



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

# BENEFICIAMENTO DO CALCÁRIO DA REGIÃO DE CANTAGALO-RJ

Série Tecnologia Mineral	Nº 34	Seção Beneficiamento	Nº 21	Brasília	1984
-----------------------------	-------	----------------------	-------	----------	------

**MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA**

Cesar Cals - Ministro de Estado

**DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL**

Yvan Barretto de Carvalho - Diretor Geral

**DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL**

Manoel da Redenção e Silva - Diretor

**CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

Roberto C. Villas Bôas - Superintendente

Autores: Vanilda Rocha Barros\*  
Hedda Vargas Figueira\*\*  
Rupen Adamian\*\*\*

## BENEFICIAMENTO DO CALCÁRIO DA REGIÃO DE CANTAGALO-RJ

Execução e elaboração do trabalho pelo  
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM  
Através do convênio DNPM/CPRM

\* Eng. Química, M.Sc. Eng. Metalúrgica, bolsista do CNPq  
\*\* Eng. Química, Professora Adjunta UFRJ  
\*\*\* Eng. de Minas e Metalúrgica, D. 3<sup>eme</sup>, Professor Titular UFRJ

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 01 - Bloco B - Telex (061)1116  
70000 - Brasília (DF) - Brasil

Copyright 1984  
Reservados todos os direitos  
Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte

Depósito Legal  
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro  
Instituto Nacional do Livro

Brasil. DNPM

Beneficiamento do calcário da região de Cantagalo, RJ/Vanilda R. Barros, Hedda V. Figueira e Rupen Adamian. - Brasília, 1984.

...p. il. - (Brasil. DNPM. Série Tecnologia mineral; 34, Seção Beneficiamento; 21)

"Trabalho executado pelo Centro de Tecnologia mineral, através do convênio DNPM/CPRM".

Bibliogr.

1. Tecnologia mineral - Brasil. I. Barros, V. R. II. Figueira, H.V. III. Adamian, R. IV. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro. V. Título. VI. Série.

## RESUMO

## ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO .....	01
2. CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO .....	02
2.1. - Preparação da Amostra .....	02
2.2. - Análise Granulométrica .....	02
2.3. - Composição Química .....	02
2.4. - Análise Mineralógica .....	08
2.5. - Composição Mineralógica .....	08
2.6. - Grau de Liberação .....	08
3. ENSAIOS DE MOAGEM .....	09
3.1. - Testes de Moagem .....	09
3.2. - Determinação do Índice de Trabalho .....	10
4. ESTUDOS DE FLOTAÇÃO EM BANCADA .....	11
4.1. - Alimentação da Flotação .....	11
4.2. - Flotação Inversa .....	11
4.2.1. - Flotação da Grafita .....	12
4.2.2. - Flotação do Quartzo, Mica e Outros ...	13
4.3. - Flotação Direta .....	17
4.3.1. - Melhores Condições Operacionais .....	18
4.3.2. - Etapa "Cleaner" .....	19
4.3.3. - Flotação Direta com Moagem por 20 Minutos .....	20
5. PRODUTO OBTIDO FACE AO MERCADO CONSUMIDOR .....	20
5.1. - Especificações do Carbonato de Cálcio Purificado .....	20
5.2. - Exigências do Mercado Consumidor .....	23
6. CONCLUSÕES .....	25
7. BIBLIOGRAFIA .....	27
8. ANEXOS .....	29

## RESUMO

O Projeto Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo constou de estudos sobre a viabilidade de concentração e purificação do calcário, através de flotação seletiva.

Com a utilização do calcário oriundo de lavra seletiva, contendo aproximadamente 97% de  $\text{CaCO}_3$ , tinha-se por objetivo obter um produto de alta pureza, semelhante ao carbonato de cálcio precipitado, usado em indústrias químicas tais como: tintas, plásticos, vidros especiais, borracha, etc.

Estes estudos foram conduzidos de maneira a levantar parâmetros em escala de bancada, usando os métodos de flotação direta e inversa, os quais foram otimizados e comparados.

## ABSTRACT

The research program was conducted to study the viability of concentration and purification of calcareous from selective mining operations in Cantagalo District, that contains near 97% of  $\text{CaCO}_3$ .

Ore dressing studies were developed in order to obtain high purity product similar to  $\text{CaCO}_3$  precipitate, used in chemical industries, such paints, plastics, special glasses, rubber, etc. Parameter were raised in bench scale, using direct and inverse flotation, that are optimized and compared.

## 1. INTRODUÇÃO

A região de Cantagalo, situada no Estado do Rio de Janeiro, possui reservas de calcário estimadas em 5 bilhões de toneladas, tendo o minério um teor da ordem de 90% de calcita.

Este trabalho constitui um estudo sobre a possibilidade de beneficiamento desse minério, objetivando conseguir um produto similar ao carbonato de cálcio precipitado, utilizando o processo de flotação seletiva.

O carbonato de cálcio precipitado, devido a sua pureza e alto teor de  $\text{CaCO}_3$  (98,5%), é usado em indústrias químicas tais como: tintas, plásticos, borracha, vidros, papéis especiais, produtos farmacêuticos, etc.

O processo atualmente utilizado na produção deste carbonato baseia-se na transformação do calcário em óxido de cálcio, por calcinação. Pela hidratação deste produto, obtém-se o hidróxido de cálcio (leite de cal), o qual através de injeção de  $\text{CO}_2$  dá lugar a precipitação do carbonato de cálcio de alta pureza.

As várias etapas do processo envolvem elevados gastos energéticos, principalmente na fase de calcinação. Como no processo de flotação seletiva por espuma esta fase seria excluída, a redução do consumo de energia seria significativa.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO

### 2.1. - Preparação da Amostra

Para realização deste trabalho, foram enviados ao CETEM, por minerador da região, 200kg de calcário extraído por lavra seletiva.

Esta amostra, que constava de blocos bastante homogêneos, de tamanho variando de 6" a 8", cor acinzentada e textura grosseira, com grãos de forma cúbica, variando de 1 a 5mm, sofreu sucessivas reduções, homogeneizações e classificações, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 1.

### 2.2. - Análise Granulométrica

Alíquotas em duplicata da amostra média do minério, britado abaixo de 1/4", foram analisadas granulometricamente, sendo os resultados médios mostrados na Tabela 1 e Figura 2.

### 2.3. - Composição Química

Para conhecer os constituintes presentes no minério, uma amostra média foi analisada quimicamente em duplicata, sendo a média dos resultados obtidos apresentada na Tabela 2.



