

## DETERMINAÇÃO DE 2V EM PLAGIOCLÁSIOS PELO MÉTODO ANALÍTICO COM VALORES DE $\varphi$ MÚLTIPLOS DE 45° \*

IBRAHIM OCTAVIO ABRAHÃO \*\*

### RESUMO

Estuda-se a aplicação do método analítico de Chomard a plagioclásios através de operações de extinção em que  $\varphi$  é um múltiplo de 45°. Foram estudados 13 indivíduos pertencentes a 7 grupos, nos quais foram executadas 240 operações de extinção ( $\varphi, \theta, \psi$ ), sendo 12 por indivíduo ( $\theta = 15^\circ, \theta = 30^\circ, \theta = 45^\circ$  e  $\varphi = 45^\circ, \varphi = 135^\circ, \varphi = 225^\circ$  e  $\varphi = 315^\circ$ ), com duas repetições para indivíduos 1 a 7.

A determinação de 2V e dos ângulos diretores dos eixos óticos foi efetuada mediante programa para computador eletrônico. Os resultados foram comparados com os obtidos pelo método dos gêmeos, da medição direta e do máximo ângulo de extinção. Os estereogramas obtidos pelos métodos analítico e convencional foram comparados.

A conclusão principal do trabalho é que o método analítico, empregado com programa de computador, é pelo menos tão eficaz quanto aos demais, quando  $\theta = 30^\circ$  e quando a posição de 2V é tomada como média das 4 soluções analíticas possíveis com múltiplos de 45° para  $\varphi$ .

### INTRODUÇÃO

A determinação do valor, da posição e do sinal ótico de 2V pelo método analítico exige pelo menos 3 operações de extinção ( $\varphi, \theta, \psi$ ), em que  $\varphi$  e  $\theta$  são escolhidos arbitrariamente e  $\psi$  é o ângulo de extinção que resulta das rotações  $\varphi$  e  $\theta$ . Como na marcha de cálculo,  $\psi$  aparece como  $t = \cotg 2\psi$ , para valores muito próximos de 0° ou de 90° tem-se grande sensibilidade no valor de  $t$ . Em conseqüência, pequenos desvios, inevitáveis na determinação de  $\psi$  por qualquer método, implicam grandes desvios no

---

\* Entregue para publicação em 13/02/74.

\*\* Departamento de Solos e Geologia da ESALQ.

valor de  $t$ , comprometendo seriamente a determinação de  $2V$ . É necessário, pois, que se evitem tais ângulos.

Em grupamentos de plagioclásios, esses ângulos ocorrem com muita frequência quando se empregam operações de extinção em que  $\varphi$  é um múltiplo de  $90^\circ$ , o que é esperado. Com efeito, escolhem-se grupamentos com a melhor qualidade de extinção e, portanto, com o plano de associação pouco inclinado em relação à normal a lâmina. Com muita frequência, a geminação é segundo a lei da albita, em que (010) é o plano de associação. Como nos plagioclásios é frequente que um dos eixos do elipsóide seja próximo da normal a (010), resulta que, na extinção, os planos normais e de traços paralelos aos retículos sejam próximos de secções principais. A rotação  $\theta$  se faz, então, praticamente seguindo um plano principal, do que resultam ângulos  $\psi$  próximos de zero, isto é, a rotação  $\theta$  quase não tira o grânulo da posição de extinção inicial. Nos casos em que esse inconveniente poderia ser evitado através de grandes rotações  $\theta$ , introduzem-se outras fontes de erro, com leituras de  $\psi$  cada vez mais incertas.

A frequência com que ocorrem esses ângulos em plagioclásios, em operações de extinção com  $\varphi$  múltiplo de  $90^\circ$ , levou o autor a utilizar outros valores de  $\varphi$ . Com múltiplos de  $45^\circ$  esses inconvenientes desaparecem e as determinações de  $2V$  ganham muito em rigor, como comprova o valor de  $\Delta$ , determinante de controle.

Estuda-se a determinação de  $2V$  através de operações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ) envolvendo múltiplos de  $45^\circ$  para  $\varphi$  em 7 grupamentos de plagioclásios. Os resultados são analisados e comparados com os obtidos por métodos convencionais, no que se refere ao valor de  $2V$  e aos ângulos diretores.

## REVISÃO DA LITERATURA

CHOMARD (1934), no trabalho em que desenvolve a teoria do método analítico, apresenta exemplos de aplicação a alguns minerais (ortoclase, quartzo, moscovita, gipsita), mas não utiliza combinações de operações de extinção envolvendo múltiplos de  $45^\circ$  para  $\varphi$ , com um mesmo  $\theta$ . ABRAHÃO (1968) aplica o método analítico a plagioclásios, procurando estabelecer as combinações  $\varphi$  e  $\theta$  que conduzam aos resultados mais precisos na determinação de  $2V$ , obtendo um conjunto de informações que é a principal fonte de dados do presente trabalho. Assinala que as operações de extinção envolvendo múltiplos de  $90^\circ$  para  $\varphi$  devem ser evitadas para plagioclásios, o que confirma em trabalho posterior (ABRAHÃO, 1971). A aplicação sistemática do método, através de quaisquer operações de extinção e em qualquer número somente é possível mediante o emprego de programa para computador, publicado em 1971 (ABRAHÃO e GODOY, 1971). Com relação à qualidade dos valores obtidos para ângulos de extinção, ABRAHÃO (1974) mostra que as estimativas de  $\psi$  obtidas como médias de 8 leituras é satisfatória, conforme atestam os valores de  $\Delta$ , desde que não

se usem operações de extinção em que  $t = \cotg 2 \psi$  assumam valores muito altos.

O autor desconhece outros trabalhos visando ao emprego sistemático do método analítico.

