

## CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS COM JIGUE CENTRÍFUGO KELSEY

**Jaime Henrique Barbosa da COSTA (1); Homero DELBONI JÚNIOR (2);**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará, Coordenação da Área Profissional de Mineração, Av. Almirante Barroso, 1155 - Marco - Belém - Pará, (091) 32 01 1766, e-mail: [jhcosta@ig.com.br](mailto:jhcosta@ig.com.br)

(2) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, e-mail: [hdelboni@usp.br](mailto:hdelboni@usp.br)

### RESUMO

Os objetivos principais deste trabalho foram planejar, executar e analisar os resultados de uma campanha de ensaios de concentração de minerais em um jigue centrífugo. O programa de ensaios permitiu a análise da influência de variáveis operacionais do equipamento no desempenho metalúrgico do processo de concentração. As investigações tiveram por meta estabelecer o desempenho metalúrgico por faixas granulométricas discretas tanto em termos de recuperações como de enriquecimentos.

Para tanto foi selecionado o rejeito de uma operação de concentração de minerais sulfetados polimetálicos. O método de trabalho consistiu na caracterização tecnológica do rejeito e execução dos ensaios de concentração no jigue centrífugo Kelsey variando três parâmetros principais: velocidade de rotação, frequência e amplitude de pulsação.

Os resultados dos ensaios foram analisados em termos de recuperações e enriquecimentos dos elementos de interesse, como níquel, cobre e enxofre, além de óxido de magnésio, principal contaminante dos concentrados. O desempenho da campanha de ensaios indicou valores significativos de recuperação e enriquecimento dos elementos de interesse, bem como redução importante de óxido de magnésio nos concentrados obtidos.

**Palavras-chave:** concentração densitária; concentrador centrífugo; jigue centrífugo Kelsey.

## **1. INTRODUÇÃO**

Um dos principais objetivos de pesquisas na área de concentração de minerais é a compreensão dos fenômenos envolvidos e a posterior aplicação a equipamentos e processos que resultem em incrementos de recuperação e/ou enriquecimento de circuitos industriais. Nesse contexto, o tamanho de partícula apresenta uma influência determinante nos mecanismos de separação de minerais, principalmente no âmbito das faixas de finos e ultra-finos. Análise da literatura específica indica, por exemplo, que equipamentos como jiges, mesas e espirais apresentam recuperações decrescentes com a diminuição do tamanho da partícula e que a partir de 50  $\mu\text{m}$  não ocorre concentração alguma. Minerais úteis com tais granulometrias são encontrados também em rejeitos em quantidades significativas. Os processos físico-químicos tais como flotação e floculação vêm sendo empregados no beneficiamento desses finos, contudo, nem sempre são eficientes e, dependendo do valor agregado ao minério, podem tornar-se economicamente inviáveis. Outra consideração importante relacionada aos rejeitos contendo finos é o impacto que tais materiais causam ao meio ambiente, causando restrições crescentes à indústria mineral. Uma alternativa no tratamento destas partículas está na nova geração de equipamentos de concentração densitária – os concentradores centrífugos. Estes equipamentos vem sendo aprimorados nas duas últimas décadas, principalmente na Austrália e Canadá, e os mecanismos explorados são baseados na separação pela ação da força centrípeta combinada com a fluidização de leitos de partículas. As principais vantagens potenciais do emprego destes equipamentos são as seguintes: simplificação do circuito de concentração, alta capacidade unitária, menores custos operacionais e de manutenção, maior segurança operacional, melhor controle operacional, maior nível de automação e principalmente, a possibilidade de tratamento de minérios em uma faixa granulométrica fina mais ampla. Os concentradores centrífugos contribuem, portanto, para a diminuição do impacto ambiental, principalmente pelo fato de não utilizarem reagentes químicos e apresentarem um baixo consumo específico de energia por tonelada processada.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos principais deste trabalho foram planejar, executar e analisar os resultados de uma campanha de ensaios de concentração de minerais em um jig centrífugo. O programa de ensaios foi planejado de forma a permitir a análise da influência de variáveis operacionais do equipamento no desempenho metalúrgico do processo de concentração. Para tanto foi selecionado o rejeito de uma operação de concentração de minerais sulfetados polimetálicos. Os resultados foram analisados à luz das observações e conclusões oriundas da etapa prévia de caracterização tecnológica do material selecionado.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Jig centrífugo Kelsey**

