

## SOBRE A DETERMINAÇÃO DE ÂNGULOS DE EXTINÇÃO PARA A APLICAÇÃO DO MÉTODO ANALÍTICO \*

IBRAHIM OCTAVIO ABRAHÃO \*\*

### RESUMO

Apresentam-se resultados sobre a determinação da posição de extinção inicial e de  $\psi$ , para a aplicação do método analítico. É provável que a precisão do método não seja comprometida pela determinação da posição inicial com menor número de medições. Os desvios de  $\psi$  tendem a aumentar à medida que aumenta  $\theta$ . Os valores de  $\Delta$  indicam que as estimativas de  $\psi$ , para  $\theta = 15^\circ$  e  $\theta = 30^\circ$  equivalem-se em qualidade e são melhores que a estimativa para  $\theta = 45^\circ$ .

### INTRODUÇÃO

Na aplicação do método analítico de Chomard, quando se pretende determinar  $2V$ , o sinal ótico e a posição do elipsóide de índices de refração, a partir de secções delgadas, a determinação de ângulos de extinção se faz necessária de duas maneiras. Primeiramente, quando se emprega o método na simplificação que resulta da escolha adequada da posição inicial, é necessário levar a lâmina à posição de extinção. Em seguida, executam-se no mínimo três operações de extinção ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ), em que  $\varphi$  e  $\theta$ , coordenadas esféricas da secção, são escolhidas e podem ser tomadas como valores exatos e  $\psi$  é a rotação necessária para reconduzir a lâmina à posição de extinção. Compreende-se, assim, que a determinação de posições de extinção constitui a base fundamental do método, cuja precisão é, pois, função do rigor com que se estabelecem essas posições.

No decorrer de trabalho sobre a aplicação do método analítico a plagioclásios, determinou-se grande número de posições de extinção, tanto da inicial como do valor de  $\psi$ . Apresenta-se neste trabalho, um estudo sobre os erros observados na determinação dessas posições.

---

\* Enviado à publicação em 13/02/74.

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

## REVISÃO DA LITERATURA

De um modo geral, os métodos de levantamento do elipsóide de índices, no microscópio polarizante, envolvem o estudo da extinção das secções estudadas. Muitos métodos, em consequência, têm sido desenvolvidos com o objetivo de determinar ângulos de extinção. Tratados como JOHANNSEN (1918) e ROSENBUSCH E WÜLFING (1924) dedicam muita atenção no problema da determinação desses ângulos bem como do seu cálculo, em secções arbitrárias. Essa obrigatoriedade do exame da extinção no estudo ótico de minerais tem conduzido a muitos trabalhos mais recentes que visam à sua utilização, quer em secções delgadas, com o emprego da platina universal, como JOEL e MUIR (1957a, 1957b, 1964), JOEL e TOCHER (1964), NOBLE (1965), TOCHER (1964, 1966) e WILCOX (1959) quer em pequenos cristais ou fragmentos de cristais, mediante o emprego do «spindle stage», como JOEL (1950, 1951, 1964), NOBLE (1965), TOCHER (1962, 1964a, 1964b), WILCOX (1959).

Embora esses trabalhos e métodos envolvam, em última análise, o exame da extinção, nem todos cogitam da sua determinação. CHOMARD (1934) desenvolveu um método analítico que permite, com apenas três medições de extinção, determinar a posição do elipsóide e o valor de  $2V$  e a partir de secções delgadas arbitrárias. CHOMARD aplica o método a ortoclase, quartzo, moscovita e gipsita. Estuda de uma maneira teórica os erros que podem ser cometidos na determinação do ângulo de extinção  $\psi$ , correlacionando um erro hipotético de  $1^\circ$  para  $\psi$  a um erro de  $3^\circ$  no valor de  $2V$ , supondo um caso médio em que  $\varphi = \theta = \psi = 45^\circ$ .

