

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

DIRETORIA DA ÁREA DE PESQUISAS

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS


DEPARTAMENTO DE PESQUISA MINERAL

ESTUDOS PRELIMINARES

DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO

DE COBRE DO PROJETO CURAÇÁ

PHL 13702

| | |
|---|----------------------------|
|  | DIRETORIA |
| CPRM | I. 96 |
| | DEPARTAMENTO |
| | DE PESQUISA MINERAL |
| | ARQUIVO TÉCNICO |
| Relatório nº | 673 - S |
| N.º de volumes | 1-5 v.º - |
| | |
| | |

DIVISÃO DE TECNOLOGIA MINERAL

- DITEMI -

ESTUDOS PRELIMINARES
DE BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO
DE COBRE DO PROJETO CURAÇÁ

Adão Benvindo da Luz ✓

Francisco Wilson H. Vidal ✓

José Farias de Oliveira ✓

Ney Hamilton Porphírio ✓

Túlio Hernan Araya Luco ✓

Í N D I C E

| | |
|--|----|
| RESUMO | 1 |
| 1- INTRODUÇÃO | 3 |
| 2- PREPARAÇÃO DA AMOSTRA | 5 |
| 3- CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA | 7 |
| 4- CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA | 10 |
| 4.1 - Estudo de Liberação | 11 |
| 4.2 - Estudo de Moagem | 16 |
| 4.3 - Estudo da Composição Mineralógica | 19 |
| 5- ENSAIOS DE FLOTAÇÃO | 24 |
| 5.1 - Material e Método | 24 |
| 5.2 - Resultados Obtidos | 25 |
| 5.3 - Conclusões | 27 |
| BIBLIOGRAFIA | |

ÍNDICE

FIGURAS E TABELAS

| | |
|--|----|
| FIG. 1 - Fluxograma utilizado na preparação da amostra | 6 |
| FIG. 2 - Fotomicrografia de Lâmina Delgada | 9 |
| FIG. 3 - Fotomicrografia de Lâmina Delgada | 9 |
| FIG. 4 - Histograma da distribuição de cobre nas diversas faixas granulométricas | 13 |
| FIG. 5 - Curva da distribuição de cobre nas diversas granulometrias | 14 |
| FIG. 6 - Distribuição do minério de cobre em função do tempo de moagem | 18 |
| FIG. 7 - Fluxograma simplificado da preparação da amostra para estudo mineralógico | 20 |
| FIG. 8 - Fluxograma da flotação, em 2 estágios | 26 |
| FIG. 9 - Fluxograma da flotação dos sulfetos em 3 estágios | 35 |
| TAB. 1 - Resultados da distribuição da % Cu total nas diversas frações granulométricas | 12 |
| TAB. 2 - Resultados dos ensaios densimétricos referentes às diversas frações granulométricas | 15 |

| | |
|---|----|
| TAB. 3 - Resultados obtidos nos testes de moagem | 17 |
| TAB. 4 - Composição mineralógica da amostra do <u>mi</u> <u>nério</u> de cobre (Projeto Curaçá) | 22 |
| TAB. 5 - Composição mineralógica do Produto C (<u>Sul</u> <u>fetos</u>), obtido através do roteiro apresen <u>tado</u> na Fig. 7. | 23 |
| TAB. 6 - Ensaios de flotação realizados com coletor isopropil xantato de potássio e etil xantato de sódio, em diferentes condições. | 28 |
| TAB. 7 - Ensaios de flotação realizados com coletor Z-200, em diferentes condições | 29 |
| TAB. 8 - Ensaios de flotação realizados com coletor Minerec, em diferentes condições | 30 |
| TAB. 9 - Balanço metalúrgico do teste nº 4 da Tabela 6. | 31 |
| TAB.10 - Balanço metalúrgico do teste nº 7 da Tabela 7. | 31 |
| TAB.11 - Balanço metalúrgico do teste nº 6 da Tabela 7. | 32 |
| TAB.12 - Balanço metalúrgico do teste nº 7 da Tabela 8. | 32 |
| TAB.13 - Balanço metalúrgico do teste nº 3 da Tabela 8. | 33 |
| TAB.14 - Balanço metalúrgico do teste nº13 da Tabela 8. | 33 |

TAB. 15 - Resultados dos ensaios de flotação sequencial em intervalos de tempo de 1/2, 1, 2 e 4 minutos. 34

TAB. 16 - Resultados dos ensaios de flotação em três estágios. 36

RESUMO

Como etapa preliminar do presente trabalho foram realizados estudos de caracterização química e mineralógica, que definiram os principais constituintes do minério e o grau de liberação dos sulfetos de cobre. A seguir, foram realizados estudos visando a definir os parâmetros básicos para sua concentração por flotação.

A análise química, da amostra média recebida revelou um teor de 0,66% Cu. Deste total, o cobre oxidado atinge cerca de 0,07% Cu, sendo, portanto, de 0,59% Cu o teor de cobre proveniente de sulfetos.

Os estudos mineralógicos revelaram como principais sulfetos presentes, os seguintes: bornita, calcocita, calcopirita, covelita e pirita. Além da pirita, os principais minerais de ganga são: piroxenio, biotita, feldspato e magnetita. Foi determinada a composição percentual dos minerais, bem como a granulometria de liberação do cobre.

Com base nos resultados obtidos na caracterização do minério, foi estabelecida uma programação para os estudos preliminares de beneficiamento por flotação. Diferentes sistemas de reagentes foram estudados pa-

cont.

ra o tratamento do minério em questão. Entre outros foram testados: isopropil xantato, etil xantato, Z-200 e Mine-rec como coletores; óleo de pinho e Dow-froth como espumante. Como reagente depressor, o silicato de sódio foi testado em diferentes concentrações.

Os resultados dos ensaios realizados, a apresentaram para o produto obtido mediante uma reflotação do concentrado, um teor de 16% Cu com uma recuperação de 70%. Com uma segunda reflotação, foi possível atingir-se um teor de 23% Cu com uma recuperação de 56%. No sentido de verificar-se a influência das cargas circulantes seria no entanto, recomendável o estudo da concentração do minério em escala contínua. Um cálculo aproximado levando-se em consideração a recirculação dos mistos indica que, de fato, a recuperação poderia atingir 73%, na obtenção de um concentrado com 23% Cu.

cont.

1 - INTRODUÇÃO

Em atendimento à solicitação do Memo nº 0945/DEPEP/76 foram empreendidos os estudos objeto do presente relatório, referente aos ensaios preliminares de beneficiamento do minério de cobre do Projeto Curaçá.

A amostra recebida pela DITEMI foi da ordem de 107 kg, sendo constituída de testemunhos de sondagem, e, segundo o Memo 1957/SUREG/SA/76, proveniente dos furos:

| | |
|---------------------|----------|
| 2136/CA/04/BA | 27,50 kg |
| 2136/CA/15/BA | 38,50 kg |
| 2136/CA/24/BA | 41,50 kg |

Como é frequente acontecer em qualquer trabalho de pesquisa, os estudos de caracterização do minério apresentaram complexidade maior que a prevista inicialmente. A alta percentagem de hiperstênio, biotita e magnetita, tornou necessário um tratamento específico para a separação dos diferentes constituintes do minério visando a definição de suas percentagens. Outro aspecto envolvido, no que se refere aos ensaios de concentração propriamente ditos, foi o teor do minério, bastante inferior ao que se supunha inicialmente.

cont.

No entanto, os resultados conseguidos podem ser considerados bons, e com a implantação de um complexo industrial em Caraibas, não deverá haver dificuldade na comercialização dos produtos com as características dos obtidos nos ensaios realizados.

cont.

2 - PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Após recebimento do minério, tomou-se inicialmente algumas amostras de rocha, por furos, para estudos petrográficos. A seguir, toda a amostra restante foi britada e quarteada sequencialmente de acordo com o procedimento adotado que encontra-se esquematizado na Figura 1. Desta forma, o minério proveniente dos três furos de sondagens foi reunido numa única amostra, e britado a 1/2". O produto dessa britagem foi homogeneizado e quarteado, sendo cerca de 75 kg reservados para arquivo ou testes posteriores, e o restante, cerca de 25 kg, britado a - 10 malhas (1.65 mm). Com este material foi em seguida, preparada uma pilha de homogeneização, da qual foram retomadas alíquotas de 1 kg, destinadas aos estudos de caracterização química, mineralógica e ensaios de concentração.

Este procedimento permitiu ter-se boa reprodutibilidade quanto ao teor das diferentes alíquotas, como foi comprovado pela análise química de algumas delas, tomadas aleatoriamente.

cont.