O jig centrífugo Kelsey foi desenvolvido na Austrália e é fabricado pela firma “Geo Logics of Australia”, encontrando-se em operação na concentração de vários tipos de finos de minerais pesados, em várias e grandes empresas de mineração, desde 1990. É um equipamento de concentração patenteado em mais de 40 países e já instalado e operando em mais de 20 usinas de concentração em todo o mundo (CLIFFORD, 1999). É um equipamento que emprega a combinação da ação centrípeta com o efeito de pulsação do leito. O jig centrífugo Kelsey foi desenvolvido, inicialmente, para a concentração dos minerais pesados contidos em areias de praia (FONSECA, 1995 apud CAMPOS, 2001). Embora reportados em publicações de caráter essencialmente comercial, foram obtidos concentrados primários dos minerais pesados (concentrado “bulk”), com recuperações em massa acima de 90% de ultrafinos de minerais pesados (80% passante em 53  $\mu\text{m}$ ), com teor de minerais pesados da ordem de 88% (CLIFFORD, 1999). O princípio de funcionamento do jig Kelsey consiste, basicamente, na combinação do mecanismo de pulsação dos jiges com a aplicação da força centrípeta, de forma semelhante à das centrífugas convencionais (GERAGHTY, 2001). O equipamento assemelha-se a um jig convencional porém montado sobre uma base que gira em alta velocidade, produzindo uma ação centrípeta que permite alterar o campo de forças sobre as partículas a serem concentradas. A ação centrípeta permite a recuperação de partículas abaixo de 40  $\mu\text{m}$  (SILVA et al., 1998). A operação do jig Kelsey consiste na alimentação do minério em polpa, com 25 a 40% de sólidos, no interior de uma câmara constituída por uma tela semelhante à existente em jiges convencionais, porém montada verticalmente. Esta câmara gira criando um campo centrípeta. Ao mesmo tempo, um outro

mecanismo realiza a pulsação do leito mediante a injeção de água na câmara interior, criando portanto uma pulsação de forma que o leito se dilate e contraia. As partículas que penetram no leito são encaminhadas às câmaras internas formando o concentrado. O material que atravessou o leito é continuamente descarregado através de pequenos orifícios. A fração que não penetrou no leito é descarregada pelo topo (SILVA et al., 1998). O equipamento tem, portanto, funcionamento contínuo.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Materiais

As amostras para realização deste trabalho foram fornecidas pela Mineração Serra da Fortaleza (MSF). Os ensaios foram realizados empregando-se o jigue centrífugo Kelsey modelo J200, fabricado pela “Geo Logic of Australia”, instalado no Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais (LTM) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo (PMI) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). O equipamento pertence à INBRÁS, companhia que representa o fabricante no Brasil.



Figura 1: Jigue centrífugo Kelsey modelo J200

### 4.2. Método

As principais etapas envolvidas nos trabalhos de pesquisa em laboratório são descritas detalhadamente nas seções que se seguem.

4.2.1 Amostragem do rejeito do circuito de flotação da MSF: as amostras foram obtidas de forma incremental, ou seja, por um período de 4 horas foram efetuadas amostragens no fluxo de rejeito da célula “scavenger” 2 do circuito de flotação da MSF. A amostra foi acondicionada em 6 tambores de 200 L e enviada para o LTM / EPUSP.

A amostragem foi conduzida no dia 23 de agosto de 2001 e a usina estava operando com uma taxa de alimentação de 84,2 t/h sendo obtidas as seguintes recuperações médias: massa 25,4%, níquel 86,5%, cobre 91,3%, enxofre 82,2% e MgO 12,5%.

