

CALCITAS, DOLOMITAS E APATITAS. ALGUMAS CARACTERÍSTICAS
INERENTES X MICROFLOTAÇÃO

SONIA MARGARIDA DE ASSIS¹
SÉRGIO HENRIQUE MACHADO VIANA²
JOÃO MARTINS DA SILVA¹

RESUMO

Em continuação a um programa de pesquisa de caráter mais fundamental, implantado visando à caracterização de fatores intrínsecos que afetam as propriedades de superfície de minerais carbonatados (calcitas e dolomitas) e apatitas procedentes de Jacu-piranga e Itataia, são apresentados estudos de rugosidade superficial, granulação e microflotação.

Estes estudos visam contribuir para que se estabeleçam correlações mais fundamentais entre as características das jazidas e suas respostas à flotação.

¹ Engenheiro de Minas, M.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Minas, UFMG

² Engenheiro de Minas

1 - INTRODUÇÃO

A flotação seletiva de fosfatos com ganga carbonática tem sido, há anos, um dos grandes problemas na indústria de fosfatos. Embora existam processos adequados ao beneficiamento dos fosfatos carbonatados brasileiros, as jazidas apresentam uma grande variedade de "tipos" de minérios que se mostram refratários aos processos de flotação adotados ⁽¹⁾.

O estudo das características intrínsecas aos minerais, como variável a ser investigada, pode, às vezes, ajudar na previsão do comportamento de um minério na flotação. A heterogeneidade química, física e mineralógica de partículas minerais, advindas de condicionamentos geológicos diferenciados, pode alterar algumas propriedades dos minerais que são determinantes da intensidade com que eles interagem com os coletores aniônicos na flotação.

Estudos mais recentes mostram, por exemplo, que as características de dissolução dos minerais calcita, apatita e dolomita têm fundamental importância na interação mineral/coletor aniônico ⁽²⁾. Por outro lado, as características de dissolução desses minerais podem ser alteradas por modificações na estrutura cristalina e presença de impurezas decorrentes de condicionamentos geológicos diferenciados. Isto pode explicar os diferentes valores encontrados para as constantes dos produtos de solubilidade das apatitas, visto que vários elementos químicos, além dos seus constituintes principais, podem ocorrer ^{(3) (4)}. É possível também encontrar-se na natureza o fosfato de cálcio com diferentes proporções de matéria amorfa e matéria cristalina ⁽⁵⁾.

A heterogeneidade física (granulação, rugosidade superficial e cristalinidade) foi apontada por alguns pesquisadores como fator determinante do comportamento dos minerais calcita e barita na flotação com coletores aniônicos ^{(6) (7)}.

Com o objetivo de se desenvolver critérios de caracterização visando à interpretação e desenvolvimento de processos, bem como o planejamento de lavra, foi iniciado um programa de estudo das características inerentes aos principais minerais de diversas jazidas de ro-

chas fosfáticas. Em 1985 foram publicados dois artigos^{(8) (9)} tendo como principal escopo a heterogeneidade química e hidrofobicidade.

A proposta da presente pesquisa é dar prosseguimento a este programa, contemplando, agora, a heterogeneidade física (granulação e rugosidade superficial) dos minerais carbonatados e apatitas procedentes de Jacupiranga e Itataia, como objeto de estudo.

2 - MATERIAIS

2.1 - Estudos de Granulação

Para avaliação do tamanho do grão dos minerais foram utilizadas as rochas fosfáticas, procedentes de Jacupiranga-SP e Itataia-CE.

A rocha de Jacupiranga era um carbonatito de textura*, sacaróide, granulação fina, podendo-se detectar macroscopicamente apatitas esverdeadas na massa formada pelos minerais carbonatados.

De Itataia foram seleccionados dois tipos de rochas, denominados mármore 1 e mármore 2, ambos de granulação grosseira, com presença de apatita de cor avermelhada, mas o mármore 2 apresentava granulação mais grosseira que o mármore 1.

2.2 - Estudos de Rugosidade Superficial e Microflotação

Nestes estudos foram utilizadas amostras dos minerais calcita, apatita e dolomita purificados através de líquidos densos e separações magnéticas, na granulometria -100 +150 mesh Tyler, obtida em gral.