ABRAHÃO (1968) aplica de maneira sistemática o método analítico a plagioclásios, através de programa para computador. Os valores de  $\psi$  e a posição de extinção inicial são determinados como médias de 8 e 32 medições, respectivamente, sem nenhum aparelhamento especial. Obtém, com essa técnica, resultados muito seguros para  $2V$ , quando comparados com os obtidos por outros métodos. ABRAHÃO (1971) estuda a aplicação do método a plagioclásios utilizando operações de extinção envolvendo valores de  $\varphi$  múltiplos de  $90^\circ$ . Conclui que, para plagioclásios, esses valores de  $\varphi$  conduzem a ângulos  $\psi$  muito próximos de  $0^\circ$  ou  $90^\circ$ , acarretando grandes erros em  $\cotg 2\psi$ . ABRAHÃO e GODOI (1971) publicam o programa de computador utilizado na aplicação do método a plagioclásios, com exemplos.

O autor desconhece outros trabalhos sobre a aplicação sistemática do método analítico ou sobre a análise estatística dos erros que se cometem na medição de ângulos de extinção. Mesmo trabalhos meticulosos, como o de MUNRO (1963) não cogitam do tratamento estatístico dos erros. Eis o motivo principal pelo qual apresentam-se alguns resultados sobre os erros que se cometem na determinação dos ângulos de extinção, quando da aplicação do método analítico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Materiais

Foram utilizados 7 grupamentos de plagioclásios, de secções delgadas de rochas ou de secções orientadas, num total de 13 indivíduos (o indivíduo 1 é comum a dois grupamentos). Os grupamentos foram escolhidos em função do seu tamanho, da homogeneidade de seus indivíduos e, em especial, da qualidade da extinção, não se trabalhando na presença de extinção ondulante.

Os dados experimentais foram levantados em microscópio Leitz, Dialux-Pol, e platina universal de 5 eixos, empregando-se, principalmente, a objetiva UM-2.

### 2. Métodos

Para cada indivíduo foi estabelecida a posição inicial de extinção como média de 32 medições do ângulo de extinção, sendo 8 em cada quadrante. Uma vez estabelecida a posição inicial, foram efetuadas, em cada indivíduo, 30 operações de extinção ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ), obtidas pela combinação de  $\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  e  $\varphi = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ . Em cada operação de extinção,  $\psi$  foi determinado como a média de 8 medições do ângulo de extinção. Eventualmente, um maior número de repetições foi realizado, para ângulos  $\psi$  muito próximos de  $0^\circ$  ou de  $90^\circ$ . Para os indivíduos 1 a 7, foram feitas 2 repetições para as operações de extinção.

Os dados assim obtidos permitiram as seguintes comparações.

a — influência do quadrante na determinação da posição de extinção inicial;

b — desvios de  $\psi$ , entre a primeira e a segunda repetições;

c — comparação dos valores de  $\Delta$ , como estimativa da qualidade da medida de  $\psi$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Determinação da posição de extinção inicial em 4 quadrantes.