## MATERIAL E MÉTODO

### 1. Material

Utilizaram-se 7 grupamentos de plagioclásios, com um total de 13 indivíduos (um dos grupamentos tem 3 indivíduos e, portanto, um dos indivíduos é comum a dois grupamentos). Os grupamentos foram escolhidos em secções orientadas ou em lâminas de rochas, em função principalmente da qualidade da extinção, não se trabalhando na presença da extinção ondulante. Os dados experimentais foram obtidos em microscópio Leitz, Dialux-Pol, e platina universal de 5 eixos, empregando-se principalmente a objetiva UM-3.

### 2. Métodos

Para os 13 indivíduos, determinou-se a posição de extinção inicial como média de 32 medições do ângulo de extinção inicial, sendo 8 em cada quadrante. As operações de extinção foram feitas para  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$  e  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi = 135^\circ$ ,  $\varphi = 225^\circ$  e  $\varphi = 315^\circ$ . Para os indivíduos 1 a 7 foram feitas duas repetições, de maneira que o número total de operações de extinção ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ) executadas foi de 240. Para cada operação de extinção, o valor de  $\psi$  foi determinado como sendo a média de 8 leituras do ângulo de extinção.

Para cada indivíduo, quaisquer 3 operações de extinção permitem resolver analiticamente o problema de determinar os ângulos diretores dos eixos óticos e, portanto, o valor de 2V. Como para cada  $\theta$  há 4 combinações diferentes de  $\varphi$ , para cada indivíduo, foi possível a determinação de 2V de 12 maneiras diferentes.

O valor e a posição de 2V foram determinados, também, pelos métodos do máximo ângulo de extinção (exceção feita a 2 grupamentos segundo a lei da periclina), da medida direta e dos gêmeos, utilizando-se gráficos de BEREK (1924). Essas determinações permitiram a comparação dos valores de 2V obtidos por diferentes métodos.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados na seguinte ordem:

— operações de extinção (valores de  $\psi$ ) e valores de 2V para os 13 indivíduos, para  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$ , com duas repetições para os indivíduos 1 a 7;

— estimativas dos desvios padrões de 2V, para  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$ ;

— quadro comparativo de 2V, com os valores obtidos para 2V pelo método analítico e pelos outros métodos;

— comparação dos resultados obtidos pelos métodos analíticos e da medida direta;

— comparação dos estereogramas obtidos pelo método analítico e por outros métodos, com os respectivos ângulos diretores dos eixos óticos.

**Quadro I:** valores de  $\psi$  e de 2V para  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  e  $\theta = 45^\circ$  e para  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi = 135^\circ$ ,  $\varphi = 225^\circ$  e  $\varphi = 315^\circ$ , obtidos para os indivíduos 1 a 13 (As combinações de  $\varphi$  são:  $C_1 = 45 - 135 - 225$ ,  $C_2 = 45 - 135 - 315$ ,  $C_3 = 45 - 225 - 315$  e  $C_4 = 135 - 225 - 315$ ).

Valores de $\psi$				Valores de 2V			
$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	C	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
INDIVIDUO 1 (1. <sup>a</sup> repetição)							
45°	45,2750	49,2500	70,0500	C <sub>1</sub>	-86,28	-84,50	-86,85
135°	38,3125	32,0875	25,5875	C <sub>2</sub>	-88,90	-84,94	-88,47
225°	47,4750	50,8000	54,1625	C <sub>3</sub>	-83,74	-83,58	-83,74
315°	48,5875	49,8750	47,0625	C <sub>4</sub>	-85,48	-83,64	-83,60
				Med.	-86,10	-84,16	-85,66
INDIVIDUO 1 (2. <sup>a</sup> repetição)							
45°	44,9125	48,6500	67,9125	C <sub>1</sub>	-82,60	-84,76	86,85
135°	39,2625	32,3875	26,4750	C <sub>2</sub>	-81,55	-84,43	82,63
225°	47,5375	50,8625	54,6125	C <sub>3</sub>	-86,36	-85,56	-83,87
315°	49,1625	50,5125	46,2875	C <sub>4</sub>	-86,57	-85,55	-83,58
				Med.	-84,27	-85,08	-89,49
INDIVIDUO 2 (1. <sup>a</sup> repetição)							
45°	43,7125	40,6875	36,8250	C <sub>1</sub>	85,19	38,09	-87,71
135°	53,7000	60,3750	66,0250	C <sub>2</sub>	-87,78	-82,40	-84,42
225°	45,6125	40,3625	11,4500	C <sub>3</sub>	-84,05	-82,05	-84,72
315°	41,1250	38,5625	40,8082	C <sub>4</sub>	71,34	80,74	89,89
				Med.	86,03	-88,90	-86,74
INDIVIDUO 2 (2. <sup>a</sup> repetição)							
45°	43,3375	40,1750	36,4250	C <sub>1</sub>	-87,06	-85,55	-75,01
135°	52,0500	59,2750	65,4750	C <sub>2</sub>	-82,86	-84,64	-85,91
225°	44,9750	39,1875	20,2625	C <sub>3</sub>	-83,20	-84,61	-85,60
315°	40,3625	38,3375	40,7875	C <sub>4</sub>	-89,10	-86,17	-68,80
				Med.	-85,56	-85,24	-78,83