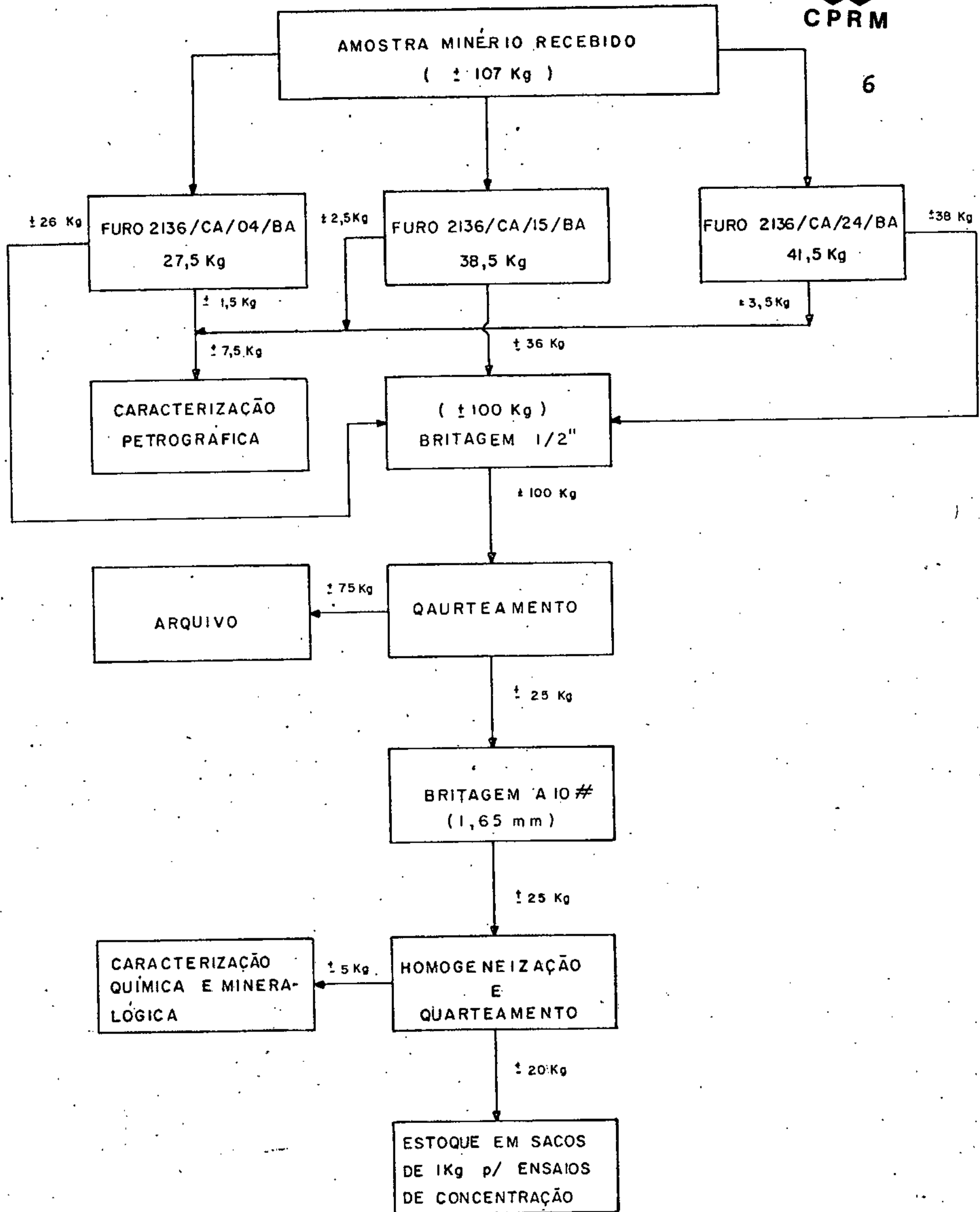


Fig.1: Fluxograma utilizado na preparação da amostra.

3 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

Nos estudos petrográficos, em lâminas delgadas, foram identificadas rochas básicas e ultrabásicas, classificadas como sendo dos tipos dioritos, gabros noríticos, piroxenitos e serpentinitos. Além destas, foi identificada também uma rocha gnaissificada, de composição tonalítica que é uma variedade de diorito enriquecido por minerais de quartzo.

Os minerais constituintes dessas rochas mineralizadas em cobre, observados em lâmina delgada, e existem boas características óticas e inclusive alguns típicos fenômenos de alterações. O hiperstênio, mineral mais abundante, ocorre em formas irregulares, com um pleocroísmo marcante de esverdeado a róseo-salmão, apresentando alterações para serpentina (Fig. 2). Entre os principais minerais de ganga encontram-se também o feldspato e a biotita, presentes em elevada proporção.

Os grãos de opacos que aparecem nas lâminas delgadas foram estudados, à parte, por processos calcográficos, sendo em sua maioria sulfetos de cobre (bornita, calcocita e calcopirita) e magnetita.

Quanto as associações mineralógicas envolvendo os minerais opacos, e particularmente os sulfetos

cont.

de cobre, observa-se que os mesmos estão associados ao hi
perstênio e biotita (Fig. 3). A bornita e a calcopirita
ocorrem em cristais xenomórficos e estão intimamente asso
ciados.

cont.

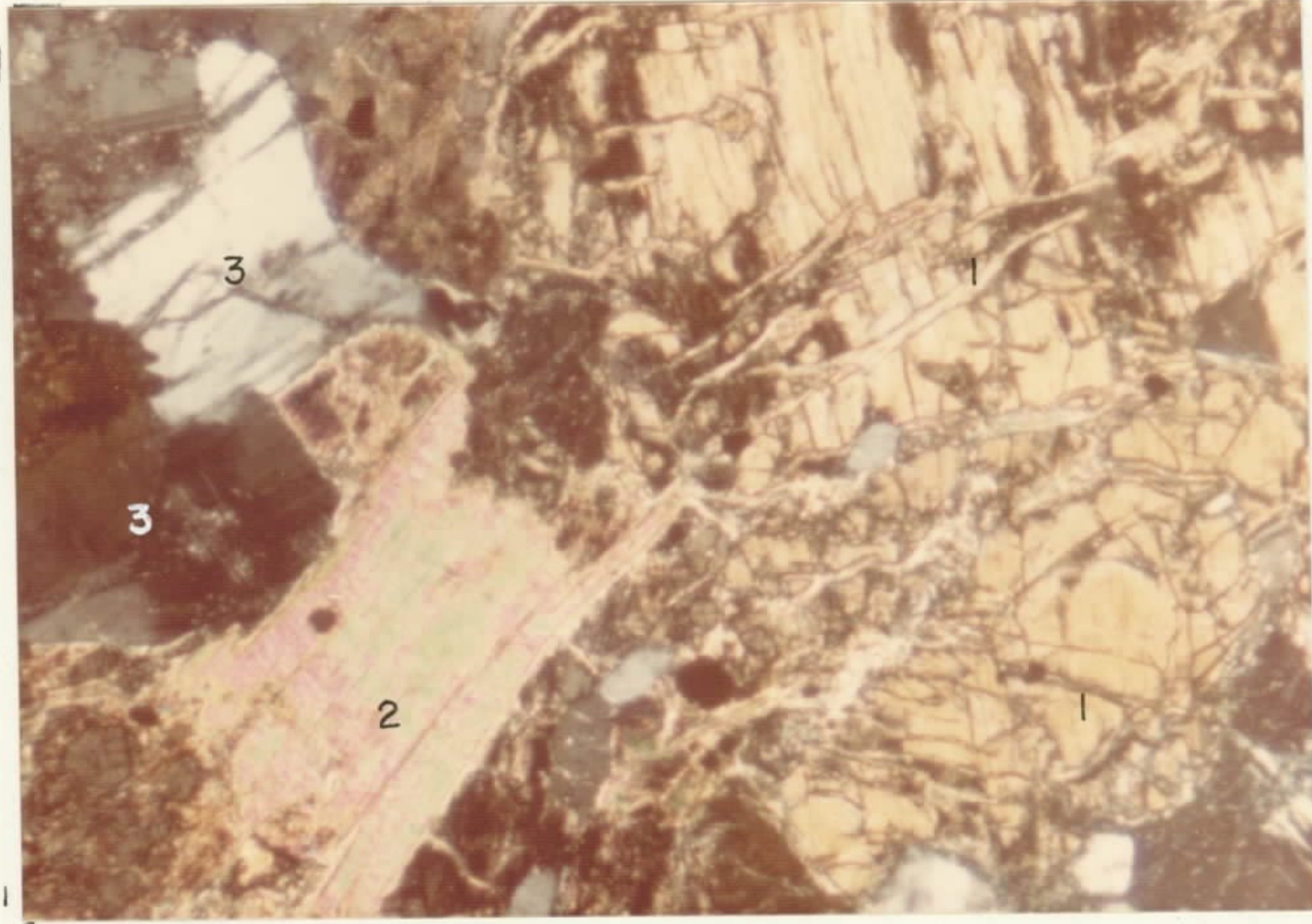


FIGURA 2. - FOTOMICROGRAFIA DE LÂMINA DELGADA (Nicol Cruzado, 15,6 X)

