

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

DETERMINAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO CRÍTICO E DE $k_{11}/\Delta X$
EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA TRES CRISTAIS LÍQUIDOS

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

HÉDIO JOSÉ MÜLLER

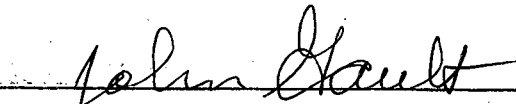
FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA - BRASIL
NOVEMBRO - 1975

20 2676

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

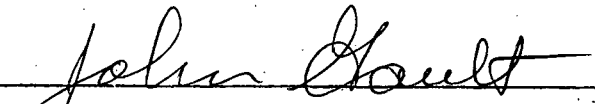
" MESTRE EM CIÊNCIAS "

ESPECIALIDADE FÍSICO-QUÍMICA, OPÇÃO FÍSICA MOLECULAR,
E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

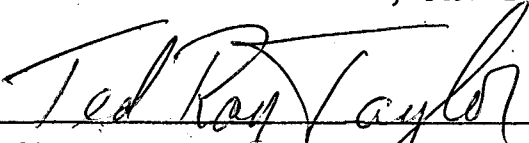


PROF. JOHN DALE GAULT, Ph. D.
ORIENTADOR E INTEGRADOR

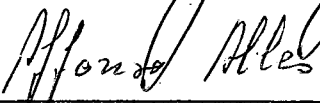
BANCA EXAMINADORA:



PROF. JOHN DALE GAULT, Ph. D.



PROF. TED RAY TAYLOR, Ph. D.



PROF. AFFONSO ALLES, Ph. D.

À MINHA FAMÍLIA

A G R A D E C I M E N T O S

AO

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS

PELOS AUXÍLIOS FINANCEIROS QUE POSSIBILITARAM A REALI
ZAÇÃO DESTE TRABALHO.

À

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA .

S U M Á R I O

	Pág.
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Tipos e propriedades gerais dos cris- tais líquidos	1
1.2 - Propriedades óticas dos cristais lí- quidos nemáticos	4
1.3 - Propriedades elétricas e magnéticas dos cristais líquidos	4
 CAPÍTULO 2 - PROPRIEDADES ELÁSTICAS DOS CRISTAIS LÍQUI- DOS	 6
2.1 - Introdução	6
2.2 - Teoria das constantes elásticas	9
2.3 - Teoria da variação da intensidade do raio emergente com o campo magnético aplicado	 15
 CAPÍTULO 3 - MÉTODO E EQUIPAMENTO	 19
3.1 - Determinação dos pontos fixos do cris- tal nemático em observação	 19
3.2 - Alinhamento molecular	19
3.3 - Observação com luz polarizada	22
3.4 - Equipamentos construídos	23
 CAPÍTULO 4 - RESULTADOS	 36
4.1 - Introdução	36
4.2 - p-p'dimetoxiazoxibenzol (PAA)	36
4.3 - 4-4'bis(heptiloxi)azoxibenzeno (HOAOB)	37
4.4 - octiloxibenzilideno-2-cloro-4-fenileno diamina (OBCFA)	 37
 CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO	 54
5.1 - Comparação com os resultados na litera- tura para o PAA	 54
5.2 - Erros	54

Pág.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO 62

APÊNDICE 63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65

F I G U R A S

Pág.

FIGURA 1 - Representação da orientação molecular	3
FIGURA 2 - Deformações fundamentais	8
FIGURA 3 - Ação de um campo magnético sobre um cristal líquido nemático alinhado	14
FIGURA 4 - Variação da intensidade da luz transmitida pela amostra com o campo magnético externo	18
FIGURA 5 - Verificação do alinhamento molecular	21
FIGURA 6 - Esquema da montagem da experiência	25
FIGURA 7 - Forno e suas dimensões	29
FIGURA 8 - Fotografia do forno desmontado	31
FIGURA 9 - Fotografia do conjunto da montagem	33
FIGURA 10 - Lâminas de vidro	35
FIGURA 11 - Gráfico da variação do H_0 para o PAA	43
FIGURA 12 - Gráfico da variação de $k_{11}/\Delta\chi$ para o PAA	45
FIGURA 13 - Gráfico da variação do H_0 para o HOAOB	47
FIGURA 14 - Gráfico da variação de $k_{11}/\Delta\chi$ para o HOAOB	49
FIGURA 15 - Gráfico da variação de H_0 para o OBCFA	51
FIGURA 16 - Gráfico da variação do $k_{11}/\Delta\chi$ para o OBCFA	53
FIGURA 17 - Comparação da variação do H_0 para o PAA com os resultados obtidos por Saupe	59
FIGURA 18 - Lâminas de vidro com forma de cunha	61

Q U A D R O S

Pág.

QUADRO 1 - Medidas do campo magnético crítico em função da temperatura para o PAA	39
QUADRO 2 - Medidas do campo magnético crítico em função da temperatura para o HOAOB	40
QUADRO 3 - Medidas do campo magnético crítico em função da temperatura para o OBCFA	41
QUADRO 4 - Erros percentuais	56

R E S U M O

Neste trabalho foi medida a variação do produto da espessura pelo campo magnético crítico e da razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade magnética, em função da temperatura, para tres cristais líquidos nemáticos: p-p' dimetoxiazobenzol (PAA), 4-4' bis(heptiloxi)azobenzeno (HOAOB) e octiloxibenzilideno-2-cloro-4-fenilenodiamina(OBCFA).

O procedimento experimental consiste em passar um raio laser He-Ne através de uma amostra cuja temperatura é controlada, localizada entre os polos de um eletroímã. A intensidade da luz transmitida foi medida com fotodiodo e o campo magnético, com um "gaussmeter", ambos ligados a um registrador x-y.

A B S T R A C T

The product of sample thickness and the critical magnetic field, and the ratio between the splay elastic constant and the magnetic susceptibility have been measured as a function of temperature for 3 nematic liquid crystals: p-azoxyanisole, 4,4'-di-n-heptyloxyazoxybenzene, bis-(4'-n-octloxybenzal)-2-chloro-1,4-phenylenediamine.

The experimental procedure consists of passing He-Ne laser light through a temperature controlled sample holder located between the poles of an electromagnet. The intensity of the transmitted light as measured by a photo-diode and the magnetic field (gaussmeter) are used as inputs for a x-y recorder.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 - TIPOS E PROPRIEDADES GERAIS DE CRISTAIS LÍQUIDOS

Os cristais líquidos são fases mesomórficas, termodinamicamente estáveis, que ocorrem quando, na fusão, o calor fornecido não é suficiente para transformá-los em líquidos isotrópicos¹. Os cristais líquidos são geralmente constituídos por moléculas alongadas, cuja secção transversal é muito menor que o comprimento, que podem ser caracterizados por dois eixos perpendiculares entre si, sendo o maior chamado de eixo longitudinal, paralelo à direção do comprimento da molécula e o outro de transversal.

A ordem em todas as fases mesomórficas é caracterizada pelo alinhamento entre os eixos longitudinais. A direção preferencial deste alinhamento é descrito por um vetor unitário \vec{L} . Há tres tipos principais de cristais líquidos, descritos pelos termos propostos por Fridel⁽²⁾: nemáticos, esméticos e colestéricos. A figura 1, mostra um esquema das estruturas das fases mesomórficas.

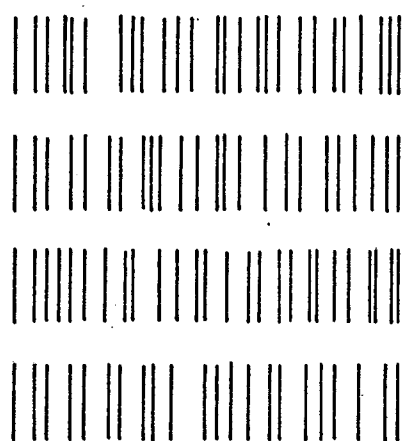
Os cristais líquidos nemáticos diferem dos líquidos isotrópicos normais, apenas pela orientação espontânea dos eixos longitudinais entre si. O vetor \vec{L} não é constante em grandes volumes, mas varia continuamente com a posição. Os líquidos nemáticos são caracterizados, geralmente, pela textura filiforme que pode ser observada sob microscópio polarizante.

Os cristais líquidos esméticos, além da orientação das moléculas paralelamente ao eixo molecular, apresentam uma distribuição dos centros de massa em camadas equidistantes, podendo haver ordem ou não dentro das camadas. Os cristais esméticos são muitas vezes caracterizados pela textura cônica focal, descrita por Fridel².

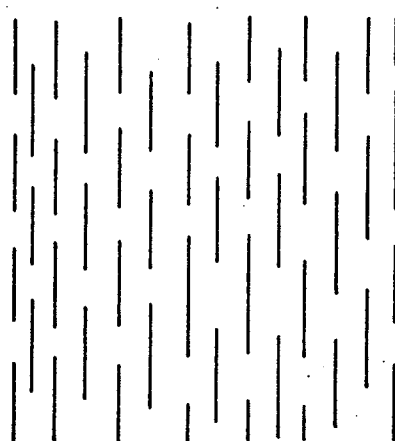
A fase colestérica apresenta sempre atividade óptica e pode ser considerada um caso especial da fase nemática, sendo que a estrutura molecular corresponde a camadas nemáticas torcidas, tipo estrutura helicoidal.

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DA ORIENTAÇÃO MOLECULAR

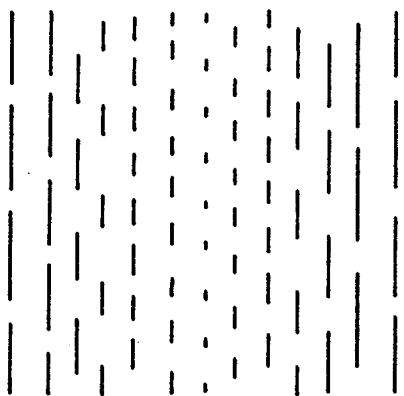
Fases de vários tipos de cristais líquidos: a fase esmética (a); a fase nemática (b); a fase colestérica (c); a fase isotrópica (d).



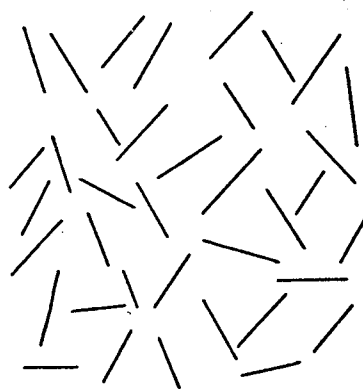
^a
Phase smectic



^b
Nematic



^c
Cholesteric



^d
Isotropic

1.2 - PROPRIEDADES ÓTICAS DOS CRISTAIS LÍQUIDOS NEMÁTICOS

As propriedades óticas dos cristais líquidos se assemelham em alguns aspectos às propriedades óticas dos sólidos anisotrópicos. Um raio de luz linearmente polarizado não é afetado no seu estado de polarização quando atravessa um líquido isotrópico. Mas se o líquido for óticamente anisotrópico, este raio será partido em dois: o raio ordinário e o raio extraordinário, tendo cada um diferente estado de polarização e diferente índice de refração. A diferença entre o índice de refração do raio ordinário e do raio extraordinário é chamada birrefringência, bastante elevada nos cristais nemáticos. Estes são uniaxiais, isto é, existe apenas uma direção na qual o índice de refração do raio ordinário é igual ao índice de refração do raio extraordinário, e portanto, a birrefringência é nula. Esta direção chama-se também de eixo ótico. Os cristais nemáticos são em geral óticamente positivos, isto é, o índice de refração extraordinário é maior que o índice de refração ordinário. A birrefringência do líquido nemático pode ser usada para determinar a orientação das moléculas do mesmo.

1.3 - PROPRIEDADES ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS DOS CRISTAIS LÍQUIDOS

Os cristais líquidos nemáticos apresentam anisotropia nas propriedades elétricas e magnéticas, pois, há diferença entre a polarizabilidade molecular paralela e perpendicular ao eixo longitudinal. Devido a anisotropia, a orientação dos líquidos nemáticos pode ser alterada, aplicando-se um campo elétrico ou magnético. A variação da orientação depende do valor da anisotropia da susceptibilidade magnética ou da constante dielétrica, isto é, da diferença entre o valor da grandeza paralela ao eixo molecular e o valor da grandeza perpendicular a este eixo.

Para cristais nemáticos, o valor da susceptibilidade magnética é pequena, de modo que os vetores "intensidade do campo magnético" e "indução magnética" podem ser considerados paralelos. Consequentemente, ao aplicar um campo magnético externo constante, o campo magnético na amostra será uniforme e na mesma direção do campo externo e as moléculas tendem a orientar sua direção de maior susceptibilidade paralelamente ao campo externo, o que produz uma modificação no alinhamento molecular.

