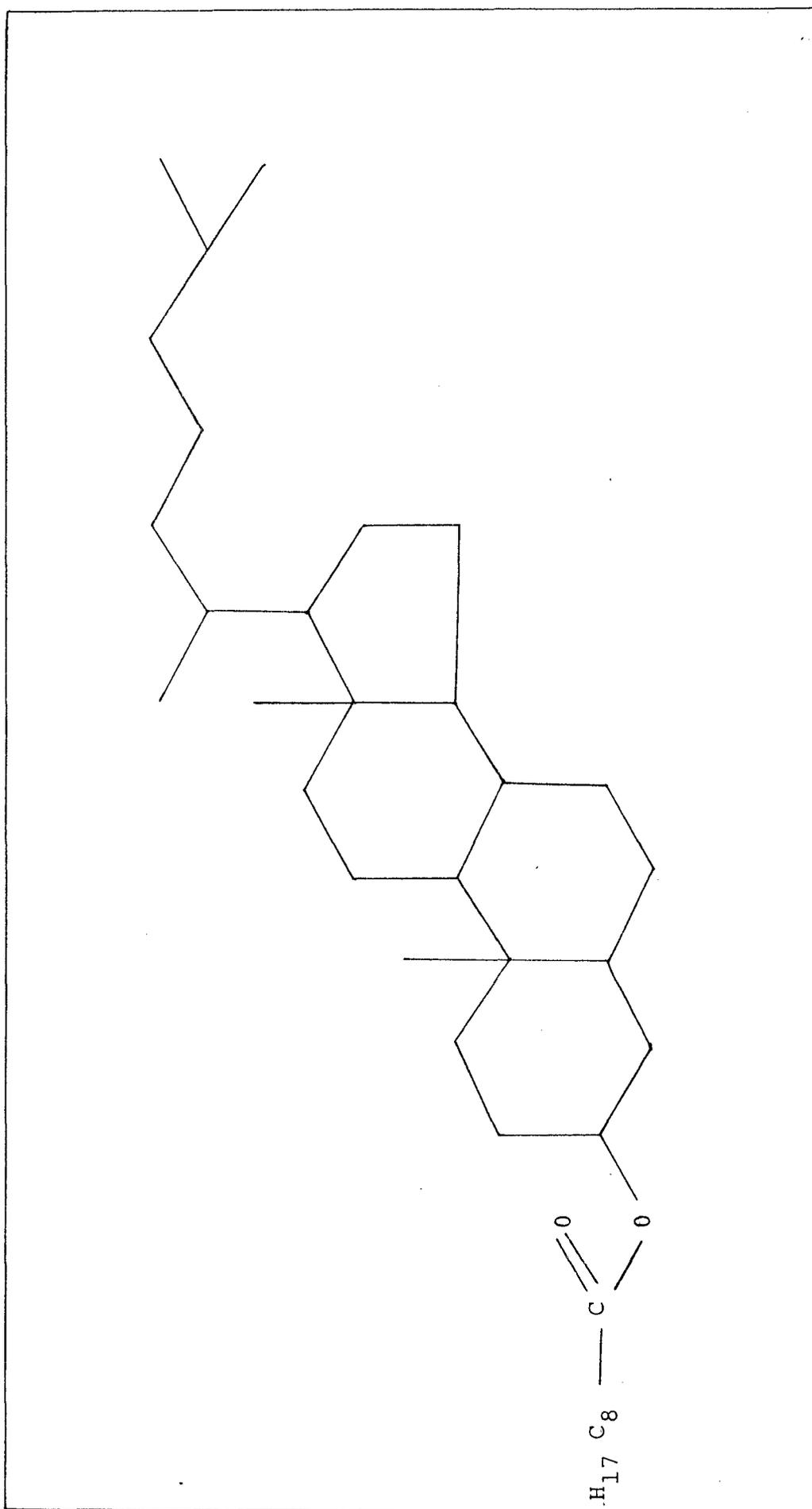
### 1.3 PRESENÇA DAS MESOFASES

As mesofases nemática, colestérica e esmética podem aparecer sozinhas ou acompanhadas de outra mesofase. Basicamente ocorrem duas situações gerais:

- (1) sólido — esmético — colestérico — isotrópico
- (2) sólido — esmético — nemático — isotrópico

A ordem de aparecimento das mesofases é sempre esta, podendo uma das mesofases não aparecer. Numa mesma substância, uma ou mais mesofases podem não aparecer quando do aquecimento e aparecer no esfriamento. As mesofases nemática e colestérica nunca aparecem na mesma substância.

Figura 3 - Fórmula de uma molécula de Pelargonato de Coles  
terila.



## CAPÍTULO II

### 2.1 AValiação dos Danos Produzidos por Radiação-Gama pela Variação do Passo da Hélice

O passo da hélice dos cristais líquidos colestéricos é uma função da temperatura. Para uma determinada temperatura, um mesmo cristal líquido, apresenta um determinado passo.

Quando se incide uma radiação de comprimento de onda (dentro do cristal líquido) igual ao passo da hélice, ocorre a reflexão de Bragg. A reflexão de Bragg é observável a olho nu quando a luz incidente está na região visível do espectro.

Incidindo luz branca em um cristal líquido colestérico as radiações cujo comprimento de onda são diferentes do passo da hélice, não sofrem modificação alguma. A luz de comprimento de onda (dentro do cristal líquido) igual ao passo da hélice pode ser considerada como duas ondas circularmente polarizadas com sentidos opostos. A luz polarizada em um sentido é refletida enquanto que a polarizada em outro sentido é transmitida. Com o emprego de polarizadores cruzados nota-se o cristal líquido brilhantemente unicolorido, tanto usando luz refletida quanto transmitida.

Cada colestérico, exposto à luz branca, apresenta portanto uma cor característica para uma determinada temperatura. O gráfico do comprimento de onda máximo refletido

em função da temperatura, denominado curva térmica, caracteriza um colestérico.

Os cristais líquidos colestéricos, na presença da radiação-gama, sofrem decomposição radiolítica, provocando uma variação nas curvas térmicas.

Empregando o cristal líquido dissolvido em solventes orgânicos, durante a exposição à radiação, aumentam-se os danos. Os solventes orgânicos também sofrem decomposição radiolítica e supõe-se que a quantidade de radicais livres aumenta provocando um maior número de colisões radicais-moléculas.

Os parágrafos seguintes apresentam um resumo dos trabalhos publicados sobre danos da radiação-gama em cristais líquidos colestéricos.

2.1.1 KUSHELEVSKY et al.<sup>5</sup> foram os primeiros a observar a variação do passo da hélice pela radiação-gama. Empregaram cristais líquidos colestéricos (não especificados) que foram irradiados por uma bomba de  $^{60}\text{Co}$ , durante um tempo de até 60 h. Observaram que a diminuição da temperatura de resposta da cor (temperatura em que determinada cor está presente) é linear com a dose gama. A sensibilidade, razão entre a diminuição da temperatura de resposta da cor e a dose de radiação, depende do tipo de colestérico empregado. A maior sensibilidade encontrada foi de  $8 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/Krad}$ .

2.1.2 KERLLENEVICH et al.<sup>8</sup> empregaram uma mistura (1 : 1 em peso) de Pelargonato de Colesterila (CP) com Óleo Carbonato de Colesterila (COC) e conseguiram uma pe

quena melhoria na sensibilidade ( $1,25 \times 10^{-3}$  °C/Krad). Observaram também que a curva térmica é simplesmente deslocada para temperaturas inferiores, sem sofrer alteração no formato, sendo que o deslocamento cresce linearmente com a dose gama.

2.1.3 KUSHELEVSKY et al.<sup>7</sup> observaram que os cristais líquidos colestéricos dissolvidos em solventes orgânicos e posteriormente irradiados sofriam danos maiores. Verificaram também que a sensibilidade é função do tipo de solvente e da concentração. Foi constatado que a diminuição da concentração aumenta a sensibilidade. Supõe-se que o solvente sofre decomposição radiolítica mais facilmente do que o cristal líquido, fazendo com que a diminuição da concentração provoque um aumento de radicais livres por unidade de volume, ocasionando um aumento no número de colisões radicais - moléculas, responsáveis pelo aumento dos danos nas moléculas.

A sensibilidade máxima encontrada foi de  $4,78 \times 10^{-2}$  °C/Krad, empregando como solvente o tetracloreto de carbono ( $\text{CCl}_4$ ) na concentração de 14,5 mg de cristal líquido por ml de solvente.

2.1.4 KERLLENEVICH et al.<sup>9</sup> empregando a mesma mistura (CP+COC), dissolvida em diversos solventes orgânicos e em diversas concentrações, constataram que entre eles o melhor foi o  $\text{CCl}_4$ . Constataram também que a diminuição da concentração é um fator que provoca um aumento na sensibilidade. Usando uma concentração de

3,7 mg/ml, conseguiram uma sensibilidade de 0,25  $\text{°C/Krad}$ . Esta sensibilidade é 250 vezes maior do que aquela obtida pela irradiação sem o uso do solvente.

2.1.5 SEBASTIANES<sup>10</sup> usando uma mistura de Pelargonato de Colesterila (CP + CC) numa proporção em peso de 14% de CP e 86% de CC, dissolvida em  $\text{CCl}_4$  na concentração de 4 mg/ml, obteve uma sensibilidade de 0,59  $\text{°C/Krad}$ , confirmando a linearidade de resposta da cor em função da dose de radiação-gama.

Empregando Pelargonato de Colesterila dissolvido em  $\text{CCl}_4$ , na concentração de 4 mg/ml, obteve uma sensibilidade de 0,4  $\text{°C/Krad}$ , usando como referência a diminuição da temperatura de transição isotrópico - colestérico porque não encontrou linearidade na diminuição da temperatura de resposta da cor na faixa de reflexão visível.

## 2.2 FINALIDADE DA DISSERTAÇÃO

O objetivo desta dissertação é investigar a sensibilidade de medida dos efeitos da radiação-gama, pela variação da condutividade elétrica, nos cristais líquidos colestéricos. É provável que os radicais livres produzidos pela dissociação radiolítica provoquem um aumento da condutividade elétrica.