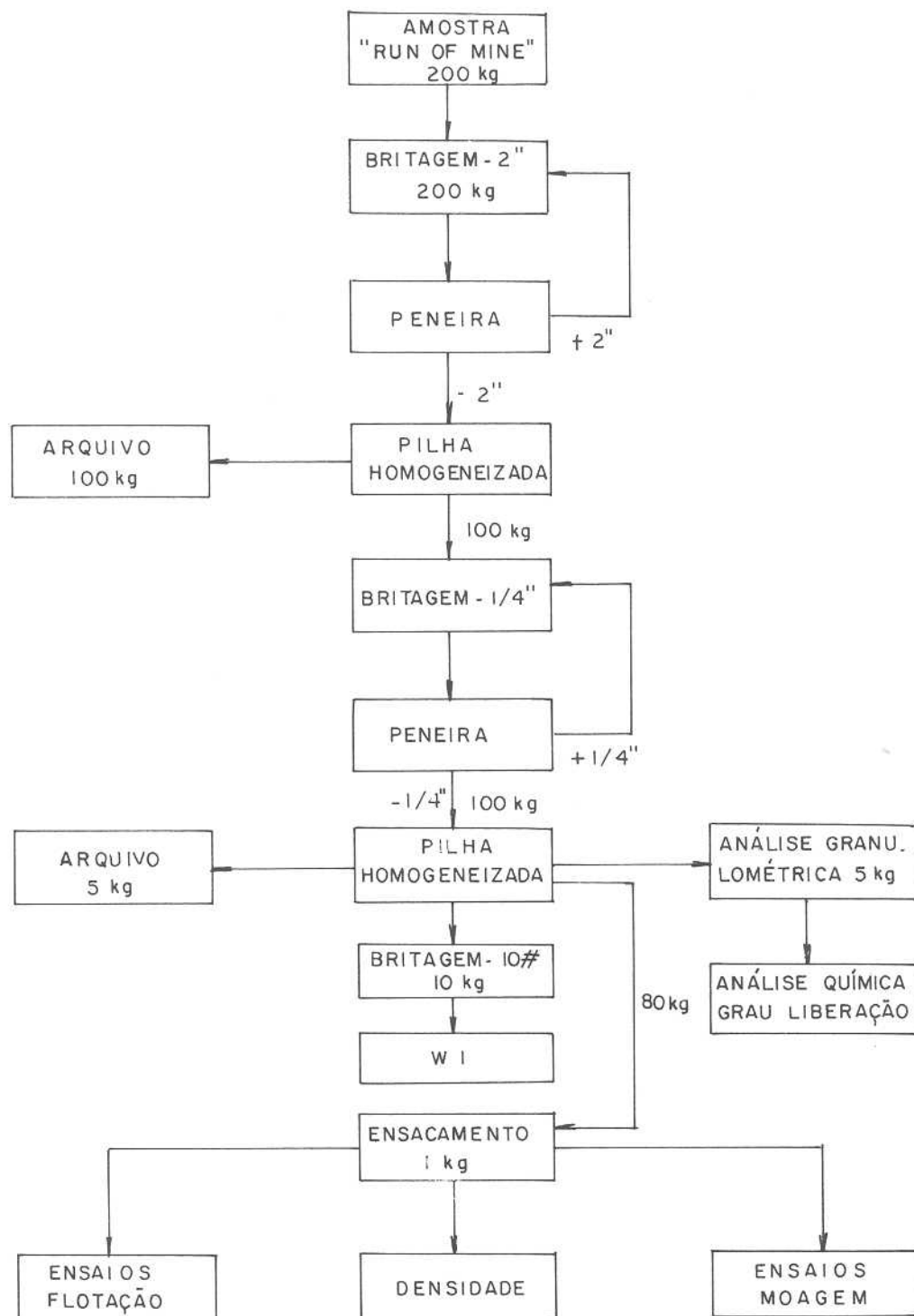


FIG. 1- FLUXOGRAMA DE PREPARAÇÃO DA AMOSTRA DO CALCÁRIO

ABERTURA		PESO	ACUMULADO RETIDO	PASSANTE
malha	mm	(%)	(%)	(%)
3,5	5,60	0,5	0,5	99,5
4	4,750	24,1	24,6	75,4
6	3,327	15,1	39,7	60,3
8	2,362	22,6	62,3	37,7
10	1,651	11,8	74,1	25,9
14	1,651	7,5	81,6	18,4
20	0,833	4,9	86,5	13,5
28	0,589	3,2	89,7	10,3
35	0,417	2,7	92,4	7,6
48	0,295	1,3	93,7	6,3
65	0,208	1,1	94,8	5,2
100	0,147	1,2	96,0	4,0
150	0,104	0,8	96,8	3,2
200	0,074	0,7	97,5	2,5
270	0,053	0,5	98,0	2,0
325	0,044	0,3	98,6	1,7
400	0,037	0,3	100,0	1,4
-400		1,4		

Tabela 1. - Análise granulométrica da amostra média brita da abaixo de 1/4".

