

PRÉ-CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS SULFETADOS DE ZINCO, CHUMBO E COBRE UTILIZANDO-SE BENEFICIAMENTO GRAVIMÉTRICO¹

Maurício Guimarães Bergerman²
Felipe André de Melo Barbosa³
Bruno Yoshida Tomaselli⁴
Carolina Del Roveri⁵
Fabiano Cabañas Navarro⁵

Resumo

O uso de operações mais complexas de concentração de minerais na indústria mineral tem crescido, em função da queda dos teores e maior complexidade dos minérios disponíveis. Uma alternativa para enfrentar a alta dos custos com a instalação e operação de usinas de beneficiamento mineral é a pré-concentração, usando-se métodos gravimétricos de beneficiamento. Com isso, descarta-se, antes da alimentação da usina de beneficiamento, uma fração com pouca ou nenhuma quantidade do mineral de interesse, reduzindo assim a massa a ser processada nas operações seguintes. Esta tecnologia já vem sendo utilizada há alguns anos, sendo amplamente aplicada nas minas de sulfetos de cobre, níquel, chumbo e zinco da África, da América do Norte e Austrália, além de ser tradicionalmente utilizada nas indústrias de carvão e diamantes. No Brasil, esta tecnologia já foi utilizada na mina de fluorita da Nitroquímica, paralisada desde 2009. Os benefícios gerados pelo uso da pré-concentração por meio de beneficiamento gravimétrico são significativos, garantindo, por exemplo, o aumento da produção de metal contido de uma usina sem necessidade de se recorrer a uma extensão da capacidade de moagem ou flotação e a extensão da vida útil da mina, devido à redução do teor de corte. O objetivo principal deste trabalho é analisar a metodologia adequada para efetuar o beneficiamento de minerais sulfetados provenientes de um depósito de zinco, chumbo e cobre, utilizando a metodologia de pré-concentração em meio denso. Foram desenvolvidos ensaios em escala laboratorial, buscando assim o aumento do teor dos metais de interesse que alimentam a moagem, de forma a reduzir os custos capitais das etapas seguintes de beneficiamento mineral.

Palavras-chave: Pré-concentração; Beneficiamento gravimétrico; Zinco; Sulfeto.

ZINC, LEAD AND COPPER SULPHIDE ORE PRE-CONCENTRATION USING GRAVIMETRIC METHODS

Abstract

The use of more complex ore concentration operations in the mining industry has been growing in the recent years, due to the decrease of ore grades and increase complexity of ores. One of the alternatives to deal with high capital and operational costs of a mineral processing plant is the use of the pre-concentration technology, using gravity concentration methods. With the use of such technology, it can be discarded, before the processing plant, a fraction of the ROM with less quantity of the interest minerals, thus reducing the mass of ore that will feed the plant. This technology is been used with success for years in copper, nickel, lead and zinc sulphide mines at Africa, North America and Australia. It is also traditional at the coal and Diamonds industry. In Brazil, this technology was used at Nitroquímica Fluorite Mine, which stopped its operations in 2009. Significant benefits can be obtained from the use of such a technology, as for example the increase at the plant metal production without the need to increase the grinding and flotation capacities. The main objective of this work is to evaluate the pre-concentration technology to concentrate a zinc, lead and copper sulphide ore. Bench scale tests, using different densities of heavy liquids were conducted and all the results in terms of metal recovery and grade enrichment are presented.

Key words: Pre-concentration; Gravity concentration; Zinc, Sulphide.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Eng. Minas, Professor assistente, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas (Unifal), MG, Brasil; mauricio.bergerman@unifal-mg.edu.br

³ Estudante de Eng. de Minas, Unifal, MG, Brasil; felipeambarbosa@hotmail.com.

⁴ Engenheiro de minas, Votorantim Metais, Brasil; bruno.tomaselli@vmetais.com.br.