1. Hiperstênio com alterações para serpentina.
2. Hiperstênio com alterações para biotita.
3. Plagioclássio.

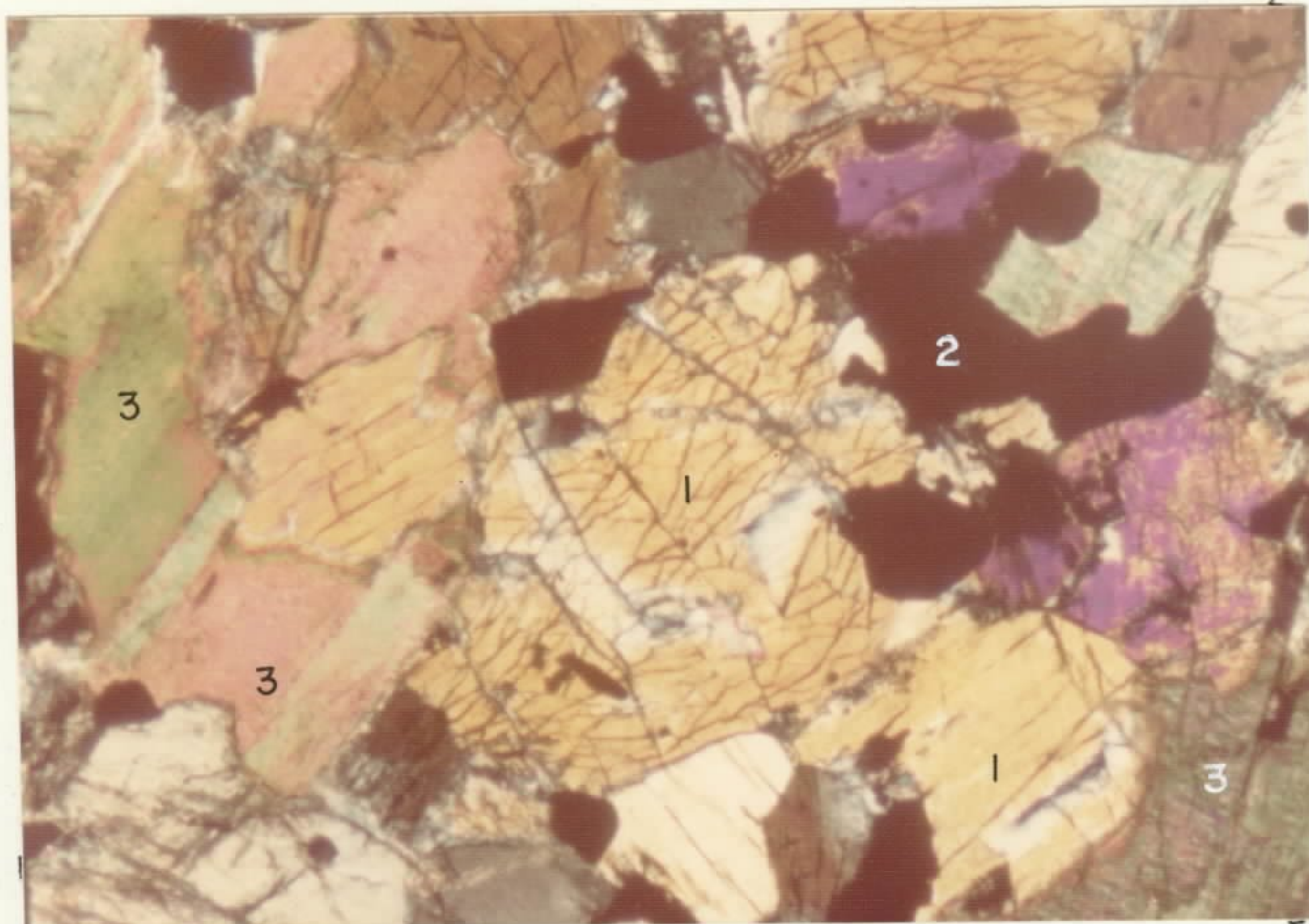


FIGURA 3. - FOTOMICROGRAFIA DE LÂMINA DELGADA (Nicol Cruzado, 15,6 X)

1. Hiperstênio. 2. Opacos. 3. Biotita.

cont.

4 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

Visando aos estudos preliminares de beneficiamento de minério, procedeu-se inicialmente a sua caracterização química e mineralógica. Uma amostra de 5,0 kg foi quarteada (Fig. 1) em alíquotas de aproximadamente 2,5 kg, sendo uma para os estudos de liberação e composição mineralógica, e a outra para estudos de moagem.

Com relação à amostra média do minério ("head sample") as análises químicas realizadas no LAMIN (Boletim 252/LAMIN/77) apresentaram respectivamente um teor de 0,66 % de Cu total, com cerca de 0,07% de Cu oxidado. Estes resultados foram posteriormente confirmados com uma análise solicitada à Supervice que revelou um teor de 0,61% Cu total. Desta forma considerando que apenas o cobre proveniente dos sulfetos seria recuperado por flotação, teríamos um minério com apenas 0,59% Cu, com base na análise efetuada no LAMIN.

Na parte referente à caracterização mineralógica, estudou-se o grau de liberação, distribuição de cobre nas diversas frações granulométricas e tempo de moagem. A partir desses resultados procedeu-se ao estudo da composição mineralógica, após moagem do minério a uma granulometria de liberação que permitisse a separação das diversas espécies minerais.

cont.

4.1 - Estudo de Liberação

Com o objetivo de quantificar a distribuição percentual de cobre nas diversas frações granulométricas, foi utilizada uma amostra de 2 kgs após britagem a 28 malhas. Após deslamagem em peneira de 200 malhas; a fração maior que 200 malhas foi peneirada a seco, utilizando a Série Tyler.

A Tabela 1 mostra a distribuição granulométrica percentual de cobre em cada fração. Pode observar-se que as frações finas apresentam-se mais ricas. Nas Figuras 4 e 5, essa distribuição é apresentada em histograma e curva de valores acumulados.

Subsequentemente, cada fração granulométrica foi submetida a uma separação densimétrica em bromoformio e iodeto de metileno. As análises químicas dos diversos produtos obtidos estão apresentados na Tabela 2. Observa-se que na fração - 65 + 100 malhas tem-se cerca de 80% de cobre no produto de densidade > 3.3 , os 20% restantes permaneceram nos produtos de menor densidade obviamente por não estarem suficientemente liberados. Para as frações granulométricas - 100 + 150 e - 150 + 200, os produtos de densidade > 3.3 , contém respectivamente, 93,7% e 97,2% de cobre presente na fração. Estes dados são uma indicação de uma liberação razoável para o produto moído a - 100 malhas. Observações microscópicas confirmaram es

cont.

| MALHAS | PESO (%) | | Cu TOTAL (%) | DISTRIBUIÇÃO DA % Cu | |
|-------------|----------|--------|--------------|----------------------|-----------|
| | PARCIAL | RETIDO | | PARCIAL | ACUMULADO |
| + 28 | 3,12 | 3,12 | 0,48 | 2,26 | 2,26 |
| + 35 | 23,76 | 26,88 | 0,55 | 19,81 | 22,07 |
| + 48 | 12,91 | 39,79 | 0,53 | 10,38 | 32,45 |
| + 65 | 9,24 | 49,03 | 0,54 | 7,57 | 40,02 |
| + 100 | 15,30 | 64,33 | 0,47 | 10,91 | 50,93 |
| + 150 | 8,46 | 72,79 | 0,74 | 9,49 | 60,42 |
| + 200 | 8,12 | 80,91 | 0,84 | 10,34 | 70,76 |
| - 200 | 19,09 | 100,00 | 1,01 | 29,24 | 100,00 |
| ALIMENTAÇÃO | 100,00 | - | 0,66 * | 100,00 | - |

Tabela 1 - Resultados da distribuição da % Cu total nas diversas frações granulométricas. * Valor Calculado.

cont.