Se ocorrer variação na condutividade elétrica do cristal líquido, será possível determinar os efeitos da radiação-gama em toda a faixa colestérica, o que não é possível com as curvas térmicas. Caso haja variação da condutividade elétrica, a medi

da desta variação deverá ser mais precisa do que a determinação das curvas térmicas. Se a variação da condutividade elétrica for bastante grande, será possível suprimir o uso do solvente.

## CAPÍTULO III

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As amostras dos cristais líquidos irradiados em pregados no presente trabalho são as mesmas preparadas por Sebastianes<sup>10</sup> e cujo preparo é descrito nos parágrafos seguintes. A opção pelo emprego das mesmas amostras, foi feita para evitar repetitividade de um trabalho já realizado e para possibilitar a comparação dos resultados obtidos.

#### 3.1 PREPARO DAS SOLUÇÕES

O cristal líquido colestérico foi dissolvido em  $\text{CCl}_4$  (fabricação Merck do tipo Uvasol) na concentração de 4 mg de cristal líquido por ml de solvente. Esta solução, nesta concentração, foi realizada para aumentar a sensibilidade dos danos da radiação gama.

A escolha dos cristais líquidos foi feita observando-se a maior sensibilidade aos danos da radiação-gama, baseado nos trabalhos anteriores<sup>8, 9, 11, 12</sup>. Foram escolhidos Pelargonato de Costerila e uma mistura de Pelargonato de Colesterila e Cloreto de Colesterila (CP + CC), numa proporção de (14:86) em peso. O primeiro apresenta as mesofases esméctica-A e colestérica e o segundo, apenas a mesofase colestérica.

As soluções amostras, de 5 ml, foram colocadas em um balão esférico de vidro pirex de 100 ml de volume.

### 3.2 DOSAGEM-GAMA

As soluções foram irradiadas em uma bomba  $^{60}\text{Co}$  cuja dosagem por unidade de tempo era constante, durante o tempo de cada dosagem. As amostras foram irradiadas com diferentes doses, mantendo-se constantes todas as outras condições, variando-se o tempo de exposição.

A taxa de dose D (Krad/min) foi avaliada observando-se a abertura do colimador e a distância entre a fonte radiativa e a amostra, por valores já tabelados e específicos da bomba empregada. Foi desprezada a absorção de radiação do vidro. A precisão da medida do tempo de exposição à radiação foi de 1 segundo.

### 3.3 EXTRAÇÃO DO $\text{CCl}_4$ DAS AMOSTRAS

Após a irradiação, as soluções foram levadas ao sistema de rotavapor para extrair o  $\text{CCl}_4$ . O ponto de ebulição do  $\text{CCl}_4$ , em condições normais é de  $76^\circ\text{C}$ . No rotavapor a solução foi aquecida a uma temperatura de  $90^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  sob um vácuo de  $33 \pm 1$  torr, durante duas horas. Com a eliminação do solvente as amostras estavam preparadas para as medidas.

### 3.4 O CAPACITADOR PARA A MEDIDA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Para medir a condutividade elétrica dos cristais líquidos colestéricos foi empregado um capacitador cujas placas constituíam-se de vidro metali-

zado. Inicialmente o vidro, de 1 mm de espessura, possuía uma camada de óxido de índio. A forma das placas do capacitador, propriamente dito, foi dada colocando-se papel contacto com a forma desejada sobre a parte metalizada da lâmina, mergulhando-se a mesma em solução de ácido clorídrico durante 5 minutos. Antes de usar o papel contacto, foi tentado o uso do sistema de fotofabricação que não apresentou o resultado desejado porque a resina disponível (Kodak Photo-Resist, tipo KPR3) não adere muito bem à placa. Isto fez com que ocorresse a corrosão dos eletrodos durante o processo de preparação do capacitador.

A forma circular foi escolhida por apresentar menos problemas de bordas. Inicialmente pensou-se usar eletrodos de guarda mas a dificuldade nas ligações elétricas e na perfeição da geometria, comparada à pequena melhoria do resultado (0,25%) fizeram com que a idéia fosse abandonada.

A previsão da melhoria foi feita pela aplicação da fórmula<sup>13</sup>

$$C_e = \frac{1.113 D}{8} \left[ \ln \frac{8 t D}{b} - 3 + z \right] \text{ pF, onde:}$$

D é o diâmetro de cada eletrodo em cm,

b é a distância entre os eletrodos, em cm,

t é a espessura dos eletrodos em cm,

$z = f(x)$  ;  $z = (1 + x) \ln (1 + x) - x \ln x$ ,

$x = t/b \sim \text{zero}$ ,

$C_e$  é um fator de correção da capacitância.

Para obter a capacitância real  $C_r$ , por meio da capacitância medida,  $C_m$ , por um capacitor de eletrodos circulares e iguais, faz-se:

$$C_r = C_m - C_e$$

A fórmula para encontrar o fator de correção  $C_e$  foi deduzida considerando-se capacitadores com eletrodos de guarda como ideais.

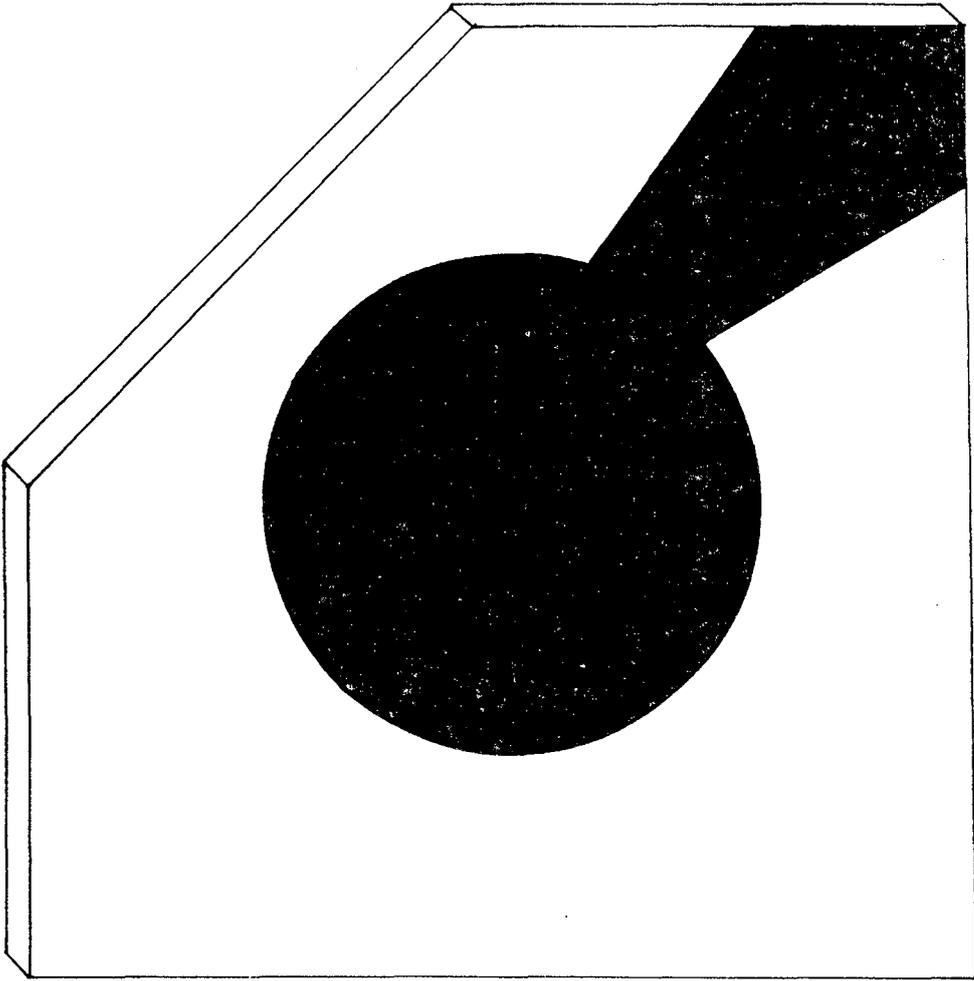
Para fazer a previsão de melhoria, tomou-se a menor capacitância medida. A espessura dos eletrodos não era conhecida, mas foi tomada como menor do que 1000 A.O diâmetro das placas do capacitor tinha 1,8 cm. Calculando-se  $C_e$  com estes dados nota-se que

$$z \ll \left[ \ln \frac{8D}{b} - 3 \right] \cdot z \approx 0.$$

A figura 4 mostra a lâmina de vidro com a forma geométrica das placas do capacitor.

Para preparar as amostras para as medidas, as lâminas eram aquecidas a uma temperatura ligeiramente superior à temperatura de transição colestérico-isotrópico, colocando-se sobre uma das lâminas, fios de tungstênio de 40 $\mu$ m para assegurar uma espessura constante e uniforme do dielétrico. Sobre a mesma lâmina colocava-se o cristal líquido, conservando-se a temperatura da lâmina durante algum tempo para que o cristal fundisse totalmente e as bolhas de ar fossem eliminadas. Logo após superpunham-se as duas lâminas de modo que as placas do capacitor coincidissem. Após a superposição das lâminas aguardava-se a solidificação do cristal para que não houvesse um

Figura 4 - Lâmina de vidro com as placas do capacitor.



deslocamento das placas do capacitador, enquanto as ligações elétricas eram realizadas.