Valores de $\psi$				Valores de 2V			
$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	C	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
INDIVIDUO 3 (1. <sup>a</sup> repetição)							
45°	43,2750	40,7375	37,7500	C <sub>1</sub>	-87,29	-80,16	-89,62
135°	53,1250	60,9250	67,5750	C <sub>2</sub>	-87,46	-86,47	-86,08
225°	43,7250	33,9250	0,2850	C <sub>3</sub>	-87,59	-86,81	-86,66
315°	39,4500	36,7500	38,2750	C <sub>4</sub>	-86,88	-72,45	86,38
				Med.	-87,30	-81,47	-89,00
INDIVIDUO 3 (2. <sup>a</sup> repetição)							
45°	43,8625	41,0875	37,7375	C <sub>1</sub>	-87,68	-23,54	-89,36
135°	53,1125	61,0750	67,6625	C <sub>2</sub>	-83,13	-83,33	-84,07
225°	44,4250	35,1875	0,4500	C <sub>3</sub>	-83,20	-83,32	-85,25
315°	39,5750	37,5500	39,4000	C <sub>4</sub>	88,18	-83,33	82,25
				Med.	-86,46	-83,38	-88,36
INDIVIDUO 4 (1. <sup>a</sup> repetição)							
45°	45,5750	41,6500	29,7500	C <sub>1</sub>	-77,29	-73,98	-65,39
135°	44,7250	49,8875	62,1125	C <sub>2</sub>	-71,45	-78,19	-76,77
225°	41,1750	35,1750	28,0000	C <sub>3</sub>	-74,84	-76,77	-76,15
315°	48,1250	54,2250	61,3000	C <sub>4</sub>	-74,19	-75,75	-68,32
				Med.	-74,44	-76,17	-71,66
INDIVIDUO 4 (2. <sup>a</sup> repetição)							
45°	45,6125	41,5250	29,8375	C <sub>1</sub>	-74,02	-73,49	-64,83
135°	44,7250	49,7000	61,3750	C <sub>2</sub>	-82,51	-79,71	-82,88
225°	41,3875	35,3750	28,4125	C <sub>3</sub>	-78,08	-77,63	-82,12
315°	48,9250	54,5750	61,5375	C <sub>4</sub>	-79,30	-76,10	-67,05
				Med.	-78,48	-76,73	-74,22
INDIVIDUO 5 (1. <sup>a</sup> repetição)							
45°	48,4625	54,1625	60,9375	C <sub>1</sub>	-79,64	-75,72	-66,67
135°	46,0250	41,3500	29,5250	C <sub>2</sub>	-74,11	-75,95	-67,64
225°	44,8500	49,3125	61,3625	C <sub>3</sub>	-74,19	-76,10	-81,92
315°	41,6625	35,2250	27,9250	C <sub>4</sub>	-66,29	-76,34	-83,10
				Med.	-73,56	-76,03	-74,83
INDIVIDUO 5 (2. <sup>a</sup> repetição)							
45°	48,3625	53,7875	60,6375	C <sub>1</sub>	-79,61	-75,55	-67,00
135°	45,7125	41,6000	29,9875	C <sub>2</sub>	-79,69	-75,69	-68,84
225°	45,2500	50,0750	61,5625	C <sub>3</sub>	-79,66	-75,78	58,10
315°	40,7000	34,8250	27,3250	C <sub>4</sub>	-79,75	-75,95	55,27
				Med.	-79,68	-75,74	84,38

Valores de $\psi$				Valores de 2V				
$\varphi$	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	C	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	
INDIVIDUO 6 (1. <sup>a</sup> repetição)								
45°	49,0000	58,6875	69,9750	C <sub>1</sub>	83,75	83,93	84,57	
135°	41,6375	31,5375	18,5250	C <sub>2</sub>	81,44	83,52	82,28	
225°	47,8750	57,9125	70,1125	C <sub>3</sub>	83,53	83,86	84,99	
315°	41,0750	31,6125	19,6750	C <sub>4</sub>	81,29	83,47	82,53	
				Med.	82,50	83,70	83,59	
INDIVIDUO 6 (2. <sup>a</sup> repetição)								
45°	48,3625	57,6875	69,3125	C <sub>1</sub>	83,68	84,01	83,56	
135°	43,3125	32,4875	19,5500	C <sub>2</sub>	84,94	82,96	82,13	
225°	48,5375	58,9125	71,7500	C <sub>3</sub>	83,72	83,88	83,67	
315°	41,0125	30,3250	18,6250	C <sub>4</sub>	85,05	83,54	82,48	
				Med.	84,35	83,35	82,96	
INDIVIDUO 7 (1. <sup>a</sup> repetição)								
45°	41,0375	31,1625	18,7625	C <sub>1</sub>	84,57	83,89	81,94	
135°	48,5375	58,3125	69,9375	C <sub>2</sub>	86,00	84,03	83,53	
225°	42,2375	32,3000	19,1375	C <sub>3</sub>	84,42	83,83	82,14	
315°	47,9375	58,1500	71,1750	C <sub>4</sub>	86,13	84,08	83,46	
				Med.	85,28	83,96	82,77	
INDIVIDUO 7 (2. <sup>a</sup> repetição)								
45°	42,1625	31,9500	19,1000	C <sub>1</sub>	83,82	83,41	82,92	
135°	48,2250	57,8500	70,0125	C <sub>2</sub>	86,05	84,93	85,03	
225°	40,9875	31,3000	19,4125	C <sub>3</sub>	83,99	83,69	82,83	
315°	48,2875	58,2000	69,9125	C <sub>4</sub>	85,95	84,66	85,16	
				Med.	84,95	84,17	83,98	
INDIVIDUO 8								
45°	42,1250	34,2750	22,8375	C <sub>1</sub>	-85,23	-81,82	-85,05	
135°	47,0625	54,3125	64,5875	C <sub>2</sub>	-81,53	-80,19	-81,86	
225°	42,5375	35,8625	24,8000	C <sub>3</sub>	-85,23	-82,23	-83,41	
315°	47,8750	54,8500	66,5500	C <sub>4</sub>	-81,70	-79,97	-82,30	
				Med.	-83,42	-81,05	-83,16	