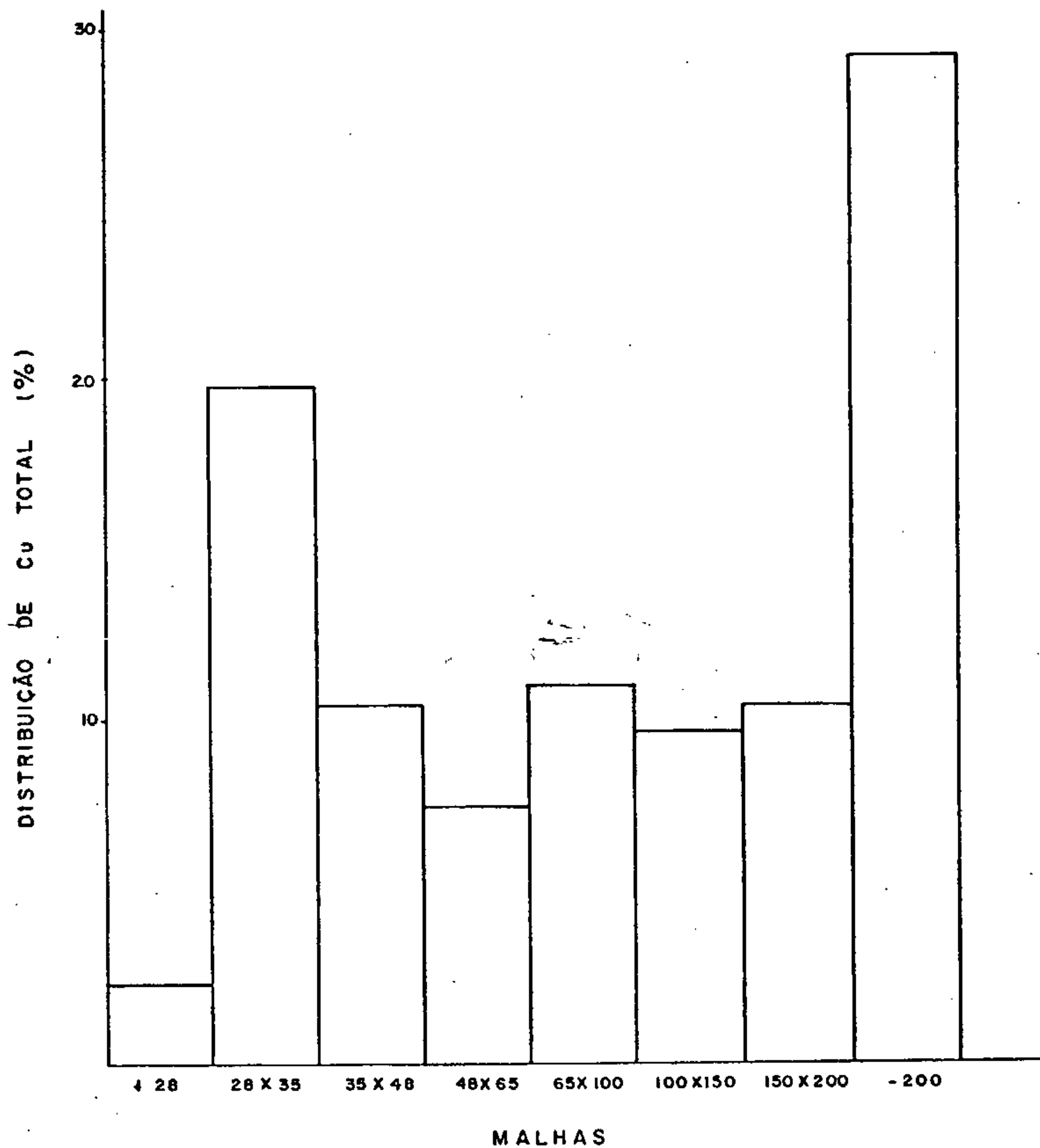


Fig. 4: Histograma da distribuição de cobre nas diversas faixas granulométricas .

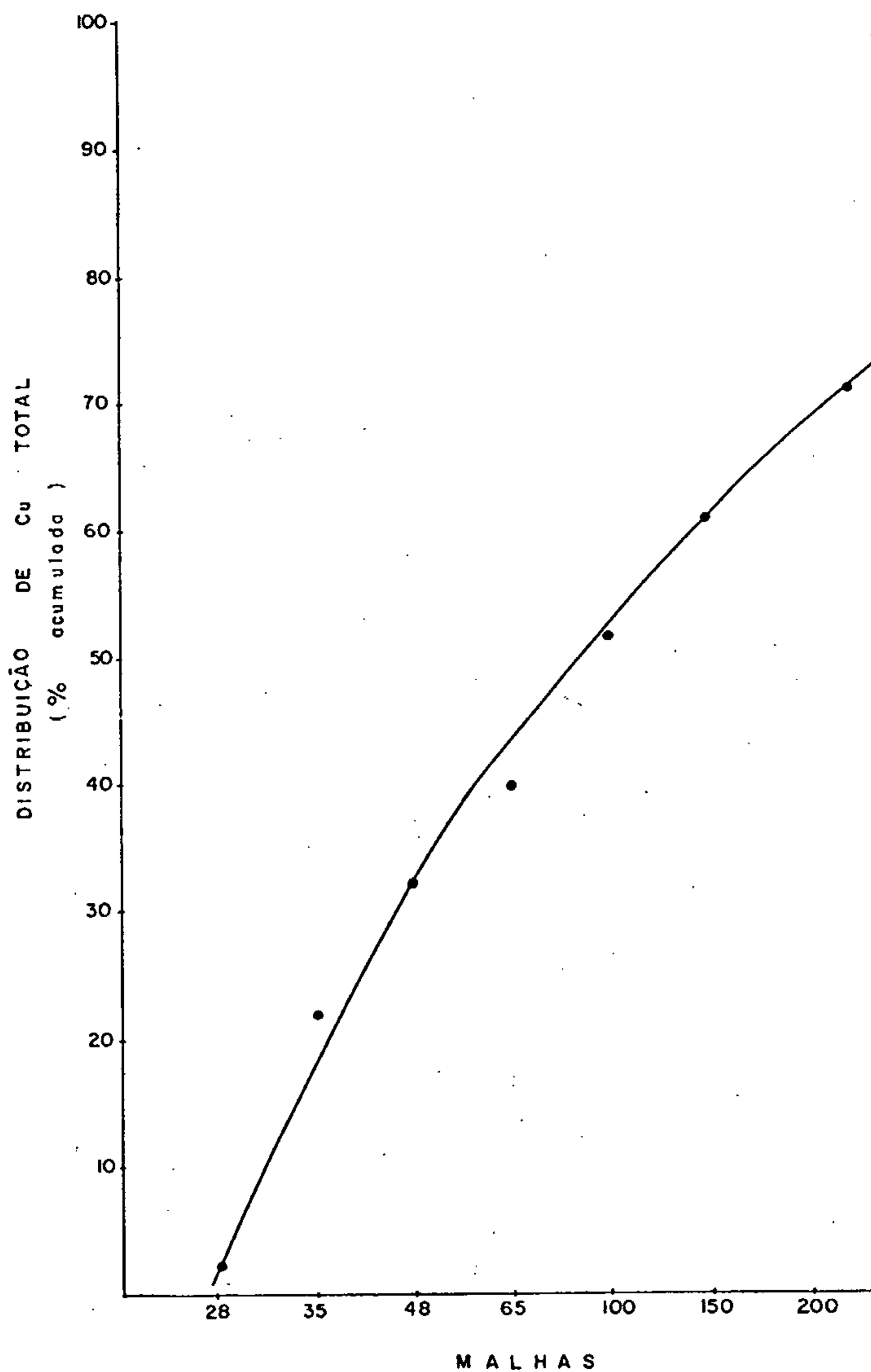


Fig. 5: Curva da distribuição de cobre nas diversas granulometrias.

| RAJHAS | PESO (%) | DENSIDADE | PESO (%) | Cu TOTAL (%) | % Cu DISTRIBUIÇÃO | % Cu CALCULADO |
|---------------|----------|-----------|----------|--------------|-------------------|----------------|
| + 28 | 3,12 | < 2,8 | 11,78 | 0,10 | 2,44 | 0,48 |
| | | 2,8 - 3,3 | 39,20 | 0,50 | 40,73 | |
| | | > 3,3 | 48,94 | 0,56 | 56,83 | |
| | | - | 100,00 | 0,48 * | 100,00 | |
| + 35 | 23,76 | < 2,8 | 8,69 | 0,09 | 1,43 | 0,55 |
| | | 2,8 - 3,3 | 32,74 | 0,57 | 34,19 | |
| | | > 3,3 | 58,57 | 0,60 | 64,38 | |
| | | - | 100,00 | 0,55 * | 100,00 | |
| + 48 | 12,91 | < 2,8 | 8,94 | 0,08 | 1,36 | 0,53 |
| | | 2,8 - 3,3 | 22,76 | 0,52 | 22,40 | |
| | | > 3,3 | 68,30 | 0,59 | 76,24 | |
| | | - | 100,00 | 0,53 * | 100,00 | |
| + 65 | 9,24 | < 2,8 | 11,39 | 0,10 | 2,13 | 0,54 |
| | | 2,8 - 3,3 | 17,67 | 0,56 | 18,47 | |
| | | > 3,3 | 70,94 | 0,60 | 79,40 | |
| | | - | 100,00 | 0,54 * | 100,00 | |
| + 100 | 15,30 | < 2,8 | 10,33 | 0,09 | 1,54 | 0,60 |
| | | 2,8 - 3,3 | 21,28 | 0,54 | 19,06 | |
| | | > 3,3 | 68,39 | 0,70 | 79,40 | |
| | | - | 100,00 | 0,60 * | 100,00 | |
| + 150 | 8,46 | < 2,8 | 8,64 | 0,06 | 0,68 | 0,76 |
| | | 2,8 - 3,3 | 9,41 | 0,45 | 5,57 | |
| | | > 3,3 | 81,95 | 0,87 | 93,75 | |
| | | - | 100,00 | 0,76 * | 100,00 | |
| + 200 | 8,12 | < 2,8 | 1,84 | 0,10 | 0,22 | 0,81 |
| | | 2,8 - 3,3 | 5,61 | 0,36 | 2,50 | |
| | | > 3,3 | 92,55 | 0,85 | 97,28 | |
| | | - | 100,00 | 0,81 * | 100,00 | |
| - 200 | 19,09 | - | - | 1,01 | - | 1,01 |
| "HEAD SAMPLE" | 100,00 | 3,25 | - | 0,65 | 100,00 | - |
| ALIMENTAÇÃO | 100,00 | - | - | - | 100,00 | 0,68 |

Tabola 2 - Resultados dos ensaios densimétricos referentes às diversas frações granulométricas.

* Valor calculado.

ta observação. Dada, porém, a presença de grãos ainda mistos neste produto, observou-se que seria recomendável uma moagem até pelo menos 80% - 150 malhas, nos ensaios de concentração subsequentes.

4.2 - Estudo de Moagem

Objetivando determinar o tempo de moagem necessário para atingir a malha de liberação, foram executados, em escala de laboratório, 6 (seis) testes de moagem em diferentes tempos e realizadas análises granulométricas dos produtos obtidos. A Tabela 3 apresenta a percentagem do material, passante e retida, nas diversas peneiras mencionadas, para os diferentes tempos de moagem. Foi utilizado, em todos os testes de moagem, material britado a - 10 malhas.