4.2.2 Preparação das amostras para os ensaios em laboratório: no LTM, as amostras dos 6 tambores foram submetidas a etapas de homogeneização e quarteamento até a geração de uma alíquota reduzida, com aproximadamente 20 L, destinada aos trabalhos de caracterização. Esta amostra foi denominada de amostra cabeça.

4.2.3 Caracterização tecnológica do material: em função de trabalhos anteriores e informações da MSF foi elaborado um roteiro de procedimentos para caracterização tecnológica, conforme as etapas descritas em detalhe abaixo:

- **Análise granulométrica:** foi realizada por peneiramento a úmido com utilização das seguintes peneiras da série Tyler: 35, 65, 100, 150, 200, 270, 325, 400 e 635# que correspondem, respectivamente, às malhas 420, 210, 150, 105, 75, 53, 45, 38 e 20  $\mu\text{m}$ .

- **Separação magnética:** realizada em todas as faixas granulométricas citadas anteriormente com exceção da malha +420 $\mu$ m que não gerou massa suficiente para realização deste ensaio. As alíquotas de cada malha foram separadas uma a uma com imã manual de terras raras, com intensidade de fluxo magnético de aproximadamente 6500 G, gerando dois produtos: magnético e não magnético.
- **Separação em meio denso:** também realizada por faixa granulométrica a partir da malha +210 $\mu$ m no produto não magnético. Foram obtidas alíquotas do produto não magnético de cada malha para submete-las aos ensaios. O líquido denso utilizado foi o tetrabromoetano de densidade 2,95 g/cm<sup>3</sup>.
- **Análises químicas:** foram feitas na amostra cabeça e nos produtos magnético, afundado e flutuado por faixa granulométrica para determinação dos teores de Ni, Cu, S e MgO. As análises foram realizadas pela MSF através do método de absorção atômica.
- **Análise Mineralógica:** para determinação qualitativa das espécies minerais presentes nas amostras foram utilizadas as técnicas de microscopia óptica e difração de raios-x. Os equipamentos encontram-se instalados no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) do PMI / EPUSP. As análises de difração de raios-x foram realizadas em alíquotas retidas nas malhas 150, 75, 38, 20 e passante em 20  $\mu$ m dos produtos magnético, afundado e flutuado, já a microscopia óptica foi feita em alíquotas retidas nas malhas 150, 105, 75, 38, 20 e passante em 20  $\mu$ m do produto magnético.

4.2.4 Execução dos ensaios de concentração no jigge centrífugo kelsey: os parâmetros selecionados para realização dos ensaios foram: velocidade de rotação do rotor, frequência e amplitude de pulsação. Para efeito de simplificação da nomenclatura a velocidade de rotação do rotor foi denominada simplesmente de velocidade e, analogamente, amplitude e frequência da pulsação, respectivamente de amplitude e frequência.

Em função de resultados de trabalhos anteriores obtidos por técnicos da INBRÁS e de ensaios preliminares realizados com o rejeito da MSF, foram fixados os seguintes parâmetros para o trabalho aqui descrito:

Alimentação: polpa com 35 % de sólidos em peso; densidade da polpa: 1,30 g/cm<sup>3</sup>; densidade dos sólidos: 2,94 g/cm<sup>3</sup>.