A análise dos minerais purificados forneceu o seguinte resultado quanto aos teores de CaO e MgO:

*Define-se textura como a maneira que os minerais se organizam e se dispõem em rocha, sendo caracterizada pelas formas e interrelações dos grãos minerais, pelo grau de cristalização e pela magnitude do tamanho do grão, isto é, granulação (10).

MINERAIS	%CaO	%MgO
Calcita Itataia	54,5%	0,07%
Dolomita Itataia	34,6%	14,8 %
Calcita Jacupiranga	51,2%	2,6 %

Os contaminantes traços (Fe, Mn, Al, Zn, SiO₂, NaO, K₂O) apresentaram teores aproximadamente semelhantes em todos os minerais carbonatados.

A apatita de Itataia apresentou 41,5% de P₂O₅ e a de Jacupiranga 40,5%. A principal diferença entre elas residia no teor de Fe₂O₃. A apatita de Jacupiranga apresentou 0,2% de Fe₂O₃ e a de Itataia 2,4% de Fe₂O₃.

3 - METODOLOGIA

3.1 - Estudos de Granulação*

As micrografias que serão apresentadas neste estudo foram tiradas com um aumento de 31,2 vezes, nicol X.

A medida do tamanho dos grãos foi realizada em lâminas delgadas, utilizando-se um microscópio petrográfico com ocular micrométrica. A medida era feita na maior dimensão planar das espécies minerais (calcita, dolomita e apatita) encontradas em cada lâmina. Arbitrou-se um número de 50 medidas para cada espécie mineral. O resultado é dado pela média.

3.2 - Estudos de Rugosidade Superficial

Para a finalização do trabalho rugosidade superficial será considerada como a propriedade de uma partícula mineral, vista em um plano ,

*Leinz⁽¹⁰⁾ classifica a granulação de rochas coesas da seguinte maneira:

- (A) microcristalina - os grãos não são reconhecíveis a olho nu.
- (B) fina: tamanho até 1 mm.
- (C) média: tamanho entre 1 mm e 10 mm.
- (D) grossa: tamanho maior que 10 mm.

apresentar em sua superfície pontos cotados em vários níveis.

A rugosidade superficial foi quantificada através do número de interseções pontuais* de uma linha de ensaio com as mudanças bruscas de cota das superfícies das partículas, verificada na tonalidade das micrografias. As linhas de ensaio são traçadas aleatoriamente em micrografias obtidas em microscópio eletrônico, aumento de 430X.

O número de interseções pontuais por unidade de comprimento da linha de ensaio será:

$$P_l = \frac{P_p}{l}$$

P_p = número de interseções

l = comprimento da linha de ensaio

Para se obter P_l com uma precisão estipulada, determina-se inicialmente se os valores de P_l seguem uma distribuição normal, arbitram-se um número de linhas e calcula-se a média \bar{X} dos P_l . Calcula-se o desvio padrão, o coeficiente de variação e a seguir estima-se o número de linhas necessário para obter a precisão desejada. De maneira similar estima-se o número de partículas a serem estudadas para uma determinada precisão.

3.3 - Microflotação

Os testes de microflotação foram realizados em tubo de Ballimond, utilizando-se 1,0 g de material por teste, oleato de sódio como coletor (10^{-5} molcs/litro) e HCl e NaOH como modificadores de pH.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Estudos de Granulação

*O método das interseções pontuais⁽¹¹⁾ é utilizado em metalografia quantitativa em seções polidas. O método descrito neste trabalho para a determinação da rugosidade é baseado neste método, com modificação feita pelos autores.

**Foi estipulado 90% de precisão.

4.1.1 - Carbonatito de Jacupiranga

Como pode-se observar nas micrografias 1 e 2 as apatitas apresentam-se com faces imperfeitamente desenvolvidas (A) e sem faces (B e E). O tamanho médio do grão é 0,6 mm. Os minerais carbonatados (C e D) não apresentam faces desenvolvidas e têm tamanho médio do grão de 1,4 mm.

4.1.2 - Mármore 1 de Itataia

A micrografia 3 apresenta cristais maclados do mineral carbonatado, com granulação média de 7 mm.