**QUADRO I** — Valores do ângulo de extinção inicial para os indivíduos 1 a 13, em 4 quadrantes.

Indivíduo	Quadrante	Posição de Extinção								Média
1	0 — 90	27,7	28,2	27,9	27,9	28,0	27,9	27,7	27,6	27,8625
	90 — 180	27,9	28,4	27,8	28,5	28,1	27,9	27,9	27,5	28,0000
	180 — 270	28,0	27,8	27,8	28,2	28,3	28,7	28,4	28,2	28,1750
	270 — 360	28,5	28,6	28,2	27,9	27,8	28,6	28,2	28,2	28,2500
2	0 — 90	83,4	84,0	83,7	84,1	84,6	84,7	83,5	84,6	84,0750
	90 — 180	84,6	83,7	83,1	84,0	83,3	84,0	83,1	84,6	83,8000
	180 — 270	83,3	83,7	84,0	84,1	83,2	83,9	83,4	84,1	83,7125
	270 — 360	83,7	84,0	84,2	84,6	84,6	84,3	84,0	84,1	84,1875
3	0 — 90	77,8	78,3	77,3	77,5	77,7	77,4	77,7	77,9	77,7000
	90 — 180	78,0	77,8	77,7	77,8	77,7	78,1	77,8	78,1	77,8750
	180 — 270	78,3	77,7	77,6	78,0	77,5	77,6	77,9	77,8	77,8000
	270 — 360	77,7	77,5	77,8	78,2	77,8	77,7	77,2	77,1	77,6250
4	0 — 90	47,5	47,8	47,5	47,5	47,8	47,2	47,4	47,7	47,5500
	90 — 180	47,6	48,0	47,2	48,1	47,6	47,1	47,0	47,9	47,5625
	180 — 270	47,7	47,6	47,2	47,9	47,4	47,8	47,7	47,4	47,5875
	270 — 360	47,5	47,6	47,3	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,4875
5	0 — 90	9,4	9,6	8,7	9,1	9,0	9,7	8,6	9,4	9,1875
	90 — 180	8,1	8,5	8,4	8,7	8,8	8,5	8,5	8,6	8,5125
	180 — 270	8,6	8,7	8,8	8,8	8,8	9,2	9,4	8,9	8,9000
	270 — 360	8,6	9,1	9,0	9,4	8,4	8,2	9,0	9,1	8,8500
6	0 — 90	11,0	10,8	11,0	10,6	10,9	11,0	10,8	10,7	10,7875
	90 — 180	10,9	11,0	11,0	10,6	10,9	10,7	10,5	10,7	10,7875
	180 — 270	10,6	10,8	10,9	10,6	10,8	10,4	10,4	10,9	10,6750
	270 — 360	10,7	10,6	11,0	10,7	11,4	10,5	10,7	11,0	10,8250
7	0 — 90	79,0	79,1	78,3	79,2	78,5	79,2	78,3	78,8	78,8000
	90 — 180	78,6	79,5	78,6	79,7	78,0	79,5	79,1	79,3	79,0375
	180 — 270	79,0	79,7	79,0	79,0	79,1	79,7	78,4	79,7	79,2000
	270 — 360	78,9	79,6	78,9	78,9	79,1	79,1	79,2	79,2	79,1125
8	0 — 90	20,8	21,5	20,2	21,8	20,9	21,7	21,0	21,1	21,1250
	90 — 180	20,7	21,6	21,2	21,2	20,6	21,8	20,7	21,6	21,1750
	180 — 270	21,0	21,0	20,6	20,9	20,9	20,8	20,8	21,0	20,8750
	270 — 360	20,7	21,1	21,7	21,8	20,8	21,4	20,9	21,0	21,1750

Indivíduo	Quadrante	Posição de Extinção								Média
9	0 — 90	79,3	79,3	78,8	79,2	78,7	79,0	79,0	79,3	79,0750
	90 — 180	79,2	79,3	78,8	79,7	79,0	79,1	79,6	79,1	79,2250
	180 — 270	78,3	78,6	78,1	78,3	78,7	79,1	78,0	78,2	78,4125
	270 — 360	78,5	79,5	79,0	79,5	78,6	78,7	78,7	78,7	78,9000
10	0 — 90	32,2	32,1	32,0	32,7	32,0	32,4	32,3	32,3	32,2500
	90 — 180	32,4	32,5	32,3	32,3	32,6	32,5	32,5	32,1	32,4000
	180 — 270	32,1	32,2	32,3	31,9	32,5	32,4	32,1	32,4	32,2375
	270 — 360	32,2	32,3	32,4	32,1	32,0	32,4	32,5	32,0	32,2375
11	0 — 90	4,2	4,7	4,8	4,4	4,7	4,7	4,3	4,6	4,5500
	90 — 180	4,7	4,4	4,2	4,4	4,8	4,1	4,4	4,0	4,3750
	180 — 270	4,4	4,2	4,7	4,0	4,5	4,4	4,2	4,2	4,3250
	270 — 360	4,6	4,5	4,4	4,3	4,6	4,7	4,6	4,5	4,5250
12	0 — 90	84,2	84,4	84,3	84,6	84,9	84,4	84,8	85,2	84,6000
	90 — 180	84,6	84,6	84,5	84,6	85,0	85,0	85,2	85,0	84,8125
	180 — 270	85,1	85,1	84,7	84,5	84,9	84,7	85,3	85,2	84,9375
	270 — 360	84,6	84,5	84,8	84,9	84,4	84,6	84,9	84,5	84,6500
13	0 — 90	44,8	44,9	44,4	44,4	44,5	44,7	44,7	44,4	44,6000
	90 — 180	44,3	44,3	44,3	44,6	44,5	44,5	44,5	44,3	44,4125
	180 — 270	44,4	44,5	44,7	44,5	44,6	44,6	44,3	44,6	44,5250
	270 — 360	44,7	44,7	44,7	44,1	44,5	44,3	44,7	44,7	44,5500