⁵ Geólogo, Prof. adjunto, Instituto de Ciência e Tecnologia Unifal; carolina.roveri@unifal-mg.edu.br, fabiano.navarro@unifal-mg.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

O uso da operação de concentração de minerais na indústria mineral tem crescido, em função da queda dos teores e maior complexidade dos minérios disponíveis. Uma alternativa para enfrentar a alta dos custos com a instalação e operação de usinas de beneficiamento mineral é a pré-concentração. Para tal fim, podem ser utilizados métodos gravimétricos de beneficiamento, mais especificamente os métodos de separação em meio denso, como os separadores de cone e tambor *Wenco*, *Teska*, *Drewboy*, *Norwalt*, *Dynawhirpool*, *Tri-flo* e os ciclones de meio denso.⁽¹⁾ A escolha de cada um dos separadores é função principalmente da granulometria do material, vazões necessárias e faixa de densidades a se trabalhar. Mills⁽²⁾ ilustra os principais processos de separação gravimétrica e suas faixas recomendadas de aplicação, em função da quantidade de material próximo a densidade de separação.

Tabela 1. Seleção dos métodos de concentração gravimétrica em função da quantidade de material próxima a densidade de separação⁽²⁾

%mássica dentro de ± 0.10 densidade de separação	Grau de dificuldade esperado	Processo gravimétrico recomendado	Tipo
0 - 7	simples	quase qualquer processo	Jigues, mesas, espirais, comportas, cones, <i>vanners</i> etc.
7 - 10	dificuldade moderada	processos eficientes	
10 - 15	difícil	processos eficientes - boa operação	
15 - 20	muito difícil	processos muito eficientes - operação especializada	DMS
20 - 25	extremamente difícil		
Acima de 25	Extremamente difícil	limitado a poucos processos excepcionalmente eficientes- operação especializada	DMS com controle fechado

Com o uso destas tecnologias, descarta-se, antes da alimentação da usina de beneficiamento, uma fração com pouca ou nenhuma quantidade do mineral de interesse, reduzindo assim a massa a ser processada nas operações seguintes. Isso permite a redução de custos de capital e operacionais, além de minimizar o impacto ambiental dos projetos. Klein⁽³⁾ preve uma economia aproximada de 20% no consumo total de energia de projetos que utilizem etapas de pré-concentração. Esta tecnologia já vem sendo amplamente aplicada nas minas de sulfetos como cobre, níquel, chumbo e zinco da África, da América do Norte e Austrália. A mina *Tati Niquel Phoenix Mine*, localizada em Botswana, reporta a instalação de uma etapa de britagem e pré-concentração com ciclones de meio denso (DMS) com capacidade para 1.600 t/h, processando material entre 25 mm e 1 mm.⁽⁴⁾ Esta instalação permitiu o descarte de 60% do minério proveniente da mina. Devido à mudança nas características de alimentação do circuito de moagem, com utilização da pré-concentração, um ganho adicional foi obtido, com o aumento da capacidade do circuito de moagem em 40%, para 650 t/h. Para subsidiar a instalação desta operação industrial, foram realizados ensaios de separação em meio denso em escala laboratorial e foi operada uma planta piloto com capacidade para 200 t/h nas instalações da Mintek, na África do Sul. Dados da operação industrial de Tati⁽⁵⁾ indicam que atualmente o minério com teor acima de 0,56% de níquel é alimentado

diretamente no circuito de moagem e flotação. O material que alimenta a planta de DMS apresenta um teor de 0,31% a 0,37%. Após o peneiramento e segregação da fração abaixo de 1 mm, este teor cai para 0,27% a 0,32% de níquel. O concentrado da planta de DMS apresenta um teor entre 0,41% a 0,50% de níquel e o rejeito entre 0,07% e 0,09% de níquel.

Fourie et al.⁽⁶⁾ apresentam o resultado da avaliação do uso do DMS na mina *Rosh Pinah Zinc Corporation* na Namíbia. Foi avaliada a pré-concentração de minério proveniente de uma mina subterrânea, britado e classificado entre 32 mm e 16 mm, com um teor de zinco de aproximadamente 3%. O concentrado teria 9% de zinco. Para uma densidade de 2,85 t/m³, foram obtidas recuperações metalúrgicas da ordem de 90%, com uma recuperação em massa de 30%. O uso da tecnologia de pré-concentração com *ore sorters* com sensores de raios-x também está sendo avaliada. O plano da empresa é instalar a pré-concentração em subsolo, evitando assim o transporte do material já descartado a superfície.

