

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

EFEITOS DA RADIAÇÃO DE ELÉTRONS EM CRISTAIS
LÍQUIDOS COLESTÉRICOS

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

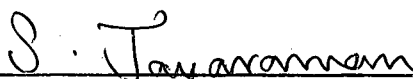
ELEUTÉRIO NICOLAU DA CONCEIÇÃO

FEVEREIRO / 1983

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

"MESTRE EM CIÊNCIAS"

NA ESPECIALIDADE DE FÍSICO-QUÍMICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.

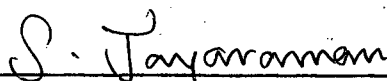


Prof. Subramania Jayaraman, Ph.D.
Orientador

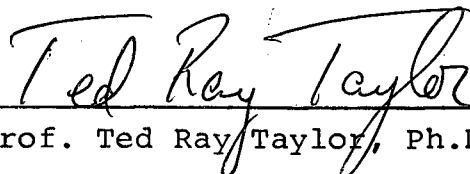


Prof. Luiz Taylor S. Siedler, Ph.D.
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Subramania Jayaraman, Ph.D



Prof. Ted Ray Taylor, Ph.D



Prof. Luiz Taylor S. Siedler, Ph.D

Aos meus pais, esposa e
filhas Michelle e Ana Maria

AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por permitir a realização deste trabalho.
- Ao professor Subramania Jayaraman pela orientação.
- Ao professor Ted Ray Taylor pelas sugestões.
- Ao corpo médico e ao físico operador do Centro de Rádio e Cobaltoterapia do Hospital de Caridade de Florianópolis, Vitor D.C. Tramontin, por terem permitido e realizado as dosagens das amostras.

RESUMO

Os cristais líquidos colestéricos apresentam suas moléculas dispostas em arranjo helicoidal e exibem em consequência propriedades ópticas interessantes. O passo da hélice é geralmente uma função da temperatura, o que, de acordo com a lei de Bragg para a difração, produz uma variação reversível na cor observada dentro de uma faixa de temperatura definida.

Uma exposição à irradiação produz danos irreversíveis nos cristais líquidos e um conseqüente deslocamento da fase colestérica. Este deslocamento da fase colestérica pode ser utilizado em operações de dosimetria. Neste trabalho estudamos o deslocamento da temperatura de reflexão seletiva do Nonanoato de Colesterila e de misturas binárias de Nonanoato e cloreto de Colesterila, devido à exposição à radiação de elétrons. O espectro de reflexão dos colestéricos como função da temperatura e da dose de radiação foi determinado experimentalmente por técnicas ópticas.

Observamos que a região colestérica desloca-se para temperaturas mais altas ou mais baixas, dependendo da concentração dos componentes, e que este deslocamento é proporcional à dose utilizada na exposição das amostras. Observamos também que o deslocamento na temperatura de aparecimento de uma dada cor em relação à dose de radiação pode ser considerado aproximadamente linear.

Estes resultados demonstram que o composto e as misturas estudadas podem ser utilizadas em dosimetria de radiação de elétrons.

ABSTRACT

Cholesteric liquid crystals have a helical molecular arrangement, which exhibits interesting optical properties. The pitch of the helix is in general a function of the temperature and this produces a reversible change in color over a well defined temperature range, according to Bragg's law of diffraction. This property may be used in a radiation environment, which causes irreversible damage in the liquid crystal, and a consequent temperature shift of the cholesteric region. This shift of the cholesteric region could be used in radiation dosimetry.

In this work we studied the shift of the selective reflection temperature due to an exposure to electron radiation of cholesteryl nonanoate and binary mixtures of cholesteryl nonanoate and cholesteryl chloride. The reflection spectra of the cholesteric as a function of the temperature and electron radiation dose was determined experimentally by optical techniques.

It was found that the cholesteric region shifts to lower or to higher temperatures, depending on the concentration of the components, and that this shift is proportional to the exposure dose. It was also found that the shift in color temperature response may be thought of as approximately linear with dose.

These results show that the studied compound and mixtures can be employed in electron radiation dosimetry.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 - Cristais Líquidos | 1 |
| 1.2 - Efeitos da Variação de Temperatura na Mesofase Colestérica | 8 |
| 1.3 - Curvas Térmicas dos Cristais Líquidos Colestéricos | 9 |
| 1.4 - Objetivos da Dissertação | 10 |
| CAPÍTULO 2 - DOSIMETRIA COM CRISTAIS LÍQUIDOS COLESTÉRICOS E INTERAÇÃO DE ELÉTRONS COM A MATÉRIA | 12 |
| 2.1 - Dosimetria com Cristais Líquidos Coles- téricos | 12 |
| 2.2 - Interação de Elétrons com a Matéria ... | 14 |
| 2.2a- Perda de Energia Devido a Colisões Ine- lásticas | 15 |
| 2.2b- Perda de Energia Devido a Emissão de Bremsstrahlung | 16 |
| CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL | 19 |
| 3.1 - Compostos Utilizados | 19 |
| 3.2 - Descrição da Aparelhagem | 21 |
| 3.3 - Preparação das Amostras e Irradiação com Elétrons | 35 |
| 3.4 - Coleta de Dados | 39 |
| CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO | 42 |
| CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO | 111 |
| REFERÊNCIAS | 115 |

SUMÁRIO DAS TABELAS E FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| FIGURA 1 | - REPRESENTAÇÃO DAS MESOFASES ESMÉTICAS E NEMÁTICA | 4 |
| FIGURA 2 | - REPRESENTAÇÃO DA MESOFASE COLESTÉRICA | 7 |
| FIGURA 3 | - DIAGRAMA DA APARELHAGEM UTILIZADA | 23 |
| FIGURA 4 | - DIAGRAMA DO PERCURSO ÓPTICO DA LUZ INCIDENTE E REFLETIDA | 25 |
| FIGURA 5 | - APARELHAGEM UTILIZADA (FOTO) | 27 |
| FIGURA 6 | - DIAGRAMA DO ACELERADOR LINEAR (I) | 30 |
| FIGURA 7 | - DIAGRAMA DO ACELERADOR LINEAR (II) | 32 |
| FIGURA 8 | - FOTOS DO ACELERADOR LINEAR | 34 |
| TABELA 1 | - NC - IRRADIAÇÃO PRELIMINAR | 36 |
| FIGURA 10 | - CURVAS TÉRMICAS PRELIMINARES | 38 |
| TABELA II | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA O NONANOATO DE COLESTERILA IRRADIADO COM ENERGIA DE 6 MeV | 47 |
| FIGURA 11 | - CURVAS TÉRMICAS PARA O NC IRRADIADO COM 6 MeV. | 49 |
| TABELA III | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA O NC IRRADIADO COM ENERGIA DE 8 MeV | 50 |
| FIGURA 12 | - CURVAS TÉRMICAS PARA O NC IRRADIADO COM 8 MeV. | 52 |
| TABELA IV | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA O NC IRRADIADO COM ENERGIA DE 10 MeV | 53 |
| FIGURA 13 | - CURVAS TÉRMICAS PARA O NC IRRADIADO COM ENERGIA DE 10 MeV | 55 |
| TABELA V | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA MISTURA NC (90%) + CC (10%) IRRADIADOS COM ENERGIA DE 6 MeV | 56 |
| FIGURA 14 | - CURVAS TÉRMICAS PARA A MISTURA NC + CC IRRADIADOS COM ENERGIA DE 6 MeV | 58 |
| TABELA VI | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) IRRADIADOS COM ENERGIA DE 8 MeV | 59 |

| | | |
|---------------------|---|-------|
| FIGURA 15 | - CURVAS TÉRMICAS PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 8 MeV | 61 |
| TABELA VII | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 10 MeV | 62 |
| FIGURA 16 | - CURVAS TÉRMICAS DA MISTURA NC (90%) + CC (10%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 10 MeV | 64 |
| TABELA VIII | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA A MISTURA NC (15%) + CC (85%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 6 MeV | 65 |
| FIGURA 17 | - CURVAS TÉRMICAS DA MISTURA NC (15%) + CC (85%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 6 MeV | 67 |
| TABELA IX | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA A MISTURA NC (15%) + CC (85%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 8 MeV | 68 |
| FIGURA 18 | - CURVAS TÉRMICAS DA MISTURA NC (15%) + CC (85%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 8 MeV | 70 |
| TABELA X | - COMPRIMENTO DE ONDA X TEMPERATURA PARA A MISTURA NC (15%) + CC (85%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 10 MeV | 71 |
| FIGURA 19 | - CURVAS TÉRMICAS PARA A MISTURA NC (15%) + CC (85%) IRRADIADA COM ENERGIA DE 10 MeV ... | 73 |
| FIGURA 20 | - CURVA DE SENSIBILIDADE DO SISTEMA ÓPTICO ... | 75 |
| TABELA XI | - RESPOSTA ΔT /DOSE PARA O NC - (COMPRIMENTO DE ONDA $\lambda = 500$ nm) | 76 |
| FIGURA 21, 22 e 23 | - CURVA DE RESPOSTA ΔT /DOSE E ENERGIA DE 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV, RESPECTIVAMENTE .. | 78-80 |
| TABELA XII | - RESPOSTA ΔT /DOSE PARA O NC - ($\lambda = 539$ nm) .. | 81 |
| FIGURAS 24, 25 e 26 | - CURVAS DE RESPOSTA ΔT /DOSE PARA $\lambda = 539$ nm E ENERGIAS 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV, RESPECTIVAMENTE | 83-85 |
| TABELA XIII | - RESPOSTA ΔT /DOSE PARA O NC ($\lambda = 600$ nm) | 86 |
| FIGURAS 27, 28 e 29 | - CURVAS DE RESPOSTA ΔT /DOSE PARA O NC ($\lambda = 600$ nm) E ENERGIAS 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV, RESPECTIVAMENTE | 88-90 |

| | |
|--|---------|
| TABELA XIV - RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) ($\lambda = 500$ nm) | 91 |
| FIGURAS 30,31 e 32 - CURVAS DE RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA $\lambda =$ 500 nm E ENERGIAS 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV DA MISTURA NC (90%) + CC (10%) | 93-95 |
| TABELA XV - RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) ($\lambda = 539$ nm) | 96 |
| FIGURAS 33,34 e 35 - CURVAS DE RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) ($\lambda = 539$ nm) E ENERGIAS 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV, RESPECTIVA - MENTE | 98-100 |
| TABELA XVI - RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) - $\lambda = 600$ nm | 101 |
| FIGURAS 36,37 e 38 - CURVAS DE RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (90%) + CC (10%) - $\lambda = 600$ nm E ENERGIAS 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV, RESPECTIVA - MENTE | 103-105 |
| TABELA XVII - RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (15%) + CC (85%) ($\lambda = 600$ nm) | 106 |
| FIGURAS 39.40 e 41 - CURVAS DE RESPOSTA $\Delta T/DOSE$ PARA A MISTURA NC (15%) + CC (85%), $\lambda = 600$ nm E ENERGIAS 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV, RESPECTIVA - MENTE | 107-109 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - Cristais Líquidos

Nos livros de física elementar aprendemos que a matéria pode existir em apenas três estados: sólido, líquido e gasoso. Esta idéia entretanto não é totalmente correta, pois existem certos compostos que apresentam uma seqüência de fases intermediárias entre o estado sólido e o estado líquido.

Este fato foi observado pela primeira vez pelo botânico Austríaco Reinitzer¹ que em 1888 ao estudar o benzoato de co-lesterila verificou que o mesmo não apresentava um nítido ponto de fusão; A 145°C o sólido passava para uma fase fluida turva, e continuando o aquecimento tornava-se um fluido claro na temperatura de 178,5°C. Um ano depois, o físico germânico Lehman² utilizou o termo "cristal líquido" ao referir-se a estas fases intermediárias entre os estados sólido e líquido. As substâncias no estado cristal líquido possuem propriedades mecânicas e de simetria intermediárias àquelas dos estados sólido e líquido.

O estado cristal líquido geralmente ocorre quando as moléculas dos compostos são geometricamente assimétricas, possuindo formas planas ou alongadas³.

As substâncias que apresentam o estado cristal líquido estão classificadas em dois grupos⁴:

a) Cristais Líquidos Liotrópicos

São soluções (contendo solutos de moléculas alongadas

em solventes isotrópicos) que ocorre a formação de cristais líquidos em função da concentração. Como exemplo deste caso podemos citar a solução de sabão (sulfato dodecyl de sódio) em água. Na medida em que o volume de água aumenta várias mesofases (fases intermediárias) são obtidas.

b) Cristais Líquidos Termotrópicos

Este grupo reúne geralmente compostos orgânicos que apresentam diferentes mesofases entre os estados sólido e líquido, ocorrendo transição de fase com variação de temperatura.

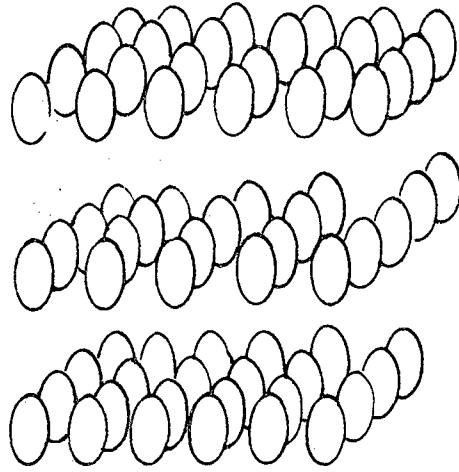
Os cristais líquidos termotrópicos foram classificados por Fridel⁵ segundo seu arranjo molecular em três grandes grupos: Esméticos, Nemáticos e Colestéricos.

A mesofase esmética tem como característica a disposição de suas moléculas em camadas aproximadamente equidistantes (Fig. 1.a). A espessura destas camadas é da mesma ordem de grandeza do comprimento das moléculas.

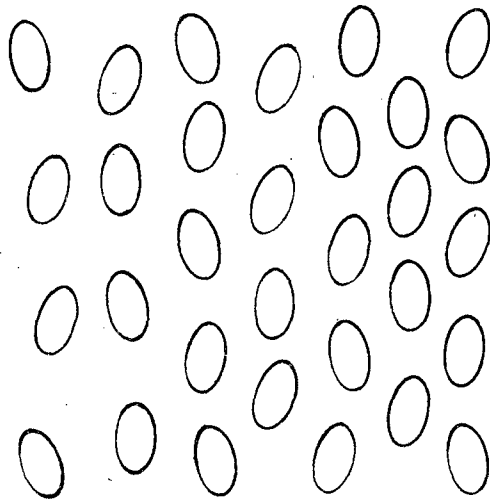
As moléculas no interior das camadas podem apresentar uma certa ordem orientacional, mas seus centros de massa estão distribuídos de modo aleatório. A literatura especializada reconhece a existência de oito tipos diferentes de esméticos, classificados (segundo a simetria no interior das camadas) de "A" a "H".

Os nemáticos são cristais líquidos cujas moléculas tendem a se orientar com seus eixos maiores paralelos a uma direção preferencial de orientação (vetor \vec{n} na fig. 1.b). Esta direção não é fixa, podendo variar de um ponto para outro em uma dada amostra, de acordo com as condições de contorno. A mesofase nemática é opticamente uniaxial, positiva e fortemente birrefringente. Esta mesofase é fluida e simultaneamente anisotrópica, devi-

a.



b.



do a facilidade com que as moléculas podem deslizar umas sobre as outras mantendo ainda seu paralelismo⁴. Quando estas moléculas possuem dipolo elétrico permanente, geralmente existe o mesmo número de dipolos ordenados segundo \vec{n} e $-\vec{n}$, de modo que o sistema não apresenta ferroeletricidade.

A mesofase colestérica apresenta bastante semelhança com a nemática. As moléculas nesta fase também se encontram aproximadamente alinhadas segundo uma direção preferencial. Entretanto, nos colestéricos esta direção varia continuamente descrevendo no espaço uma hélice de passo regular (fig. 2).

Tomando o eixo z como o eixo da hélice, a variação do vetor \vec{n} será descrito pelas equações⁶:

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

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

$$n_z = 0$$

sendo $q_0 = \frac{\text{Ângulo de Torção}}{\text{Unid. de Comprimento}} = \text{Helicidade}$

Valores positivos ou negativos de q_0 indicam uma hélice voltada para a direita ou para a esquerda, respectivamente.

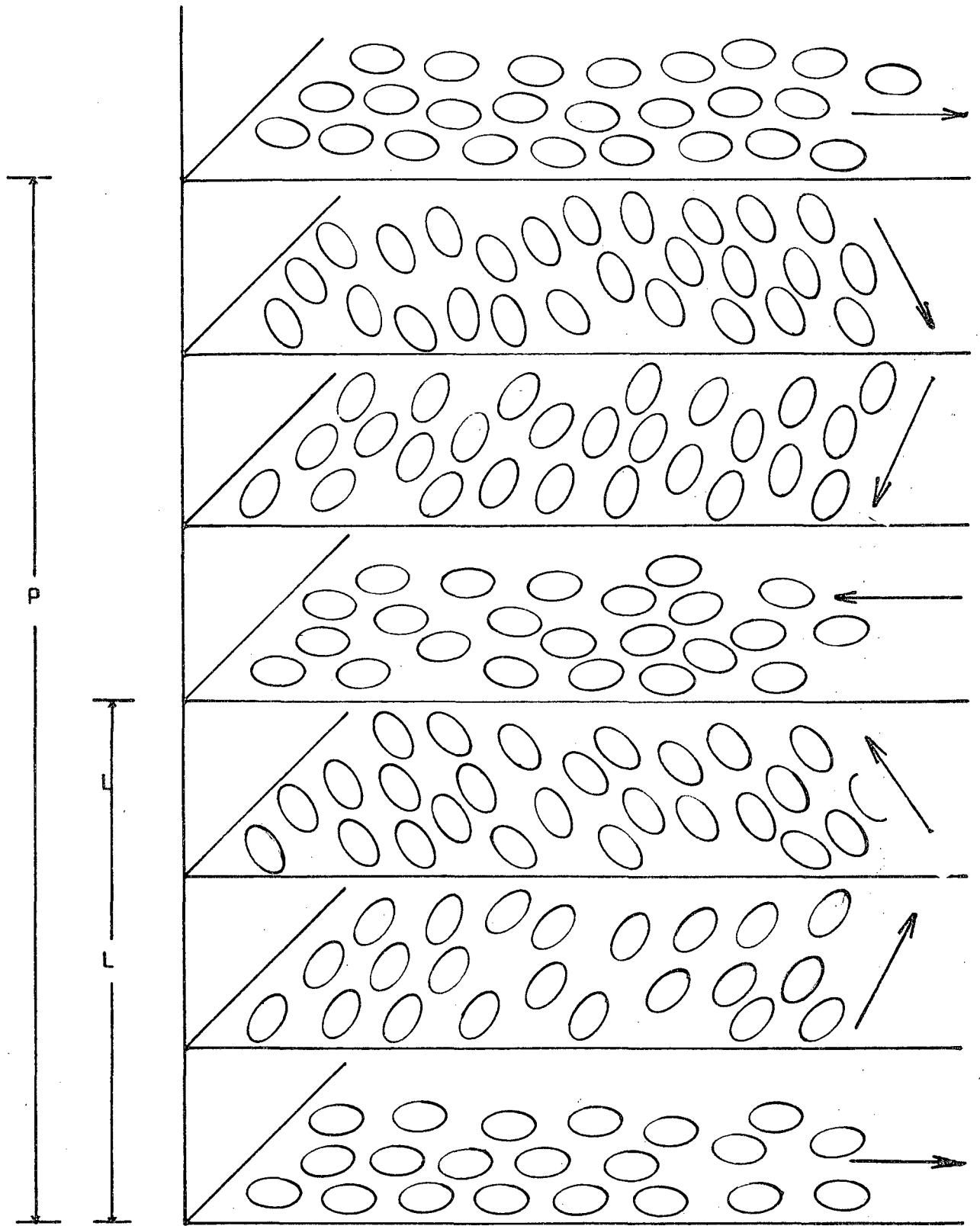
O passo da hélice colestérica é dado por

$$P = \frac{2\pi}{q_0}$$

e seus valores são da ordem⁶ de milhares de angstroms.

Como as orientações \vec{n} e $-\vec{n}$ nos colestéricos também são consideradas equivalentes, o período espacial L é igual a metade do passo





$$L = \frac{\pi}{q_0}$$

Os colestéricos podem então ser considerados um caso especial de nemáticos com torção espontânea, ou os nemáticos como colestéricos com hélice de passo tendendo ao infinito.

1.2 - Efeito da Temperatura na Mesofase Colestérica

De acordo com o que foi comentado no item anterior, podemos representar a fase colestérica utilizando um eixo normal à direção preferencial de orientação molecular, em torno do qual o vetor n varia continuamente, descrevendo uma hélice de passo definido. As propriedades ópticas dos colestéricos derivam-se desta estrutura helicoidal.

Quando um raio luminoso incide sobre uma amostra de um cristal líquido na fase colestérica, encontra um meio que não é exatamente isotrópico, mas cujas propriedades ópticas são moduladas com um período $L = \frac{\pi}{q_0}$. Sempre que o passo da hélice for comparável ao comprimento de onda da radiação incidente, ocorre espalhamento de Bragg. Observa-se experimentalmente que ocorre apenas reflexão de Bragg de primeira ordem⁶ ($m = 1$ na relação $2L = m\lambda$ da Lei de Bragg) para incidência normal; a luz refletida é circularmente polarizada e as variações do vetor campo elétrico na onda refletida em qualquer instante t apresenta-se como uma hélice de forma idêntica à da hélice colestérica⁶. Isto é, se dividirmos a onda incidente em duas componentes de polarização circular opostas, verificaremos que apenas uma componente é fortemente refletida - aquela cuja variação instantânea do campo

elétrico apresenta forma idêntica à da hélice colestérica.

Quando o espalhamento ocorre na região visível do espectro, esta reflexão seletiva da fase colestérica cores brilhantes e uniformes.

Existem diversos fatores capazes de induzir variações no passo da hélice de um cristal líquido colestérico, como por exemplo, impurezas presentes no composto, uma mistura com outro cristal líquido, pressão exercida sobre o composto, exposição a diferentes tipos de radiações e variação de temperatura.

Com a variação da temperatura podemos observar uma mudança na cor apresentada pelo cristal, produzida pela reflexão seletiva que, como já vimos, depende do passo da hélice. O valor do comprimento de onda da luz observada nos permite então calcular a variação do passo da hélice utilizando a relação⁶

$$\lambda = \bar{n} P$$

onde - λ = comprimento de onda refletida com máxima intensidade.

P = passo da hélice.

\bar{n} = índice de refração médio.

Observa-se experimentalmente que o passo da hélice é uma função decrescente da temperatura.

1.3 - Curvas Térmicas dos Cristais Líquidos Colestéricos

O passo da hélice varia com a temperatura e devido a reflexão seletiva observaremos diferentes cores para diferentes

temperaturas, cada cor aparecendo sempre em um valor definido de temperatura para um cristal líquido colestérico puro. Com os valores obtidos experimentalmente para os comprimentos de onda da luz refletida correspondentes a cada valor de temperatura dentro da mesofase colestérica, podemos traçar um gráfico de " λ " (comprimento de onda) versus "T" (temperatura) obtendo uma curva que é conhecida como curva térmica.

Portanto, cada cristal líquido colestérico puro pode ser caracterizado por uma curva térmica correspondente, e a variação do passo da hélice produzida por qualquer dos fatores já mencionados resultará em uma alteração na curva térmica do composto utilizado.

1.4 - Objetivo da Dissertação

Em nosso trabalho nos propuzemos estudar os efeitos da radiação de elétrons de energia 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV sobre um cristal líquido colestérico puro, o nonanoato de colesterila (NC) e duas misturas binárias de NC com cloreto de colesterila (CC), nas seguintes proporções: (90% NC + 10% CC); (15% NC + 85% CC).

As interações de elétrons de alta energia com moléculas complexas como as de um cristal líquido colestérico não são bem conhecidas, e nosso interesse é testar a possibilidade de utilização de um cristal líquido colestérico puro (NC), e misturas binárias (NC + CC) em dosimetria de elétrons.

Em experiências conhecidas realizadas para estudar o efeito da radiação gama sobre colestéricos (que serão comentadas no capítulo 2), observamos que diferentes doses de radiação gama

produziram alterações observáveis nas curvas térmicas dos compostos utilizados, o que comprovou a possibilidade de utilização dos colestéricos na dosimetria desta radiação.

Pretendemos verificar se de modo semelhante ao que ocorre para radiação gama, um cristal líquido colestérico puro e misturas binárias de colestéricos apresentam suficiente sensibilidade à irradiação com elétrons para serem utilizados em sua dosimetria.

No capítulo 2 comentaremos com mais detalhes alguns dos resultados conhecidos na literatura sobre dosimetria com cristais líquidos colestéricos, e também comentaremos a interação de elétrons com a matéria; descreveremos nosso procedimento experimental no capítulo 3, e no capítulo 4 apresentaremos os resultados obtidos e sua discussão. No capítulo 5 serão apresentadas as conclusões e comentários adicionais.

CAPÍTULO 2

DOSIMETRIA COM CRISTAIS LÍQUIDOS COLESTÉRICOS

E INTERAÇÃO DE ELÉTRONS COM A MATÉRIA

2.1 - Dosimetria com Cristais Líquidos Colestéricos

Os cristais líquidos colestéricos possuem estrutura helicoidal, apresentando em consequência propriedades ópticas interessantes: o passo da hélice varia com a temperatura produzindo uma mudança reversível na cor observada em um intervalo de temperatura bem definido, o que torna os colestéricos adequados para muitas aplicações como sensíveis indicadores de temperatura.

Quando irradiados com raios gama os cristais líquidos colestéricos sofrem danos irreversíveis deslocando o aparecimento da fase colestérica para temperaturas inferiores⁹. A variação de temperatura correspondente a cada cor pode ser empregada em dosimetria de radiação em centros de teleterapia e na detecção de níveis de radiação em acidente com materiais radioativos ou em reatores nucleares. As propriedades ópticas e elétricas dos cristais líquidos colestéricos são modificados quando o composto é submetido à irradiação por raios gama, sendo estes efeitos devidos provavelmente à dissociação radiolítica das moléculas dos compostos estudados.

Se adicionarmos uma pequena quantidade de impurezas a cristais líquidos colestéricos puros, a temperatura em que cada cor aparece diminui¹¹. Mostraremos adiante que um efeito seme-

lhante ocorre quando um cristal líquido colestérico é irradiado por um feixe de elétrons de alta energia. Comentaremos também a possibilidade de utilização de cristais líquidos colestéricos em dosimetria de feixes de elétrons de um acelerador linear.

Em 1969, Ferguson e Goldberg¹⁰ foram os primeiros a observar que os cristais líquidos apresentam uma diminuição na temperatura correspondente a uma dada cor após serem irradiados com raios x. Eles então sugeriram o uso de filmes de cristais líquidos colestéricos para dosimetria de raios x.

Em trabalho mais recente, Kushelevsky et alii^{9,13} foram os primeiros a observar que os cristais líquidos apresentam a temperatura correspondente a cada cor diminuída após a irradiação com raios gama. Este deslocamento em temperatura, que foi determinado visualmente, é proporcional à dose absorvida. Seus resultados indicam que filmes de cristais líquidos colestéricos podem ser utilizados para dosimetria de radiação gama para doses da ordem de 1 Mrad até 50 Mrad. A dose mínima de 1 Mrad apresentou uma imprecisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ na determinação visual da temperatura correspondente a cada cor.

Kerllenevich e Coche¹² observaram os mesmos efeitos com uma mistura binária (1:1 em peso) de carbonato de oleyl co-lesterila (COC) e nonanoato de co-lesterila (NC). A temperatura referente ao aparecimento de uma dada cor diminuiu de 1°C para uma dose de 0,8 Mrad. Depois irradiaram a mesma mistura dissolvida em tetracloreto de carbono, e o deslocamento na temperatura de surgimento das cores foi de 1°C para 4 Krad, quando a concentração da solução irradiada foi de $3,7 \text{ mg/cm}^3$. No mesmo trabalho foi determinado também que entre os solventes testados, o CCL_4 é o que apresenta melhores resultados, aumentando a sensibilidade

de radiolítica dos cristais líquidos colestéricos, e que a sensibilidade é proporcional ao inverso da concentração do colestérico em CCl_4 .

Sebastianes¹⁴ estudou uma mistura binária de cloreto de colesterila (CC) com nonanoato de colesterila (NC) na proporção 86% : 14% em peso, dissolvidos em CCl_4 , para dosimetria gama. Ele observou que a mistura de CC e NC apresentou uma sensibilidade de $0,5^\circ\text{C}$ por Krad. A condutividade elétrica em baixa frequência da mesma mistura de CC e NC foi medida como uma função da temperatura e de doses de radiação gama por DA CRUZ¹⁵. Foi constatada a mudança de condutividade de 10^{-9} V/m por Krad para esta mistura, o que indica que estes efeitos podem ser utilizados em dosimetria de raios gama de uma fonte de cobaltoterapia ^{60}Co .

Supõe-se que todos estes efeitos foram devidos à dissociação radiolítica^{16,17} das moléculas dos compostos por ação direta da radiação e também pelas colisões de radicais livres $\overset{\circ}{\text{Cl}}$ e $\overset{\circ}{\text{CCl}}_3$ (da reação $\text{CCl}_4 \xrightarrow{h\nu} \overset{\circ}{\text{Cl}} + \overset{\circ}{\text{CCl}}_3$) com as mesmas.

Segundo os resultados obtidos nestes trabalhos, concluiu-se que os cristais líquidos colestéricos puros tem pouca sensibilidade para a radiação gama, podendo ser utilizados apenas em dosimetria de acidentes com materiais radioativos.

2.2 - Interação de Elétrons com a Matéria

Quando um feixe de elétrons penetra em uma amostra de matéria, seus elétrons componentes perdem energia e são espalhados. A matéria que é penetrada também sofre alterações, podendo ocorrer excitação ou ionização dos átomos constituintes, disso -

ciação de moléculas, variações na estrutura da rede cristalina, variações na condutividade, e muitos outros processos secundários. O espectro de energia do feixe torna-se mais largo e assimétrico depois de atravessar a matéria, de modo que não é possível definir precisamente uma perda de energia, podemos definir apenas perda de energia média $\overline{\Delta E}$, ou uma provável perda de energia ΔE_W , que corresponde ao valor máximo da curva de distribuição das energias.

Esta perda de energias é devida às colisões inelásticas dos elétrons do feixe incidente com os elétrons atômicos (produzindo ionização ou excitação dos átomos), e também à emissão de Bremsstrahlung no campo Coulombiano do núcleo.

