

## APLICAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO A PLAGIOCLÁSIOS EM 4 POSIÇÕES DE EXTINÇÃO\*

IBRAHIM OCTAVIO ABRAHÃO\*\*

### RESUMO

O método analítico de Chomard é aplicado a 13 plagioclásios, pertencentes a 7 grupamentos. Para cada indivíduo, efetuaram-se, em cada uma das 4 posições de extinção, 12 operações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ), resultantes da combinação de 3 $\theta$  ( $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$ ), com 4 $\varphi$  ( $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi = 135^\circ$ ,  $\varphi = 225^\circ$  e  $\varphi = 315^\circ$ ). Cada ângulo de extinção ( $\Psi$ ) foi determinado como média de 8 medições de maneira que realizaram-se cerca de 5000 medições individuais de ângulos  $\Psi$ . Um resumo operacional do método é apresentado. Através de programa para computador, o valor de 2V e os ângulos diretores dos eixos óticos foram determinados de 12 maneiras diferentes em cada indivíduo, usando-se as operações equivalentes à combinação de cada  $\theta$  com as  $C_4^3$  possíveis de  $\varphi$ . Para cada  $\theta$ , calculou-se o  $\Delta$  resultante. A conclusão principal que o exame dos resultados permite é que confirmam-se resultados anteriores do autor: o método analítico é, para plagioclásios, pelo menos tão seguro quanto os convencionais, quando se usa  $\theta = 30^\circ$  e  $\varphi$  é um múltiplo de  $45^\circ$ . Entretanto, não se observou nenhuma vantagem no emprego de 4 posições de extinção ao invés de apenas uma, escolhida ao acaso.

### 1. INTRODUÇÃO

Dada uma espécie mineral em secção delgada arbitrária, na platina universal, é possível, mediante um procedimento analítico, determinar a posição da indicatriz ótica em projeção estereográfica e o valor de 2V através de simples medições de ângulos de extinção. É suficiente que se executem três operações de extinção ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ) em que  $\varphi$ ,  $\theta$  e  $\Psi$  são rotações de Euler.  $\varphi$  e  $\theta$  são escolhidos, de maneira que a única medição a ser feita é a de  $\Psi$ , ângulo de extinção. Executadas ( $\varphi_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\Psi_1$ ), ( $\varphi_2$ ,  $\theta_2$ ,  $\Psi_2$ ) e ( $\varphi_3$ ,  $\theta_3$ ,  $\Psi_3$ ) esses valores entram em uma marcha de cálculo que leva aos valores de 2V e dos ângulos diretores dos eixos óticos.

Esse processo analítico tem as vantagens de ser geral e operacionalmente simples, bastando determinar três ângulos de extinção.

A desvantagem do método é envolver uma marcha de cálculo tão extensa e complicada que, mesmo nos casos mais simples, não oferece vantagem sobre os métodos tradicionais. Parece ter sido essa a principal causa de ter permanecido o método marginalizado desde sua criação. Atualmente, entretanto, com os modernos recursos de computação, não mais se justifica tal situação. Essa foi a idéia central que levou o autor a estudar o problema com auxílio de um programa para computador eletrônico. Aplicou o méto-

\* Entregue para publicação em 19/12/1975.

\*\* Departamento de Solos e Geologia, ESALQ – USP.

do a plagioclásios e sua conclusão principal foi de que o método é pelo menos tão eficaz quanto os tradicionais quando  $\theta = 30^\circ$  e  $\varphi$  é um múltiplo de  $45^\circ$

O método parte de uma posição de extinção. Há, pois, para cada secção, quatro posições que podem ser tomadas como iniciais. No presente trabalho, a hipótese básica é que, para plagioclásios, a precisão do método é aumentada quando utilizam-se as quatro posições de extinção. Para confirmar essa hipótese, em 13 plagioclásios foram executadas 156 operações de extinção que envolveram cerca de 3000 medições de ângulos de extinção.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O método analítico foi desenvolvido por CHOMARD, 1934. O autor estuda a teoria do método no caso geral e na simplificação que resulta no cálculo quando se tomam como eixos coordenados as direções de extinção. O método é aplicado a quartzo, ortoclase, moscovita e gipsita, mas o autor não cogita de sua aplicação sistemática e não usa operações de extinção envolvendo múltiplos de  $45^\circ$  para  $\varphi$ , com o mesmo  $\theta$ .