### 3.5 O FORNO

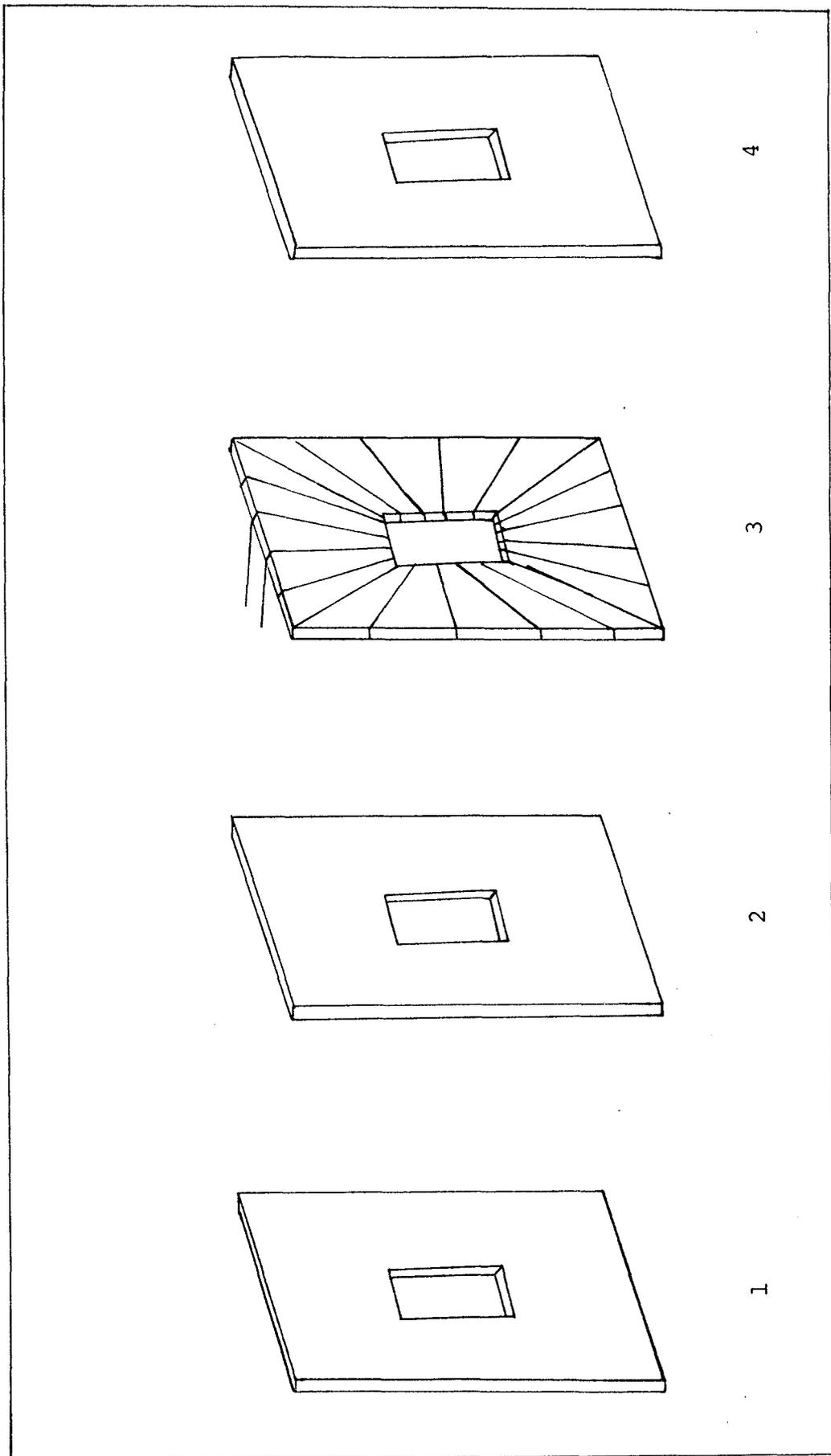
O capacitador foi colocado dentro de um forno cuja temperatura podia ser mantida constante. O forno possuía uma forma cúbica e era constituído por paredes de quatro camadas. A camada interna foi feita de latão, a segunda de mica, com exceção da parte que cobre os orifícios para observação visual, que era de vidro. A terceira camada foi formada por placas de mica enroladas com resistências. Externamente o forno foi revestido por uma camada de amianto. Observou-se uma colocação simétrica das resistências para evitar a formação de um gradiente de temperatura no interior do forno. A variação de temperatura, medida entre dois pontos situados a uma distância equivalente ao diâmetro dos eletrodos foi menor do que 0,5 °C. A figura 5 mostra as paredes do forno.

Na face superior do forno, que também serviu de tampa foi fixada através de um controlador de temperatura (Eurotherm, modelo 031-080-06-00), com uma precisão de 0,1 °C, empregando um termopar de ferro-constatan calibrado.

Para realizar as medidas, após a colocação do capacitor no interior do forno, a temperatura era elevada de modo que o cristal passasse para a fase isotrópica. Em seguida baixava-se gradualmente a temperatura até que toda a mesofase colestérica fosse

Figura 5 - Estrutura de uma das paredes do forno mostrando:

- (1) Parede de latão
- (2) Isolamento de mica
- (3) Resistências
- (4) Camada de amianto



varrida. Próximo às transições de fase, o intervalo de temperatura entre cada medida era de 0,5 °C e nas temperaturas mais afastadas da transição, o intervalo de temperatura era ampliado para 2 °C. A estabilidade da temperatura no forno era obtida em 30 min. quando a temperatura era reduzida de 2 °C.

### 3.6 CONJUNTO PARA MEDIDA DE CAPACITÂNCIA

Para medir a condutividade elétrica foi empregado um conjunto para a medida de capacitância da General Rádio, tipo 1620 - AP, constituído de três partes: o Oscilador de Audio, tipo 1232 - A; o Amplificador de Sinal com Detector Nulo, tipo 1311 - A e a Ponte de Capacitância, tipo 1615 - A.

#### 3.6.1 OSCILADOR DE ÁUDIO

O Oscilador de Áudio permite a escolha da frequência e da voltagem da corrente empregada. O intervalo de frequência que o oscilador de Áudio permite situa-se entre 50 Hz e 10 KHz e o intervalo de voltagem está entre 0,1 mV e 10 V.

Foi escolhida a frequência de 1 KHz porque possibilita uma maior precisão na medida da capacitância com menor distorção. A distorção é menor do que 0,05% para a frequência de 1 KHz.

A opção pela voltagem de 0,3 V foi feita por ser esta a menor voltagem que permite uma boa precisão na medida da capacitância. Esta voltagem forma um campo elétrico de 0,075 KV/cm, entre as placas do ca

pacitador.

Certamente a frequência e o campo elétrico influem no valor da capacitância dos cristais líquidos colestéricos. A influência da frequência na medida da capacitância foi estudada por Baessler et al.<sup>14</sup>. Empregaram frequências iguais e maiores do que 1 KHz. Verificaram que as capacitâncias variam com a variação da frequência da corrente empregada. Observaram a variação das formas das curvas do gráfico da capacitância em função da frequência. O estudo foi realizado para o Colesteryl Myristate.

A influência do módulo do campo elétrico na medida da capacitância foi estudada por Labes et al.<sup>15</sup> que observaram uma variação considerável apenas para um campo elétrico maior do que 0,8 KV/cm. Para um campo elétrico de 0,8 KV/cm observaram uma variação de 4% na constante dielétrica de uma mistura de Colesteryl Chloride e Colesteryl Myristate. Verificaram também que, para um campo elétrico superior a 0,8 KV/cm, ocorre uma torção no colestérico, transformando-o, em parte da faixa colestérica, em nemático.

Tratando-se de medidas relativas, procurou-se, nesta experiência, manter a frequência e a voltagem fixas para que tivessem a menor influência possível nos resultados finais. Observou-se também que, empregando a frequência de 1 KHz e um campo elétrico de 0,075 KV/cm, o cristal líquido alinhado no início da mesofase colestérica, permanecia alinhado durante

toda a faixa colestérica.

### 3.6.2 AMPLIFICADOR DE SINAL E DETECTOR DE NULO

O Detector de Nulo com Amplificador possui um sintonizador que serve para calibrar o aparelho na frequência empregada. O detector de Nulo está ligado aos dois vértices da Ponte de Capacitância e, pelo posicionamento da agulha no visor avalia o balanceamento da Ponte. A fonte empregada para a amplificação do sinal foi uma bateria de 12 V.

### 3.6.3 PONTE DE CAPACITÂNCIA

A figura 6 esquematiza a ponte de capacitância, posicionando também o detector de nulo e o oscilador de áudio.

A ligação entre a ponte de capacitância e o capacitor com o cristal líquido foi feita através de um cabo blindado. Todos os aparelhos elétricos foram devidamente aterrados evitando ao máximo as interferências.

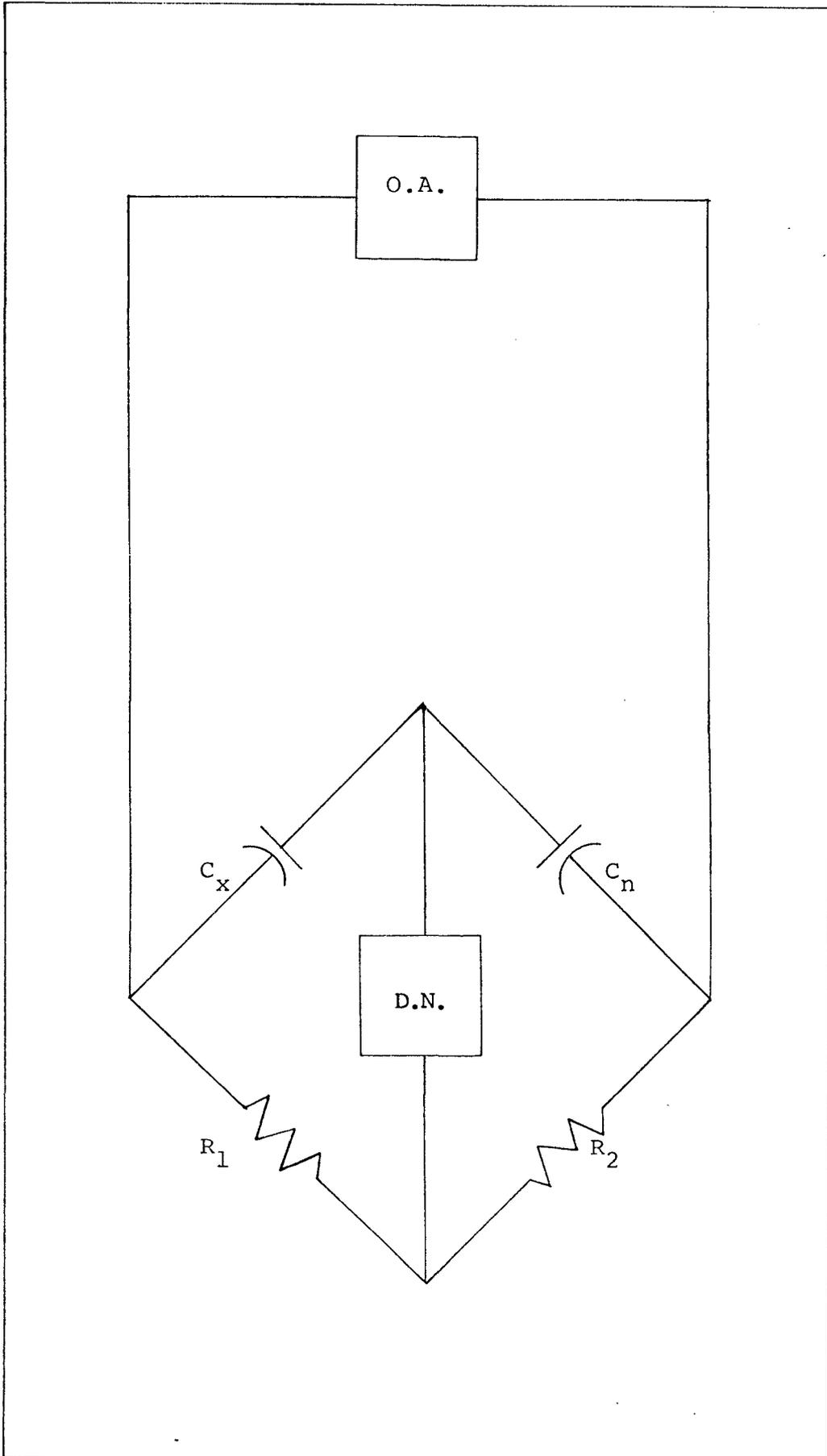
A capacitância dos condutores que ligavam a ponte ao capacitor foi de 4,85 pF.