CAPÍTULO 2 - PROPRIEDADES ELÁSTICAS DOS CRISTAIS LÍQUIDOS

2.1 - INTRODUÇÃO

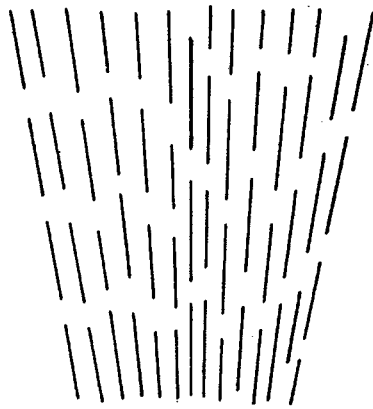
Muitos estudos já foram feitos sobre deformações elásticas induzidas pelo campo magnético e elétrico. Zocher³ e Oseen⁴ foram os primeiros a formular as deformações elásticas em cristais líquidos em termos da teoria do contínuo e computar as deformações normais dos cristais líquidos. A teoria do contínuo é baseada na suposição que em cada ponto, no cristal líquido em equilíbrio, há uma direção preferencial de alinhamento. Esta direção preferencial varia continuamente com a posição. Como consequência desta teoria, espera-se que os cristais líquidos tenham estrutura elástica flexível, e que após uma perturbação externa, as moléculas voltem à orientação original.

Considera-se deformação normal⁵ na substância nemática aquela que, desprezado o fluxo do fluido e outros fenômenos dinâmicos, leva em conta apenas distorções estáticas.

A variação da energia livre, como resultado das deformações, pode ser calculada com o auxílio de tres constantes elásticas, descritas por Zocher³. A figura 2 mostra estas tres deformações fundamentais. Para a descrição da energia de deformação, usamos o vetor \vec{L} , unitário, cuja direção varia continuamente de uma região para outra da amostra. Em cada ponto da amostra, o vetor \vec{L} é tomado como a direção média do eixo maior ou eixo óptico, definindo, desta forma, a direção preferencial de orientação das moléculas. Numa pequena região do cristal líquido em repouso, as moléculas estão aproximadamente paralelas. Por esta razão se espera que os cristais líquidos nemáticos possuam estruturas flexíveis e deformáveis.

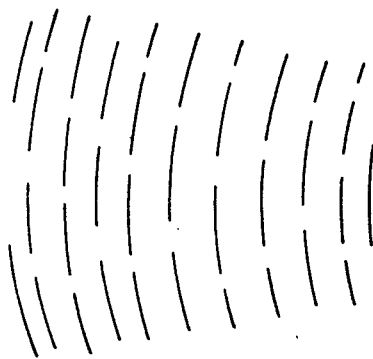
FIGURA 2 - DEFORMAÇÕES FUNDAMENTAIS

As tres deformações fundamentais que podem ocorrer são: encurvamento longitudinal "splay" (a); encurvamento transversal "bend" (b) ; e torção "twist" (c).



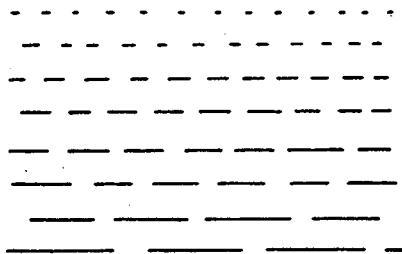
encurvamento longitudinal
"splay"

a



encurvamento transversal
"band"

b



Torção
"twist"

c

2.2 - TEORIA DAS CONSTANTES ELÁSTICAS

Para definir a orientação de equilíbrio, com ou sem força externa, é necessário determinar qual a estrutura, isto é, qual a função do vetor \vec{L} com a posição que minimiza a energia livre total (G) da amostra. Uma modificação na amostra das moléculas altera a energia livre e esta alteração pode ser calculada mediante as constantes elásticas.

Nos cristais líquidos se consideram forças restauradoras as que se opõem às deformações macroscopicamente. Estas forças causam o retorno à posição de equilíbrio quando as forças externas são anuladas. Para calcular a energia de deformação, supõe-se que a energia é uma função quadrática das deformações, analogamente à lei de Hooke, e que o meio seja contínuo. Esta suposição permite expressar a energia livre como sendo a integral volumétrica da densidade de energia livre (g) sobre toda a amostra.

$$G = \int_V g \, dV \quad (2.1)$$

Frank⁶ expandiu a densidade da energia elástica como função das primeiras derivadas do vetor \vec{L} em relação à posição. Impôs que as variações da direção preferencial de orientação fossem contínuas, isto é, pequenas as deformações locais. Com esta suposição, os termos de 2ª ordem de expansão em série podem ser desprezados. Assim a expressão para a densidade de energia é :

$$g = k_i a_i + \frac{1}{2} k_{ij} a_i a_j \quad (2.2)$$

onde

k_i e k_{ij} são constantes elásticas, os índices repetidos indicam soma e,

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{\partial L_x}{\partial x} ; & a_2 &= \frac{\partial L_x}{\partial y} ; & a_3 &= \frac{\partial L_x}{\partial z} ; \\
 a_4 &= \frac{\partial L_y}{\partial x} ; & a_5 &= \frac{\partial L_y}{\partial y} ; & a_6 &= \frac{\partial L_y}{\partial z} \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

Escolhendo o eixo z paralelo a L_z temos sempre :

$$\frac{\partial L_z}{\partial x} = \frac{\partial L_z}{\partial y} = \frac{\partial L_z}{\partial z} = 0$$

No caso particular desta experiência, há estrutur ra planar com as orientações preferenciais todas normais a um da do eixo fixo. Escolhendo y paralelo a este eixo e novamente z pa ralelo ao vetor \vec{L} , para pequenas deformações se obtém a seguinte equação:

$$G_{\text{elást.}} = \frac{1}{2} \left[k_{11} (\vec{\nabla} \cdot \vec{L})^2 + k_{22} (\vec{L} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{L})^2 + k_{33} (\vec{L} \times \vec{\nabla} \times \vec{L})^2 \right] \quad (2.4)$$

onde k_{11} , k_{22} e k_{33} são as constantes elásticas relativas às de formações fundamentais, que são, respectivamente : encurvamento longitudinal ("splay"), torsão ("twist") e encurvamento tran versal ("bend"), que foram ilustradas na figura 2. A energia total da deformação será :

$$G_{\text{elást.}} = \frac{1}{2} \int_V \{ k_{11} (\vec{\nabla} \cdot \vec{L})^2 + k_{22} (\vec{L} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{L})^2 + k_{33} (\vec{L} \times \vec{\nabla} \times \vec{L})^2 \} dV \quad (2.5)$$

Uma forma de verificar as deformações nos cris tais líquidos nemáticos é submetê-los a um campo magnético e con siderar o líquido uma parte de um sistema fechado⁵. Variando a o rientação do vetor \vec{L} em alguma parte da amostra, pela conservação da energia vem:

$$dG_{\text{elást.}} + dG_{\text{magnét.}} = dG_{\text{fonte}} \quad (2.6)$$

$dG_{\text{elást.}}$ e $dG_{\text{magnét.}}$ são variações da energia elástica e magnética total armazenada no cristal líquido e dG_{fonte} é o trabalho exigido da fonte externa para causar esta variação.

Para corrente estabilizada⁷ se tem

$$dG_{\text{fonte}} = 2 dG_{\text{magnét.}} \quad (2.7)$$

e dG_{fonte} pode ser eliminada de (2.6), isto é :

$$dG_{\text{elást.}} + dG_{\text{magnét.}} = 2 dG_{\text{magnét.}} \quad (2.8)$$

portanto

$$dG_{\text{elást.}} - dG_{\text{magnét.}} = 0 \quad (2.9)$$

o que vale dizer que no equilíbrio

$$dG_{\text{elást.}} - dG_{\text{magnét.}} \quad (2.10)$$

assume um valor extremo em relação à variação de \vec{L} .

A energia total magnética da amostra é :

$$G_{\text{magnét.}} = \frac{1}{2} \int_V \vec{B} \cdot \vec{H} dV \quad (2.11)$$

onde \vec{B} é o vetor da indução do campo magnético e \vec{H} é o vetor da intensidade do campo magnético.

Nos líquidos nemáticos, as susceptibilidades dia magnéticas são tão pequenas que o ângulo entre \vec{B} e \vec{H} é desprezível, de modo que \vec{B} e \vec{H} podem ser considerados paralelos e,

$$G_{\text{magnét.}} = \frac{1}{2} \int_V \{(1 + \chi_1)(\vec{L} \cdot \vec{H})^2 + (1 + \chi_2)(\vec{L} \times \vec{H})^2\} dV \quad (2.12)$$

onde χ_1 e χ_2 são as componentes das susceptibilidades diamagnéticas paralelo e perpendicular ao eixo ótico local. As susceptibilidades magnéticas anisotrópicas $\Delta\chi = \chi_1 - \chi_2$ tem sinal positivo para cristais nemáticos com cadeias aromáticas. A figura 3 mostra a geometria da deformação induzida pelo campo magnético.

Substituindo a equação (2.5) e (2.12) em (2.10) e usando, o método do cálculo variacional, trabalho já realizado por Saupe¹³, se obtém a equação de Euler-Lagrange:

$$\frac{d}{dx} \left[(k_{11} \cos^2 \phi + k_{33} \sin^2 \phi) \left(\frac{d\phi}{dx} \right) + \Delta\chi H^2 \sin^2 \phi \right] = 0 \quad (2.13)$$

que mostra a variação do ângulo de deformação, ϕ , com o campo magnético H . A solução é,

$$\frac{H}{H_0} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\phi_m} \left[\frac{1 + h \sin^2 \phi}{\sin^2 \phi_m - \sin^2 \phi} \right]^{1/2} d\phi \quad (2.14)$$

e fornece o valor do campo magnético que corresponde a um determinado valor de ϕ_m . Sendo :

$$h = \frac{k_{33} - k_{11}}{k_{11}},$$

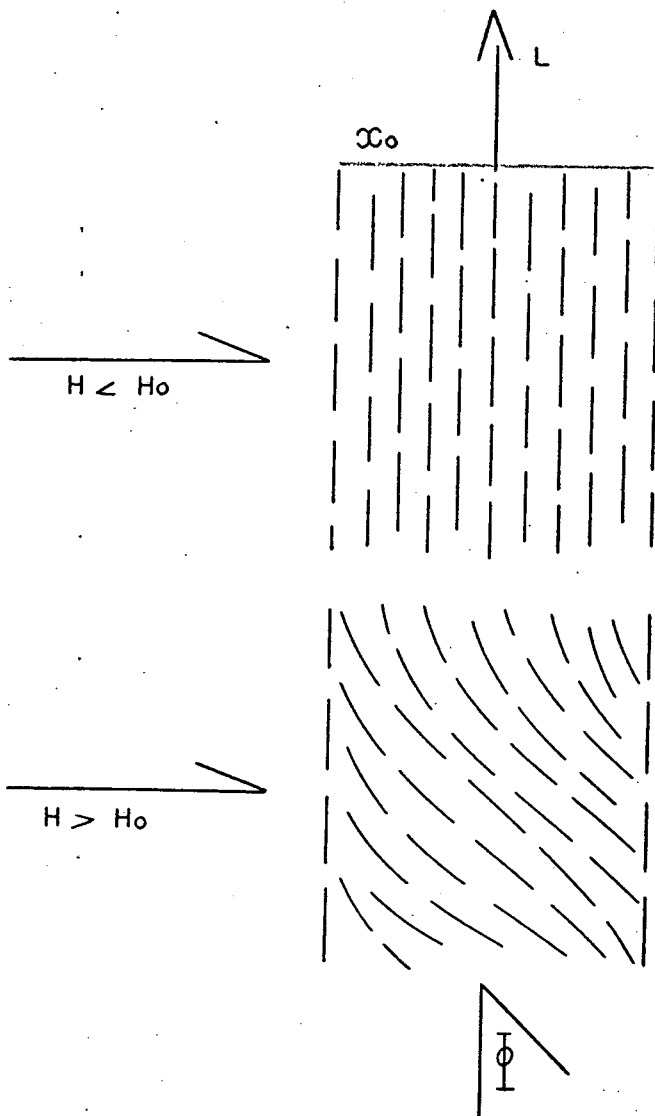
ϕ_m é o ângulo de deformação máximo e é tomado no centro da amostra. H_0 é o campo magnético crítico, isto é, o valor mínimo para o qual começa haver deformação molecular. Expandindo em série se obtém,

$$\frac{H}{H_0} = 1 + \frac{1}{4} (h + 1) \phi_m^2 + \dots \quad (2.15)$$

A solução para uma espessura x é ,

FIGURA 3 - AÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UM CRISTAL LÍQUIDO NEMÁTICO ALINHADO

Uma amostra de espessura x_0 entre duas lâminas está exposta a um campo magnético perpendicular à orientação molecular e perpendicular às lâminas. Na parte superior o campo aplicado é menor que o crítico. Na parte inferior o campo aplicado é maior que o crítico, ocasionando a deformação combinada "splay" e "bend". O ângulo ϕ é a deformação causada pelo campo magnético. Quando ϕ tende a zero a deformação corresponde a "splay" pura.



$$\frac{x}{x_0} = \frac{H_0}{\pi H} \int_0^\phi \left[\frac{1 + h \sin^2 \phi}{\sin^2 \phi_m - \sin^2 \phi} \right]^{1/2} d\phi \quad (2.16)$$

onde x_0 é a espessura da amostra. A expansão em série fornece,

$$\frac{x}{x_0} = \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{\phi}{\phi_m} - \phi (\phi_m^2 - \phi^2)^{1/2} \cdot \frac{1 + 3h + \dots}{\pi \cdot 12 \left(1 + \frac{1}{4}(h+1)\phi_m^2 + \dots \right)} \quad (2.17)$$

No limite, quando ϕ_m tende a zero, isto é, no início de deformação, se obtém o resultado final,

$$H_0 = \frac{\pi}{x_0} \left(\frac{k_{11}}{\Delta\chi} \right)^{1/2} \quad (2.18)$$

Da equação (2.13) se verifica que a deformação depende das constantes elásticas "splay" (k_{11}) e "bend" (k_{33}). Da equação (2.18) se verifica que o campo magnético crítico H_0 depende apenas da constante "splay".