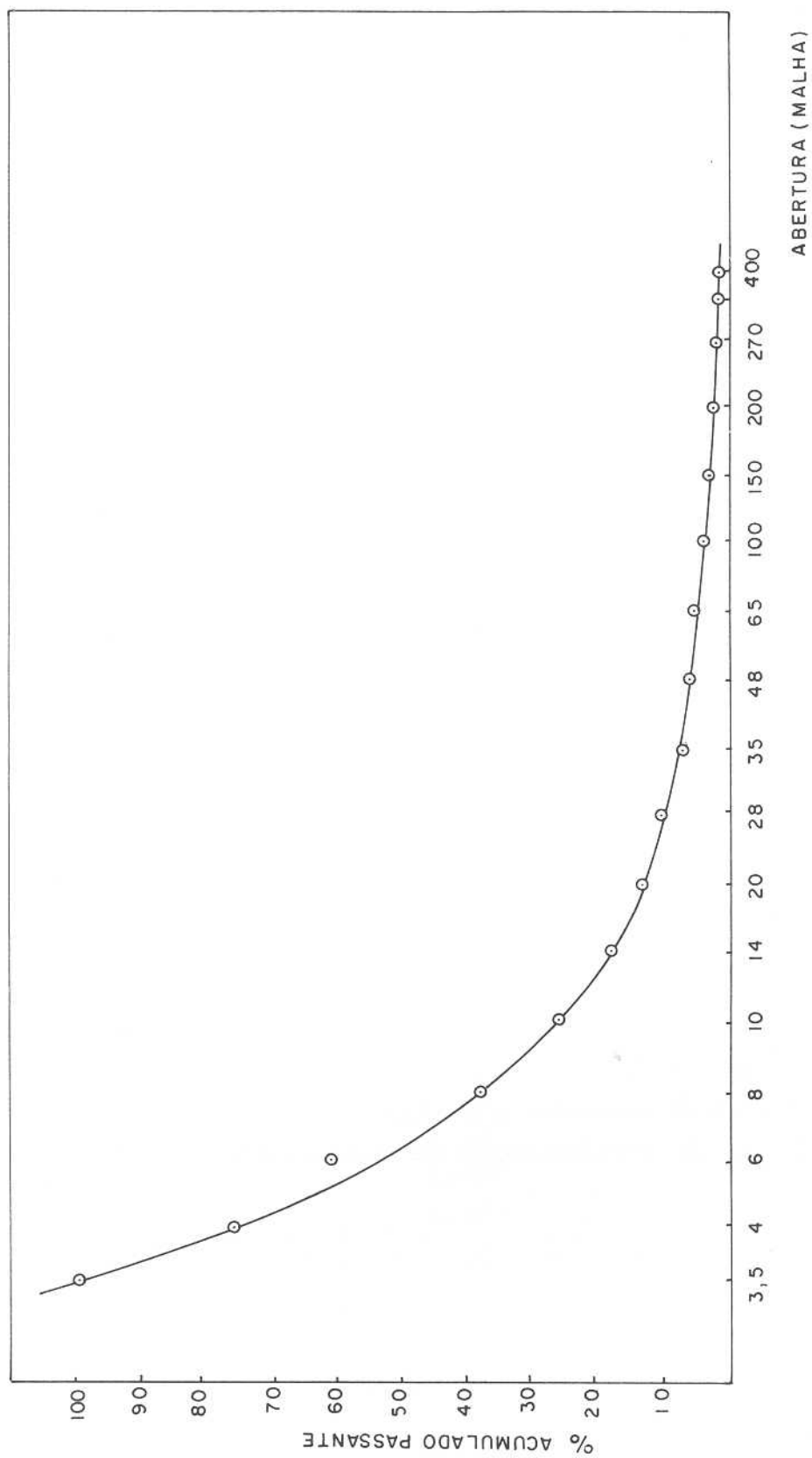


FIG. 2 — DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO MINÉRIO BRITADO A -1/4"

COMPONENTES	TEOR (%)
CaCO <sub>3</sub> .....	98,0
SiO <sub>2</sub> .....	0,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,56
MgO .....	0,24
BaO .....	0,03
SO <sub>3</sub> .....	0,59
MnO .....	0,03
NiO .....	0,06
Cu .....	0,01
C .....	0,3
Perda ao Fogo .....	43,2

Tabela 2. - Análise química da amostra média.

Devido à comprovação mineralógica da presença de pirita (Fe<sub>2</sub>S), como também de sulfato de bário, a composição provável do minério é dada na Tabela 3.

Para estudar a distribuição de SiO<sub>2</sub> e CaCO<sub>3</sub> nas diversas frações da amostra média, foram realizadas análises químicas cujos resultados são vistos na Tabela 4, podendo-se observar que não houve concentração de nenhum dos dois compostos.

COMPONENTES	TEOR (%)
CaCO <sub>3</sub> .....	97,6
SiO <sub>2</sub> .....	0,81
FeS <sub>2</sub> .....	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,56
MgO .....	0,24
BaSO <sub>4</sub> .....	0,04
CaSO <sub>4</sub> .....	0,44
MnO .....	0,03
NiO .....	0,06
Cu .....	0,01
C .....	0,3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	-
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	-

Tabela 3. - Composição química provável do minério.

FRAÇÃO (MALHA)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
+35	1,50	97,1
+48	1,97	96,1
+65	1,83	96,9
+100	1,86	96,6
+150	1,52	97,6
+200	1,27	97,9
+270	1,05	99,1
+325	1,01	98,6
+400	0,91	99,1
-400	1,33	97,1

Tabela 4. - Distribuição de SiO<sub>2</sub> e CaCO<sub>3</sub> em frações da amostra média.

#### 2.4. - Análise Mineralógica

Os estudos mineralógicos foram feitos numa amostra média e em amostras de diversas faixas granulométricas, através de microscópio petrográfico e lupa binocular. Constatou-se que o minério é constituído quase que exclusivamente de carbonato de cálcio tipo calcita, sendo o restante representado por grafita, lamelas de mica tipo muscovita, raríssimos grãos de pirita e óxido de ferro.

#### 2.5. - Composição Mineralógica

Para o cálculo da composição mineralógica, fez-se análise modal e obtiveram-se percentagens em volume, as quais foram transformadas em peso. Os resultados podem ser vistos na Tabela 5.

MINERAL	% VOLUME	% PESO
Calcita	97,0	97,5
Quartzo	1,0	0,5
Grafita	0,5	0,5
Muscovita	1,0	1,0
(Pirita + Óxido de Ferro)	0,5	0,5

Tabela 5. - Composição mineralógica do minério.

#### 2.6. - Grau de Liberação

O grau de liberação foi estudado observan

do-se a liberação da grafita em relação ao carbonato de cálcio (calcita), sendo apresentado na Tabela 6.

FRAÇÃO (MALHA)	GRAU DE LIBERAÇÃO (% EM PESO)
+28	53,0
+35	82,8
+48	86,7
+65	90,6
+100	93,8
+150	98,0

Tabela 6. - Grau de liberação do minério.

### 3. ENSAIOS DE MOAGEM

#### 3.1. - Testes de Moagem

Tendo por finalidade obter um produto adequado aos testes de flotação, ou seja, abaixo de 100 malhas, onde a calcita, quartzo e grafita encontram-se satisfatoriamente liberados, foram feitos vários testes de moagem em diversos tempos.

As condições usadas durante os testes foram: moinho tubular medindo 12" de comprimento por 6" de largura; carga moedora com 10 barras de 1" de diâmetro; 700ml de água; aproximadamente 1kg do minério reduzido a 1/4"; e velocidade de 92rpm (77% da velocidade crítica).

Os produtos obtidos foram analisados gra

nulometricamente, e os resultados podem ser vistos nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 do Anexo 1.

Com os valores destas Tabelas, foram construídas curvas de moagem, usadas para determinar o tempo necessário para se obterem polpas nas diversas granulometrias testadas nos ensaios de flotação.

Estas curvas são apresentadas na Figura 1 do Anexo 1.

