

ESTUDO TÉCNICO SOBRE AUXILIARES DE MOAGEM
NA
MOAGEM DE QUARTZO

Aluno: Alexandre Paes Barretto Smith

Coordenador: Prof. Doutor Laurindo de Salles Leal Filho

Trabalho de formatura apresentado
ao Departamento de Engenharia de
Minas da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

São Paulo, novembro de 1992.

Laurindo Leal Filho

AGRADECIMENTOS

Agradeço à equipe técnica do Agrupamento de Tratamento de Minérios do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., por permitir a utilização de suas instalações e equipamentos para a realização dos ensaios necessários para a elaboração do trabalho.

Agradeço à Oxiteno S.A. que cedeu os reagentes testados no trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Laurindo de Salles Leal Filho pelo seu empenho na orientação das atividades desenvolvidas.

Abstract

Recent papers on the role of grinding aids in wet ball mills indicate that certain organic liquids favorably act by altering pulp rheology. The physical as well as the chemical nature of environment is found to influence significantly the performance of comminution operations such as grinding. These effects are of commercial importance since higher comminution efficiency can be obtained by adding reagents. The effects of using chemical reagents as wet grinding aids for quartz was analyzed in batch laboratory ball mill. Two important results were achieved: first, increased feed rate and decreased grind time at constant product size, and second, the production of a finer product (- 325 mesh) at constant feed rate.

ÍNDICE

1. Introdução
2. Objetivo
3. Revisão bibliográfica
 - 3.1. Influência da adsorção na força de resistência
 - 3.2. Influência da adsorção na aglomeração
 - 3.3. Influência da viscosidade
4. Materiais e métodos
 - 4.1. Preparação das amostras
 - 4.1.1. Peneiramentos
 - 4.1.2. Média dos peneiramentos (alimentação)
 - 4.2. Ensaaios de moagem
 - 4.2.1. Primeira fase
 - 4.2.2. Segunda fase
 - 4.2.3. Terceira fase
5. Tratamento de dados
 - 5.1. Resumo dos ensaios realizados
 - 5.2. Resumo dos resultados dos ensaios
 - 5.3. Gráficos
6. Discussão
 - 6.1. Influência da água e da concentração de sólidos na polpa
 - 6.2. Influência de aditivos químicos no desempenho da moagem
 - 6.2.1. Etilenoglicóis
 - 6.2.2. Amina graxa
 - 6.2.3. Misturas amina/polietilenoglicol
7. Conclusão
8. Sugestões
9. Referências bibliográficas
10. ANEXO 1

1. INTRODUÇÃO

Anualmente são cominuídas bilhões de toneladas de minério para que se obtenha: i. uma granulometria adequada ao processo de concentração a ser utilizado, uma vez que cada operação unitária apresenta faixa granulométrica onde seu desempenho é otimizado; ii. uma liberação adequada dos minerais a serem separados; ou iii. um produto com granulometria dentro das especificações de mercado. Os parâmetros conseguidos nas operações de separação dos minerais, quais sejam teor do concentrado e recuperação do mineral útil variam em função do grau de cominuição efetuado. Por outro lado, as operações de cominuição, em especial a moagem fina, são as mais dispendiosas de um circuito de concentração, fazendo com que o grau de cominuição do minério seja fixado em função econômica dos custo de moagem, taxa de produção, recuperação do minério útil e teor do concentrado. Devido a isso, qualquer melhoria de um desses parâmetros do grau de cominuição, mantendo-se os outros constantes, significará um aumento da eficiência do processo e por conseguinte maior lucro. A eficiência da moagem pode ser definida como a quantidade de energia consumida por unidade de produto gerado com uma qualidade específica, ou seja, quanto menos energia é consumida para criar um produto com determinada qualidade, mais eficiente é o processo. Esta qualidade do produto depende do objetivo da moagem, podendo incluir diminuição de tamanho, produção de área de superfície, e/ou liberação de minerais de interesse.

A moagem de minerais torna-se dispendiosa por se tratar de um processo de baixa eficiência e elevado gasto de energia, representando assim um fator de custo importantíssimo no custo de produção. É sabido que o total de perdas no moinho corresponde a 87% da energia recebida, que é transformada principalmente em calor e ainda dos 13% da energia que não foram convertidos em calor, apenas uma fração se transforma em trabalho útil, sendo que a maior parte desses 13% é convertido em trabalho não útil (desgastes de bolas e revestimento). Para se ter uma idéia, o custo da energia gasta na Alemanha para produção de cimento é de 50% do custo de produção, onde 30% deste valor é empregado na queima do clinker, 7% na moagem da matéria-prima, 11% na moagem do clinker e o restante em processos auxiliares, ou seja, 18% destes custos correspondem a operações de moagem. Dessa forma, torna-se interessante estudar métodos que melhorem o desempenho da moagem, pois já que o gasto com energia é inevitável, deve-se tirar o maior proveito possível do processo (aumentar sua eficiência); e para tanto é preciso compreender os mecanismos de quebra das partículas.

Os sólidos quando sujeitos a um certo grau de tensão por impacto ou abrasão fragmentam-se em partículas menores, mas -como foi determinado por pesquisadores no passado- com apenas uma eficiência de 1%, no que diz respeito a uma nova superfície criada durante a operação. Este fato incentivou os pesquisadores a realizarem trabalhos que pudessem melhorar a performance deste mecanismo que faz parte da cominuição, uma operação que já era vastamente utilizada nas indústrias (química, mineira, etc.). Por muitos anos, a cominuição foi tratada como um processo físico

controlado meramente por condições mecânicas. Até recentemente, quando os pesquisadores passaram a estudar o efeito da natureza do ambiente de cominuição, pouca atenção tinha sido dada para as condições físico-químicas do sistema. Como somente 1% da energia gasta na cominuição pode ser considerada para criar uma nova superfície, um ataque inicial ao problema seria acreditar que: se a cominuição envolve criação de novas superfícies, a redução da energia livre de superfície do sólido em fragmentação deveria aumentar a eficiência efetiva da operação. De acordo com postulados químicos esta redução de energia superficial poderia ser conseguida com o auxílio de reagentes químicos, através de sua adsorção na superfície da partícula (interface mineral/solução) a ser quebrada, estimulando assim estudos desse gênero.

Uma das formas de se alterar o ambiente de cominuição, agora tratando-se mais especificamente da moagem, é inserir reagentes químicos em moinhos tubulares convencionais. Esta técnica vem sendo alvo de algumas pesquisas e já é praticada em alguns processos industriais com sucesso, tanto em moagens a úmido como a seco. Na Alemanha, em 1969, aproximadamente 10% do total de cimento produzido foi moído com ajuda de reagentes químicos, entre eles temos o acetato de amina, etileno glicol e propileno glicol.

Estas substâncias (reagentes químicos) que ao serem misturados ao conteúdo do moinho causam um aumento da velocidade de redução de tamanho das partículas sólidas, são chamados de "auxiliares" de moagem ou "aditivos" de moagem. Podem ser introduzidas no processo através de soluções ou partículas sólidas, misturadas com a alimentação ou adicionadas diretamente no moinho, sendo que a adição em forma fluida pode ser melhor controlada do que em forma de material granular. As quantidades usualmente utilizadas variam de 0,006% a 0,1% do peso dos sólidos na alimentação (60 a 1000 gramas de reagente por tonelada de minério alimentado). Na maioria das situações, o uso de aditivos de moagem depende apenas de uma relação econômica favorável entre os custos da substância usada versus a melhoria da qualidade do produto obtido, já que este aditivo não deverá afetar negativamente os processos seguintes da usina, como a flotação por exemplo.

Embora não se tenha certeza dos mecanismos que regem a ação destes auxiliares de moagem, bem como o comportamento da moagem sob as novas condições, sabe-se que estes aditivos interferem positivamente na operação. As causas desses efeitos são questionadas tanto na área física como na área química, e muitos mecanismos têm sido sugeridos. Estes, serão citados no decorrer do trabalho.

2. OBJETIVO

Por se tratar de um processo de vital importância na indústria mineira tanto em termos de eficiência, quanto de custos, é importante e necessário desenvolver novas técnicas que possibilitem um aprimoramento ou aperfeiçoamento da operação de moagem. Dessa forma, o presente trabalho visa:

i. estudar a influência da água e da % de sólidos da polpa na moagem do quartzo,

ii. experimentar novas condições de moagem alterando as circunstâncias normais da operação, no que diz respeito ao ambiente físico-químico formado no interior do moinho, e avaliar seu efeito sobre a operação. Para tanto pretende-se:

a. testar e estudar em escala de laboratório a ação de duas classes de reagentes químicos, reagentes não iônicos (etilenoglicóis com pesos moleculares diferentes) e um reagente catiônico (amina), no desempenho da moagem de quartzo em moinho tubular de bolas.

b. verificar quais reagentes atuam, do ponto de vista técnico, como auxiliares de moagem.

c. verificar se há efeito sinérgico quando adiciona-se amina e polietilenoglicol simultaneamente no moinho.

d. aprofundar o estudo da ação dos dois reagentes que proporcionarem melhor desempenho na moagem, determinado pela análise comparativa de resultados, através de ensaios que levem em conta algumas mudanças no ambiente e nas condições de moagem, constatando-se assim qual a real melhoria ao processo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para explicar os efeitos dos aditivos na moagem, muitos mecanismos já foram elaborados no passado, entretanto existem dois mecanismos principais:

O primeiro deles proposto por Rehbinder (1) e aplicado especificamente para a moagem por Rose e Sullivan (2) é baseado no conceito de que a cominuição envolve a produção de novas superfícies e, para realizá-la, uma quantidade de energia, que é proporcional à energia de superfície, deverá ser utilizada. Se a energia livre de superfície do sólido puder ser reduzida, será possível produzir mais superfícies novas com uma mesma quantidade de energia aplicada, minimizando a possibilidade das superfícies criadas se reintegrarem. Dessa forma, a adição de agentes capazes de reduzir a energia de superfície das partículas sólidas (surfactantes) deverão melhorar o processo de moagem. Por exemplo, Engelhardt (3, 4) observou que enquanto 5,8 MEGAergs de energia foram requeridos para produzir 1 cm² de quartzo através de moagem com água, foi necessário gastar 3,2 MEGAergs para gerar a mesma quantidade de novas superfícies de quartzo quando a moagem foi feita com álcool.

O outro mecanismo é proposto por Westwood (5) e é baseado no efeito da adsorção na movimentação de deslocamentos próximos à superfície. De acordo com o autor, a influência do reagente se dá devido a mudanças no estado eletrônico próximo à superfície em pontos e linhas de defeitos (fendas, fraturas) causados pela adsorção do aditivo na superfície do sólido. Tais mudanças influenciam as interações específicas entre deslocamento e pontos de defeito que controlam a mobilidade de deslocamento e assim a dureza. Suas experiências (6, 7) com alguns cristais como cloreto de prata e fluoreto de lítio em presença de água, soluções salinas e líquidos orgânicos, demonstraram que a mudança na dureza dos cristais iônicos resultou da transferência de elétrons entre as moléculas adsorvidas e a estrutura defeituosa superficial dos sólidos cristalinos.

É sabido que o fraturamento é composto por dois processos : quebra inicial e propagação da quebra. E que um mecanismo pode ser responsável pelo efeito do primeiro processo e o outro pelo segundo (8).

Quando um material sólido recebe um esforço mecânico acima de sua resistência mecânica, ele é deformado. Se neste processo a região elástica for ultrapassada, ocorrerão deformações plásticas nos materiais dúcteis e fraturamento nos materiais frágeis. Portanto um sólido frágil ideal não pode sofrer deformação plástica e seu fraturamento se inicia a partir de fendas e defeitos pré-existentes. Na moagem de materiais sólidos reais é necessário considerar a possibilidade de um fraturamento frágil ser precedido de uma deformação plástica. A extensão da deformação plástica depende não só do tipo de material a ser moído, mas também da duração do esforço. Quanto mais lentamente for aplicada a tensão e maior for seu tempo de ação, maior será a extensão da deformação. Nas condições de uma moagem industrial o tempo de carregamento (esforço aplicado) é da ordem 0,1 segundos. Assim, é esperado que na moagem de materiais

frágeis como clinker, não ocorra deformações plásticas. Para Locher e Seebach (9) o comportamento de um material sólido na moagem pode ser determinado por três processos sobrepostos: deformação plástica, fraturamento frágil das partículas e formação de aglomerados de partículas finas, e que os aditivos podem influenciar estes processos.

3.1. Influência da adsorção na força de resistência

A adsorção pode interferir na força de resistência da seguinte forma:

De acordo com Rumpf (10), com base na teoria de Griffith, a seguinte equação é válida para força de resistência F_x de um sólido frágil:

$$F_x = \sqrt{4 E \gamma / \pi l_c} \quad (1)$$

onde:

F_x : força de resistência do sólido,
 E : módulo de elasticidade,
 γ : energia de superfície,
 l_c : comprimento médio das fendas.