2.3 - TEORIA DA VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DO RAIOS EMERGENTE COM O CAMPO MAGNÉTICO APLICADO

Pelo fato de um cristal líquido nemático ser birrefringente e uniaxial, o feixe de luz incidente normal, polarizado e monocromático, se divide no cristal em raio ordinário e extraordinário.

O vetor do campo elétrico do feixe ordinário é sempre perpendicular ao eixo ótico e por isso se propaga com velocidade determinada pelo índice de refração ordinário. O raio extraordinário é polarizado de 90° em relação ao ordinário e sua velocidade média é determinada pelo índice de refração efetivo

dado por:

$$n_{ef} = \frac{1}{x_0} \int_0^{x_0} n(\phi) dx \quad (3.4.1)$$

No caso, para a presente orientação da amostra

$$n(\phi) = n_e \cdot n_o (n_e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi + n_o^2 \cdot \text{cos}^2 \phi)^{-1/2} \quad (3.4.2)$$

onde n_e = índice de refração extraordinário.

Pelas equações (3.4.1) e (3.4.2) verifica-se que n_{ef} depende da deformação do ângulo ϕ , que por sua vez depende do campo magnético.

A intensidade da luz emergente na amostra é dada por⁸ :

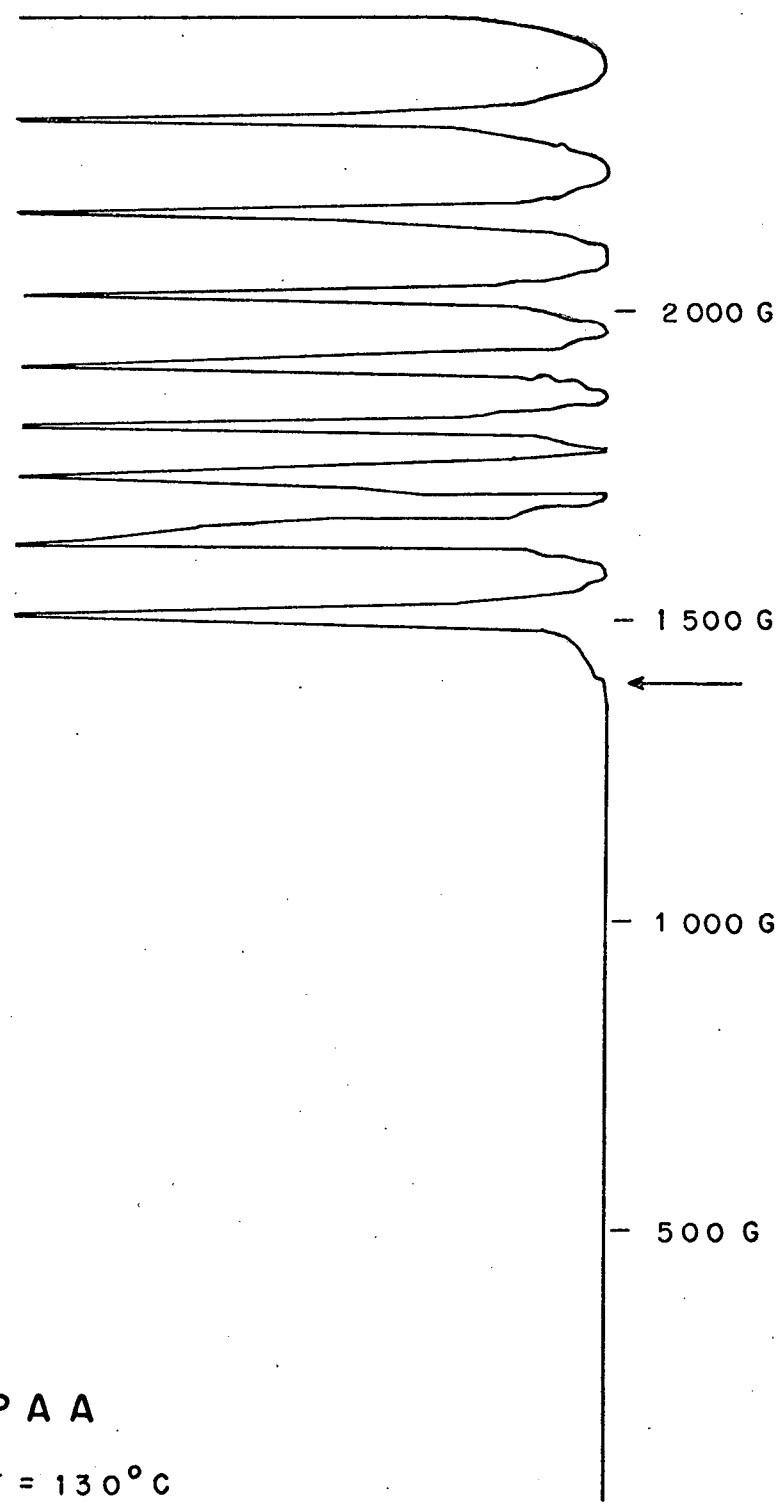
$$I = I_0 \text{sen}^2 (2\theta) \text{sen}^2 \left[\frac{2\pi d}{\lambda} (n_{ef} - n_o) \right] \quad (3.4.3)$$

onde θ é o ângulo entre o eixo ótico e a direção de polarização do primeiro polarizador; $n_e - n_o$ é a birrefringência; d é a espessura da amostra e $2\pi d/\lambda (n_{ef} - n_o)$ é a diferença de fase.

A equação (3.4.3) mostra como varia a intensidade da luz transmitida pela amostra (I) com a variação do índice de refração efetivo (n_{ef}). Este último depende do campo magnético que causa um encurvamento longitudinal nas moléculas. A figura 4 mostra um gráfico típico de ($I \times H$).

FIGURA 4 - VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DA LUZ TRANSMITIDA PELA
AMOSTRA COM O CAMPO MAGNÉTICO EXTERNO

É uma figura típica da variação da intensidade da luz transmitida pela amostra com o campo magnético. O valor do campo magnético crítico não se obtém com nitidez absoluta. A flecha indica o valor estimado.



P A A
T = 130°C

CAPÍTULO 3 - MÉTODO E EQUIPAMENTO

3.1 - DETERMINAÇÃO DOS PONTOS FIXOS DO CRISTAL LÍQUIDO EM OBSERVAÇÃO

Uma amostra foi colocada entre duas lâminas de vidro, previamente tratadas, e este conjunto introduzido num forno Metler FP-52, no qual a temperatura pode ser controlada com a precisão de $0,2^{\circ}\text{C}$. Examinou-se a amostra ao microscópio de luz polarizada determinando-se o ponto de fusão, os pontos de transição das fases mesomórficas, identificadas por texturas características, e o ponto isotrópico. Com a posse destes pontos característicos pôde-se delimitar as temperaturas para as quais serão medidas as constantes elásticas e avaliar a pureza das amostras.

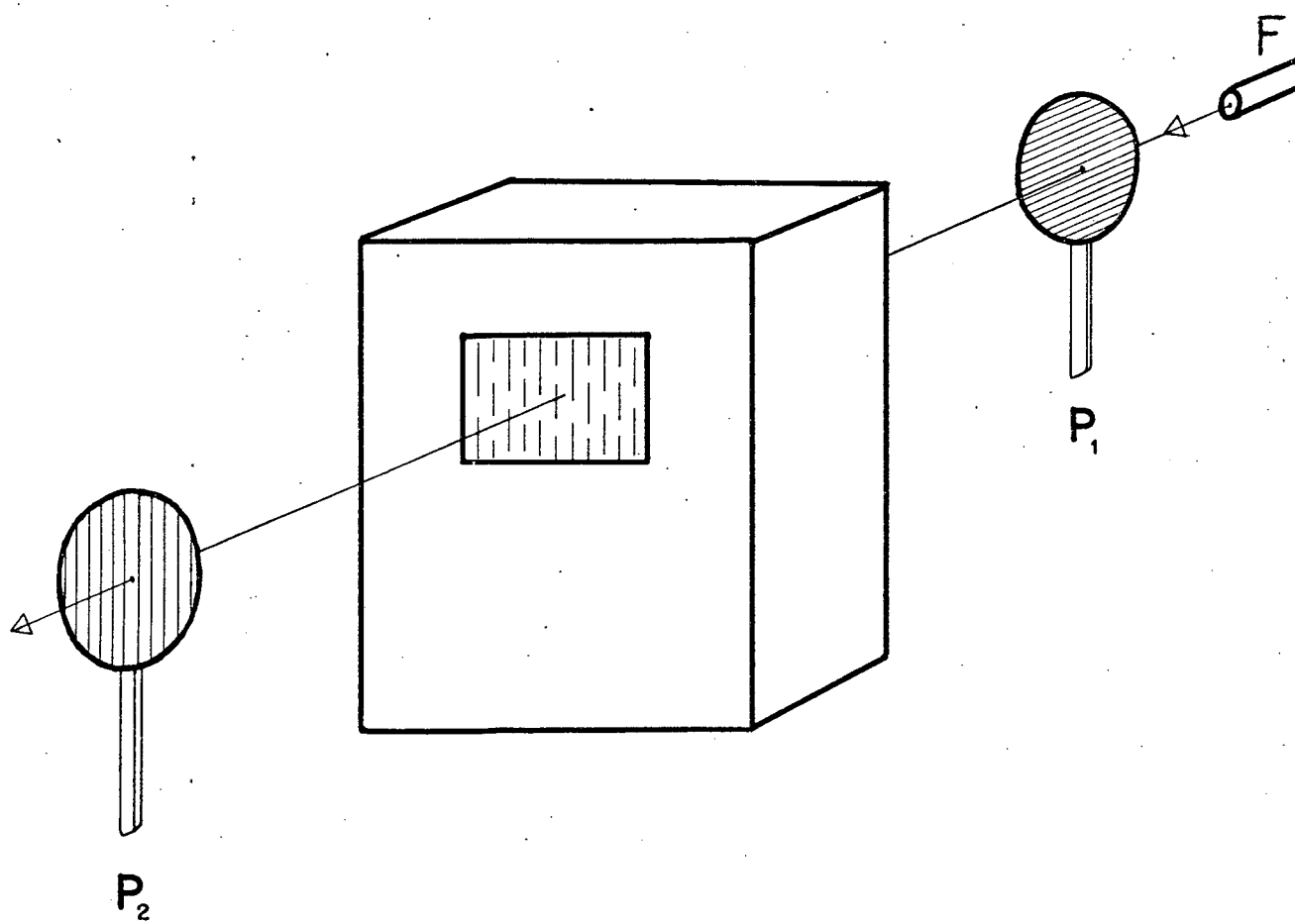
3.2 - ALINHAMENTO MOLECULAR

Atritando repetidas vezes as lâminas de vidro sobre um papel áspero e sempre na mesma direção, as moléculas do cristal líquido assumem um grau de orientação mais ou menos bom quando colocado entre as mesmas. Para verificar este grau, colocou-se a amostra sob o microscópio, com luz polarizada, de forma que o polarizador um (P_1) fosse perpendicular à suposta orientação molecular e o polarizador dois (P_2) perpendicular ao polarizador um. Nesta posição há um mínimo de luz transmitida, podendo esta intensidade luminosa ser nula se a orientação for perfeita. Girando a amostra, o que equivale a girar os dois polarizadores simultaneamente na mesma direção e com a mesma velocidade, a intensidade da luz varia uniformemente através da amostra, se houver orientação molecular.

O forno de paredes duplas fabricado para a presente experiência não se ajeitou na mesa do microscópio. Por isso seguiu-se o mesmo procedimento descrito acima, usando porém, dois polarizadores cruzados e uma fonte de luz, como ilustra a figura

FIGURA 5 - VERIFICAÇÃO DO ALINHAMENTO MOLECULAR

Esta figura mostra os polarizadores cruzados, sendo o polarizador P_1 perpendicular e o analisador P_2 paralelo em relação à orientação da amostra contida entre as lâminas, no forno e F é a fonte luminosa.



5. A experiência foi repetida até se verificar um alinhamento satisfatório. O alinhamento do p-p' dimetoxiazoxibenzol (PAA) foi obtido, atritando a lâmina de vidro previamente embebida numa solução de sabão e secada. Para os compostos 4-4'bis(heptiloxi)azoxibenzeno (HOAOB) e do octiloxibenzilideno-2-cloro-4-finilenodiamina (OBCFA) foi necessário embeber as lâminas numa solução de álcool polivinílico, na concentração de 2% , antes de friccioná-las.