Inicialmente o tempo escolhido foi de 10 minutos, pois origina um produto 80% abaixo de 100 malhas, onde a calcita se encontra completamente liberada. No entanto, devido ao interesse em obter um produto final o mais fino possível, testes de flotação com tempos de 20 e 30 minutos também foram realizados.

### 3.2. - Determinação do Índice de Trabalho

Ensaio em duplicata foram realizados para determinar o índice de trabalho (WI) do calcário de Cantagalo, usando-se o minério britado abaixo de 10 malhas.

Usou-se o método direto estabelecido por Bond, tendo como malha teste a peneira de 100 malhas. Esta escolha baseou-se na característica quebradiça dos agregados cristalinos que constituem o minério.

Após 9 períodos de moagem, conseguiu-se um WI de 9,9 kW/h/tonelada curta.



## 4. ESTUDOS DE FLOTAÇÃO EM BANCADA

Os estudos em escala de bancada visaram conseguir, através de flotação seletiva, um produto de alta pureza, similar ao carbonato de cálcio precipitado, obtido industrialmente por processos químicos.

Considerando os resultados da caracterização do minério, inicialmente foram executados vários ensaios exploratórios, visando definir as condições básicas de flotação, bem como selecionar os reagentes mais adequados.

Estes ensaios foram realizados em célula Denver, modelo D-12, em cubas de 3 e 5 litros.

### 4.1. - Alimentação da Flotação

Nos ensaios iniciais, 1kg do minério abaixo de 1/4" foi moído por 10 minutos (ver Tabela 1 e Figura 1 do Anexo 1), tempo suficiente para que 80% do minério estejam abaixo de 100 malhas.

Após estabelecidas as melhores condições da flotação, foram realizados ensaios com o minério moído nos tempos de 20 e 30 minutos, a fim de se obter um produto final mais fino, capaz de atender a certas faixas do mercado consumidor (ver Tabelas 4 e 5, Figura 1 do Anexo 1).

### 4.2. - Flotação Inversa

Como o minério possui alto teor do mineral útil (calcita), foi estudada a possibilidade de flotação

da ganga, composta de grafita, quartzo, mica e outros, como: óxido de ferro e pirita.

A utilização do processo de flotação inversa neste tipo de minério visa evitar a manipulação de grandes quantidades de massas, além de gastos excessivos de reagentes. Os ensaios foram feitos em duas etapas: flotação da grafita e flotação de quartzo e outros.

#### 4.2.1. - Flotação da Grafita

A fim de não contaminar o produto final, que deve ser o mais branco e puro possível, a grafita precisava ser previamente eliminada.

As variáveis estudadas nesta flotação foram:

- a) % sólido no condicionamento : 18 a 40%
- b) % sólido na flotação : 18 a 28%
- c) pH de flotação : pH 7 (literatura) e o pH natural da polpa (7,8 a 8)
- d) Tempo de condicionamento : 5 a 8 minutos
- e) Quantidade de coletor : 84 a 140g/t
- f) Quantidade de espumante : 15 a 30g/t

Como coletor, foi usado o querosene, e como espumante, o óleo de pinho.

As demais variáveis, tais como: agitação da célula - 1200rpm, tempo de flotação - 3 minutos, foram mantidas constantes.

As melhores condições operacionais determinadas foram:

- a) Moagem do minério abaixo de 1/4" por 10 minutos
- b) pH da polpa: natural (7,8 - 8,0)

- c) Percentagem de sólidos no condicionamento: 40%
- d) Percentagem de sólidos na flotação: 28%
- e) Coletor (querosene): 140g/t
- f) Espumante (óleo de pinho): 30g/t
- g) Tempo de condicionamento: 6 minutos
- h) Tempo de flotação: 3 minutos

A seguir, foram realizados outros ensaios, variando-se o tempo de moagem para 20 a 30 minutos e mantendo-se as mesmas condições operacionais, numa tentativa de obter um produto mais fino e de mesma brancura. No entanto, os produtos finais obtidos apresentaram-se levemente acinzentados, comprovando a eliminação apenas parcial da grafita, como mostram os resultados dos testes de brancura da Tabela 7.

TESTE	TEMPO DE MOAGEM (MINUTOS)	BRANCURA (%)
Flotação Inversa	10	88,7
Flotação Inversa	20	88,5
Flotação Inversa	30	87,5

Tabela 7. - Testes de Brancura.

#### 4.2.2. - Flotação do Quartzo, Mica e Outros

Nesta flotação, foram testados vários coletores catiônicos, entre os quais as aminas: Flotigam T (amina graxa esteárica), Flotigam TA (acetato de amina graxa esteárica), Flotigam CA (acetato de amina graxa de coco), da Hoechst, e Duomac T (tallow diamine diacetato), da Poliquima.

Devido à necessidade de se obter um produ

to o mais fino possível, os ensaios foram divididos em grupos, correspondentes à moagem do minério por 10, 20 e 30 minutos.

No primeiro grupo de testes, foram pesquisadas as seguintes variáveis:

- a) Percentagem de sólidos no condicionamento: 18% a 32%
- b) pH de flotação: 5,5; 6,6; 7,8; 8 e 10
- c) Coletor: Flotigam TA, Flotigam CA, Flotigam T e Duomac T
- d) Quantidade de coletor: 100; 135 e 200g/t
- e) Tempo de condicionamento: 3 e 6 minutos
- f) Quantidade de espumante (óleo de pinho adicionado, quando da flotação da grafita): 15 a 30g/t.

As variáveis mantidas constantes foram:

- a) Percentagem de sólidos na flotação: 18%
- b) Tempo de flotação: 3 minutos
- c) Agitação da célula: 1200rpm

Como reguladores de pH, foram usadas soluções de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH).

As melhores condições operacionais para o primeiro grupo de testes foram:

- a) Percentagem de sólidos no condicionamento: 32%
- b) pH da flotação: 7,8 (natural da polpa)
- c) Coletor: Duomac T
- d) Quantidade de coletor: 100g/t
- e) Tempo de condicionamento: 6 minutos
- f) Quantidade de espumante: 30g/t

Em alguns ensaios deste grupo, foi pesquisado o comportamento da flotação de quartzo, quando submetida

aos estágios "rougher" e "scavenger", em pH ácido (5,5 e 6,5), tendo como coletor o Flotigam TA. Embora os resultados obtidos tenham sido animadores (o produto final apresentava teores de  $\text{SiO}_2$  entre 0,3 e 0,08%), esta possibilidade não foi considerada, em vista dos ensaios subsequentes. Nestes, utilizando-se apenas a etapa "rougher" e as melhores condições operacionais supracitadas, foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 8.