### Análise da variância da posição de extinção inicial

Causa da Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Indivíduos	12	371.307,79	30.942,32	79.339,27***
Quadrantes	3	0,34	0,11	0,28 (ns)
I x Q	36	9,26	0,26	0,67 (ns)
Resíduo	364	142,68	0,39	

$$s = 0,62\%$$

$$\bar{X} = 46,31$$

$$C.V. = 1,34\%$$

Os quadrados médios, com exceção do de indivíduos, que é esperado ser muito maior que os demais, uma vez que as lâminas são levadas ao microscópio em posição arbitrária, não mostram significância estatística pelo teste F. Naturalmente, não é esperada diferença entre quadrantes e, uma vez que o coeficiente de variação é muito baixo, é provável que a precisão não seja comprometida se a posição de extinção inicial for estabelecida como média de leituras em um quadrante qualquer.

## 2. Desvio padrão da média de 8 medições de $\psi$ .

O quadro II apresenta as operações de extinção realizadas nos indivíduos 1 a 13, com duas repetições para os indivíduos 1 a 7. Na análise estatística, alguns desvios não foram considerados, por corresponderem a operações de extinção cuja determinação de  $\psi$  foi muito difícil, ou pela excessiva inclinação  $\theta$  ou porque o conjunto ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ) levou a lâmina a uma posição muito próxima de um eixo ótico. Esses valores de  $\psi$  estão assinalados com asterisco.

### QUADRO II — Operações de extinção efetuadas nos indivíduos 1 a 13.

Quadro II — Operações de extinção efetuadas nos indivíduos 1 a 13.

Indivíduo 1 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	2,9625	6,5500	8,8750
30	61,7750	68,3125	80,6125
45	45,2750	49,2500	70,0500
60	28,2500	28,4000	34,8750*
90	84,0500	75,0875	59,3250
135	38,3125	32,0875	25,5875
180	87,5313	86,0125	84,6000
225	47,4750	50,8000	54,1625
270	4,2500	9,7000	17,7375
315	48,5875	49,8750	47,0625

Indivíduo 1 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	3,1750	6,2125	8,9625
30	60,9000	67,0500	80,1125
45	44,9125	48,6500	67,9125
60	27,7500	27,2125	29,6500*
90	84,9000	75,9875	59,8750
135	39,2625	32,3875	26,4750
180	87,9250	86,3250	84,8750
225	47,5375	50,8625	54,6125
270	4,9250	9,7000	18,9875
315	49,1625	50,5125	46,2875

Indivíduo 2 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	86,2813	80,9218	72,0247
30	57,2125	52,6375	47,1125
45	43,7125	40,6875	36,8250
60	30,0875	28,3500	26,0375
90	3,2313	4,8250	6,2250
135	53,7000	60,3750	66,0250
180	7,1750	18,0250	34,0000
225	45,6125	40,3625	11,4500*
270	86,2438	83,0000	78,5875
315	41,1250	38,5625	40,8082

Indivíduo 2 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	85,8500	80,4875	72,0000
30	56,7500	52,9500	46,6625
45	43,3375	40,1750	36,4250
60	29,7875	28,3625	26,1250
90	2,6250	4,3500	6,3375
135	52,0500	59,2750	65,4750
180	6,3500	17,6750	33,7125
225	44,9750	39,1875	20,2625*
270	86,9500	82,1250	78,5625
315	40,3625	38,3375	40,7875