$\varphi$	Valores de $\psi$				Valores de 2V			
	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$		C	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
<b>INDIVIDUO 9</b>								
45°	47,5125	55,0750	65,8125		C <sub>1</sub>	-80,63	-81,77	-82,30
135°	42,4250	34,9750	23,5750		C <sub>2</sub>	-83,38	-82,48	-84,32
225°	47,3250	54,7625	65,5750		C <sub>3</sub>	-80,67	-81,82	-82,46
315°	42,4500	34,9125	23,7500		C <sub>4</sub>	-83,39	-82,51	-84,58
					Med.	-82,02	-82,14	-83,42
<b>INDIVIDUO 10</b>								
45°	41,3375	33,4750	23,4500		C <sub>1</sub>	-83,24	-81,00	72,10
135°	46,9125	53,6000	65,3375		C <sub>2</sub>	-80,93	-82,49	89,24
225°	43,5250	37,0125	27,0125		C <sub>3</sub>	-83,53	-80,59	-86,22
315°	47,9750	56,5875	69,6625		C <sub>4</sub>	-80,90	-82,33	63,98
					Med.	-82,15	-81,60	79,78
<b>INDIVIDUO 11</b>								
45°	43,2000	36,2500	25,7625		C <sub>1</sub>	-79,79	-81,57	-82,84
135°	43,0375	56,2000	67,5125		C <sub>2</sub>	-78,53	-81,72	-81,84
225°	42,0250	33,9250	22,0125		C <sub>3</sub>	-79,76	-81,59	-83,49
315°	46,6125	53,6625	64,0750		C <sub>4</sub>	-78,45	-81,74	-82,33
					Med.	-79,13	-81,66	-82,62
<b>INDIVIDUO 12</b>								
45°	46,5750	45,4500	36,5750		C <sub>1</sub>	-76,81	-78,28	-79,29
135°	43,2500	43,9500	50,7125		C <sub>2</sub>	-77,91	-79,72	-78,53
225°	41,8875	37,4250	32,4125		C <sub>3</sub>	-78,50	-79,68	-78,61
315°	48,5375	53,3875	58,8375		C <sub>4</sub>	-76,12	-78,28	-79,25
					Med.	-77,34	-78,99	-78,92
<b>INDIVIDUO 13</b>								
45°	45,9500	49,1000	53,0500		C <sub>1</sub>	-76,11	-74,24	-75,75
135°	48,2250	49,3000	45,7750		C <sub>2</sub>	-77,13	-75,33	-75,99
225°	45,0625	50,3750	70,1750		C <sub>3</sub>	-87,06	-84,26	-72,81
315°	38,0375	31,0125	24,1750		C <sub>4</sub>	85,40	-89,53	-71,17
					Med.	-83,72	-80,84	-73,93

## 2. DESVIOS PADRÕES DE 2V, PARA $\theta = 15^\circ$ , $\theta = 30^\circ$ e $\theta = 45^\circ$

Utilizando as médias de 2V das 4 soluções obtidas para cada  $\theta$  ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ) na primeira e na segunda repetições dos indivíduos 1 a 7, obtiveram-se os seguintes desvios padrões:

$\theta$	Estimativa de $\sigma$
$15^\circ$	3,07
$30^\circ$	1,15
$45^\circ$	6,17

Em todas as comparações, o teste  $\theta$  se mostra significativo a 99% de probabilidade. Isto permite concluir que os melhores resultados são obtidos com  $\theta = 30^\circ$ . Além disso, as inclinações pequenas ( $\theta = 15^\circ$ ) são mais recomendadas que as grandes ( $\theta = 45^\circ$ ).

## 3. QUADRO COMPARATIVO DE 2V

O quadro II reúne os valores de 2V obtidos pelos métodos analítico, da medida direta, dos gêmeos e do máximo ângulo de extinção. Os resultados referentes ao método analítico são tirados do quadro I e são as médias das 4 combinações de  $\varphi$ , para cada  $\theta$ , na primeira e na segunda repetições. Os quadros em branco na coluna da medição direta referem-se a indivíduos grupados segundo a lei da periclina.

## 4. COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO ANALÍTICO E O DA MEDIDA DIRETA

A premissa envolvida é que os dois indivíduos de cada grupamento têm composição química e 2V iguais. O método de determinação de 2V é tanto mais adequado quanto mais comprove essa hipótese.

**Quadro II:** Valores de 2V obtidos pelos métodos da medida direta (1), dos gêmeos (2), do máximo ângulo de extinção (3) e analítico (4).

Indiv.	(1)	(2)	(3)	(4)					
				$\theta = 15^\circ$		$\theta = 30^\circ$		$\theta = 45^\circ$	
				1.ª rep.	2.ª rep.	1.ª rep.	2.ª rep.	1.ª rep.	2.ª rep.
1	81,9	86,5	80,5	-86,10	-84,27	-84,16	-85,08	-85,66	-89,49
2	84,0	86,5	83,5	-93,97	-85,56	-88,90	-85,24	-86,74	-78,83
3	81,9	84,2	---	-86,10	-84,27	-84,16	-85,08	-85,66	-89,49
4	88,0	84,2	---	-87,30	-86,46	-81,47	-83,38	-89,00	-88,36
5	77,9	79,0	80,0	-74,44	-78,48	-76,17	-76,73	-71,66	-74,22
6	77,8	79,0	79,0	-73,56	-79,68	-76,03	-75,74	-74,83	84,38
7	84,3	83,0	83,5	82,50	84,35	83,70	83,35	83,59	82,96
8	84,4	83,0	85,3	85,28	84,95	83,96	84,17	82,77	83,98
9	81,6	84,0	80,0	-83,42		-81,05		-83,16	
10	82,8	84,0	82,5	-82,02		-82,14		-83,42	
11	82,1	84,5	---	-82,15		-81,60		-100,22	
12	82,6	84,5	---	-79,13		-81,66		-82,62	
13	78,6	77,5	77,5	-77,34		-78,99		-78,92	
14	79,5	77,5	76,5	-83,72		-80,84		-73,93	

Os sete grupamentos são constituídos dos indivíduos 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, 7 e 8, 9 e 10, 11 e 12, 13 e 14. Sejam x e y os valores de 2V dos indivíduos de cada grupamento. Se a hipótese for verdadeira tem-se  $y = bx + a$ , em que  $a = 0$  e  $b = 1$ , ou seja,  $x = y$ . A análise da variância foi feita segundo o esquema:

Causa da variação	G. L.
Regressão linear	1
Desvios	5

Obtiveram-se os resultados que se seguem.