## 3.7 OSCILOSCÓPIO

Os três primeiros algarismos da capacitância e os dois primeiros algarismos do fator dissipação eram facilmente determinados através do detector de nulo, ficando dúvida nos últimos algarismos. Para aumentar

Figura 6 - Esquema da ponte de capacitância com o oscilador de áudio e o detector de nulo.

Neste esquema  $R_1 = R_2$ , O. A. é o oscilador de áudio,  $C_x$  é o capacitor com o cristal líquido cuja capacitância pretende-se determinar,  $C_n$  é o capacitor de teste e D.N. é o detector de nulo.



a precisão das medidas de capacitância e do fator dissipação foi empregado um osciloscópio conectado ao detector de nulo. Com o emprego do osciloscópio foi possível determinar mais dois algarismos da capacitância e do fator dissipação.

A precisão da medida da capacitância situou-se entre  $10^{-1}$  e  $10^{-2}$  pF e a do fator dissipação entre  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ . A precisão tornava-se melhor para valores altos da capacitância e do fator dissipação.

### 3.8 OBSERVAÇÃO VISUAL

Foi montado um conjunto de aparelhos para possibilitar a observação do cristal líquido, dentro do forno. A figura 7 mostra a montagem do equipamento de observação visual. Este esquema permitiu a observação das transições de fase. Também foi possível observar a variação do passo da hélice pela luz transmitida circularmente polarizada.

### 3.9 FÓRMULA PARA O CÁLCULO DA CONDUTÂNCIA

Uma característica importante dos capacitadores é a razão entre a resistência (R) e a reatância (X) ou da condutância (G) e a suscetância (B). Esta razão é denominada fator dissipação (D) e seu recíproco é o fator de armazenamento (Q). Esta razão é definida através da figura 8 em termos do ângulo de fase  $\theta$  e o ângulo de perda  $\Phi$ . O fator dissipação é diretamente proporcional à energia dissipada e o fator

Figura 7 - Esquema que permitia a observação visual do capacitor de cristal líquido no interior do forno. C representa o capacitor,  $P_1$  e  $P_2$  são os polarizadores, F é o forno, M é o microscópio e F.L. é a fonte luminosa.

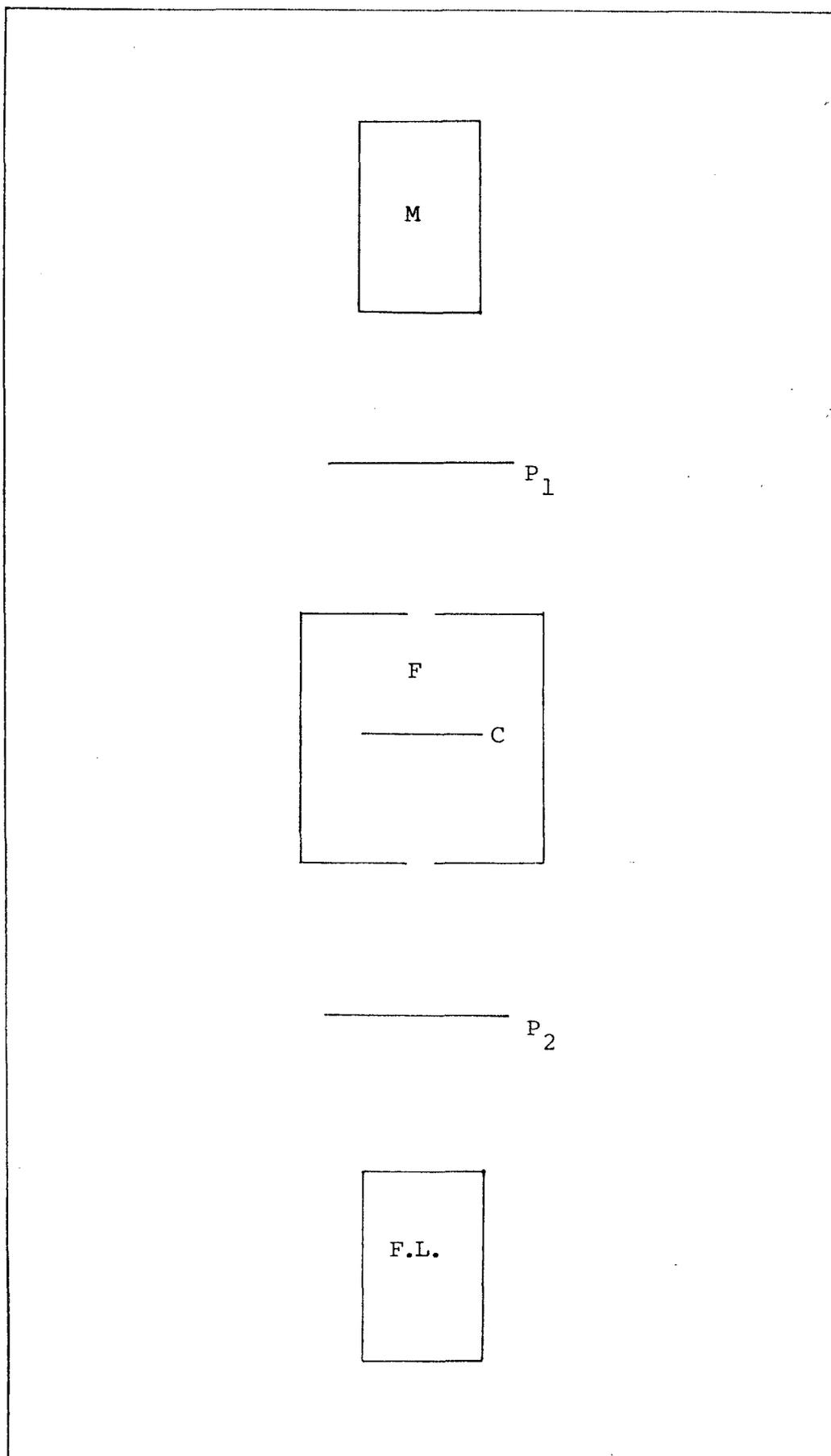


Figura 8 - Diagrama vetorial mostrando as relações entre os fatores D e Q, e ângulos  $\theta$  e  $\phi$ .  $D = \frac{R}{X} = \frac{1}{Q} \cdot X$  é a reatância, R é a resistência e Z é a impedância de um esquema em série, equivalente a um capacitor. B é susceptância, G é a condutância e Y é a admitância de um esquema, equivalente a um capacitor, em paralelo.