A micrografia 4 mostra a mineralização fosfatada com caráter Cripto cristalino (grão não individualizado ao microscópio petrográfico).

4.1.3 - Mármore 2 de Itataia

A micrografia 5 mostra a macla polissintética no mineral carbonatado, com granulação média maior que 10 mm.

Foi detectado no mármore 2 a presença de mineralização fosfatada, com caráter cripto-cristalino.

Os resultados globais obtidos nos estudos de granulação mostram que enquanto a apatita de Itataia apresenta-se com grão não individualizado ao microscópio petrográfico, a de Jacupiranga apresenta grãos diferenciados na forma subédrica e anédrica. Enquanto os grãos dos carbonatos de Itataia apresentam-se maclados, com granulação bastante grosseira, os de Jacupiranga apresentam-se na forma anédrica, com granulação muito fina. Resumindo, as características de cristalinidade e granulação nas rochas de Jacupiranga e Itataia se invertem, de mineral a mineral.

4.2 - Estudos de Rugosidade Superficial

Os valores encontrados para as interseções pontuais (PI) através de linhas de ensaio traçadas aleatoriamente em micrografias obtidas em microscópio eletrônico com amostras dos minerais purificados na gra

nulometria -100 +150 mesh Tyler, são mostrados abaixo, juntamente com micrografias típicas numeradas de 6 a 10.

4.2.1 - Apatitas

As micrografias 6 e 7 mostram, respectivamente, superfícies típicas da apatita de Jacupiranga e da apatita de Itataia. Como pode ser observado, a apatita de Itataia apresenta rugosidade superficial muito mais elevada que a de Jacupiranga (maior número de interseções pontuais) o que é condizente com o fato da apatita de Itataia apresentar caráter cripto-cristalino ao microscópio petrográfico e a de Jacupiranga apresentar cristais individualizados.

4.2.2 - Minerais carbonatados

As micrografias 8, 9 e 10 mostram respectivamente as superfícies típicas dos minerais calcita de Itataia, dolomita de Itataia e calcita de Jacupiranga. As micrografias e os valores obtidos para as interseções pontuais (Pl) mostram que o mineral carbonatado de Jacupiranga apresenta maior rugosidade superficial que os minerais carbonatados de Itataia.

Os valores mais baixos de rugosidade superficial obtidos para os minerais de Itataia estão em concordância com o fato desses minerais apresentarem cristais maclados com elevado tamanho de grão comparativamente à calcita de Jacupiranga que apresenta grãos pequenos e anédricos.

4.3 - Estudos de Microflotação

4.3.1 - Apatitas

A figura 1 mostra a flutuabilidade das apatitas de Itataia e de Jacupiranga. Pode-se observar que a apatita de Jacupiranga apresenta maior flutuabilidade que a apatita de Itataia.

A tabela 1 mostra a flutuabilidade das apatitas, granulação, rugosidade superficial e %Fe₂O₃.

Tabela 1: Características das apatitas

APATITAS	GRANULAÇÃO (mm)	RUGOSIDADE (mq) ⁻¹	Fe ₂ O ₃ %	FLUTUABILIDADE
Itataia	Cripcocristalina	96,7 ± 3,9	2,4	Menor
Jacupiranga	0,6	46,7 ± 1,4	0,2	Maior

Segundo a tabela 1 a apatita de Itataia a qual apresenta menor flutuabilidade apresenta também maior rugosidade superficial, maior teor de ferro e menor tamanho de grão (apresentou-se cripcocristalina ao microscópio petrográfico) que a apatita de Jacupiranga.

Segundo a literatura consultada, uma maior rugosidade superficial (3) (6) e um menor tamanho de grão (6) (7) são fatores que podem diminuir a flutuabilidade dos minerais tipo sal. E, especificamente, um aumento do teor de ferro nas apatitas pode diminuir suas flutuabilidades (9).

Desta forma a literatura oferece subsídios para, através do conjunto de propriedades intrínsecas às apatitas de Itataia e de Jacupiranga (granulação, rugosidade superficial e teor de Fe₂O₃), justificar a menor flutuabilidade da apatita de Itataia em relação à de Jacupiranga.