ABRAHÃO, 1968, aplica o método a plagioclásios, procurando estabelecer as combinações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ) que conduzem a resultados mais precisos na determinação de 2V. A análise de resultados obtidos no computador através de 768 operações de extinção e a comparação estatística com outros métodos mostra que o método é muito seguro quando  $\theta = 30^\circ$  e  $\varphi$  é um múltiplo de  $45^\circ$ , bem como deve ser evitado para múltiplos de  $90^\circ$  para  $\varphi$ . Esses resultados são confirmados em trabalhos posteriores (ABRAHÃO, 1971 e ABRAHÃO, 1974).

ABRAHÃO e GODOY, 1971, publicam o programa de computador que torna viável a aplicação sistemática do método.

ABRAHÃO, 1974, mostra que as estimativas de  $\Psi$  obtidas como médias de 8 leituras é satisfatória, o que comprova pela análise dos valores de  $\Delta$ , determinante de controle. Faz a restrição de que não se usem operações de extinção em que  $t = \cotg 2\Psi$  assumam valores muito altos.

ABRAHÃO e MARCONI, 1974, estudam as maneiras como se geram infinitos elipsóides de mesmo 2V e as equações que representam esse conjunto. Estabelecem um processo teórico de determinar os índices de refração principais e aplicam-no à indicatriz ótica de forsterita.

ABRAHÃO e MARCONI, 1975, mostram que é possível, teoricamente, determinar, por via analítica, os índices de refração principais mediante medições de extinção e de birrefringência e, independentemente, o valor de  $B = N_g - N_p$ . Posteriormente, 1975, os mesmos autores aplicam esse procedimento teórico a uma secção hipotética de anidrita. Constatam que, embora o valor da birrefringência máxima possa ser determinado com segurança, a determinação analítica dos índices de refração principais exige uma precisão nas medições de birrefringência inexequível com os recursos atuais.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL

Utilizam-se 13 grânulos de plagioclásios, pertencentes a 7 grupamentos, escolhidos em secções orientadas ou em lâminas de rochas, em função principalmente da qualidade de extinção, não se trabalhando na presença de extinção ondulante. Os dados experimentais foram obtidos em microscópio Leitz, Dialux – Pol, e platina universal Leitz; empregando-se principalmente a objetiva UM-2.

##### 3.1.1. Resumo operacional do método analítico

Em princípio, o método analítico pode ser explicado a uma secção delgada S, dada na platina universal em posição inteiramente arbitrária. Entretanto, se são tomados como eixos coordenados x e y as direções de extinção da secção, o cálculo numérico fica consideravelmente simplificado. Foi nessa posição que o método foi aplicado no presente trabalho e para ela foi elaborado o programa mencionado (ABRAHÃO e GODOY, 1971).

Há 3 sistemas retangulares e coinciais: X, Y, Z, do microscópio; x, y, z, arbitrário e fixo no mineral e, portanto, móvel com a lâmina; x', y', z', da própria indicatriz (fig. 1).