Durante o enchimento do espaço entre as lâminas com cristal líquido (o dispositivo é explicado em 3.4) aqueceu-se o forno a uma temperatura média entre o ponto de fusão e ponto isotrópico. Em seguida, a temperatura foi elevada acima do ponto isotrópico para possibilitar livre alinhamento das moléculas e posteriormente baixada para permanecer no início do estado nemático, de onde se iniciaram as medidas.

3.3 - OBSERVAÇÃO COM LUZ POLARIZADA

Foi escolhida a luz do laser He-Ne, pelo fato de ter grande intensidade. Pois, além dos dois polarizadores, a luz atravessa quatro janelas de vidro e duas lâminas de vidro com 5 mm de espessura que confinam o cristal líquido; é também refletido duas vezes em espelhos na posição de 45° , e o fotodiodo que detecta a luz transmitida, fica bastante longe para estar isento dos efeitos de qualquer trepidação. A intensidade da luz transmitida usando como fonte luminosa um monocromador é extremamente fraca. Como a razão $k_{11}/\Delta X$ não depende do comprimento de onda, optou-se usar o laser.

Diversas amostras foram preparadas, colocando o líquido entre duas lâminas de vidro óticamente planares e atritadas, com dimensões de 40 x 30 x 5 mm, que foram separadas por duas plaquetas de mica colocadas nos cantos superiores conforme figura 9, na ordem de 50 μ de espessura, medidas com cronômetro Mauser cuja precisão é 0,01 mm . As lâminas de vidro foram fixas na base de cobre, com uma mola e parafusos, no interior do forno

cuja temperatura foi controlada com a precisão $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por um controlador Eurotherm. A temperatura foi medida com um termopar cobre-constantan, fixo na parede interna perto da amostra com parafuso e conectado a um potenciômetro registrador Goerz-Elétro-Ges na escala de 10 mV.

O forno foi colocado entre os polos de um eletroímã Phylatex, cujo campo máximo é da ordem de 5000 gauss, sendo continuamente refrigerado a água, e a amostra iluminada com luz do Laser He-Ne polarizada de 45° com relação ao eixo z da amostra com um polarizador Phywe. A luz transmitida foi coletada por um fotodiodo Monsanto MD1 conectado a um registrador x-y Bausch Lomb, em x. O campo magnético foi controlado manualmente, com ajustador grosso até chegar na vizinhança do campo crítico, quando se usava o ajustador fino; o aumento foi o mais lento possível para se obter uma deformação uniforme do cristal líquido. A intensidade do campo magnético foi medida com a sonda de um Gaussmeter Bell com a precisão de 0,65% do valor medido, colocada entre o polo e a amostra. O "gaussmeter" foi também conectado ao registrador x-y, em y.

3.4 - EQUIPAMENTOS CONSTRUIDOS

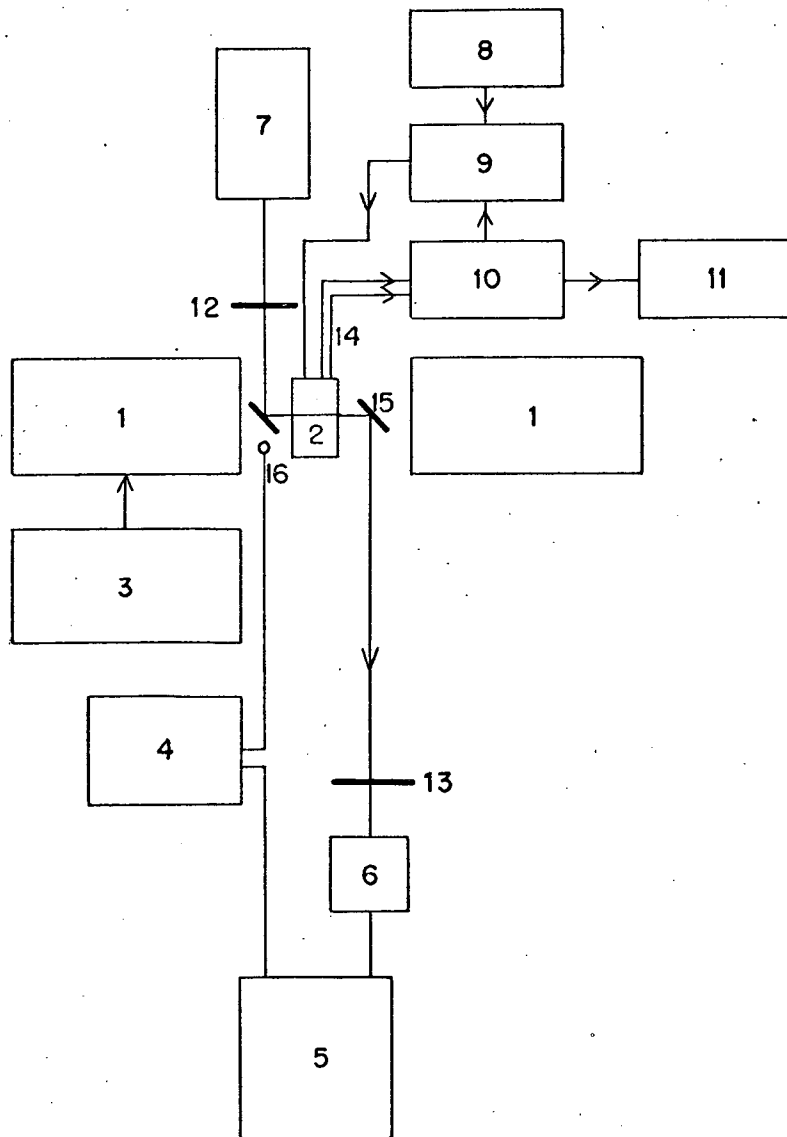
O forno mantém a amostra na temperatura desejada e foi construído com alumínio laminado e parafusos de latão. Para aquecimento se usou resistência de fio. Para o enrolamento e isolamento do resistor se usou mica e nas saídas, tubos de vidro pirex. As características do forno estão apresentadas na figura 7. No projeto de construção do forno foram considerados os seguintes requisitos:

- 1º. limitação do espaço entre os polos do eletroímã;
- 2º. tamanho das lâminas de vidro que contém a amostra;
- 3º. a maneira de colocar o cristal, ainda sólido, no forno;

FIGURA 6 - ESQUEMA DA MONTAGEM DA EXPERIÊNCIA

Aparecem todos os elementos para efetuar as medidas.

1. Eletroímã
2. Forno com a amostra
3. Fonte estabilizadora para o eletroímã
4. Medidor do campo magnético
5. Registrador x-y
6. Fotodiodo
7. Laser
8. Fonte estabilizadora de tensão para controlador de temperatura
9. Controlador de temperatura
10. Garrafa térmica com gelo
11. Potenciômetro
12. Polarizador
13. Analisador
14. Termopares. Cada linha simboliza um par de fios.
15. Espelhos
16. Sonda de medida do campo magnético



- 4º. entrada dos dois termopares (controlador de temperatura e medidor de temperatura);
- 5º. montagem e desmontagem rápida.

Para o forno satisfazer estes requisitos, vários projetos de construções foram realizados. As principais dificuldades na construção foram:

- a) obtenção de temperaturas estáveis;
- b) medição correta da temperatura;
- c) montagem e desmontagem rápida.

O problema a) foi resolvido construindo o forno com paredes duplas, diminuindo a perda de calor por condução, convecção e irradiação. O forno foi sustentado também por suporte de madeira para evitar a propagação de calor.

A solução do problema b) envolveu obstáculos bem maiores. Inicialmente o único termopar ao alcance era de fio muito grosso, havendo condução de calor através do mesmo e dificultando extremamente o manuseio do forno. Este problema foi resolvido com a chegada de um termopar cobre-constantan, fino e flexível. Com este último, conseguiram-se medidas mais exatas das temperaturas, introduzindo-se uma parte do termopar dentro do forno e prendendo-o rigidamente com parafuso na parte interna, evitando assim um gradiente de temperatura na extremidade dos fios.

Para a solução do problema c) foi necessário reestruturar o forno e desenvolver habilidades do operador.

A figura 8 apresenta aspectos internos e externos do forno.

As lâminas de vidro foram montadas numa base de latão e cobre, fixa por um sistema de mola e parafusos. Na parte superior das lâminas foram colocados dois pedacinhos de mica, um em cada lado da ordem de 50 μ m de espessura medido com micrometro. A figura 10 ilustra a disposição das lâminas e a amostra. Como durante a experiência se observou o comportamento da amostra no ponto P, figura 10.a, a espessura da amostra pode ser considerada igual à da lâmina de mica. Quanto aos termopares, a

solda de suas extremidades foi realizada com solda de prata . O fato de as lâminas de vidro serem espessas, facilita o atrito para obter o alinhamento molecular, mas em compensação possuem uma inércia térmica considerável, precisando mais ou menos 30 minutos para equilibrar a temperatura quando a mesma sofre uma variação da ordem de 100 °C.

FIGURA 7 - FORNO E SUAS DIMENSÕES

Aparece o forno, mostrando as paredes duplas, a resistência e a chapa de mica.

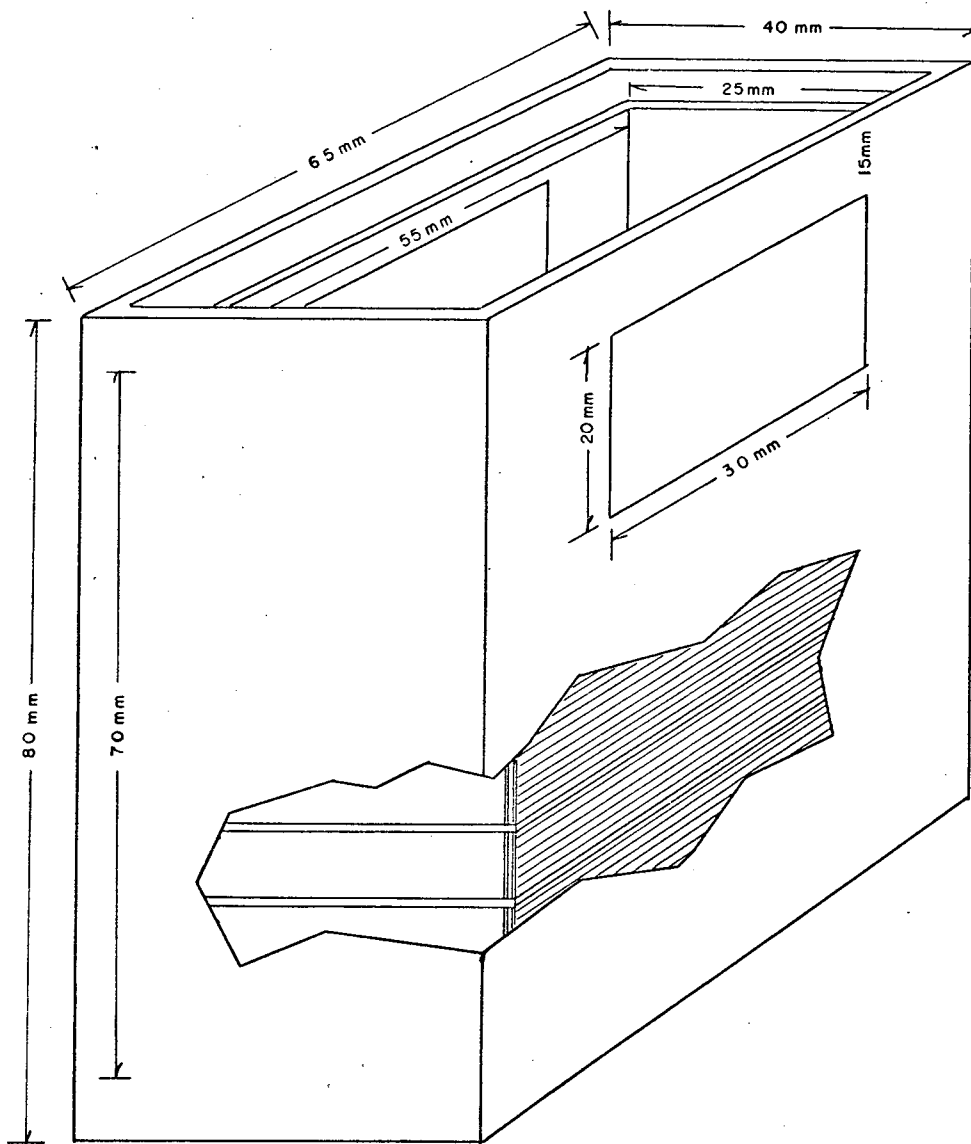


FIGURA 8 - FOTOGRAFIA DO FORNO DESMONTADO

Aparecem, da esquerda para a direita: as tampas, o suporte, a parede externa, a parede interna com a resistência e mica, as lâminas de vidro com o suporte de latão e as amostras.



FIGURA 9 - FOTOGRAFIA DO CONJUNTO DA MONTAGEM

A fotografia mostra os principais equipamentos usados nesta experiência.