Cresswell⁽⁷⁾ cita o grande potencial de aplicação desta tecnologia e ilustra uma série de resultados positivos em minas da África, México e China. O autor apresenta recuperações metalúrgicas da ordem de 90% a 95% dos metais de interesse com o descarte de 15 a 30% da massa que alimentaria a usina.

No Brasil, esta tecnologia já foi utilizada na mina de fluorita da Nitroquímica, paralisada desde 2009.

Os benefícios gerados pelo uso da pré-concentração por meio de beneficiamento gravimétrico são significativos, garantindo, por exemplo, o aumento da produção de metal contido de uma usina sem necessidade de se recorrer a uma extensão da capacidade de moagem ou flotação e a extensão da vida útil da mina, devido à redução do teor de corte.

O objetivo principal deste trabalho é analisar a metodologia utilizada para efetuar o beneficiamento de minerais sulfetados provenientes de um depósito de zinco, chumbo e cobre, utilizando a metodologia de pré-concentração em meio denso. Foram desenvolvidos ensaios em escala laboratorial, buscando assim o aumento do teor dos metais de interesse que alimentam a moagem de forma a reduzir os custos capitais das etapas seguintes de beneficiamento mineral.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi dividido em três etapas. Na primeira, a amostra foi composta, britada e peneirada. Na segunda e terceira etapa a amostra foi separada utilizando-se diferentes líquidos, de diferentes densidades. O procedimento experimental detalhado é apresentado a seguir.

2.1 Composição das Amostras, Britagem e Peneiramento

Inicialmente a amostra foi britada em um britador de mandíbulas. Após a primeira passagem no britador de mandíbulas, a amostra foi classificada utilizando-se uma peneira de malha quadrada de 12,7 mm de abertura. O produto retido em 12,7 mm foi britado em um britador de rolos. O produto foi sendo classificado em peneira de 12,7 mm, sendo o retido recirculado neste britador até que a quase totalidade do material fosse passante nesta malha.

O produto da britagem foi então homogeneizado e quarteado, utilizando o método de pilha alongada. Foi retirada uma alíquota de aproximadamente 500 g para análise química e outra de 2 kg para análise granulométrica por peneiramento a

seco, utilizando-se peneiras com aberturas de 12,7 mm, 9,5 mm, 6,35 mm, 4,75 mm, 3,35 mm, 2,36 mm, 1,68 mm, 1,17 mm, 0,85 mm, 0,60 mm e 0,425 mm. Os produtos obtidos no peneiramento foram quarteados e enviados para análise química. O restante do material foi separado em alíquotas de aproximadamente 10 kg.

2.2 Ensaios Exploratórios de Separação Mineral em Meio Denso

A partir dos resultados de análises químicas por fração granulométrica da etapa anterior, foram compostas 3 frações granulométricas para os ensaios exploratórios de separação mineral em meio denso, conforme a seguir:

- fração acima de 6,3 mm;
- fração entre 6,3 mm e 3,35 mm; e
- fração entre 3,35 mm e 1,18 mm.

A fração fina, abaixo de 1,18 mm, foi descartada, por ser muito fina para separações por métodos densitários com as tecnologias planejadas para uso industrial.

Cada fração descrita acima foi separada em três densidades diferentes:

- 2,96 t/m³ – utilizando-se o tetrabromoetano puro, cuja fórmula química é CHBr₂CHBr₂;
- 2,89 t/m³ – utilizando-se o tribromoetano puro (bromofórmio), cuja fórmula química é CHBr₃
- 2,76 t/m³ – utilizando-se o tribromoetano diluído com álcool etílico (Etanol), cuja fórmula química é CH₃CH₂OH.

Para diluição do líquido denso, foi utilizada a seguinte fórmula:⁽⁸⁾

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{d_1 - d}{d - d_2}, \text{ aonde:}$$

V₁ = Volume do líquido denso;

V₂ = Volume do solvente;

d₁ = Densidade do líquido denso;

d₂ = Densidade do solvente;

d = densidade da mistura.

A seleção dos líquidos densos e respectivos diluentes a serem utilizados, assim como os cuidados a serem tomados durante os ensaios foram baseados nos textos de Burt⁽⁹⁾ e Sampaio e Tavares.⁽⁸⁾

A densidade do líquido denso, quando diluída com álcool, era verificada a cada ensaio, com um balão volumétrico, sendo corrigida caso necessário. Ao todo, para cada amostra composta, foram realizados nove ensaios de separação em meio denso (três densidades em três frações granulométricas). As amostras geradas nos ensaios de meio denso foram encaminhadas para análises químicas.