Como a energia de superfície decresce quando moléculas são adsorvidas na superfície, a força de resistência também pode decair, pois as grandezas são diretamente proporcionais. A variação na energia de superfície devida à adsorção resulta da integração da equação de adsorção de Gibbs:

$$d\gamma = RT\beta d \ln p \quad (2)$$

onde:

R : constante dos gases,
 T : temperatura absoluta,
 B : número de moles adsorvidos por unidade de superfície,
 p : pressão de equilíbrio.

$$B \text{ vem de : } \beta = \kappa / M O_m \quad (3)$$

onde:

x : massa adsorvida de surfactante por unidade de massa de adsorvente,
 M : peso molecular do surfactante,
 O_m : superfície específica do adsorvente.

$$\text{Então : } \Delta\gamma = (RT/MO_m) \int_0^p x d \ln p \quad (4)$$

No caso de um sólido frágil ideal, o decréscimo na energia de superfície causada pela adsorção pode ser calculada pela equação 4 e, conseqüentemente, o decréscimo na força pela equação 1.

Em trabalhos anteriores (11) foram feitos cálculos semelhantes para a adsorção de vapores de líquidos orgânicos no

quartzo e na barita, constatando-se que a energia de superfície destes sólidos pode ser diminuída de no máximo 250 erg/cm². Como a energia de superfície dos anidro-silicatos encontra-se numa faixa entre 500 e 4.000 erg/cm² (12), seria possível um decréscimo equivalente de no máximo 30% da energia de superfície e 20% na força de resistência (9).

O comportamento de fraturamento frágil ideal não pode ser assumido como único mecanismo vigente em materiais frágeis, pois a deformação plástica tem o seu papel tanto na formação da quebra de Griffith, de onde se inicia o fraturamento, quanto no progresso (propagação) das fraturas. Este fato interessou investigações da influência de vapores de líquidos orgânicos na força de resistência de vários vidros (13, 14, 15, 16). Nestes casos, tomou-se como fator primordial, o aumento de velocidade de carregamento e constatou-se que com um carregamento rápido a adsorção não influencia a força. Em casos de fraturamento lento, por outro lado, ocorre um decréscimo da força com a adsorção, porém nem sempre corresponde aos valores da equação 1.

De acordo com Engelhard e Haussuhl (17) a resistência à abrasão pode ser considerada como um critério relativo da força. Durante a abrasão, nas partículas do abrasante formam-se pequenas fraturas que vão se alastrando pela sua superfície, gerando fragmentos que, aos poucos, se separam do sólido. Testes de abrasão em líquidos, demonstraram que a resistência à abrasão depende do ambiente e esta é diminuída com a adição de compostos orgânicos polares (álcool, ácidos, amins) em fluidos abrasivos apolares (xileno, benzeno). Os resultados ainda indicaram que as propriedades plásticas do cristal são influenciadas pelo ambiente, mas somente a força de resistência depende essencialmente da energia de superfície do sólido material.

Conforme Locher e Seebach (9), testes de abrasão com quartzo na presença de vapores de acetona, demonstraram que a adsorção destes vapores na superfície da partícula promovem o processo de abrasão. A causa é atribuída a diminuição da adesão de partículas finas tanto na superfície do abrasivo quanto do abrasante. Segundo o autor, a adsorção não facilita a quebra, pois a tensão aplicada ao material no moinho de bolas é muito rápida e a velocidade do esforço está diretamente ligada ao efeito de adsorção. Em deformações plásticas, onde o efeito da adsorção é notável, é preciso longa duração da tensão, fato que não ocorre no moinho.

3.2. Influência da adsorção na aglomeração

O acúmulo de partículas finas já moídas na superfície dos corpos moedores, do revestimento do moinho e das outras partículas mais grossas do próprio material, prejudicam a moagem, ao impedir a interação correta do material com os corpos moedores (os finos formam uma capa protetora nas partículas a serem quebradas). Esta adesão de partículas finas nas novas superfícies criadas do material, nos corpos moedores e no revestimento, são causadas, segundo Duda (18), por:

- Forças eletrostáticas e de Van der Waals: Ao alimentar o moinho com mistura de diferentes materiais, uma parte das

partículas finas pode carregar-se positivamente e outra negativamente. Nesta condição, as partículas de cargas opostas atraem-se, aglomerando-se.

- Forças de energia de superfície: átomos ou grupos de átomos na superfície dos sólidos podem ou não estar completamente saturados em suas valências e formar um campo não homogêneo em sua superfície que tende a aglomeração.

- Adsorção: as partículas individuais são adsorvidas por um filme de ar. Presumivelmente este filme tende a prevenir a partícula de combinações. Porém, se este filme é removido de alguma forma, as partículas podem ficar livres para se combinarem rapidamente.

Estudos anteriores (9), revelam que através da adsorção de líquidos orgânicos na superfície dos sólidos, as forças de adesão (que causam a atração entre as partículas) são reduzidas e a fluidez do sistema é aumentada. Dessa forma, aumenta a eficiência da moagem, pois a separação adequada das partículas finas das grossas torna-se facilitada.

A adição de surfactantes na moagem, já foi estudada em muitos trabalhos no passado, constatando-se sua influência na operação. Segundo Szantho (19), um reagente usado para flotação, chamado Flotigam P, produz 100% a mais de área de superfície específica, quando utilizado em baixas concentrações (300 g/t de minério) na moagem a úmido de quartzito em moinho de bolas. Em concentrações maiores observou-se um decréscimo da área de superfície específica.

O efeito do uso de surfactante do tipo ARMAC T, que possui carga oposta a da superfície do mineral, na moagem de quartzo em moinho de bolas, foi estudado por Gilbert (20). Sabendo-se que o quartzo é carregado negativamente acima de pH 2 e a ARMAC T é um surfactante catiônico, notou-se que o aumento da concentração deste reagente em quantidades moderadas é prejudicial a moagem, além disso o decréscimo da eficiência da moagem torna-se maior com o aumento das cargas negativas na superfície do mineral, resultado do aumento do pH da solução. Sabe-se que, o potencial zeta das partículas do mineral é diminuído com a adsorção dos íons do surfactante de carga oposta, implicando no aumento de sua floculação (21).

Malati e colaboradores (22) obtiveram um produto mais fino quando adicionaram reagentes de flotação no circuito a úmido de moinho de barras, do que na ausência destes reagentes; mas constataram que a influência do reagente só ocorreu em produtos de tamanho entre 0,005-0,3 mm. Esta seletividade do efeito poderia ser devido a aglomeração das partículas finas, pois perde-se muita energia para desagregar os flocos formados no moinho. Um problema sério devido a adsorção de surfactante nas partículas, pode ser sua hidrofobização e resultante ataque das bolhas de ar produzidas no sistema durante o processo. Se uma quantidade suficiente de ar atacar as partículas, elas podem permanecer em suspensão e causar uma perda de eficiência na moagem.

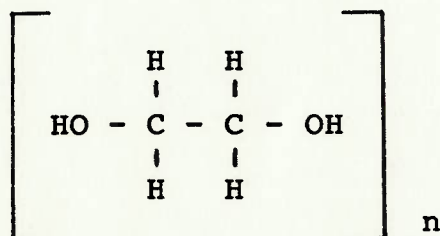
O uso de aditivos durante a moagem a seco é muito comum na indústria do cimento. Snow (23) na sua recente revisão de trabalhos a respeito de redução de tamanho, cita diversos

exemplos de aditivos usados na indústria do cimento, entre eles temos: glicóis, aminas, organossilicones e acetatos orgânicos. Estes reagentes são efetivos na prevenção da cobertura das bolas pelos finos, mas não na aglomeração das partículas (24). Este efeito do aditivo é muito benéfico, pois sabe-se que, enquanto a cobertura das bolas prejudica a eficiência da moagem, a aglomeração prejudica a qualidade do cimento. De acordo com Schneider (25) a produção é aumentada de 25 a 50% quando glicol é usado como aditivo de moagem.

3.3. Influência da viscosidade

Em moagens a úmido existe uma viscosidade crítica da polpa, acima da qual inicia-se um processo de "centrifugação". Neste, as bolas não se destacam da parede do moinho durante sua rotação. Nestas condições, a capacidade do moinho decresce e uma pequena quantidade de finos é gerada. Segundo Fuerstenau, Venkataraman e Velamakanni (26), certos polímeros alteram a reologia da polpa durante a moagem, aumentando a produção para polpas de alta densidade (% de sólido maiores que 80%). Suas pesquisas demonstraram que ocorre um aumento na produção de finos por unidade de tempo, enquanto a produção por unidade de energia gasta permanece a mesma. Analisando o campo de forças atuantes nas bolas dentro do moinho em função da viscosidade da polpa, os autores puderam estimar esta viscosidade crítica e concluíram que: para polpas de baixa densidade (% de sólido menores que 60%) o uso de aditivos é ineficiente, pois a viscosidade da polpa ainda não atingiu o valor crítico. Porém, para polpas de alta densidade, o aditivo polimérico reduz a sua viscosidade a valores menores que o valor crítico, impedindo que ocorra a centrifugação das bolas e mantendo mais elevada a capacidade do moinho.

3.4. Etilenoglicóis



```
*****
* peso molecular * n * nome *
* * * *
* 62 * 1 * monoetilenoglicol *
* 124 * 2 * dietilenoglicol *
* >124 * >2 * polietilenoglicol *
*****
```

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de laboratório podem ser divididos em duas etapas principais:

4.1. Preparação das Amostras:

Esta etapa constituiu-se dos trabalhos de homogeneização e preparação das alíquotas de minério de quartzo puro, de acordo com as exigências dos futuros ensaios de moagem, ou seja, de acordo com o padrão necessário da alimentação requerida pelo moinho, e para que os resultados dos testes pudessem ser comparados, pois a alimentação seria sempre a mesma. As exigências foram as seguintes:

- todo material deve possuir granulometria inferior a 32 mesh (0,5 mm),
- cada alíquota deve possuir massa por volta de 1.400 g, com a mesma distribuição granulométrica.

Para satisfazer a estas exigências, preparou-se cerca de cem quilogramas de minério, através de moagem em moinho de disco e de peneiramento a seco em peneiras vibratórias, até que todo material estivesse com granulometria abaixo de 32 mesh. A elaboração das alíquotas se deu com a homogeneização do material em pilhas alongadas e a retirada de 24 amostras em fatias transversais à pilha, com cerca de 1.400 g cada.

Para se estimar a distribuição granulométrica média da alimentação e verificar o sucesso da homogeneização, tomaram-se 5 amostras aleatórias das 24 iniciais, que foram submetidas a peneiramento a úmido, a fim de determinar suas distribuições granulométricas. Para esta operação, utilizou-se peneiras 48 mesh (0,297 mm), 65 mesh (0,210 mm), 100 mesh (0,149 mm), 325 mesh (0,044 mm), e obtiveram-se os resultados apresentados nas tabelas abaixo (tabela 1a, 1b, 1c e 1d).

4.1.1. Peneiramentos

```

*****
*               amostra 1               *               amostra 2               *
*****
* % ret. * % ret. acum. * % ret. * % ret. acum. *
* malhas *
* +48 * 39,5 * 39,5 * 39,8 * 39,8
* +65 * 13,8 * 53,3 * 13,6 * 53,4
* +100 * 17,2 * 70,5 * 17,6 * 71,0
* +325 * 24,2 * 94,7 * 24,0 * 95,0
* -325 * 5,3 * 100,0 * 5,0 * 100,0
*****
tabela 1a

```

```

*****
*               amostra 3               *               amostra 4               *
*****
*      *      % ret. *      % ret. acum. *      % ret. *      % ret. acum. *
* malhas *      *      *      *      *      *      *      *
* +48    *      40,7 *      40,7        *      41,0 *      41,0        *
* +65    *      13,8 *      54,5        *      13,3 *      54,3        *
* +100   *      16,2 *      70,7        *      16,7 *      71,0        *
* +325   *      23,8 *      94,5        *      24,0 *      95,0        *
* -325   *      5,5  *      100,0       *      5,0  *      100,0       *
*****

```

tabela 1b

```

*****
*               amostra 5               *
*****
*      *      % ret. *      % ret. acum. *
* malhas *      *      *
* +48    *      39,0 *      39,0        *
* +65    *      13,4 *      52,4        *
* +100   *      18,0 *      70,4        *
* +325   *      24,6 *      95,0        *
* -325   *      5,0  *      100,0       *
*****

```

tabela 1c

4.1.2. Média dos peneiramentos (distribuição granulométrica admitida para a alimentação)

```

*****
*               alimentação               *
*****
*      *      % ret. *      % ret. acum. *
* malhas *      *      *
* +48    *      (40,0 +- 0,8) *      ( 40,0 +- 0,8) *
* +65    *      (13,6 +- 0,2) *      ( 53,6 +- 0,8) *
* +100   *      (17,1 +- 0,7) *      ( 70,7 +- 1,1) *
* +325   *      (24,1 +- 0,3) *      ( 94,8 +- 1,1) *
* -325   *      ( 5,2 +- 0,2) *      (100,0 +- 1,2) *
*****

```

tabela 1d

4.2. Ensaios de Moagem

Todos os ensaios de moagem em moinho de bolas foram realizados em escala de laboratório, na Divisão de Tratamento de Minérios (DITRAM) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT), seguindo as normas técnicas (padrão de operação) vigentes no próprio instituto (27).