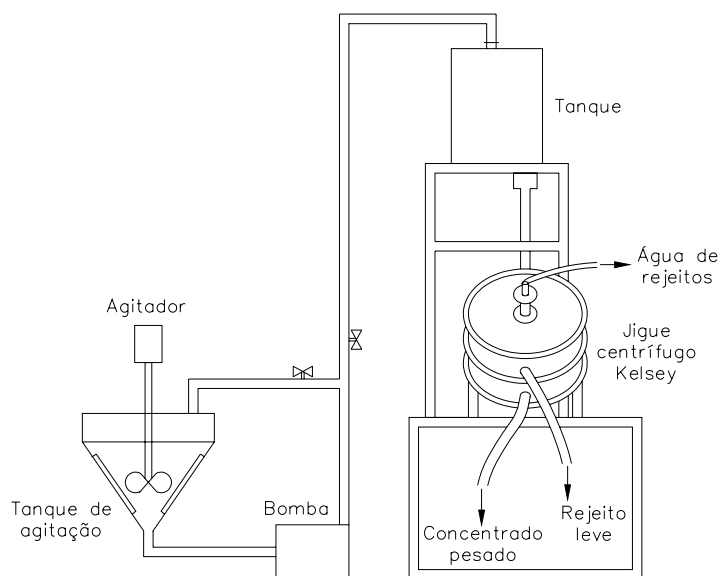
Equipamento: malha da tela de jigagem: 600  $\mu$ m ; tipo de leito: magnetita ; granulometria do leito: - 850 + 710  $\mu$ m ; espessura do leito: 25 mm ; vazão de água do rejeito: 8 L/min.

O programa de ensaios foi planejado de forma a permitir a análise da influência de variáveis operacionais do jigge centrífugo Kelsey no desempenho metalúrgico da concentração dos minerais úteis contidos no rejeito final do processo de concentração da MSF. O método adotado para realização dos ensaios foi baseado em planejamento fatorial (BARROS NETO et al., 2001). Na Tabela 1 temos as variáveis selecionadas para o estudo e seus respectivos níveis de trabalho perfazendo um total de 12 ensaios. A execução dos mesmos foi aleatória e seguiu a ordem apresentada na mesma tabela. Embora os valores de frequência de pulsação fossem medidos em todos os ensaios, análises posteriores indicaram que a frequência indicada no equipamento era referente à corrente de alimentação do motor elétrico e não a frequência real do mecanismo de pulsação. Esclarecimentos posteriores com o fabricante do equipamento não resultaram em valores reais e confiáveis. Dessa forma, adotou-se no presente trabalho uma medida relativa em relação à frequência máxima de pulsação.

**Tabela 1 – Seqüência e valores das variáveis empregadas em cada ensaio**

Ensaio	Seqüência de Execução	Velocidade (rpm)	Frequência Relativa (%)	Amplitude (mm)
1	7	420	67	2,5
2	8	588	67	2,5
3	9	735	67	2,5
4	12	420	75	2,5
5	11	588	75	2,5
6	10	735	75	2,5
7	4	420	67	2,8
8	5	588	67	2,8
9	6	735	67	2,8
10	3	420	75	2,8
11	2	588	75	2,8
12	1	735	75	2,8

Um circuito apropriado para execução dos ensaios foi especialmente montado para tal fim no LTM, consistindo de um tanque cônico, com capacidade de aproximadamente 100 L, provido com sistema de agitação à base de hélice e de bomba vertical para recirculação da polpa para o próprio tanque. Em seguida, a polpa era elevada até um tanque cilíndrico, acima do jigue, a partir do qual era alimentada no mesmo. A Figura 2 mostra o desenho esquemático do circuito de concentração utilizado.



**Figura 2 - Desenho esquemático do circuito de concentração utilizado**

4.2.5 Caracterização dos produtos obtidos: foram realizadas análises granulométricas dos concentrados e rejeitos gerados nos ensaios de concentração nas seguintes malhas: 150 , 75 e 38  $\mu\text{m}$ , de forma a estabelecer os balanços mássicos e metalúrgicos de cada ensaio. As análises químicas foram realizadas pela MSF através do método de absorção atômica.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização Tecnológica do Rejeito

A caracterização tecnológica do rejeito foi realizada com o objetivo de identificar parâmetros do material que auxiliem no seu processamento, obter uma estimativa dos seus principais constituintes mineralógicos e avaliar as associações dos minerais de interesse com os de ganga.

5.1.1 Análise química: os teores dosados e distribuição dos elementos/compostos de interesse por malha para a amostra cabeça estão expostos na Tabela 2.