2.3. Ensaio Detalhado de Separação Mineral em Meio Denso

A partir dos resultados da etapa anterior, foi escolhida a fração granulométrica que apresentou melhores resultados para separação em meio denso. Tendo em vista que a fração mais grosseira apresentou bons resultados, os ensaios confirmatórios foram realizados com a fração abaixo de 12,7 mm, mantendo-se a retirada dos finos abaixo de 1,18 mm. Esta fração foi separada nas densidades 2,70 t/m³ a 2,95 t/m³, em intervalos de 0,05 t/m³.

A seguir são apresentados os reagentes utilizados, com suas respectivas densidades:

- Tetrabromoetano puro, cuja fórmula química é $\text{CHBr}_2\text{CHBr}_2$ e possui densidade de 2,96 g/cm³;
- Tribromoetano puro (bromofórmio), cuja fórmula química é CHBr_3 e possui densidade de 2,89 g/cm³;
- Acetona, utilizada para diluir o tetrabromoetano cuja fórmula química é $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ e possui densidade de 0,791 g/cm³; E
- Álcool etílico (Etanol), utilizado para diluir o tribromoetano, cuja fórmula química é $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ e possui densidade de 0,79 g/cm³.

A Figura 1 ilustra um ensaio de separação em meio denso.



Figura 1. Ensaio de separação em meio denso.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição das Amostras, Britagem e Peneiramento

A Tabela 2 ilustra os resultados da granulometria e análise química por faixa.

Tabela 2. Resultados da análise granulométrica e química por faixa

Fração (mm)	Massa (%)		Teores					Distribuição no ensaio (%)				
	Retido	Acumulado	Ag ppm	Cu %	Pb %	S %	Zn %	Ag	Cu	Pb	S	Zn
+12,7	0,5	99,5	3,70	0,34	0,00	9,65	0,02	0,1	0,1	0,1	0,5	0,3
-12,7+9,5	4,0	95,5	8,90	0,73	0,01	7,11	0,03	1,9	2,2	1,3	2,7	2,8
-9,5+6,35	36,3	59,2	18,50	1,11	0,03	9,95	0,04	36,0	30,9	28,0	34,9	33,3
-6,35+4,75	18,8	40,4	17,70	1,32	0,06	9,79	0,03	17,8	19,0	30,9	17,8	14,3
-4,75+3,35	11,1	29,3	19,50	1,35	0,02	10,35	0,04	11,6	11,5	6,5	11,1	10,2
-3,35+2,36	8,1	21,1	19,00	1,42	0,03	11,30	0,05	8,3	8,8	6,7	8,9	8,7
-2,36+1,68	5,1	16,1	20,50	1,50	0,04	11,45	0,05	5,6	5,8	5,3	5,6	6,2
-1,68+1,17	3,6	12,5	20,50	1,42	0,04	10,60	0,05	4,0	3,9	3,5	3,7	4,3
-1,17+0,85	2,1	10,4	19,10	1,50	0,04	10,40	0,07	2,2	2,4	2,4	2,1	3,4
-0,85+0,60	1,7	8,7	18,90	1,55	0,04	10,10	0,05	1,7	2,0	1,9	1,6	2,1
-0,60+0,425	1,8	6,8	22,70	1,74	0,05	11,65	0,06	2,2	2,4	2,3	2,1	2,7
-0,425	6,8	0,0	23,70	2,07	0,07	13,40	0,07	8,7	10,8	11,4	8,9	11,6
Total calculado	100,0		18,66	1,31	0,04	10,34	0,04	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Total analisado			18,40	1,32	0,03	8,49	0,04					

Os dados experimentais de granulometria e química por faixa mostram que os elementos de interesse se distribuem de maneira bastante homogênea em todas as faixas granulométricas, com distribuições proporcionais a massa de cada fração. Apenas na fração abaixo de 0,425 mm se observa uma pequena concentração dos sulfetos.