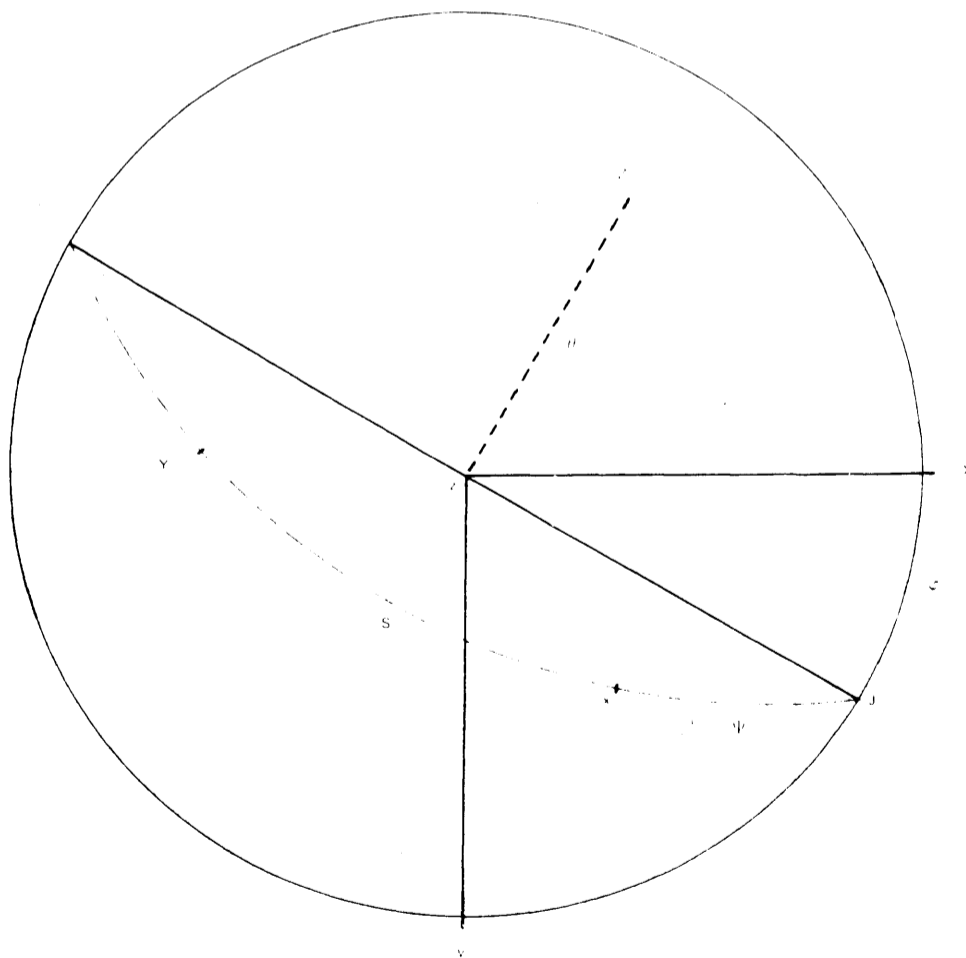


Figura 1 – Operações de extinção ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ) em relação aos sistemas de eixos x, y, z e X, Y, Z.

Os fundamentos teóricos do método (CHOMARD, 1934; ABRAHÃO, 1968) levam às seguintes operações:

- a – A secção é levada a uma posição de extinção, em que  $\varphi = \theta = \Psi = 0$  (extinção inicial).
- b – Nos discos H e V da platina efetuam-se as rotações  $\varphi$  e  $\theta$ , respectivamente, que tiram a secção da posição de extinção.
- c – Efetua-se, então, na platina do microscópio, a rotação  $\Psi$ , necessária para restituir a extinção.

As rotações  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$  constituem uma operação de extinção, em que  $\varphi$  e  $\theta$  são coordenadas esféricas de S e  $\Psi$  é o ângulo de extinção.

- d – Efetuaram-se 3 operações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ) arbitrários. As únicas medições são  $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$  e  $\Psi_3$ .
- e – Calculam-se 3 determinantes  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  e  $\Delta_3$ , funções de  $\varphi$ ,  $\theta$  e  $\Psi$  através das 9 constantes de Euler.
- f – Com  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  e  $\Delta_3$  calculam-se os coeficientes de uma equação do terceiro grau completa.
- g – Determina-se a raiz que pertence a um intervalo pré-determinado.
- h – Utiliza-se a raiz adequada no cálculo de expressões p e q, p' e q', funções dos co-senos diretores dos eixos  $A_1$  e  $A_2$ .
- i – Através de p, q, p' e q' chega-se a (j, m, n) e (j', m', n'), co-senos diretores dos eixos óticos.