Especificações principais do moinho utilizado para os ensaios:

- diâmetro interno ao revestimento do moinho: 20 cm,
- comprimento interno do moinho: 25cm,
- volume total: 7,85 l,
- rotação: 73 rpm,
- % da rotação em relação a rotação crítica: 72%,
- carga máxima de bolas: 18,13 Kg,
- potência do motor: 200 W,
- granulometria máxima da alimentação: 24 mesh (0,71 mm),
- carga máxima da alimentação: 2,79 Kg.

Condições fixas de todos os ensaios realizados:

- tamanho do moinho (especificado acima),
- granulometria máxima da alimentação: 32 mesh (0,5 mm),
- tipo de corpos moedores: bolas de aço,
- carga de corpos moedores: 10,6 Kg,
- volume de corpos moedores: 1,62 l,
- % volumétrica da carga em relação ao volume do moinho :21%
- % do volume de material em relação ao volume de corpos moedores: 32 %
- distribuição dos corpos moedores (bolas), tabela 2:

* diâmetro *	número de bolas *	massa *	
* * *	* * *	* * *	
* 1,5" *	32	* 5,4 Kg *	
* 1,0" *	81	* 5,2 Kg *	

tabela 2

Todos os ensaios foram realizados com água deionizada. Os reagentes utilizados foram:

- MEG : mono etileno glicol, peso molecular 64,
- DEG : di etileno glicol, peso molecular 120,
- ATPEG 200 : poli etileno glicol, peso molecular 200,
- ATPEG 600 : poli etileno glicol, peso molecular 600,
- ATPEG 1000: poli etileno glicol, peso molecular 1000,
- ARMAC C : amina primária.

Os etilenoglicóis foram fornecidos pela Oxiteno S.A., enquanto que a amina foi fornecida pela AKZO. Estes reagentes são facilmente dissolvidos na água, dessa forma, foram preparadas soluções nas concentrações exigidas pelos ensaios, e estas foram

introduzidas no moinho juntamente com a água.

Os ensaios de moagem foram realizados em três fases distintas, da seguinte forma:

4.2.1. Primeira fase:

Nesta etapa, com exceção dos ensaios número 1, 2 e 3, todos os outros ensaios foram executados nas mesmas condições de moagem (demonstradas abaixo na tabela 3), variando-se apenas o tipo de aditivo utilizado.

```
*****
*                                     *
*               constantes dos ensaios               *
*                                     *
* - massa da alimentação: cerca de 1.400 g          *
* - distribuição granulométrica da alimentação: tabela 1d *
* - tempo de moagem: 30 minutos                      *
* - % de sólidos: 60%                                *
* - concentração de aditivo: 500 g/t de minério      *
* - ph: 7                                             *
*                                     *
*****
                        tabela 3
```

A moagem a seco (ensaio 1) foi executada com a mesma massa e distribuição granulométrica da alimentação e o mesmo tempo de moagem da tabela 3.

A moagem a úmido do ensaio 2 foi realizada com a mesma massa e distribuição granulométrica da alimentação, o mesmo tempo de moagem e a mesma % de sólido da tabela 3. Já a moagem do ensaio 3 foi feita com 80% de sólidos ao invés de 60%, sendo esta, a única diferença entre os dois ensaios.

A seguir temos um resumo dos ensaios realizados nesta etapa, demonstrados pela tabela 3a.

```
*****
* ensaio n. * meio * aditivo *
*           *     *         *
*     1     * seco * ----- *
*     2     * úmido * ----- *
*     3     * úmido * ----- *
*     4     * úmido * MEG      *
*     5     * úmido * DEG      *
*     6     * úmido * ATPEG 200 *
*     7     * úmido * ATPEG 600 *
*     8     * úmido * ATPEG 1000 *
*     9     * úmido * ARMAC C  *
*****
                        tabela 3a
```

4.2.2. Segunda fase:

Nesta etapa selecionaram-se os dois aditivos que proporcionaram melhores resultados quanto à produção de partículas menores que 325 mesh para serem testados separadamente e em conjunto, em novos ambientes de moagem (pH) e novas concentrações. Dessa forma, as mesmas condições de moagem da tabela 3 foram mantidas, com exceção do pH, que foi alterado em alguns ensaios, e da concentração dos aditivos, que foi variada, afim de se definir qual produziria melhor resultado.

O resumo dos ensaios esta expresso abaixo nas tabela 4a, 4b e 4c:

- Ensaios com ARMAC C:

```
*****
* ensaio n. * concentração * pH *
*           *             *   *
*    10     *  150 g/t min. *  7 *
*    11     *  850 g/t min. *  7 *
*    12     *  500 g/t min. *  2 *
*    13     *  500 g/t min. * 11 *
*****
```

tabela 4a

- Ensaios com ATPEG 1.000:

```
*****
* ensaio n. * concentração * pH *
*           *             *   *
*    14     * 1000 g/t min. *  7 *
*    15     *   200 g/t min. *  7 *
*****
```

tabela 4b

- Ensaios com ARMAC C + ATPEG 1.000:

```
*****
* ensaio n. * concentração * pH *
*           * de cada aditivo *   *
*           *                 *   *
*    16     *  500 g/t min. *  7 *
*    17     *  250 g/t min. *  7 *
*****
```

tabela 4c

4.2.3. Terceira fase:

Nesta etapa fizeram-se testes com o reagente e condições de moagem que nas duas etapas anteriores produziram melhores resultados, em termos de geração de finos. Este reagente foi o ATPEG 1.000 na concentração de 500 g/t de minério em pH 7. A distribuição granulométrica da alimentação continuou sendo a mesma dos ensaios anteriores, variando-se agora, a % de sólidos, a massa de alimentação e o tempo de moagem, como pode ser observado no resumo destes ensaios descrito na tabela 5.

* ensaio n.	* % sólido	* massa alimentada	* tempo de moagem	*
* *	* *	* *	* *	*
* 18	* 70%	* 1.400 g	* 30 min.	*
* 19	* 80%	* 1.400 g	* 30 min.	*
* 20	* 60%	* 1.680 g	* 30 min.	*
* 21	* 60%	* 1.960 g	* 30 min.	*
* 22	* 60%	* 1.400 g	* 24 min.	*
* 23	* 60%	* 1.400 g	* 18 min.	*

tabela 5

Todos os produtos dos ensaios, em todas as etapas, foram submetidos a análise granulométrica, através de peneiramento a úmido nas seguintes malhas de peneiras: 48 mesh (0,297 mm), 65 mesh (0,210 mm), 100 mesh (0,149 mm) e 325 mesh (0,044 mm); após secagem em estufa. Esta parte do trabalho foi realizada no laboratório de tratamento de minérios do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica de São Paulo.

5. TRATAMENTO DE DADOS

Os resultados e a descrição detalhada de cada ensaio podem ser observadas no ANEXO 1.

5.1. Resumo dos ensaios realizados:

A tabela 6, abaixo, demonstra as principais condições de cada ensaio realizado.

* N. *	* meio *	* tempo *	* massa *	* % *	* aditivo *	* pH *
* *	* *	* (min) *	* aliment. *	* sólido *	* tipo * conc. *	* *
* *	* *	* (min) *	* (g) *	* sólido *	* (g/t) *	* *
* 1 *	* seco *	* 30 *	* 1.448,8 *	* ---- *	* ----- *	* -- *
* 2 *	* úmido *	* 30 *	* 1.465,0 *	* 60 *	* ----- *	* -- *
* 3 *	* úmido *	* 30 *	* 1.347,0 *	* 80 *	* ----- *	* -- *
* 4 *	* úmido *	* 30 *	* 1.370,0 *	* 60 *	* MEG *	* 500 *
* 5 *	* úmido *	* 30 *	* 1.347,0 *	* 60 *	* DEG *	* 500 *
* 6 *	* úmido *	* 30 *	* 1.434,0 *	* 60 *	* ATPEG 200 *	* 500 *
* 7 *	* úmido *	* 30 *	* 1.431,8 *	* 60 *	* ATPEG 600 *	* 500 *
* 8 *	* úmido *	* 30 *	* 1.323,0 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *
* 9 *	* úmido *	* 30 *	* 1.349,6 *	* 60 *	* ARMAC C *	* 500 *
* 10 *	* úmido *	* 30 *	* 1.445,5 *	* 60 *	* ARMAC C *	* 150 *
* 11 *	* úmido *	* 30 *	* 1.477,8 *	* 60 *	* ARMAC C *	* 850 *
* 12 *	* úmido *	* 30 *	* 1.417,2 *	* 60 *	* ARMAC C *	* 500 *
* 13 *	* úmido *	* 30 *	* 1.413,6 *	* 60 *	* ARMAC C *	* 500 *
* 14 *	* úmido *	* 30 *	* 1.424,3 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 1000 *
* 15 *	* úmido *	* 30 *	* 1.312,0 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 200 *
* 16 *	* úmido *	* 30 *	* 1.442,0 *	* 60 *	* ARMAPEG *	* 500 *
* 17 *	* úmido *	* 30 *	* 1.391,5 *	* 60 *	* ARMAPEG *	* 250 *
* 18 *	* úmido *	* 30 *	* 1.455,0 *	* 70 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *
* 19 *	* úmido *	* 30 *	* 1.378,0 *	* 80 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *
* 20 *	* úmido *	* 30 *	* 1.680,0 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *
* 21 *	* úmido *	* 30 *	* 1.960,0 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *
* 22 *	* úmido *	* 24 *	* 1.400,0 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *
* 23 *	* úmido *	* 18 *	* 1.400,0 *	* 60 *	* ATPEG 1000 *	* 500 *

tabela 6

5.2. Resumo dos resultados dos ensaios

A seguir são apresentadas três tabelas (7a, 7b, 7c) com os resultados dos ensaios obtidos em cada fase das moagens efetuadas.

	Ensaio 1 moagem seco		* Ensaio 2 moagem úmido		Ensaio 3 moagem úmido		Ensaio 4 MEG	
+ 48	0,1	0,1	0,0	0,0	8,7	8,7	0,0	0,0
+ 65	2,3	2,4	0,5	0,5	12,2	20,9	0,2	0,2
+100	13,8	16,2	5,7	6,2	14,7	35,6	4,0	4,2
+325	64,7	80,9	71,7	77,9	44,3	79,9	66,4	70,6
-325	19,1	100,0	22,1	100,0	20,1	100,0	29,4	100,0
	Ensaio 5 DEG		Ensaio 6 ATPEG 200		Ensaio 7 ATPEG 600		Ensaio 8 ATPEG 1000	
+ 48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+ 65	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2
+100	4,0	4,2	5,0	5,4	5,1	5,5	3,8	4,0
+325	69,1	73,3	70,4	75,8	61,7	67,2	58,6	62,7
-325	26,7	100,0	24,2	100,0	32,8	100,0	37,4	100,0
	Ensaio 9 ARMAC C		Alimentação				Legenda	
+ 48	0,0	0,0	40,0	40,0			% ret	% acum.
+ 65	0,4	0,4	13,6	53,6				
+100	4,8	5,2	17,1	70,7				
+325	62,0	67,2	24,1	94,8				
-325	32,8	100,0	5,2	100,0				

TABELA 7a

RESULTADOS DOS ENSAIOS DA PRIMEIRA FASE

	Ensaio 10 ARMAC C 150 g/t		Ensaio 11 ARMAC C 850 g/t		Ensaio 12 ARMAC C 500 g/t, pH 2		Ensaio 13 ARMAC C 500 g/t, pH 11	
+ 48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+ 65	0,3	0,3	1,0	1,0	0,6	0,6	0,5	0,5
+100	4,1	4,4	6,9	7,9	9,0	9,6	4,5	5,0
+325	70,1	74,5	68,7	76,5	62,6	72,2	74,0	79,0
-325	25,5	100,0	23,5	100,0	27,8	100,0	21,0	100,0
	Ensaio 14 ATPEG 1000 1000 g/t		Ensaio 15 ATPEG 1000 200 g/t		Ensaio 16 ARMAC + ATPEG 500 g/t		Ensaio 17 ARMAC + ATPEG 250 g/t	
+ 48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
+ 65	0,4	0,4	0,2	0,2	0,6	0,6	0,5	0,5
+100	4,8	5,2	3,4	3,6	6,0	6,6	5,7	6,2
+325	66,8	72,0	64,9	68,5	60,9	67,5	68,3	74,5
-325	28,0	100,0	31,5	100,0	32,5	100,0	25,5	100,0

TABELA 7b
RESULTADOS DOS ENSAIOS DA SEGUNDA FASE

Legenda	
% ret†	% acum.