TESTE	PRODUTOS	PESO (%)	$\text{SiO}_2$ (%)		$\text{CaCO}_3$ (%)	
			TEOR	DIST.	TEOR	DIST.
15	ALIM.*	96,7	0,89	-	94,1	-
	CONC.	11,1	6,98	87,0	87,5	10,3
	REJ.	85,6	0,11	10,6	98,5	89,7
17	ALIM.	99,4	0,34	-	97,9	-
	CONC.	7,4	4,09	89,1	92,5	7,0
	REJ.	92,0	0,04	10,8	99,1	93,0

Tabela 8. - Resultados dos melhores testes com tempo de moagem de 10 minutos.

\* O percentual que falta para 100% se deve à flotação da grafita, que representa respectivamente 3,3% e 0,6%.

Para verificar a distribuição granulométrica do produto final (concentrado  $\text{CaCO}_3$ ), obtido por flotação inversa, foram realizadas análises granulométricas a úmido por peneiramento e elutriação (ver Tabela 9).

Para os ensaios do segundo grupo, onde o minério foi moído por 20 minutos, foram usadas as condições operacionais já definidas para o primeiro grupo, apenas variando a quantidade do coletor Duomac T para 150 e 200g/t. Os resultados encontram-se na Tabela 10.

MICRÔMETRO	PESO (%)	ACUMULADO (%)
53,0	61,8	61,8
44,0	7,3	69,1
37,0	6,6	75,7
27,1	1,4	77,1
18,9	5,4	82,5
12,3	6,3	88,8
9,0	2,3	91,1
-9,0	8,9	100,0

Tabela 9. - Análise granulométrica do produto obtido por flotação inversa (tempo de moagem do minério: 10 minutos).

TESTE 29	PESO (%)	TEOR	DIST.	TEOR	DIST.
		SiO <sub>2</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
Aliment.	95,60	1,90	-	-	-
Concent.	10,81	15,70	89,3	-	-
Rejeito	84,79	0,24	10,7	98,5	89,8

Tabela 10. - Resultados da flotação inversa com moagem de 20 minérios.

O rejeito desta flotação foi analisado granulometricamente a úmido por peneiramento e elutriação, cujos resultados encontram-se na Tabela 11.

MICRÔMETRO	PESO (%)	ACUM. (%)	PASSANTE (%)
53,0	26,3	26,3	73,7
44,0	8,9	35,2	64,8
37,0	12,4	47,6	52,4
27,1	2,5	50,1	49,9
18,9	9,8	59,9	40,1
12,3	12,9	72,8	27,2
9,0	4,3	77,1	22,9
-9,0	22,9	100,0	

Tabela 11. - Análise granulométrica do produto obtido por flotação inversa (tempo de moagem do minério: 20 minutos).

No terceiro grupo, a flotação inversa, nas condições já estabelecidas, usando-se minério moído por 30 minutos. Nesta moagem, cerca de 70% do material estava abaixo de 400 malhas (ver Tabela 5 do Anexo 1).

Aumentando apenas a quantidade de coletor Duomac T para 250g/t, foi obtido um produto com 98,9% de  $\text{CaCO}_3$  e 0,04% de  $\text{SiO}_2$ .

#### 4.3. - Flotação Direta

O calcário da região de Cantagalo possui um teor de  $\text{CaCO}_3$  da ordem de 90%. A concentração e purificação deste calcário por flotação seletiva da calcita tinha por objetivo a obtenção de um produto o mais puro possível.

O processo de flotação direta estudado teve por base a utilização de emulsão de "tall oil" como cole

tor de calcita, e silicato de sódio como depressor de quartzo, mica e outros.

Em todos os testes, foram mantidas constantes as variáveis:

- a) Percentagem de sólidos na polpa: 18% (para condicionamento e flotação)
- b) pH: 9,0 a 9,2 (natural da polpa, após adição do depressor)
- c) Agitação da célula: 1200rpm
- d) Depressor: silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )
- e) Quantidade de depressor: 200g/t
- f) Coletor: emulsão de "tall oil" a 10%

Apenas foram investigadas as seguintes variáveis:

- a) Quantidade de coletor: 400, 500 e 600g/t
- b) Tempo de condicionamento: 3 e 4 minutos
- c) Tempo de flotação: 4 e 5 minutos

#### 4.3.1. - Melhores Condições Operacionais

Moendo o minério por 10 minutos (ver Tabela 1 do Anexo 1), as melhores condições operacionais da flotação foram:

- a) Percentagem de sólidos: 18%
- b) pH: 9,0 - 9,2 (natural da polpa)
- c) Agitação da célula: 1200rpm
- d) Depressor: silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )
- e) Quantidade de depressor: 200g/t
- f) Coletor: emulsão de "tall oil" a 10% em volume
- g) Quantidade de coletor: 500g/t



h) Tempo de condicionamento: 4 minutos

i) Tempo de flotação: 4 minutos

Os resultados obtidos nestas condições são apresentados na Tabela 12.

TESTE 6	PESO (%)	SiO <sub>2</sub>		CaCO <sub>3</sub>	
		TEOR (%)	DIST. (%)	TEOR (%)	DIST. (%)
ALIM.	99,1	0,75	-	97,5	-
CONC.	95,0	0,08	10,0	99,0	89,1
REJEITO	4,1	16,7	90,0	62,8	2,6

Tabela 12. - Resultados nas melhores condições operacionais.

#### 4.3.2. - Etapa "Cleaner"

Em todos os testes, pesquisou-se apenas a etapa "rougher". No entanto, a fim de avaliar a possibilidade de obtenção de um produto final mais puro, foram realizados dois testes com "cleaner".

As condições usadas foram:

a) Percentagem de sólidos: ≈ 14%

b) Tempo de flotação: 3 minutos

c) Agitação da célula: 1200rpm

A análise química do concentrado final (concentrado "cleaner") apresentou os resultados mostrados na Tabela 13.

COMPOSTOS	TEOR (%)
RI (resíduo insolúvel)	0,26
SiO <sub>2</sub>	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
MgO	0,3
CaCO <sub>3</sub>	99,0

Tabela 13. - Análise química do concentrado do "cleaner".

#### 4.3.3. - Flotação Direta com Moagem por 20 Minutos

Alguns testes foram feitos com o minério moído por 20 minutos, mas apenas na etapa "rougher" e usando as condições operacionais já definidas.