Os testes foram executados com uma carga de 500 gramas de minério, em moinho de barras de laboratório, por períodos de 5, 10, 12, 15, 20 e 25 minutos.

As características do moinho e as condições adotadas nos testes foram as seguintes:

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Dimensões internas do moinho: | 15,5 cm x 30,6 cm |
| Número de barras: | 6 de 29,5 x 2,5 cm |

cont.

| MALHAS | TEMPO DE MOAGEM (MINUTOS) | | | | | | |
|--------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 5 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 |
| 200 | 15,8 * (84,2)** | 26,3 (73,7) | 33,8 (66,2) | 35,4 (64,6) | 42,0 (58,0) | 52,8 (47,2) | 57,4 (42,6) |
| 150 | 20,5 (79,5) | 34,1 (65,9) | 44,0 (56,0) | 45,5 (54,5) | 55,5 (44,5) | 70,3 (29,7) | 75,7 (24,3) |
| 100 | 25,9 (74,1) | 44,2 (55,8) | 58,5 (41,5) | 60,6 (39,4) | 75,2 (24,8) | 90,3 (9,7) | 92,8 (7,2) |
| 65 | 31,6 (68,4) | 55,5 (44,5) | 77,2 (22,8) | 80,7 (19,3) | 92,8 (7,2) | 95,2 (4,8) | 96,6 (3,4) |

Tabela 3 - Resultados obtidos nos testes de moagem. O tempo zero de moagem, refere-se ao minério britado à 10 malhas e utilizado como alimentação nos testes de moagem.

OBS: * % do minério passante.

** % do minério retido.

cont.

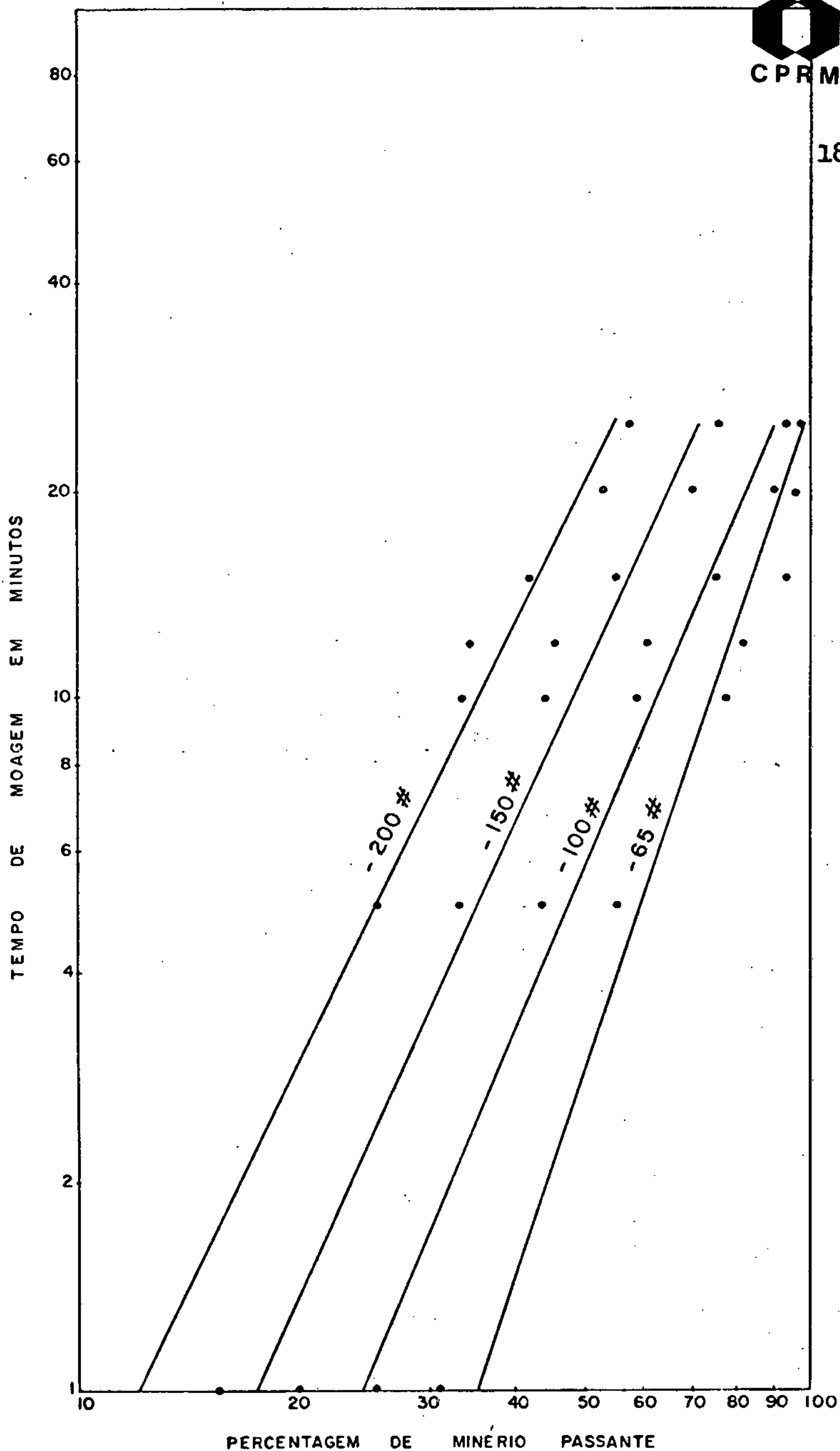


Fig. 6: Distribuição do minério de cobre em função do tempo de moagem.

Percentagem de sólido na moagem: 66,7%

Velocidade de rotação do moinho: 87 r.p.m.

A Figura 6, construída com base nos resultados da Tabela 3, mostram, em escala log-log, a relação entre a percentagem passante das diferentes malhas e o tempo de moagem. Através desse gráfico, pode-se determinar o tempo de moagem necessário para obter-se um produto de granulometria desejada. Com base nestes resultados, escolheu-se um tempo de moagem de 25 minutos para os ensaios de flotação.

4.3 - Estudo da Composição Mineralógica

Com a finalidade de determinar a composição mineralógica do minério, procedeu-se a uma moagem na granulometria de liberação, utilizando 500 gramas de amostra do minério. Após a moagem fez-se uma deslamagem em peneira de 400 malhas; a fração de granulometria maior que 400 malhas foi peneirada a seco, nas faixas granulométricas de - 65/100, 100/200 e 325/400 malhas. Cada uma destas frações foi processada de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 7. Subsequentemente, os produtos similares foram agrupados para fins de sua determinação quantitativa.

cont.