4.3.2 - Minerais carbonatados

A figura 2 mostra a flutuabilidade dos minerais carbonatados de Itataia e de Jacupiranga. Pode-se observar que a flutuabilidade máxima, obtida na faixa de pH estudado, cresce na seguinte ordem: calcita de Jacupiranga - dolomita de Itataia - calcita de Itataia.

A tabela 2 mostra a flutuabilidade dos minerais carbonatados, granulação, rugosidade superficial e teor de MgO.

Segundo a tabela 2 os minerais carbonatados de Itataia os quais apresentaram maior flutuabilidade, apresentaram também maior granulação e menor rugosidade superficial. Não se observa qualquer correlação entre o teor de MgO ou CaO e a flutuabilidade dos minerais carbonatados.

Tabela 2: Características dos minerais carbonatados

MINERAIS	GRANULAÇÃO (mm)	RUGOSIDADE (mm) -1	% MgO	% CaO	FLUTUABILIDADE
Calc.Itat.	10,0	44,3 ± 1,1	0,07	54,5	Grande
Dolom.Itat.	7,0	56,3 ± 2,1	14,8	34,6	Média
Calc.Jacup.	1,2	101,7 ± 3,9	2,6	51,2	Pequena

Segundo a literatura a granulação e a rugosidade superficial podem modificar o comportamento de minerais tipo sal na flotação.

Parsonage⁽⁶⁾ estudando o mineral barita encontrou que as formas mais cristalinas e com menor rugosidade superficial apresentam maior flutuabilidade.

Segundo Micke⁽⁷⁾ as calcitas que se apresentam na forma de macrocristais romboédricos apresentam maior flutuabilidade do que as que se apresentam na forma de microcristais.

Desta forma, a literatura oferece subsídio para, através dos estudos de granulação e rugosidade, explicar a maior flutuabilidade dos minerais carbonatados de Itataia em relação ao de Jacupiranga.

5 - CONCLUSÃO

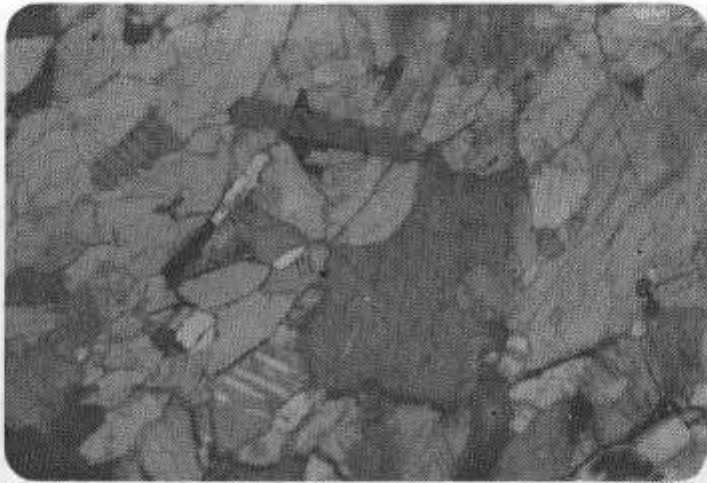
Os estudos das propriedades intrínsecas aos minerais carbonatados, e apatitas de Jacupiranga e Itataia podem, com base na literatura, justificar seus comportamentos na microflotação da seguinte maneira;

a) Prováveis características que podem contribuir para a maior flutuabilidade da apatita de Jacupiranga em relação a de Itataia: a apatita de Jacupiranga apresenta maior tamanho de grão (a de Itataia é microcristalina), menor rugosidade superficial e menor teor de ferro.

b) Prováveis características que podem contribuir para a menor flutuabilidade da calcita de Jacupiranga em relação aos minerais carbonatados de Itataia: a calcita de Jacupiranga apresenta menor tamanho de grão e maior rugosidade superficial.