Três operações de extinção são suficientes para resolver o problema de orientação da indicatriz. Com 4 operações, porém, é possível estabelecer um determinante de controle  $\Delta = 0$ . Usando-se múltiplos de  $45^\circ$  para  $\varphi$ ,  $\Delta$  assume a forma:

$$\Delta = \frac{t_1 + t_2}{h^2 + t_1 t_2} + \frac{t_3 + t_4}{h^2 + t_3 t_4} \quad \text{em que } h = \cos \theta \text{ e } t = \cotg 2\Psi.$$

O programa para computador foi elaborado de maneira que, fornecidos  $(\varphi_1, \theta_1, \Psi_1)$ ,  $(\varphi_2, \theta_2, \Psi_2)$  e  $(\varphi_3, \theta_3, \Psi_3)$ , obtém-se:

- a – os ângulos diretores de  $A_1$  e  $A_2$ ;
- b – o valor numérico de  $2V$ , com sinal que indica se é a bissetriz aguda ou a obtusa que emerge na lâmina;
- c – o valor de  $C = \frac{1}{2(jj' - mm')}$  que, associado ao valor de r da birrefringência da

posição inicial, fornece o sinal ótico do mineral e uma estimativa da birrefringência máxima  $rC = (Ng - Np)/2$ .

**3.1.2. Método**

Em cada um dos 13 indivíduos procedeu-se da seguinte maneira:

- 1 – Determinou-se a posição de extinção inicial I como média de 32 medições, sendo 8 em cada quadrante. As posições II, III e IV foram estabelecidas a partir de I.
- 2 – Adotaram-se 3 valores para  $\theta$  ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ) e 4 para  $\varphi$  ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  e  $315^\circ$ ), em função de resultados obtidos anteriormente pelo autor (ABRAHÃO, 1971 e 1974).
- 3 – Em cada posição de extinção executaram-se 12 operações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ), resultantes da combinação de cada  $\theta$  com cada  $\varphi$ . Em cada uma,  $\Psi$  foi determinado como média de 8 medições.
- 4 – Em cada posição de extinção, o problema se resolve para quaisquer 3 operações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ). Para cada indivíduo, portanto, o número total de soluções é  $4 \times C_{12}^3 = 880$ . Para cada  $\theta$ , foram levadas ao computador as seguintes combinações de  $\varphi$ :  $C_1 = 45^\circ - 135^\circ - 225^\circ$ ,  $C_2 = 45^\circ - 135^\circ - 315^\circ$ ,  $C_3 = 45^\circ - 225^\circ - 315^\circ$  e  $C_4 = 135^\circ - 225^\circ - 315^\circ$ . Obtiveram-se, pois, para cada indivíduo, 48 soluções, sendo 16 para cada  $\theta$ .
- 5 – Além das soluções possíveis para cada posição de extinção,  $2V$  foi também determinado utilizando-se uma média geral. Como é fácil verificar, tem-se a seguinte correspondência:

$$\Psi(45^\circ, I) = \Psi(315^\circ, II) = \Psi(225^\circ, III) = \Psi(135^\circ, IV)$$

Determinou-se, então, a posição da indicatriz através de  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  com os valores médios de  $\Psi$  das 4 posições de extinção. Cada  $\Psi$ , portanto, é média de 32 medições de extinção, 8 em cada posição.

- 6 – O valor e a posição de  $2V$  foram determinados, ainda, pelos métodos dos gêmeos, da medição direta e do máximo ângulo de extinção, quando a lei de geminação o permitia.

**4. RESULTADOS**

Para cada indivíduo apresenta-se o valor de  $2V$  obtido pelos métodos tradicionais (Tabela I). Para o método analítico são apresentados, para cada  $\theta$ , os valores de  $2V$  obtidos com as associações  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  de  $\varphi$  (Tabela II)

Tabela I – Valores de 2V obtidos para 13 plagioclásios pelos métodos da medição direta, dos gêmeos e do máximo ângulo de extinção.