Indivíduo 3 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	85,0247	79,8750	73,6125
30	57,1250	52,8625	47,8250
45	43,2750	40,7375	37,7500
60	30,0250	28,8625	27,3000
90	3,6938	6,1375	8,1000
135	53,1250	60,9250	67,5750
180	6,8625	19,4375	38,2500
225	43,7250	33,9250	0,2850
270	84,8080	79,0750	73,9625
315	39,4500	36,7500	38,2750

Indivíduo 3 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	85,6000	80,3250	73,0250
30	57,6000	53,4375	48,3250
45	43,8625	41,0875	37,7375
60	30,3125	29,4750	27,8750
90	4,1250	6,4625	8,2500
135	53,1125	61,0750	67,6625
180	7,5625	19,9750	38,4625
225	44,4250	35,1875	0,4500
270	85,7000	79,4750	74,6875
315	39,5750	37,5500	39,4000

Indivíduo 4 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	3,6312	8,7625	22,3625
30	61,6500	59,8125	47,9750
45	45,5750	41,6500	29,7500
60	29,8625	26,1250	18,0000
90	0,0344	89,9062	89,7188
135	44,7250	49,8875	62,1125
180	86,2250	80,5750	66,7250
225	41,1750	35,1750	28,0000
270	89,9500	89,7938	0,0938
315	48,1250	54,2250	61,3000

Indivíduo 4 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	3,0000	8,9000	22,3375
30	61,5250	59,1500	46,5000
45	45,6125	41,5250	29,8375
60	30,2875	26,2250	17,8500
90	0,0750	0,5500	0,7500
135	44,7250	49,7000	61,3750
180	86,3000	80,9750	67,4375
225	41,3875	35,3750	28,4125
270	0,2250	89,4250	0,2750
315	48,9250	54,5750	61,5375

Indivíduo 5 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,8438	89,1125	89,0312
30	62,5750	66,4250	70,8750
45	48,4625	54,1625	60,9375
60	34,2625	41,1125	50,6125
90	3,5312	9,7375	22,4250
135	46,0250	41,3500	29,5250
180	0,2156	0,4562	0,2562
225	44,8500	49,3125	61,3625
270	87,1250	81,9125	69,4250
315	41,6625	35,2250	27,9250

Indivíduo 5 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,9250	89,1750	87,9750
30	62,1750	66,0750	70,6375
45	48,3625	53,7875	60,6375
60	33,8375	40,7875	50,7125
90	3,7750	9,5250	21,8750
135	45,7125	41,6000	29,9875
180	0,4500	0,0500	89,2250
225	45,2500	50,0750	61,5625
270	86,9500	81,2625	67,1875
315	40,7000	34,8250	27,3250

Indivíduo 6 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,9562	0,0531	89,8750
30	63,1875	69,7250	76,7125
45	49,0000	58,6875	69,9750
60	33,5750	45,6250	63,7875
90	0,6344	3,4500	73,0000
135	41,6375	31,5375	18,5250
180	89,8125	89,6625	89,1688
225	47,8750	57,9125	70,1125
270	89,5625	87,4000	12,2375*
315	41,0750	31,6125	19,6750

Indivíduo 6 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,5750	89,4250	89,2250
30	62,4625	68,9625	75,9875
45	48,3625	57,6875	69,3125
60	33,2750	44,5500	62,9125
90	1,0000	4,4500	72,9000
135	43,3125	32,4875	19,5500
180	89,2750	0,3500	0,7000
225	48,5375	58,9125	71,7500
270	89,3750	88,7250	4,8125*
315	41,0125	30,3250	18,6250