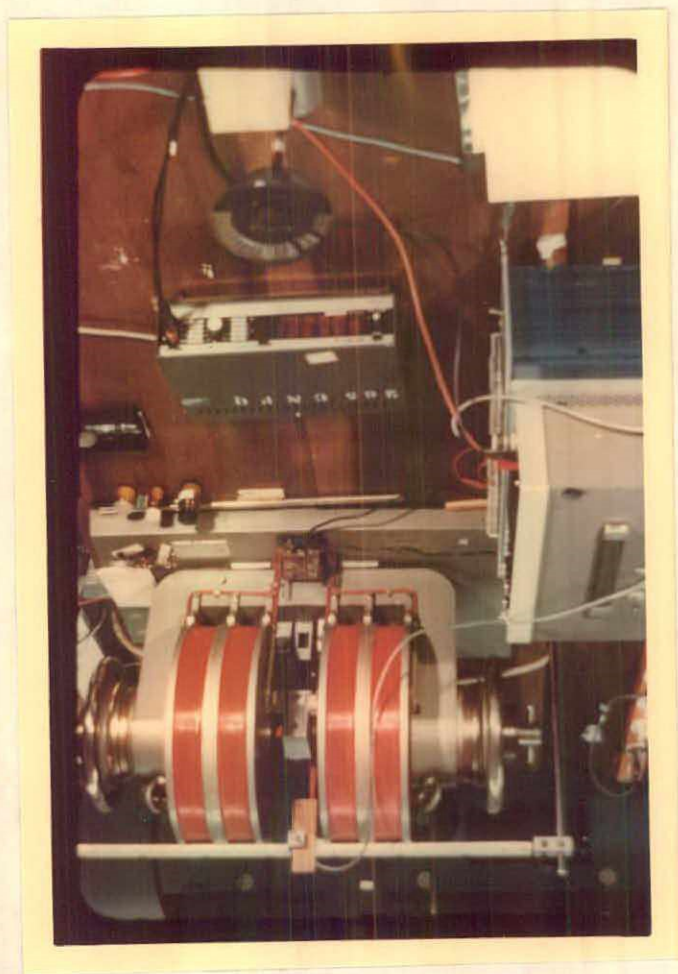
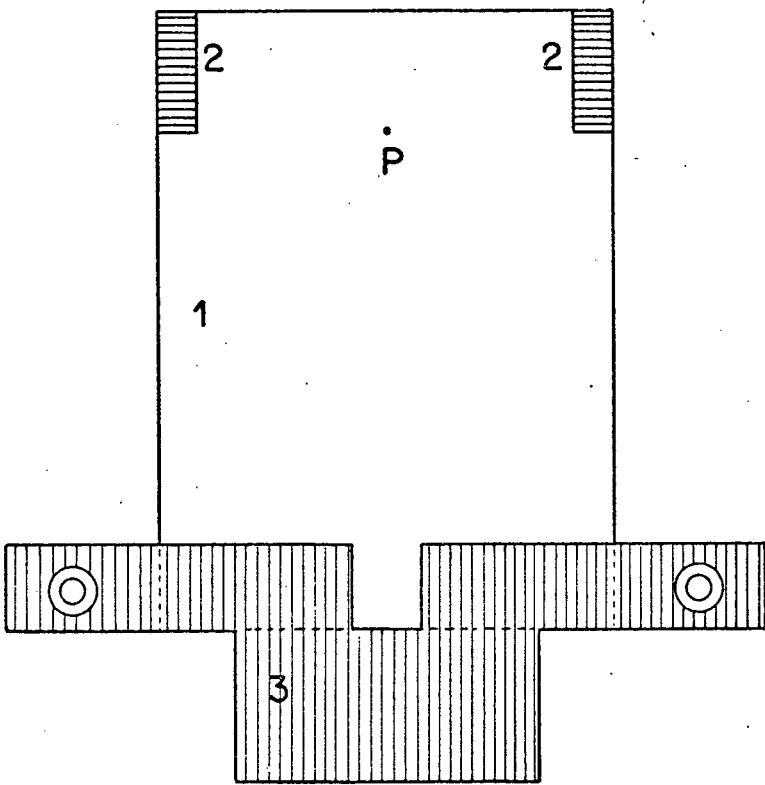


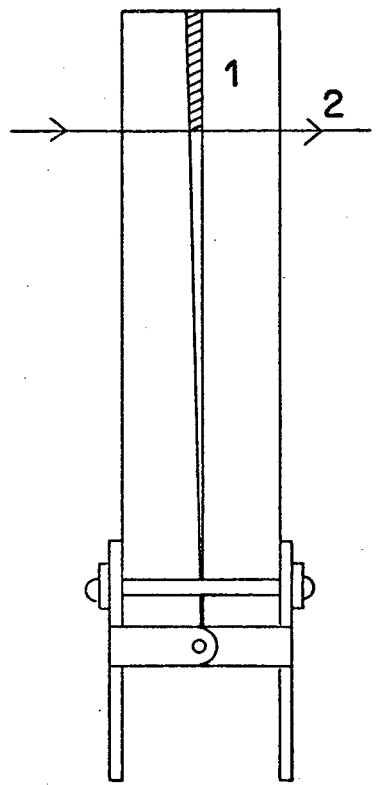
FIGURA 10 - LÂMINAS DE VIDRO

Na figura 10.a vemos: lâminas de vidro (1); as chapas de mica (2); a mola (3) e o ponto (P) por onde passa o feixe de luz.

Na figura 10.b vemos as lâminas de perfil, destacando: a cunha de cristal líquido (1); o raio de luz (2).



(a)



(b)

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

4.1 - INTRODUÇÃO

Foram usados tres compostos para determinar a razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade magnética ($k_{11}/\Delta X$). Já se encontram na literatura valores experimentais desta razão para o p-p' dimetoxiazoxibenzol (PAA), enquanto os outros dois: 4-4'bis(heltiloxi)azoxibenzol (HOAOB) e o octiloxibenzilideno-2-cloro-4-fenilenodiamina (OBCFA) são desconhecidos sob este aspecto. Usando o equipamento descrito acima, foram realizadas as medidas do campo magnético crítico H_0 para diversas temperaturas, para cada composto.

4.2 - p-p' DIMETOXIAZOXIBENZOL (PAA)

Características do PAA:

Fórmula bruta : $C_{14}H_{14}O_3N_2$

Fórmula estrutural : $CH_3O - \text{C}_6\text{H}_4 - N = \overset{O}{\uparrow} N - \text{C}_6\text{H}_4 - OCH_3$

Ponto de fusão : $117^\circ C$

Fase nemática : $117^\circ C$ até $135^\circ C$

Ponto isotrópico : $135^\circ C$

O composto foi adquirido na Eastman Kodak Ltda e recristalizado nos laboratórios da UFSC, utilizando álcool etílico.

No quadro 1 aparecem tres séries de medidas do PAA, para uma mesma amostra. Sendo T (temperatura), H_0 (campo crítico), $x_0 H_0$ (produto da espessura pelo campo crítico) e $k_{11}/\Delta X$ (razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade

de magnética), veja equação (2.18).

Estes dados estão representados graficamente nas figuras 11 e 12.

4.3 - 4-4'BIS(HEPTILOXI)AZOXIBENZENO (HOAOB)

Características do HOAOB :

Fórmula bruta : $C_{26}H_{38}O_3H_2$

Fórmula estrutural : $H_{15}O_7O - \text{C}_6\text{H}_4 - N = \overset{O}{\uparrow} N - \text{C}_6\text{H}_4 - OC_7H_{15}$

Ponto de fusão : 75°C

Fase nemática : 94°C até 123°C

Ponto isotrópico : 123°C

Este composto foi adquirido na Eastman Kodak Ltda e recristalizado nos laboratórios da UFSC, utilizando clorofórmio.

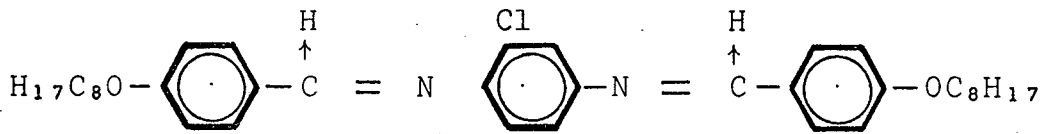
No quadro 2 aparecem tres séries de medidas para uma mesma amostra do HOAOB para a temperatura, campo crítico, produto da espessura pelo campo crítico e a razão da constante elásica "splay" pela susceptibilidade magnética. Nas figuras 13 e 14 aparecem os gráficos destas medidas.

4.4 - OCTILOXIBENZILIDENO-2-CLORO-4-FENILENODIAMINA (OBCFA)

Características do OBCFA:

Fórmula bruta : $C_{36}H_{47}O_2N_2Cl$

Fórmula estrutural :



Ponto de fusão : 59 °C

Fase nemática : 59 °C até 180 °C

Ponto isotrópico : 180 °C .

As medidas do OBCFA aparecem no quadro 3 e os gráficos nas figuras 14 e 15. Este composto foi fornecido já purificado pelo Dr. Sadari Arora.

QUADRO 1 - MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO CRÍTICO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA O PAA

1ª Série				2ª Série				3ª Série			
T (°C)	H _O (G)	x _O H _O (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²	T (°C)	H _O (G)	x _O H _O (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²	T (°C)	H _O (G)	x _O H _O (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²
								99,6	1468	7,04	5,0
								106,4	1418	6,8	4,18
								108,5	1387	6,6	4,4
110,7	1312	6,3	4,02					110,7	1356	6,5	4,2
112,75	1262	6,0	3,6					112,75	1325	6,36	4,09
114,8	1218	5,8	3,4					114,8	1287	6,17	3,85
117				117,1	1387	6,65	4,5	117	1250	6,0	3,6
121,4	1168	5,6	3,17	119,2	1343	6,4	4,15	119	1218	5,8	3,4
123,3	1156	5,54	3,1	121,4	1218	5,8	3,4	121,3	1187	5,7	3,29
125,4	1125	5,4	2,9	123,35	1175	5,6	3,17	125,4	1143	5,48	3,04
127,25	1093	5,2	2,73	125,4	1162	5,57	3,14	127,25	1075	5,16	2,7
130,55	1063	5,1	2,63	127,3	1087	5,2	2,7	130,5	905	4,3	1,8
131,8	968	4,6	2,1	129,8	1050	5,0	2,5	131	843	4,0	1,62

$$x_O = 50 \mu\text{m} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\lambda = 6328 \text{ \AA} = 6,328 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

QUADRO 2 - MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO CRÍTICO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA HOAOB

1ª Série				2ª Série				3ª Série			
T (°C)	H _O (G)	x _O H _O (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²	T (°C)	H _O (G)	x _O H _O (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²	T (°C)	H _O (G)	x _O H _O (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²
102,2	2784	14,4	21	102	2764	14,3	20,7	102,2	2764	14,37	20,9
104				104,3	2686	13,9	19,5	104,3	2686	13,9	19,5
106,5	2255	11,7	13,8	106,5				106,5	2392	12,4	15,5
108,6				108,6	2313	12,03	14,6	108,5	2294	11,9	14,3
110,6				110,6				110,6	2196	11,4	13,2
112,8	2098	10,9	12	112,8	2137	11,1	12,48	112,8	2117	11,0	12,2
115,1	1941	10,1	10,3	115,1	2039	10,6	11,3	115,1	2098	10,9	12,0
117,1	1901	9,8	9,73	117,1	2000	10,4	10,9	117,1	2041	10,6	11,38
119	1823	9,47	9	119	1941	10,1	10,3	119	1941	10,1	10,3
121,4	1509	9,8	6,2	121,4	1686	8,7	7,6	121,25	1745	8,8	8,2

$x_O = 50 \mu\text{m} ; \quad \lambda = 6238 \text{ \AA}$

QUADRO 3 - MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO CRÍTICO
EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA OBCFA

1ª Série				2ª Série			
T (°C)	H ₀ (G)	x ₀ H ₀ (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²	T (°C)	H ₀ (G)	x ₀ H ₀ (cm.G)	k ₁₁ /ΔX (cm.G) ²
58,5	4759	21,44	46,44	58,5	4740,7	21,33	40,09
67,75	4222	18,99	36,53	63,2	4592,5	20,66	43,24
76,6	4000	18,00	32,82	67,75	4467	20,10	40,93
85,6	3518,5	15,83	25,40	76,5	4277	19,24	37,5
94,3	3426	15,41	24,06	85,6	4000,0	18	32,82
102,8	3370	15,16	23,28	94,4	3907,4	17,58	31,3
111,3	3333	14,99	22,76	98,3	3833,3	17,25	30,15
119,7	3277	14,74	22,01	107,0	3555,5	15,99	25,9
127,9	3129,1	14,08	22,08	111,3	3462	15,59	24,59
135,8	3000	13,50	18,46	119,7	3277,7	14,75	22,04
144,2	2888,8	12,99	17,09	123,8	3111,1	13,99	19,83
152,1	2648	11,91	14,37	127,9	3000	13,50	18,46
160,0	2555	11,49	13,37	132	2962	13,33	18,0
168,15	2777	10,24	10,6	140,1	2648	11,9	14,34
3ª Série				144,2	2548	11,46	13,3
102,6	3222	14,49	21,27	152,1	2428	10,9	12,03
127,7	3055	13,75	19,15	156,1	2138,8	9,62	9,57
136,8	3000	13,50	18,46	160,0	2046	9,20	8,37
144,3	2703	12,16	14,98	164	2000	9,0	8,20
152,3	2518	11,33	13,01	168,15	1740,7	7,83	8,21
161	2463	11,08	12,43	171,8	1676	7,54	5,76
168,5	2222	9,99	10,11				
176	2018	9,00	8,21				

$$\mu_0 = 50 \mu\text{m}$$

$$\lambda = 6238 \text{ \AA}$$

FIGURA 11 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO H_0 PARA O PAA

Dependência do campo magnético crítico com a temperatura para o p-p'dimetoxiazoxibenzol (PAA).