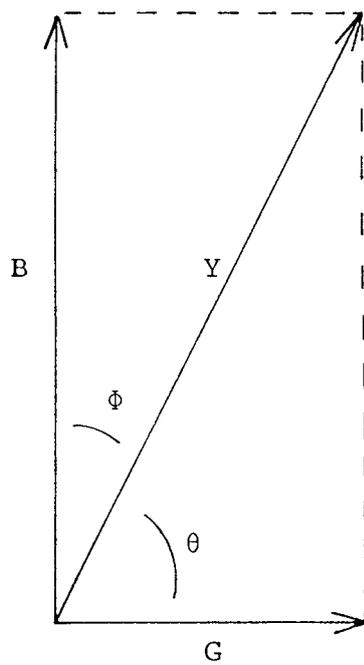
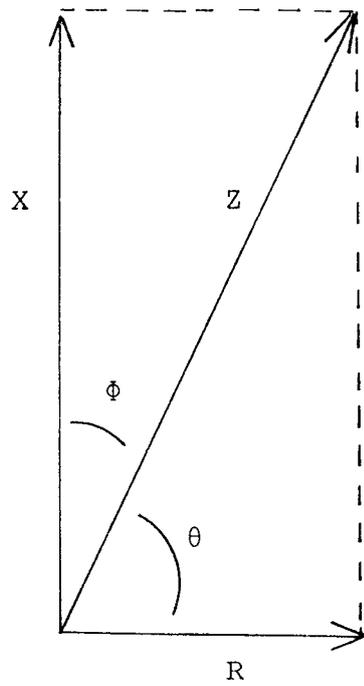
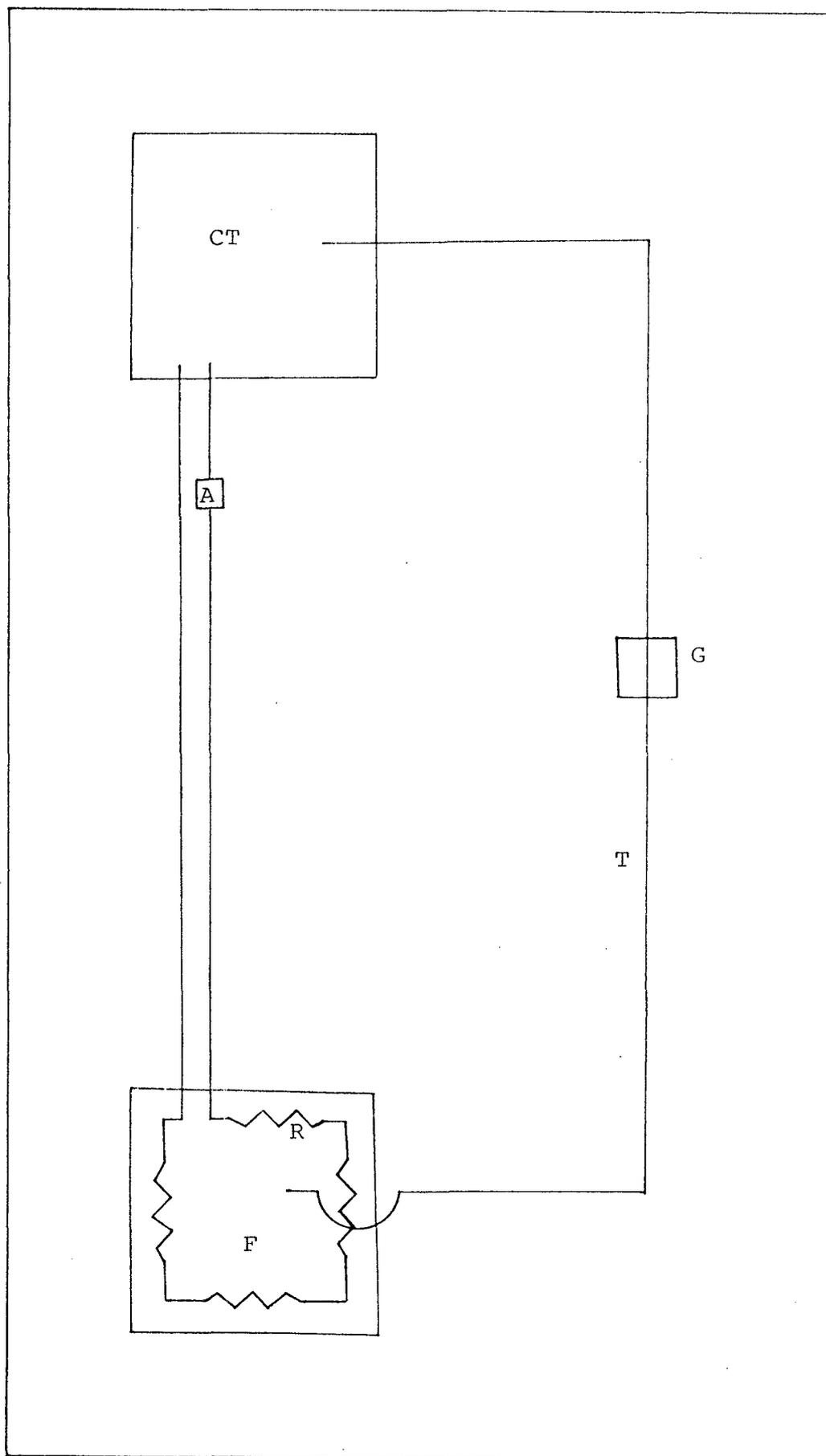


Figura 9 - Esquema que mostra como era realizado o controle da temperatura. F representa o forno, R indica as resistências, G representa uma garrafa térmica com gelo picado, T simboliza o termopar de ferro-constantan, A indica um amperímetro e CT representa o controlador de temperatura.



de armazenamento é diretamente proporcional à energia armazenada.

$$D = \cot \theta = \frac{R}{X} = \frac{G}{B} = \frac{1}{Q} = \tan \phi \quad (1)$$

$$Q = \tan \theta = \frac{X}{R} = \frac{B}{G} = \frac{1}{D} = \cot \phi \quad (2)$$

Empregando-se as relações  $B = \frac{1}{X}$  ;  $X = \frac{1}{\omega C}$  ;  $\omega = 2\pi f$  na

relação (1),  $D = \frac{G}{B}$ , obtém-se:

$$G = 2\pi f D C$$

As unidades de  $f$ ,  $G$  e  $C$  são respectivamente Hz, mohs e farad. Usando o fator de conversão  $10^3$  transforma-se a relação (3) para unidades mais usuais.

$$G (\mu \text{ mohs}) = 2.\pi. f . (\text{KHz}).C (\text{pfarad}).D \times 10^3 \quad (4)$$

### 3.10 VALOR DA CONDUTIVIDADE

Pelos dados obtidos pela ponte de capacitância calculou-se a condutância através da relação (4) , acima.

A condutividade foi calculada pela relação:

$$\sigma = G \frac{L}{S} \quad (5)$$

Sendo  $L$  a espessura da camada do dielétrico ( $40 \mu \text{ m}$ ) e  $S$ , a área das placas do capacitador ( $2,5434 \text{ cm}^2$ ) e, substituindo-se estes valores e a relação (5) em (4), tem-se:

$$\sigma = 80 \times 10^{-9} C.D (\text{v/m}) \quad (6)$$

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS OBTIDOS

Antes de considerar válidas as medidas obtidas , várias verificações do equipamento e do processo empregado foram realizadas. A ponte de capacitância foi testada por um capacitador padrão, apresentando o valor indicado.

Para testar o capacitador foram medidas as cons tantes dielétricas da parafina e do benzeno. A parafina que apresenta constante dielétrica tabelada<sup>16</sup> entre 2,0 e 2,5 , teve como resultado experimental 2,11. O benzeno que possui uma constante dielétrica tabelada<sup>16</sup> de 2,279 a 22°C, apre sentou um valor de 2,270, nesta temperatura. O valor da constante dielétrica (k) foi calculada pela fórmula<sup>15</sup>:

$$k = \frac{C_m - C_e}{C_n}, \text{ onde}$$

$C_m$  é a capacitância medida,

$C_e$  é um fator da correção já apresentado e discutido no ca pítulo 3,

$C_n$  é a capacitância de um capacitador com a mesma geometria, no vácuo.

$$C_n = \frac{1,113 d^2}{16 b} \text{ pF.}$$

Medidas da condutividade foram realizadas, empre gando os cristais líquidos colestéricos como dielétricos. O valor da capacitância empregado no cálculo da condutividade foi:

$$C = C_m - C_e - C_E$$

$C_m$  é a capacitância medida,  $C_E$  é a capacitância dos terminais externos da ponte e  $C_e$  é o fator de correção.

Para cada amostra foram realizadas 3 medidas. As tabelas e os gráficos apresentados a seguir são resultados da média aritmética destas medidas obtidas.

A maior precisão na medida da condutividade elétrica em relação à média, para o CP, foi obtida para a amostra de 646,2 rad e cujo desvio foi de 0,70%. O maior desvio, para o CP foi de 16,67%, na amostra de 1292,4 rad. Para a mistura de CP + CC, o maior desvio em relação à média foi de 11,82% para a amostra de 1018 rad e o menor desvio foi de 0,61% para a amostra de 2546 rad.

As diferenças nas medidas encontradas entre duas lâminas preparadas com a mesma amostra podem ter sido provocadas pela variação na geometria do capacitador. As lâminas de vidro de 1 mm de espessura têm uma flexibilidade acentuada e possivelmente deformavam quando o capacitador era colocado (sob pressão) no forno. Torna-se difícil afirmar que a pressão aplicada sobre o capacitador foi a mesma durante todas as medidas.

Figura 10 - Gráfico da condutividade ( $\sigma$ ) em função da temperatura para o Pelargonato de Colesterila. A condutividade é expressa em  $10^{-9}$  u/m e a temperatura em  $^{\circ}\text{C}$ .

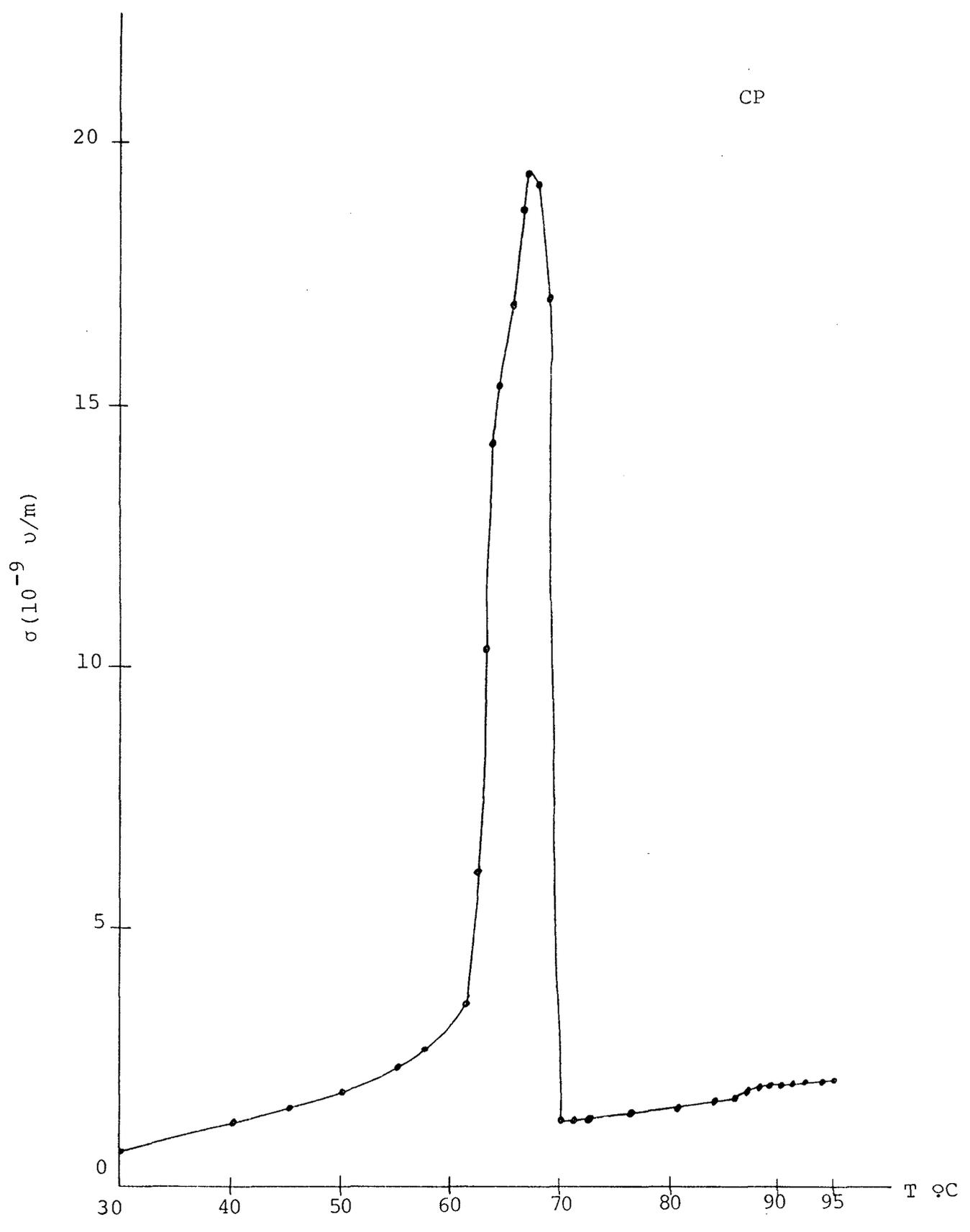


Tabela 1 - Tabela dos valores da condutividade elétrica obtidos para o CP, em função da dose de radiação e da temperatura. A condutividade  $\sigma$  está expressa em  $10^{-9}$  u/m.  $I_0$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e  $I_4$  indicam as doses de radiação de zero; 646,2; 1292,4; 2584,8 e 3877,2 rad, respectivamente. A temperatura está expressa em  $T - T_{CI}$ , onde  $T$  é a temperatura em que foi realizada a medida e  $T_{CI}$  é a temperatura de transição isotrópico-colestérico da amostra.