**Tabela 2 – Teores dosados e distribuição dos elementos/compostos de interesse na amostra cabeça**

Malha ( $\mu\text{m}$ )	%Peso Retido	Teores dosados (%)				Distribuição (%)			
		Ni	Cu	S	MgO	Ni	Cu	S	MgO
210	9,9	0,38	0,08	1,4	18,5	7,6	14,2	3,7	11,1
150	9,4	0,45	0,08	2,8	17,6	8,5	13,1	6,9	10,1
105	7,8	0,48	0,07	4,2	16,1	7,5	9,3	8,6	7,6
75	10,7	0,48	0,06	5,9	14,8	10,3	11,1	16,2	9,6
53	8,5	0,48	0,05	6,9	13,5	8,1	6,9	15,0	6,9
45	6,7	0,48	0,04	7,5	12,6	6,4	4,9	12,9	5,1
38	5,7	0,46	0,04	7,6	12,7	5,2	3,6	11,0	4,3
20	9,9	0,45	0,03	6,0	13,4	8,8	5,7	15,4	8,1
-20	31,4	0,60	0,06	1,3	19,6	37,6	31,1	10,3	37,2
Total	100	0,50	0,06	3,9	16,5	100	100	100	100

A seguir são apresentados na Tabela 3 os resultados de teores e distribuições globais dos elementos Ni, Cu, S, além do composto MgO nos produtos magnético, flutuado e afundado.

**Tabela 3 – Teores e distribuições globais nos produtos das separações minerais**

Produto	% Peso Amostra	Teores (%)				Distribuição (%)			
		Ni	Cu	S	MgO	Ni	Cu	S	MgO
Magnético	38,8	0,66	0,08	9,5	12,7	51,7	48,9	92,1	29,4
Flutuado	45,0	0,39	0,05	0,5	21,2	36,0	35,0	5,4	57,3
Afundado	16,2	0,38	0,06	0,6	13,8	12,3	16,1	2,5	13,3
Total	100	0,50	0,07	4,0	16,7	100	100	100	100

O produto magnético corresponde a 38,8% em peso da amostra cabeça com um teor de 0,66% de Ni o que corresponde a 51,7% do total de Ni contido na amostra. Os maiores percentuais de Ni, Cu e S contidos encontram-se no produto magnético com atenção especial para o S que apresentou distribuição de 92,1%. Já o MgO apresentou distribuição de 57,3% para o produto flutuado.

5.1.2. Análise dos resultados da difração de raios-x : através da análise de difração de raios-x foi possível identificar os seguintes minerais: pirrotita, calcopirita, pentlandita, pirita, magnetita, actinolita, talco, antigorita, quartzo, tremolita, dentre outros.

5.1.3. Análise dos Resultados da Microscopia Óptica: os aspectos de associação entre os minerais foram investigados com base em fotografias de grãos selecionados no produto magnético, obtido na etapa de caracterização tecnológica.

## 5.2. Ensaios no Jigue Centrífugo Kelsey

5.2.1. Análises Globais: na Tabela 4 são apresentados os teores globais dos elementos/compostos de interesse na alimentação, concentrado e rejeito em cada ensaio.