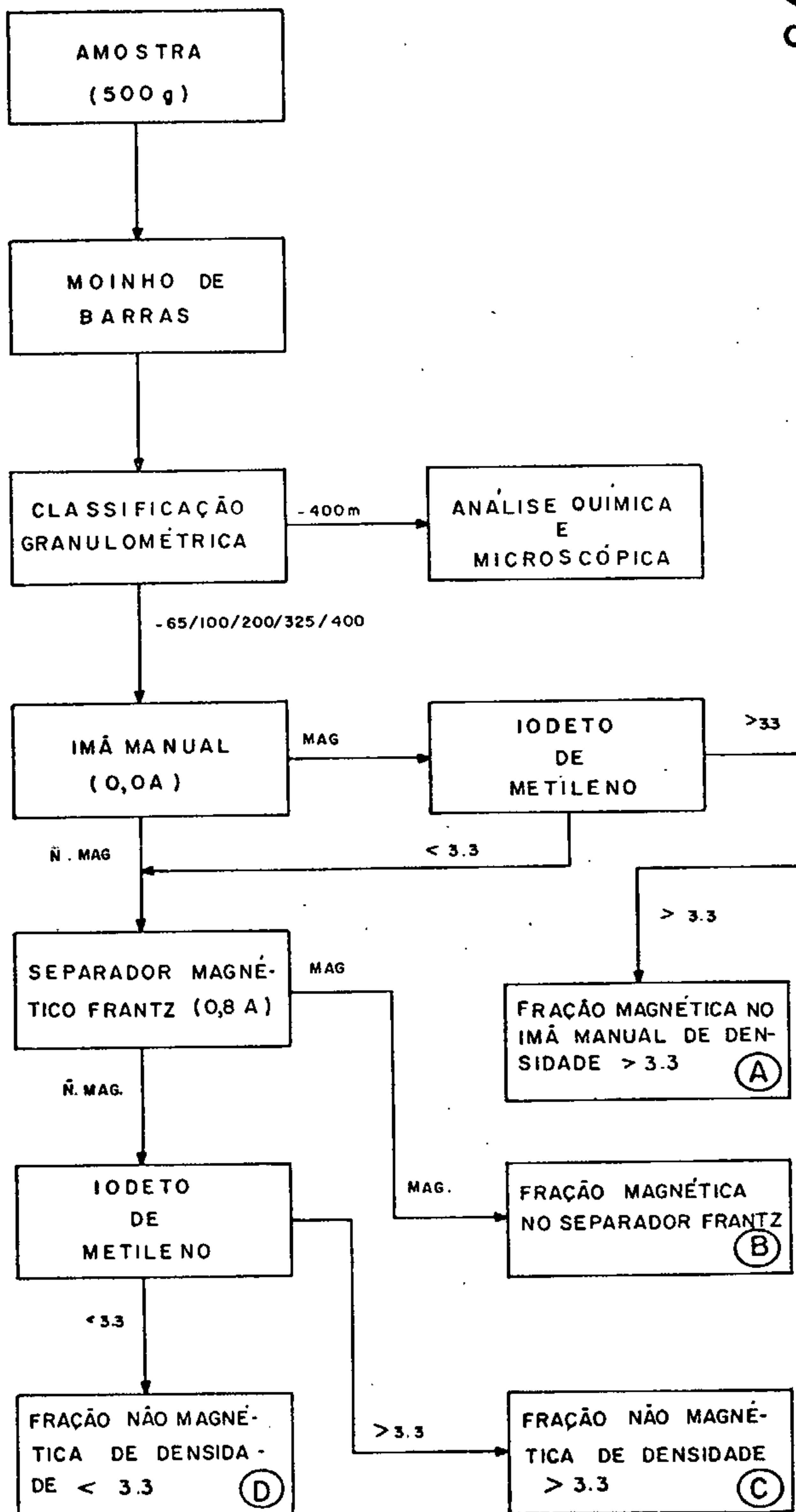


Fig. 7: Fluxograma simplificado da preparação da amostra para estudo mineralógico.

Com o procedimento descrito e apresentado no fluxograma da Figura 7, foi possível obter-se quatro produtos (A, B, C e D), com as seguintes características:

Produto A: basicamente magnetita e hiperstênio.

Produto B: basicamente biotita e hiperstênio.

Produto C: basicamente bornita, calcocita, calcopirita e covelita.

Produto D: basicamente quartzo e feldspato.

Exames microscópicos destes produtos, isoladamente, através da contagem de pontos em lâmina de grãos e seção polida de briquetes permitiram quantificar a composição mineralógica do minério, a qual encontra-se apresentada na Tabela 4. O exame do Produto C (fração não magnética de densidade > 3.3) em luz refletida, revelou a composição mineralógica apresentada na Tabela 5.

cont.

| COMPOSIÇÃO DO MINÉRIO | PESO % |
|---|--------|
| Piroxênio | 53,0 |
| Biotita | 19,0 |
| Feldspato | 15,0 |
| Magnetita | 10,0 |
| Quartzo | 1,0 |
| Sulfetos de Cobre | 1,0 |
| Outros (pirita, zircão, serpentina, etc.) | 1,0 |

Tabela 4 - Composição mineralógica da amostra do mi
nério de cobre (Projeto Curaçá).

cont.

| PRODUTO C (SULFETOS) | PESO % |
|----------------------|--------|
| Bornita | 44,7 |
| Calcocita | 41,0 |
| Calcopirita | 7,3 |
| Covelita | 4,0 |
| Pirita | 3,0 |

Tabela 5 - Composição mineralógica do Produto C (sul_ufetos), obtido através do roteiro apresen_utado na Figura 7.

cont.

5 - ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

5.1 - Material e Método

Para os ensaios de flotação, uma carga de 500 g do minério (- 10 malhas) era moída, em moinho de barras, a 80% abaixo de 150 malhas, trabalhando-se com uma percentagem de sólidos de 66%. Após a moagem, o produto era levado a uma célula de flotação, tipo Fagergreen, e diluído a uma densidade de polpa adequada para o teste.

Nos ensaios efetuados preliminarmente, foram estudados o pH da polpa, diferentes tipos de coletores, espumantes, depressor, e concentração desses reagentes. Dentro deste planejamento básico estabelecido verificou-se, inicialmente, que era dispensável a inclusão de uma operação de deslamagem anterior à flotação. A Figura 8 apresenta um fluxograma esquemático das operações envolvidas nesses ensaios. Nestas operações foram pesquisadas as variáveis mencionadas nas faixas seguintes:

- pH da polpa: 9 - 12

- coletores Isopropil xantato de potássio
 Etil xantato de sódio 80 - 160 g/t
 Minerec
 Z-200

cont.

- espumantes óleo de pinho 200 - 400 g/t
 Dow Froth 250
- depressor (silicato de sódio) : 400 - 3000 g/t

Em todos os testes foram mantidos cons
tantes os seguintes parâmetros:

- granulometria de alimentação: 80% - 150 malhas
- tempo de condicionamento: 10 minutos
- tempo de flotação "rougher": 2 minutos
- tempo de flotação "cleaner": 1 minuto
- % de sólido na polpa, na flotação de desbaste ("rougher").

5.2 - Resultados Obtidos

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam os re
sultados dos ensaios realizados em dois estágios de flota
ção. Nessas tabelas são apresentadas também as condições
em que foram realizados os diversos ensaios.

As tabelas 9, 10 11, 12, 13 e 14 a
presentam em detalhe os resultados considerados de melhor
qualidade, referentes aos testes que encontram-se assina-
lados com asterisco nas tabelas 6, 7 e 8.

A tabela 15 apresenta os resultados
de um ensaio de flotação sequencial, visando determinar o
tempo ótimo de flotação. Utilizou-se no ensaio em questão

cont.

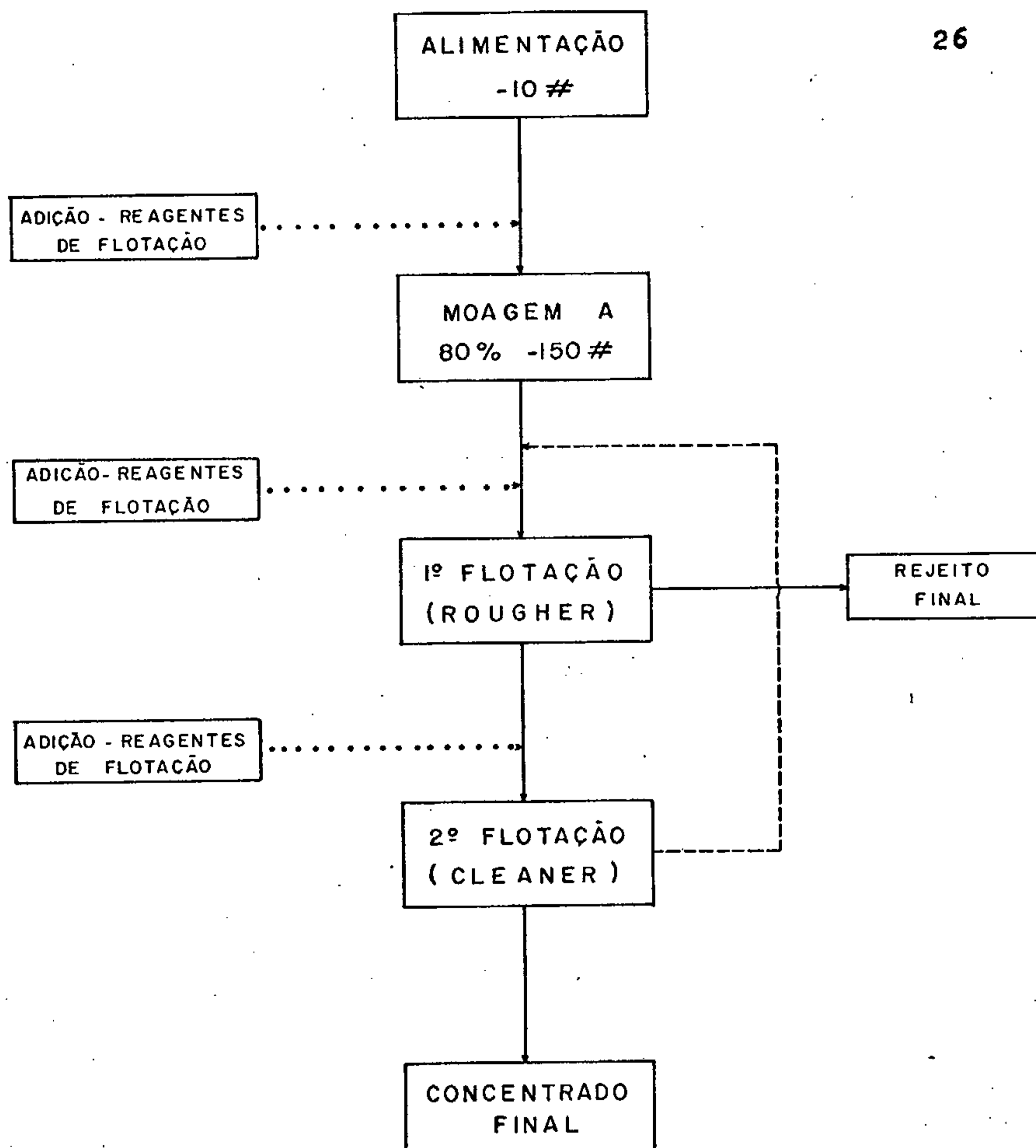


Fig. 8: Fluxograma da flotação, em 2 estágios

Minerac, Dow Froth e silicato de sódio nas concentrações de 120 gt^{-1} , 300 gt^{-1} , e 2.000 gt^{-1} , respectivamente, sendo o pH = 11. Observa-se que, com um tempo de flotação de 2 minutos, obtém-se um concentrado com um teor razoável de 10.02% Cu e uma recuperação de 67,7%.