	Medida direta	Método analítico		
		$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$
Equação de regr.	$Y = 1,17x - 12,44$	$Y = 1,40x - 10,66$	$Y = 1,04x - 2,48$	$Y = 0,35x + 52,27$
Significância (F)	5%	5%	5%	n. s.
$t_b = (b-1)/S_b$	0,42 (n.s.)	0,35 (n.s.)	0,12 (n.s.)	***
$t_a = (a-0)/S_a$	0,18 (n.s.)	0,07 (n.s.)	0,03 (n.s.)	***

Observa-se, pois, que tanto o método da medida direta como o analítico, para  $\theta = 15^\circ$  e  $\theta = 30^\circ$ , fornecem boas estimativas de  $b = 1$  e  $a = 0$ , isto é, nos 3 casos os valores de  $2V$  de cada grupamento confirmam a premissa inicial.

## 5. COMPARAÇÃO DOS ESTEREOGRAMAS

Representam-se em projeção estereográfica, as posições dos eixos óticos  $A_1$  e  $A_2$  dos dois indivíduos de cada grupamento, obtidas pelos métodos analítico e convencional. Sob cada estereograma indicam-se os ângulos diretores dos eixos óticos ( $\alpha$  e  $\beta$ ). Os que se referem ao método analítico são médias das soluções obtidas para  $\theta = 30^\circ$  (1.<sup>a</sup> repetição) e são fornecidos pelo programa para computador. Os referentes ao método convencional são obtidos dos estereogramas levantados pelo método dos gêmeos.

### MÉTODO DOS GÊMEOS

### MÉTODO ANALÍTICO

#### GRUPAMENTO I

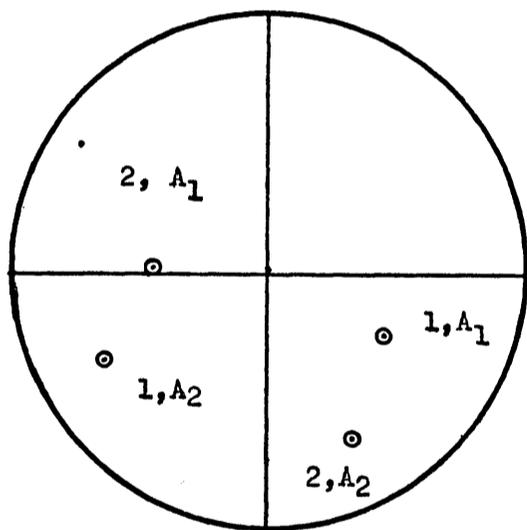


fig. 1

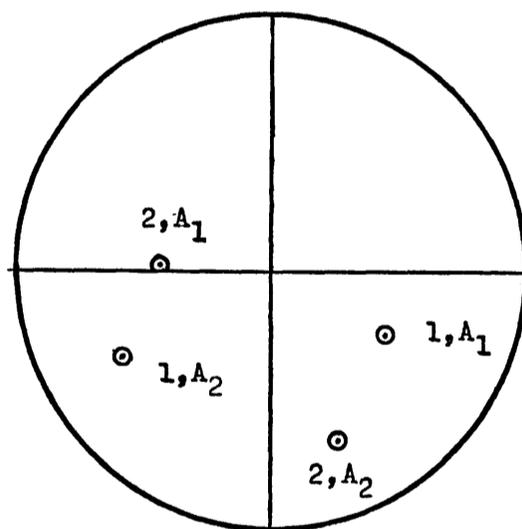


fig. 2

	Indivíduo 1		Indivíduo 2	
	$A_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2$
$\alpha$	47,0	— 34,0	— 68,5	— 63,0
$\beta$	69,0	64,0	— 53,0	38,0

	Indivíduo 1		Indivíduo 2	
	$A_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2$
$\alpha$	48,2	— 37,1	— 68,5	— 62,0
$\beta$	68,6	64,2	— 53,0	38,5

**GRUPAMENTO II**

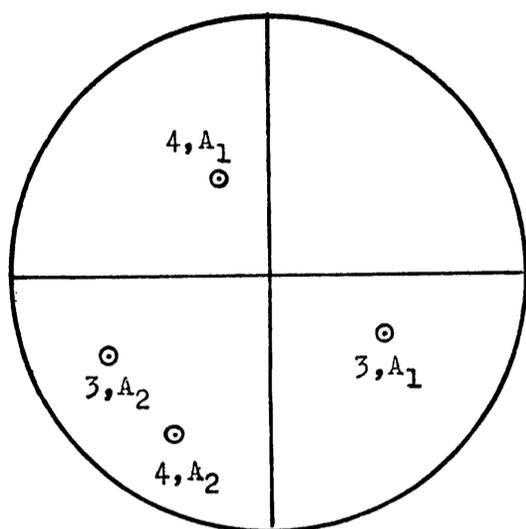


fig. 3

	Indivíduo 3		Indivíduo 4	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	47,0	— 34,0	— 70,0	— 61,0
$\beta$	69,0	— 64,0	— 54,0	36,0