	Ensaio 18		Ensaio 19		Ensaio 20		Ensaio 21	
	ATPEG 1000		ATPEG 1000		ATPEG 1000		ATPEG 1000	
	70% sólido		80% sólido		massa >		massa >	
+ 48	0,0	0,0	8,5	8,5	0,0	0,0	0,1	0,1
+ 65	0,7	0,7	10,4	18,9	1,2	1,2	2,3	2,4
+100	7,9	8,6	15,2	34,1	9,1	10,3	12,9	15,3
+325	65,9	74,5	41,6	75,7	68,7	79,0	64,0	79,3
-325	25,5	100,0	24,3	100,0	21,0	100,0	20,7	100,0

	Ensaio 22		Ensaio 23	
	ATPEG 1000		ATPEG 1000	
	24 minutos		18 minutos	
+ 48	* 0,0	0,0	0,2	0,2
+ 65	1,2	1,2	2,6	2,8
+100	8,9	10,1	15,0	17,8
+325	67,4	77,5	60,8	78,6
-325	22,5	100,0	21,4	100,0

Legenda	
% ret.	% acum.

TABELA 7c
RESULTADOS DOS ENSAIOS DA TERCEIRA FASE

5.3. Gráficos

A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados, foram elaborados os seguintes gráficos descritos abaixo:

gráfico 1 - % em massa retida nas frações granulométricas versus relação água/sólidos da polpa,

gráfico 2 - % em massa retida nas frações granulométricas versus o número de monômeros do reagente ATPEG 1000 presente na polpa,

gráfico 3 - % em massa retida nas frações granulométricas versus a dosagem de ATPEG 1000 (g/t) presente na polpa,

gráfico 4 - % em massa retida nas frações granulométricas versus a % de sólidos da polpa,

gráfico 5 - % em massa retida nas frações granulométricas versus tempo de moagem,

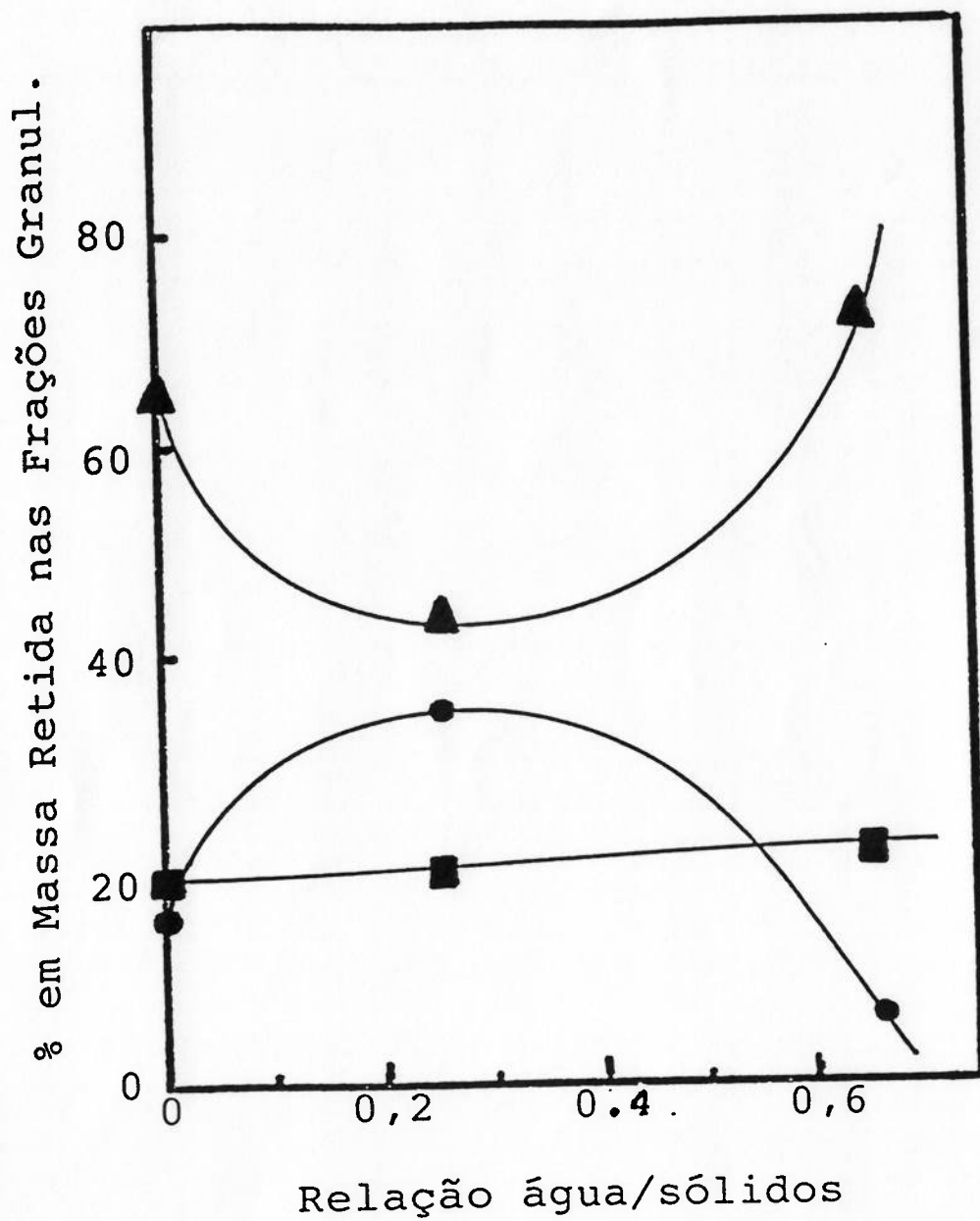
gráfico 6 - % em massa retida nas frações granulométricas versus a massa de minério alimentada,

gráfico 7 - % em massa retida nas frações granulométricas versus a dosagem de ARMAC C (g/t) presente na polpa,

gráfico 8 - % em massa retida nas frações granulométricas versus pH inicial da polpa.

Estes gráficos podem ser observados nas próximas páginas e serão analisados no item 6 (discussão).

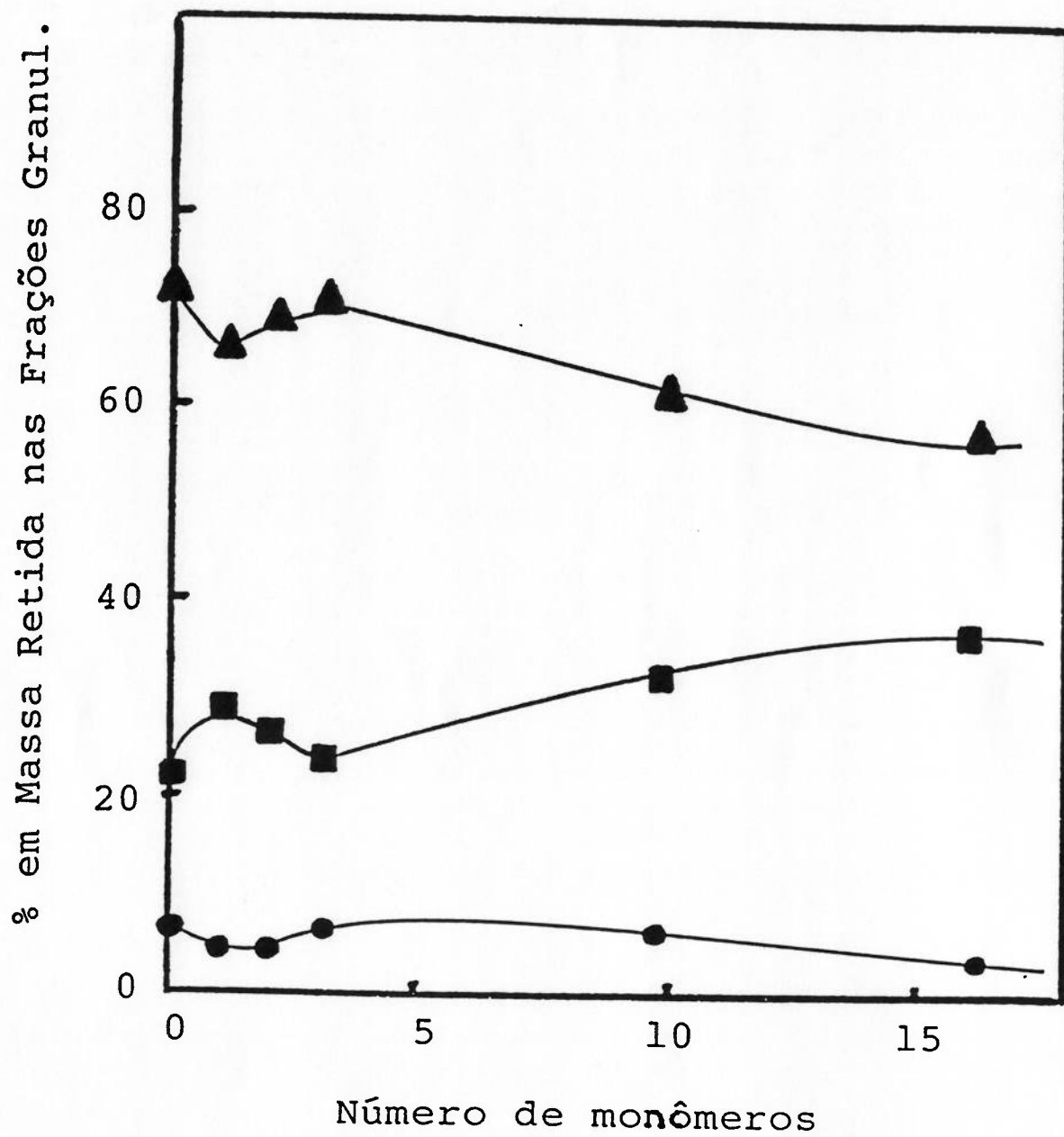
GRÁFICO 1



Legenda

- + 100 mesh
- ▲ - 100 + 325 mesh
- - 325 mesh

GRÁFICO 2

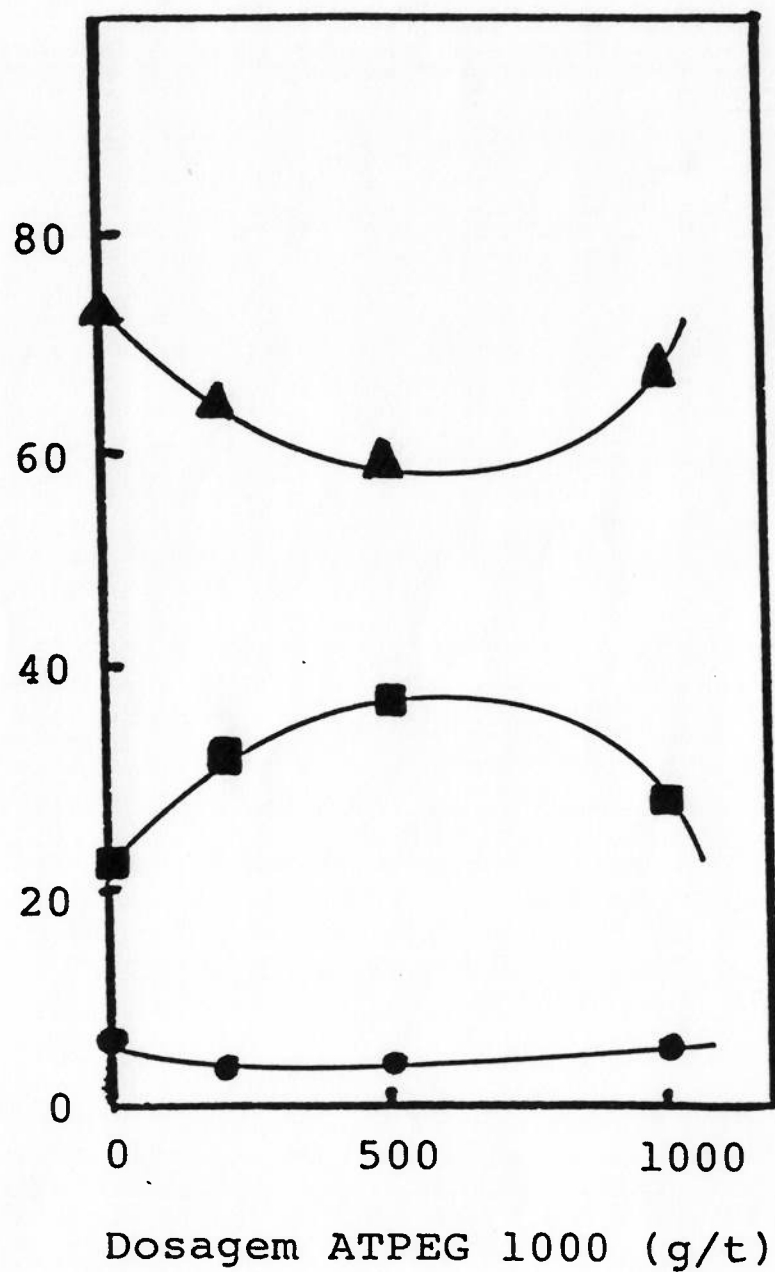


Legenda

- + 100 mesh
- ▲ - 100 + 325 mesh
- - 325 mesh

GRÁFICO 3

% em Massa Retida nas Frações Granul.