Indivíduo 7 (1.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,5125	88,7750*	12,6000*
30	66,3750	44,7000	24,8000
45	41,0375	31,1625	18,7625
60	26,8000	19,8875	12,0125
90	89,5568	89,5000	89,3062
135	48,5375	58,3125	69,9375
180	0,7375	3,8188*	73,2688*
225	42,2375	32,3000	19,1375
270	89,8531	89,8625	88,8500
315	47,9375	58,1500	71,1750

Indivíduo 7 (2.<sup>a</sup> repetição)

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	0,2500	2,6750*	73,8250*
30	57,4875	45,6250	25,1500
45	42,1625	31,9500	19,1000
60	27,4375	20,4500	12,3500
90	89,5750	89,6750	89,8750
135	48,2250	57,8500	70,0125
180	89,5000	86,6000*	4,1250*
225	40,9875	31,3000	19,4125
270	89,8000	89,9250	0,1750
315	48,2875	58,2000	69,9125

Indivíduo 8

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,8750	89,9000	2,0500
30	57,5625	49,2375	32,5250
45	42,1250	34,2750	22,8375
60	27,5250	21,8125	14,3375
90	89,3250	89,2500	88,9250
135	47,0625	54,3125	64,5875
180	89,8500	89,8750	4,1000
225	42,5375	35,8625	24,8000
270	0,1250	0,5750	0,8000
315	47,8750	54,8500	66,5500

Indivíduo 9

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	0,2500	89,8750	89,4750
30	62,1125	67,3750	74,2250
45	47,5125	55,0750	65,8125
60	32,3000	40,4250	56,4875
90	0,3500	0,2000	5,1250
135	42,4250	34,9750	23,5750
180	0,4000	0,0750	89,6000
225	47,3250	54,7625	65,5750
270	0,0250	0,2000	3,4500
315	34,9125	42,4500	23,7500

Indivíduo 10

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,6500	86,6750	- - -
30	56,9625	47,5750	31,9000
45	41,3375	33,4750	23,4500
60	27,0500	21,4875	15,3375
90	89,8250	89,7000	89,9250
135	46,9125	53,6000	65,3375
180	89,8500	89,1500	82,8125
225	43,5250	37,0125	27,0125
270	1,0000	2,5000	3,5000
315	47,9750	56,5875	69,6625

Indivíduo 11

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	89,8750	89,8500	88,6250
30	57,8625	51,0625	36,1625
45	43,2000	36,2500	25,7625
60	28,3375	23,6000	16,9750
90	0,1250	0,4500	0,6000
135	48,0375	56,2000	67,5125
180	89,8000	0,8000	9,2750
225	42,0250	33,9250	22,0125
270	89,5000	89,1250	89,0000
315	46,6125	53,6625	64,0750

Indivíduo 12

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	3,8750	9,7750	19,0875
30	62,2500	63,3625	63,5750
45	46,5750	45,4500	36,5750
60	30,5250	28,2625	20,9500
90	89,8500	89,3250	88,5000
135	43,2500	43,9500	50,7125
180	86,2250	80,6000	71,9250
225	41,8875	37,4250	32,4125
270	0,5750	0,9250	0,7750
315	48,5375	53,3875	58,8375

Indivíduo 13

$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
0	87,1750	84,9000	83,0750
30	60,3750	61,2375	63,4125
45	45,9500	49,1000	53,0500
60	31,8125	36,0125	41,9625
90	3,0500	7,6375	15,0000
135	48,2250	49,3000	45,7750
180	3,1500	7,7375	10,1750
225	45,0625	50,3750	70,1750
270	84,5375	76,7625	61,2000
315	38,0375	31,0125	24,1750

Para os indivíduos 1 a 7, os desvios entre a primeira e segunda repetições foram analisados em dois grupos: os que correspondem a operações com múltiplos de  $45^\circ$  e de  $90^\circ$ . Obtiveram-se os resultados:

QUADRO III — Desvios padrões de  $\psi$ , para  $\varphi$  múltiplos de  $45^\circ$  e múltiplos de  $90^\circ$ , para  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$ .