Nas mesmas condições acima mencionadas no que se refere à reagentes e suas concentrações, foi realizado ensaio de flotação em três estágios ("rougher", "cleaner" e "recleaner"), de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 9. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 16.

5.3 - Conclusões

Pela Tabela 16, observa-se que com uma operação de "Recleaner" foi possível obter-se concentrados com 23,5% Cu, e recuperação de 56%. Considerando-se porém, a recirculação dos mistos, de acordo com o fluxograma da Figura 9, um cálculo aproximado indica que a recuperação poderia atingir 73%, para um concentrado com a quele teor.

Para efeito de apreciação dos teores obtidos deve levar-se em consideração que, dada a composição do minério apresentado nas tabelas 4 e 5, o teor máximo

cont.

| TESTE Nº | REAGENTES DE FLOTAÇÃO (g/t) | | | | | pH | CONCENTRADO % Cu | RECUPERAÇÃO % | |
|-------------|-----------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------------------|------|---------------------|---------------|----|
| | ISOPROPIL XANTATO | ETIL XANTATO | DOW FROTH 250 | ÓLHO DE PINHO | Na ₂ SiO ₃ | | | A | B |
| 1 | 80 | - | - | 200 | 400 | 9,0 | 4,3 | 20 | - |
| 2 | - | 80 | - | 200 | 400 | 9,0 | 4,8 | 20 | - |
| 3 | - | 160 | 400 | - | 2.500 | 12,5 | 13,0 | 56 | - |
| 4 * | 160 | - | 400 | - | 2.500 | 12,5 | 17,0 | 67 | 64 |

Tabela 6 - Ensaio de flotação realizados com coletores isopropil xantato de potássio e etil xantato de sódio, em diferentes condições.

OBS: A - Recuperação calculada levando-se em consideração a recirculação dos mistos.

B - Recuperação com base na distribuição do cobre nos produtos obtidos.

| TESTE Nº | REAGENTES DE FLOTAÇÃO (g/t) | | | | pH | CONCENTRADO % Cu | RECUPERAÇÃO % | |
|-------------|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------|---------------------|---------------|----|
| | Z-200 | DOW FROTH 250 | ÓLEO DE PINHO | Na ₂ SiO ₃ | | | A | B |
| 1 | 80 | - | 200 | 400 | 9,0 | 3,5 | 18 | - |
| 2 | 100 | - | 200 | 400 | 11,0 | 6,8 | 35 | - |
| 3 | 120 | - | 300 | 800 | 11,0 | 5,5 | 29 | - |
| 4 | 120 | - | 300 | 1200 | 11,0 | 5,6 | 27 | - |
| 5 | 160 | 200 | - | 400 | 11,0 | 6,6 | 37 | - |
| 6 * | 160 | 400 | - | 2500 | 11,4 | 14,0 | 63 | 64 |
| 7 * | 160 | 400 | - | 2500 | 12,6 | 18,0 | 57 | 64 |

Tabela 7 - Ensaio de flotação realizados com coletor Z-200, em diferentes condições

OBS: A - Recuperação calculada levando-se em consideração a recirculação dos mistos.

B - Recuperação com base na distribuição do cobre nos produtos obtidos.

| TESTE Nº | REAGENTES DE FLOTAÇÃO (g/t) | | | | pH | CONCENTRADO % Cu | RECUPERAÇÃO % | |
|-------------|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------|---------------------|---------------|----|
| | MINEREC | DOW FROTH 250 | ÓLEO DE PINHO | Na ₂ SiO ₃ | | | A | B |
| 1 | 160 | 200 | - | 600 | 11,0 | 11,5 | 56 | - |
| 2 | 120 | - | 200 | 600 | 11,0 | 6,1 | 31 | - |
| 3 * | 120 | 300 | - | 1.000 | 11,0 | 14,0 | 67 | 67 |
| 4 | 120 | 300 | - | 2.000 | 10,0 | 7,5 | 61 | - |
| 5 | 160 | 300 | - | 3.000 | 12,0 | 20,0 | 59 | - |
| 6 | 160 | 300 | - | 2.500 | 11,3 | 10,0 | 59 | 63 |
| 7 * | 160 | 400 | - | 2.500 | 12,2 | 22,0 | 56 | 55 |
| 8 | 160 | 400 | - | 2.500 | 12,5 | 18,0 | 55 | - |
| 9 | 160 | 400 | - | 2.500 | 11,7 | 10,0 | 66 | 67 |
| 10 | 160 | 400 | - | 2.500 | 12,0 | 11,8 | 61 | - |
| 11 | 160 | 400 | - | 2.500 | 12,0 | 10,0 | 62 | - |
| 12 | 160 | 400 | - | 2.500 | 11,8 | 13,0 | 56 | - |
| 13 * | - | 400 | - | 2.500 | 11,3 | 16,0 | 64 | 64 |

Tabela 8 - Ensaio de flotação realizados com coletor Minerec, em diferentes condições.

OBS: A - Recuperação calculada levando-se em consideração a recirculação dos mistos.

B - Recuperação com base na distribuição do cobre nos produtos obtidos.

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | RECUPERAÇÃO % | | REAGENTES g/t | | | pH |
|-----------------|---------|-----------|---------------|-------|-------------------|---------------|----------------------------------|------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | ISOPROPIL XANTATO | DOW FROTH 250 | Na ₂ SiO ₃ | |
| CONC. "ROUGHER" | 6,30 | 7,78 * | 71,54 | - | - | - | - | - |
| REJ. "ROUGHER" | 93,70 | 0,20 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,66 | - | - | 120 | 300 | 2.000 | 12,5 |
| | - | - | - | 64,23 | - | - | - | - |
| CONC. "CLEANER" | 2,59 | 17,00 | 89,78 | - | - | - | - | - |
| REJ. "CLEANER" | 3,71 | 1,35 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "CLEANER" | 6,30 | 7,78 * | - | - | 40 | 100 | 500 | 12,4 |

Tabela 9 - Balanço metalúrgico do teste nº 4 da Tabela 6.

* Valor calculado

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | RECUPERAÇÃO % | | REAGENTES g/t | | | pH |
|-----------------|---------|-----------|---------------|-------|---------------|---------------|----------------------------------|------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | Z-200 | DOW FROTH 250 | Na ₂ SiO ₃ | |
| CONC. "ROUGHER" | 6,05 | 6,99 * | 71,75 | - | - | - | - | - |
| REJ. "ROUGHER" | 93,94 | 0,20 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,66 | - | - | 120 | 300 | 2.000 | 12,5 |
| | - | - | - | 63,68 | - | - | - | - |
| CONC. "CLEANER" | 2,09 | 18,00 | 88,75 | - | - | - | - | - |
| REJ. "CLEANER" | 3,97 | 1,20 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "CLEANER" | 6,06 | 6,99 * | - | - | 40 | 100 | 500 | 12,4 |

Tabela 10 - Balanço metalúrgico do teste nº 7 da Tabela 7.

* Valor calculado.

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | RECUPERAÇÃO % | | REAGENTES g/t | | | pH |
|-----------------|---------|-----------|---------------|-------|---------------|---------------|----------------------------------|------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | Z-200 | DOW FROTH 250 | Na ₂ SiO ₃ | |
| CONC. "ROUGHER" | 7,61 | 6,21 * | 70,57 | - | - | - | - | - |
| REJ. "ROUGHER" | 92,39 | 0,21 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,66 | - | - | 120 | 300 | 2.000 | 11,4 |
| | - | - | - | 63,76 | - | - | - | - |
| CONC. "CLEANER" | 3,05 | 14,00 | 90,35 | - | - | - | - | - |
| REJ. "CLEANER" | 4,56 | 1,00 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "CLEANER" | 7,61 | 6,21 * | - | - | 40 | 100 | 500 | 11,3 |

Tabela 11 - Balanço metalúrgico do teste nº 6 da Tabela 7.

* Valor calculado.

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | RECUPERAÇÃO % | | REAGENTES g/t | | | pH |
|-----------------|---------|-----------|---------------|-------|---------------|---------------|----------------------------------|------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | MINEREC | DOW FROTH 250 | Na ₂ SiO ₃ | |
| CONC. "ROUGHER" | 5,09 | 8,54 * | 63,99 | - | - | - | - | - |
| REJ. "ROUGHER" | 94,91 | 0,25 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,66 | - | - | 120 | 300 | 2.000 | 12,2 |
| | - | - | - | 54,73 | - | - | - | - |
| CONC. "CLEANER" | 1,69 | 22,00 | 85,53 | - | - | - | - | - |
| REJ. "CLEANER" | 3,40 | 1,85 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "CLEANER" | 5,09 | 8,54 * | - | - | 40 | 100 | 500 | 12,3 |

Tabela 12 - Balanço metalúrgico do teste nº 7 da Tabela 8.

* Valor calculado.