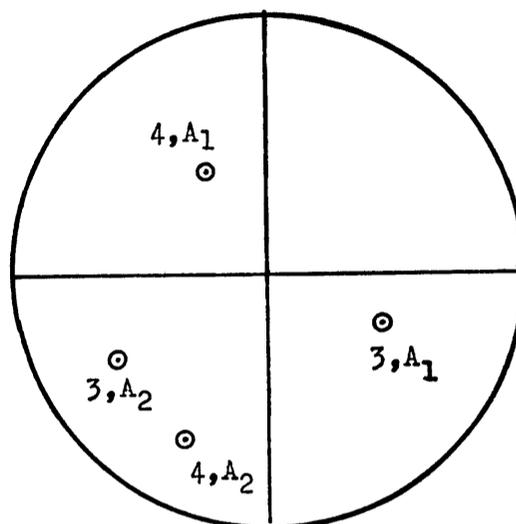


fig. 4

	Indivíduo 3		Indivíduo 4	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	48,2	— 37,1	— 71,4	— 64,0
$\beta$	68,6	— 64,0	— 52,3	33,0

**GRUPAMENTO III**

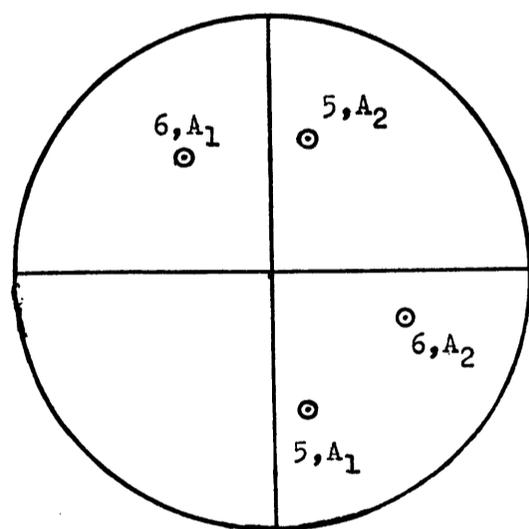


fig. 5

	Indivíduo 5		Indivíduo 6	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	76,0	76,0	38,0	— 39,0
$\beta$	38,0	— 39,0	— 76,0	— 76,5

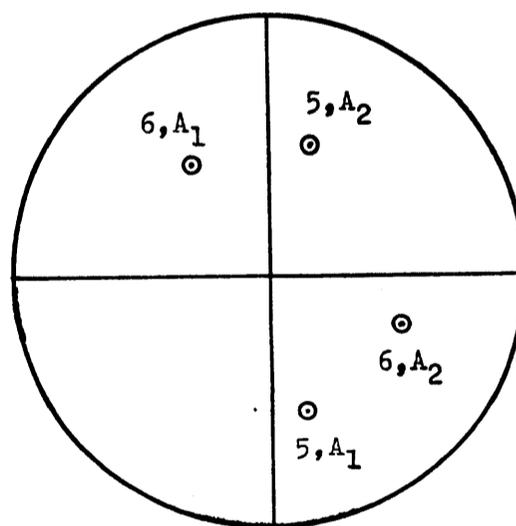


fig. 6

	Indivíduo 5		Indivíduo 6	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	76,4	76,7	37,6	— 38,7
$\beta$	37,3	— 38,8	— 76,2	— 76,3

## GRUPAMENTO IV

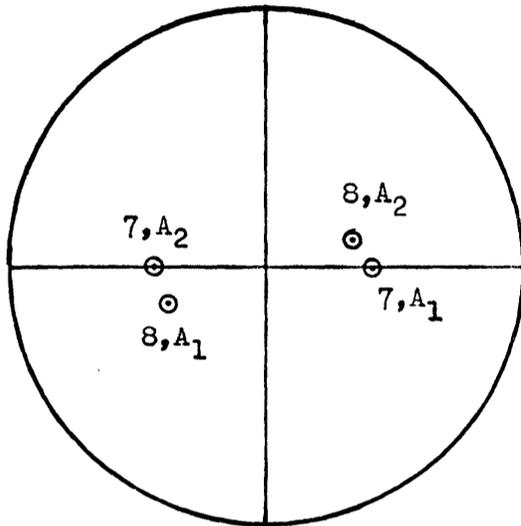


fig. 7

	Indivíduo 7		Indivíduo 8	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	48,0	— 48,0	90,0	90,0
$\beta$	90,0	90,0	49,0	— 48,0

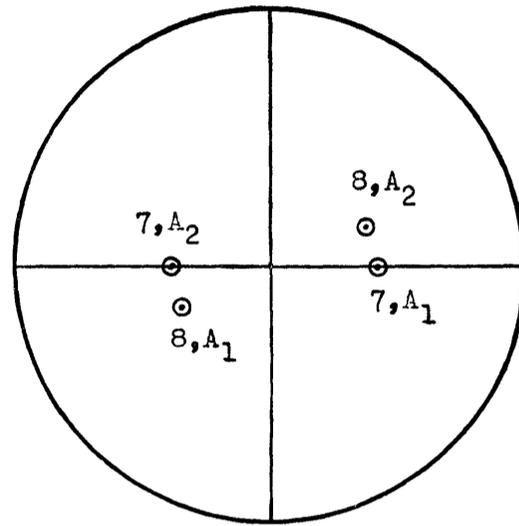


fig. 8

	Indivíduo 7		Indivíduo 8	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	48,4	— 47,9	— 88,4	— 88,4
$\beta$	— 89,0	— 89,1	48,3	— 47,8