	Desvios padrões para múltiplos de $45^\circ$	Desvios padrões para múltiplos de $90^\circ$	Desvios padrões médios
$\theta = 15^\circ$	0,6629	0,5421	0,6055
$\theta = 30^\circ$	0,6991	0,5583	0,6352
$\theta = 45^\circ$	0,7810	0,8233	0,8016

0,6202

Os resultados mostram uma tendência para o aumento do erro, à medida que aumenta  $\theta$ . Pelo teste  $\theta$  pode-se afirmar que o desvio padrão médio para  $\theta = 45^\circ$  (0,8016) é significativamente maior ao nível de 95% de probabilidade do que a média dos desvios padrões para  $\theta = 15^\circ$  e  $\theta = 30^\circ$  (0,6202).

### 3. Valores de $\Delta$ .

No quadro IV estão reunidos os valores de  $\Delta$  calculados para os indivíduos 1 a 13, com múltiplos de  $45^\circ$  para  $\varphi$  e com duas repetições para os 7 primeiros indivíduos, e calculados como:

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

O valor de  $\Delta$ , determinante de controle que pode ser calculado com quatro operações de extinção, é uma estimativa da qualidade da estimativa de  $\psi$ . CHOMARD (1934) já chama a atenção para o fato de  $\Delta$  poder se aproximar de seu valor teórico esperado por uma compensação de erros.

Quadro IV: Valores de  $\Delta$  observados para os indivíduos 1 a 13, com operações de extinção envolvendo múltiplos de  $45^\circ$  para  $\varphi$

Indivíduo	1.ª Repetição			2.ª Repetição		
	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
1	0,124	0,014	-0,087	-0,028	-0,012	0,227
2	-0,169	-0,174	0,377	-0,034	-0,014	-0,451
3	0,003	0,090	1,072	-0,047	-0,003	1,708
4	0,020	-0,038	-0,041	-0,025	-0,057	-0,436
5	-0,037	0,005	0,382	0,000	0,004	1,510
6	0,016	0,021	-0,310	-0,009	0,062	-0,077
7	0,010	0,017	-0,086	0,013	0,112	-0,092
8	-0,015	0,047	-0,263			
9	0,011	0,017	-0,260			
10	0,010	-0,038	1,005			
11	0,002	-0,004	-0,097			
12	0,028	-0,018	-0,015			
13	0,107	0,143	0,068			

Embora isso seja possível, a probabilidade de ocorrer diminui à medida que aumenta o número de casos considerados. De qualquer forma, valores de  $\Delta$  muito afastados de zero indicam seguramente que as estimativas de  $\psi$  são deficientes. ABRAHÃO (1971) indica que para múltiplos

de 90° grandes desvios podem ocorrer, o que pode ser atribuído à frequência de ângulos  $\psi$  próximos de 0° ou de 90°, que conduzem a erros sensíveis em  $\cotg 2\psi$ . Para múltiplos de 45°, o exame do quadro IV revela que as médias de  $\Delta$ , computadas as duas repetições, são 0,035, 0,047 e 0,428 para  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$ , respectivamente. Observam-se, pois, para  $\theta = 15^\circ$  e  $\theta = 30^\circ$  valores de  $\Delta$  equivalentes e próximos de zero, enquanto que, para  $\theta = 45^\circ$ ,  $\Delta$  se afasta mais do valor teórico previsto.

## SUMMARY

### ON THE DETERMINATION OF EXTINCTION ANGLES FOR USE IN CHOMARD'S ANALYTICAL METHOD

Results are presented on the determination of the initial extinction position and of  $\psi$ , for the application of the analytical method. The precision of the method must probably do not be affected by the determination of the initial position with a smaller number of measurements. Deviations of  $\psi$  tend to increase as  $\theta$  is increased. Based on  $\Delta$  values, estimatives of  $\psi$  are qualitatively equivalent for  $\theta = 15^\circ$  and  $\theta = 30^\circ$ , but they are better than those for  $\theta = 45^\circ$ .