Foram obtidos concentrados com teores de 99,3% de CaCO<sub>3</sub> e 0,3% de SiO<sub>2</sub> com recuperações de CaCO<sub>3</sub> da ordem de 90%.

## 5. PRODUTO OBTIDO FACE AO MERCADO CONSUMIDOR

### 5.1. - Especificações do Carbonato de Cálcio Purificado

Nas Tabelas 14 e 15, podem ver-se os resultados das análises químicas e físicas realizadas nos produtos obtidos por flotação direta e inversa.

	UMIDADE (%)	PERDA AO FOGO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Ba (%)	SO <sub>4</sub> (%)
Flotação Direta Moagem 20 minutos	0,13	43,7	0,39	0,07	0,045	0,3	99,2	0,01	0,04
Flotação Inversa Moagem 10 minutos	0,04	44,1	0,08	0,02	0,025	0,3	98,9	0,01	0,03
Flotação Inversa Moagem 20 minutos	0,05	43,5	0,22	0,029	0,03	0,33	99,4	0,01	0,03

Tabela 14. - Análises químicas dos produtos.

	FLOTAÇÃO DIRETA MOAGEM 20 MINUTOS	FLOTAÇÃO INVERSA MOAGEM 10 MINUTOS	FLOTAÇÃO INVERSA MOAGEM 20 MINUTOS
Absorção em H <sub>2</sub> O	7,6 ml/15g	4,5 ml/15g	6ml/15g
Densidade Real (g/cm <sup>3</sup> )	2,69	2,65	2,7
Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,54	1,74	1,54
Malhas em 270	-	61,78	26,27
Malhas em 325	-	69,12	35,23
Malhas em 400	-	75,72	47,61
Sedimentação em 120 min.	120 cm <sup>3</sup>	80 cm <sup>3</sup>	95 cm <sup>3</sup>
Cor (%)	85,0	88,0	88,5

Tabela 15. - Análises físicas dos produtos.

## 5.2. - Exigências do Mercado Consumidor

As especificações para o carbonato de cálcio de alta pureza exigidas pelo mercado consumidor variam de acordo com sua utilização.

Para a indústria de vidros especiais (fibras de vidro e blocos oftálmicos), as especificações são mostradas na Tabela 16.

COMPOSTO	LIMITE
SiO <sub>2</sub>	1% (máximo)
MgO	2% (máximo)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01% (máximo)
SO <sub>3</sub>	0,02% (máximo)
CaO	55%
BaO + SrO	0,5%
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cu, MnO <sub>2</sub> , NiO e V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,001% (máximo)
Granulometria - 5% máximo retido em 100 malhas 90% mínimo retido em 325 malhas	

Tabela 16. - Especificações da calcita para fabricação de vidros especiais.

Para a fabricação de plásticos, as especificações podem ser vistas na Tabela 17.

COMPOSTO	LIMITE
SiO <sub>2</sub> .....	0,7% - 5%
CaCO <sub>3</sub> .....	98,0%
CaO .....	50,0% - 54,0%
MgO .....	0,8% - 3,9%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,01% - 0,03%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,5% - 1,2%
Perda ao fogo .....	42,0% - 43,0%
Umidade .....	0,06%
Absorção em óleo .....	17,8ml/15g
Cor da queima .....	branca

Tabela 17. - Especificações da calcita para fabricação de plásticos.

Nas indústrias de tintas, exigem-se as especificações mostradas na Tabela 18.

COMPOSTO	LIMITE
SiO <sub>2</sub> .....	3,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,03%
CaO .....	53%
Umidade .....	1%
Absorção em óleo .....	20ml/15g
Granulometria: 1% acima de 325 malhas	

Tabela 18. - Especificações de carbonato de cálcio para fabricação de tintas.

Tomando-se por base estas três utilizações, visto serem as mais rigorosas, e comparando-as resultados mostrados nas Tabelas 14 e 15, pode-se ver que o produto obtido por flotação seletiva corresponde às especificações químicas exigidas. Quanto às especificações físicas, como: granulometria, densidade aparente, absorção em água, etc., as diferenças observadas tornam o produto inadequado para certas finalidades onde estas especificações sejam essenciais.

## 6. CONCLUSÕES

Nos ensaios realizados para a produção de carbonato de cálcio de alta pureza, verificou-se que ambos os processos de flotação oferecem respostas satisfatórias, conseguindo-se produtos finais de elevado teor de  $\text{CaCO}_3$  (98,5% a 99,3%). No entanto, o processo de flotação inversa (flotação da sílica) mostrou-se o mais indicado, tanto pelo menor gasto de reagentes, como por menores tempos de flotação, o que implica em se utilizarem menores volumes de células, tornando, conseqüentemente, o processo menos oneroso.

A prévia eliminação da grafita por flotação com querosene e óleo de pinho só mostrou os melhores resultados quando o minério foi moído por 10 minutos e o condicionamento feito com 40% de sólidos.

Dentre as aminas testadas na flotação catiônica, a que proporcionou melhores resultados foi a Duomac T (N - tallow trimetil diamina diacetato) fabricada pela Poliquima.

As diferentes granulometrias testadas no processo de flotação produziram resultados semelhantes, exce

to quanto ao teor de carbono grafítico. Este teor, embora não possa ser determinado quantitativamente, por ser muito baixo, teve sua recuperação avaliada considerando um teor constante de 0,3% na alimentação da flotação (resultado obtido na amostra média) e analisando quantitativamente os concentrados da flotação de grafita. Estas recuperações foram de 96,0% para a moagem de 10 minutos e 95,3% para moagens de 20 minutos.

Apesar da pequena diferença entre as duas recuperações, o material apresenta um escurecimento de 0,2%.

O carbonato de cálcio purificado por flotação seletiva pode ser moído até cerca de 70% abaixo de 400 malhas sem influência significativa no processo de flotação. O produto assim obtido apresenta propriedades químicas melhores que as requeridas pelo mercado consumidor. Entretanto, dentre as propriedades físicas, só a brancura encontra-se entre os limites aceitáveis. As outras propriedades físicas são semelhantes às do calcário natural de alta pureza moído. Todavia, este minério é de mais rara ocorrência e de difícil lavra, podendo ser substituído em muitas aplicações pelo produto de flotação de minérios de menor custo, obtido pelo processo desenvolvido neste trabalho.