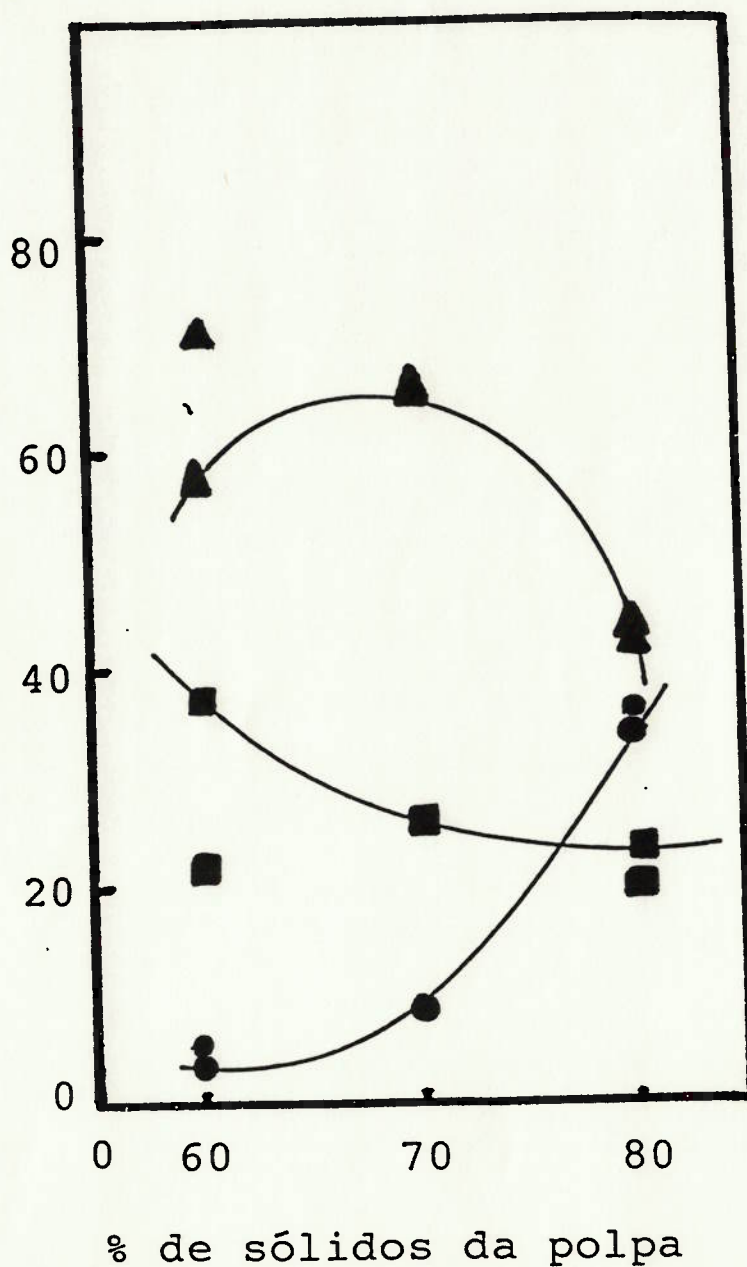


Legenda

- + 100 mesh
- ▲ - 100 + 325 mesh
- - 325 mesh

GRÁFICO 4

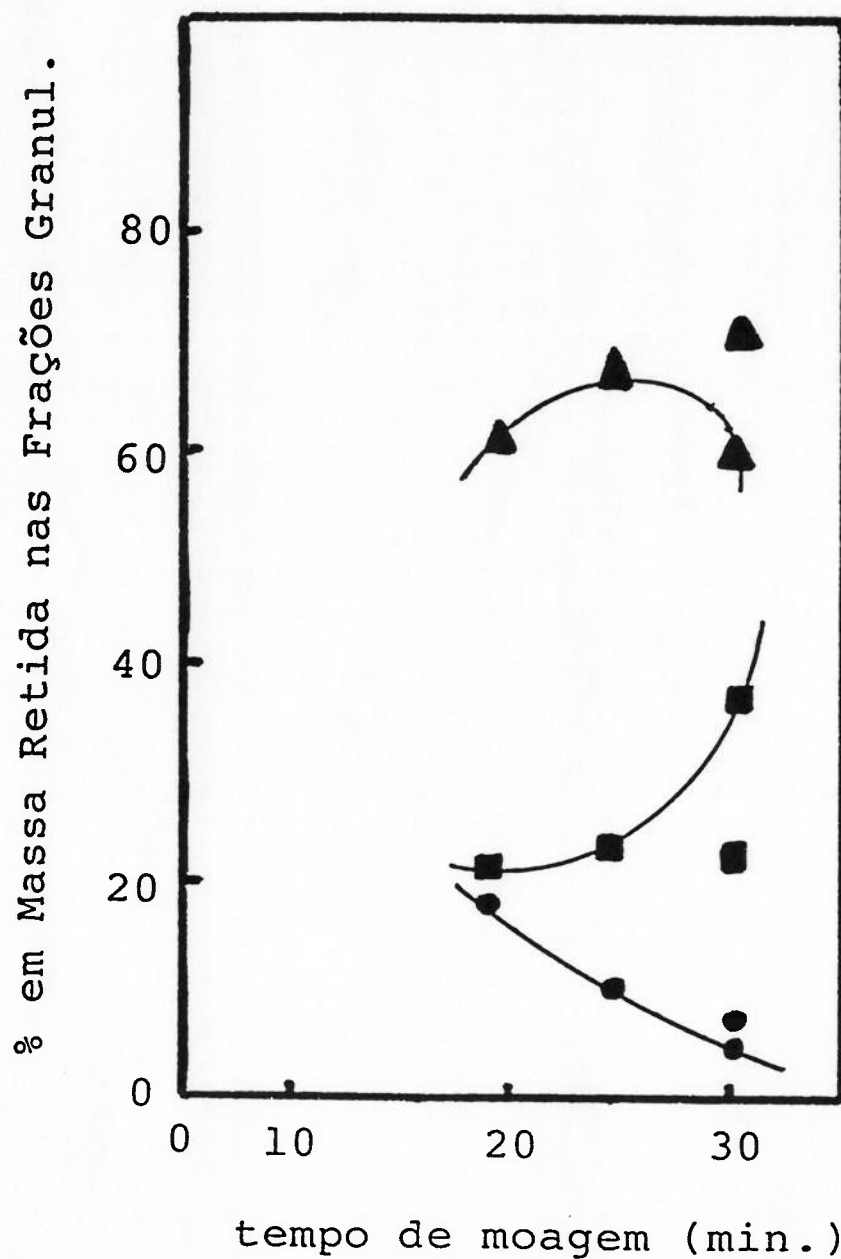
% em Massa Retida nas Frações Granul.



Legenda

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| ● + 100 mesh com aditivo | ● + 100 mesh sem aditivo |
| ▲ - 100 + 325 mesh com aditivo | ▲ - 100 + 325 mesh sem aditivo |
| ■ - 325 mesh com aditivo | ■ - 325 mesh sem aditivo |

GRÁFICO 5

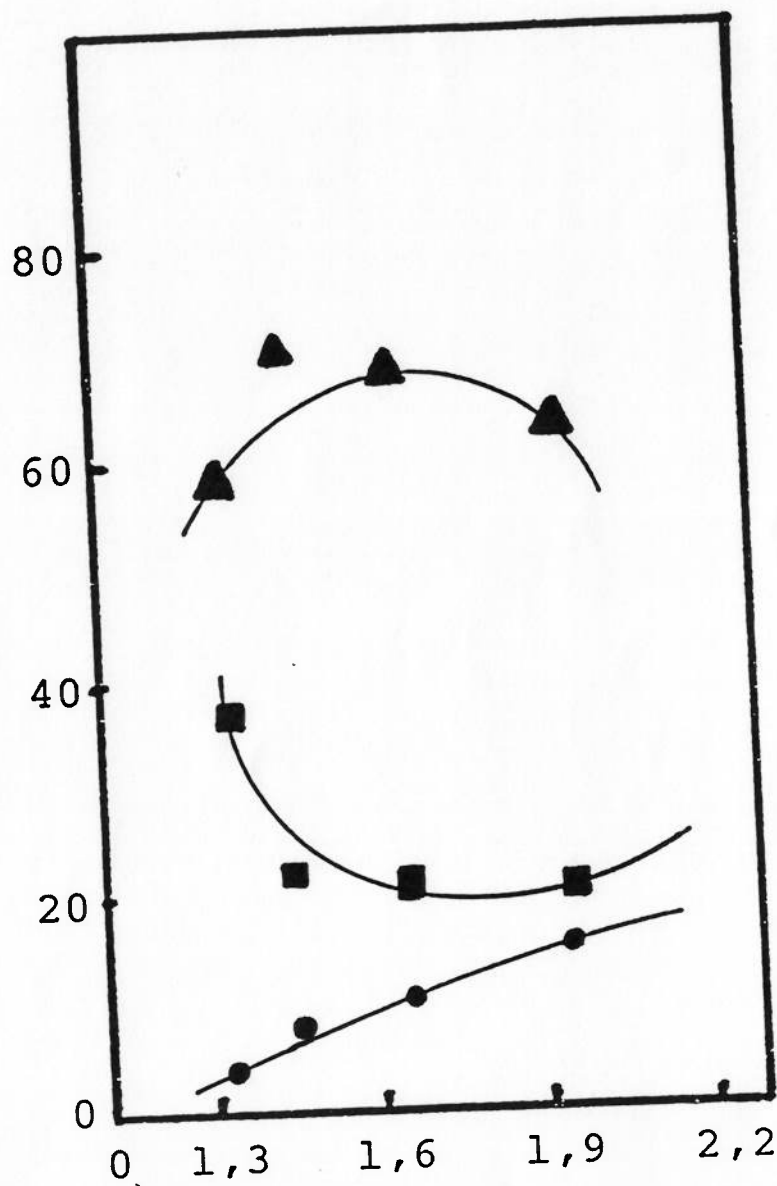


Legenda

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| ● + 100 mesh com aditivo | ● + 100 mesh sem aditivo |
| ▲ - 100 + 325 mesh com aditivo | ▲ - 100 + 325 mesh sem aditivo |
| ■ - 325 mesh com aditivo | ■ - 325 mesh sem aditivo |

GRÁFICO 6

% em Massa Retida nas Frações Granul.



Massa de minério (Kg)

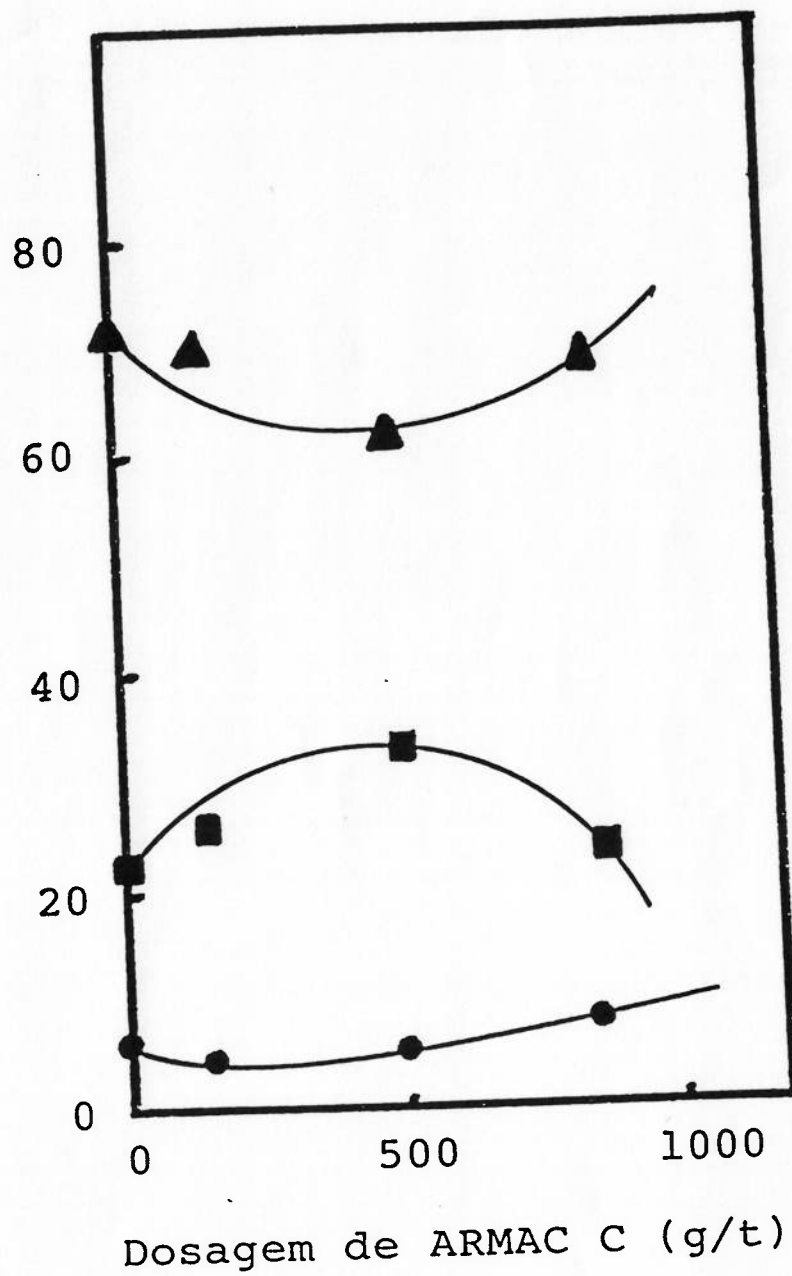
Legenda

- + 100 mesh com aditivo
- ▲ - 100 + 325 mesh com aditivo
- - 325 mesh com aditivo

- + 100 mesh sem aditivo
- ▲ - 100 + 325 mesh sem aditivo
- - 325 mesh sem aditivo

GRÁFICO 7

% em Massa Retida nas Frações Granul.