$T - T_{CI}$ °C	$\sigma$ ( $10^{-9}$ u/m)				
	$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
0	1,89	2,33	3,29	4,12	8,45
-2	1,87	2,23	3,26	3,98	9,25
-4	1,91	2,32	3,41	4,14	10,63
-6	1,98	2,54	3,77	4,54	12,12
-8	2,11	2,79	4,25	5,07	14,17
-10	2,12	3,23	5,05	5,95	16,79
-12	2,15	3,67	6,05	7,05	19,95
-14	2,33	3,87	6,73	7,80	22,90

Figura 11 - Gráfico da condutividade elétrica em função da temperatura para as diferentes amostras de CP irradiadas. As curvas 0, 1, 2, 3 e 4 se referem às amostras de zero; 646,2; 1292,4; 2584,8 e 3877,2 rad, respectivamente. A condutividade elétrica está expressa em  $10^{-9}$  u/m e a temperatura, em  $T - T_{CI}$  °C.

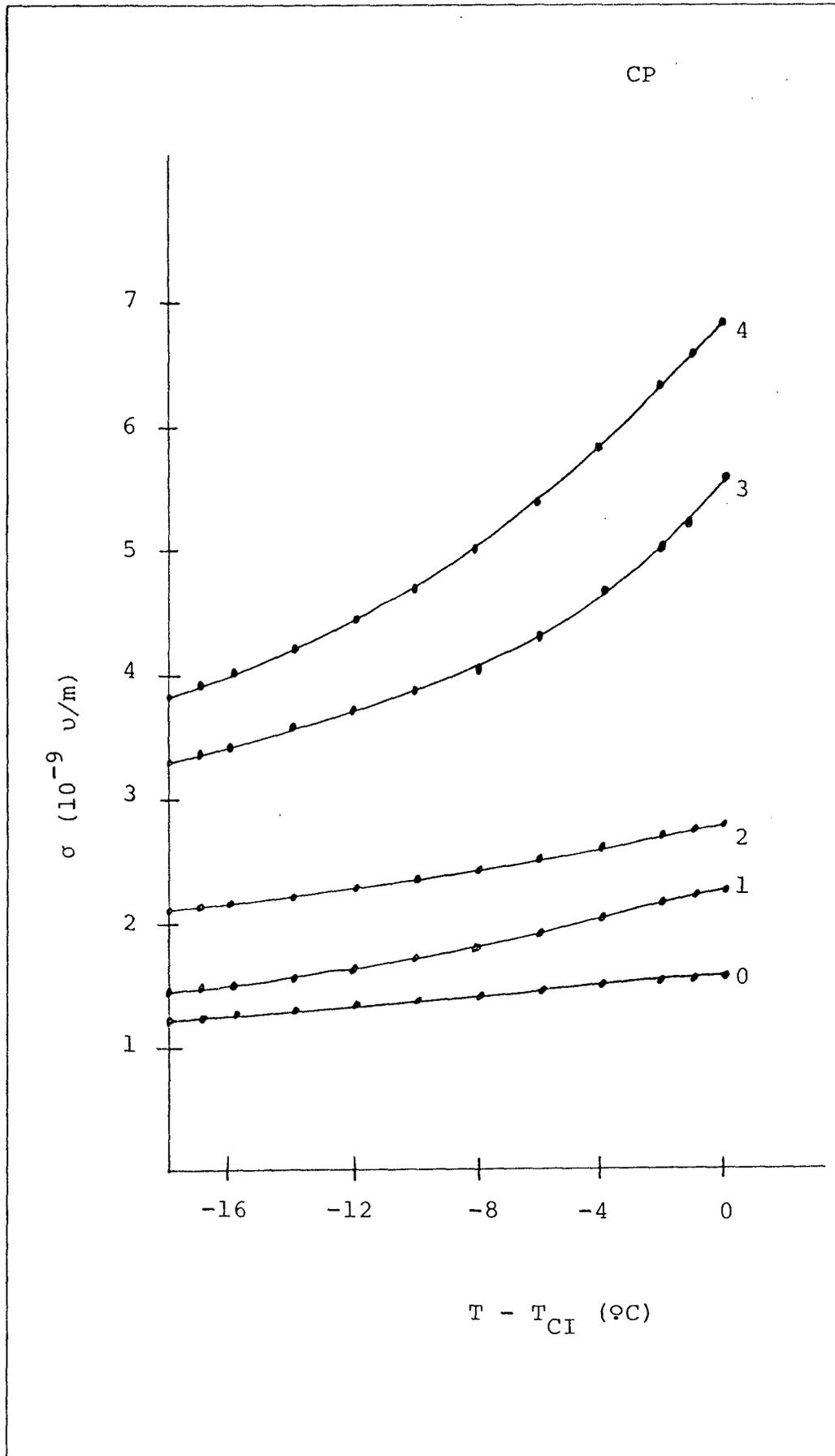


Figura 12 - Gráfico da variação da condutividade elétrica (em  $10^{-9} \text{ } \Omega / \text{m}$ ) em função da dose de radiação, em Krad, para o CP, em temperaturas constantes. As curvas 1, 2 e 3 se referem às  $T - T_{CI}$  de -2, -10 e -18 °C, respectivamente. A variação da condutividade é a diferença da condutividade de uma amostra com determinada dose de radiação e a condutividade da amostra com intensidade de radiação zero. ( $\sigma = \sigma_i - \sigma_0$ )

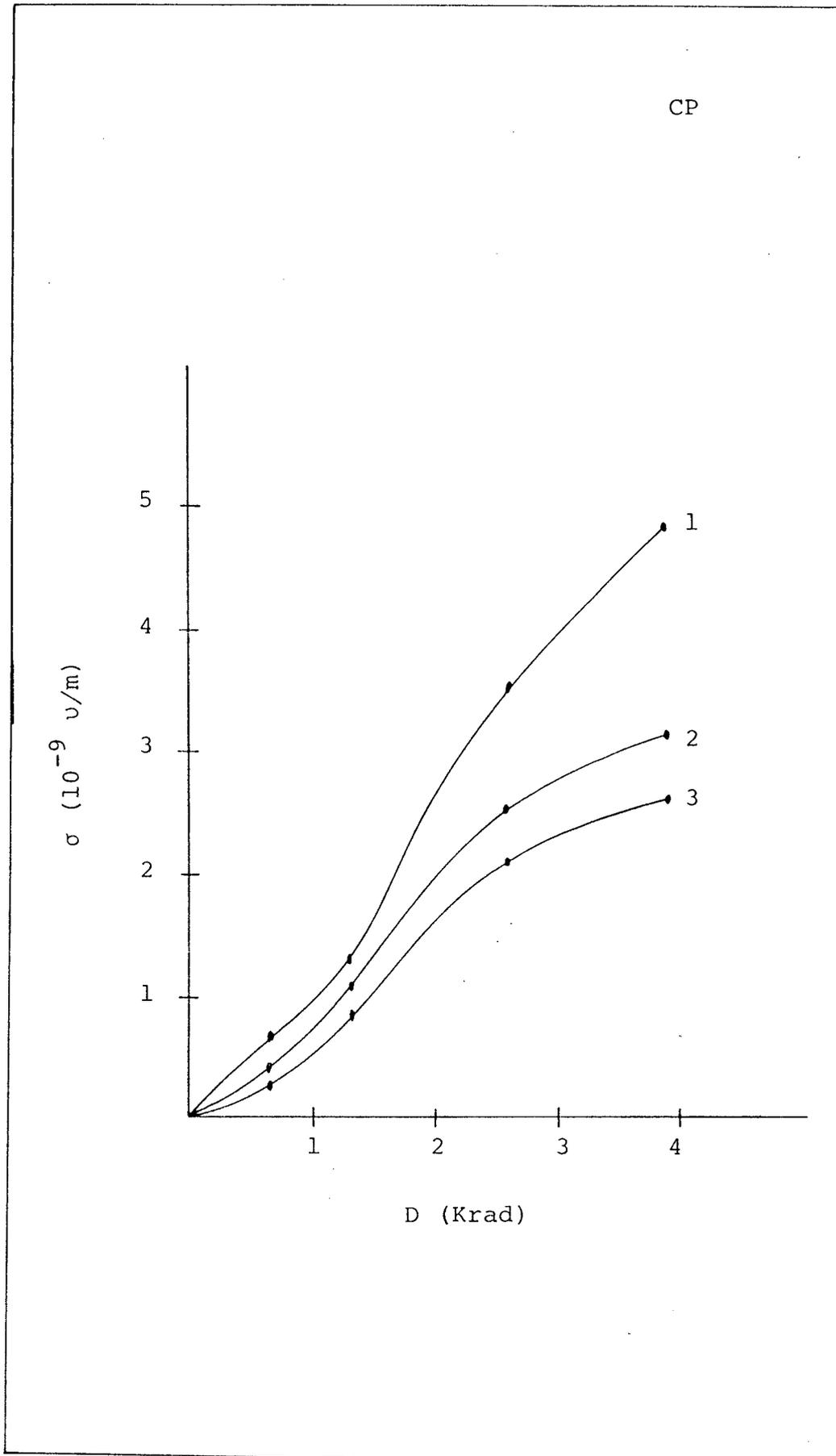


Tabela 2 - Tabela dos valores da condutividade elétrica da mistura (CP + CC), em função da dose de radiação e da temperatura  $T - T_{CI}$  ( $^{\circ}C$ ). A condutividade elétrica está expressa em  $10^{-9}$   $\Omega/m$ .  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  e  $I_4$  simbolizam as doses de radiação de zero ; 1018, 2546, 4074 e 14561 rad, respectivamente.