- . significa 1.^a série de medidas
- + significa 2.^a série de medidas
- o significa 3.^a série de medidas

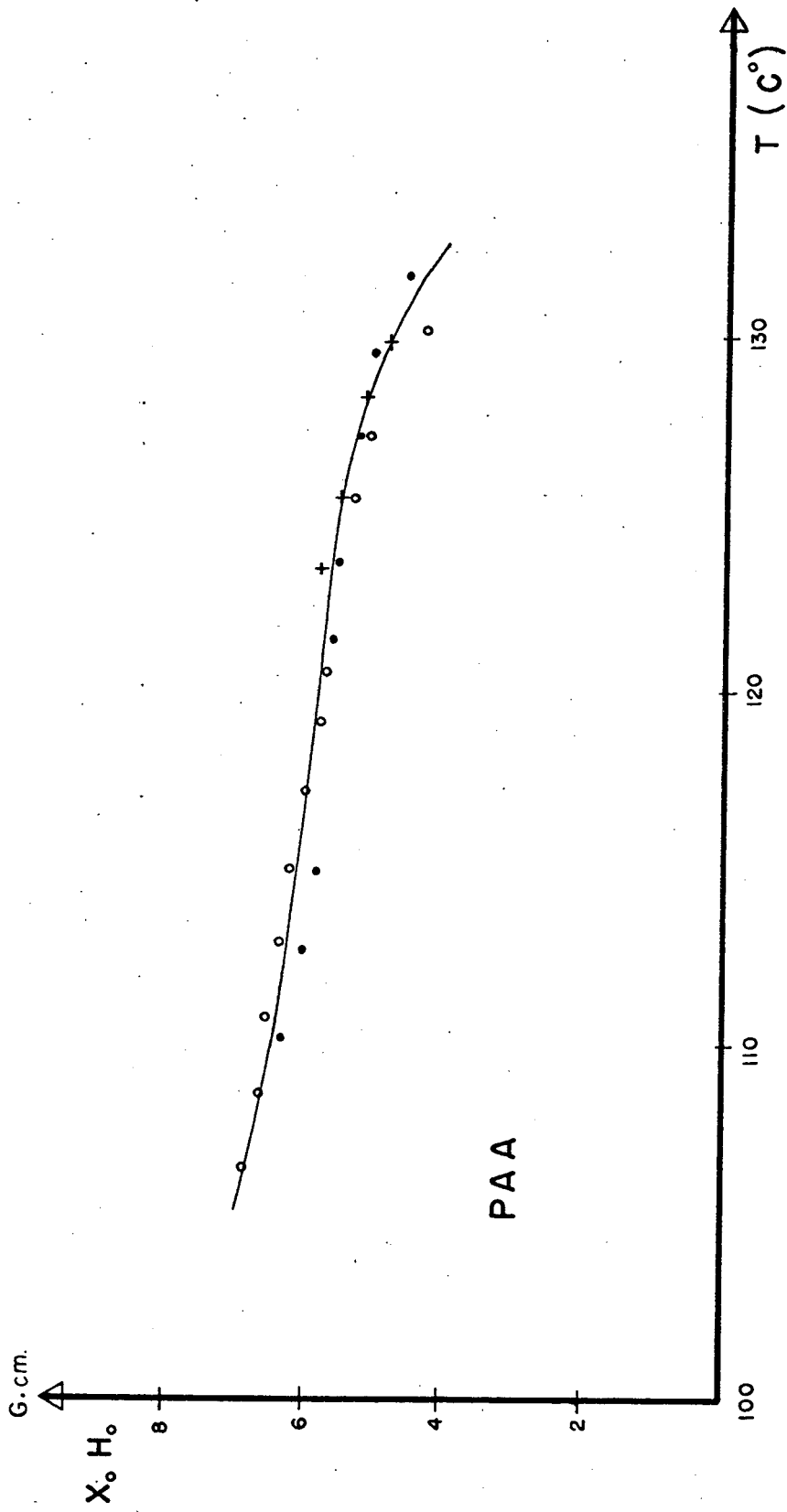


FIGURA 12 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DE $k_{11}/\Delta X$ PARA O PAA

Dependência da razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade magnética para o PAA.

- . 1.^a série de medidas
- + 2.^a série de medidas
- o 3.^a série de medidas

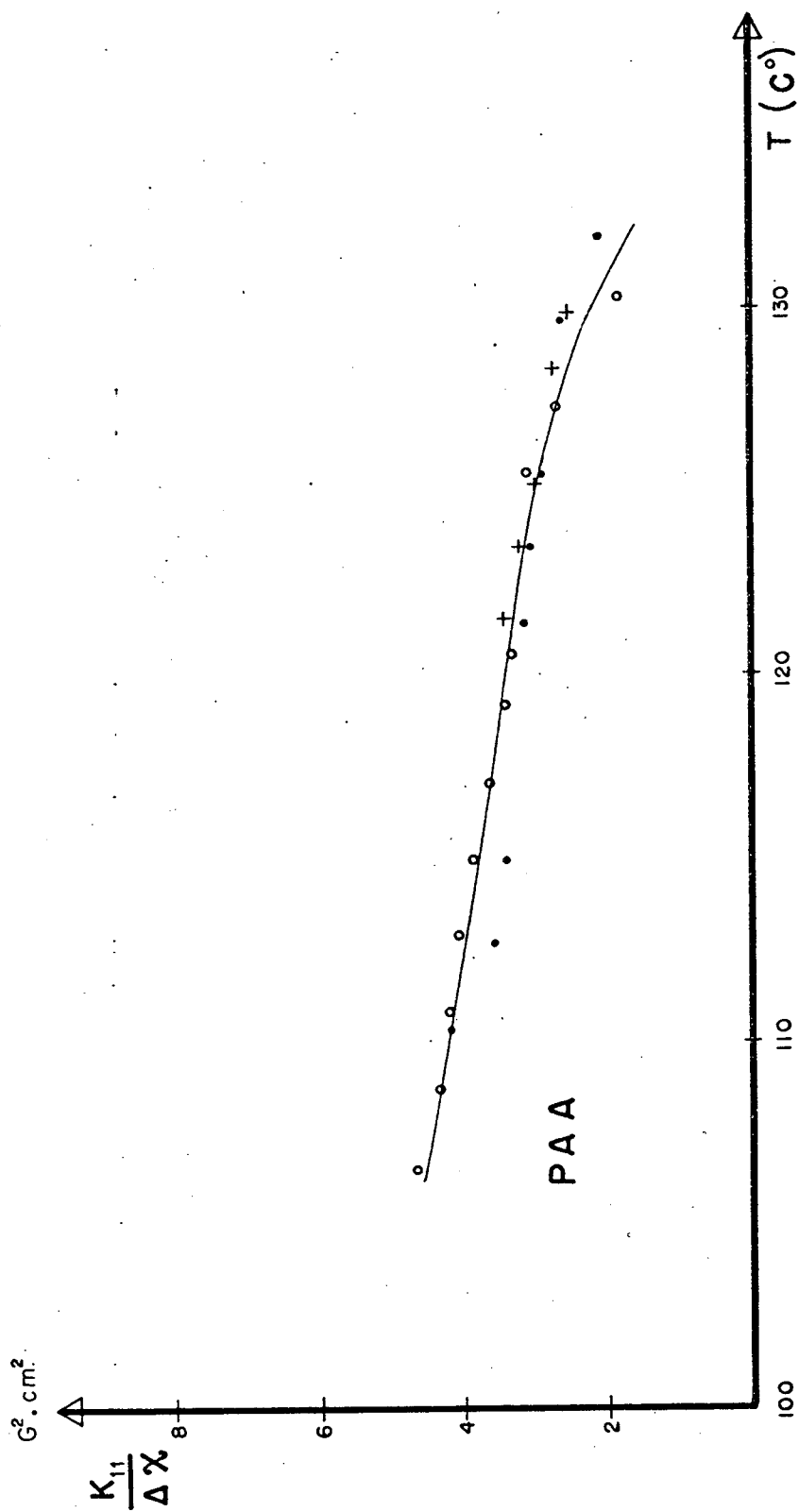


FIGURA 13 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO H_0 PARA O HOAOB

Dependência do campo magnético crítico com a temperatura para o 4-4Bisheptiloxiazoxibenzeno.

- . 1.^a série de medidas
- o 2.^a série de medidas
- + 3.^a série de medidas

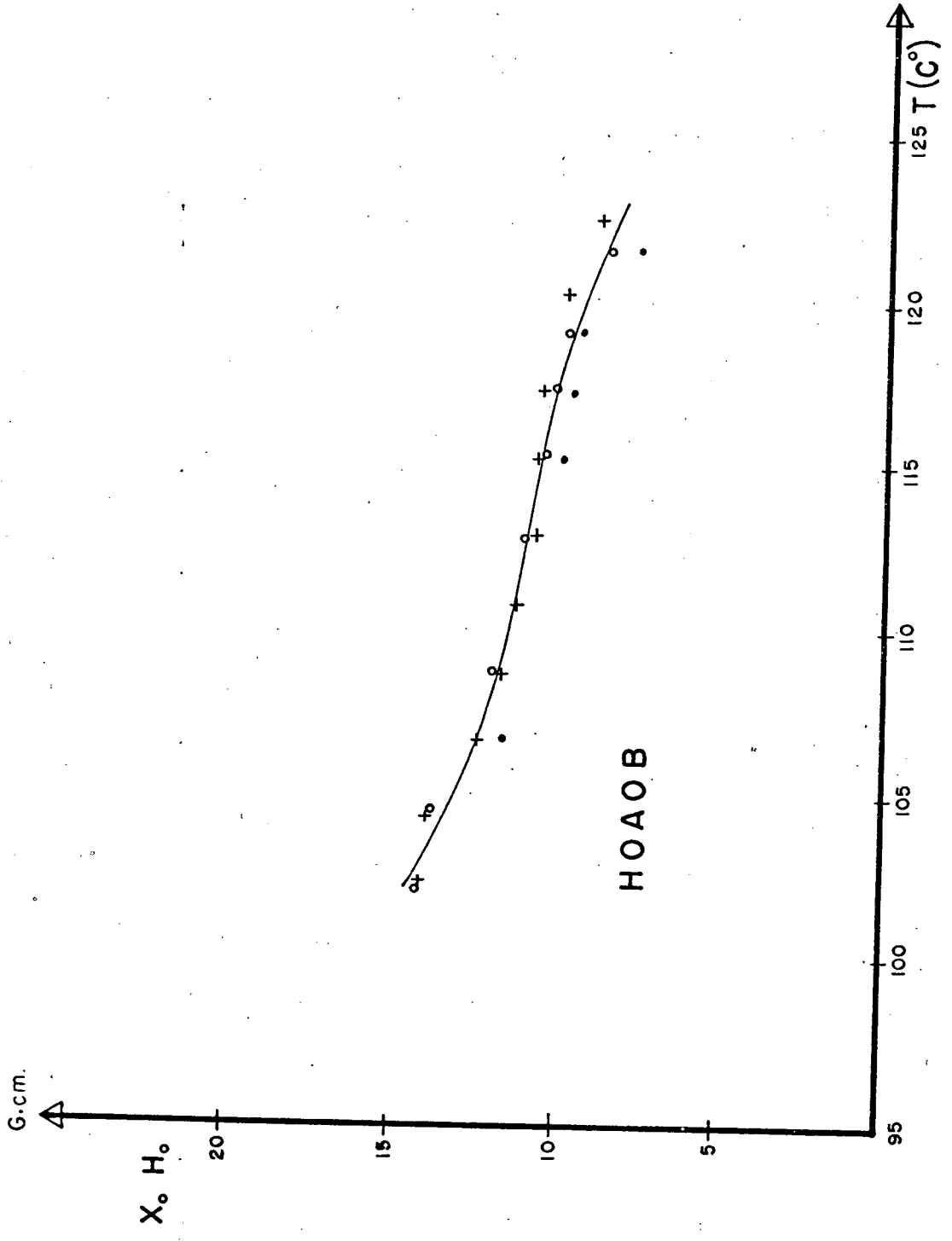


FIGURA 14 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DE $k_{11}/\Delta X$ PARA O HOAOB

Dependência da razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade magnética para o HOAOB.