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | RECUPERAÇÃO % | | REAGENTES g/t | | | pH |
|-----------------|---------|-----------|---------------|-------|---------------|---------------|----------------------------------|------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | MINEREC | DOW FROTH 250 | Na ₂ SiO ₃ | |
| CONC. "ROUGHER" | 6,31 | 7,44 * | 70,16 | - | - | - | - | - |
| REJ. "ROUGHER" | 93,69 | 0,21 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,66 | - | - | 120 | 200 | 1.000 | 11,0 |
| | - | - | - | 67,15 | - | - | - | - |
| CONC. "CLEANER" | 3,21 | 14,00 | 95,71 | - | - | - | - | - |
| REJ. "CLEANER" | 3,10 | 0,65 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "CLEANER" | 6,31 | 7,44 * | - | - | - | 100 | - | 10,8 |

Tabela 13 - Balanço metalúrgico do teste nº 3 da Tabela 8.

* Valor calculado.

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | RECUPERAÇÃO % | | REAGENTES g/t | | | pH |
|-----------------|---------|-----------|---------------|-------|---------------|---------------|----------------------------------|------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | MINEREC | DOW FROTH 250 | Na ₂ SiO ₃ | |
| CONC. "ROUGHER" | 10,24 | 4,81 * | 74,14 | - | - | - | - | - |
| REJ. "ROUGHER" | 89,76 | 0,19 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,66 | - | - | 120 | 300 | 2.000 | 11,3 |
| | - | - | - | 63,86 | - | - | - | - |
| CONC. "CLEANER" | 2,65 | 16,00 | 86,13 | - | - | - | - | - |
| REJ. "CLEANER" | 7,59 | 0,90 | - | - | - | - | - | - |
| ALIM. "CLEANER" | 10,24 | 4,81 * | - | - | 40 | 100 | 500 | 12,0 |

Tabela 14 - Balanço metalúrgico do teste nº 13 da Tabela 8.

* Valor calculado

| PRODUTOS | TEMPO DE FLOTAÇÃO (min) | PESOS % | PESOS ACUM. % | % Cu CONCENTRADO | | % REJEITO ACUMULADO | | RECUPERAÇÃO % |
|---------------|-------------------------|---------|---------------|------------------|-----------|---------------------|---------|---------------|
| | | | | PARCIAL | ACUMULADO | PESO | TEOR Cu | |
| CONCENTRADO 1 | 0,5 | 2,03 | 2,03 | 18,00 | 18,00 | 97,97 | 0,32 * | 53,90 |
| CONCENTRADO 2 | 1,0 | 1,24 | 3,27 | 5,00 | 13,07 | 96,73 | 0,26 * | 63,02 |
| CONCENTRADO 3 | 2,0 | 1,33 | 4,60 | 2,50 | 10,02 | 95,40 | 0,23 * | 67,73 |
| CONCENTRADO 4 | 4,0 | 1,68 | 6,28 | 1,75 | 7,80 | 93,72 | 0,20 | 72,45 |
| REJEITO FINAL | - | 93,72 | 100,00 | 0,20 | - | - | - | - |
| ALIMENTAÇÃO | - | 100,00 | - | 0,68 * | - | - | - | 100,00 |

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de flotação sequencial em intervalos de tempo de 1/2, 1, 2 e 4 minutos.

* Valor calculado.

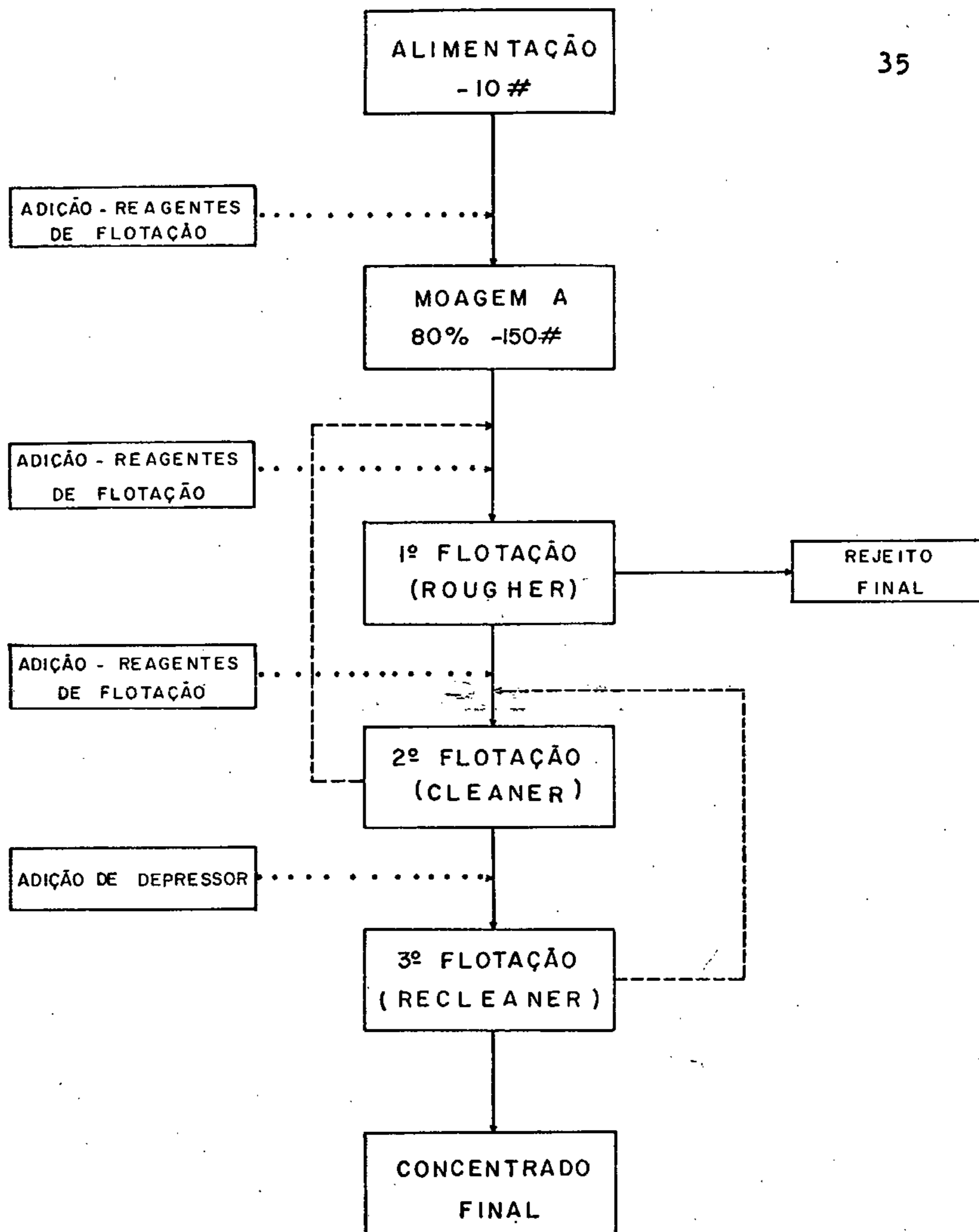


Fig. 9: Fluxograma da flotação dos sulfetos em 3 estagios

| PRODUTOS | PESOS % | TEOR Cu % | DISTRIBUIÇÃO Cu % | REC. PARCIAL % |
|-------------------|------------|--------------|----------------------|----------------|
| CONC. "ROUGHER" | 6,03 | 8,55 * | 74,29 | 74,11 |
| REJ. "ROUGHER" | 93,97 | 0,19 * | 25,71 | - |
| ALIM. "ROUGHER" | 100,00 | 0,69 | 100,00 | - |
| CONC. "CLEANER" | 3,00 | 16,36 * | 70,80 | 95,30 |
| REJ. "CLEANER" | 3,03 | 0,80 | 3,49 | - |
| ALIM. "CLEANER" | 6,03 | 8,55 | 74,29 | - |
| CONC. "RECLEANER" | 1,67 | 23,50 | 55,86 | 78,40 |
| REJ. "RECLEANER" | 1,33 | 7,80 | 14,94 | - |
| ALIM. "RECLEANER" | 3,00 | 16,38 | 70,80 | - |

Tabela 16 - Resultados dos ensaios de flotação em três estágios.

* Valor Calculado.

mo teórico possível de obter-se seria de 66,3% Cu, devendo-se este alto valor à presença significativa de bornita e calcocita. Por esta razão, embora o teor da amostra seja relativamente baixo, sua composição mineralógica favorável tornou possível obter-se um concentrado com teor de 23% Cu.

Desta forma, os resultados obtidos referentes ao teor e recuperação podem ser considerados razoáveis no que concerne a viabilidade técnica do tratamento do minério em questão. Com a perspectiva de implantação de um complexo industrial em Caraibas, não deverá haver dificuldade na comercialização dos produtos com as características dos obtidos nos ensaios realizados.

BIBLIOGRAFIA

1. A. PARENOFF, C. POMEROL and J. TOURENS - LES MINÉRAUX EN GRAINS, Paris, 1970.
2. E.J. PRYOR - MINERAL PROCESSING, London, 1965.
3. K.L. SUTHERLAND and I. W. WARK - PRINCIPLES OF FLOTATION, Melbourne, 1955.
4. FROTH FLOTATION - 50TH ANNIVERSARY VOLUME, AIME, New York, 1962.
5. A.M. GAUDIN - FLOTATION, New York, 1957.
6. ARTHUR F. TAGGART, HANDBOOK OF MINERAL DRESSING, New York.