$T - T_{CI}$ °C	$\sigma$ ( $10^{-9}$ v/m)				
	$I_0$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
0	1,63	2,32	2,82	5,68	6,86
-1	1,57	2,25	2,77	5,17	6,62
-2	1,55	2,19	2,72	5,03	6,35
-4	1,50	2,07	2,62	4,73	5,86
-6	1,45	1,94	2,53	4,34	5,40
-8	1,40	1,81	2,43	4,02	4,09
-10	1,37	1,71	2,33	3,88	4,69
-12	1,33	1,64	2,25	3,72	4,46
-14	1,30	1,54	2,19	3,57	4,24
-16	1,26	1,50	2,15	3,41	4,01
-17	1,23	1,47	2,13	3,36	3,92
-18	1,22	1,44	2,09	3,30	3,81

Figura 13 - Gráfico da condutividade elétrica, em  $10^{-9} \text{ u/m}$ , em função da temperatura, em  $T - T_{CI}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) para a mistura (CP + CC). As curvas 1, 2, 3, 4 e 5 se referem às doses de radiação de zero, 1018, 2546, 4074 e 14561 rad, respectivamente.

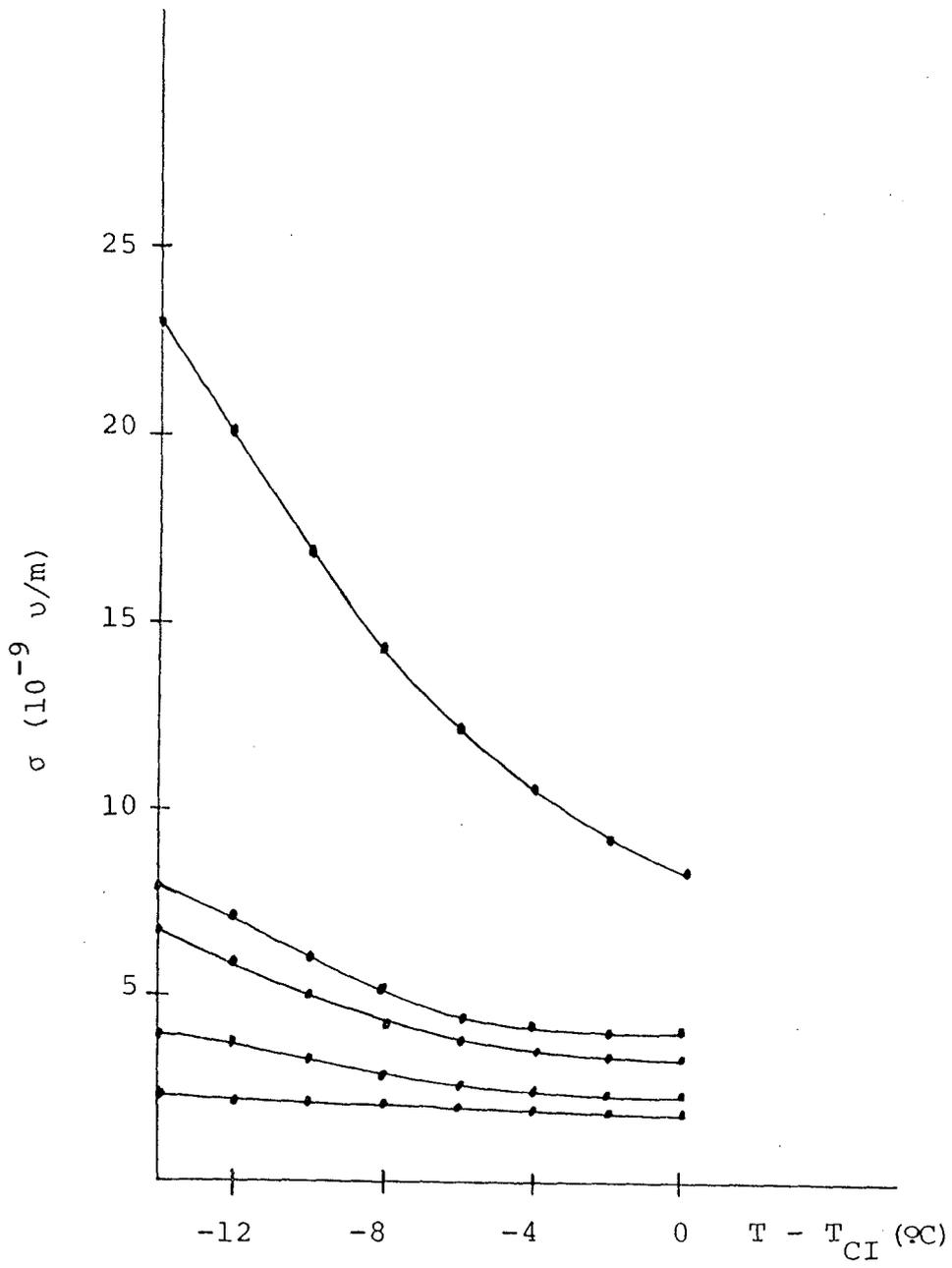
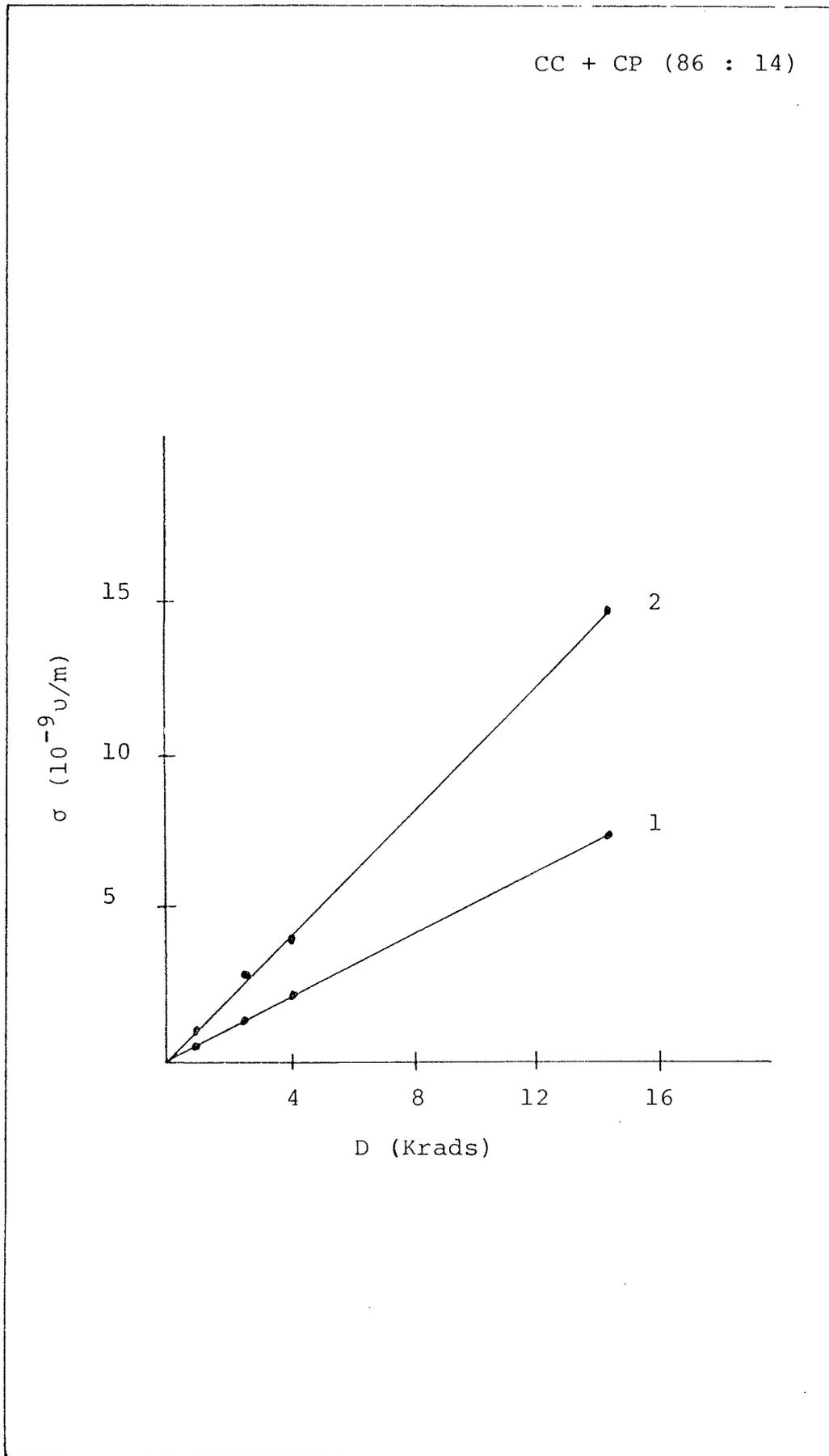


Figura 14 - Gráfico da variação da condutividade elétrica, em função da dose de radiação para o CP + CC . As curvas 1 e 2 se referem às  $T - T_{CI}$  de  $-2$  e  $-10$  °C, respectivamente.  $\sigma = \sigma_i - \sigma_o$ .



## CAPÍTULO V

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O gráfico, apresentado na figura 10, mostra a condutividade elétrica do Pelargonato de Colesterila, em função da temperatura. A condutividade aumenta vagarosamente em baixas temperaturas e, rapidamente, próximo à transição de fase sólido-colestérico.

Ao ocorrer a transição sólido-colestérico, a condutividade apresenta uma descontinuidade característica, caindo rapidamente. Após a mudança para a mesofase colestérica, a condutividade volta a aumentar com pouca intensidade, não se constatando descontinuidade na transição colestérico - isotrópico.