- . 1.^a série de medidas
- o 2.^a série de medidas
- + 3.^a série de medidas

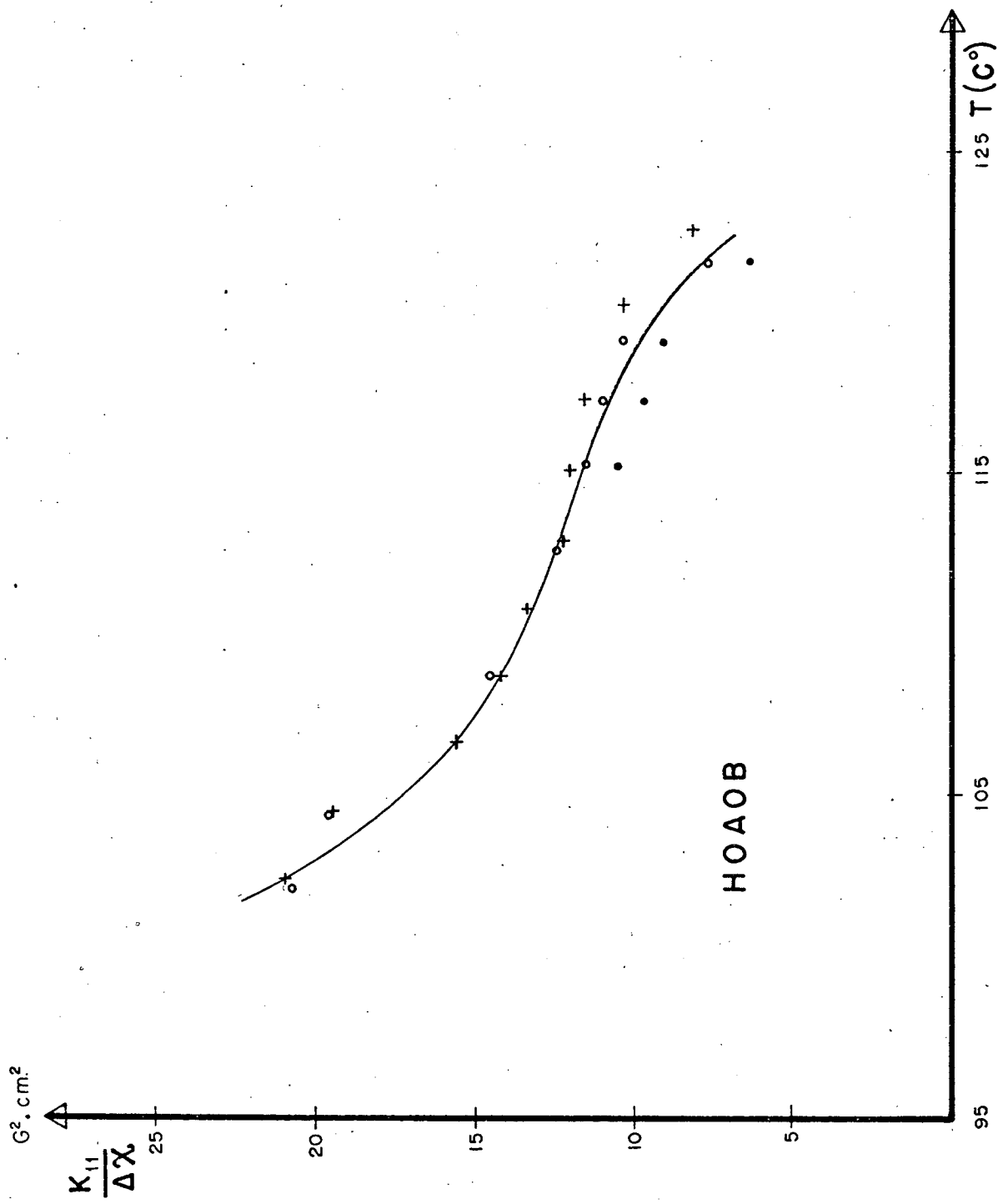


FIGURA 15 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO H_0 PARA O OBCFA

Dependência de campo magnético crítico com a temperatura para o octiloxibenzilideno-2-cloro-4-fenileno-diamina (OBCFA).

- . 1.^a série de medidas
- o 2.^a série de medidas
- + 3.^a série de medidas

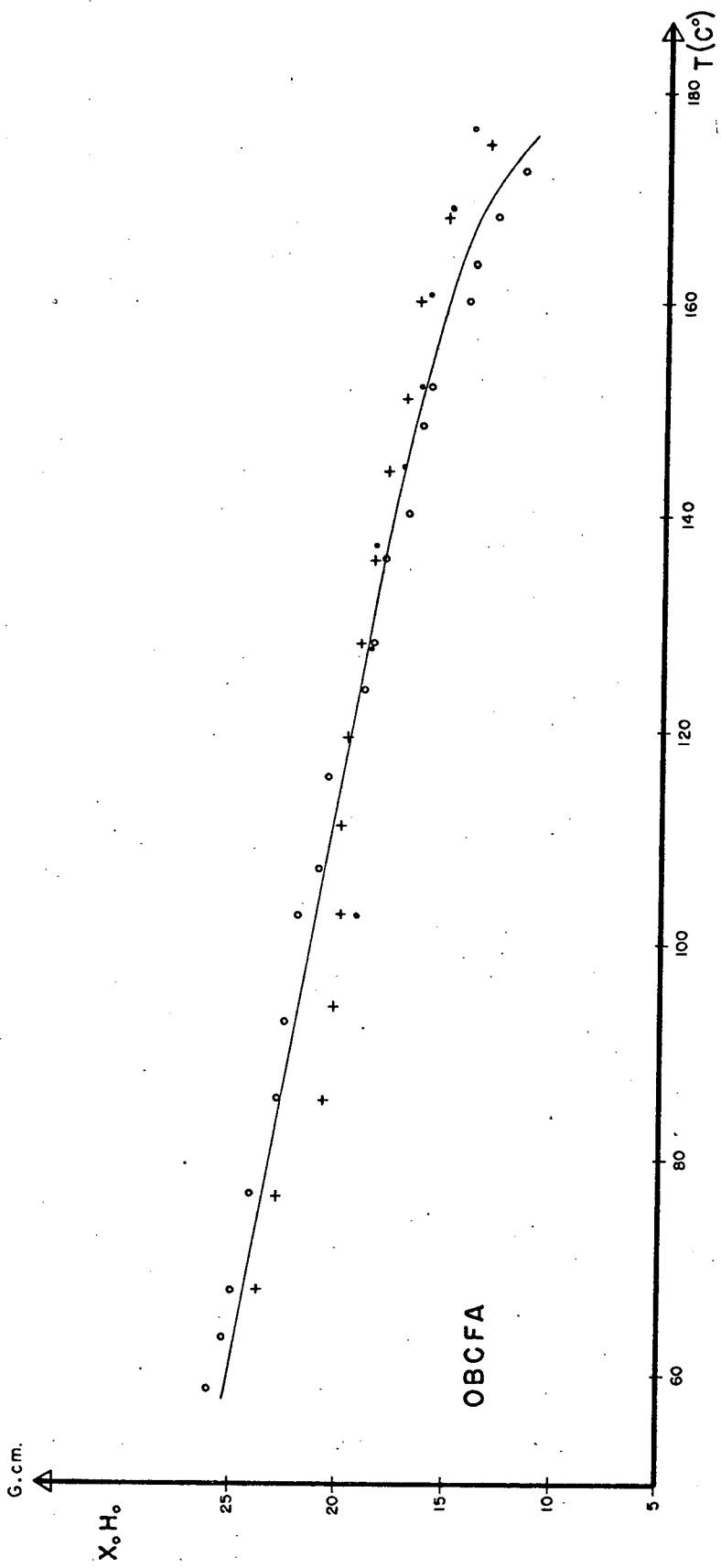
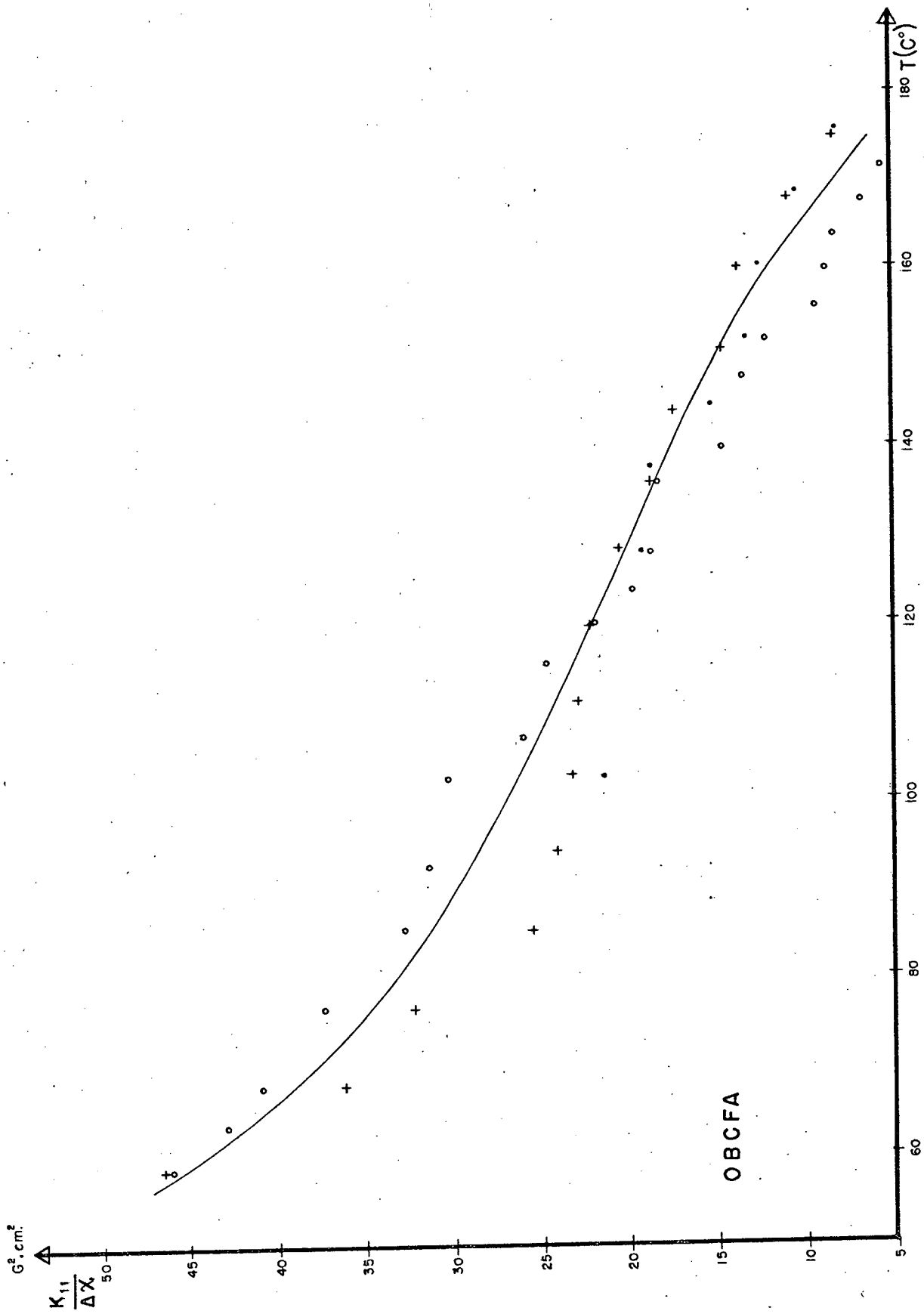


FIGURA 16 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DE $k_{11}/\Delta X$ PARA O OBCFA

Dependência da razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade magnética para o OBCFA.

- . 1.^a série de medidas
- o 2.^a série de medidas
- + 3.^a série de medidas



CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO

5.1 - COMPARAÇÃO COM OS RESULTADOS NA LITERATURA PARA O PAA

No trabalho de Saupe⁹, foi determinada a curva $x_0 H_0 \times T$, isto é, a variação do tempo crítico com a temperatura o que foi tomado como referência, para comparar com os resultados deste trabalho. A figura 17 compara a curva $x_0 H_0 \times T$ de Saupe com a da presente experiência. A diferença entre as duas curvas é da ordem de 17 %, isto é, da mesma ordem de precisão do presente trabalho. Esta diferença pode ser causada pela falta de alinhamento molecular ou pela leitura do campo magnético crítico.

Nota-se pelos gráficos que nos tres compostos, tanto $x_0 H_0$ como $k_{11}/\Delta X$ diminuem com a temperatura, sendo esta diminuição mais acentuada perto do ponto isotrópico. Verifica-se igualmente que estas grandezas aumentam mais rapidamente com a diminuição da temperatura perto do ponto de fusão. No caso do OBCFA, possuindo uma faixa maior na fase nemática, nota-se maior linearidade na variação do campo magnético crítico com a temperatura.