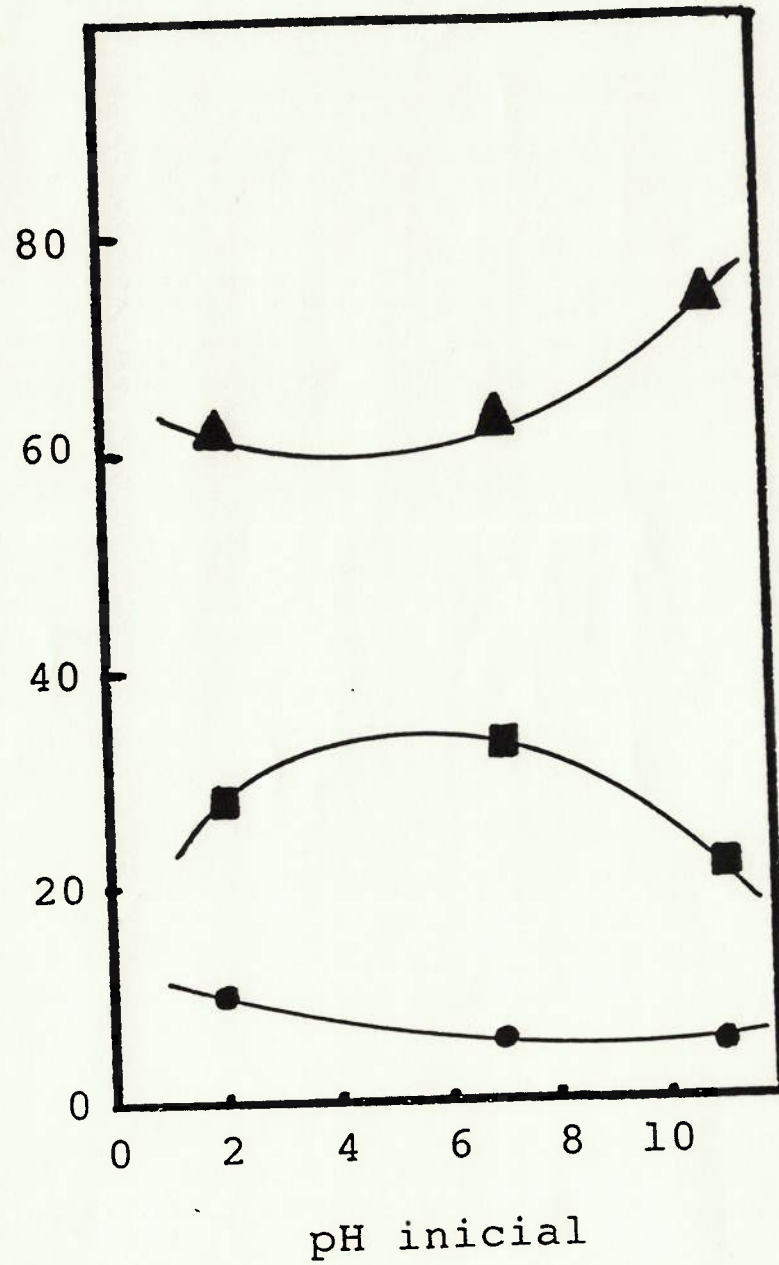


Legenda

- + 100 mesh
- ▲ - 100 + 325 mesh
- - 325 mesh

GRÁFICO 8

% em Massa Retida nas Frações Granul.



Legenda

- + 100 mesh
- ▲ - 100 + 325 mesh
- - 325 mesh

6. DISCUSSÃO

6.1. Influência da água e da concentração de sólidos na polpa.

Executando-se ensaios de moagem em diferentes proporções água/sólidos, obtiveram-se os resultados estampados no gráfico 1.

Comparando-se o comportamento das frações granulométricas mais grosseiras (+100 mesh e -100 +325 mesh) versus mais fino (-325 mesh), observa-se que a % de material fino permaneceu constante (cerca de 20%), independentemente da relação água/sólidos com que se executou a moagem; não obstante, comparando-se o desempenho das frações mais grosseiras entre si, verificou-se que com o aumento da relação água/sólidos de 0 para 0,25, a massa do produto retida em 100 mesh aumentou, enquanto que a relativa à fração -100 +325 mesh diminuiu. Com o acréscimo da relação água/sólidos de 0,25 para 0,66, verificou-se o oposto.

Em virtude destes dados, há de se convir que, dentre as três relações água/sólidos testadas, aquela que apresentou maior frequência de partículas grossas foi a relação 0,25 (80 % de sólidos p/p). Os piores resultados obtidos com 80% de sólidos poderiam estar associados a uma maior viscosidade da polpa. Uma polpa mais viscosa criaria um ambiente de moagem onde poderia ocorrer maior proteção das partículas ao choque com as bolas. Se levarmos em conta as idéias postuladas por Fuerstenau (26), poderia estar ocorrendo nesta relação água/sólidos de 0,25 uma maior centrifugação das bolas que na relação 0,66; uma vez que esta última exibiria uma menor viscosidade que a primeira.

Comparando-se o desempenho da moagem com a relação água/sólidos igual a zero (moagem a seco) versus moagem a úmido em condições ótimas de viscosidade (relação de 0,66), observou-se uma queda na massa retida nas frações mais grossas (+100 mesh) e um aumento da massa retida na fração intermediária (-100 +325 mesh). Embora a massa compreendida pela fração fina (-325 mesh) tenha permanecido constante para ambas as situações, a moagem a úmido foi capaz de gerar um produto com área específica superior. A água, neste caso, atuou como um excelente auxiliar de moagem, o que faz com que esta, seja o mais antigo auxiliar de moagem de que se tem conhecimento.

6.2. Influência de aditivos químicos no desempenho da moagem.

6.2.1. Etilenoglicóis.

A influência de aditivos químicos constituídos por mono, di ou polietileno glicóis no desempenho da moagem pode ser ilustrado através do gráfico 2. Mantendo-se constante a dosagem dos aditivos e não alterando o pH natural - $\text{pH} = (6,9 \pm 0,2)$ - da polpa, observou-se:

i. as frações granulométricas mais grosseiras (+100 mesh) retiveram 6,2% da massa do produto da moagem quando não se

utilizou etilenoglicóis. Quando estes reagentes foram utilizados, esta porcentagem, para todos os reagentes testados, caiu para a faixa de $(4,7 \pm 0,7)\%$, neste caso, o uso de tais reagentes, independentemente de sua natureza (estrutura, peso molecular, número de unidades monoméricas, etc.), não foi capaz de alterar de maneira marcante a quebra das partículas desta classe de tamanho;

ii. o produto da moagem que se concentrou nas frações granulométricas intermediárias (-100 +325 mesh) e nas finas (-325 mesh) mostrou uma variação significativa quando se passou de reagentes de menor peso molecular (número de monômeros baixo) para reagentes de maior peso molecular (número de monômeros mais alto).

A ação de tais reagentes sobre as frações intermediárias foi no sentido de lhes diminuir a % de massa retida, ocorrendo o inverso com a fração menor que 325 mesh. Estes resultados mostram que os polietilenoglicóis apresentam a capacidade de auxiliar a moagem do quartzo. Esta capacidade se mostrou tão mais evidente quanto maior foi o peso molecular exibido pela amostra.

Elegendo-se o reagente de maior peso molecular (ATPEG 1000, P.M.=1000) como o aditivo com maior capacidade de auxiliar a moagem, concentraram-se os estudos sobre tal reagente:

Estudou-se a influência da dosagem de ATPEG 1000 (gráfico 3), % de sólidos na polpa (gráfico 4), tempo de moagem (gráfico 5) e relação massa de carga moedora/massa de minério (gráfico 6).

Variando-se a dosagem de ATPEG 1000 de 0 g/t a 1000 g/t (gráfico 3), mantendo-se constantes as demais variáveis, não se observou grande diferença no comportamento da fração mais grossa (+100 mesh). A massa percentual do produto passante em 325 mesh (fração fina) aumentou de 22% para 37% quando se aumentou a dosagem de 0 g/t para 500 g/t, caindo com dosagens maiores. Um comportamento inverso foi observado para a massa percentual que ficou bitolada em -100 +325 mesh, fração intermediária. Se o objetivo da moagem fosse a geração de finos, 500 g/t de ATPEG 1000 seriam um ótimo aditivo, todavia se o objetivo fosse gerar um produto bitolado entre 100 e 325 mesh, este reagente não seria adequado, mantendo-se constantes as demais condições operacionais.

Mantendo-se a dosagem de ATPEG 1000 em 500 g/t e variando-se a % de sólidos da polpa de 60, 70 e 80%, sem aumentar a relação mássica carga moedora/minério, observou-se um grande aumento da massa de minério retida na fração +100 mesh do produto quando se passou de 60 para 80% de sólidos. Neste caso, a presença do aditivo não mostrou efeito sobre o produto da moagem, haja visto os resultados obtidos com e sem a utilização de ATPEG 1000 estampados no gráfico 4. A mais alta viscosidade exibida pelas polpas mais densas foi preponderante sobre a atuação do aditivo químico. Deve-se notar entretanto, que a distribuição granulométrica da moagem a 70 % de sólidos com aditivo foi muito semelhante a distribuição granulométrica da moagem a 60 % de sólidos sem aditivo. Este fato demonstra que com o uso de aditivo é possível obter-se o mesmo produto de uma moagem sem aditivo, para polpas mais densas (maior % de sólidos):

No gráfico 5, apresenta-se a influência do tempo de moagem sobre o desempenho do processo. Utilizando-se 500 g/t de aditivo, verificou-se que a massa de produto que exibía granulometria mais grosseira (+100 mesh) diminuiu com o aumento do tempo de moagem, o que era de se esperar. Comportamento inverso exibiu a fração granulométrica mais fina (-325 mesh) do produto. Ainda no gráfico 5 pode-se observar a notável diferença de desempenho da moagem na presença e na ausência de aditivo de moagem. Para um tempo de moagem de 30 minutos, a massa de finos (-325 mesh) gerada nos ensaios de moagem com aditivo foi muito maior que nos ensaios sem aditivo (37% X 22%), o que corrobora sua influência sobre o sistema. Deve-se notar que a distribuição granulométrica do produto da moagem de 24 minutos com aditivo, foi bem parecida com a distribuição do produto da moagem de 30 minutos sem aditivo. Este fato demonstra que é possível obter-se o mesmo produto de moagens sem aditivo em moagens de menor tempo de duração com o auxílio de aditivo.

Aumentando a massa de minério dos ensaios de moagem sem alterar a massa dos corpos moedores e a % de sólidos da polpa, obtiveram-se os resultados reportados no gráfico 6, onde se pode constatar que a utilização do auxiliar de moagem ATPEG 1000 foi capaz de produzir material com granulometria semelhante nos ensaios sem aditivo, só que com uma capacidade 15% superior. Tais resultados apontam uma aplicação muito nobre e útil para os reagentes da família dos polietilenoglicóis.

6.2.2. Amina Graxa

Partindo do princípio de que uma redução da energia livre interfacial de sólidos pode favorecer a quebra de suas partículas, a utilização de agentes tensoativos na interface quartzo/solução seria capaz de reduzir tal energia e, como consequência, proporcionar maior eficiência ao processo de moagem.