2.2.a - Perda de Energia Devido a Colisões Inelásticas

Na interação dos elétrons incidentes com os elétrons atômicos da amostra, a energia por colisão transferida aos átomos é muito pequena. Mesmo para elétrons de alta energia é mais provável a ocorrência de excitação do que ionização dos elétrons atômicos. A perda total de energia após a passagem dos elétrons por uma amostra de espessura x é portanto o resultado de um grande número de pequenas perdas de energia.

A teoria que descreve este fenômeno foi desenvolvida principalmente por Bohr, Bethe e Bloch. Para energias até 30 MeV, a perda média de energia por cm de trajetória é dada por¹⁸

$$-\frac{dE}{dx} = 0,306 \rho \left(\frac{Z}{A}\right) \beta^{-2} \ln \left(1,16 \frac{E}{I}\right) \quad \text{MeV/cm}$$

onde:

ρ = densidade

A = peso atômico

I = energia de excitação média dos elétrons da amostra

$\beta = \frac{v}{c} = \frac{1}{n}$ n = índice de refração médio

2.2.b - Perda de Energia Devido a Bremsstrahlung

Juntamente com a perda de energia resultante dos processos de excitação e ionização comentados, existe uma perda de energia devido à emissão de Bremsstrahlung, que é a emissão de energia que ocorre quando um elétron é acelerado no campo coulombiano de um núcleo. Segundo Heitler¹⁹ a perda média de energia por cm de trajetória devido a este efeito é dada por

$$\left(\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{rad}} = 3,44 \times 10^{-4} (E + mc^2) \frac{Z^2}{A} \rho \left[4 \ln \frac{2(E + mc^2)}{m c^2} - \frac{4}{3} \right] \text{ MeV/cm}$$

onde:

E = energia dos elétrons

m = massa de um elétron

c = velocidade da luz

Z = número atômico

A = peso atômico

ρ = densidade

Levando-se em conta o fato de que os cristais líquidos tem em sua composição uma maior proporção do elemento carbono, podemos obter uma idéia aproximada da espessura que uma amostra deste material deveria apresentar para absorver um elétron de

energia conhecida, utilizando as equações acima e o valor de I (energia de ionização média) calculado por Bakker e Segré²⁰. Temos então: para perdas de energia por colisões inelásticas

$$-\frac{d\bar{E}}{dx} = 0,306 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{6}{12}\right) \left(\frac{1}{1,5}\right)^{-2} \ln\left(1,16 \frac{10}{7,64} \times 10^5\right)$$

$$\left(-\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{col.}} = 4,11 \text{ MeV/cm}$$

sendo a perda de energia por Bremsstrahlung

$$\left(\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{rad.}} = 3,44 \times 10^{-4} (10 + (9 \times 10^{-28} \cdot 9 \times 10^{20})) \frac{36}{12} \cdot$$

$$\cdot 1,0 \left[4 \ln 2 \frac{(10 + (9 \times 10^{-28} \times 9 \times 10^{20}))}{9 \times 10^{-28} \cdot 9 \times 10^{20}} - \frac{4}{3} \right]$$

$$\left(\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{rad.}} = 1,38 \text{ MeV/cm}$$

$$\left(\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{total}} = \left(\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{col.}} + \left(\frac{d\bar{E}}{dx}\right)_{\text{rad.}} = 5,49 \text{ MeV/cm}$$

Nos cálculos acima foram utilizados os seguintes valores:

$$Z = \underline{6}$$

$$A = 12 \text{ g}$$

$$\bar{n} \cong 1,0$$

$$\rho \cong 1$$

$$I = 7,64 \times 10^{-5} \text{ MeV}$$

$$E = 10 \text{ MeV (energia cinética dos elétrons incidentes)}$$

$$m = 9 \times 10^{-28} \text{ g (massa do elétron)}$$

$$c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s (velocidade da luz)}$$

Obtemos então, para elétrons com energia de 10 MeV um valor de espessura para a amostra de $x = 1,8 \text{ cm}$; para 8 MeV, $x = 1,45 \text{ cm}$

para 6 MeV $x = 1,09$ cm. Vemos assim que a espessura de uma amostra de cristal líquido é um dado importante para as operações de dosimetria de um feixe de elétrons de alta energia.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 - Compostos Utilizados

Escolhemos para o nosso estudo o nonanoato de colesterila (de fórmula molecular $C_{36}H_{62}O_2$) e duas misturas binárias de CN com cloreto de colesterila (de fórmula molecular $C_{27}H_{45}Cl$).

Estes compostos foram fabricados pelos laboratórios Aldrich e encontravam-se guardados por vários anos em temperatura ambiente.

Para testar a pureza dos compostos preparamos algumas amostras que foram aquecidas até o ponto de transição para o estado líquido. Verificamos que os valores encontrados para estas temperaturas eram inferiores aos valores conhecidos ($90^{\circ}C$ para o nonanoato e $97^{\circ}C$ para o cloreto). A verificação destes valores foi realizada com o auxílio da câmara de aquecimento e controlador de temperatura descritos no próximo item, e do calorímetro de varredura Perkin-Elmer DSC 2 - (Diferencial Scanning Calorimeter).

O modo pelo qual as amostras foram preparadas e a verificação realizada é o mesmo descrito no item 3.3.

Para procedermos a purificação dos compostos cada um deles foi inicialmente dissolvido em $C_4H_8O_4$ (acetato de etila) que segundo Palangana²¹, é o solvente mais adequado para estes compostos. Em seguida a solução foi filtrada com papel filtro para eliminação das eventuais impurezas em suspensão. A solução

foi então deixada em repouso durante duas horas para que ocorresse a cristalização do composto dissolvido. O produto da primeira filtração, após homogeneizado com o auxílio de uma espátula, foi depositado no interior de um funil de Buchner previamente forrado com papel filtro. Este funil foi adaptado à um receptor de Buchner e este ligado à uma bomba de vácuo, procedendo-se assim a filtração à vácuo para a eliminação das impurezas dissolvidas.

O composto foi então colocado no interior de um dessecador contendo sílica gel para a absorção da umidade e de resíduos do solvente contidos na amostra. A recristalização foi realizada à vácuo, obtido através de uma bomba de vácuo acoplada ao dessecador. Este processo foi repetido 4 vezes. A temperatura de transição encontrada após a 3ª e 4ª purificação apresentaram valores idênticos (90°C para o NC e 95°C para o CC).

O nonanoato de colesterila utilizado apresenta para o ponto de transição sólido-colestérico a temperatura de $74,6^{\circ}\text{C}$ e para a transição colestérico-isotrópico 90°C . Não conseguimos obter um grau de pureza para o CC idêntico ao que consta na literatura, mas como na 3ª e 4ª purificação encontramos resultados idênticos, concluímos que repetir o processo um maior número de vezes não melhoraria o grau de pureza do composto, portanto decidimos utilizá-lo com o grau de pureza obtido.

Com os compostos purificados preparamos duas misturas de NC + CC, cujas proporções em peso foram as seguintes: a primeira NC 90% + CC 10% e a segunda NC 15% + CC 85%. As proporções das misturas foram obtidas utilizando-se uma balança METTLER P1210 com precisão de 0,01 g.

3.2 - Descrição da Aparelhagem

As amostras utilizadas neste trabalho foram preparadas nos laboratórios do Curso de Pós-Graduação em Físico-Química da UFSC, sendo a seguir levadas ao Centro de Rádio e Cobaltoterapia do Hospital de Caridade, da Fundação Hospitalar de Florianópolis, onde foram irradiadas.

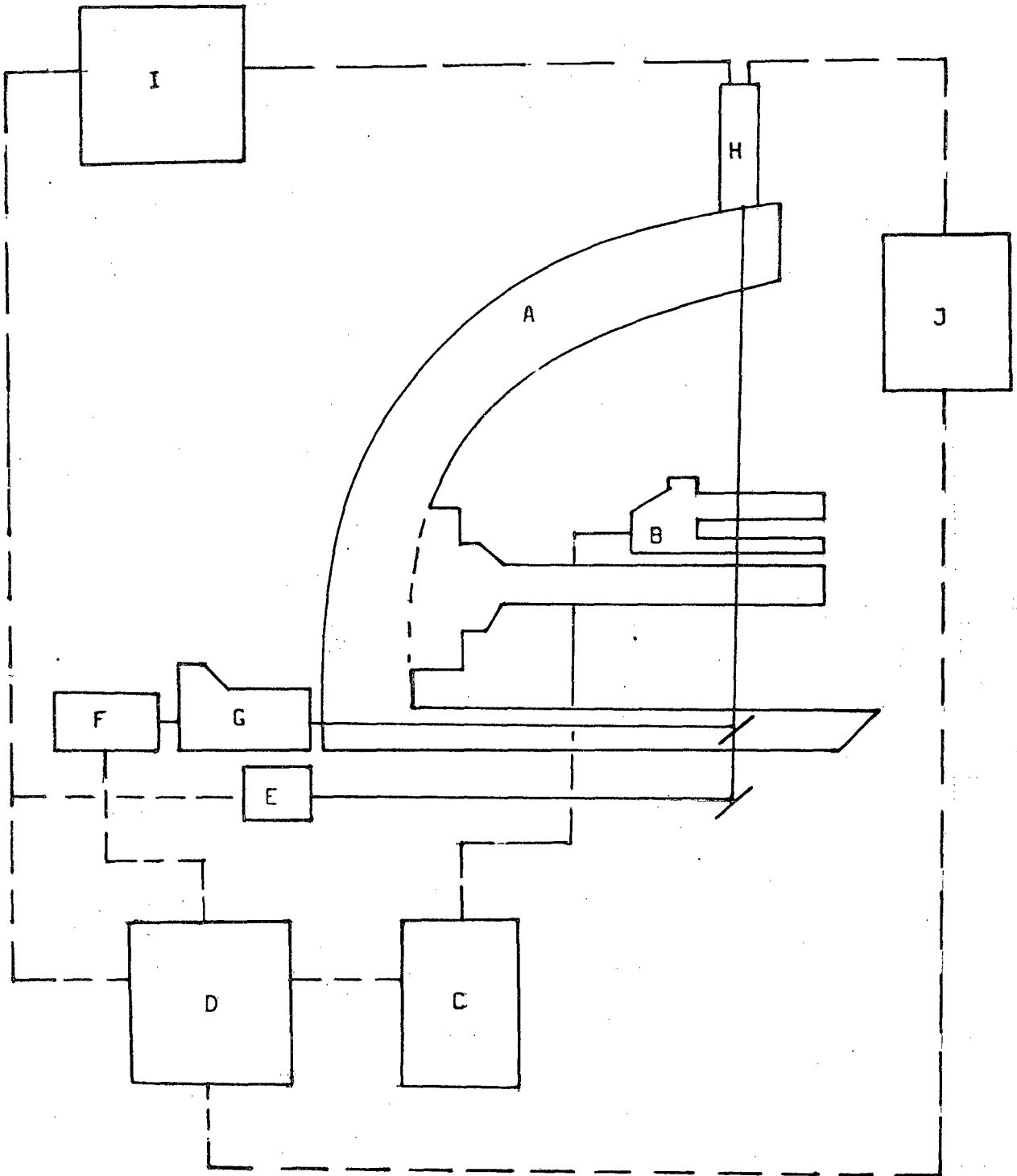
A coleta de dados experimentais foi realizada em laboratórios do Curso de Pós-Graduação em Físico-Química, cujos aparelhos descreveremos a seguir.

Nas Figuras 3, 4 e 5 apresentamos diagramas da aparelhagem utilizada, do percurso óptico da luz incidente e refletida, e fotos da aparelhagem, respectivamente. Os esquemas e fotos do acelerador utilizado são apresentados nas Figuras 6 e 7.

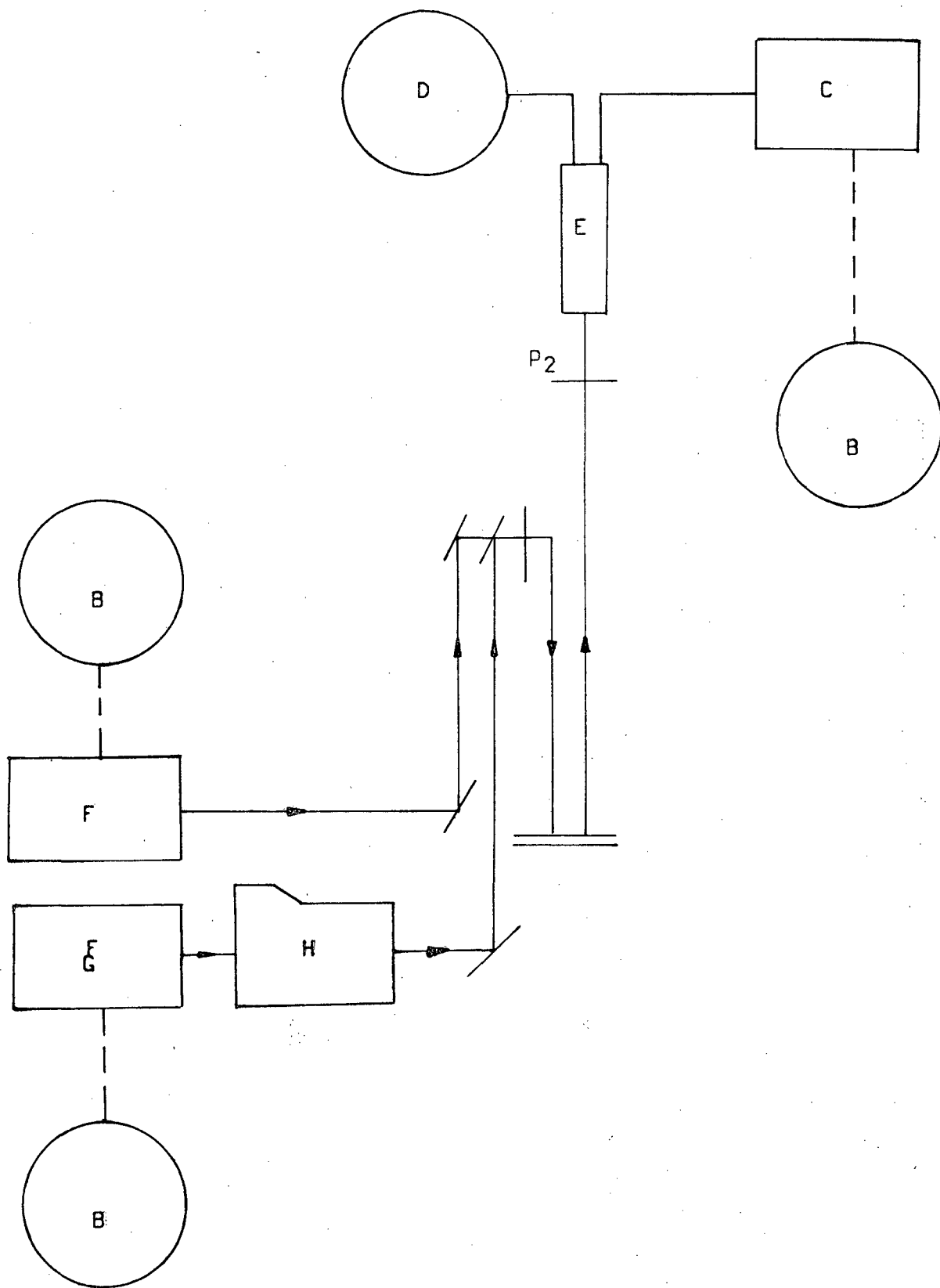
A determinação da fase colestérica é feita visualmente através de um microscópio universal de pesquisa originário da Alemanha Oriental, da fábrica Zeiss, Modelo NU.

Com o auxílio de uma fonte luminosa (acoplada ao microscópio) com lâmpada de filamento, de 12 V e 100 W, emitindo luz branca, podemos verificar a posição e textura da amostra.

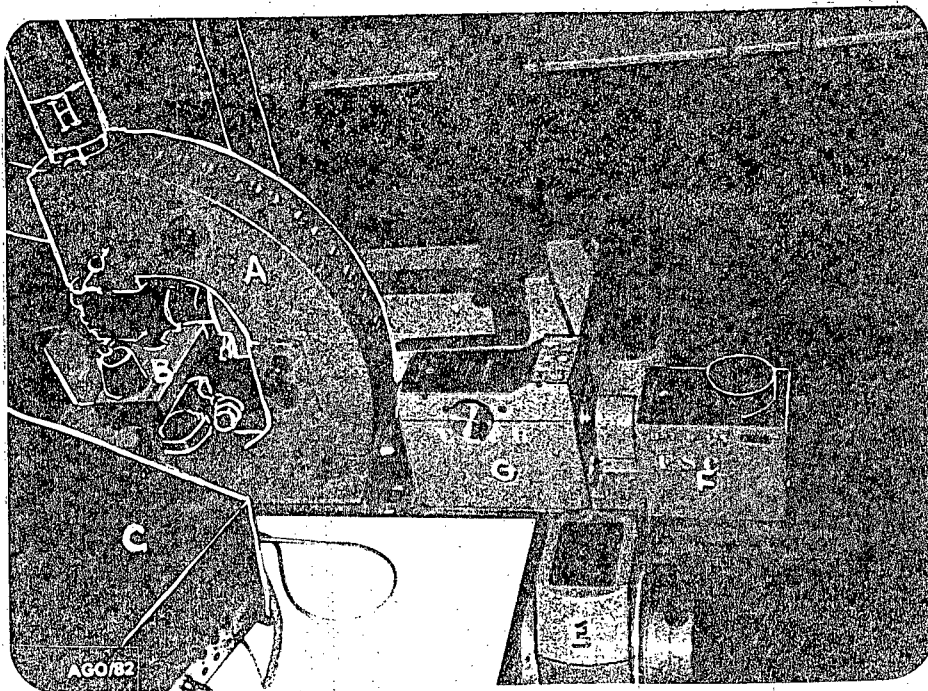
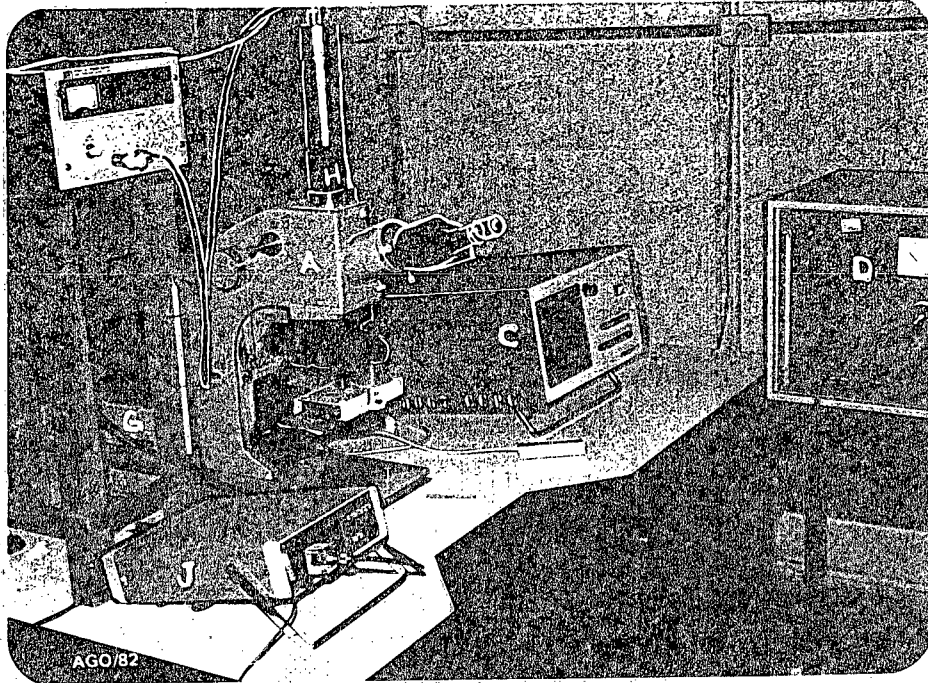
Ao microscópio estão acoplados uma câmara de aquecimento associada a um controlador de temperatura, e uma fotomultiplicadora, como mostra a Figura 3. A câmara de aquecimento é da fábrica Mettler, Modelo Mettler FP52, e opera com fluxo contínuo de ar produzido por um pequeno ventilador embutido em sua estrutura. A temperatura da câmara de aquecimento é controlada e estabilizada eletronicamente por um controlador de temperatura da Mettler, Modelo Mettler FP 5. Este aparelho permite leituras de temperaturas com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$.











A outra fonte luminosa utilizada, da Bausch & Lomb é constituída por uma lâmpada de tungstênio que emite luz branca, a qual incide sobre um monocromador (Bausch & Lomb, catálogo 3386.66), onde são selecionados os comprimentos de onda desejados girando-se uma manivela disposta lateralmente. Em sua parte superior um visor permite a leitura dos comprimentos de onda selecionado.

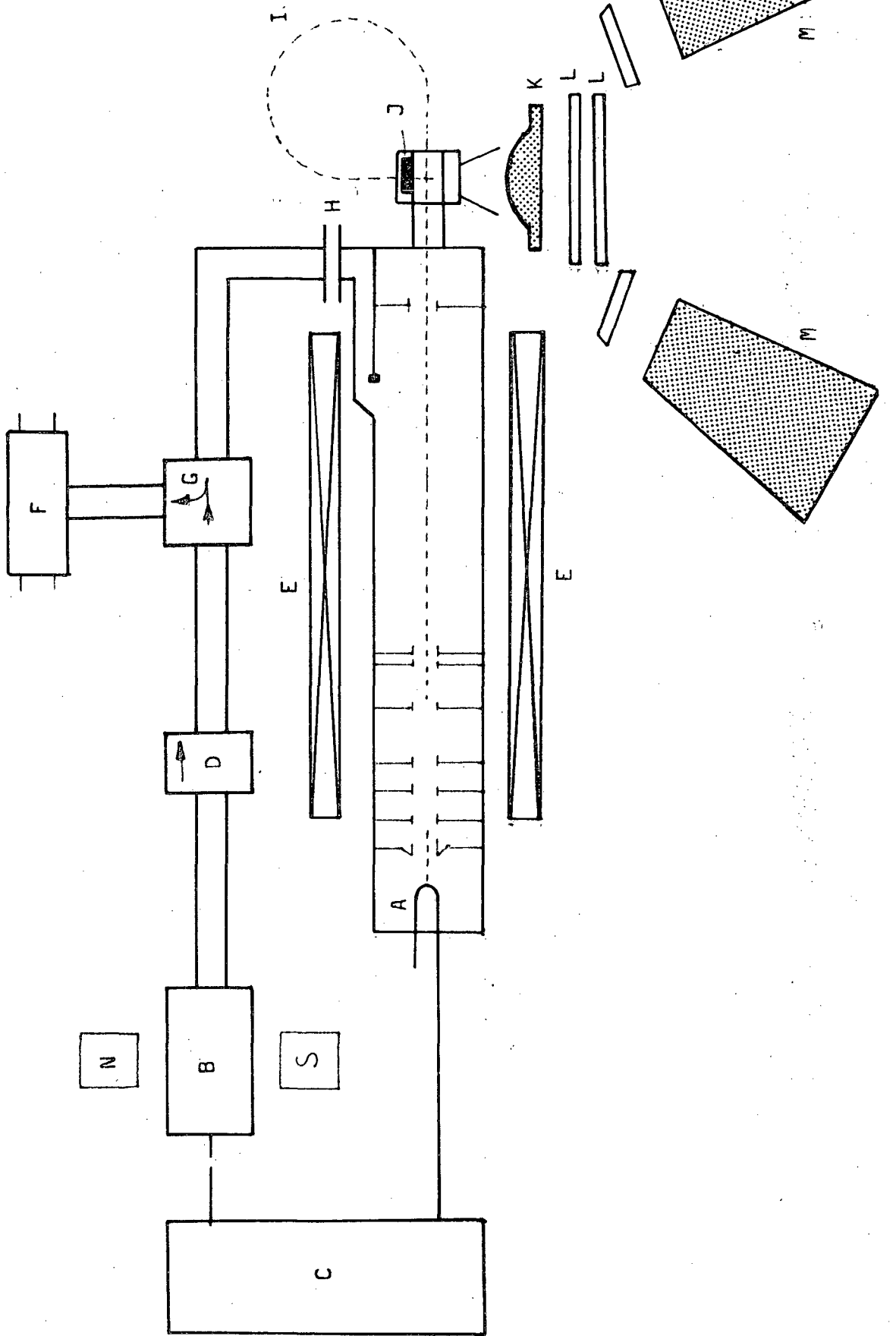
Após incidir sobre a amostra na câmara de aquecimento, a luz refletida vai incidir sobre a fotomultiplicadora E.M.I. Modelo S 20 tipo 9698B, que opera com 750 V. Esta fotomultiplicadora é alimentada por uma fonte de alta tensão da Hewlett-Packard, Modelo 6516A.

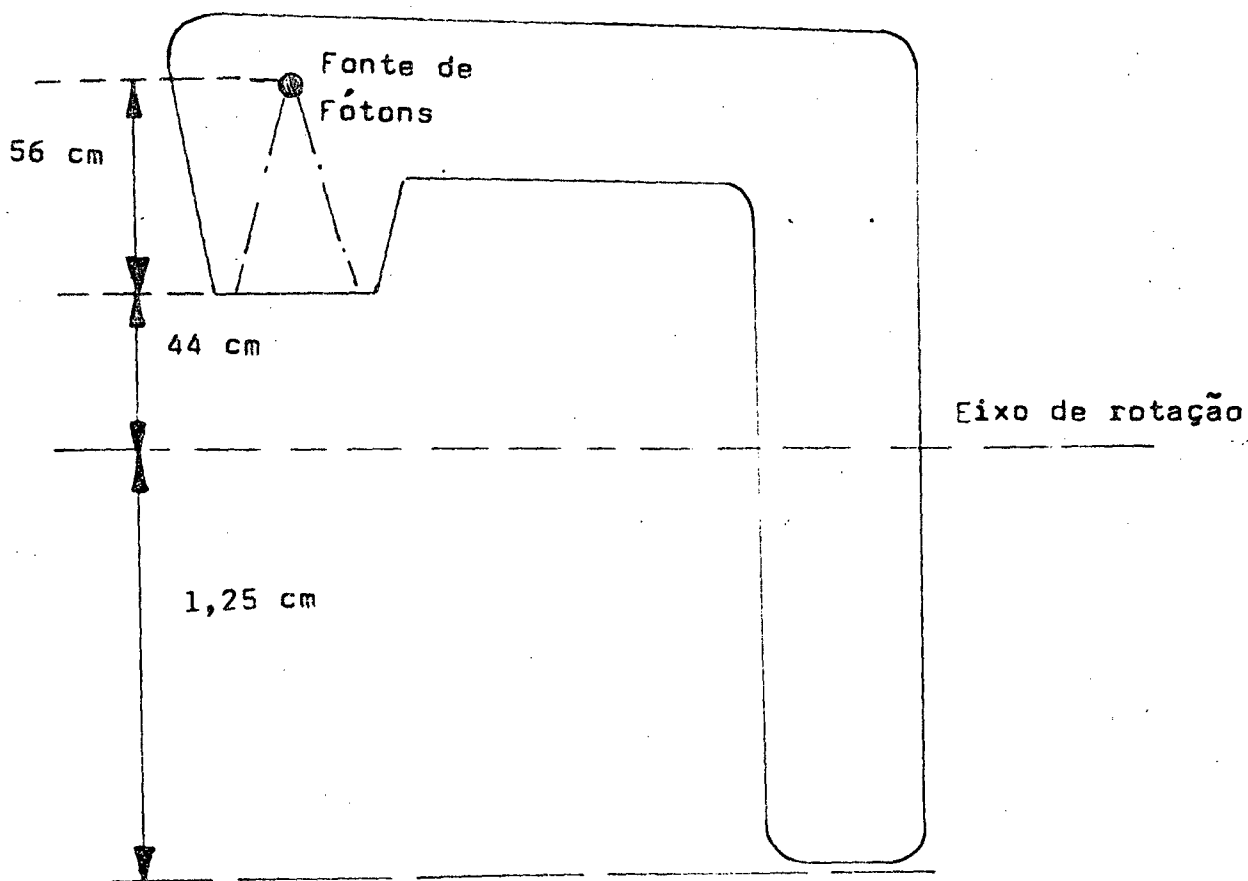
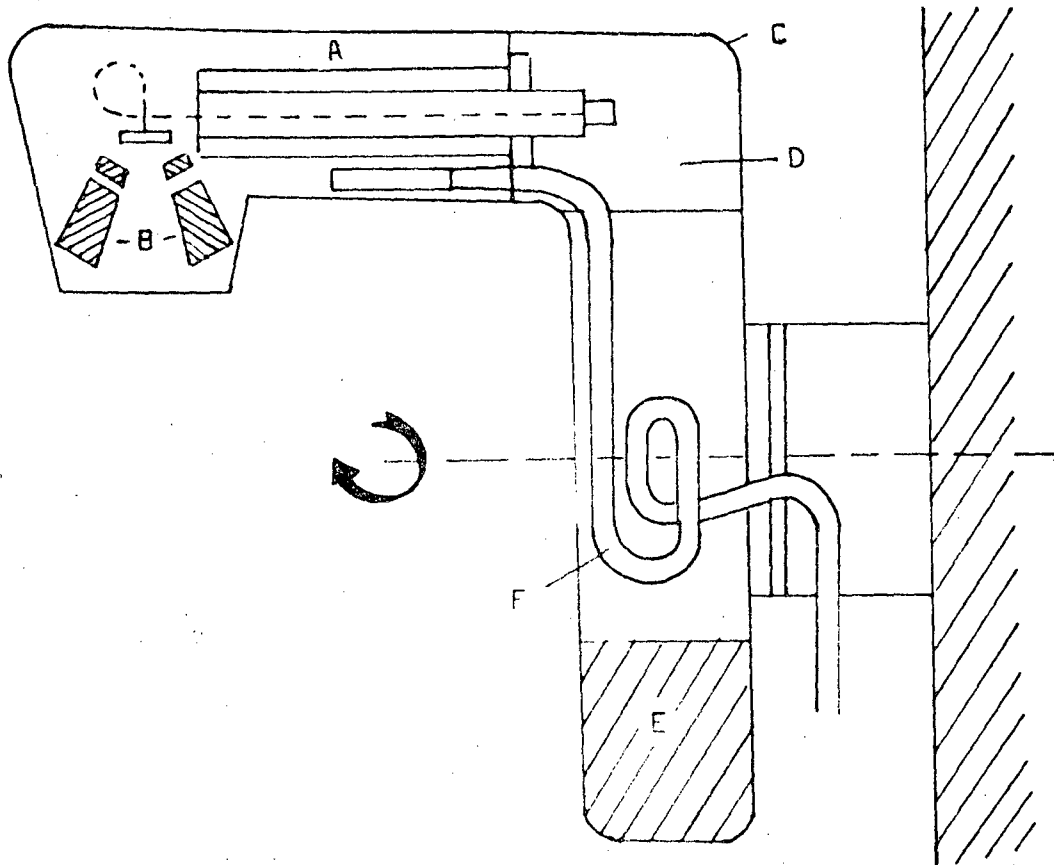
A tensão de saída da fotomultiplicadora é medida por um multímetro digital da Keithley Instruments - catálogo nº 171. Todos estes aparelhos estão conectados a um estabilizador de voltagem que controla as ocasionais flutuações na rede.