6 - BIBLIOGRAFIA

- 1 - SILVA, J.M. & COELHO, E.M. Caracterização das Rochas Fosfáticas Brasileiras, Estágio Atual e Perspectivas Futuras. In: Conferencia Latino Americana de Roca Fosfórica, 1., Cochabamba, Bolívia, 1983. Anais... Cochabamba, GLIRF, 1984: 159-72.
- 2 - OFORI AMANKONAH, J. & SOMASUNDARAN, P. Effects of Dissolved Mineral Species on the Electrokinetic Behaviour of Calcite and Apatite. *Colloids and Surface*, 15, 1985: 335-353.
- 3 - SOMASUNDARAN, P.; OFORI AMANKONAH, P.; ANANTHAPADMABHAN, K.P. Mineral-Solution Equilibria in Sparingly Soluble Mineral Systems. *Colloids and Surfaces*, 15, 1985: 309-333.
- 4 - HANA, H.S. & SOMASUNDARAN, P. Flotation of Salt Type Minerals. In: FURSTENAU, M.C. Flotation, A.M. Gaudin Memorial Volume, 1, New York, AIME, 1962: 197-272.
- 5 - TERMINE, J.D. & POSNER, A.S. Infrared Determination of the Percentage of Crystallinity in Apatitic Calcium Phosphate. *Nature*, 16; 1966: 268-70.
- 6 - PARSONAGE, P. & WATSON, D. Surface texture, Slime Coatings and Flotation Some Industrial Minerals. XIV International Congress Crown Copyright, Toronto, 1982: V.5.1-V.5.8.
- 7 - MICHE, R. Aspects de la Flotation des mineraux de Phosphate de l'Afrique du Nord. *Revue de L'Industrie Minerale*, 606, V35, 1954: 216-246.
- 8 - ASSIS, S.M. et alii. Contribuição à Interpretação das Características de Flutuabilidade do Sistema Apatita/Calcita. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 11, Natal, 1985. Anais... Natal, CERN, V.1, 1985: 87 - 101.
- 9 - SILVA, J.M. et alii. Constituição de Apatitas Brasileiras e Hidrofobicidade na Presença de Oleato de Sódio. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 11, Natal, 1985, Anais... Natal, CERN, V.1, 1985: 77-86.
- 10- LEINZ, V. & LEONARDOS, O.H. Glossário Geológico. São Paulo(SP) 1977.
- 11- SILVA, P.F.M. & VASCONCELOS, W.L. A Medida do tamanho do grão em seção polida. *Revista CVRD*, V4, 14, 1983.



Micrografia 1: Carbonatito de Jacupiranga.



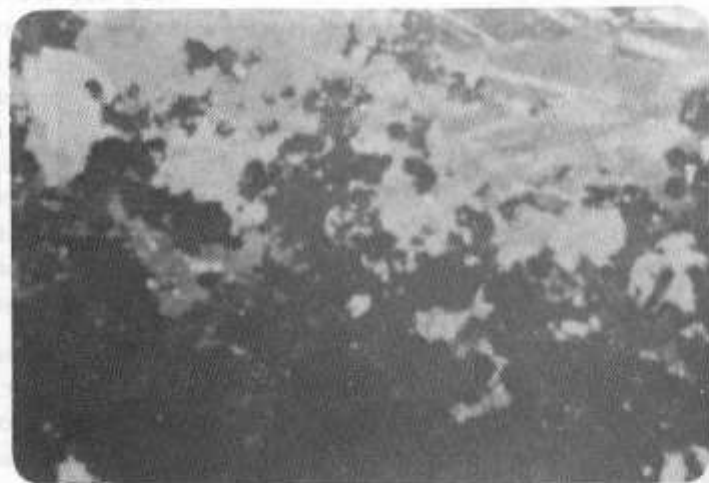
Micrografia 2: Carbonatito de Jacupiranga