**Tabela 4 – Teores globais dos elementos/compostos de interesse por ensaio**

Ensaio	Teores Globais (%)											
	Alimentação				Concentrado				Rejeito			
	Ni	Cu	S	MgO	Ni	Cu	S	MgO	Ni	Cu	S	MgO
1	0,51	0,040	3,63	18,5	0,79	0,026	11,8	10,3	0,44	1,58	1,58	20,6
2	0,51	0,040	3,66	18,5	0,77	0,024	12,5	9,78	0,43	0,044	1,25	20,9
3	0,49	0,041	3,55	18,3	0,71	0,023	11,2	10,2	0,43	0,046	1,31	20,7
4	0,53	0,037	3,88	18,5	0,66	0,029	8,93	12,0	0,48	0,040	1,67	21,4
5	0,53	0,044	4,14	17,1	0,71	0,028	10,4	11,1	0,44	0,051	1,33	19,8
6	0,50	0,046	3,84	17,6	0,72	0,025	11,1	9,97	0,42	0,054	1,20	20,4
7	0,51	0,046	3,79	17,8	0,64	0,033	8,92	11,9	0,45	0,051	1,63	20,2
8	0,50	0,046	4,03	17,6	0,67	0,027	10,4	11,1	0,43	0,054	1,32	20,4
9	0,48	0,050	3,45	17,9	0,62	0,036	9,68	11,3	0,42	0,055	1,15	20,3
10	0,49	0,053	3,79	17,3	0,58	0,049	8,43	11,9	0,45	0,055	1,62	19,8
11	0,49	0,052	3,68	17,4	0,64	0,039	9,69	11,2	0,43	0,058	1,21	20,0
12	0,48	0,053	3,25	18,0	0,65	0,036	9,63	11,1	0,41	0,058	1,07	20,4

A recuperação em massa, metalúrgica e o enriquecimento por ensaio estão exposto na Tabela 5.

**Tabela 5 – recuperação em massa, metalúrgica e enriquecimento por ensaio**

Ensaio	Rec. Massa (%)	Enriquecimento				Recuperação Metalúrgica (%)			
		Ni	Cu	S	MgO	Ni	Cu	S	MgO
1	19,9	1,6	0,65	3,3	0,55	31,3	13,0	65,2	11,1
2	21,5	1,5	0,60	3,4	0,53	32,7	12,9	73,3	11,4
3	22,8	1,4	0,58	3,1	0,56	32,8	13,1	71,5	12,7
4	30,4	1,2	0,80	2,3	0,65	37,6	24,5	70,1	19,7
5	30,9	1,3	0,65	2,5	0,65	41,7	20,2	77,9	20,0
6	26,7	1,4	0,54	2,9	0,57	38,3	14,5	77,1	15,1
7	29,6	1,3	0,72	2,3	0,67	37,3	21,4	69,7	19,9
8	29,9	1,3	0,58	2,6	0,63	40,1	17,4	77,1	18,9
9	27,0	1,3	0,73	2,8	0,63	35,1	19,6	75,7	17,1
10	31,8	1,2	0,93	2,2	0,69	37,7	29,4	70,8	21,9
11	29,2	1,3	0,74	2,6	0,64	38,0	21,7	76,7	18,7
12	25,4	1,4	0,68	3,0	0,61	34,9	17,3	75,3	15,6



5.2.2. Influência das variáveis de operação no desempenho do processo: a Figura 3 mostra os efeitos das variáveis velocidade, frequência e amplitude nas recuperações globais de Ni.