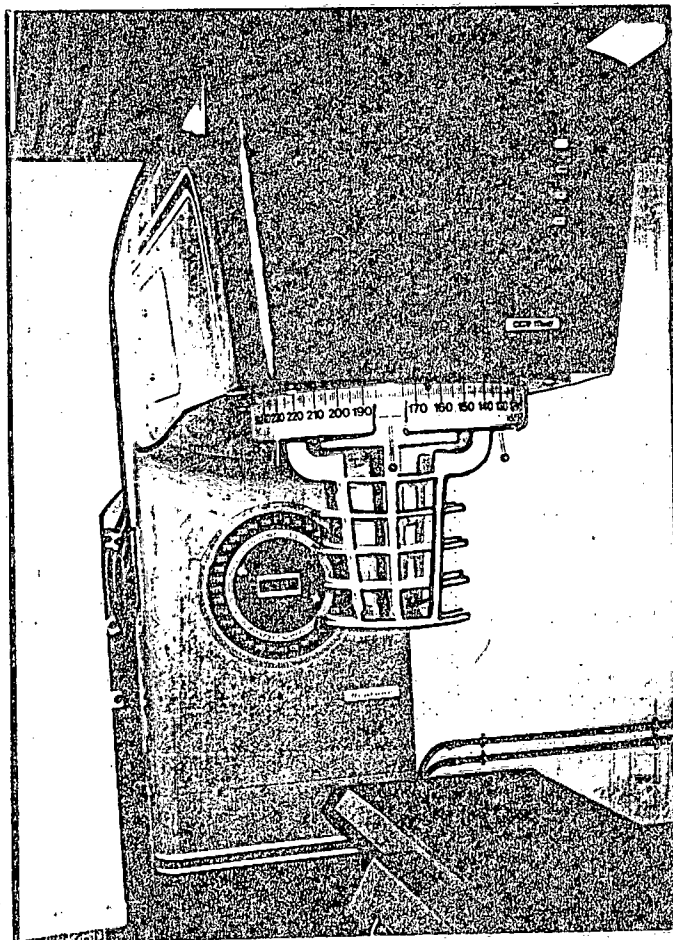
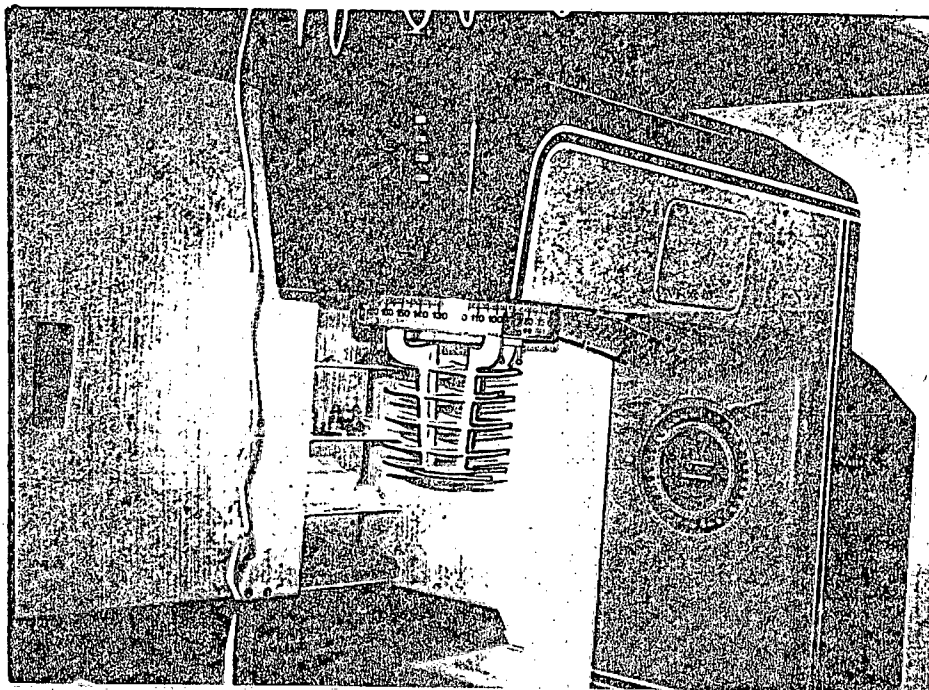
O acelerador linear onde as amostras foram irradiadas é de origem Francesa, da fábrica CGR MeV, Modelo Therac 10 Neptune.

Os componentes principais do acelerador são: um canhão emissor de um feixe de elétrons e um guia de onda eletromagnética estacionária de alta frequência. O feixe de elétrons propaga-se segundo o eixo do guia de onda e interage com uma onda de alta frequência produzida por uma fonte de impulsos do tipo magnetron. As características do guia de onda são tais que a onda eletromagnética interage com os elétrons cedendo-lhes sua energia em pulsos. Esta energia vai acelerar os elétrons de modo descontínuo em pulsos de curta duração (da ordem de $4\mu\text{s}$) repetidos 300 vezes por segundo.

Devido a tendência dos elétrons de se repelirem mutuamen-







te, foram adaptadas ao longo do guia de onda do acelerador bobinas percorridas por corrente elétrica, que criam um campo magnético mantendo os elétrons sobre o eixo do guia.

No final da seção aceleradora os elétrons são desviados por um eletroímã, indo atingir um alvo de tungstênio quando deseja-se a emissão de fótons. Para tratamento com elétrons existe sobre o eletroímã uma bobina suplementar que desvia o feixe do alvo de tungstênio. Os elétrons a seguir atravessam filtros difusores incidindo sobre duas câmaras de ionização, de onde, através de um circuito eletrônico são obtidas as leituras das doses.

3.3 - Preparação das Amostras

Como não existe na literatura referências a estudos sobre dosimetria de feixes de elétrons com cristais líquidos colestéricos, decidimos realizar uma verificação preliminar irradiando uma amostra de NC purificado para testar a viabilidade de nosso trabalho.

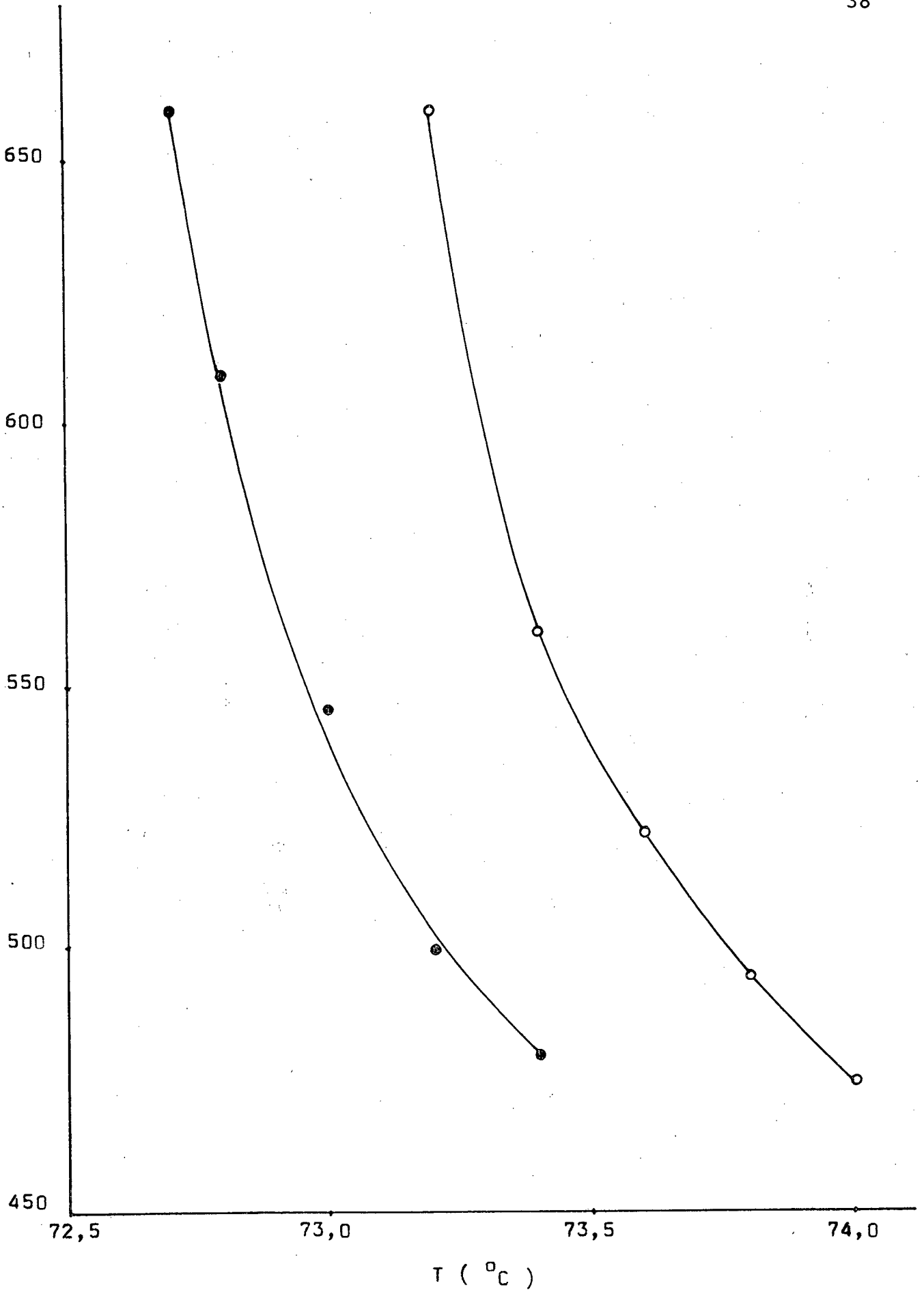
Irradiamos a amostra com uma dose de 2,50 Krad e energia de 8 MeV. Traçando a curva térmica desta amostra e comparando-as com a curva térmica do composto não irradiado, verificamos que a irradiação produzia efeitos facilmente observáveis (Fig.11), o que tornava possível o nosso estudo. Estes efeitos serão detalhadamente descritos no capítulo 4.

Tomando o CN purificado, preparamos três séries de dez amostras acondicionadas em pequenos tubos de vidro com cerca de 0,6 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura. No interior de cada tubo

TABELA I

| NONANOATO DE COLESTERILA | | | |
|--------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
| NÃO IRRADIADO (PURO) | | IRRADIADO COM 8 MeV - 2,50 Krad | |
| T (°C) | λ (nm) | T (°C) | λ (nm) |
| 74,0 | 475 | 73,4 | 480 |
| 73,8 | 495 | 73,2 | 500 |
| 73,6 | 523 | 73,0 | 546 |
| 73,4 | 561 | 72,8 | 610 |
| 73,2 | 660 | 72,7 | 660 |





previamente lavados, colocamos cristais de nonanoato de colesterila e em seguida aquecemos o conjunto até a temperatura de transição para o estado isotrópico. Após o resfriamento as amostras apresentavam um aspecto homogêneo, os tubos foram então fechados para evitar eventuais contaminações. Cada amostra apresentava uma espessura constante de NC ($0,7 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ mm}$).

As três séries de amostras foram levadas ao Centro de Rádio e Cobaltoterapia do Hospital de Caridade, e irradiados com feixes de elétrons de energias 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV. Para cada energia as 10 amostras foram irradiadas com doses de 750 a 7500 rad.

Os tubos com as amostras foram colocados abertos sobre a mesa de exames, no isocentro do aparelho (a 100 cm do alvo de tungstênio) sob um campo de irradiação de 10 cm x 10 cm. Os tubos foram abertos para que a radiação incidisse diretamente sobre o composto, evitando-se assim os problemas de absorção de energia através dos recipientes das amostras. Após a seleção da energia necessária para a operação, as amostras foram submetidas à dosagem de 300 rad/min. Aguardando o tempo necessário para a obtenção da primeira dosagem escolhida (750 rad) retiramos uma amostra que foi rotulada com o valor da dose recebida, e repetimos a operação até que toda a série de amostras tivesse sido irradiada. A mesma operação de preparação e irradiação das amostras foi repetida para as misturas binárias de NC + CC.

3.4 - Coleta de Dados

Para procedermos a coleta de dados experimentais acondicionamos pequenas quantidades do material irradiado em lâminas

de vidro para a observação ao microscópio.

Inicialmente as lâminas foram lavadas com detergente, sendo a seguir imersas por algumas horas em ácido sulfocrômico. Depois as lâminas foram novamente lavadas com detergente para a eliminação dos resíduos do ácido. Tomamos então uma das amostras irradiadas com dose e energia conhecidas e aquecemos até o ponto de transição sólido - cristal líquido. Utilizando uma espátula transferimos uma pequena quantidade do material para uma lâmina aquecida na temperatura de transição cristal líquido - isotrópico. Após aguardarmos alguns minutos para a liberação das bolhas de ar eventualmente contidas no cristal líquido, colocamos outra lâmina justaposta à primeira para evitar a contaminação da amostra. As duas lâminas estavam separadas por tiras de mylar de $23,4\mu$ de espessura colocadas nas extremidades das mesmas, mantendo assim uma distribuição uniforme em espessura do material a ser examinado.

Em seguida levamos as lâminas à câmara de aquecimento e elevamos a temperatura do conjunto até ao ponto de transição para o estado isotrópico. Baixando a temperatura, provocamos um pequeno deslizamento de uma das lâminas sobre a outra para obtermos um bom alinhamento do material. Com luz branca da fonte (E) (Fig. 3) observamos ao microscópio a textura da amostra, que, de uniformemente escurecida começa a apresentar as cores características da fase colestérica. Estas observações são realizadas mantendo-se cruzados os polarizadores do microscópio. Iniciando as medidas dos comprimentos de onda refletidos em função da temperatura, fixamos o valor da temperatura correspondente ao início da fase colestérica através do controlador de temperatura e aguardamos cerca de 10 min para que a temperatura se estabilize em to-

dos os pontos da amostra.

Desligando a fonte (E), acionamos a fonte (F) que também emite luz branca contendo vários comprimentos de onda, a qual incide sobre o monocromador. Seguindo o caminho óptico mostrado na Fig. 4, a luz selecionada pelo monocromador incide sobre a amostra, sendo então refletida, alcançando a fotomultiplicadora.

No multímetro digital lemos a tensão de saída da fotomultiplicadora em Milivolts (mV). Selecionando os comprimentos de onda no monocromador (com precisão de 1,0 nm) observamos a leitura do multímetro. Quando a tensão apresenta seu valor máximo, anotamos o valor do comprimento de onda correspondente e a temperatura em que o mesmo ocorre, obtendo assim as tabelas de comprimento de onda (λ) em função da temperatura (T).

A leitura da tensão é utilizada apenas como indicativo do máximo comprimento de onda refletido pela amostra; os valores de tensão correspondentes a este comprimento de onda não são de interesse para o presente trabalho.

Os intervalos de temperatura utilizados para as medidas foi variável, de acordo com a largura da faixa de temperatura da fase colestérica, sendo de 0,2°C para o NC puro e para a mistura de 90% de NC + 10% de CC e de 2,0 a 4,0°C para a mistura de 15% de NC + 85% de CC.

As medidas foram realizadas mantendo-se a sala escura para que a luz ambiente não interferisse nas leituras obtidas da fotomultiplicadora. Antes de realizarmos as medidas, a cada intervalo de temperatura, aguardávamos sempre cerca de 10 minutos até a estabilização térmica das amostras. Deste modo foram obtidos os dados que serão apresentados e discutidos no capítulo 4.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho foram dispostos em tabelas e gráficos que serão comentados a seguir.

Observamos que os valores de λ máximo refletida, obtidos de lâminas diferentes preparadas de uma mesma amostra, apresentavam pequenas diferenças. Isto deve-se principalmente à impossibilidade de obter-se alinhamento perfeitamente idênticos em diferentes lâminas. Para contornar o problema preparamos 5 lâminas diferentes para cada amostra e calculamos a média aritmética dos valores obtidos de cada uma. São estes os valores de λ máximo que constam nas tabelas apresentadas.

Verificamos que de modo semelhante ao que ocorreu nas experiências de dosimetria de radiação gama com cristais líquidos colestéricos, a irradiação com elétrons também produziu deslocamento da curva térmica do NC e da mistura de 90% NC + 10% CC para regiões de temperaturas inferiores àquelas da curva de referência do material não irradiado.

Na tabela II apresentamos os dados obtidos para o nonanoato de colesterila irradiado com energia de 6 MeV. Com estes dados traçamos os gráficos da Fig. 11 representando as curvas térmicas (λ_{max} x temperatura). Na mesma figura apresentamos a curva térmica para o NC não irradiado.

Verificamos que o deslocamento da curva térmica para regiões de temperatura mais baixas cresce proporcionalmente com

a dosagem, produzindo uma conseqüente diminuição na temperatura em que uma dada cor aparece.

Para a energia de 6 MeV os deslocamentos de temperatura só se tornaram evidentes para doses a partir de 2,25 Krad.

Nas tabelas III e IV apresentamos os dados obtidos com a irradiação do NC com energias de 8 MeV e 10 MeV, os gráficos correspondentes são apresentados nas Figuras 12 e 13 respectivamente. Para estes casos verifica-se também a ocorrência do deslocamento das curvas térmicas para baixas temperaturas. Comparando estes gráficos com os anteriores (para 6 MeV) verificamos que o deslocamento na temperatura em que cada cor aparece torna-se maior com o aumento da energia. Constatamos também que para maiores energias, doses de menor valor já produzem deslocamento acentuado (para energia de 8 MeV o deslocamento já é visível com dose de 1,50 Krad, e para 10 MeV com 0,75 Krad).

Nas Figuras 14, 15 e 16, apresentamos os gráficos correspondentes às Tabelas V, VI e VII, com os dados obtidos da mistura de 90% de NC com 10% de CC. Aqui também verificamos o deslocamento da curva térmica para baixas temperaturas, proporcional a dosagem. Este deslocamento também cresce com a temperatura.

Para energia de 6 MeV esta mistura começou a apresentar deslocamento da curva térmica com dose de 3,75 Krad e para 8 MeV e 10 MeV o deslocamento iniciou-se com doses de 2,25 Krad e 1,5 Krad, respectivamente.

A mistura de 15% de NC + 85% de CC apresentou um comportamento diverso daquele esperado. A irradiação desta mistura provocou um deslocamento da curva térmica inicialmente para baixas temperaturas (com doses de 0,75 Krad, 1,50 Krad e 2,25 Krad) e depois para altas temperaturas.

Para energias de 6 MeV e 10 MeV a dose inicial de 0,75 Krad provocou um deslocamento acentuado para temperaturas inferiores; com dose de 1,50 Krad e 2,25 Krad os deslocamentos foram menores que o primeiro, aproximando-se a curva irradiada da não irradiada. Para doses de maior valor, o deslocamento da curva térmica projetou-se para temperaturas mais altas do que aquelas correspondentes à mistura não irradiada. O mesmo fenômeno ocorreu para energia de 8 MeV, com uma única diferença; com dose de 2,25 Krad a curva térmica já apresentou deslocamento para temperaturas mais altas (Figuras 17, 18 e 19).

Dando seqüência ao nosso trabalho, estudamos a relação entre os deslocamentos de temperatura sofridos por uma dada cor e a dose correspondente.

A Figura 20 apresenta a curva de calibração do sistema óptico, obtida colocando-se um espelho na posição da amostra e lendo-se no multímetro os valores de intensidade relativos aos comprimentos de onda selecionados no monocromador. Podemos observar neste gráfico que a maior sensibilidade do sistema óptico ocorre para valores de comprimento de onda compreendidos entre 500 nm e 600 nm, sendo o valor máximo alcançado com 539 nm.

Por esta razão escolhemos os comprimentos de onda de 500 nm, 539 nm e 600 nm para traçar os gráficos da resposta no deslocamento de temperatura de uma cor, versus a dosagem. Os dados das Tabelas XI a XVII foram obtidos medindo-se nas Figuras 11 a 19 os deslocamentos ΔT produzidos na curva térmica por cada dose, para os comprimentos de onda escolhidos. Nas figuras de nº 21 a 41 apresentamos os gráficos destes resultados.

Nestes gráficos podemos observar que o nonanoato de colesterila e a mistura NC (90% + CC 10%) apresentam variações

de temperaturas lineares em relação as doses absorvidas, para a faixa de dosagens utilizadas. A inclinação das retas obtidas nos dão os valores de sensibilidade à irradiação com elétrons para o NC e para a mistura NC (90%) + CC (10%). Podemos também observar que para os três comprimentos de onda selecionados, a sensibilidade do nonanoato de colesterila à irradiação com elétrons diminuiu quando a energia aumentou de 6 MeV para 8 MeV e em seguida aumentou quando a energia alcançou o valor de 10 MeV. O maior valor de sensibilidade ($0,14^{\circ}\text{C/Krad}$) verificou-se para o comprimento de onda de 539 nm e energia de 10 MeV.

A mistura de NC (90%) + CC (10%) apresentou comportamento inverso; a sensibilidade aumentou quando a energia passou de 6 MeV para 8 MeV, diminuindo a seguir para a energia de 10 MeV. Para esta mistura os comprimentos de onda estudados apresentaram um mesmo valor para a sensibilidade máxima ($0,15^{\circ}\text{C/Krad}$) com a energia de 8 MeV.

Apesar do comportamento não esperado da mistura NC (15%) + CC (85%), suas curvas de resposta $\Delta T/\text{dose}$ apresentaram tendências para a linearização. Aplicando o método dos mínimos quadrados obtivemos a melhor reta para cada caso, que são apresentados para comparação juntamente com as curvas obtidas experimentalmente nas Figuras 39, 40 e 41.

Os resultados apresentados podem conter erros experimentais cujas causas podem ser:

1. Lâminas diferentes de uma mesma amostra não apresentam mesmos resultados, devido a impossibilidade de se obter alinhamento perfeitamente idêntico em todas as lâminas.
2. A tensão lida no voltímetro não era constante, osci

lando quando algum receptor elétrico nas proximidades da sala era ligado ou desligado.

3. As leituras do voltímetro não possuíam suficiente precisão para diferenciar pequenas variações de comprimento de onda.

TABELA II

| NANOATO DE COLESTERILA IRRADIADO COM ENERGIA DE 6 MeV | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| 2,50 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 73,9 | 469 | 73,8 | 473 | 73,8 | 469 | 73,6 | 475 | 73,6 | 474 | 73,5 | 472 | 73,4 | 470 | 73,3 | 475 |
| 73,8 | 481 | 73,6 | 496 | 73,6 | 489 | 73,4 | 493 | 73,4 | 490 | 73,4 | 480 | 73,2 | 486 | 73,2 | 482 |
| 73,6 | 494 | 73,4 | 524 | 73,4 | 513 | 73,2 | 521 | 73,2 | 512 | 73,2 | 499 | 73,0 | 523 | 73,0 | 506 |
| 73,4 | 528 | 73,2 | 555 | 73,2 | 533 | 73,0 | 569 | 73,0 | 540 | 73,0 | 526 | 72,8 | 547 | 72,8 | 529 |
| 73,3 | 554 | 73,0 | 640 | 73,0 | 600 | 72,9 | 626 | 72,9 | 566 | 72,8 | 570 | 72,7 | 607 | 72,6 | 596 |
| 73,2 | 567 | 72,9 | 667 | 72,9 | 640 | 72,8 | 651 | 72,8 | 602 | 72,7 | 631 | 72,6 | 635 | 72,5 | 665 |
| 73,1 | 660 | | | 72,8 | 688 | 72,7 | 712 | 72,7 | 669 | 72,6 | 680 | 72,5 | 683 | 72,4 | 703 |
| 73,0 | 704 | | | | | 72,6 | | 72,6 | 699 | 72,5 | 705 | | | | |



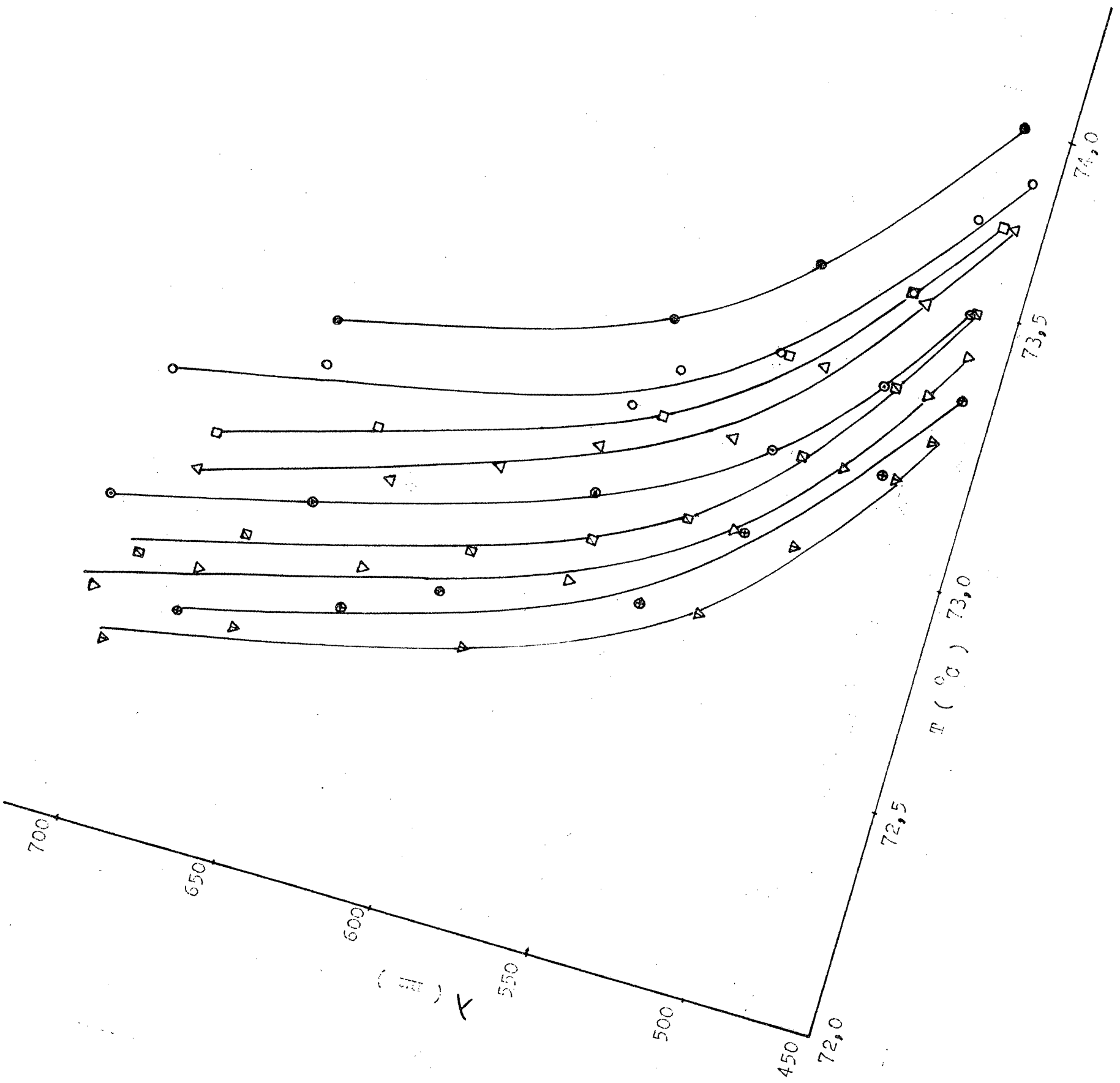


TABELA III

| NONANOATO DE COLESTERILA IRRADIADO COM ENERGIA DE 8 MeV | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| 1,5 Krad | | 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 73,8 | 470 | 73,6 | 480 | 73,6 | 475 | 73,5 | 478 | 73,5 | 473 | 73,4 | 476 | 73,4 | 473 | 73,3 | 478 | 73,3 | 473 |
| 73,6 | 485 | 73,4 | 500 | 73,4 | 497 | 73,4 | 494 | 73,4 | 481 | 73,2 | 498 | 73,2 | 492 | 73,2 | 486 | 73,2 | 480 |
| 73,4 | 509 | 73,2 | 534 | 73,2 | 529 | 73,2 | 512 | 73,2 | 505 | 73,1 | 509 | 73,0 | 512 | 73,0 | 505 | 73,0 | 502 |
| 73,2 | 536 | 73,0 | 583 | 73,0 | 577 | 73,1 | 545 | 73,0 | 547 | 73,0 | 529 | 72,9 | 534 | 72,8 | 527 | 72,8 | 518 |
| 73,1 | 595 | 72,9 | 647 | 72,9 | 634 | 73,0 | 553 | 72,8 | 579 | 72,9 | 546 | 72,8 | 550 | 72,6 | 595 | 72,6 | 572 |
| 73,0 | 663 | 72,8 | 689 | 72,8 | 666 | 72,9 | 608 | 72,7 | 643 | 72,7 | 616 | 72,7 | 598 | 72,5 | 640 | 72,5 | 612 |
| 72,9 | 692 | | | | | 72,7 | 685 | 72,6 | 707 | 72,6 | 683 | 72,6 | 647 | 72,4 | 700 | 72,4 | 639 |