8 - BRASILEIROS

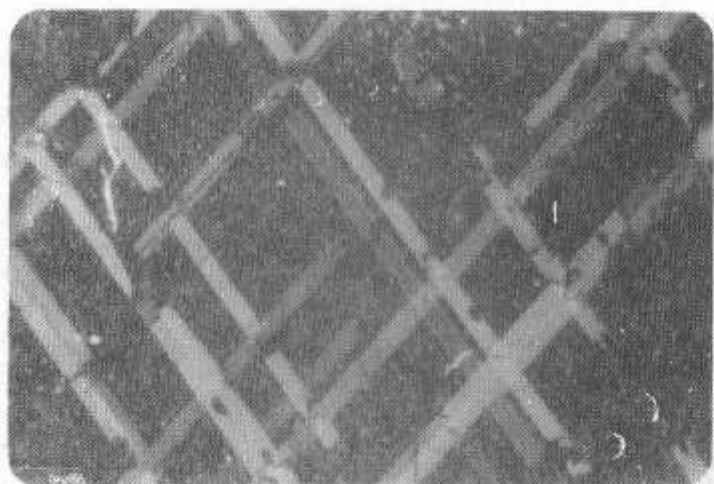
1 - VITTO, J. P. & COSTA, S. P. "Caracterização dos Mármore Brasileiros"



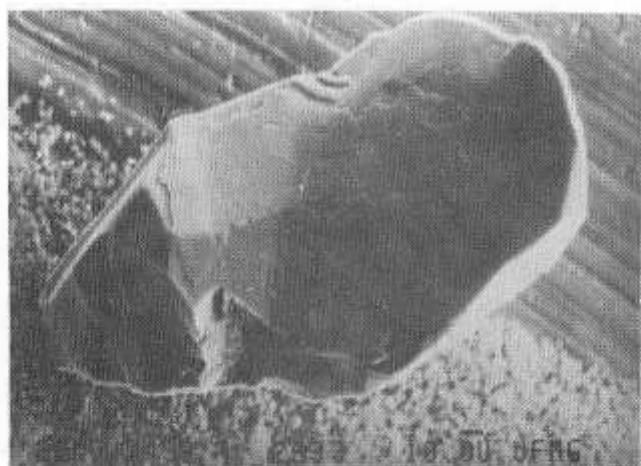
Micrografia 3: Marmoré 1 de Itataia.



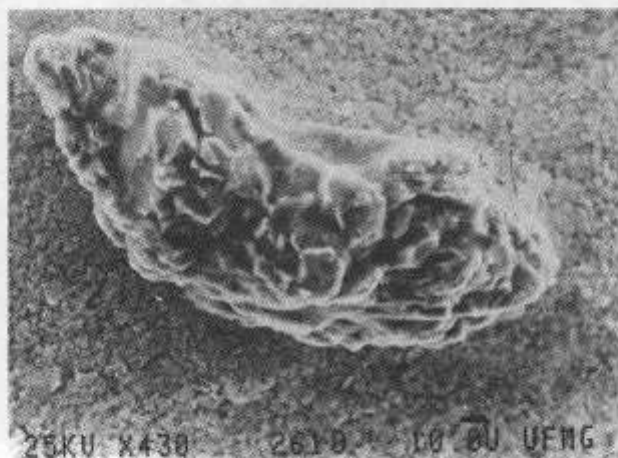
Micrografia 4: Marmoré 1 de Itataia.



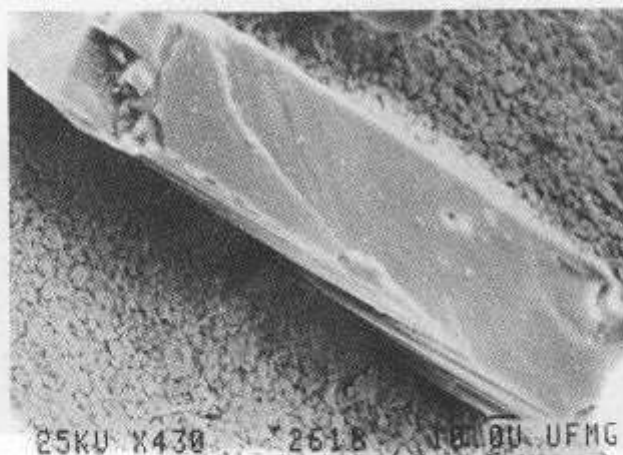
Micrografia 5: Mármore 2 de Itataia.



Micrografia 6: Apatita de Jacupiranga ($P_l=46,7 \pm 1,4 \text{ nm}^{-1}$).