## LITERATURA CITADA

- ABRAHÃO, I. O. — 1968 — Contribuição ao estudo do método analítico de Chomard. Tese de livre-docência apresentada à ESALQ — USP, 132 p.
- ABRAHÃO, I. O. — 1971 — Determinação do ângulo 2V de plagioclásios pelo método analítico com valores de  $\varphi$  múltiplos de 90°. *Anais da ESALQ*, 28:69-81.
- ABRAHÃO, I. O. & GODOY, C. R. M. — 1971 — Solução para computador do método analítico de Chomard. *Anais da ESALQ*, 28:227-234.
- CHOMARD, L. — 1934 — *Theorie et Pratique de la Méthode Fédorow. Procédé Classique et Méthode Analytique Générale*. Dunod, Paris *Annales des Mines*, 5:153-218.
- JOEL, N. — 1950 — A Method to Determine the Indicatrix of Small Crystals. *Mineralogical Magazine*, 29:206-214.
- JOEL, N. — 1951 — The Use of the Gnomonic Projection in the Determination of the Indicatrix of Crystals. *Mineralogical Magazine*, 29:602-608.
- JOEL, N. — 1964 — A Stereographic Construction of Determining the Optic Axes for a Biaxial Crystal Directly from Few Extinctions Measurements. *Mineralogical Magazine*, 33:769-779.
- JOEL, N. & MUIR, I. D. — 1957 — New Techniques for the Universal Stage. I. An Extinction Curve Method of Determination of the Optical Indicatrix. *Mineralogical Magazine*, 31:860-877.
- JOEL, N. & MUIR, I. D. — 1957 — New Techniques for the Universal Stage. II. The Determination of 2V When Only One Optic Axes is Accessible. *Mineralogical Magazine*, 31:878-882.
- JOEL, N. & MUIR, I. D. — 1964 — Extinction Measurements for Determination of 2V With the Universal Stage. *American Mineralogist*, 49:286-296.

- JOEL, N. & TOCHER, F. E. — 1964 — Conical Extinction Curves: a New Universal Stage Technique. *Mineralogical Magazine*, 33:853-867.
- JOHANNSEN, A. — 1918 — *Manual of Petrographic Methods*. 2.<sup>a</sup> ed. New York, McGraw-Hill, 649 p.
- MUNRO, M. — 1963 — Errors in the Measurement of 2V With Universal Stage. *American Mineralogist*, 48:308-323.
- NIKITIN, W. — 1936 — *Die Fedorow — Method*. Berlin, Verlag von Gebruder Borntraeger, 109 p.
- NOBLE, D. C. — 1965 — A Rapid Conoscopic Method for Measurement of 2V on the Spindle Stage. *American Mineralogist*, 50:180-185.
- NOBLE, D. C. — 1965 — Determination of Composition and Structural State of Plagioclase with the Five Axis Universal Stage. *American Mineralogist*, 50:367-381.
- ROSENBUSCH, H. & WULFING, E. A. — 1921/1924 — *Mikroskopische Physiographie der Petrographisch Wichtigen Mineralien*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 846 p.
- TOCHER, F. E. — 1962 — Extinction Curves and 2V: Stereographic Solution. *Mineralogical Magazine*, 33:52-58.
- TOCHER, F. E. — 1964 — Extinction and 2V: a Simple Stereographic of General Application. *American Mineralogist*, 49:1622-1630.
- TOCHER, F. E. — 1964 — A New Universal Stage Extinction Technique: The Determination of 2V When Neither Optic Axis is Directly Observable. *Mineralogical Magazine*, 33:1038-1055.
- TOCHER, F. E. — 1964 — Direct Stereographic Determination of the Optic Axes from a Few Extinction Measurements: a Progressive Elimination Technique. *Mineralogical Magazine*, 33:780-789.
- TOCHER, F. E. — 1966 — The Conical Extinction Curves: Symmetry and Antisymmetry. *Zeitschrift für Kristallography*, 123:347-357.
- WILCOX, R. E. — 1959 — Use of the Spindle Stage for Determination of Principal Indices of Refraction of Crystal Fragments. *American Mineralogist*, 44:1277-1293.