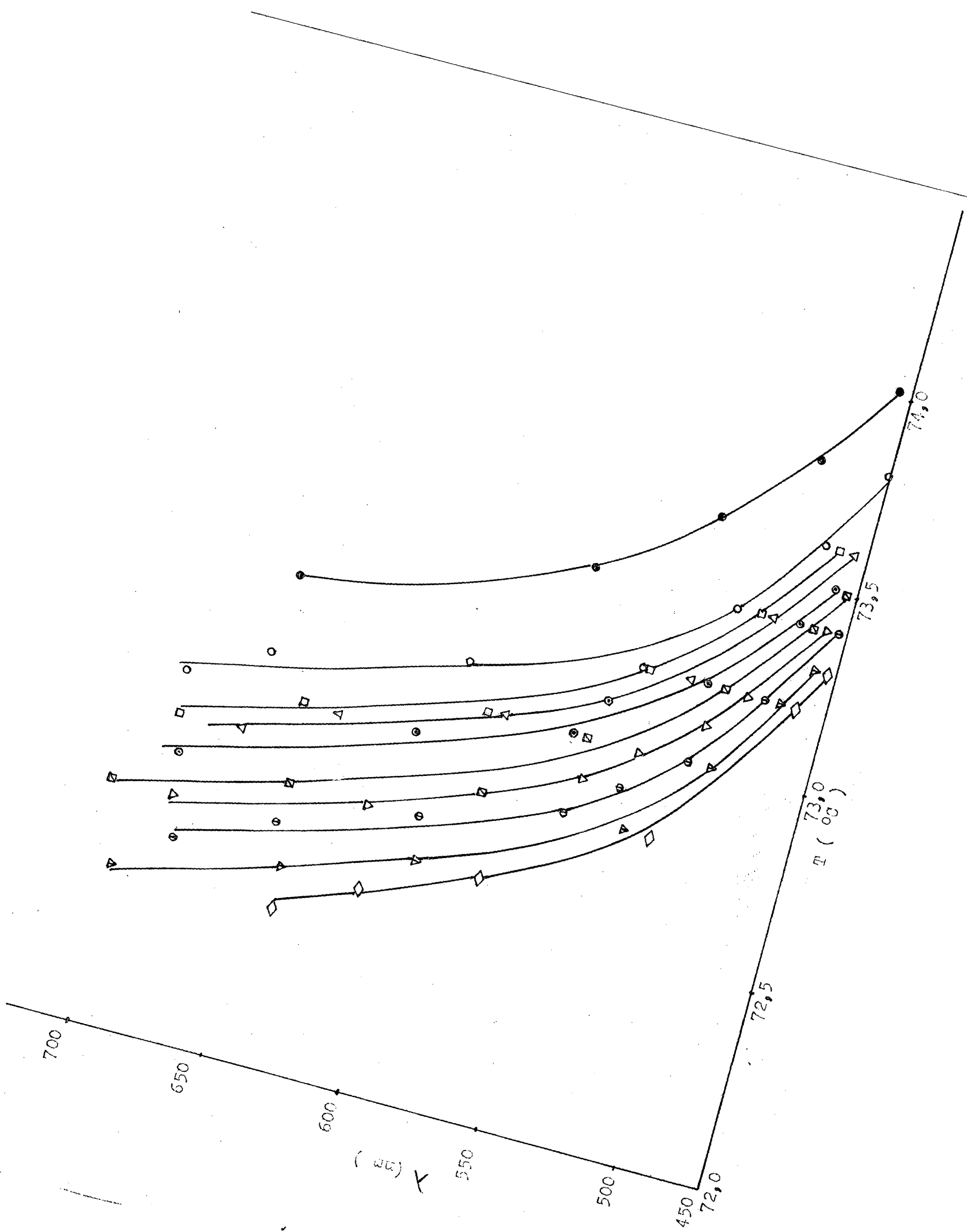


TABELA IV

NONANATO DE COLESTERILA IRRADIADO COM ENERGIA DE 10 meV

| 0,75 Krad | | 1,5 Krad | | 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
|-----------|--------|----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 73,6 | 477 | 73,6 | 467 | 73,5 | 467 | 73,4 | 463 | 73,5 | 457 | 73,4 | 454 | 73,2 | 463 | 73,1 | 463 | 73,0 | 460 | 72,8 | 467 |
| 73,4 | 496 | 73,4 | 483 | 73,3 | 480 | 73,2 | 480 | 73,4 | 462 | 73,2 | 464 | 73,0 | 472 | 72,9 | 473 | 72,8 | 472 | 72,6 | 480 |
| 73,2 | 523 | 73,2 | 509 | 73,1 | 497 | 73,0 | 504 | 73,2 | 471 | 73,0 | 482 | 72,8 | 490 | 72,8 | 485 | 72,6 | 486 | 72,4 | 505 |
| 73,0 | 543 | 73,0 | 530 | 72,9 | 530 | 72,8 | 535 | 73,0 | 495 | 72,8 | 497 | 72,6 | 523 | 72,6 | 507 | 72,4 | 513 | 72,3 | 522 |
| 72,9 | 573 | 72,8 | 568 | 72,7 | 578 | 72,6 | 607 | 72,8 | 511 | 72,6 | 527 | 72,4 | 563 | 72,4 | 550 | 72,3 | 531 | 72,2 | 547 |
| 72,8 | 600 | 72,7 | 609 | 72,6 | 610 | 72,5 | 645 | 72,6 | 549 | 72,5 | 559 | 72,2 | 600 | 72,2 | 576 | 72,2 | 558 | 72,1 | 574 |
| 72,7 | 675 | 72,6 | 665 | 72,5 | 681 | 72,4 | 695 | 72,5 | 577 | 72,4 | 612 | 72,1 | 689 | 72,1 | 643 | 72,1 | 600 | 72,0 | 604 |
| | | 72,5 | 700 | 72,4 | 707 | | | 72,4 | 629 | 72,3 | 658 | 72,0 | 697 | 72,0 | 678 | 72,0 | 678 | 72,9 | 683 |
| | | | | | | | | 72,3 | 681 | 72,2 | 683 | | | | | | | | |

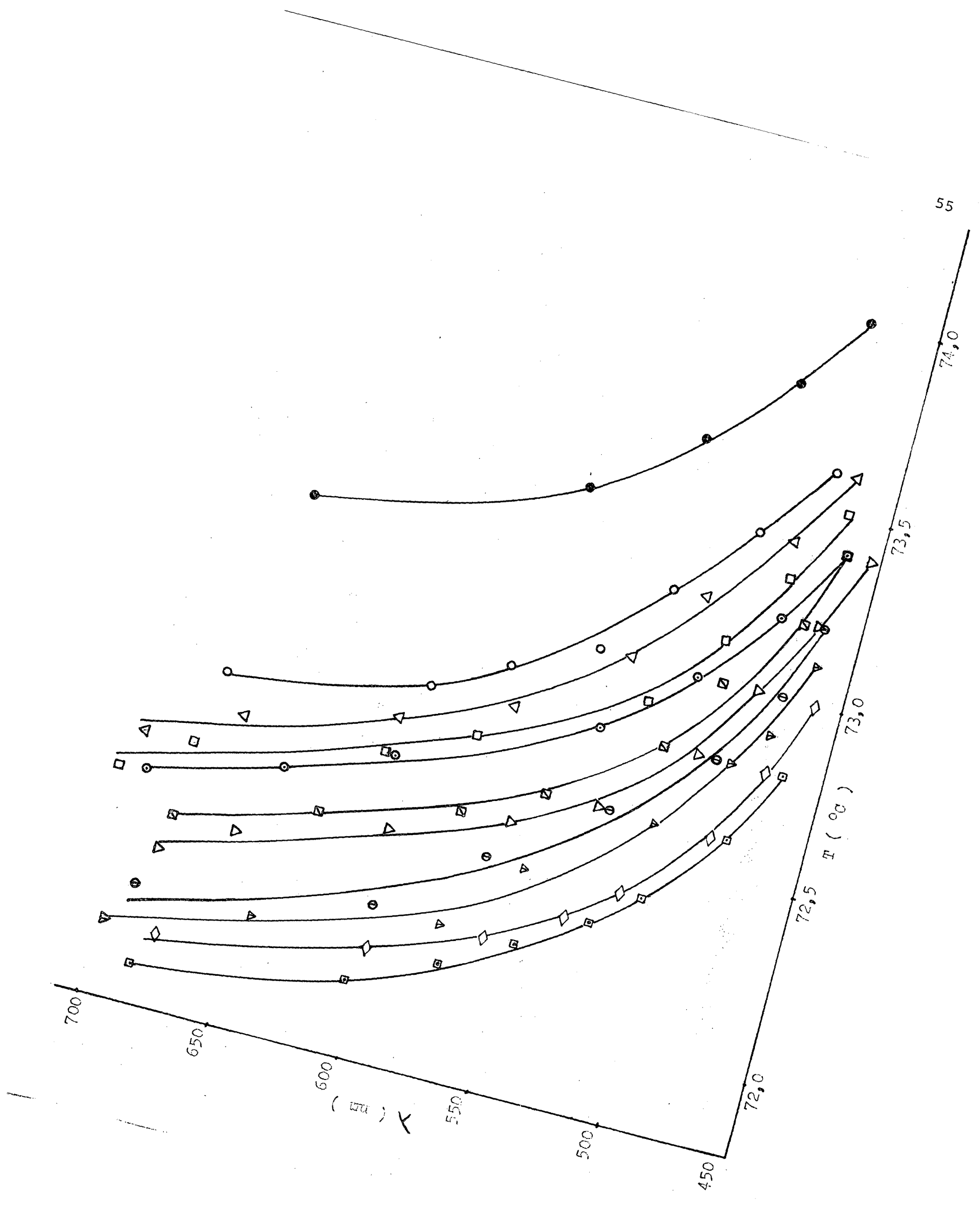


TABELA V

| NC(90%) + CC(10%) | | IRRADIADOS COM ENERGIA DE 6 MeV | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| Mistura Não Irradiada | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 70,5 | 458 | 69,9 | 472 | 69,8 | 473 | 69,8 | 466 | 69,6 | 467 | 69,7 | 469 | 69,5 | 470 |
| 70,3 | 464 | 69,8 | 477 | 69,6 | 480 | 69,6 | 477 | 69,5 | 471 | 69,5 | 474 | 69,4 | 474 |
| 70,1 | 468 | 69,6 | 485 | 69,4 | 491 | 69,4 | 480 | 69,4 | 477 | 69,4 | 478 | 69,2 | 482 |
| 69,9 | 478 | 69,4 | 495 | 69,2 | 503 | 69,2 | 488 | 69,2 | 485 | 69,2 | 485 | 69,0 | 489 |
| 69,7 | 486 | 69,2 | 507 | 69,0 | 510 | 69,0 | 502 | 64,0 | 496 | 69,0 | 498 | 68,8 | 500 |
| 69,5 | 496 | 69,0 | 520 | 68,8 | 532 | 68,8 | 520 | 68,8 | 507 | 68,8 | 515 | 68,6 | 523 |
| 69,3 | 505 | 68,8 | 532 | 68,6 | 558 | 68,6 | 539 | 68,6 | 525 | 68,6 | 530 | 68,4 | 541 |
| 69,1 | 524 | 68,6 | 574 | 68,4 | 606 | 68,4 | 575 | 68,4 | 554 | 68,4 | 570 | 68,2 | 566 |
| 68,9 | 545 | 68,4 | 624 | 68,3 | 613 | 68,2 | 612 | 68,2 | 580 | 68,2 | 591 | 68,0 | 604 |
| 68,7 | 582 | 68,3 | 641 | 68,2 | 673 | 68,0 | 654 | 68,0 | 608 | 68,1 | 626 | 67,9 | 656 |
| 68,5 | 628 | 68,2 | 683 | 68,1 | 705 | 67,9 | 712 | 67,9 | 650 | 68,0 | 674 | 67,8 | 680 |
| 68,3 | 695 | 68,1 | 707 | | | | | 67,8 | 700 | 67,9 | 705 | 67,7 | 700 |
| 68,2 | 730 | | | | | | | 67,7 | 711 | | | | |



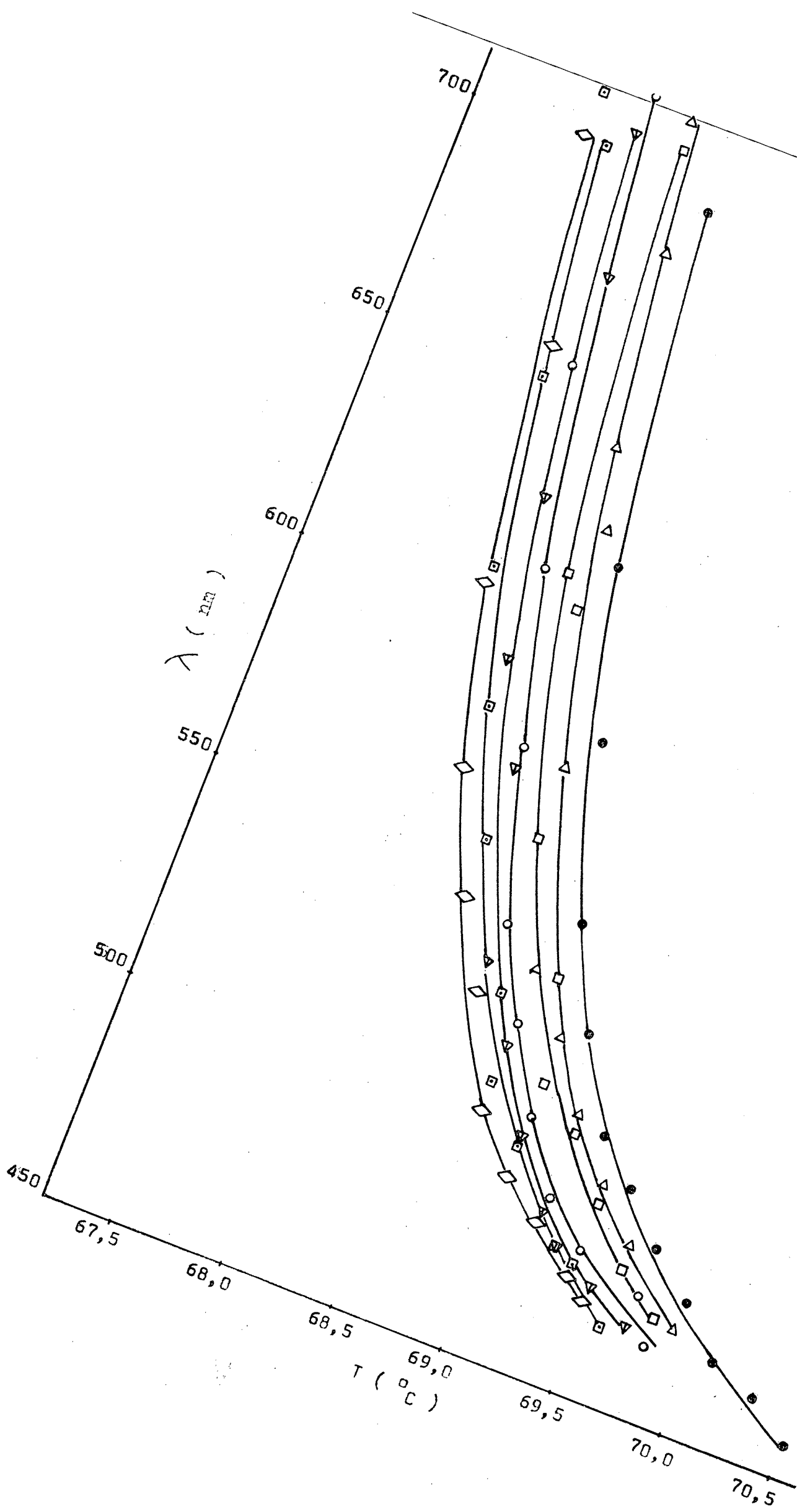


TABELA VI

| NC(90%) + CC(10%) IRRADIADOS COM ENERGIA DE 8 MeV | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 70,0 | 464 | 69,9 | 463 | 69,8 | 463 | 69,7 | 463 | 69,6 | 462 | 69,5 | 464 | 69,4 | 464 | 69,4 | 464 |
| 69,8 | 472 | 69,8 | 469 | 69,6 | 472 | 69,6 | 468 | 69,4 | 470 | 69,4 | 467 | 69,2 | 472 | 69,2 | 472 |
| 69,6 | 480 | 69,6 | 474 | 69,4 | 477 | 69,4 | 478 | 69,2 | 475 | 69,2 | 474 | 69,0 | 477 | 69,0 | 477 |
| 69,4 | 497 | 69,4 | 489 | 69,2 | 489 | 69,2 | 487 | 69,0 | 486 | 69,0 | 482 | 68,8 | 485 | 68,8 | 485 |
| 69,2 | 509 | 69,2 | 498 | 69,0 | 504 | 69,0 | 498 | 68,8 | 502 | 68,8 | 494 | 68,6 | 495 | 68,6 | 495 |
| 69,0 | 524 | 69,0 | 513 | 68,8 | 520 | 68,8 | 505 | 68,6 | 512 | 68,6 | 500 | 68,4 | 503 | 68,4 | 503 |
| 68,8 | 532 | 68,8 | 526 | 68,6 | 533 | 68,6 | 524 | 68,4 | 526 | 68,4 | 517 | 68,2 | 521 | 68,2 | 521 |
| 68,6 | 571 | 68,6 | 554 | 68,4 | 559 | 68,4 | 556 | 68,2 | 550 | 68,2 | 535 | 68,0 | 544 | 68,0 | 544 |
| 68,4 | 620 | 68,4 | 608 | 68,2 | 612 | 68,2 | 584 | 68,0 | 570 | 68,0 | 556 | 67,8 | 576 | 67,8 | 576 |
| 68,3 | 634 | 68,3 | 627 | 68,1 | 630 | 68,1 | 615 | 67,8 | 635 | 67,8 | 615 | 67,6 | 623 | 67,6 | 623 |
| 68,2 | 677 | 68,2 | 667 | 68,0 | 671 | 68,0 | 652 | 67,7 | 659 | 67,7 | 640 | 67,5 | 667 | 67,5 | 667 |
| 68,1 | 720 | 68,1 | 710 | 67,9 | 715 | 67,9 | 679 | 67,6 | 710 | 67,6 | 664 | 67,4 | 684 | 67,4 | 684 |
| | | | | 67,8 | 708 | 67,8 | 708 | 67,8 | 701 | 67,6 | 708 | 67,5 | 705 | 67,3 | 705 |



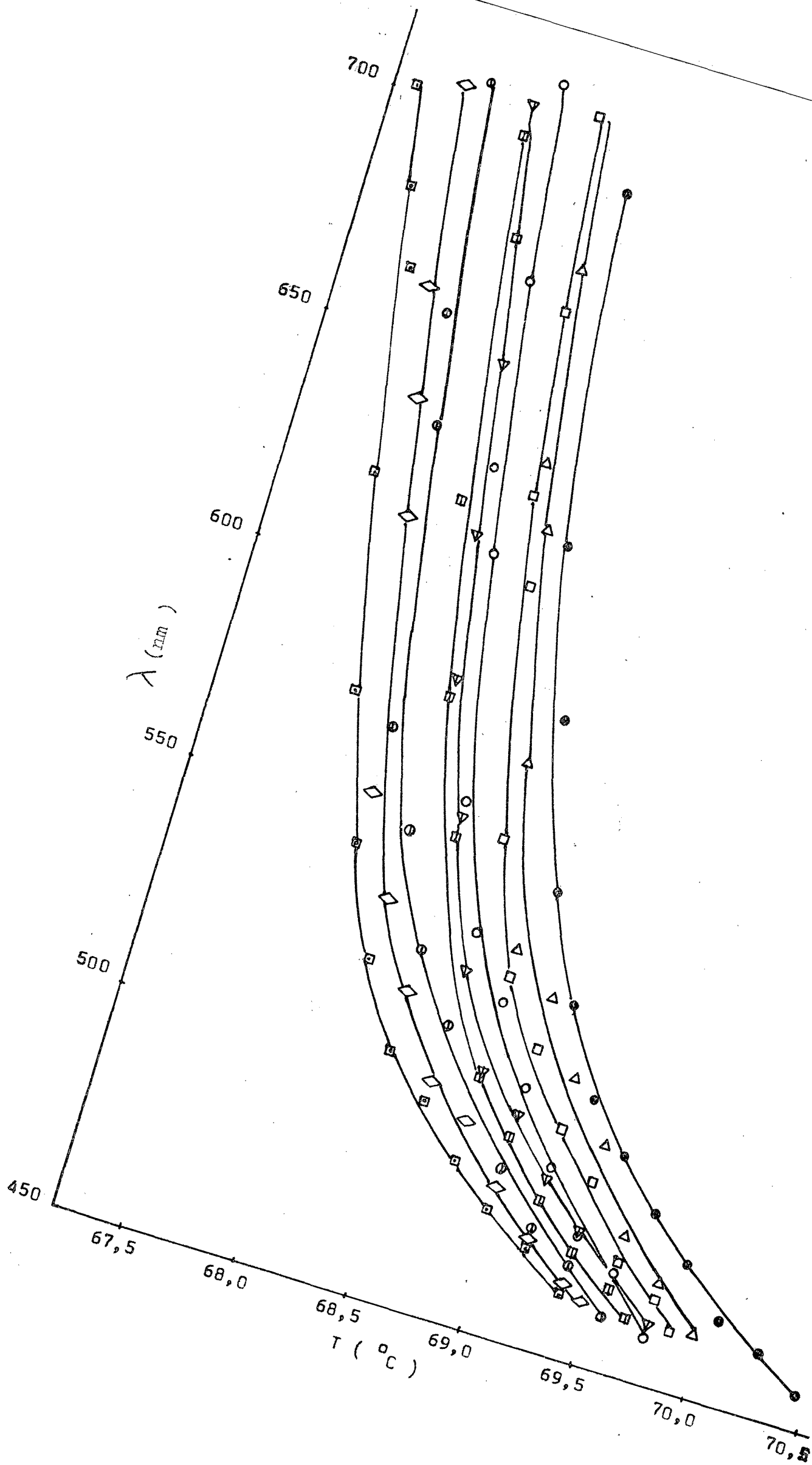


TABELA VII

| 1,50 Krad | | 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,250 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,5 Krad | |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 70,2 | 455 | 70,0 | 459 | 70,0 | 454 | 70,0 | 455 | 69,8 | 458 | 69,7 | 456 | 69,7 | 457 | 69,5 | 459 | 69,4 | 460 |
| 70,0 | 461 | 69,8 | 465 | 69,8 | 461 | 69,8 | 460 | 69,6 | 462 | 69,6 | 461 | 69,6 | 460 | 69,4 | 463 | 69,2 | 467 |
| 69,8 | 465 | 69,6 | 470 | 69,6 | 467 | 69,6 | 465 | 69,4 | 470 | 69,4 | 468 | 69,4 | 464 | 69,2 | 467 | 69,0 | 471 |
| 69,6 | 472 | 69,4 | 477 | 69,4 | 473 | 69,4 | 470 | 69,2 | 474 | 69,2 | 475 | 69,2 | 472 | 69,0 | 473 | 68,8 | 474 |
| 69,4 | 478 | 69,2 | 488 | 69,2 | 483 | 69,2 | 476 | 69,0 | 483 | 69,0 | 482 | 69,0 | 477 | 68,8 | 482 | 68,6 | 483 |
| 69,2 | 492 | 69,0 | 496 | 69,0 | 490 | 69,0 | 486 | 68,8 | 490 | 68,8 | 486 | 68,8 | 482 | 68,6 | 488 | 68,4 | 495 |
| 69,0 | 501 | 68,8 | 505 | 68,8 | 498 | 68,8 | 493 | 68,6 | 504 | 68,6 | 498 | 68,6 | 494 | 68,4 | 502 | 68,2 | 507 |
| 68,8 | 511 | 68,6 | 523 | 68,6 | 513 | 68,6 | 508 | 68,4 | 524 | 68,4 | 515 | 68,4 | 512 | 68,2 | 514 | 68,0 | 524 |
| 68,6 | 531 | 68,4 | 554 | 68,4 | 541 | 68,4 | 532 | 68,2 | 542 | 68,2 | 536 | 68,2 | 528 | 68,0 | 531 | 67,8 | 557 |
| 68,4 | 565 | 68,2 | 583 | 68,2 | 565 | 68,2 | 553 | 68,0 | 570 | 68,0 | 554 | 68,0 | 547 | 67,8 | 551 | 67,6 | 582 |
| 68,2 | 598 | 68,1 | 613 | 68,0 | 596 | 68,1 | 575 | 67,9 | 598 | 67,8 | 605 | 67,8 | 592 | 67,6 | 598 | 67,5 | 615 |
| 68,1 | 638 | 68,0 | 629 | 67,9 | 644 | 67,9 | 620 | 67,8 | 649 | 67,7 | 645 | 67,7 | 612 | 67,5 | 643 | 67,4 | 665 |
| 68,0 | 646 | 67,9 | 680 | 67,8 | 674 | 67,7 | 690 | 67,7 | 677 | 67,6 | 697 | 67,6 | 632 | 67,4 | 673 | 67,3 | 718 |
| 67,9 | 697 | 67,8 | 718 | | | 67,6 | 717 | 67,6 | 696 | 67,5 | 724 | 67,5 | 693 | 67,3 | 721 | 67,2 | 721 |
| | | | | | | | | | | | | 67,4 | 724 | | | | |



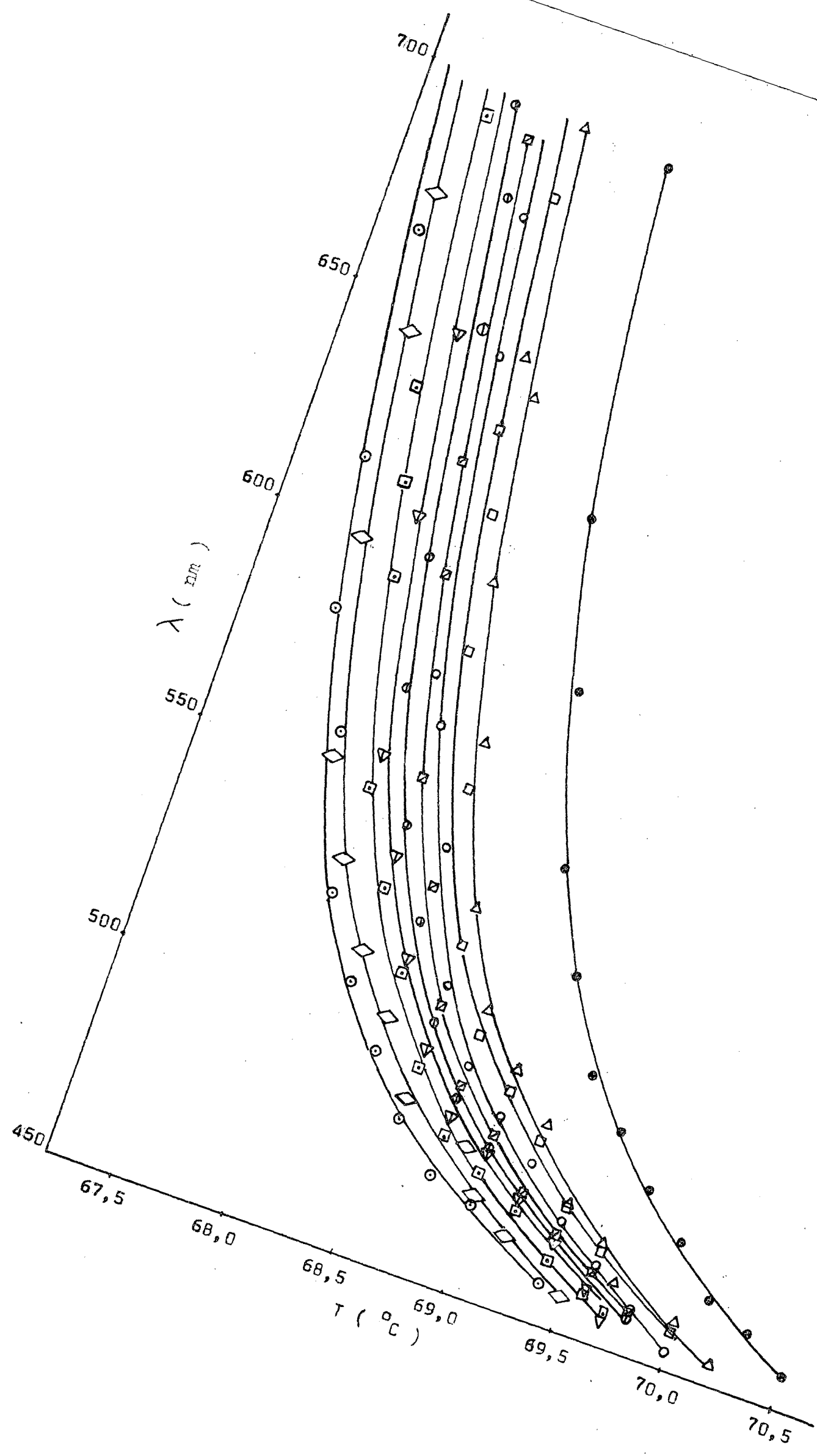


TABELA VIII

NC(15%) + CC(85%) IRRADIADOS COM ENERGIA DE 6 MeV

| 0,75 Krad | | 1,5 Krad | | 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
|-----------|--------|----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 64,0 | 493 | 62,4 | 511 | 62,6 | 517 | 65,0 | 511 | 63,0 | 528 | 62,9 | 535 | 64,1 | 537 | 63,1 | 547 | 63,6 | 558 | 62,0 | 615 |
| 62,0 | 505 | 60,0 | 527 | 62,0 | 521 | 63,0 | 523 | 60,0 | 545 | 62,0 | 538 | 60,0 | 565 | 60,0 | 571 | 63,0 | 568 | 61,0 | 618 |
| 60,0 | 515 | 56,0 | 545 | 60,0 | 533 | 60,0 | 543 | 56,0 | 568 | 60,0 | 555 | 56,0 | 581 | 56,0 | 594 | 62,0 | 575 | 60,0 | 628 |
| 56,0 | 531 | 52,0 | 564 | 56,0 | 552 | 58,0 | 553 | 54,0 | 574 | 56,0 | 574 | 52,0 | 606 | 54,0 | 604 | 60,0 | 592 | 58,0 | 644 |
| 52,0 | 545 | 48,0 | 575 | 52,0 | 566 | 56,0 | 562 | 50,0 | 595 | 52,0 | 591 | 50,0 | 614 | 52,0 | 616 | 56,0 | 617 | 56,0 | 655 |
| 48,0 | 560 | 44,0 | 595 | 48,0 | 585 | 52,0 | 581 | 48,0 | 607 | 48,0 | 611 | 48,0 | 627 | 50,0 | 626 | 54,0 | 631 | 54,0 | 667 |
| 44,0 | 574 | 40,0 | 612 | 44,0 | 601 | 50,0 | 589 | 46,0 | 619 | 46,0 | 624 | 46,0 | 636 | 48,0 | 633 | 52,0 | 644 | 52,0 | 681 |
| 40,0 | 591 | 36,0 | 630 | 40,0 | 621 | 48,0 | 598 | 44,0 | 626 | 42,0 | 641 | 44,0 | 647 | 44,0 | 660 | 50,0 | 655 | 50,0 | 689 |
| 36,0 | 605 | 32,0 | 646 | 36,0 | 642 | 46,0 | 602 | 40,0 | 646 | 38,0 | 659 | 40,0 | 664 | 42,0 | 673 | 46,0 | 678 | 49,0 | 699 |
| 34,0 | 620 | 30,0 | 660 | 34,0 | 648 | 40,0 | 637 | 36,0 | 665 | 34,0 | 675 | 38,0 | 677 | 40,0 | 678 | 44,0 | 689 | | |
| 32,0 | 627 | 28,0 | 664 | 30,0 | 664 | 38,0 | 641 | 34,0 | 674 | 32,0 | 688 | 36,0 | 687 | 38,0 | 689 | | | | |
| 30,0 | 638 | | | 28,0 | 675 | 34,0 | 661 | 32,0 | 684 | 30,0 | 692 | | | | | | | | |
| 28,0 | 641 | | | 26,0 | 682 | 32,0 | 675 | | | | | | | | | | | | |