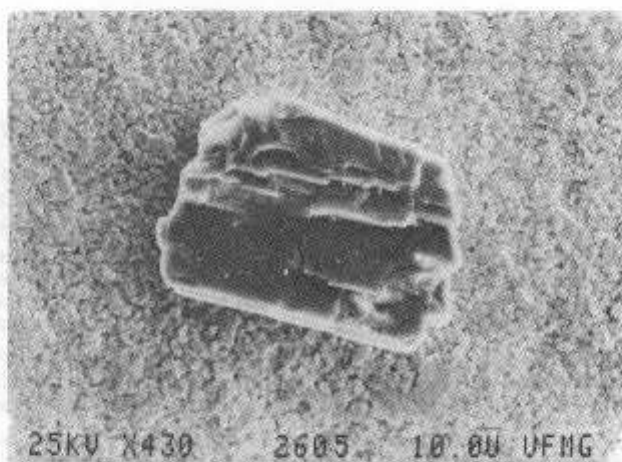


25KU X430 2619 UFMG
 Micrografia 7: Apatita de Itataia ($Pl=96,7\pm 3,9 \text{ mm}^{-1}$).

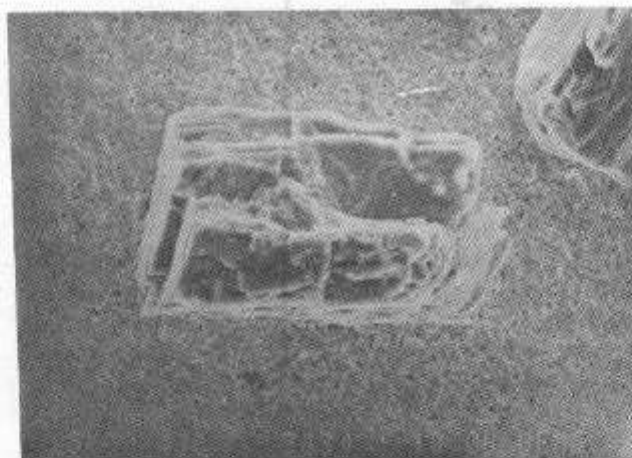


25KU X430 2618 UFMG
 Micrografia 8: Calcita de Itataia ($Pl=44,3\pm 1,1 \text{ mm}^{-1}$).

ESTUDO DE PLACENTA, ANALISE PORAS LA TENCION DE PLACENTA
 DE ALTAZONA, CORONADO, MEXICO.



Micrografia 9: Dolomita de Itataia ($P_1=56,3 \pm 2,1 \text{ mm}^{-1}$).



Micrografia 10: Calcita de Jacupiranga ($P_1=101,7 \pm 3,9 \text{ mm}^{-1}$).

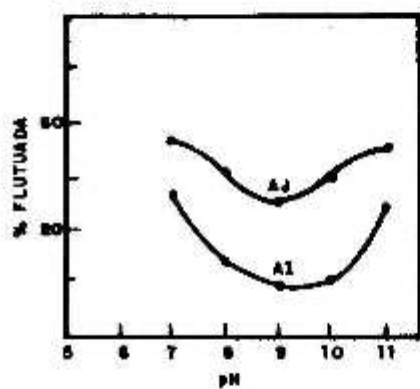


Figura 1: Flutuabilidade das Apatitas.

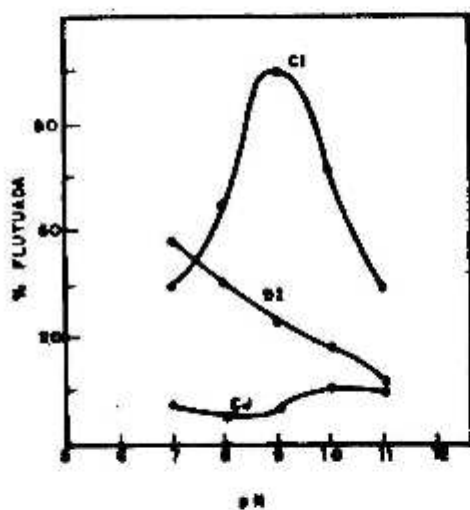


Figura 2: Flutuabilidade dos minerais carbonatados.