A ausência de descontinuidade da condutividade elétrica na transição colestérico - isotrópico talvez seja provocada pela forma de alinhamento do colestérico. Se o eixo Z da figura 2 for perpendicular ao campo elétrico do capacitor, as moléculas não possuem uma orientação preferencial na direção do campo elétrico, comportando-se para a condutividade elétrica da mesma forma que na fase isotrópica.

A medida da condutividade foi realizada com o aumento da temperatura. O pico, apresentado na figura 10, só foi observado no estágio de aquecimento, não aparecendo quando a medida da condutividade foi realizada no esfriamento do cristal líquido.

Todas estas observações estão de acordo com Yoshimo et al.<sup>17</sup> que mediram a condutividade do Pelargonato de Co

lesterila. A justificativa para o não aparecimento do pico da condutividade no esfriamento do cristal líquido, é de que ocorre o super - resfriamento, no ponto de transição de fase líquido - sólido.

A figura 11 mostra o gráfico da condutividade elétrica em função da temperatura para diferentes dosagens-gama do CP. As medidas foram realizadas com diminuição da temperatura. Observa-se que a condutividade cresce com o aumento da dosagem-gama do cristal líquido, como era esperado. Este aumento da condutividade deve ser provocado pela presença dos radicais livres produzidos pela dissociação radiolítica provocada pela radiação-gama. Nota-se também que ocorre uma diminuição da condutividade elétrica à medida que diminui a temperatura.

A figura 12 apresenta a variação da condutividade elétrica do CP em função da dosagem-gama para diferentes temperaturas,  $T - T_{CI}$ . Não foi constatada uma linearidade de resposta. É provável que esta não linearidade se deve ao fato da presença da mesofase esmética - A. Sabe-se que a transição colestérico - esmético-A é de primeira ordem, porém fraca, podendo os efeitos das flutuações na ordem, tipo esmético-A, produzir uma resposta não linear sobre as curvas da condutividade versus dose gama.

Efeitos anômalos, atribuídos às flutuações de esmético-A na fase colestérica, foram observados<sup>18,19</sup> pela variação do passo da hélice. A observação indicou que a variação do passo da hélice, em função da temperatura, é quase linear e suave em colestéricos que não apresentam a meso

fase esmética-A. Para colestéricos com a presença da mesofase esmética-A, o passo varia com pequena intensidade próximo à fase isotrópica, aumentando a intensidade de variação quando se aproxima da mesofase esmética. Foi observado que <sup>20, 21</sup> no caso dos nemáticos com mesofase esmética em baixa temperatura, as mesmas flutuações produzem um decréscimo anômalo da anisotropia da condutividade elétrica.

A figura 12 mostra também que a variação da condutividade, em função da dosagem-gama, é maior próximo da fase isotrópica. A sensibilidade de medida dos efeitos da radiação (S) é definida como  $S = \Delta\sigma / \Delta D$ , sendo ( $\sigma$ ) a condutividade elétrica e (D), a dosagem gama. Pelo gráfico apresentado na figura 12 nota-se que a maior sensibilidade é de  $1,2 \times 10^{-9} \text{ } \mu\text{m}^{-1} \text{Krad}^{-1}$ , aproximadamente.

O gráfico apresentado na figura 13 indica a condutividade elétrica do CP + CC, em função da temperatura, para diferentes dosagens gama. Observa-se que a condutividade cresce com a diminuição da temperatura.

Existe portanto um comportamento diferente do CP e da mistura (CP + CC) quanto à condutividade elétrica na mesofase colestérica. Isto se deve, talvez, à ausência das flutuações tipo esmético-A, de curto alcance, na mesofase colestérica.

A figura 14 apresenta o gráfico da variação da condutividade elétrica da mistura (CP + CC) em função da dosagem-gama para diferentes temperaturas  $T - T_{CI}$ .

Nota-se que a sensibilidade é maior em temperaturas baixas. A 2°C da fase isotrópica a sensibilidade é de  $0,5 \times 10^{-9} \text{ } \mu\text{m}^{-1} \text{Krad}^{-1}$  e a 10 °C a sensibilidade cresce para

$1,0 \times 10^{-9} \text{um}^{-1} \text{Krad}^{-1}$ . A maior sensibilidade, encontrada a 14 °C da fase isotrópica, foi de  $1,4 \times 10^{-9} \text{um}^{-1} \text{Krad}^{-1}$ .

A mistura (CP + CC) apresenta uma linearidade de resposta aos efeitos da radiação-gama, podendo ser empregado em dosimetria gama.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÃO

O presente trabalho comprova a possibilidade do uso da condutividade elétrica como meio de determinar a dose de radiação-gama em cristais líquidos colestéricos, possibilitando que toda a faixa colestérica seja varrida. A sensibilidade da medida é relativamente boa, pois uma variação de  $10^{-10}$   $\Omega$ /m na condutividade elétrica pode ser medida com precisão, permitindo o uso nas fontes de teleterapia com um mínimo de sensibilidade de 100 rad, o que representa um ótimo resultado.

Um dos objetivos do presente trabalho era estudar a possibilidade de evitar o uso do solvente, uma vez que este método apresenta alguns problemas. Entre os problemas apresentados estão o da dificuldade de obter uma igual concentração em todas as amostras e a contaminação do cristal com impurezas durante a eliminação do solvente. A possibilidade de eliminação do uso do solvente está na maior sensibilidade da medida da dose de radiação permitindo uma redução bastante grande no tempo de exposição à radiação para se conseguir um mínimo de dose avaliável.

A maior sensibilidade obtida sem o uso do solvente, com o método das curvas térmicas, foi de  $1,25 \times 10^{-3}$   $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ . Para baixar a temperatura de transição da cor em 1  $^{\circ}\text{C}$  são necessários 800 Krad. A bomba de  $^{60}\text{Co}$  empregada proporciona uma intensidade de radiação de aproximadamente 100 rad/min e seriam necessários 5,55 dias ( $t_1$ ) para se obter

800 Krad.

A maior sensibilidade obtida com o uso do solvente foi de 0,59 °C/Krad, empregando o método das curvas térmicas. Seriam necessários 17 min ( $t_2$ ) para se obter uma dose de radiação suficiente para reduzir a temperatura de transição da cor em 1 °C.

A maior sensibilidade encontrada com o uso do solvente e empregando a condutividade elétrica foi de  $1,4 \times 10^{-9}$   $\Omega \cdot m^{-1} \cdot Krad^{-1}$ . Esta sensibilidade foi encontrada com as mesmas amostras cuja sensibilidade, através das curvas térmicas, foi de 0,59 °C/Krad. Para se obter uma condutividade elétrica de  $10^{-10} \Omega/m$  seriam necessários 71 rad o que corresponde a um tempo de exposição ( $t_3$ ) de 0,71 min. A razão entre os tempos de exposição  $t_3$  e  $t_2$  é de 0,04176. Extrapolando-se esta razão em  $t_1$ , verifica-se que o tempo de exposição ( $0,04176 \times 5,55$  dias) fica reduzido para 5,56 horas.

Deve-se entretanto observar que toda a parte experimental foi realizada usando uma frequência de 1 KHz e uma voltagem de 0,3 V. Um estudo mais profundo poderia ser realizado para avaliar as medidas com maior sensibilidade aumentando-se a frequência e a voltagem empregadas. Logicamente deveria inicialmente ser conhecido o limite máximo da voltagem e da frequência que o cristal líquido suporta sem que as distorções prejudiquem os resultados.

Estudos posteriores podem ser realizados para verificar o comportamento dos cristais líquidos colestéricos em relação à variação da energia da radiação-gama.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1, F. REINITZER, Montash Chem., 9, 421, (1888). Apud. S. CHANDRASEKHAR, "Liquid Crystals", Cambridge University Press, 342, (1977).
- 2, O. LEHMANN, Z. Kryst., 18, 464, (1890). Apud. S. CHANDRASEKHAR, "Liquid Crystals", Cambridge University Press, 342, (1977).
- 3, G. FRIEDEL, Ann. Phys., 18, 273, (1922). Apud. S. CHANDRASEKHAR, "Liquid Crystals", Cambridge University Press, 342 (1977).
- 4, P. de GENNES, The Physics of Liquid Crystals, Oxford University Press, 333, (1974).
- 5, A. P. KUSHELEVSKY, L. FELDMAN, Z. B. ALFASSI, Mol. Cryst. Liquid Cryst., 35, 353, (1976).
- 6, RCA, Research and Engineering. RCA Review, 35, 89, (1974).
- 7, Z. B. ALFASSI, A. P. KUSHELEVSKY e L. FELDMANN, Mol. Cryst. Liquid Cryst., 39, 33, (1977).
- 9, B. KERLENEVICH e A. COCHE, Electron Letters, 13, 261, (1978).
- 10, R. M. SEBASTIANES, Efeitos da Radiação-gama nos Cristais Líquidos Colestéricos, Florianópolis, UFSC, Dissertação de Mestrado em Físico-Química, IV-8, (1980).
- 11, D. DEMUS e G. WARTENBERG, Selective Reflection of Light in Cholesteryl Esters, Pramdna suppl. nº 1, 363, (1975).

12. I. DENICOLÓ, Poder de Torção Helicoidal das Misturas Binárias de Colestérico-Colestérico e Nemático-Colestérico, Florianópolis, UFSC, Dissertação de Mestrado em Físico-Química, 40, (1978).
13. A. H. SCOTT e H. L. CURTIS, Journal of Research of the National Bureau of Standards, 749, 22, (1939).
14. H. BAESSLER, M. M. LABES e R. B. BEARD, J. Chem. Phys., 52, 2229, (1970).
15. H. BAESSLER e M. M. LABES, J. Chem. Phys., 51, 1846, (1969).
16. R. C. WEAST, Hand. of Chem. and Phys., E-61, 44128, (1969).
17. K. YOSHINO, K. YAMASHIRO e Y INUISHI, Japan. J. Appl. Phys. 13, 1471, (1974).
18. J. CHANDRASEKHAR, Liquid Crystals, Cambridge University Press, 311, (1977).
19. P. KAUSSBER e G. MEIER, Mol. Cryst. Liq. Crys., 8, 305, (1969).
20. F. RODELEY, Solid State Commun., 11, 1675, (1972).
21. A. MIRCEA - ROUSSEL e F. RONDELEY, J. Chem. Phys., 63, 2311, (1975).