NC(15%) + CC(85%) AMOSTRA NÃO IRRADIADA

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t (°C) | 66,0 | 64,0 | 62,0 | 60,0 | 58,0 | 56,0 | 54,0 | 52,0 | 50,0 | 48,0 | 46,0 | 44,0 | 42,0 | 40,0 | 38,0 | 36,0 | 34,0 |
| λ (nm) | 496 | 507 | 522 | 536 | 541 | 552 | 560 | 569 | 581 | 585 | 595 | 607 | 615 | 625 | 635 | 642 | 657 |



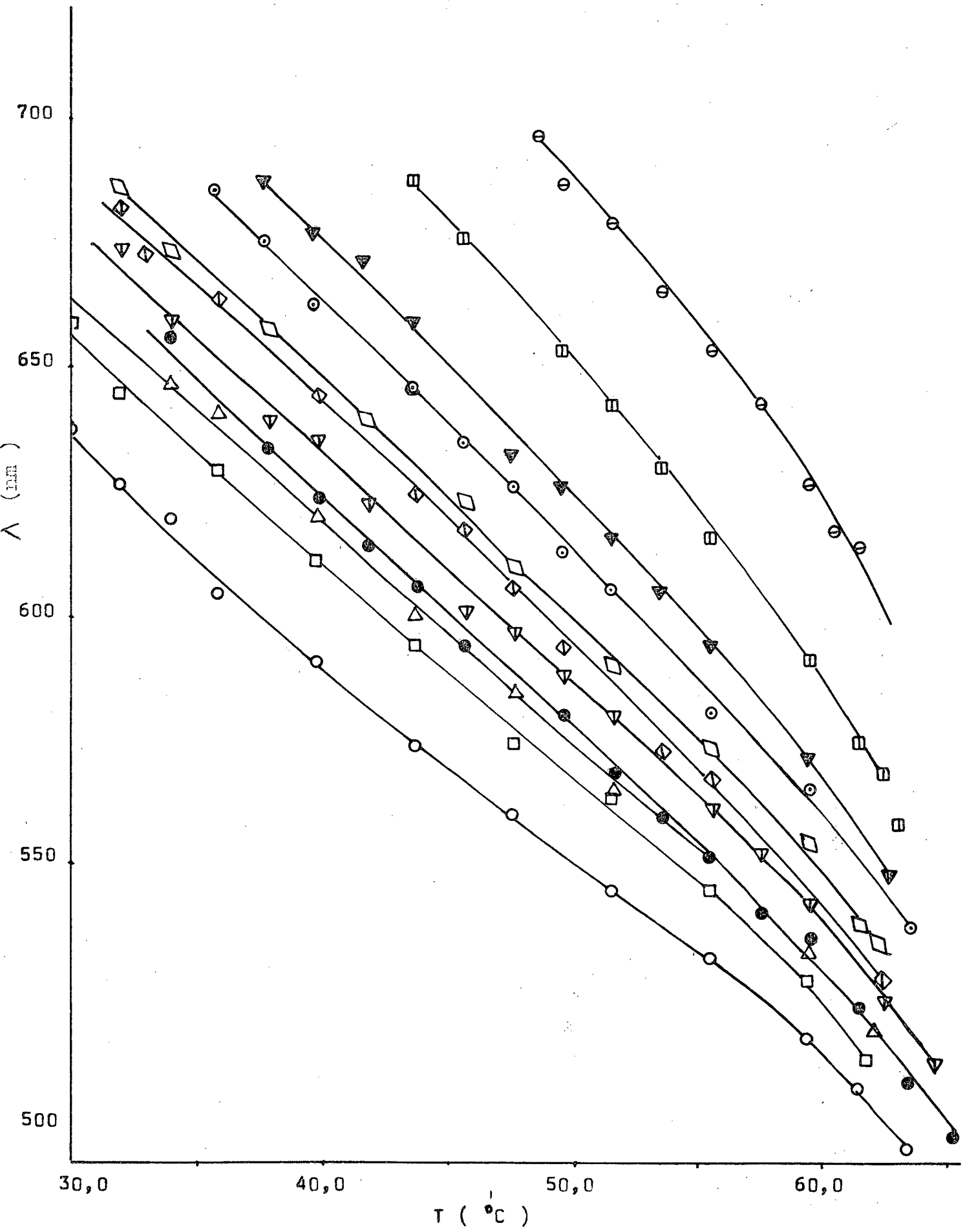


TABELA IX

NC (15%) + CC (85%) IRRADIADOS COM ENERGIA DE 8 MeV

| 0,75 Krad | | 1,50 Krad | | 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 62,4 | 501 | 62,0 | 514 | 61,0 | 534 | 62,4 | 530 | 62,0 | 539 | 62,7 | 546 | 62,4 | 547 | 62,7 | 555 | 62,4 | 557 | 63,2 | 576 |
| 60,0 | 520 | 60,0 | 527 | 60,0 | 539 | 60,0 | 548 | 60,0 | 553 | 60,0 | 558 | 60,0 | 568 | 62,0 | 562 | 62,0 | 563 | 60,0 | 604 |
| 56,0 | 539 | 58,0 | 535 | 58,0 | 546 | 58,0 | 557 | 58,0 | 560 | 58,0 | 568 | 58,0 | 579 | 60,0 | 575 | 60,0 | 578 | 58,0 | 611 |
| 52,0 | 556 | 56,0 | 546 | 54,0 | 567 | 56,0 | 566 | 56,0 | 574 | 56,0 | 581 | 56,0 | 585 | 58,0 | 585 | 58,0 | 594 | 56,0 | 630 |
| 48,0 | 569 | 54,0 | 552 | 50,0 | 586 | 54,0 | 575 | 54,0 | 582 | 54,0 | 590 | 54,0 | 598 | 56,0 | 595 | 56,0 | 602 | 54,0 | 646 |
| 44,0 | 582 | 50,0 | 568 | 48,0 | 595 | 50,0 | 594 | 50,0 | 604 | 50,0 | 612 | 50,0 | 622 | 54,0 | 607 | 54,0 | 622 | 52,0 | 651 |
| 40,0 | 605 | 48,0 | 577 | 44,0 | 609 | 48,0 | 604 | 48,0 | 613 | 46,0 | 631 | 48,0 | 632 | 50,0 | 624 | 50,0 | 639 | 50,0 | 666 |
| 38,0 | 609 | 46,0 | 586 | 40,0 | 630 | 46,0 | 616 | 46,0 | 623 | 44,0 | 642 | 46,0 | 644 | 48,0 | 642 | 48,0 | 649 | 48,0 | 674 |
| 36,0 | 618 | 44,0 | 594 | 38,0 | 641 | 44,0 | 621 | 44,0 | 633 | 42,0 | 652 | 44,0 | 657 | 46,0 | 654 | 46,0 | 665 | 46,0 | 684 |
| 34,0 | 625 | 42,0 | 599 | 36,0 | 649 | 42,0 | 628 | 42,0 | 639 | 40,0 | 660 | 42,0 | 662 | 44,0 | 664 | 44,0 | 672 | 44,0 | 695 |
| 32,0 | 634 | 40,0 | 611 | 34,0 | 665 | 40,0 | 640 | 40,0 | 651 | 38,0 | 670 | 40,0 | 672 | | | 42,0 | 679 | | |
| 30,0 | 640 | 36,0 | 626 | 34,0 | | 38,0 | 654 | 36,0 | 670 | 36,0 | 681 | | | | | 40,0 | 690 | | |
| | | 34,0 | 635 | | | 36,0 | 660 | 34,0 | 678 | 34,0 | 685 | | | | | | | | |



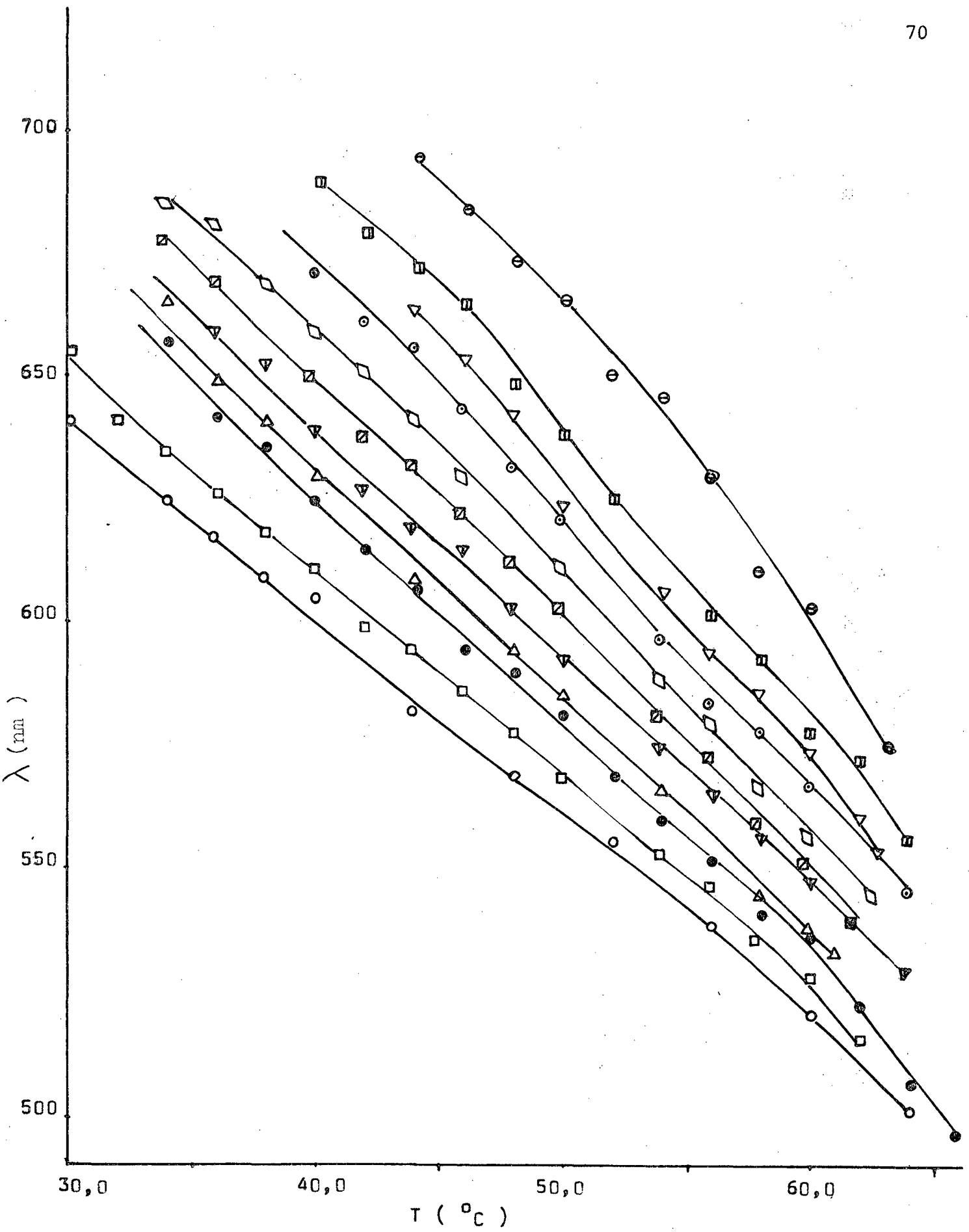
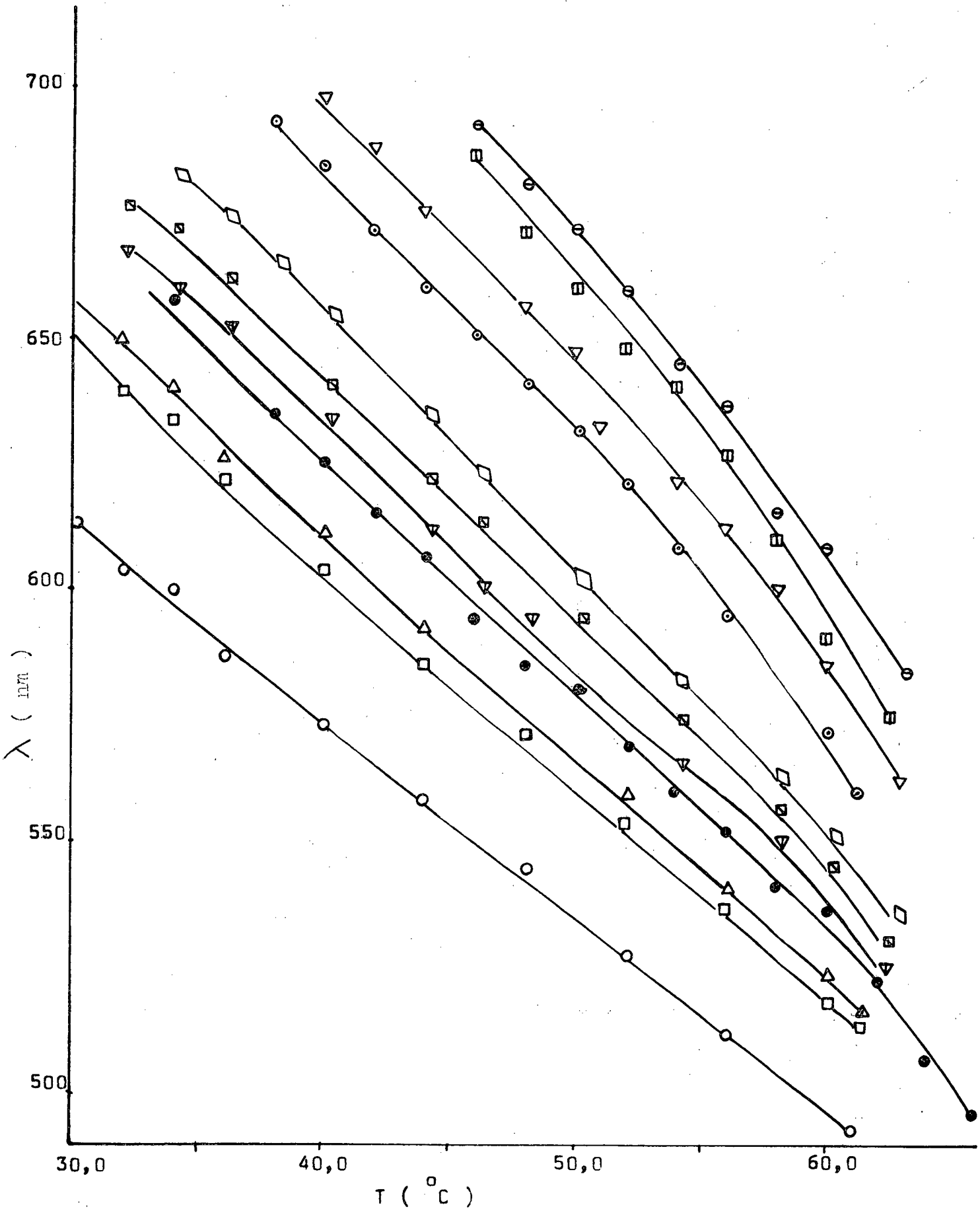


TABELA X

| 0,75 Krad | | 1,50 Krad | | 2,25 Krad | | 3,00 Krad | | 3,75 Krad | | 4,50 Krad | | 5,25 Krad | | 6,00 Krad | | 6,75 Krad | | 7,50 Krad | |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) | t (°C) | λ (nm) |
| 60,1 | 493 | 61,5 | 513 | 61,4 | 517 | 62,0 | 525 | 62,2 | 530 | 62,7 | 536 | 61,5 | 513 | 63,0 | 562 | 62,4 | 575 | 63,2 | 584 |
| 56,0 | 512 | 50,0 | 518 | 60,0 | 524 | 60,0 | 540 | 60,0 | 545 | 60,0 | 551 | 60,0 | 518 | 60,0 | 585 | 60,0 | 591 | 60,0 | 609 |
| 52,0 | 527 | 56,0 | 537 | 56,0 | 541 | 58,0 | 550 | 58,0 | 555 | 58,0 | 563 | 56,0 | 537 | 58,0 | 600 | 58,0 | 610 | 58,0 | 616 |
| 48,0 | 545 | 52,0 | 554 | 52,0 | 560 | 54,0 | 565 | 54,0 | 574 | 54,0 | 582 | 52,0 | 554 | 56,0 | 612 | 56,0 | 627 | 56,0 | 637 |
| 44,0 | 558 | 48,0 | 572 | 48,0 | 571 | 50,0 | 583 | 50,0 | 594 | 50,0 | 603 | 48,0 | 572 | 54,0 | 622 | 54,0 | 641 | 54,0 | 645 |
| 40,0 | 573 | 44,0 | 585 | 44,0 | 593 | 48,0 | 594 | 46,0 | 613 | 46,0 | 623 | 44,0 | 585 | 52,0 | 632 | 52,0 | 648 | 52,0 | 660 |
| 36,0 | 587 | 40,0 | 604 | 40,0 | 612 | 46,0 | 600 | 44,0 | 621 | 44,0 | 635 | 40,0 | 604 | 50,0 | 647 | 50,0 | 660 | 50,0 | 672 |
| 34,0 | 600 | 36,0 | 623 | 36,0 | 626 | 44,0 | 612 | 40,0 | 640 | 40,0 | 654 | 36,0 | 623 | 48,0 | 656 | 48,0 | 671 | 48,0 | 681 |
| 32,0 | 604 | 34,0 | 634 | 34,0 | 640 | 40,0 | 634 | 36,0 | 661 | 38,0 | 665 | 34,0 | 634 | 44,0 | 675 | 46,0 | 686 | 46,0 | 693 |
| 30,0 | 614 | 32,0 | 639 | 32,0 | 650 | 36,0 | 652 | 34,0 | 671 | 36,0 | 674 | 32,0 | 639 | 42,0 | 688 | | | | |
| | | 30,0 | 651 | 20,0 | 657 | 34,0 | 660 | 32,0 | 675 | 34,0 | 682 | 30,0 | 651 | 40,0 | 698 | | | | |
| | | 28,0 | 658 | 28,8 | 666 | 32,0 | 667 | | | | | 28,0 | 658 | | | | | | |







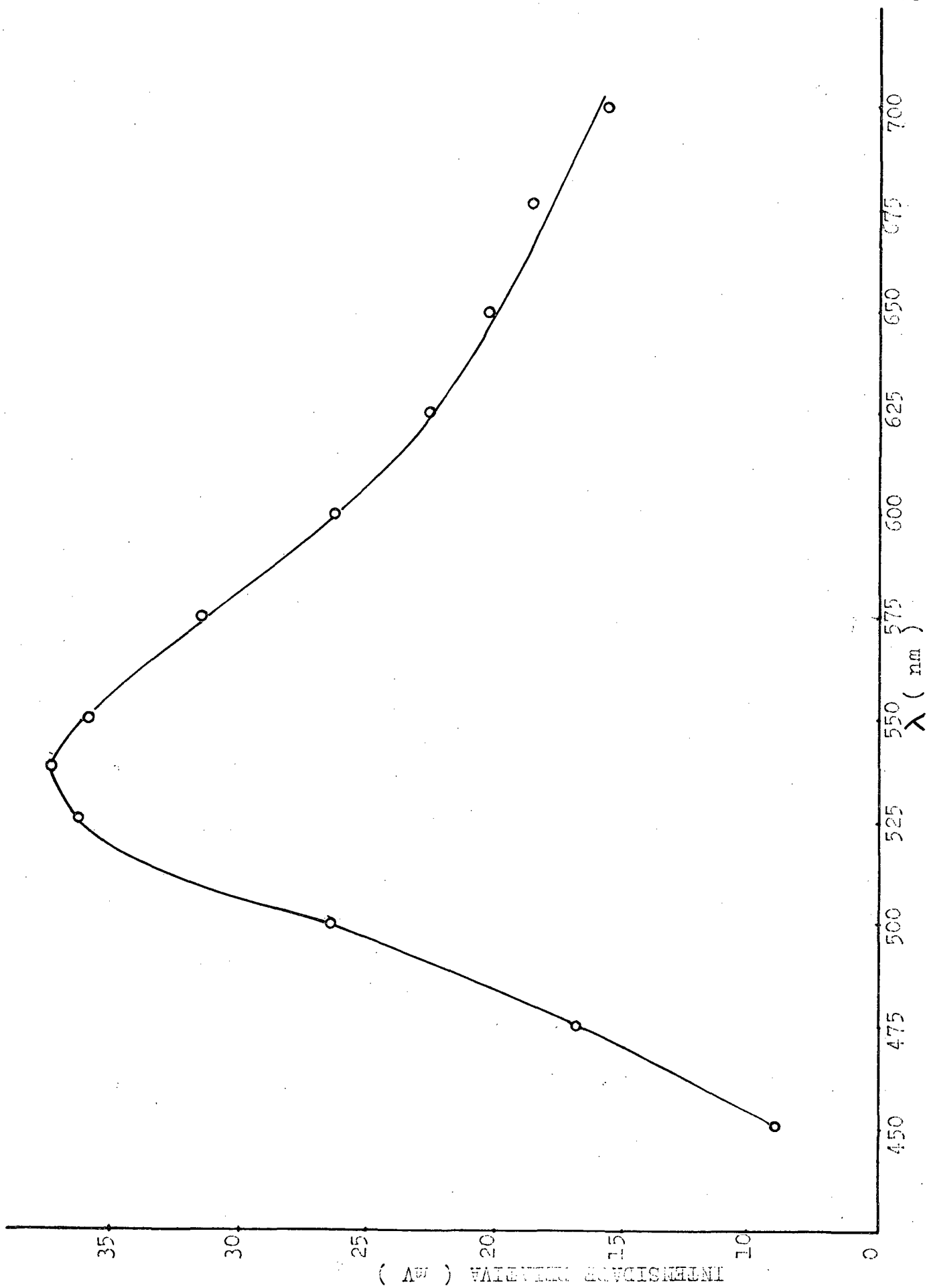
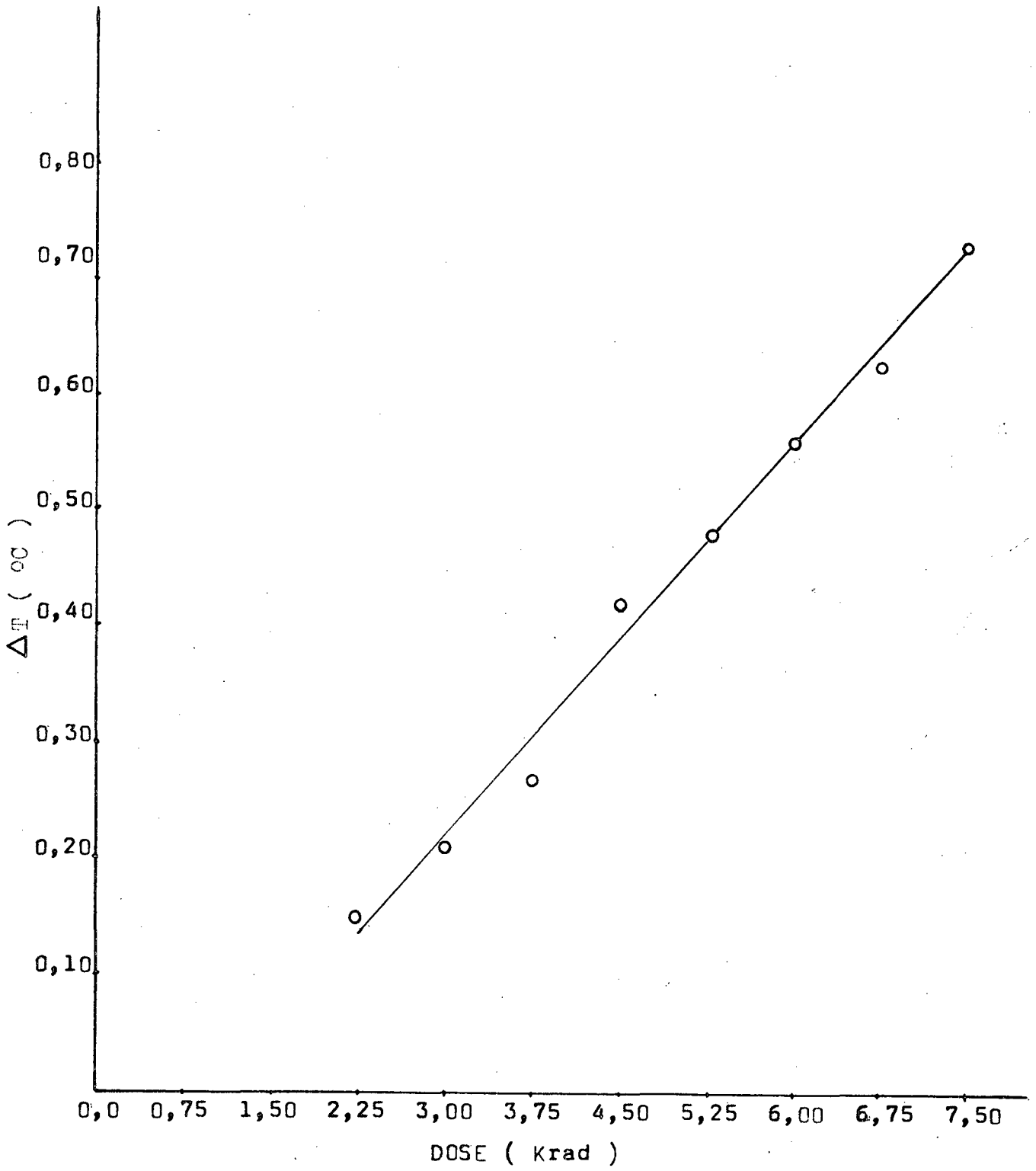
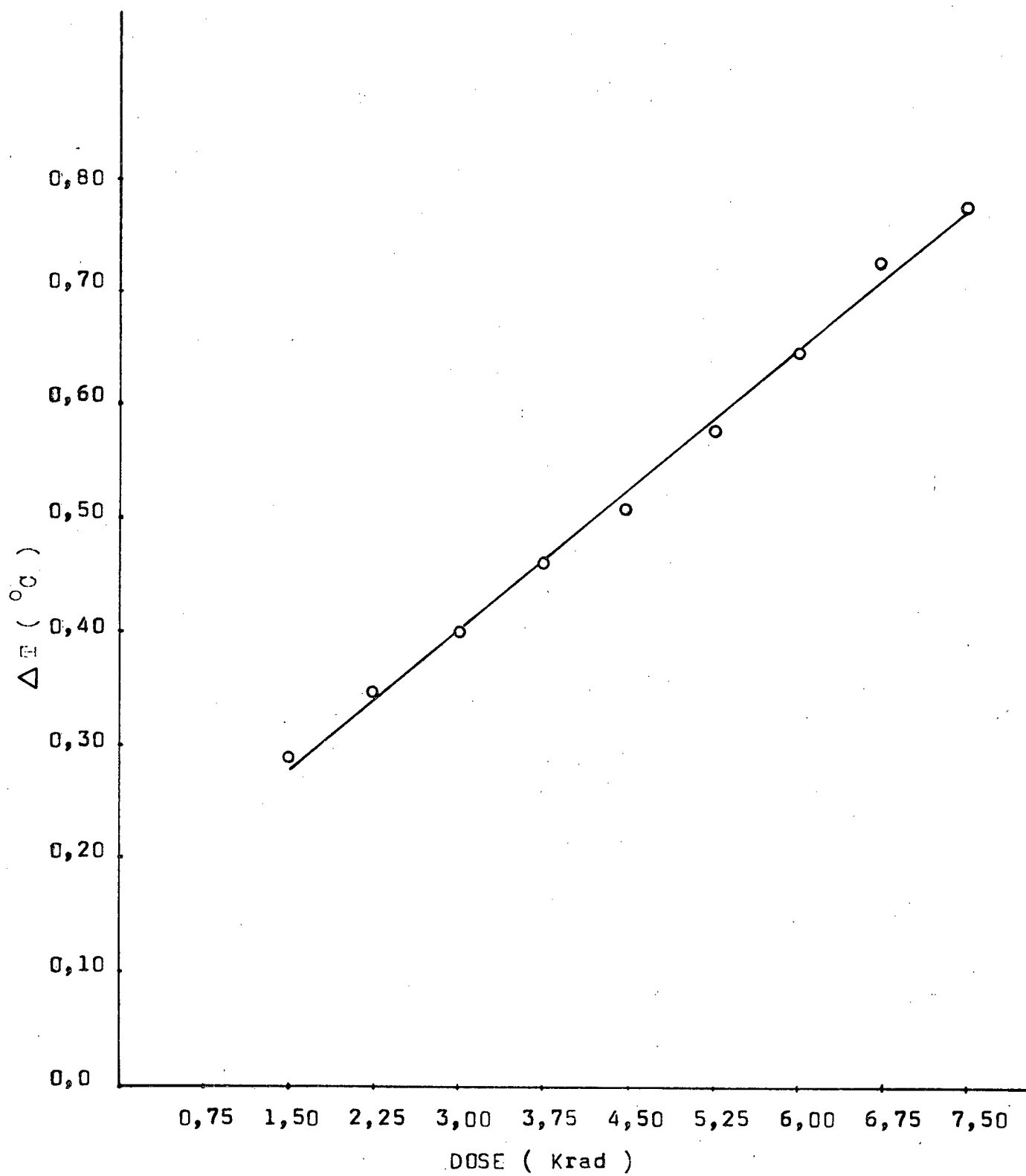