Indivíduo	Medição Direta	Gêmeos	Máximo Ângulo Extinção
1	81,9	86,5	80,5
2	84,0	86,5	83,5
3	88,0	84,2	–
4	77,9	79,0	80,0
5	77,8	79,0	79,0
6	84,3	83,0	83,5
7	84,4	83,0	85,3
8	81,2	84,0	80,0
9	82,8	84,0	82,5
10	82,1	84,5	–
11	82,6	84,5	–
12	78,6	77,5	77,5
13	79,5	77,5	76,0

Tabela II – Valores de 2V obtidos para 13 indivíduos pertencentes a 7 grupamentos com as combinações C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> de  $\varphi$  e  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$  (o indivíduo 1 é comum aos grupamentos I e III).

## GRUPAMENTO I

Comb. $\varphi$	Indivíduo 1			Indivíduo 2		
	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
C <sub>1</sub>	-82,29	-82,06	51,74	-80,14	-81,43	-82,64
C <sub>2</sub>	-82,02	-80,70	-82,33	-82,16	-82,34	-83,06
C <sub>3</sub>	-82,29	-82,21	-83,87	-80,14	-81,45	-83,06
C <sub>4</sub>	-82,03	-80,74	-82,71	-82,16	-82,37	-84,46
$\Delta$	0,0029	0,0349	-0,2484	0,0079	0,0225	-0,1625

## GRUPAMENTO II

Comb. $\varphi$	Indivíduo 1			Indivíduo 3		
	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
C <sub>1</sub>	-82,29	-82,06	51,74	-82,59	-81,36	83,97
C <sub>2</sub>	-82,02	-80,70	-82,33	-83,97	-83,93	-88,54
C <sub>3</sub>	-82,29	-82,21	-83,87	-83,50	-80,94	-84,92
C <sub>4</sub>	-82,03	-80,74	-82,71	-83,92	-83,53	75,87
$\Delta$	0,0029	0,0349	-0,2484	0,0056	0,0638	0,7331

## GRUPAMENTO III

Comb. $\varphi$	Indivíduo 4			Indivíduo 5		
	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$
C <sub>1</sub>	-81,23	-81,98	-83,56	-82,99	-81,62	88,76
C <sub>2</sub>	-82,24	-81,98	-83,17	-82,32	-79,76	85,56
C <sub>3</sub>	-81,23	-81,98	-85,15	-86,59	-86,05	-84,67
C <sub>4</sub>	-82,31	-81,99	-82,73	-87,13	-85,98	-84,47
$\Delta$	-0,0056	0,0000	-0,1421	-0,0270	-0,0646	0,1603

## GRUPAMENTO IV

Comb. $\varphi$	Indivíduo 6			Indivíduo 7		
	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$
C <sub>1</sub>	-88,0	-86,47	-87,93	-87,55	-85,28	-89,06
C <sub>2</sub>	-82,93	-84,85	89,56	-82,67	-83,69	-84,06
C <sub>3</sub>	-84,70	-84,85	89,64	-81,52	-83,59	-85,15
C <sub>4</sub>	-88,62	-87,37	-86,02	86,41	-86,91	86,10
$\Delta$	-0,0318	0,0141	-0,1742	-0,0605	-0,0244	1,5443

## GRUPAMENTO V

Comb. $\varphi$	Indivíduo 8			Indivíduo 9		
	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$
C <sub>1</sub>	-78,91	-76,21	-74,47	-77,60	-77,31	-69,01
C <sub>2</sub>	-82,94	-78,47	-71,41	-78,82	-77,64	-71,11
C <sub>3</sub>	-80,25	-77,67	-71,61	-78,39	-77,87	60,43
C <sub>4</sub>	-81,75	-77,07	-74,26	-79,62	-78,22	58,07
$\Delta$	-0,0123	-0,0265	0,0758	0,0059	-0,0208	1,2040

## GRUPAMENTO VI

Comb. $\varphi$	Indivíduo 10			Indivíduo 11		
	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$
C <sub>1</sub>	83,82	83,71	82,45	84,07	84,46	84,87
C <sub>2</sub>	84,03	83,82	84,13	83,20	83,04	82,56
C <sub>3</sub>	83,84	83,75	82,11	84,10	84,68	-81,04
C <sub>4</sub>	84,02	83,80	84,19	83,24	83,16	82,31
$\Delta$	0,0014	0,0035	0,1120	-0,0132	0,0748	-0,1364