## GRUPAMENTO V

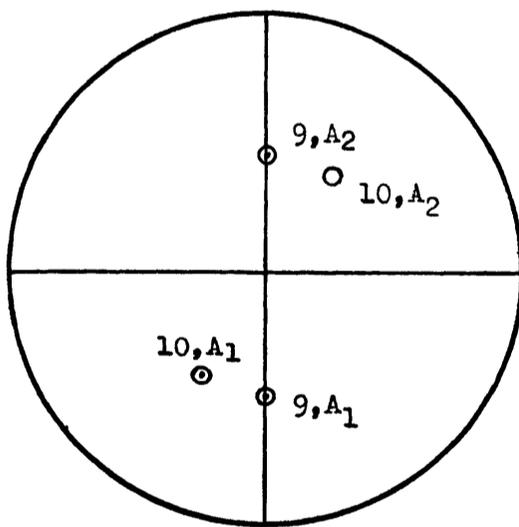


fig. 9

	Indivíduo 9		Indivíduo 10	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	90,0	90,0	41,0	— 41,5
$\beta$	40,5	— 41,0	90,0	90,0

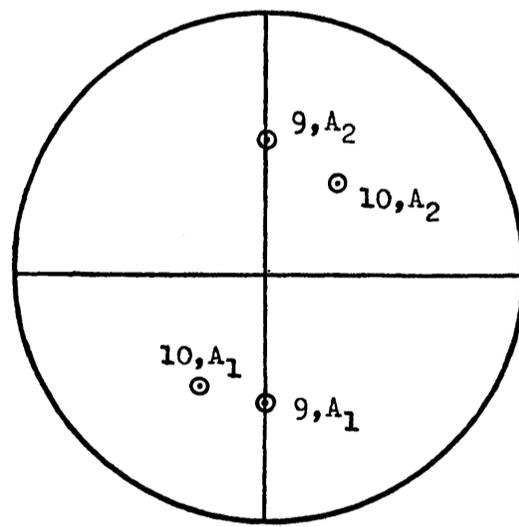


fig. 10

	Indivíduo 9		Indivíduo 10	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	— 88,7	— 88,7	41,2	— 41,0
$\beta$	41,2	— 39,8	— 89,6	— 89,6

**GRUPAMENTO VI**

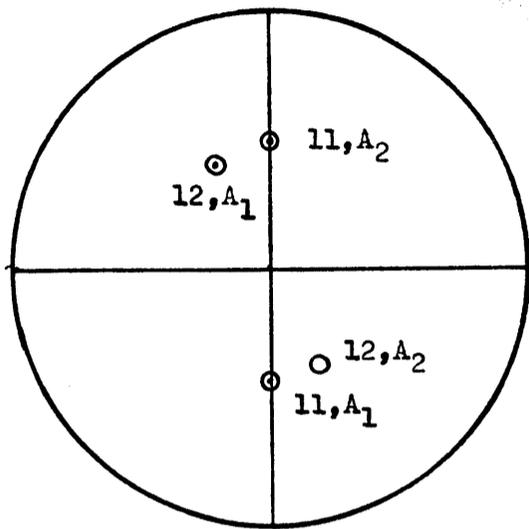


fig. 11

	Indivíduo 11		Indivíduo 12	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	89,0	— 89,0	90,0	90,0
$\beta$	44,0	— 38,0	— 41,0	41,5

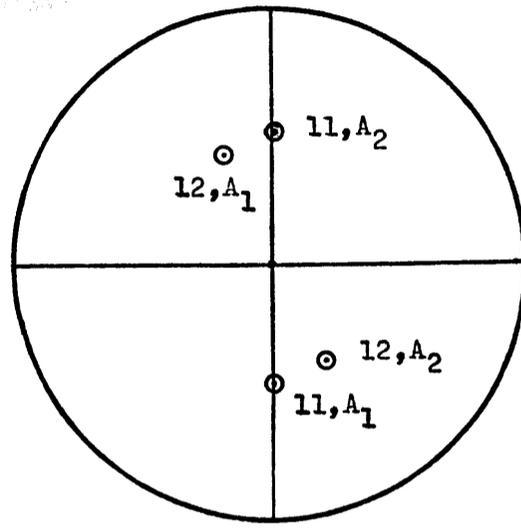


fig. 12

	Indivíduo 11		Indivíduo 12	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	— 89,4	— 89,4	— 89,7	— 89,7
$\beta$	42,9	— 38,7	— 42,4	39,3

**GRUPAMENTO VII**

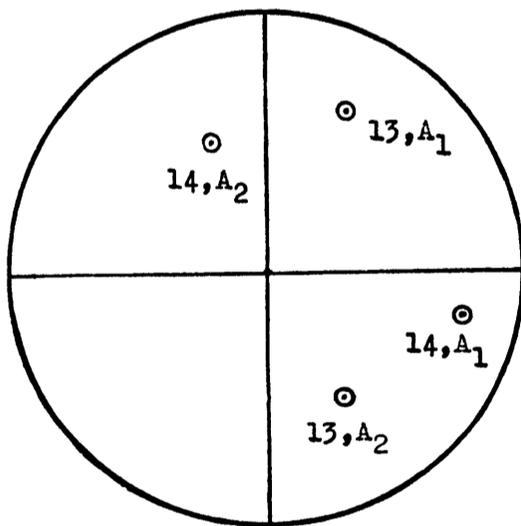


fig. 13

	Indivíduo 13		Indivíduo 14	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	66,5	64,0	30,5	— 43,5
$\beta$	— 37,0	43,0	— 66,0	— 71,0