Aminas graxas são agentes tensoativos catiônicos que são largamente utilizados em escala industrial sempre que os processos exigem a formação de um filme de agentes tensoativos na interface quartzo/solução. Sua mais conhecida aplicação é na flotação catiônica do quartzo, onde as aminas atuam como agentes coletores.

Mantendo-se constantes todas as variáveis operacionais dos ensaios de moagem e variando-se a concentração do reagente ARMAC C, obtiveram-se os resultados estampados no gráfico 7. Este gráfico mostra que a dosagem de 500g/t foi aquela que produziu maior quantidade de material com granulometria inferior a 325 mesh. Este resultado é ligeiramente inferior ao obtido com ATPEG 1000 na dosagem de 500 g/t e muito semelhante ao obtido com ATPEG 1000 com 200 g/t.

Partindo do princípio de que: i. a adsorção de moléculas de amina em quartzo é fundamentalmente de natureza eletrostática, moléculas do tensoativo positivamente carregadas são atraídas por sítios da interface quartzo solução negativamente carregadas; ii. os íons H e OH são capazes de determinar a carga de superfície deste mineral. Executaram-se ensaios de moagem com pH

inicial na faixa ácida (pH 2), neutra (pH 7) e básica (pH 11). Os resultados são apresentados no gráfico 8, onde se verifica que o pH neutro foi aquele que apresentou maior capacidade de gerar finos, enquanto que o pH básico foi aquele que aumentou consideravelmente o conteúdo de partículas na fração granulométrica intermediária.

Ensaio de determinação do ponto de carga zero (PCZ) do quartzo pelo método de Mullar-Roberts mostraram que a reversão da carga deste mineral de positiva para negativa se dá em pH de aproximadamente 2. Consequentemente, nos ensaios de moagem executados em pH 7 e pH 11, o quartzo apresentava carga superficial negativa, o que estaria favorecendo a adsorção de amina. Cumpre notar que os etilenoglicóis são reagentes não iônicos e apresentaram resultados mais promissores que a amina.

6.2.3. Misturas amina/polietilenoglicol

Ensaio de moagem executados com a mistura ARMAC C / ATPEG 1000 nas proporções 500g/t : 500g/t e 250g/t : 250g/t, mantendo-se constantes as demais variáveis, não demonstraram resultados melhores do que os resultados obtidos com o uso de cada um dos reagentes separadamente, como podem ser observados na tabela 8, abaixo. Assim notamos que não ocorreu efeito sinérgico dos dois reagentes em relação a produção de partículas finas (-325 mesh).

* % retida nas frações gr.*				

* dosagem dos reagentes	* +100	* -100	+325	* -325 *

* ARMAC C + ATPEG 1000 (250 g/t cada)	* 6,2	* 68,3		* 25,5 *
* *	* *			* *
* ARMAC C + ATPEG 1000 (500 g/t cada)	* 6,6	* 60,9		* 32,5 *
* *	* *			* *
* ARMAC C (500 g/t)	* 5,2	* 62,1		* 32,8 *
* *	* *			* *
* ATPEG 1000 (500g/t)	* 4,0	* 58,6		* 37,4 *

tabela 8

7. CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos nos diversos ensaios, conclui-se que:

i. A moagem a úmido do quartzo é capaz de gerar um produto com maior área específica em relação ao produto gerado pela moagem a seco nas mesmas condições, o que demonstra a maior eficiência da moagem do material na presença de água. Quanto à % de sólidos da polpa, constata-se que a partir de uma % de sólidos ótima (relação água/sólidos = 0,66), a eficiência do moinho começa a decair, indicando novamente a grande influência exercida pela água durante a moagem.

ii. As novas condições de moagens testadas alterando-se o ambiente físico-químico no interior do moinho, através da adição de reagentes químicos (etilenoglicóis, amina, reguladores de pH), proporcionam produtos de moagem diferentes daqueles obtidos sem a utilização destes reagentes, dando a entender que de alguma forma eles atuam nos mecanismos responsáveis pela quebra da partícula, podendo interferir em benefício da operação.

iii. Todos os reagentes utilizados com a pretensão de proporcionar uma melhor moagem (maior quantidade de finos e áreas de superfície geradas), foram eficientes neste aspecto, podendo ser considerados, por definição, como auxiliares de moagem para a moagem de quartzo, pois na presença dos mesmos obteve-se uma maior produção de partículas finas (-325 mesh) em condições idênticas de moagem. Ou seja, para a mesma taxa de alimentação, a moagem com aditivo produz mais finos do que a moagem na ausência do mesmo.

iv. No caso dos reagentes da família dos etilenoglicóis, a partir de pesos moleculares acima de certo valor (+- 400), a moagem só tende a melhorar (tornar-se mais eficiente com maior geração de finos) com o aumento do peso molecular do reagente.

v. Nas moagens em presença de amina o pH do meio é um fator de influência decisivo nos resultados, demonstrando que em pH mais próximo ao do ponto de carga zero do quartzo a eficiência da moagem aumenta.

vi. Não ocorre efeito sinérgico da amina e do polietilenoglicol na geração de partículas finas (-325 mesh), quando misturas destes reagentes foram adicionadas ao moinho.

vii. Para moagem de quartzo, reagentes não iônicos (etilenoglicóis) são mais eficientes que reagentes iônicos (amina).

viii. Com a utilização do auxiliar de moagem ATPEG 1000, na dosagem de 500g/t, é possível obter-se a mesma qualidade do produto da moagem, em termos de distribuição granulométrica, ao utilizar o aditivo em uma quantidade alimentada (massa ou % de

sólidos) de minério superior à quantidade alimentada sem o aditivo (nas mesmas condições de moagem).

ix. Com a utilização do auxiliar de moagem ATPEG 1000, na dosagem de 500g/t, obtém-se o mesmo produto, em termos de distribuição granulométrica, de uma moagem sem aditivo, só que com um tempo de moagem menor.

Dessa forma, acredita-se que a combinação positiva do aumento da massa de alimentação, aumento da % de sólidos da alimentação e a diminuição do tempo de moagem; ou apenas a variação de um desses parâmetros (como foi feita no presente trabalho), poderá aumentar a produção da operação em moagens com aditivo, trazendo um real benefício para a operação, aumentando sua eficiência.

8. SUGESTÕES

Para se avaliar o verdadeiro efeito dos reagentes no processo de moagem, é preciso que se faça uma análise quantitativa mais abrangente dos parâmetros físico-químicos do meio no interior do moinho, como por exemplo, controle e medidas de pH, tensão superficial, temperatura, composição química da solução, força iônica, energia de superfície, viscosidade e etc. Para tanto, sugere-se ensaios onde estes parâmetros possam ser estimados e examinados, para que se compreenda melhor o meio de atuação destes aditivos durante a moagem.

Para dar continuidade ao presente trabalho, sugere-se:

- i. ensaios com reagentes de maior peso molecular para verificar a eficiência dos mesmos na operação,
- ii. ensaios com ATPEG 1000 onde se combine diversos valores de % de sólidos, massa de alimentação e tempo de moagem, para que se encontre a melhor forma (mais eficiente e produtiva) de se conseguir a mesma distribuição granulométrica do produto da moagem sem aditivos,
- iii. ensaios com amina em diferentes pH para se estudar melhor o seu efeito durante a moagem.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) REHBINDER, P. A.
"On the effect of surface energy changes on cohesion, hardness, and other properties of crystals".
Proc. Sixth Phys. Congr., State Press., Moscow, 29 (1928).
- 2) ROSE, H. E. e SULIVAN, R. M. E.
"A treatise of internal mechanisms of ball tube and rod mill".
Chemical Pub. Co., N. York, N.Y., 1958.
- 3) ENGELHARDT, W. V.
"Untersuchungen Uber die Schleifharte des quartzes and anders fester stoffe in verchiedenen flussigkeiten".
Nachr. Akad. Wiss. Gottingen, Math. Phys. Kl., N.2 (1942).
- 4) ENGELHARDT, W. V.
"Naturwissenschaften", 33, 195-203 (1946).
- 5) WESTWOOD, A. R. C. e LATANISION, R. M.
"Environment-sensitive machining behavior of non-metals", in "Science of ceramic machining and surface frothing".
NBS monograph, 1972.
- 6) WESTWOOD, A. R. C.
Research Institute for Advanced Studies, Martin Marietta Corp., Baltimore, USA, Annual Rept. pp 15-17 (1968).
- 7) WESTWOOD, A. R. C. e GOLDHEIM, D. L.
Amer. Ceram. Soc., 53, 142-7 (1970).
- 8) SOMASUNDARAN, P. e LIN, I. J.
"Effect of the nature of environment on comminution processes".
Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., vol.11, N.3, (1972).
- 9) LOCHER, F. W. e SEEBACH, H. M.
"Influence of adsorption on industrial grinding".
Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., vol.11, N.2, (1972).
- 10) RUMPF, H.
ibid., 31, 697-705 (1959).
- 11) BOYD, G. E. e LIVINGSTON, H. K.
J. Amer. Chem. Soc., 64, 2383-8 (1942).

- 12) NURSE, R. W.
Proc. 9th Conf. of Silicate Ind., pp 129-41,
Publ. House Hung. Acad. of Science, Budapest, Hungria
(1968)
- 13) HAMMOND, M. L. e RAVITZ, S. F.
J. Amer. Ceram. Soc., 46, 329-32 (1963).
- 14) IRWIN, G.
U. S. Naval Research Laboratories
Memorandum Rept. 1678, 1966.
- 15) SCHONERT, K., UMHAUER, H. e KLEMM, W.
" The influence of temperature and environment on the
slow crack propagation in glass".
Presented at 2nd Conference on Fracture, Brighton,
England, April 16-18, 1969.
- 16) WIEDERHORN, S. M.
ibid., 50, 404-14 (1967).
- 17) ENGELHARDT, W. V. e HAUSSUHL, S.
Fortschr. Mineralog., 42, 5-49 (1965)
- 18) DUDA, W. H.
"Cement data book".
Bauverlag, 1976.
- 19) SZANTHO, E., Z.
"Erzbergbau Metallhuettenw", 2, 353-60 (1942).
- 20) GILBERT, L. A. e HUGES, T. H.
"Some experiments in additive grinding"
Symp. Zerkleinern 1, Verlag Chem., Dusseldorf, Germany,
170-93 (1962).
- 21) SOMASUNDARAN, P., HEALY, T. W. e FUERSTENAU, D. W.
"J. colloid interface sci., 22, 559 (1966).
- 22) MALATI, M. A., YOUSEF, A. A. e ARAFA, M. A.
"Powder technol., 2, 21-6 (1968).
- 23) SNOW, R. H.
Ind. Eng. Chem., 62 (1), 36-43 (1970).
- 24) OPOCZKY, L.
"Epitoanyag", 19, 121-5 (1967).
- 25) SCHNEIDER, H.
Zem. kalk-gips, 22, 193-201 (1969).

- 26) FUERSTENAU, D. W. e VELAMAKANNI, B. V.
"Effect of chemical additives on the dynamics of grinding media in wet ball mill grinding".
International Journal of Mineral Processing, 15 (1985).
- 27) OTANI, T.
"Padrão de operação N.15 - operação de moagem".
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT - Divisão de Tratamento de Minérios - DITRAM.
- 28) SOMASUNDARAN, P. e MOUDGIL, B. M.
"Reagents in mineral technology".
Surfactant Science Series, vol 23.
New York, 1987.
- 29) TAGGART, F. A.
"Handbook of Mineral Dressing".
New York, 1945.
- 30) FUERSTENAU, D. W., KAPUR, P. C. e VELAMAKANNI, B.V.
"A multi-torque model for effects of dispersants on slurry viscosity on ball milling".
International Journal of Mineral Processing, 28 (1990).
- 31) LEJA, J.
"Surface chemistry of froth flotation".
Plenum Press, N. York, (1982).
- 32) KLIMPEL, R. e SAMUELS, R.
"Chemical additives for improving the wet grinding of ores".
Presented at 1979 Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors.
- 33) KLIMPEL, R. e MANFROY, W.
"Chemical grinding aids for increasing throughput in the wet grinding of ores".
Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., vol.17, N.4, (1978).
- 34) KATZER, M., KLIMPEL, R. e SEWELL, J.
"Example of the laboratory characterization of grinding aids in wet grinding of ores".
Mining Engineering, october 1981.
- 35) BERALDO, J. L.
"Moagem de minérios em moinhos tubulares".
Editora Edgard Blucher Ltda., 1987.