## 7. BIBLIOGRAFIA

1. GAUDIN, A.M. Principles of mineral dressing. New Delhi, Tata Mcgraw-Hill, 1971.
2. TAGGART, A.F. Handbook of mineral dressing. New York, John Wiley, 1927.
3. GLEMBOTSKII, V.A. et alii. Flotation. 1. ed. New York, Tsvetnye Metally, 1972.
4. BOND, F.C. Crushing and grinding calculations. Bulletin. Allis Chalmers Manufacturing Company, n. 07 R9235B, 1971.
5. MINERAL facts and problems. Washington Bureau of Mines, 1980. p. 517. (Bulletin 671).
6. HINES, P.R. et alii. The early days of froth flotation. In: FROTH flotation 50<sup>th</sup> anniversary volume. New York, AIME, 1962.
7. STANLEY, A. et alii. Flotation process for purifying calcite. United States Patent n. 3990966, Nov. 9, 1976.
8. JOY, A.S. et alii. Flotation of silicates: I. Proposals for classification according to their flotation response. Institute of Mining and Metallurgy, Jan. 1966.
9. APLAN, E.F. & FUERSTENAU, D.W. Principles of nonmetallic mineral flotation. In: FROTH flotation 50<sup>th</sup> anniversary volume. New York, AIME, 1962.
10. FUERSTENAU, M.C. & MILLER, J.D. The role of the hidrocarbon chain in anionic flotation of calcite. Trans. AIME, v. 238, 1967. p. 153
11. FUERSTENAU, M.C.; GUTIERREZ, G.; ELGILLANI, D.A. The influence of sodium silicate in nonmetallic flotation systems. Trans. AIME, v. 241, 1968, p. 319.
12. SMITH, R.W. Effect of amine structure in cationic flotation of quartz. Trans. AIME, v. 254, 1973. p. 352.
13. MERCADO consumidor mineral do estado de São Paulo. São Paulo, Secretaria da Indústria Comércio Ciência e Tecno

logia, Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais (PRÓ-MI  
NÉRIO).

8. A N E X O S

ANEXO 1

TABELAS E GRÁFICOS DE  
ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

MALHA	PESO (g)	PESO (%)	ACUMULADO (%)	PASSANTE (%)
+35	1,42	0,14	0,14	99,86
+48	19,44	1,89	2,03	97,97
+65	70,82	6,88	8,91	91,09
+100	133,76	13,00	21,91	78,09
+150	143,16	13,91	35,82	64,18
+200	119,14	11,58	47,40	52,60
+270	89,12	8,66	65,06	43,94
+325	65,17	8,33	62,39	37,61
+400	76,48	7,43	69,82	30,18
-400	310,38	30,12	99,99	-

Tabela 1. - Análise granulométrica do minério moído por 10 minutos.

MALHA	PESO (g)	PESO (%)	ACUMULADO (%)	PASSANTE (%)
+35	0,35	0,03	0,03	99,97
+48	0,39	0,04	0,07	99,93
+65	2,86	0,29	0,36	99,64
+100	26,45	2,69	3,05	96,95
+150	66,21	6,74	9,79	90,21
+200	81,78	6,33	16,12	83,88
+270	91,90	9,36	25,48	74,52
+325	83,97	8,55	34,03	65,97
+400	100,71	10,25	44,28	55,72
-400	527,49	53,71	97,99	-

Tabela 2. - Análise granulométrica do minério moído por 18 minutos.

MALHA	PESO (g)	PESO (%)	ACUMULADO (%)	PASSANTE (%)
+35	0,28	0,03	0,03	99,97
+48	1,67	0,17	0,20	99,80
+65	0,42	0,04	0,24	99,76
+100	17,72	1,80	2,04	97,96
+150	45,57	4,64	6,68	93,32
+200	71,74	7,31	13,99	86,01
+270	103,21	10,51	24,50	75,50
+325	64,04	6,52	31,02	68,98
+400	117,90	12,00	43,02	56,98
-400	559,46	56,97	99,99	-

Tabela 3. - Análise granulométrica do minério moído por 19 minutos.

MALHA	PESO (g)	PESO (%)	ACUMULADO (%)	PASSANTE (%)
+35	0,61	0,06	0,06	99,94
+48	0,63	0,06	0,12	99,88
+65	2,03	0,20	0,32	99,68
+100	16,80	1,69	2,01	97,99
+150	47,39	4,76	6,77	93,23
+200	73,58	7,39	14,16	85,84
+270	100,38	10,09	24,25	75,75
+325	70,78	7,11	31,36	68,64
+400	118,01	11,86	43,22	56,78
-400	564,82	56,76	99,98	-

Tabela 4. - Análise granulométrica do minério moído por 20 minutos.

MALHA	PESO (g)	PESO (%)	ACUMULADO (%)	PASSANTE (%)
+35	0,15	0,01	0,01	99,99
+48	0,38	0,04	0,05	99,95
+65	0,89	0,09	0,14	99,86
+100	3,25	0,32	0,46	99,54
+150	12,43	1,22	1,69	98,31
+200	38,48	3,78	5,46	94,54
+270	58,77	5,77	11,23	88,77
+325	56,29	5,52	16,75	83,25
+400	99,71	9,78	26,53	73,47
-400	748,70	73,47	100,00	-

Tabela 5. - Análise granulométrica do minério moído por 30 minutos.