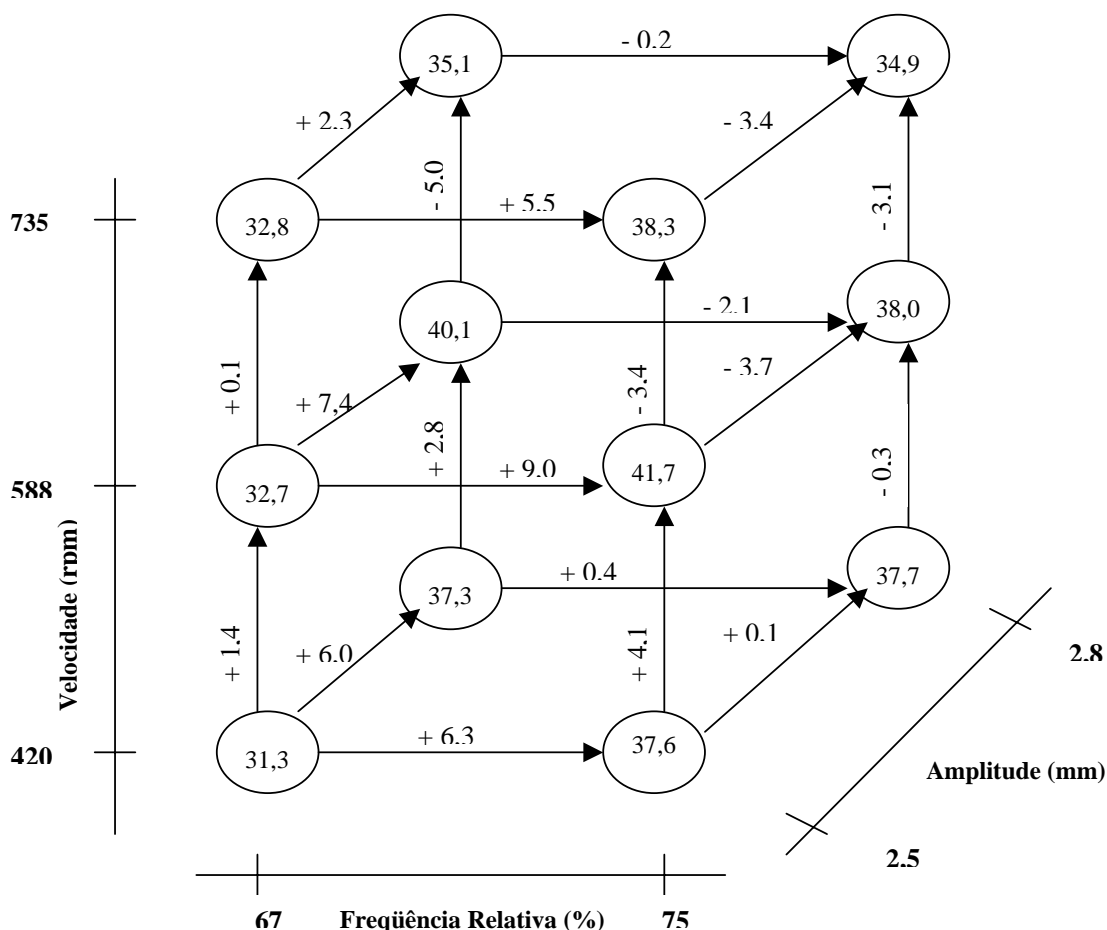


Figura 3 – diagrama para interpretação dos resultados de recuperação de Ni

A velocidade apresentou efeito positivo na recuperação de níquel ao passar de 420 para 588 rpm, ou seja, um aumento médio de 2 pontos percentuais (p.p.), entretanto ao aumentá-lo para 735 rpm produziu efeito negativo, ou seja, redução na recuperação de níquel de 2,9 p.p. em média. A frequência relativa apresentou efeito negativo ao passar de 67 para 75%. Redução de 0,6 p.p. em média na recuperação de níquel nas condições de velocidade de 420 a 735 rpm e amplitude de 2,8 mm. Por outro lado, a frequência apresentou efeito positivo nas mesmas condições de velocidade e amplitude de 2,5 mm, ou seja, aumento de 6,9 p.p. em média na recuperação de níquel. A amplitude apresentou efeito positivo na recuperação de níquel ao passar de 2,5 para 2,8 mm quando o jigge trabalhou nas seguintes condições: frequência relativa 67% e velocidade de 420 a 735 rpm. Um aumento de 5,2 p.p. em média. Porém nas mesmas condições de velocidade e frequência relativa de 75%, a amplitude mostrou uma redução de 2,3 p.p. em média na recuperação de níquel. A maior recuperação de níquel foi obtida no ensaio 5 com as seguintes condições: frequência relativa 75%, velocidade 588 rpm e amplitude 2,8 mm.