TABELA XI

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA O NC - $\lambda = 500$ nm | | | | | |
|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | Dose (Krad) | ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | Dose (Krad) | ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | Dose (Krad) |
| 0 | 0 | 0,29 | 1,50 | 0,43 | 0,75 |
| 0,15 | 2,25 | 0,35 | 2,25 | 0,54 | 1,50 |
| 0,21 | 3,00 | 0,40 | 3,00 | 0,66 | 2,25 |
| 0,27 | 3,75 | 0,46 | 3,75 | 0,72 | 3,00 |
| 0,42 | 4,50 | 0,51 | 4,50 | 0,86 | 3,75 |
| 0,48 | 5,25 | 0,58 | 5,25 | 0,93 | 4,50 |
| 0,56 | 6,00 | 0,65 | 6,00 | 1,01 | 5,25 |
| 0,63 | 6,75 | 0,73 | 6,75 | 1,11 | 6,00 |
| 0,73 | 7,50 | 0,78 | 7,50 | 1,12 | 6,75 |
| | | | | 1,29 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 0,11 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,08 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,13 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | |







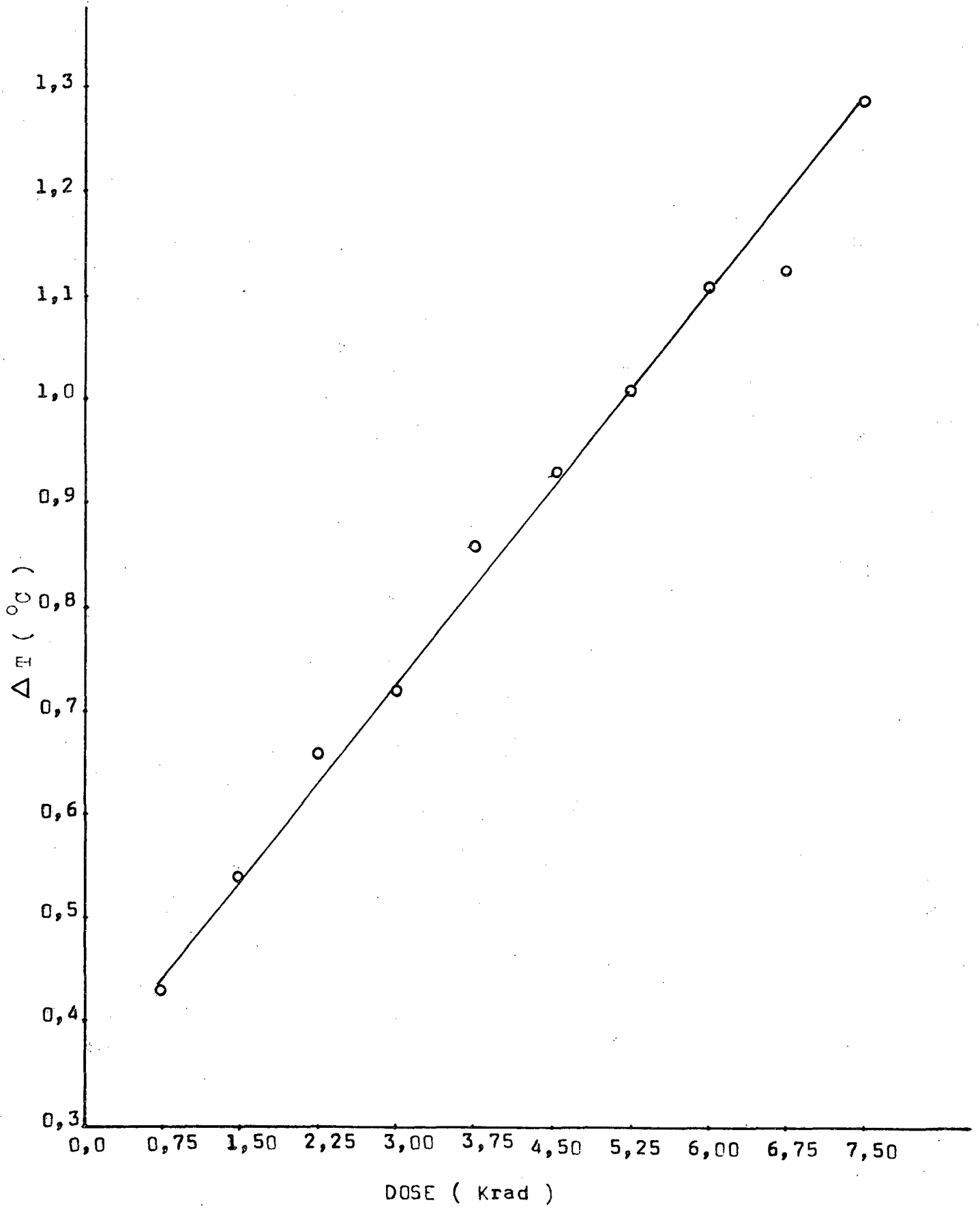
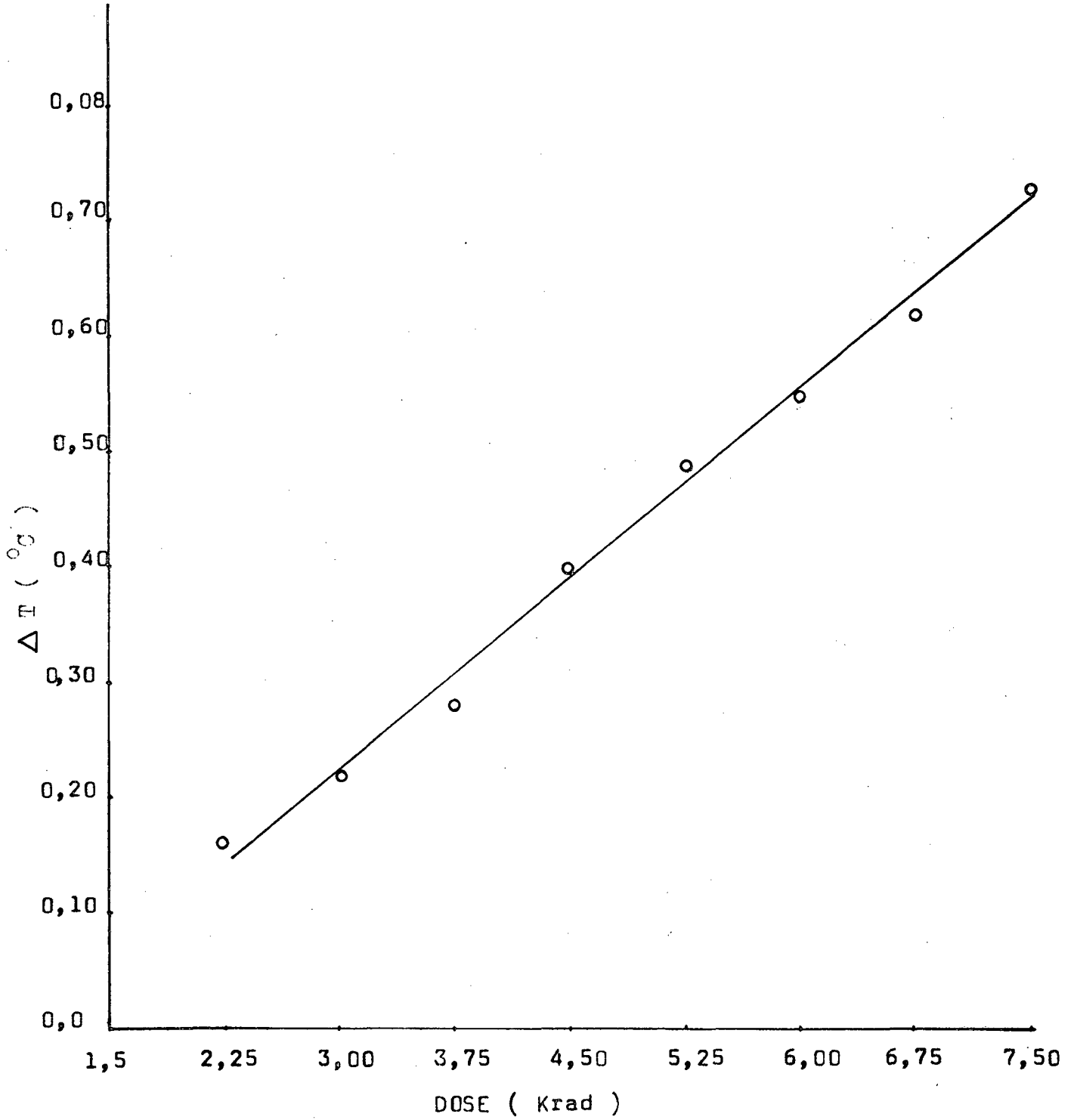
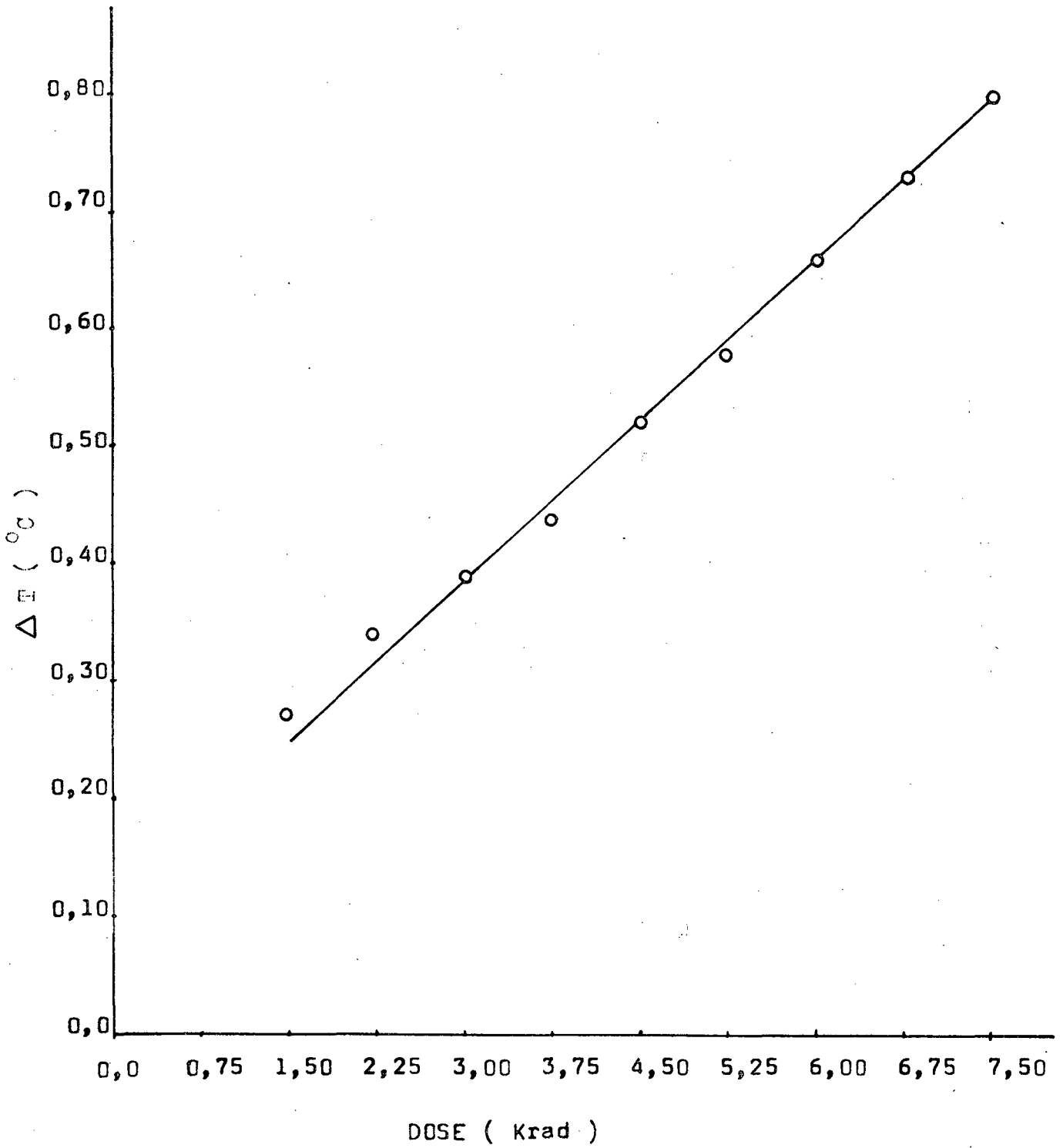


TABELA XII

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA O NC - $\lambda = 539$ nm | | | | | |
|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | Dose (Krad) | ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | Dose (Krad) | ΔT ($^{\circ}\text{C}$) | Dose (Krad) |
| 0,16 | 2,25 | 0,27 | 1,50 | 0,43 | 0,75 |
| 0,22 | 3,00 | 0,34 | 2,25 | 0,53 | 1,50 |
| 0,28 | 3,75 | 0,39 | 3,00 | 0,69 | 2,25 |
| 0,40 | 4,50 | 0,44 | 3,75 | 0,75 | 3,00 |
| 0,49 | 5,25 | 0,52 | 4,50 | 0,88 | 3,75 |
| 0,55 | 6,00 | 0,58 | 5,25 | 0,97 | 4,50 |
| 0,62 | 6,75 | 0,66 | 6,00 | 1,02 | 5,25 |
| 0,73 | 7,50 | 0,73 | 6,75 | 1,12 | 6,00 |
| | | 0,80 | 7,50 | 1,27 | 6,75 |
| | | | | 1,34 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 0,11 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,09 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,14 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | |







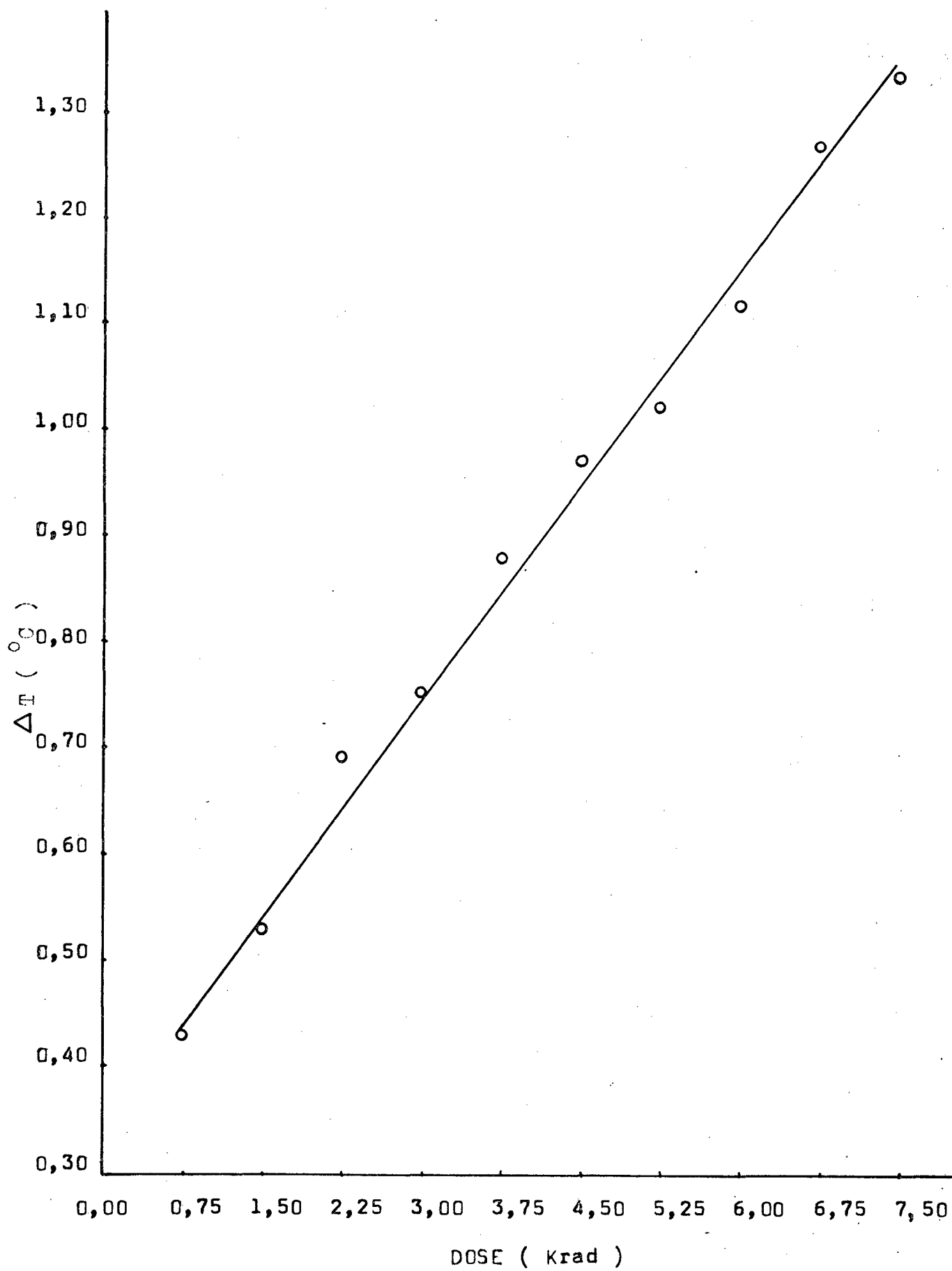
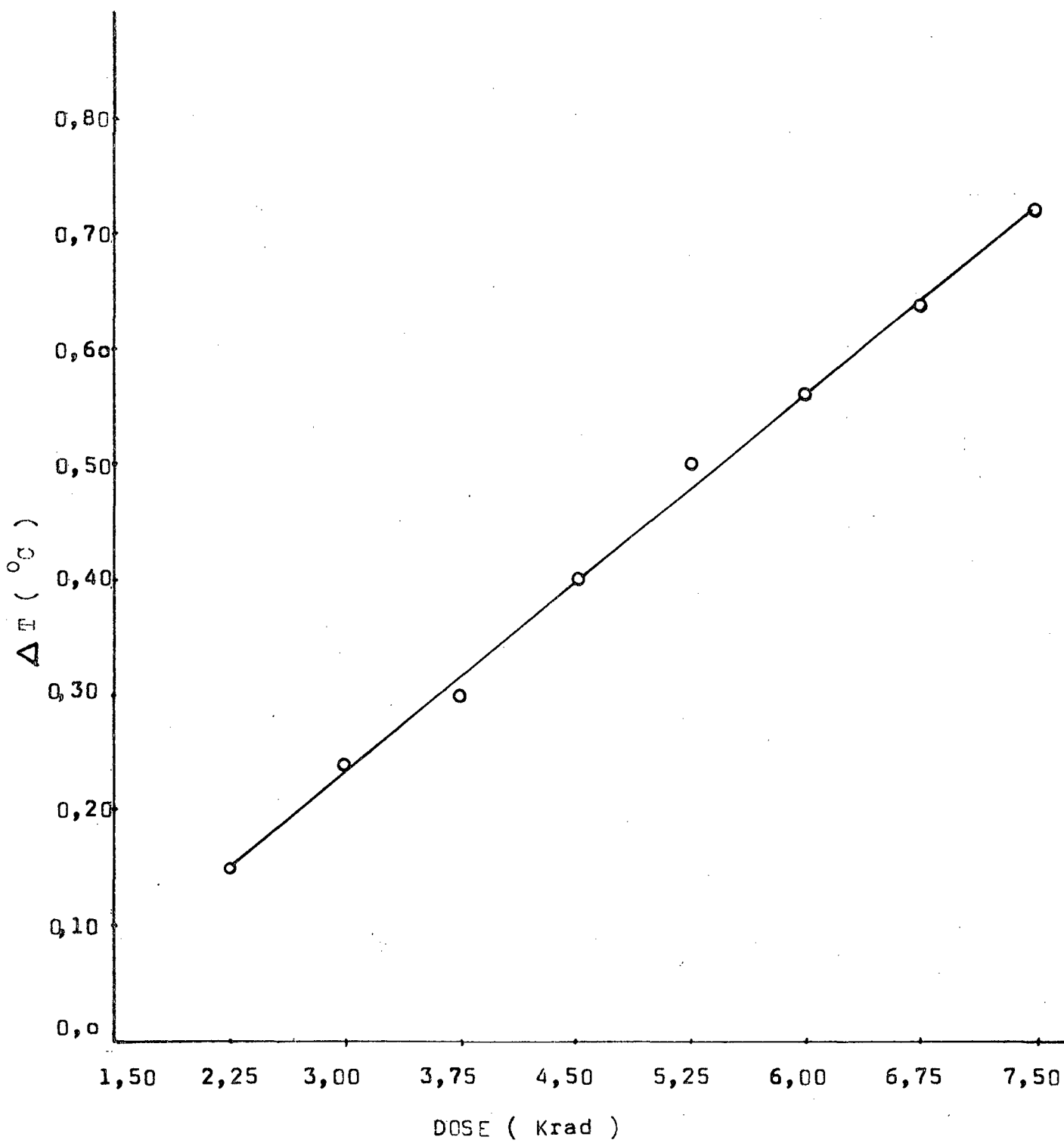
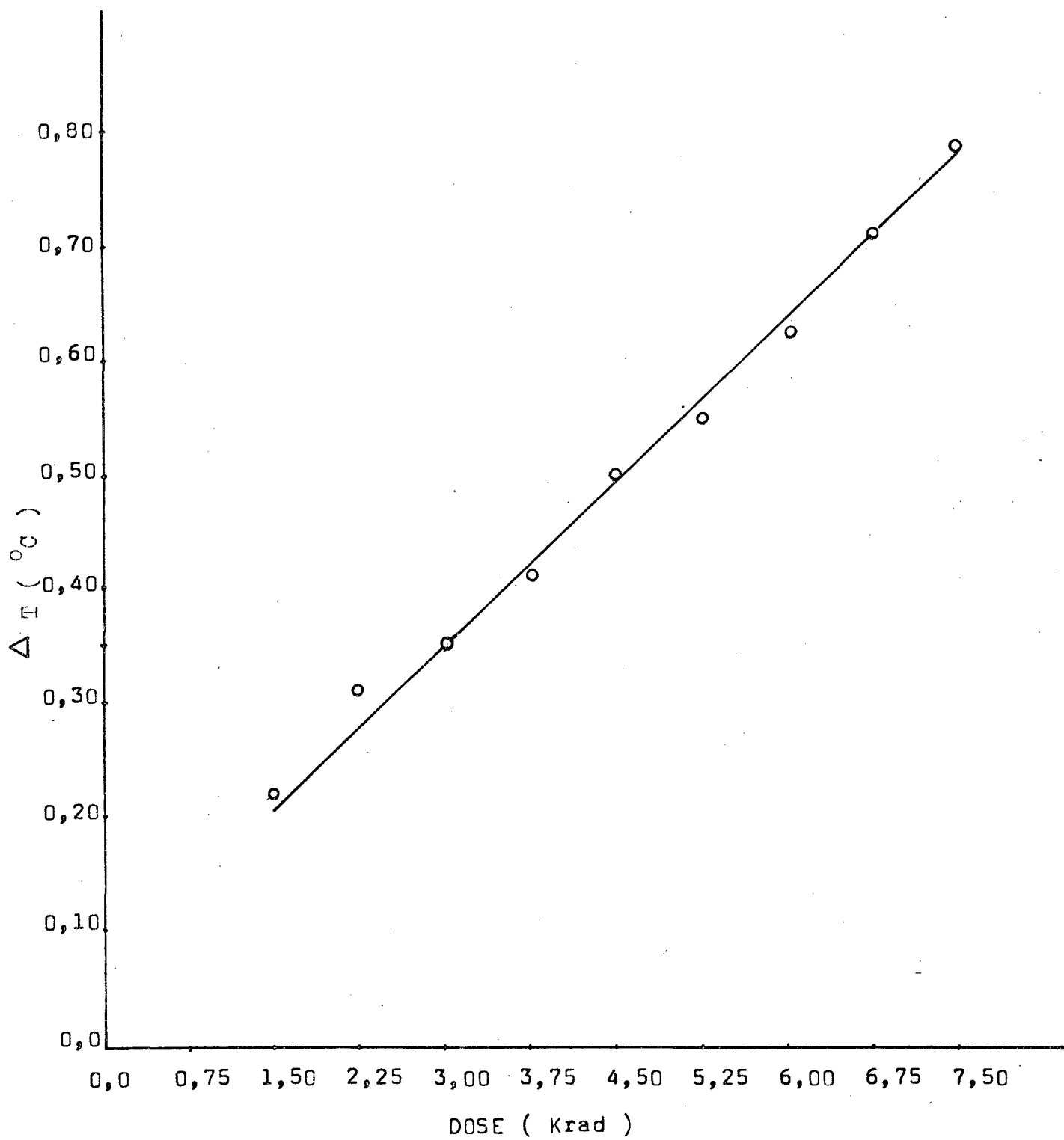


TABELA XIII

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA O NC - $\lambda = 600$ nm | | | | | |
|---|-------------|---|-------------|---|-------------|
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) |
| 0,15 | 2,25 | 0,22 | 1,50 | 0,49 | 0,75 |
| 0,24 | 3,00 | 0,31 | 2,25 | 0,57 | 1,50 |
| 0,30 | 3,75 | 0,35 | 3,00 | 0,64 | 2,25 |
| 0,40 | 4,50 | 0,41 | 3,75 | 0,69 | 3,00 |
| 0,50 | 5,25 | 0,50 | 4,50 | 0,82 | 3,75 |
| 0,56 | 6,00 | 0,55 | 5,25 | 0,90 | 4,50 |
| 0,64 | 6,75 | 0,62 | 6,00 | 1,02 | 5,25 |
| 0,72 | 7,50 | 0,71 | 6,75 | 1,10 | 6,00 |
| | | 0,79 | 7,50 | 1,19 | 6,75 |
| | | | | 1,28 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 0,11 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,10 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,12 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | |







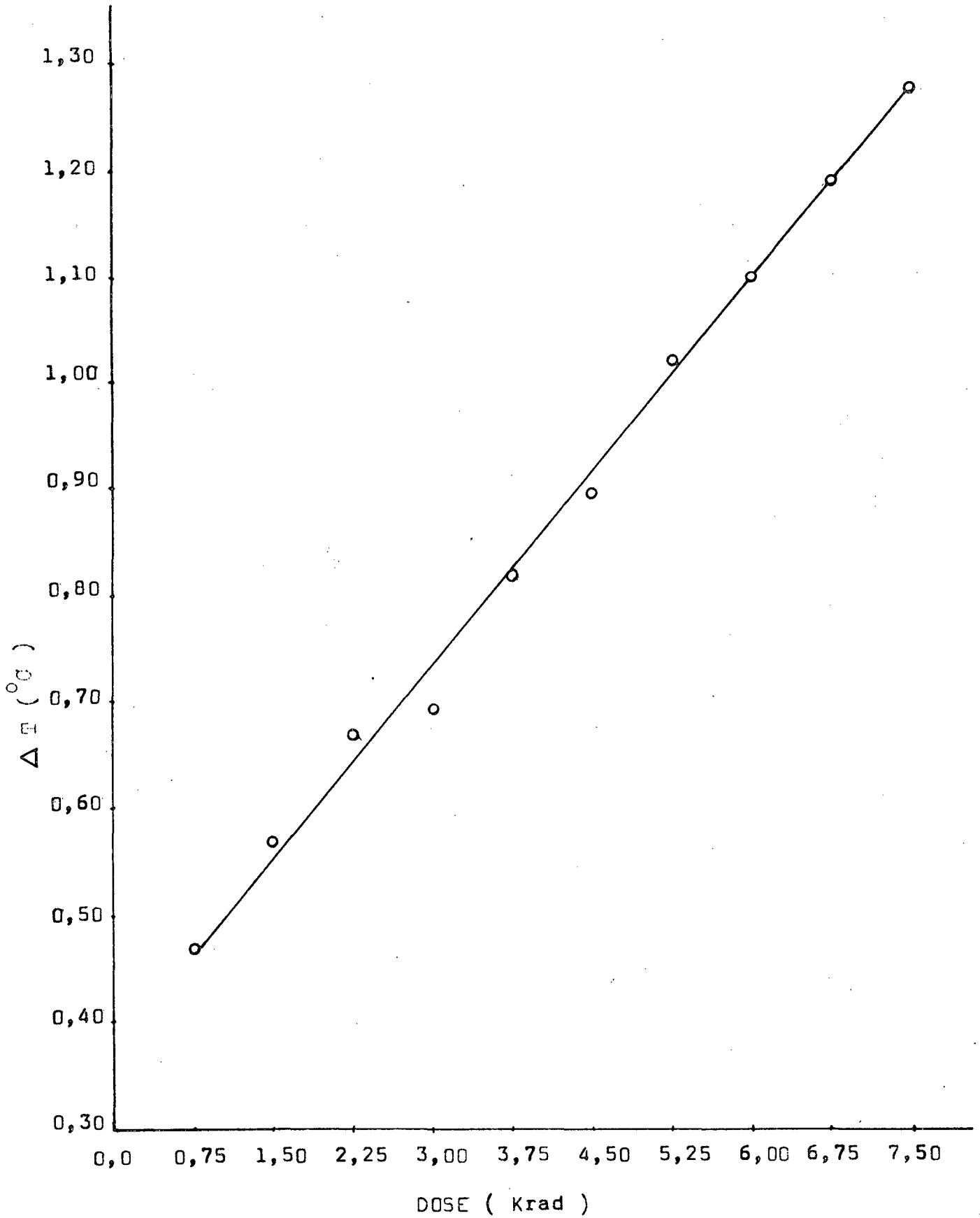
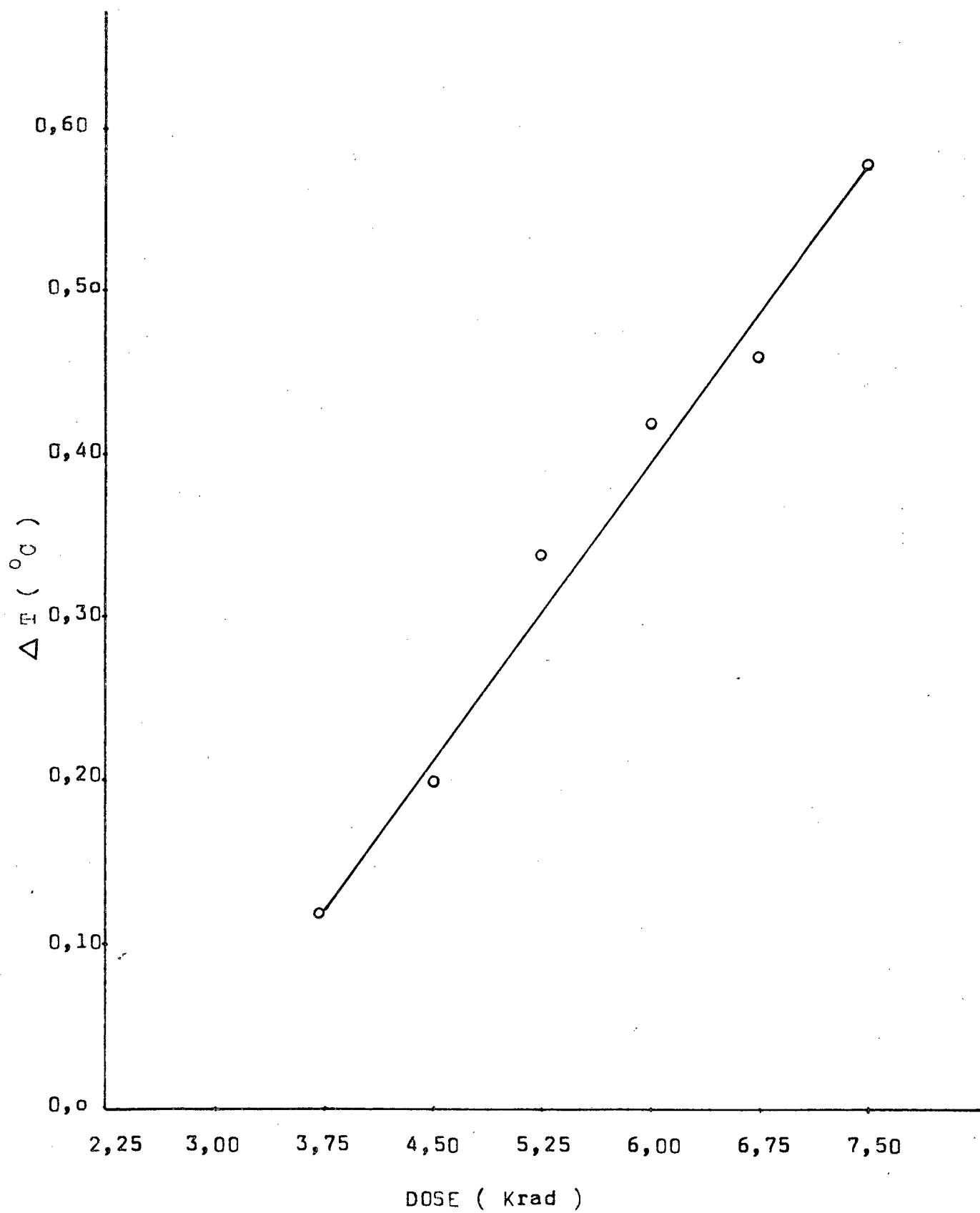
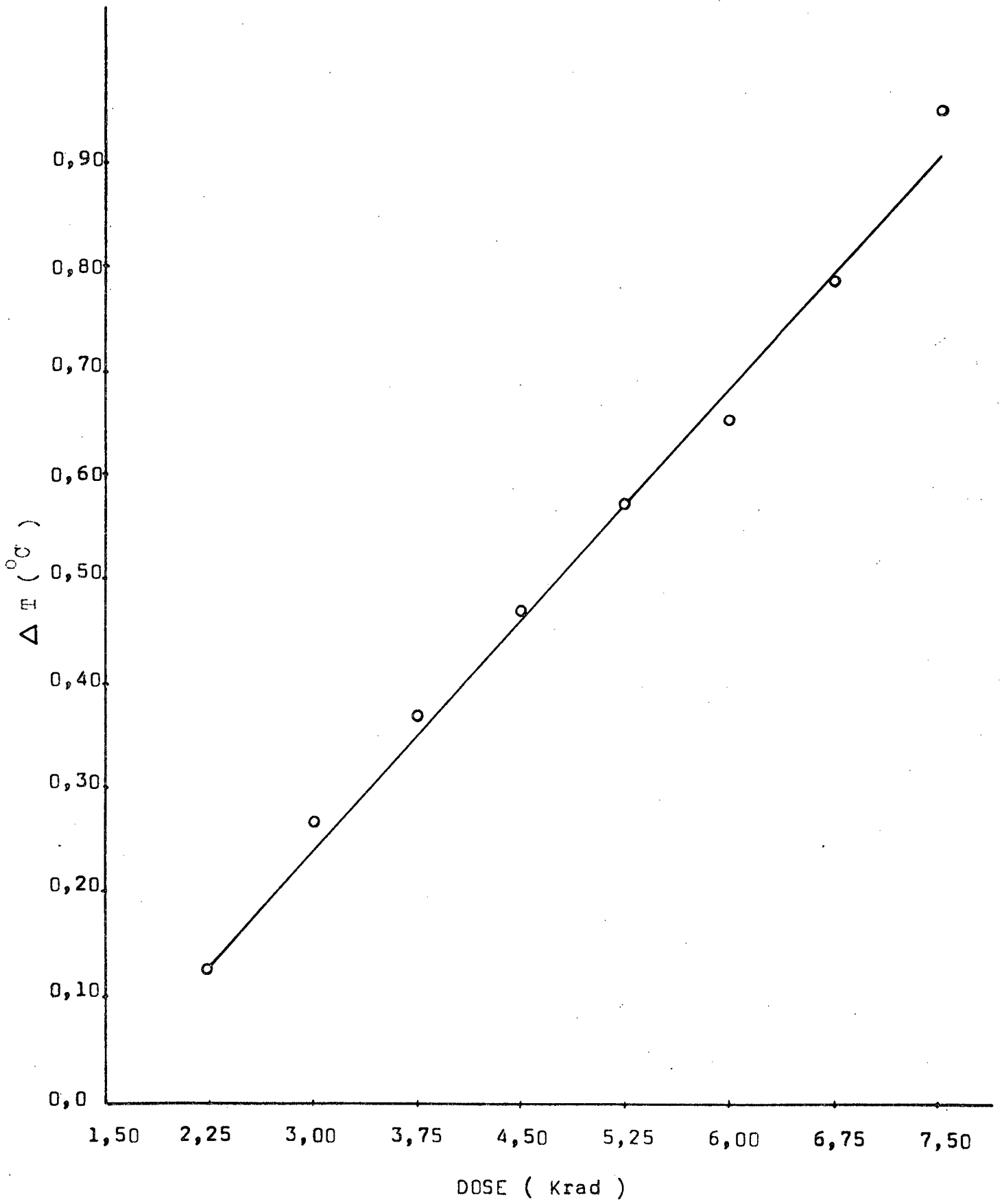


TABELA XIV

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA A MISTURA | | | | | |
|--|-------------|---|-------------|---|-------------|
| NC(90%) + CC(10%) - COMPRIMENTO DE ONDA $\lambda = 500$ nm | | | | | |
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) |
| 0,12 | 3,75 | 0,13 | 2,26 | 0,43 | 1,50 |
| 0,20 | 4,50 | 0,27 | 3,00 | 0,51 | 2,25 |
| 0,34 | 5,25 | 0,37 | 3,75 | 0,61 | 3,00 |
| 0,42 | 6,00 | 0,47 | 4,50 | 0,69 | 3,75 |
| 0,46 | 6,75 | 0,57 | 5,25 | 0,75 | 4,50 |
| 0,58 | 7,50 | 0,65 | 6,00 | 0,81 | 5,25 |
| | | 0,79 | 6,75 | 0,89 | 6,00 |
| | | 0,95 | 7,50 | 1,01 | 6,75 |
| | | | | 1,13 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 0,12 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,15 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,12 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | |







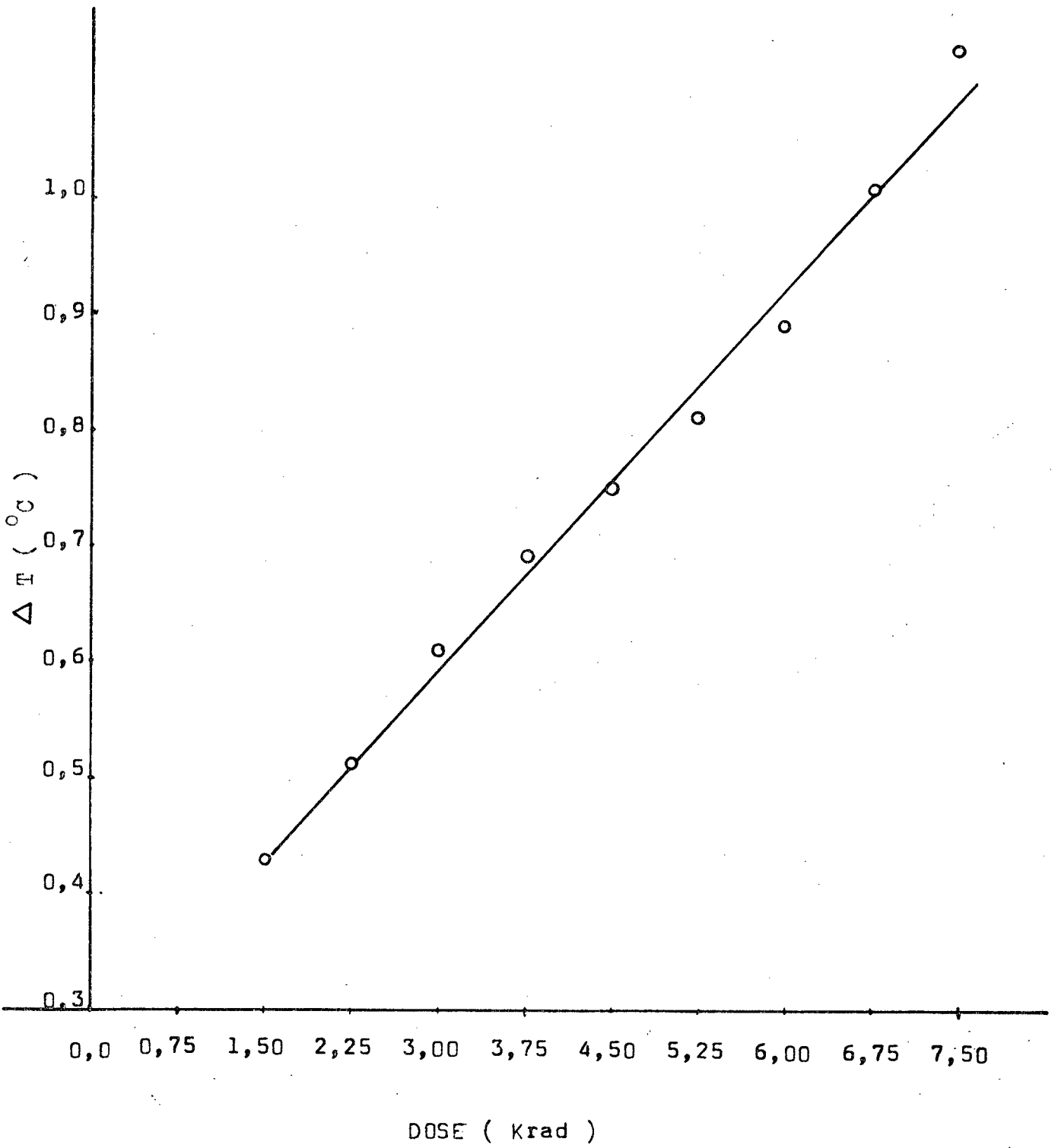
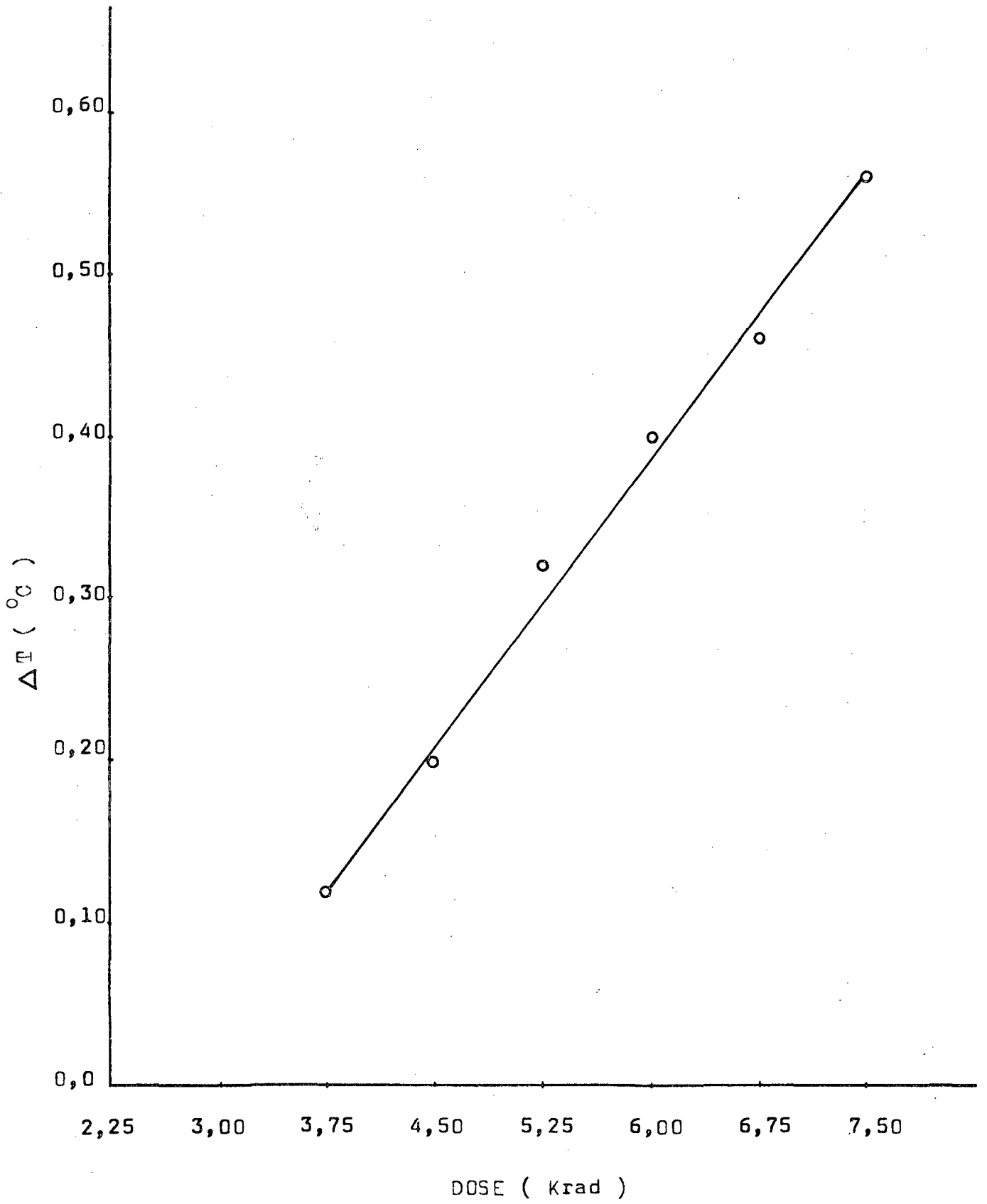
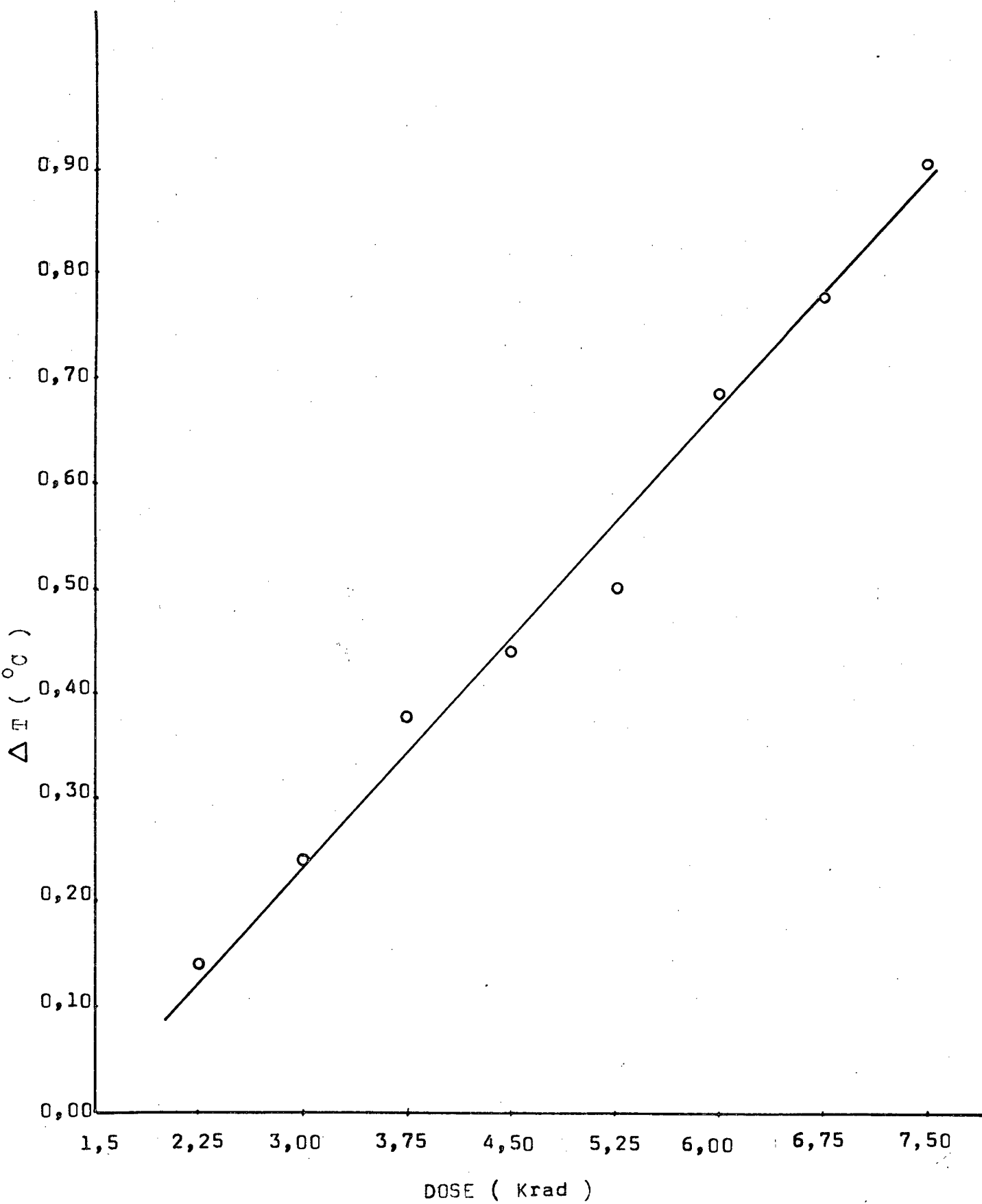


TABELA XV

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA A MISTURA | | | | | |
|--|-------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| NC (90%) + CC (10%) - COMPRIMENTO DE ONDA $\lambda = 539$ nm | | | | | |
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| ΔT ($^{\circ}C$) | Dose (Krad) | ΔT ($^{\circ}C$) | Dose (Krad) | ΔT ($^{\circ}C$) | Dose (Krad) |
| 0,12 | 3,75 | 0,14 | 2,25 | 0,44 | 1,50 |
| 0,20 | 4,50 | 0,24 | 3,00 | 0,52 | 2,25 |
| 0,32 | 5,25 | 0,38 | 3,75 | 0,60 | 3,00 |
| 0,40 | 6,00 | 0,44 | 4,50 | 0,66 | 3,75 |
| 0,46 | 6,75 | 0,50 | 5,25 | 0,76 | 4,50 |
| 0,56 | 7,50 | 0,69 | 6,00 | 0,82 | 5,25 |
| | | 0,78 | 6,75 | 0,90 | 6,00 |
| | | 0,91 | 7,50 | 1,02 | 6,75 |
| | | | | 1,10 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 0,12 $^{\circ}C$ /Krad | | S = 0,15 $^{\circ}C$ /Krad | | S = 0,12 $^{\circ}C$ /Krad | |







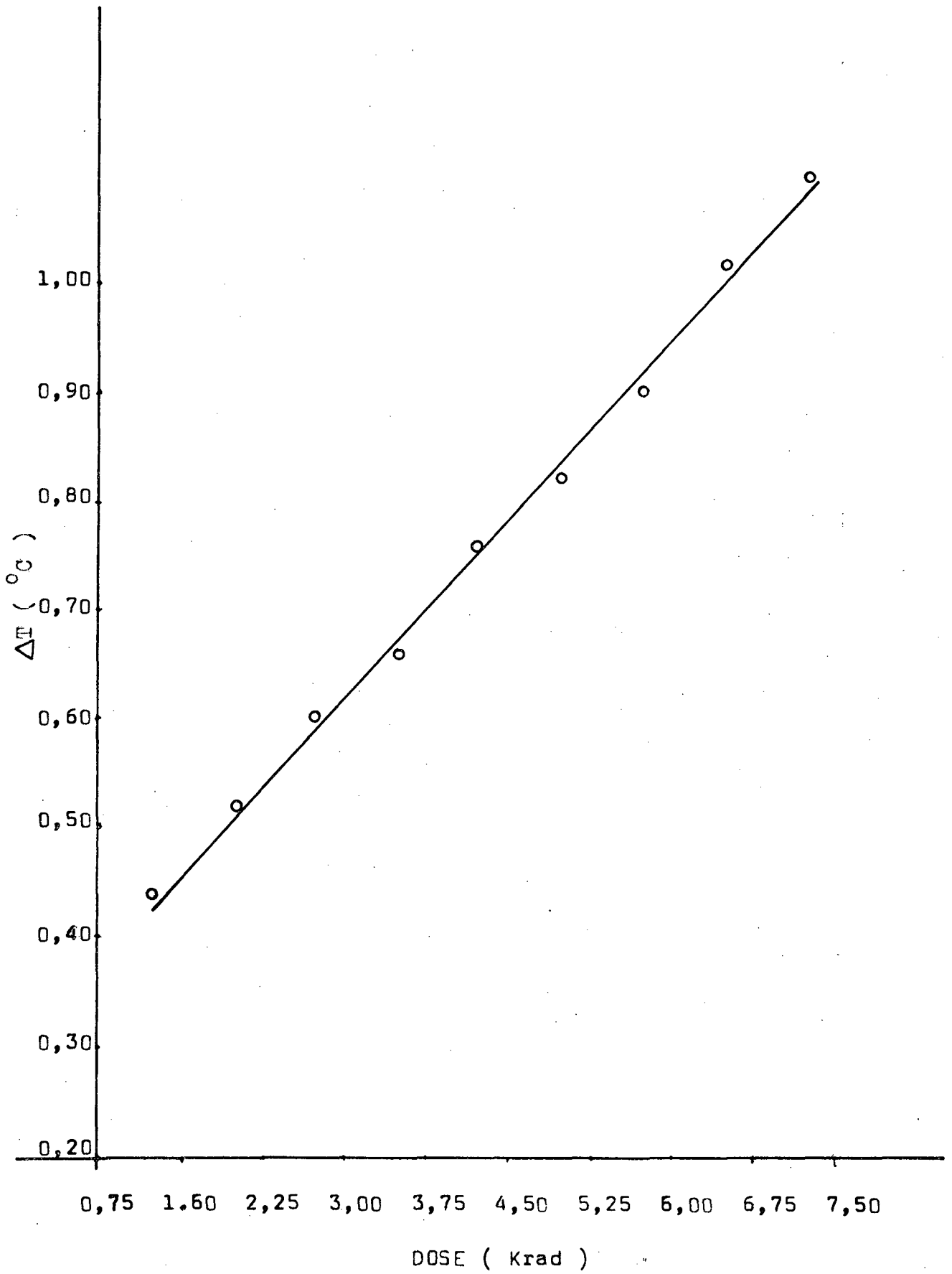
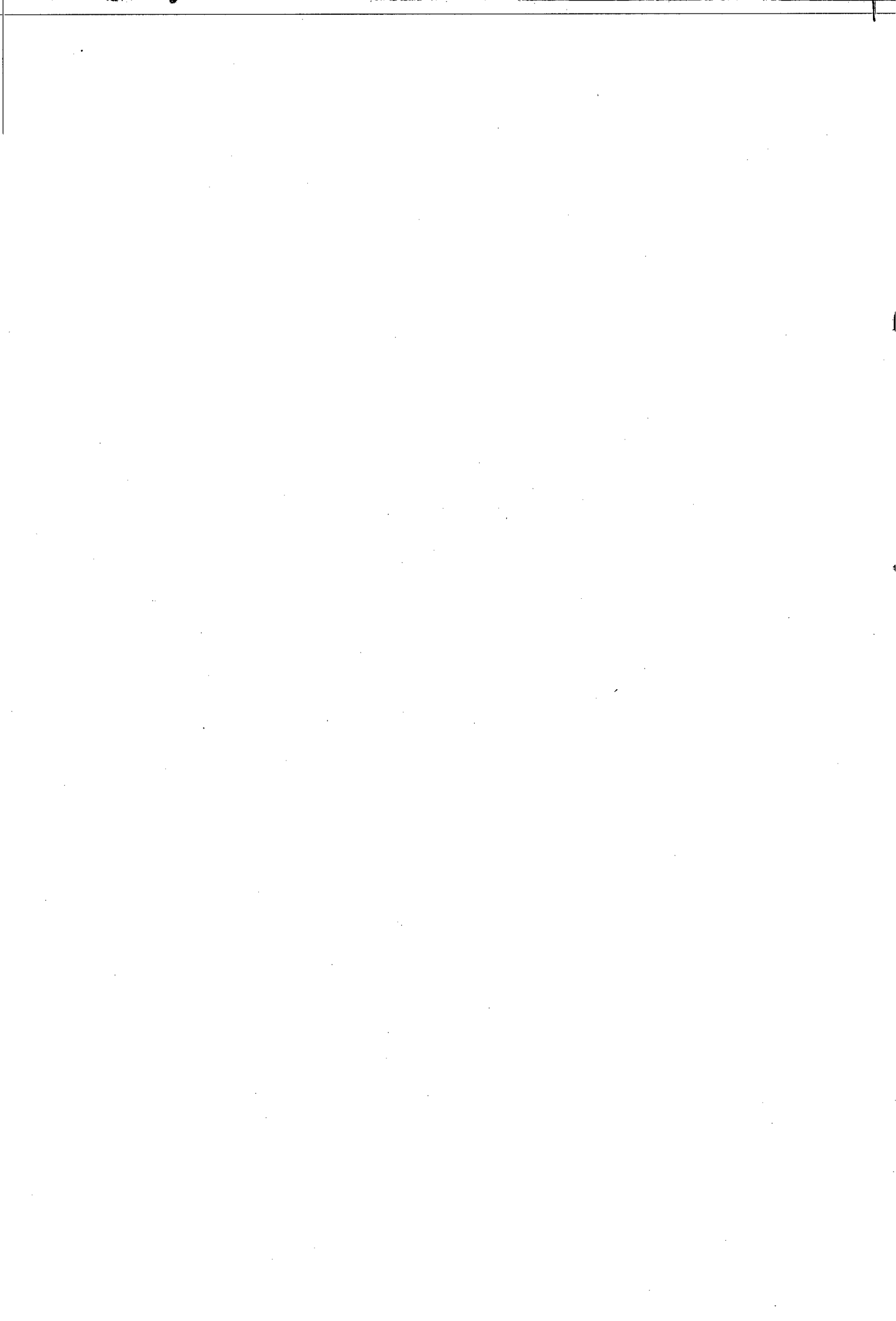
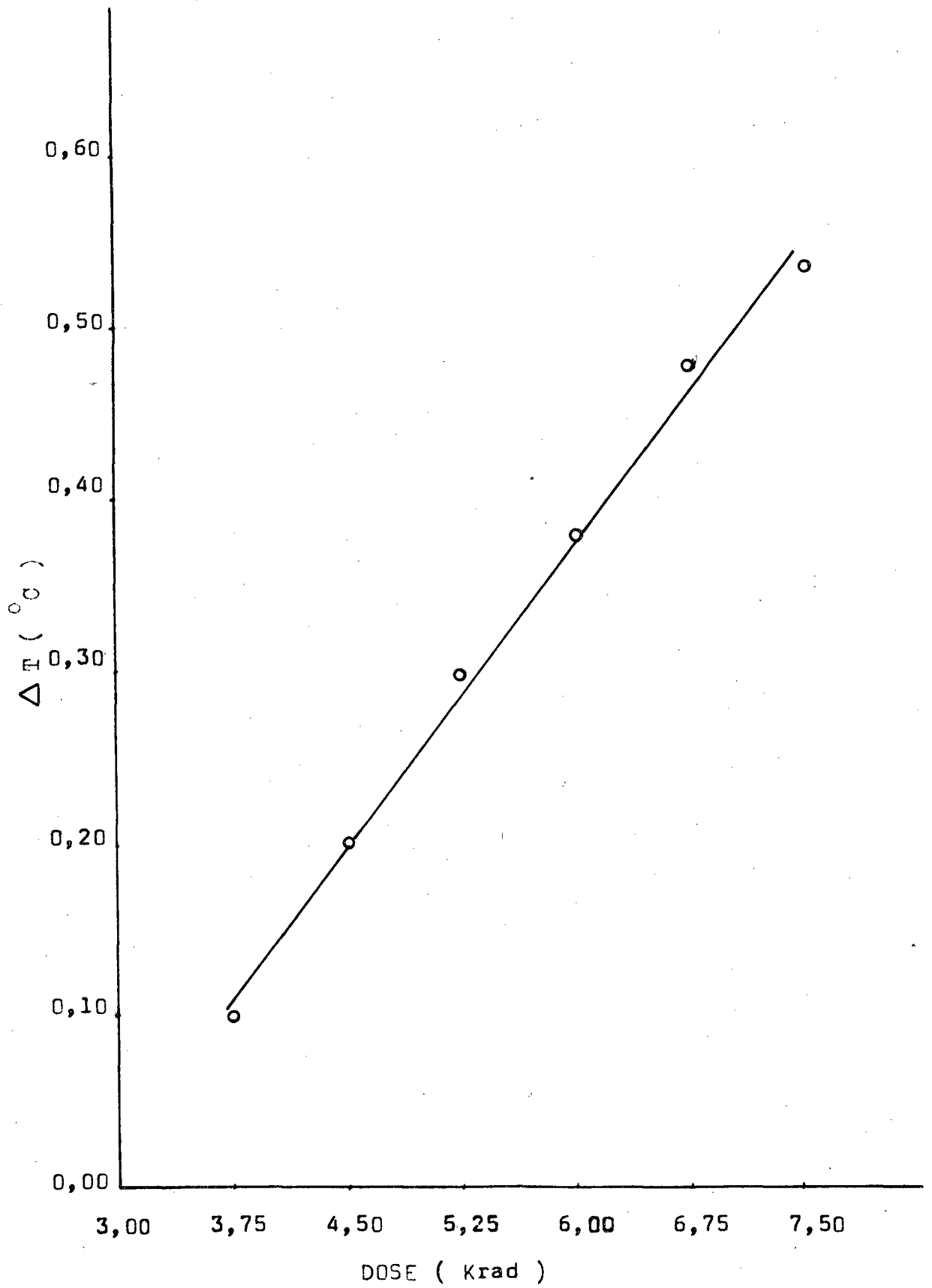
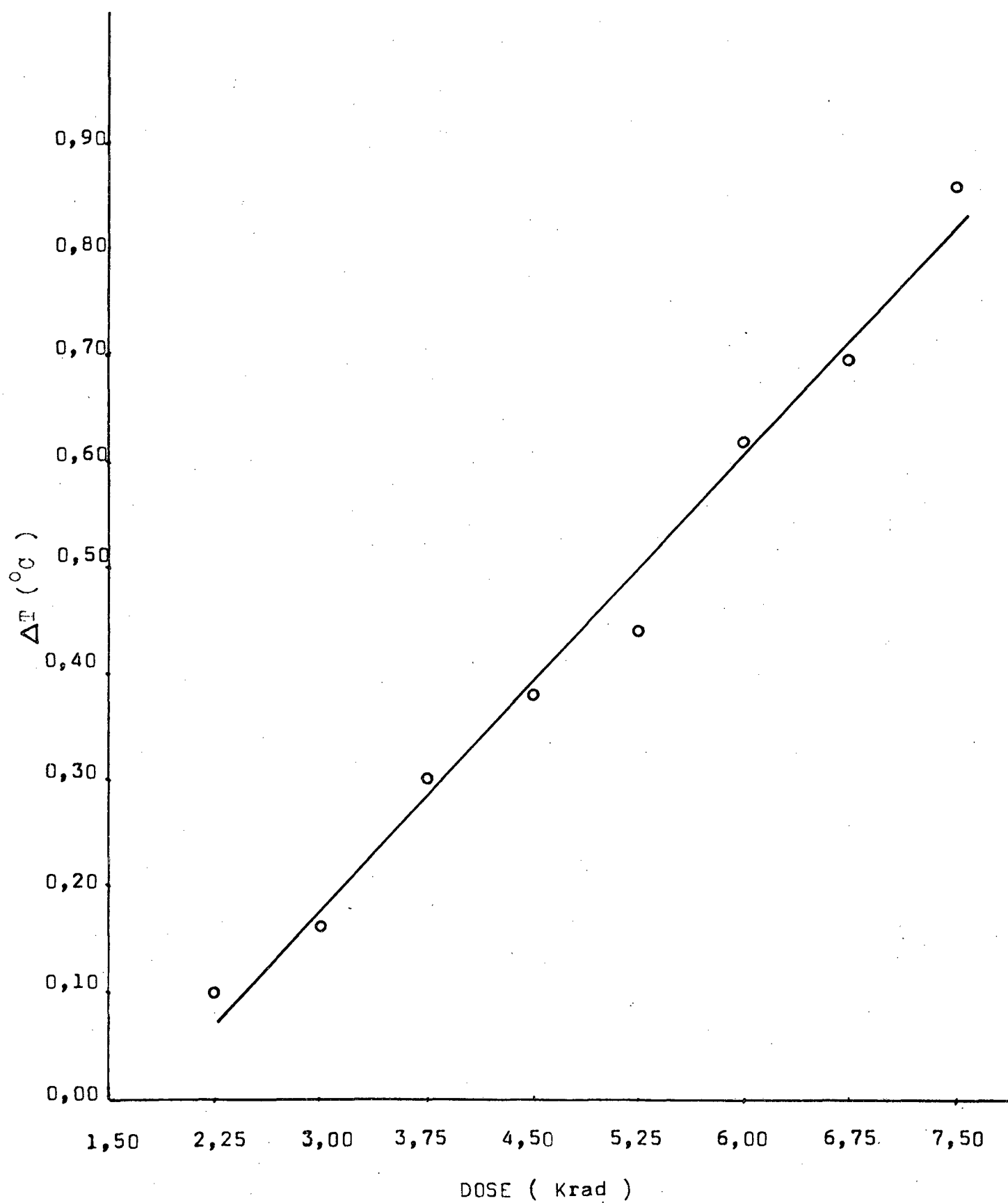