## GRUPAMENTO VII

Comb. $\varphi$	Indivíduo 12			Indivíduo 13		
	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$	$\theta = 15^0$	$\theta = 30^0$	$\theta = 45^0$
C <sub>1</sub>	-76,80	-77,18	-77,88	-77,97	-71,95	-74,17
C <sub>2</sub>	-81,98	-80,94	-81,97	-76,96	-73,06	-74,30
C <sub>3</sub>	-82,97	-80,67	-81,54	-88,35	-82,92	-72,33
C <sub>4</sub>	-74,89	-77,28	-78,13	84,59	-88,28	-71,34
$\Delta$	0,0849	-0,0449	-0,0828	0,1364	0,04957	3,0683

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O exame dos resultados obtidos autorizam as seguintes observações:

- 5.1. Confirmam-se, de uma maneira geral, os resultados já relatados em trabalhos anteriores (ABRAHÃO, 1968 e 1974). A hipótese previamente formulada não foi confirmada: não houve nenhum ganho aparente de precisão que justifique o emprego do método em 4 posições de extinção, pois, o trabalho experimental muito maior não é compensado por uma maior precisão nos resultados.
- 5.2. Os resultados mais discrepantes são obtidos com  $\theta = 45^0$ . Com freqüência, sequer o sinal de 2V, indicando se emerge na lâmina bxa ou bxo, é mantido constante. A causa dessa discrepância está na insegurança cada vez maior nas leituras de extinção à medida que aumenta  $\theta$ , o que se liga a desvios de refração e ao aumento de espessura. A qualidade de  $\Psi$  reflete-se claramente no valor médio de  $\Delta$  ( $\Delta_{45^0} = 0,6034$ ), sensivelmente superior aos valores médios relativos a  $\theta = 15^0$  e  $\theta = 30^0$ .
- 5.3. Os resultados obtidos para  $\theta = 15^0$  também não podem ser considerados satisfatórios. A confiança nos resultados é comprometida pelo fato de haver casos de grande concordância nos valores obtidos em C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> (indivíduos 1, 2, 3, 4, 9, 10 e 11) ao lado de outros em que a concordância pode ser classificada de média a má (demais indivíduos). Em princípio, os valores de  $\Psi$  resultantes podem ser considerados satisfatórios, em face da média dos módulos de  $\Delta$  ( $\Delta_{15^0} = 0,0304$ ). Somente foram registradas duas discrepâncias no sinal de 2V (indivíduos 7 e 13). As variações entre os valores de 2V, todavia, chegam a valores muito altos e, não obstante  $\Delta$ ,  $\theta = 15^0$  não pode ser recomendado.
- 5.4. Para  $\theta = 30^0$  obtiveram-se os melhores resultados, confirmando-se o que se determinara com apenas uma posição de extinção. Embora haja discrepâncias que podem ser consideradas grandes (indivíduos 15, 12 e 13), de um modo geral os resultados são muito satisfatórios. Isto está em concordância com a grandeza de  $\Delta$  ( $\Delta_{30^0} = 0,0685$ ) e com o fato de não haver uma discrepância sequer no sinal de 2V.