## 6. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos e nas condições experimentais estudadas, pode-se concluir o seguinte:

A distribuição granulométrica da amostra cabeça mostrou que 99% do rejeito da flotação da MSF é passante na malha 420  $\mu\text{m}$  e que parcela significativa do mesmo (41%) é constituído de partículas passantes em

38µm. As maiores quantidades relativas de Ni, Cu e MgO concentraram-se na fração passante em 20µm; essa fração, com teor de 0,60% de Ni, 0,06% de Cu e 19,6 % de MgO, contém cerca de 38 %, 31 % e 37 %, respectivamente, do total de Ni, Cu e MgO contidos na amostra cabeça. Os teores de Ni, Cu, S e MgO da amostra cabeça foram, respectivamente, 0,50%; 0,06%; 3,9% e 16,5%. Nas separações minerais efetuadas para fins de caracterização, o produto magnético correspondeu a 39% em peso da amostra cabeça, apresentando teor de 0,66 % de Ni, o que equivale a 52% do total de Ni contido na amostra cabeça. Da mesma forma, as maiores quantidades relativas de Cu e S se concentraram no produto magnético, este último com 92% neste produto. Já o MgO apresentou distribuição de 57% para o produto flutuado. Através da análise mineralógica foi possível determinar os principais constituintes mineralógicos e os aspectos de associação entre as espécies presentes. Foi possível identificar os seguintes minerais: calcopirita, pirrotita, pentlandita, pirita, magnetita, actinolita, talco, antigorita, quartzo, tremolita, entre outros. As observações ao microscópio óptico de grãos selecionados em diversas faixas granulométricas indicaram baixa liberação dos minerais sulfetados nas frações mais grossas. Grãos liberados de sulfetos foram observados somente em frações menores que 45 µm. Observou-se também que a pentlandita ocorre associada à pirrotita, mesmo na fração mais fina. A presença de grão livres de magnetita e sulfetos em frações finas do material, indica a possibilidade do emprego de métodos densitários para concentração desses minerais, especialmente mediante a utilização de equipamentos centrífugos.

A campanha de ensaios de concentração com jigue centrífugo foi planejada para analisar a influência das principais variáveis de operação no desempenho do processo. Os melhores resultados de recuperação de Ni e S, respectivamente 42% e 78%, foram obtidos nas condições de frequência relativa 75%, velocidade 588 rpm e amplitude 2,8 mm. Para o composto MgO, a menor recuperação obtida foi de 11% nas seguintes condições: velocidade 420 rpm, frequência relativa 67% e amplitude 2,5 mm. Já os maiores teores de Ni (0,79%) e S (12,5%) foram obtidos em ensaios distintos com velocidades respectivas de 420 e 588 rpm, ambos porém em condições de frequência relativa 67% e amplitude 2,5 mm. Os teores de MgO nos concentrados apresentaram pequena variação, na faixa entre 9,8% a 12,0%, o que representa uma redução significativa do teor desse composto em relação à alimentação dos ensaios (média de 17,9%).

## REFERÊNCIAS

BARROS NETO, B. DE et al. **Como fazer experimentos**. Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: Editora da Unicamp, 2001. 401 p.

CAMPOS, A. R. **Dessulfuração de finos de carvão de Santa Catarina por concentradores centrífugos**. São Paulo, 2001. 103 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CLIFFORD, D. **Gravity concentration**. In: Mining Magazine, vol. 180, n 3, March, 1999. pp. 136 – 148. Disponível em: < <http://www.mining-journal.com/mininginfo/equipment/grav.htm> >. Acesso em: 10 ago. 2001.

GERAGHTY, D. **Highly enhanced gravity separation the kelsey centrifugal jig**. Lonsdale South Australia. Disponível em: <<http://www.geologics.com.au/papers/papers.htm>> .Acesso em: 4 dez. 2001.

SILVA, E. C.; TORRES, V. M.; SANTOS, N. A. **Concentradores centrífugos – uma nova era na concentração gravítica**. In: XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro, v. 1, 1998. p. 533 – 51.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro, ao CEFET/PA pela liberação do Prof. Jaime Costa, à Mineração Serra da Fortaleza por ter fornecido as amostras e aos Professores Eldon Mansini e Artur Pinto Chaves pelas considerações sobre o trabalho.