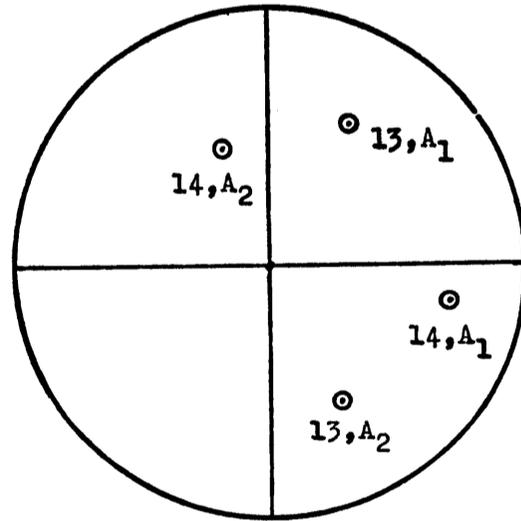


fig. 14

	Indivíduo 13		Indivíduo 14	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
$\alpha$	64,9	65,3	34,6	— 48,1
$\beta$	— 39,0	40,0	— 65,0	— 70,0

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

1. O emprego do método analítico a plagioclásios através de operações de extinção envolvendo múltiplos de  $45^\circ$  para  $\psi$  mostrou-se muito eficaz. Na maioria das operações de extinção efetuadas, o objetivo de evitar ângulos de extinção muito próximos de  $\psi = 0$  ou de  $\psi = 90^\circ$  foi alcançado. Realmente, em 240 operações de extinção, ocorreram valores de  $\psi$  sujeitos a restrições apenas duas vezes, ainda assim para  $\theta = 45^\circ$  no indivíduo 2 ( $\varphi = 225^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$ ), em que os valores obtidos nas duas repetições são discrepantes, por serem leituras muito próximas de um eixo ótico, e para o indivíduo 3 ( $\varphi = 225^\circ$ ,  $\theta = 45^\circ$  em que  $\psi$  é próximo de zero).

2. O exame dos resultados obtidos para 2V permite concluir que não há diferenças entre as diferentes combinações de  $\varphi$ , o que é esperado. A média obtida com os resultados das 4 combinações possíveis pode ser tomada como valor seguro de 2V.

3. A análise dos erros nos valores de 2V mostra que as melhores estimativas são obtidas quando  $\theta = 30^\circ$ . A inclinação  $\theta = 45^\circ$  é a que maiores desvios acarreta e a inclinação  $\theta = 15^\circ$ , apesar de conduzir a valores razoáveis, ainda é nitidamente inferior a  $\theta = 30^\circ$ .

4. A comparação estatística mostra que tanto para  $\theta = 15^\circ$  como para  $\theta = 30^\circ$ , o método analítico é tão satisfatório como o da medida direta, adotada a premissa de que os dois indivíduos de um grupamento têm composição química e 2V iguais. Essa comparação confirma as observações de 3. relativas a  $\theta = 45^\circ$ , condenando essa inclinação.

5. A comparação dos estereogramas é conclusiva, pois mostra que as posições dos eixos óticos são praticamente as mesmas, se levantadas pelo método analítico ou pelo método dos gêmeos. As diferenças observadas entre os ângulos diretores são mínimas e as repetições mostram a reprodutibilidade dos resultados.

6. Em resumo, recomenda-se a aplicação do método analítico de Chomard a plagioclásios usando-se operações de extinção em que  $\theta = 30^\circ$  e  $\varphi$  é um múltiplo de  $45^\circ$ . Quando se usa o programa para computador, a parte operacional do método consiste, tão somente, na determinação de pelo menos 3 ângulos de extinção. Recomenda-se a utilização de 4 operações ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ), o que traz a vantagem de se obter o determinante de controle  $\Delta$  (teoricamente  $\Delta = 0$ ) e permite a determinação de 2V como média de 4 soluções analíticas, obtidas com as combinações possíveis de  $\varphi$ .

## SUMMARY

Determination of 2V in plagioclase by the analytical method using  $\varphi$  values multiple of  $45^\circ$ .

The application of Chomard's method to plagioclases was studied by means of extinction operations in which  $\varphi$  is a multiple of  $45^\circ$ . A total of 240 extinction operations were performed in seven twinned grains, totaling 13 individuals. Twelve extinction operations ( $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ) were done for each individual as follows:  $\theta = 15^\circ$ ,  $\theta = 30^\circ$  and  $\theta = 45^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi = 135^\circ$ ,  $\varphi = 225^\circ$ ,  $\varphi = 315^\circ$ .

A computer program was used to determine 2V and the direction angles of the optic axes. These results were compared to those obtained by the following methods: twins, direct measurement and maximums extinction angle. Stereograms obtained by the analytical and conventional methods were also compared.

The main conclusion drawn was that the computer programmed analytical method is as efficient as the others when  $\theta = 30^\circ$  and the 2V position is considered to be the average of the 4 possible analytical solutions where the value of  $\varphi$  is a multiple of  $45^\circ$ .

### LITERATURA CITADA

- ABRAHÃO, IBRAHIM O. 1968 — Contribuição ao estudo do método analítico de Chomard. Tese de livre-docência apresentada a ESALQ, 132 pp.
- ABRAHÃO, IBRAHIM O. 1971 — Determinação do ângulo 2V de plagioclásios pelo método analítico com valores de  $\varphi$  múltiplos de  $90^\circ$ . Anais da ESALQ, 28 : 69-81.
- ABRAHÃO, IBRAHIM O. & GODOY, CASSIO R. M. 1971 — Solução para computador do método analítico de Chomard. Anais da ESALQ, 28 : 227-234.
- ABRAHÃO, IBRAHIM O. — 1974 — Sobre a determinação de ângulos de extinção para a aplicação do método analítico. Anais da ESALQ, 31, 7-18.
- BEREK, M. 1924 — Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universal-drehtischmethoden. Berlin, Verlag von Gebrüder Börnträger, 168p.
- CHOMARD, L. 1934 — Théorie et Pratique de la Méthode Fédorow. Procédé classique et Méthode Analytique Générale. Dunod, Paris. Annales des Mines, 5 : 153-218.