- 5.5. A teoria não prevê nenhum motivo para que haja diferença entre as combinações  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  e os resultados, efetivamente, não mostram qualquer evidência nesse sentido. Entretanto, há uma nítida influência sobre o valor de  $2V$  de determinados pares de  $\varphi$ . Por exemplo, para o indivíduo 1,  $\theta = 30^\circ$ , obtém-se  $2V = 82^\circ$  em combinações que contêm  $\varphi = 45^\circ$  e  $\varphi = 225^\circ$ , enquanto para combinações que contêm  $\varphi = 225^\circ$  e  $\varphi = 315^\circ$ ,  $2V = 80^\circ$ . O mesmo se repete para  $\theta = 15^\circ$  e, pode-se afirmar, esse efeito é constante em todos os indivíduos, especialmente quando a discrepância resultante de  $\theta$  não o mascara. Do ponto de vista prático, a média de 4 posições acaba por compensar esse efeito. Entretanto, um estudo teórico e estatístico sobre esse efeito é recomendado para se determinar se, com apenas duas posições de extinção, devem ser usadas médias de posições consecutivas ou opostas.
- 5.6. Admitida a hipótese de que os dois indivíduos de um grupamento tem o mesmo  $2V$ , confirma-se conclusão já obtida anteriormente (ABRAHÃO, 1968 e ABRAHÃO, 1974): usando-se as médias das 4 posições de extinção, o método analítico confirma essa hipótese para  $\theta = 30^\circ$ . Com efeito, os desvios, em valor absoluto, para  $\theta = 30^\circ$  são 0,47; 0,01; 1,37; 1,01; 0,40; 0,07 e 0,03, com a média de 0,48. Esses desvios são menores que os obtidos com as médias de  $2V$ , obtidas por 3 métodos diferentes (dos gêmeos, da medição direta e do máximo ângulo de extinção) e que são, respectivamente: 1,70; 0,08; 0,37; 0,63; 1,23; 0,25; 0,20, cuja média é 0,64.

## 6. SUMMARY

Chomard's analytical method was applied to 13 plagioclases belonging to 7 twins. Twelve operations ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\Psi$ ) were conducted for each individual specimen in each of their four extinction positions. These operations resulted from the combination of three values  $\theta$  ( $15^\circ$ ,  $30^\circ$  and  $45^\circ$ ) and four values for  $\varphi$  ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  and  $315^\circ$ ). The values of  $\Psi$  were the average of 8 determinations.

A summarized version of the method is presented. A computer program was used to determine the values of  $2V$  and the directions of the optical axes in 12 different ways for each specimen. The total number of operations resulted from the combination of each  $\theta$  with all the  $C_4^3$  possible combinations of  $\varphi$ . The resulting  $\Delta$  was determined for each value of  $\theta$ .

The salient conclusion of this study is that previous works reported by the author on the subject are confirmed, i.e., the analytical method yields reliable results for plagioclases; the results are at least as precise as those obtained by means of the conventional methods using,  $\theta = 30^\circ$  and  $\varphi$  as a multiple of  $45^\circ$ . In addition no advantage was found in using four extinction positions over using one chosen at random.

## 7. LITERATURA CITADA

- ABRAHÃO, I.O., 1968. Contribuição ao estudo do método analítico de Chomard. Tese de livre-docência apresentada à ESALQ, 132 p.
- ABRAHÃO, I.O., 1971. Determinação do ângulo  $2V$  de plagioclásios pelo método analítico com valores de  $\varphi$  múltiplos de  $90^\circ$ . Anais da ESALQ, XXVIII: 69-81.
- ABRAHÃO, I.O. e GODOY, C.R.M., 1971. Solução para computador do método analítico de Chomard. Anais da ESALQ, XXVIII: 227-234.
- ABRAHÃO, I.O., 1974. Sobre a determinação de ângulos de extinção para a aplicação do método analítico. Anais da ESALQ, XXXI: 7-18.
- ABRAHÃO, I.O., 1974. Determinação do ângulo  $2V$  de plagioclásios pelo método analítico com valores de  $\varphi$  múltiplos de  $45^\circ$ . Anais da ESALQ, XXXI: 19-33.
- ABRAHÃO, I.O. e MARCONI, A., 1974. Elipsóides concíclicos. Anais da ESALQ, XXXI: 225-231.
- ABRAHÃO, I.O. e MARCONI, A., 1975. Determinação analítica da indicatriz ótica de minerais. Anais da ESALQ, XXXII.
- ABRAHÃO, I.O. e MARCONI, A., 1975. Sobre a determinação analítica da indicatriz ótica de anidrita. Anais da ESALQ, XXXII.
- CHOMARD, L., 1934. Théorie et Pratique de la Méthode Fédorow. Procédé Classique et Méthode Analytique Générale. Dunod, Paris. Annales des Mines, V: 153-218.