ANEXO 1

RESULTADOS DOS ENSAIOS

Apresentam-se abaixo as condições e os resultados detalhados de cada ensaio:

```
*****
*
*                               ENSAIO 1
*
*  moagem a seco
*  massa da amostra - 1.448,8 g
*  tempo de moagem  - 30 min.
*
*
*  distribuição granulométrica após a moagem
*
*  *****
*  * malha * % retida * % retida acumulada *
*  * +48  * 0,1 * 0,1 *
*  * +65  * 2,3 * 2,4 *
*  * +100 * 13,8 * 16,2 *
*  * +325 * 64,7 * 80,9 *
*  * -325 * 19,1 * 100,0 *
*  * *****
*****
```

```
*****
*
*                               ENSAIO 2
*
*  moagem a úmido
*  massa da amostra - 1.465 g
*  tempo de moagem  - 30 min.
*  % sólido - 60 %
*  pH - 6,6
*  volume de água - 976,7 ml
*
*
*  distribuição granulométrica após a moagem
*
*  *****
*  * malha * % retida * % retida acumulada *
*  * +48  * 0,0 * 0,0 *
*  * +65  * 0,5 * 0,5 *
*  * +100 * 5,7 * 6,2 *
*  * +325 * 71,7 * 77,9 *
*  * -325 * 22,1 * 100,0 *
*  * *****
*****
```

```

*****
*
*                               ENSAIO 3
*
*  moagem a úmido
*  massa da amostra - 1.347 g
*  tempo de moagem  - 30 min.
*  % sólido - 80 %
*  pH - 7,1
*  volume de água - 336,8 ml
*
*
*  distribuição granulométrica após a moagem
*
*  *****
*  * malha * % retida * % retida acumulada *
*  * +48 * 8,7 * 8,7 *
*  * +65 * 12,2 * 20,9 *
*  * +100 * 14,7 * 35,6 *
*  * +325 * 44,3 * 79,9 *
*  * -325 * 20,1 * 100,0 *
*  * *****
*****

```

```

*****
*
*                               ENSAIO 4
*
*  moagem a úmido                               reagente - MEG
*  massa da amostra - 1.370 g
*  tempo de moagem  - 30 min.
*  % sólido - 60 %
*  pH - 7,0
*  volume de água - 913,3 ml
*  concentração do reagente - 500 g/t de minério
*  massa de reagente - 0,685 g
*
*
*  distribuição granulométrica após a moagem
*
*  *****
*  * malha * % retida * % retida acumulada *
*  * +48 * 0,0 * 0,0 *
*  * +65 * 0,2 * 0,2 *
*  * +100 * 4,0 * 4,2 *
*  * +325 * 66,4 * 70,6 *
*  * -325 * 29,4 * 100,0 *
*  * *****
*****

```

ENSAIO 5

moagem a úmido reagente - DEG
 massa da amostra - 1.347,0 g
 tempo de moagem - 30 min.
 % sólido - 60 %
 pH - 6,8
 volume de água - 898,0 ml
 concentração do reagente - 500 g/t de minério
 massa de reagente - 0,674 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 0,0 *	* 0,0 *
* +65 *	* 0,2 *	* 0,2 *
* +100 *	* 4,0 *	* 4,2 *
* +325 *	* 69,1 *	* 73,3 *
* -325 *	* 26,7 *	* 100,0 *

ENSAIO 6

moagem a úmido reagente - ATPEG 200
 massa da amostra - 1.434,0 g
 tempo de moagem - 30 min.
 % sólido - 60 %
 pH - 6,7
 volume de água - 956,0 ml
 concentração do reagente - 500 g/t de minério
 massa de reagente - 0,717 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 0,0 *	* 0,0 *
* +65 *	* 0,4 *	* 0,4 *
* +100 *	* 5,0 *	* 5,4 *
* +325 *	* 70,4 *	* 75,8 *
* -325 *	* 24,2 *	* 100,0 *

ENSAIO 7

moagem a úmido reagente - ATPEG 600
 massa da amostra - 1.431,8 g
 tempo de moagem - 30 min.
 % sólido - 60 %
 pH - 6,8
 volume de água - 954,5 ml
 concentração do reagente - 500 g/t de minério
 massa de reagente - 0,720 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 0,0 *	* 0,0 *
* +65 *	* 0,4 *	* 0,4 *
* +100 *	* 5,1 *	* 5,5 *
* +325 *	* 61,7 *	* 67,2 *
* -325 *	* 32,8 *	* 100,0 *

ENSAIO 8

moagem a úmido reagente - ATPEG 1000
 massa da amostra - 1.323,0 g
 tempo de moagem - 30 min.
 % sólido - 60 %
 pH - 7,2
 volume de água - 882,0 ml
 concentração do reagente - 500 g/t de minério
 massa de reagente - 0,662 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 0,0 *	* 0,0 *
* +65 *	* 0,2 *	* 0,2 *
* +100 *	* 3,8 *	* 4,0 *
* +325 *	* 58,6 *	* 62,6 *
* -325 *	* 37,4 *	* 100,0 *

```
*****
```

ENSAIO 9

moagem a úmido reagente - ARMAC C
massa da amostra - 1.349,6 g
tempo de moagem - 30 min.
% sólido - 60 %
pH - 7,1
volume de água - 899,7 ml
concentração do reagente - 500 g/t de minério
massa de reagente - 0,675 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	% retida	% retida acumulada
+48	0,0	0,0
+65	0,4	0,4
+100	4,8	5,2
+325	62,1	67,3
-325	32,8	100,0

```
*****
```

```
*****
```

ENSAIO 10

moagem a úmido reagente - ARMAC C
massa da amostra - 1.445,5 g
tempo de moagem - 30 min.
% sólido - 60 %
pH - 6,8
volume de água - 963,7 ml
concentração do reagente - 150 g/t de minério
massa de reagente - 0,220 g

distribuição granulométrica após a moagem

```
*****
```

* malha *	% retida	% retida acumulada
+48	0,0	0,0
+65	0,3	0,3
+100	4,1	4,4
+325	70,1	74,5
-325	25,5	100,0

```
*****
```

ENSAIO 11

moagem a úmido reagente - ARMAC C
 massa da amostra - 1.477,8 g
 tempo de moagem - 30 min.
 % sólido - 60 %
 pH - 7,2
 volume de água - 984,7 ml
 concentração do reagente - 850 g/t de minério
 massa de reagente - 1,255 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 0,0 *	* 0,0 *
* +65 *	* 1,0 *	* 1,0 *
* +100 *	* 6,9 *	* 7,9 *
* +325 *	* 68,6 *	* 76,5 *
* -325 *	* 23,5 *	* 100,0 *

ENSAIO 12

moagem a úmido reagente - ARMAC C
 massa da amostra - 1.417,2 g
 tempo de moagem - 30 min.
 % sólido - 60 %
 pH inicial - 2,0
 pH final - 6,5
 volume de água - 944,8 ml
 concentração do reagente - 500 g/t de minério
 massa de reagente - 0,709 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 0,0 *	* 0,0 *
* +65 *	* 0,6 *	* 0,6 *
* +100 *	* 9,0 *	* 9,6 *
* +325 *	* 62,6 *	* 72,2 *
* -325 *	* 27,8 *	* 100,0 *

*

*

ENSAIO 13

*

moagem a úmido reagente - ARMAC C

massa da amostra - 1.413,6 g

tempo de moagem - 30 min.

% sólido - 60 %

pH inicial - 11,0

pH final - 8,5

volume de água - 942,4 ml

concentração do reagente - 500 g/t de minério

massa de reagente - 0,707 g

*

*

distribuição granulométrica após a moagem

*

* malha * % retida * % retida acumulada *

* +48 * 0,0 * 0,0 *

* +65 * 0,5 * 0,5 *

* +100 * 4,5 * 5,0 *

* +325 * 74,0 * 79,0 *

* -325 * 21,0 * 100,0 *

*

ENSAIO 14

*

moagem a úmido reagente - ATPEG 1000

massa da amostra - 1.424,3 g

tempo de moagem - 30 min.

% sólido - 60 %

pH - 7,0

volume de água - 949,5 ml

concentração do reagente - 1.000 g/t de minério

massa de reagente - 1,420 g

*

*

distribuição granulométrica após a moagem

*

* malha * % retida * % retida acumulada *

* +48 * 0,0 * 0,0 *

* +65 * 0,4 * 0,4 *

* +100 * 4,8 * 5,2 *

* +325 * 66,8 * 72,0 *

* -325 * 28,0 * 100,0 *

ENSAIO 17

moagem a úmido massa da amostra - 1.391,5 g tempo de moagem - 30 min. % sólido - 60 % pH - 7,0 volume de água - 927,7 ml concentração de cada reagente - 250 g/t de minério massa de reagente - 0,348 g	reagentes - ARMAC C + ATPEG 1000
--	--

distribuição granulométrica após a moagem

malha	% retida	% retida acumulada
+48	0,0	0,0
+65	0,5	0,5
+100	5,7	6,2
+325	68,3	74,5
-325	25,5	100,0

```
*****
```

ENSAIO 18

moagem a úmido reagente - ATPEG 1000
massa da amostra - 1.455,0 g
tempo de moagem - 30 min.
% sólido - 70 %
pH - 7,1
volume de água - 623,6 ml
concentração do reagente - 500 g/t de minério
massa de reagente - 0,727 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha *	% retida	% retida acumulada
+48	0,0	0,0
+65	0,7	0,7
+100	7,9	8,6
+325	65,9	74,5
-325	25,5	100,0

```
*****
```

```
*****
```

ENSAIO 19

moagem a úmido reagente - ATPEG 1000
massa da amostra - 1.378,0 g
tempo de moagem - 30 min.
% sólido - 80 %
pH - 7,0
volume de água - 344,5 ml
concentração do reagente - 500 g/t de minério
massa de reagente - 0,690 g

distribuição granulométrica após a moagem

```
*****
```

* malha *	* % retida *	* % retida acumulada *
* +48 *	* 8,5 *	* 8,5 *
* +65 *	* 10,4 *	* 18,9 *
* +100 *	* 15,2 *	* 34,1 *
* +325 *	* 41,6 *	* 75,7 *
* -325 *	* 24,3 *	* 100,0 *

```
*****
```

```
*****
```

	ENSAIO 20	
moagem a úmido		reagente - ATPEG 1000
massa da amostra - 1.680,0 g		
tempo de moagem - 30 min.		
% sólido - 60 %		
pH - 7,0		
volume de água - 1.120,0 ml		
concentração do reagente - 500 g/t de minério		
massa de reagente - 0,840 g		

```
*****
```

distribuição granulométrica após a moagem				

* malha *	% retida	* % retida acumulada *		
* +48 *	0,0	0,0	*	
* +65 *	1,2	1,2	*	
* +100 *	9,1	10,3	*	
* +325 *	68,7	79,0	*	
* -325 *	21,0	100,0	*	

```
*****
```

```
*****
*
*
*          ENSAIO 21
*
* moagem a úmido                      reagente - ATPEG 1000
* massa da amostra - 1.960,0 g
* tempo de moagem   - 30 min.
* % sólido - 60 %
* pH - 7,1
* volume de água - 1.306,7 ml
* concentração do reagente - 500 g/t de minério
* massa de reagente - 0,980 g
*
*
*      distribuição granulométrica após a moagem
*
* *****
* malha    *   % retida   *   % retida acumulada   *
* +48      *       0,1    *           0,1        *
* +65      *       2,3    *           2,4        *
* +100     *      12,9    *          15,3       *
* +325     *      64,0    *          79,3       *
* -325     *      20,7    *         100,0      *
* *****
*****
```

```
*****
```

```
*                                     *
```

```
*                                     *
```

```
*                                     *
```

```
*                                     *
```

```
*      moagem a úmido                      reagente - ATPEG 1000
```

```
*      massa da amostra - 1.400,0 g
```

```
*      tempo de moagem   - 24 min.
```

```
*      % sólido          - 60 %
```

```
*      pH                - 7,1
```

```
*      volume de água    - 933,3 ml
```

```
*      concentração do reagente - 500 g/t de minério
```

```
*      massa de reagente - 0,700 g
```

```
*                                     *
```

```
*                                     *
```

```
*      distribuição granulométrica após a moagem
```

```
*                                     *
```

```
*      *****
```

```
*      * malha * % retida * % retida acumulada *
```

```
*      * +48 * 0,0 * 0,0 *
```

```
*      * +65 * 1,2 * 1,2 *
```

```
*      * +100 * 8,9 * 10,1 *
```

```
*      * +325 * 67,4 * 77,5 *
```

```
*      * -325 * 22,5 * 100,0 *
```

```
*      *****
```

```
*      *****
```

ENSAIO 23

reagente - ATPEG 1000

moagem a úmido
massa da amostra - 1.400,0 g
tempo de moagem - 18 min.
% sólido - 60 %
pH - 7,0
volume de água - 933,3 ml
concentração do reagente - 500 g/t de minério
massa de reagente - 0,700 g

distribuição granulométrica após a moagem

* malha	* % retida	* % retida acumulada	*	
* +48	* 0,2	* 0,2	*	
* +65	* 2,6	* 2,8	*	
* +100	* 15,0	* 17,8	*	
* +325	* 60,8	* 78,6	*	
* -325	* 21,4	* 100,0	*	