TABELA XVI

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA A MISTURA | | | | | |
|--|-------------|---|-------------|---|-------------|
| NC (90%) + CC (10%) - COMPRIMENTO DE ONDA $\lambda = 600$ nm | | | | | |
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}\text{C})$ | Dose (Krad) |
| 0,10 | 3,75 | 0,10 | 2,25 | 0,36 | 1,50 |
| 0,20 | 4,50 | 0,16 | 3,00 | 0,46 | 2,25 |
| 0,30 | 5,25 | 0,30 | 3,75 | 0,54 | 3,00 |
| 0,38 | 6,00 | 0,38 | 4,50 | 0,60 | 3,75 |
| 0,48 | 6,75 | 0,44 | 5,25 | 0,66 | 4,50 |
| 0,54 | 7,50 | 0,62 | 6,00 | 0,72 | 5,25 |
| | | 0,70 | 6,75 | 0,84 | 6,00 |
| | | 0,86 | 7,50 | 0,94 | 6,75 |
| | | | | 1,02 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 0,12 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,15 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | | S = 0,12 $^{\circ}\text{C}/\text{Krad}$ | |







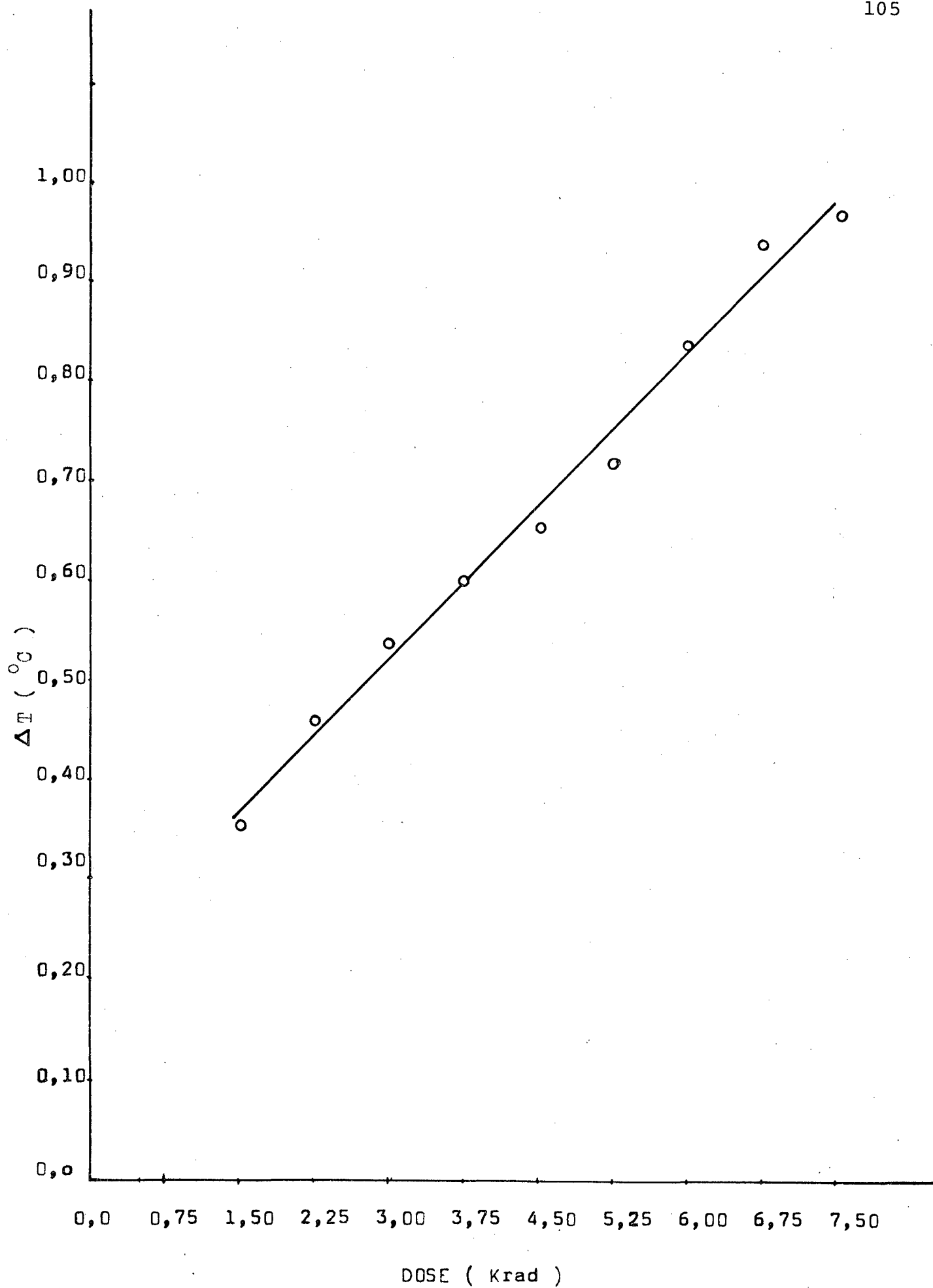
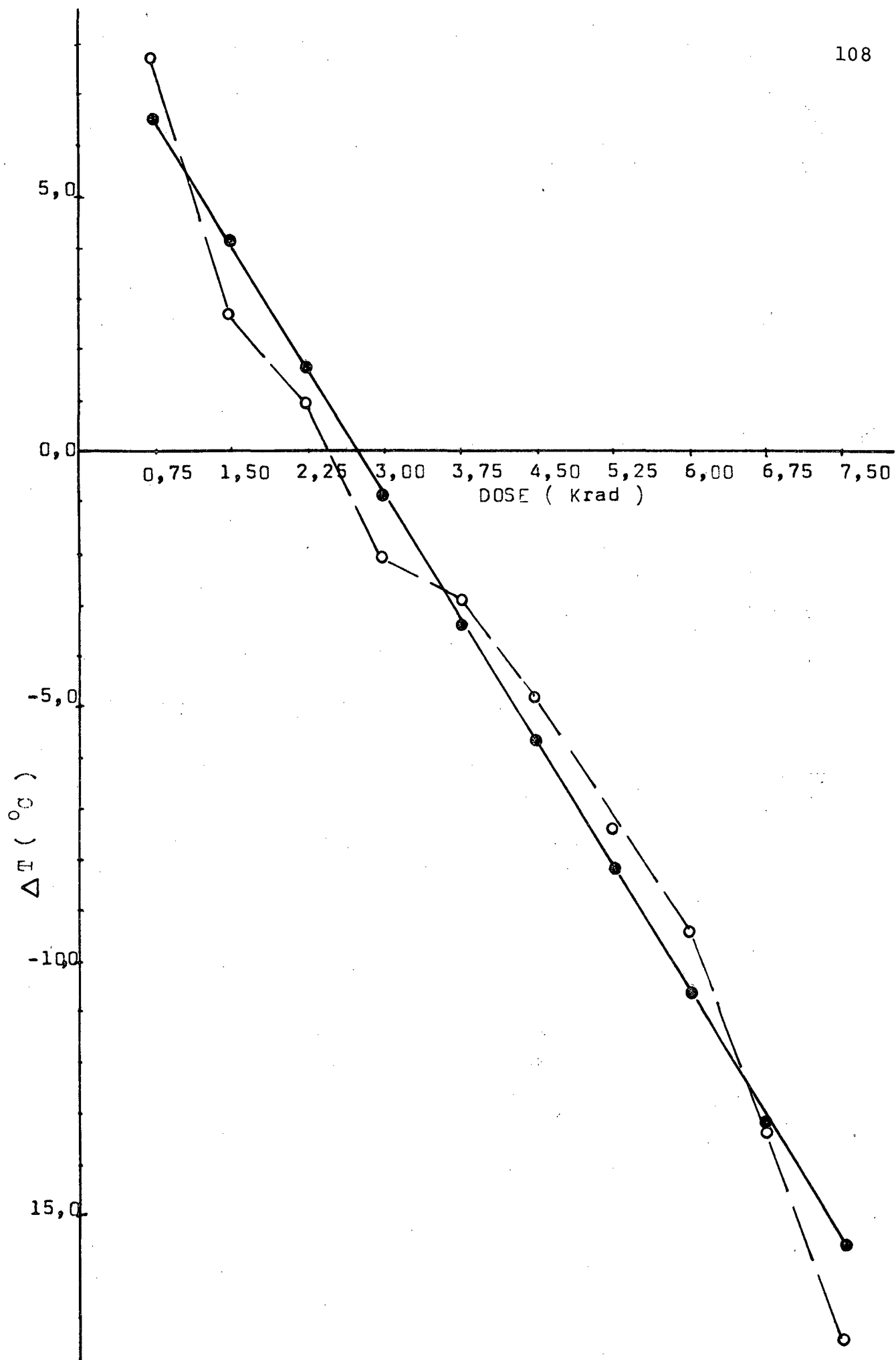
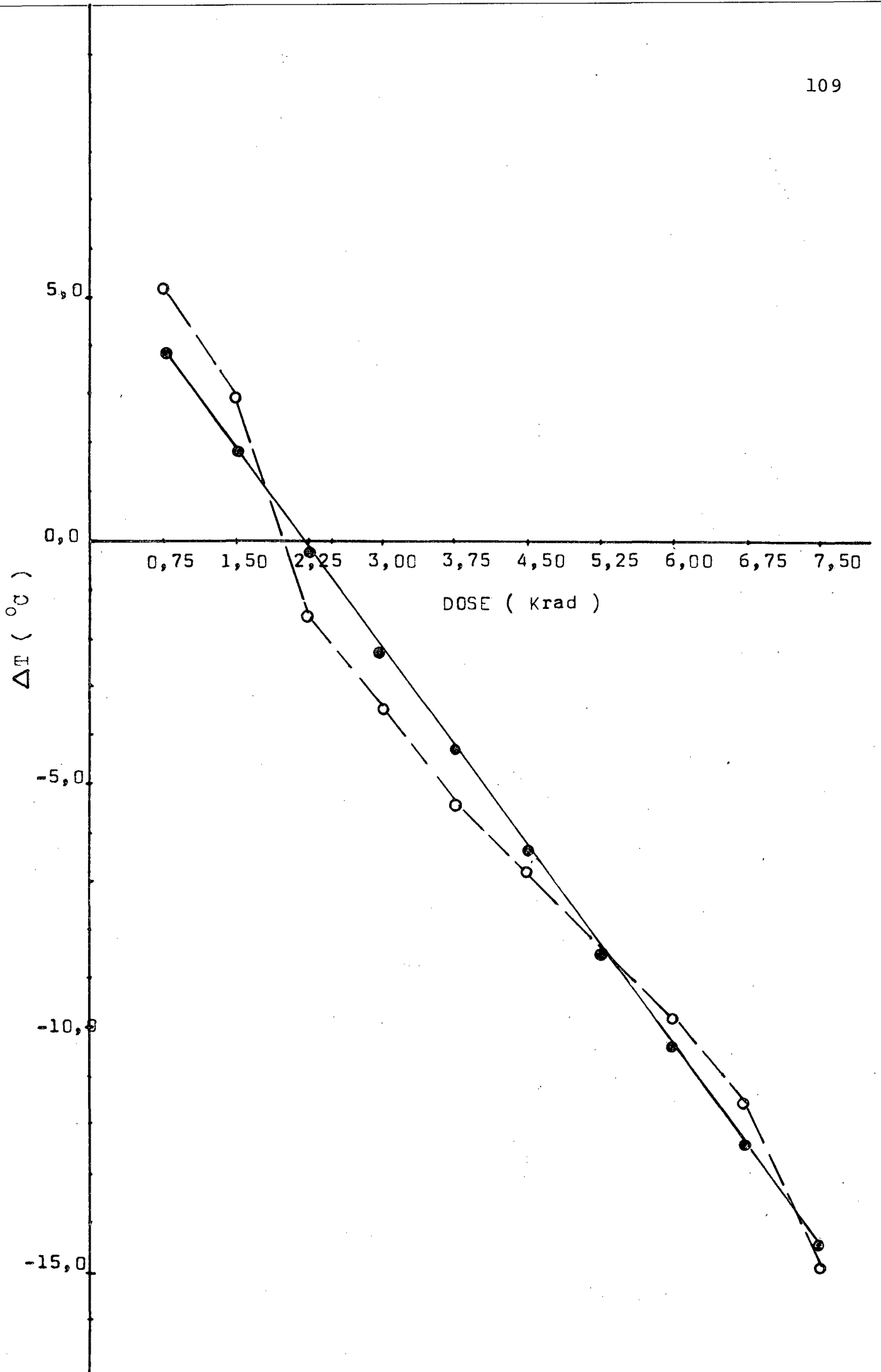


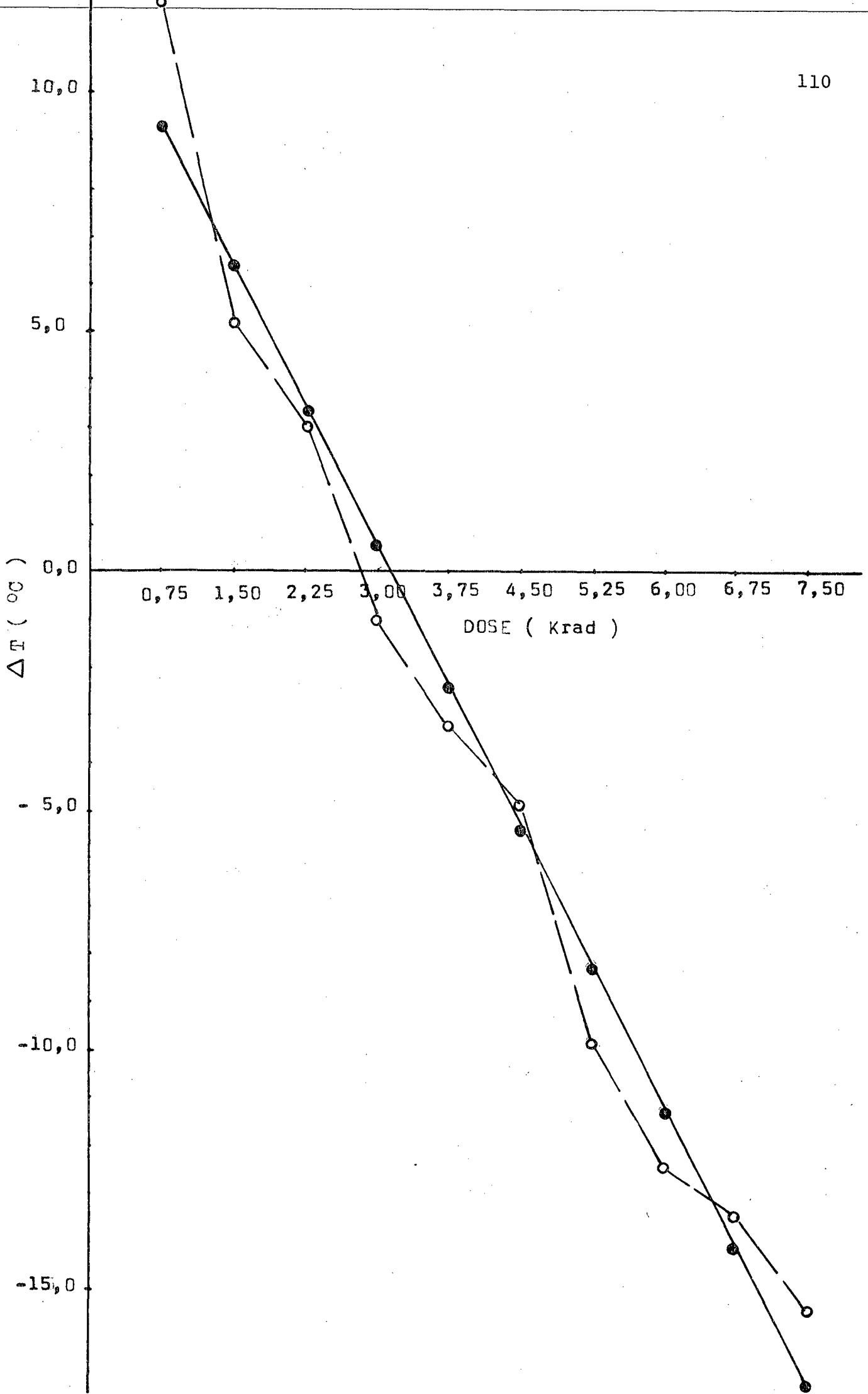
TABELA XVII

| RESPOSTA ΔT / DOSE PARA A MISTURA | | | | | |
|--|-------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| NC (15%) + CC (85%) - COMPRIMENTO DE ONDA $\lambda = 600$ nm | | | | | |
| 6 MeV | | 8 MeV | | 10 MeV | |
| $\Delta T (^{\circ}C)$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}C)$ | Dose (Krad) | $\Delta T (^{\circ}C)$ | Dose (Krad) |
| 7,8 | 0,75 | 5,2 | 0,75 | 12,2 | 0,75 |
| 2,8 | 1,50 | 3,0 | 1,50 | 5,2 | 1,50 |
| 1,0 | 2,25 | -1,6 | 2,25 | 3,2 | 2,25 |
| -2,0 | 3,00 | -3,4 | 3,00 | -1,0 | 3,00 |
| -2,8 | 3,75 | -5,4 | 3,75 | -3,2 | 3,75 |
| -4,8 | 4,50 | -6,8 | 4,50 | -4,8 | 4,50 |
| -7,4 | 5,25 | -8,4 | 5,25 | -9,8 | 5,25 |
| -9,4 | 6,00 | -9,8 | 6,00 | -12,4 | 6,00 |
| -13,4 | 6,75 | -11,6 | 6,75 | -13,4 | 6,75 |
| -17,4 | 7,50 | -14,8 | 7,50 | -15,4 | 7,50 |
| VALORES OBTIDOS PARA A SENSIBILIDADE (S) | | | | | |
| S = 3,3 $^{\circ}C/Krad$ | | S = 2,7 $^{\circ}C/Krad$ | | S = 3,9 $^{\circ}C/Krad$ | |









CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que a irradiação de elétrons sobre um cristal líquido colestérico puro produz efeitos idênticos àqueles provocados por radiação gama^{8,9,12}. A irradiação de misturas binárias de colestéricos com elétrons podem produzir efeitos idênticos ou diferentes dependendo das proporções dos componentes da mistura.

As alterações no passo da hélice induzidas pela radiação de elétrons desloca o intervalo de temperatura da fase colestérica de um colestérico purificado para valores inferiores, sendo este deslocamento proporcional à dose recebida. Observamos também que este deslocamento da curva térmica ocorre sem a alteração do formato da mesma.

O deslocamento da temperatura em que uma dada cor é observada apresenta-se como função linear da dosagem para o intervalo de dosagens estudado. Este fato nos indica que o nonanoato de colesterila e suas misturas binárias NC (90%) + CC (10%) e NC (15%) + CC (85%) podem ser utilizados em dosimetria de feixes de elétrons.

Podemos esperar que para energias com valor superior à 10 MeV o composto e a primeira mistura estudados apresentam sensibilidade para doses de valor inferior àquelas apresentadas para esta energia. Esta suposição fundamenta-se nos resultados obtidos que demonstram que a sensibilidade manifesta-se para menores valores de dosagens com o aumento da energia. Verificamos que

para 6 MeV, o deslocamento da curva térmica só ocorria a partir de doses com valor de 2,25 Krad e 3,75 Krad (para o NC e a mistura NC 90% + CC 10%, respectivamente), e que para 10 MeV estes valores passaram a ser 0,75 Krad e 1,50 Krad, respectivamente.

Não foi possível estabelecermos a confirmação desta suposição porque o acelerador utilizado estava calibrado para operar apenas com as energias 6 MeV, 8 MeV e 10 MeV.

Como comentamos no item 1.4, a interação de elétrons com cristais líquidos não é bem conhecida, entretanto a causa provável dos efeitos observados para o NC e sua mistura 90% NC + 10% CC, podem estar relacionada com o seguinte fenômeno:

Quando um feixe de elétrons de alta energia incide sobre uma amostra de cristal líquido colestérico, ocorrem choques entre os elétrons do feixe e as moléculas do composto. A interação dos elétrons com as moléculas eventualmente produzem danos ainda não estudados na estrutura molecular, que tem como consequência a diminuição da temperatura na qual a fase colestérica aparece. Com o aumento das dosagens estes choques ocorrem em maior número aumentando a quantidade de danos no composto com o consequente aumento no deslocamento da fase para baixas temperaturas.

Em centros de teleterapia utilizam-se²⁶ elétrons com energias de 6 MeV a 12 MeV para tratamento de tumores malignos e benignos. Estes tumores tratados com elétrons localizam-se na superfície da pele ou nas camadas imediatamente inferiores. A dose empregada nos tratamentos varia com a idade do paciente, localização, extensão e profundidade da lesão. Doses de 1,50 Krad são consideradas pequenas e utilizadas em lesões superficiais em crianças de tenra idade. Os valores usuais de dosagens no tra

tamento com elétrons estão compreendidos entre 3,00 Krad e 7,00 Krad²⁷.

De acordo com os nossos dados, podemos indicar o nonato de colesterila e sua mistura binária NC (90%) + CC 10%) para operações de dosimetria de feixes de elétrons de aceleradores utilizados nestes centros de terapia, bem como para dosimetrias em reatores nucleares.

Podemos sugerir que seja estudada a possibilidade de obter uma mistura de cristais líquidos colestéricos cuja curva térmica apresente a cor vermelha em temperatura ambiente sem irradiação.

A irradiação desta mistura provocaria um deslocamento da cor em direção ao violeta, de acordo com o aumento da dosagem.

Podemos em princípio estabelecer as relações cor-dose-temperatura a partir da curva térmica para esta mistura. Fixando a temperatura no valor desejado (ambiente) poderíamos obter os valores das doses correspondentes a cada cor observada.

Com estes dados talvez fosse possível obter um dosímetro com um filme de cristal líquido onde a relação cor-dose absorvida seria observada visualmente de modo semelhante ao que ocorre em termômetros com cristais líquidos.

Com relação à mistura NC 15% + CC 85%, que apesar do comportamento diverso daquele esperado apresentou melhor sensibilidade, podemos supor que os danos produzidos pela irradiação com elétrons podem ter induzido reações químicas que unidas ao fato da inversão de helicidade produzida pela maior proporção de CC nas misturas podem ter provocado o comportamento observado.

Estudos podem ser realizados com outras proporções da mistura NC + CC para verificar se a inversão no deslocamento da

curva térmica para altas temperaturas depende da helicidade da mistura, uma vez que para uma mistura com helicidade positiva (NC 90% + CC 10%) o deslocamento da curva foi para baixas temperaturas, e que para esta mistura com helicidade negativa a curva deslocou-se para altas temperaturas.

Também seria interessante realizar-se estudos para determinar com precisão as causas do comportamento observado para esta mistura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REINITZER, F. Ann. Physik. 27: 213, (1908).
- [2] LEHMANN, O. Ber. 41: 3774 (1908).
- [3] ADAMSKI, P. & GROMIEC, A. DYLIK. Mol. Cryst. 25, 281-286 (1974).
- [4] CHANDRASENKHAR, J. Liquid Crystals. Oxford Clarendon Press (1974).
- [5] FRIEDEL, G. Ann. Physik. 18: 273 (1922).
- [6] DE GENNES, P. The Physics of Liquid Crystals. Oxford Clarendon Press, (1974).
- [7] FERGASON, J.L. Liquid Crystals, Scientific American, 211: 77 (1964).
- [8] GRAY, G.W. & WINSOR, P.A. Liquid Crystals and Plastic Crystals. John Wiley & Sons Inc. (1974).
- [9] KUSHELEVSKY, A.P.; FELDMAN, L. & ALFASSI, Z.B. Mol. Cryst. 35: 356 (1976).
- [10] FERGASON, J.L. & GOLDBERG, N.N. U.S. Patent 754582. January (1971).
- [11] FERGASON, J.L. & BROWN, G.H. Journal of Am. Chem. Soc., 45: 1200 (1968).
- [12] KERLENEVICH, B. & COCHE, A. Effects of Gama Irradiation on Some Colestéric products. Eletrônica Letters. 13(9)261-262 (1977).
- [13] KUSHELEVSKY, A.P.; FELDMAN, L. & ALFASSI, Z.B. Int. J. Appl. Rad. and Isot. 27: 722 (1976).
- [14] SEBASTIANES, Rafael M. Efeitos da Radiação Gama nos Cristais Líquidos Colestéricos. Florianópolis, UFSC. Dissertação de Mestrado em Físico-Química (1980).
- [15] DA CRUZ, Wilson K. Efeitos da Radiação Gama Sobre a Condutividade Elétrica dos Cristais Líquidos Colestéricos. Florianópolis, UFSC. Dissertação de Mestrado em Físico-Química (1980).

- [16] FELDMAN, L.; KUSHELEVSKY, A.P. & ALFASSI, Z.B. Radiation Effects. 40: 151 (1979).
- [17] ALFASSI, Z.B. Radiation Effects Letters. 43: 228 (1979).
- [18] KNOP, G. & PAUL, W. Interaction of Electrons and a Particles With Matter, Alpha, Beta and Gama Ray Spectroscopy. North Holland Publishing Company (1965).
- [19] HEITLER, W. Quantum Theory of Radiation. Oxford (1948).
- [20] BAKKER, C. & SÉGRE, E. Phys. Rev., 81: 489 (1951).
- [21] PALANGANA, Antonio José. Medidas do calor latente da transição de fase Esmético A - Colestérico e o modelo de Macmillan. Florianópolis, UFSC. Dissertação de Mestrado em Físico-Química (1982).
- [22] KERLLENEVICH, B. & COCHE, A. Gama Irradiation of Cholesteric Products. Radiation Effects, 39: 103 (1978).
- [23] ALFASSI, Z.B.; FELDMAN, L. & KUSHELEVSKY, A. Radiation Effects. 32: 67 (1977).
- [24] ALFASSI, Z.B.; FELDMAN, L. & KUSHELEVSKY, A. Mol. Crystals, Liquid Crystals. 39: 33 (1977).
- [25] FELDMAN, L. & ALFASSI, Z.B. Radiolysis of Cholesteric and Cholestanic Esters in CCl₄ Solutions. Radiation Physics. 15: 687-694, Pergamon Press Ltda. (1980).
- [26] FLETCHER, Gilberth. Text Book of Radiotherapy. L & A Sebi-ger Philadelphia (1962).
- [27] JOHNS, Harold E. The Physics of Radiology. Charles C. Thomas Publisher, 2 (1966).