5.2 - ERROS

Sendo a razão $k_{11}/\Delta X$ uma função da espessura da amostra x_0 , do campo crítico H_0 e da temperatura T , podemos expressá-la da seguinte maneira geral :

$$\frac{k_{11}}{\Delta X} = F(x_0 H_0)$$

Diferenciando temos :

$$\Delta \left(\frac{k_{11}}{\Delta X} \right) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_0} \right) \Delta x_0 + \left(\frac{\partial F}{\partial H_0} \right) \Delta H_0$$

Como

$$\frac{k_{11}}{\Delta X} = \left(\frac{x_0 H_0}{\pi} \right)^2, \text{ equação (2.18) vem}$$

$$\Delta \left(\frac{k_{11}}{\Delta X} \right) = \left(\frac{2x_0 H_0^2}{\pi^2} \right) \Delta x_0 + \left(\frac{2x_0^2 H_0}{\pi^2} \right) \Delta H_0$$

Onde

$$\Delta x_0 = 5 \times 10^{-4} \text{ cm}$$

$$\Delta H_0 = (50 + 0,65\% \times H_0) \text{ Gauss}$$

Na expressão $H_0 = 50 + 0,65\% \times H_0$, 50 Gauss é o erro estimado na leitura do campo crítico e 0,65% H_0 é a precisão do medidor do campo magnético.

O erro para $x_0 H_0$:

Diferenciando obtemos :

$$\Delta(x_0 H_0) = \frac{\partial}{\partial x_0} (x_0 H_0) \Delta x_0 + \frac{\partial}{\partial H_0} (x_0 H_0) \Delta H_0$$

$$\Delta(x_0 H_0) = H_0 \Delta x_0 + x_0 \Delta H_0$$

Obtém-se desta forma os erros percentuais, apresentados no quadro 5. A leitura da temperatura apresenta um erro de $\pm 0,5^\circ \text{C}$, devido às características do forno.

O maior erro ocorreu na medida da espessura da a mostra, x_0 , com micrômetro; portanto o erro elevado está no Δx_0 . Para evitar este grande erro, no início foi tentado um outro métoo

QUADRO 4 : ERROS PERCENTUAIS

PAA

T (°C)	x_{O_2} (cm.G)	$k_{11}/\Delta X$ (cm ² .G ²)
106,4	14,7 %	26,4 %
119	17,0 %	28,2 %
130,5	16,9 %	29,6 %

HOAOB

T (°C)	x_{O_2} (cm.G)	$k_{11}/\Delta X$ (cm ² .G ²)
102,2	11,6 %	22,7 %
112,8	12,4 %	23,6 %
119,0	12,6 %	24,5 %

OBCFA

T (°C)	x_{O_2} (cm.G)	$k_{11}/\Delta X$ (cm ² .G ²)
63,2	12,9 %	26,2 %
119,7	13,4 %	28,3 %
168,1	14,6 %	29,5 %

do para medir x_0 . Em vez de usar duas lâminas de faces paralelas e separá-las por uma chapa de mica, tentou-se usar uma lâmina plana e outra com a espessura variável em forma de cunha, em sua parte central, como mostra a figura 18. Estuda-se a amostra compreendida entre c-d. A parte em forma de cunha b-c, serve para determinar a espessura, contando-se o número de franjas de interferência ocasionado pela interferência da luz incidindo verticalmente de cima para baixo e refletida na 2ª face da lâmina superior e na 1ª face da inferior. Pela equação $2x_0 = (m + 1/2)\lambda$ obtém-se a espessura x_0 , onde λ é o comprimento de onda da luz incidente e m é o número de franjas.

Entretanto, por falta de planaridade das lâminas não se via franjas de interferência. Foi necessário, então, inventar uma nova forma para obter a espessura, embora com menor precisão, mas que funcionasse, dando algum resultado.

FIGURA 17 - COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DO H_0 PARA O PAA COM OS
RESULTADOS OBTIDOS POR SAUDE

Apresenta a curva obtida por Saupe (+) e a da
presente experiência: . 1ª série de medidas
o 2ª série de medidas

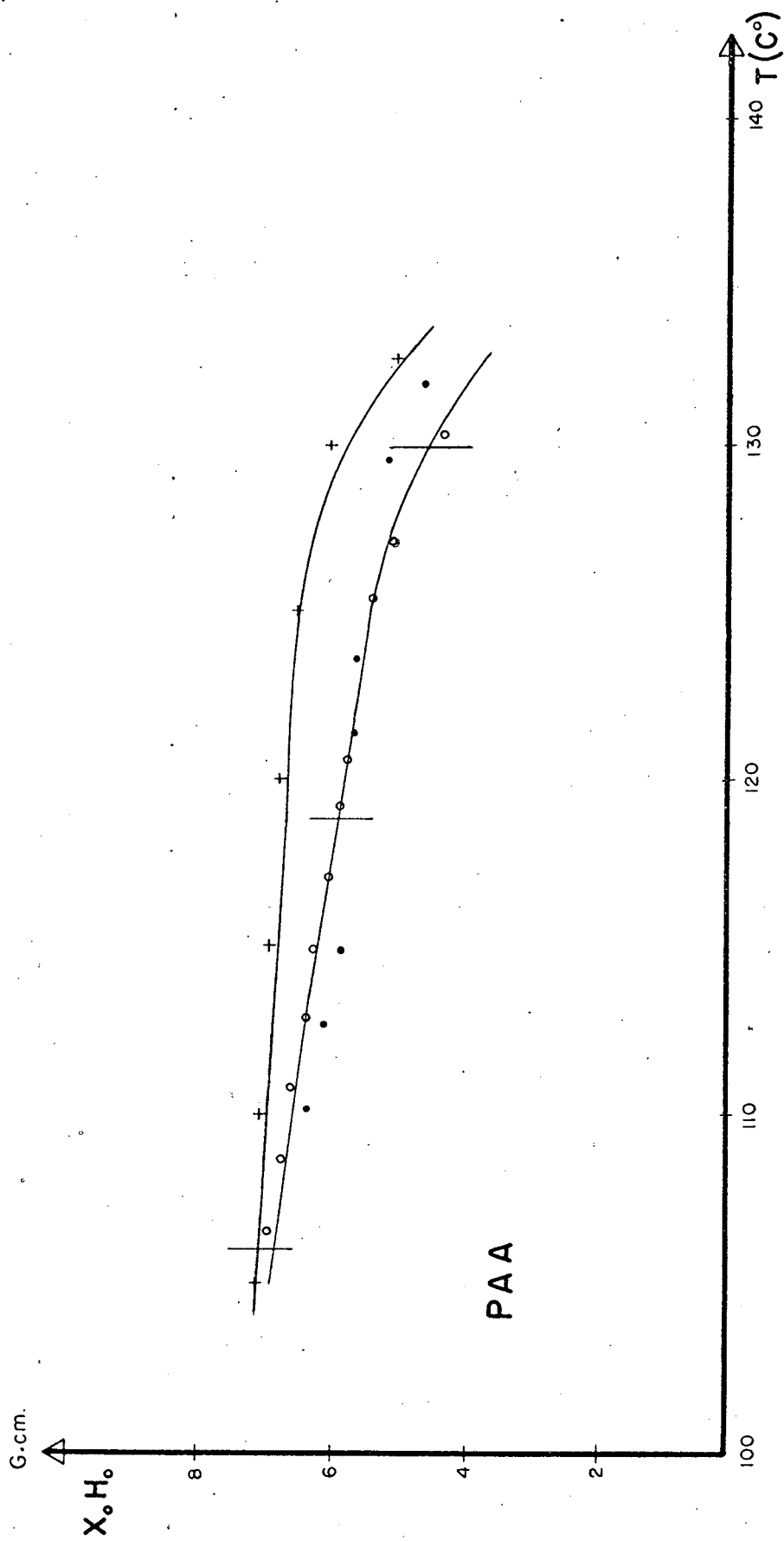
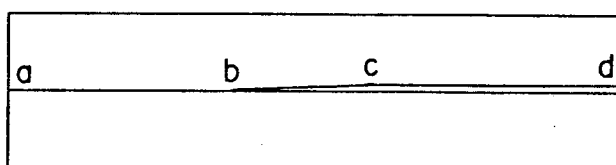


FIGURA 18 - LÂMINAS DE VIDRO COM FORMA DE CUNHA

A lâmina inferior apresenta faces paralelas, enquanto a superior apresenta uma face com um declive, causando uma sucessão de franjas de interferência.



CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Esta experiência, serviu para :

- 1) verificar experimentalmente os fenômenos descritos na teoria;
- 2) comprovar o funcionamento dos equipamentos adquiridos e construídos;
- 3) confirmar a validade do método para a determinação do campo magnético crítico;
- 4) descobrir os aspectos a serem aperfeiçoados para obter resultados com maior precisão.

Para obter resultados com maior precisão, sugere-se usar outro método para determinar a espessura da amostra, x_0 , como seja, através da interferência luminosa. Outra fonte de erro está no critério usado para determinar o campo magnético crítico H_0 . A figura 4 mostra um caso típico da variação da intensidade luminosa com a variação do campo magnético crítico, para a amostra PAA, na temperatura de 130°C . Verifica-se que o início da variação da intensidade luminosa não é nítido. Tomou-se o campo magnético crítico no ponto indicado pela flecha, na figura 4. Esta falta de nitidez é devido à influência térmica das moléculas e a ruídos de registrador x-y. Para obter variações mais lentas do campo magnético crítico se poderia usar um sistema automático ao invés do controle manual. Com estes melhoramentos será possível a determinação do campo magnético crítico com a precisão menor do que 5 % .

Verifica-se, nesta experiência, que o campo magnético crítico e a razão entre a constante elástica "splay" e a susceptibilidade magnética diminuem com a temperatura lentamente, sendo esta diminuição mais acentuada perto do ponto isotrópico.

APÊNDICE

Para relembrar as principais grandezas magnéticas, aparece este apêndice.

RELAÇÃO ENTRE OS VETORES INDUÇÃO MAGNÉTICA,
INTENSIDADE MAGNÉTICA E MAGNETIZAÇÃO ¹⁰

\vec{B} = indução magnética

Definição : $\vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B}$

\vec{F}_m = força magnética exercida sobre uma carga com velocidade \vec{v} , no campo de indução \vec{B} .

\vec{H} = intensidade magnética

Definição : $\vec{H} = \vec{B}/\mu_0 - \vec{M}$ onde

μ_0 = permeabilidade magnética no vácuo

\vec{M} = magnetização

Definição : $\vec{M} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta V} \sum_i \vec{m}_i$

\vec{m}_i = momento do dipolo magnético

A intensidade magnética \vec{H} e a magnetização \vec{M} são relacionadas por $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ relação aproximadamente linear

χ_m = susceptibilidade magnética

Quando χ_m é maior que zero, o material é paramagnético. Neste caso a indução magnética é reforçada pela presença do material. Quando χ_m é menor que zero, o material é diamagnético. Neste caso a indução magnética é enfraquecida pela presença do material.

χ_m = depende da temperatura e seu módulo é muito menor que um para materiais paramagnéticos e diamagnéticos.

Relação entre \vec{B} e \vec{H}

$\vec{B} = \mu \vec{H}$ onde μ = permeabilidade magnética do meio

$\mu = \mu_0 (1 + \chi_m)$

$$k_m = \frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \chi_m \text{ onde } k_m = \text{permeabilidade relativa}$$

É imediato a relação

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}).$$

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. SAUPE, A. Recent Results in the Field of Liquid Crystals .
Angewandte Chemie, International Edition, New York, 7(2) :
97-111, 1968.
2. FRIEDEL, G. The mesomorphic states of matter. *Annales de Physique*, Paris, 18:273-474, 1922.
3. ZOCHER, H. Effect of a Magnetic Field upon the Nematic State
Transactions of the Faraday Society, London, 29:945-57,
1933.
4. OSEEN. C. W. *Transactions of the Faraday Society* , London ,
29:883, 1933 .
5. GRULER, H.; SCHEFFER, T. J. & MEIER, G. Elastic constants of
nematic liquid crystals. *Z. Naturforsch, A*, Freiburg, Ger.,
27(6):966-76, 1972.
6. FRANK, F. C. *Discussions of the Faraday Society.*, 25:19 ,
1958.
7. REITZ, John R. & MILFORD, F. J. Energy Density in the Magn~~e~~
tic Field. Forces and Torques on Rigid Circuits. In: -- .
Foundations of Electromagnetic theory. 2.ed. Reading,
Mass., Addison-Wesley, c1967. xii+435 p., il. cap. 12, p .
234-8 .
8. GAY, P. Interference effects in parallel light with general
orientations of polars and crystal section. In: --. *An
Introduction to Crystal Optics*. London, Longmans, c1967.
x+262 p., il. p. 235-6.
9. SAUPE, A. Bending Elasticity of the Nematic Phase of azoxya
nisoie. *Z. Naturforsch.*, Freiburg, Ger., 15a:815-22, 1960.
10. REITZ, John R. & MILFORD, F. J. Magnetic Susceptibility and
Permeability. Hysteresis. In: --. *Foundations of Electro
magnetic Theory*. 2.ed. Reading, Mass. Addison-Wesley,
c1967, xii+435 p., il. cap. 10, p. 193-9.