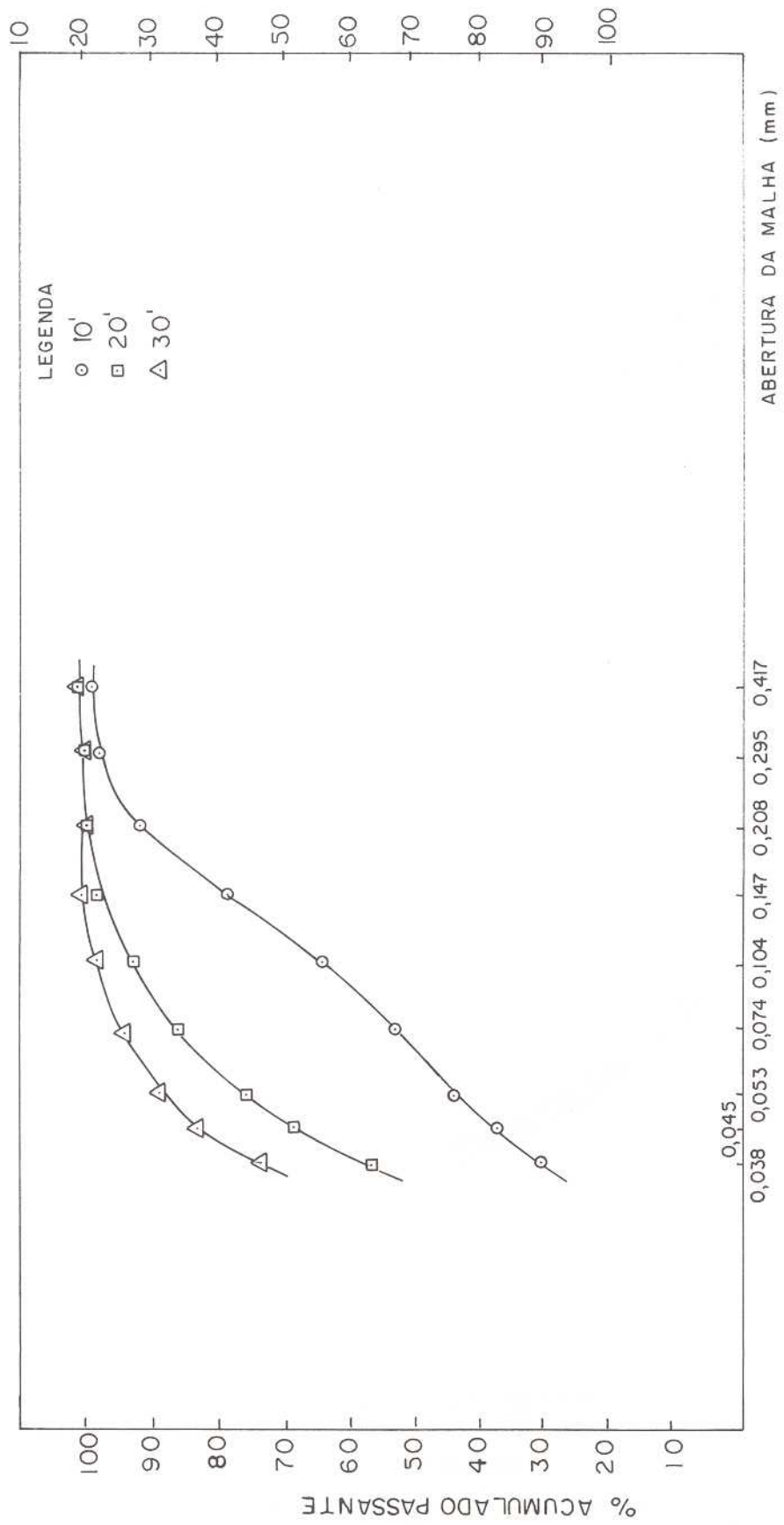


FIG. 1 — DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO MINÉRIO MOIDO POR 10, 20 e 30 MINUTOS

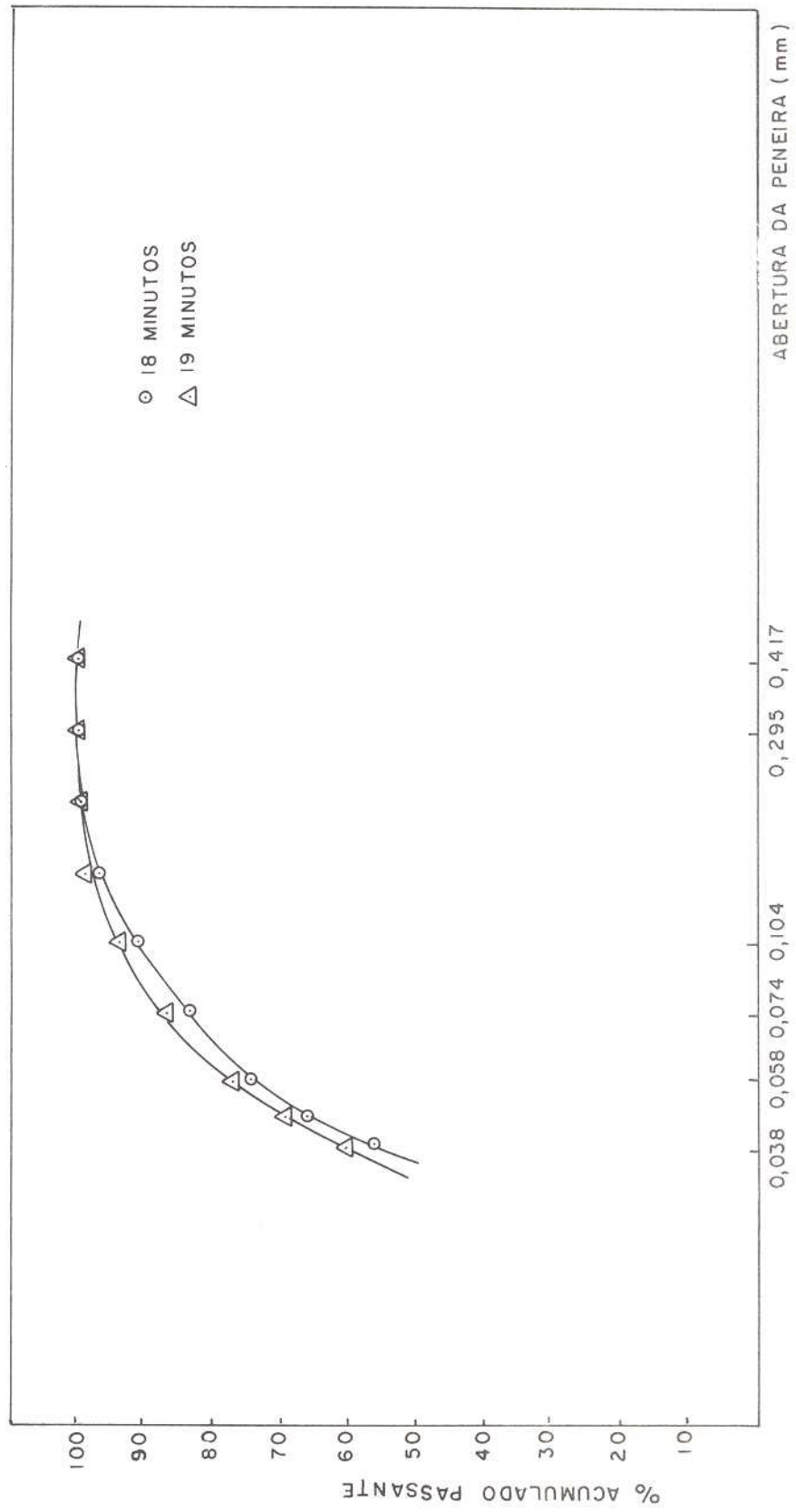


FIG. 2 — DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO MINÉRIO MOIDO POR 18 E 19 MINUTOS