3.2 Ensaios Exploratórios de Separação Mineral em Meio Denso

A amostra apresentou uma pequena melhora da recuperação nas granulometrias mais finas, sendo a fração entre 6,3 mm e 3,35 mm a que apresentou melhores resultados de recuperação metalúrgica. Nesta fração, obteve-se uma recuperação metalúrgica de cobre de aproximadamente 82% no afundado em 2,96 g/cm³ separando-se 43% da massa da amostra. O teor de cobre subiu de 1,29% na amostra de alimentação para 2,56% neste produto. Juntando-se todas as frações afundadas, o que representa aproximadamente 50% da massa do ensaio, a Recuperação metalúrgica de cobre foi de 88%. Na fração mais grosseira, acima de 6,3 mm, a soma de todos os afundados, que representa 64% da massa do ensaio, recuperou 93% do cobre. Em função destes resultados, os ensaios detalhados serão realizados para uma amostra composta de todas as frações abaixo de 12,7 mm e retido em 1,18 mm, em densidades entre 2,95 e 2,70 g/cm³.

A Tabela 3 ilustra os resultados obtidos no ensaio de meio denso exploratório.

Tabela 3. Resultados dos ensaios exploratórios de meio denso

Fração (mm)	Produto	Massa (%)		Teores					Distribuição ensaio (%)				
		Ensaio	Amostra	Ag ppm	Cu %	Pb %	S %	Zn %	Ag	Cu	Pb	S	Zn
+6,3	Afundado 2,96	37,8	14,1	36,9	2,56	0,067	22,40	0,063	78,4	74,9	73,0	88,9	68,0
	Afundado 2,86	7,4	2,8	13,0	1,07	0,026	3,35	0,032	5,4	6,1	5,5	2,6	6,7
	Afundado 2,75	18,9	7,0	9,4	0,80	0,026	2,71	0,026	10,0	11,7	14,4	5,4	13,8
	Flutuado	35,9	13,4	3,1	0,26	0,007	0,82	0,011	6,2	7,2	7,1	3,1	11,5
	Total calculado	100,0	37,3	17,8	1,29	0,035	9,53	0,035	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Total analisado*			17,4	1,06	0,028	9,67	0,038					
-6,3+3,35	Afundado 2,96	43,3	14,3	45,0	2,57	0,071	25,40	0,077	87,7	81,8	81,1	94,7	80,2
	Afundado 2,86	3,7	1,2	16,7	1,42	0,079	2,79	0,033	2,8	3,9	7,7	0,9	2,9
	Afundado 2,75	4,3	1,4	7,2	0,83	0,022	2,18	0,025	1,4	2,6	2,4	0,8	2,6
	Flutuado	48,7	16,1	3,7	0,33	0,007	0,85	0,012	8,1	11,7	8,7	3,6	14,3
	Total calculado	100,0	33,0	22,2	1,36	0,038	11,61	0,041	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Total analisado*			18,4	1,33	0,049	10,00	0,035					
-3,35+1,18	Afundado 2,96	41,7	6,8	37,9	2,77	0,064	24,70	0,065	84,4	82,5	84,5	94,1	69,2
	Afundado 2,86	6,1	1,0	9,3	0,99	0,022	2,84	0,051	6,4	9,1	9,1	3,3	16,7
	Afundado 2,75	6,7	1,1	3,8	0,26	0,005	0,63	0,012	9,2	8,4	6,4	2,6	14,0
	Flutuado	45,4	7,4	18,7	1,40	0,03	10,95	0,04	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Total calculado	100,0	16,2	18,7	1,40	0,03	10,95	0,04	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Total analisado*			19,8	1,44	0,036	11,20	0,049					
Total +1,18	Afundado 2,96	40,6	35,2	40,4	2,60	0,068	24,06	0,069	83,5	79,1	78,3	92,4	73,3
	Afundado 2,86	5,8	5,0	13,2	1,14	0,038	3,11	0,036	3,9	4,9	6,2	1,7	5,4
	Afundado 2,75	11,0	9,5	9,1	0,83	0,025	2,65	0,028	5,1	6,8	7,9	2,8	8,2
	Flutuado	42,6	36,8	3,5	0,29	0,006	0,80	0,012	7,6	9,2	7,7	3,2	13,1
	Total calculado	100,0	86,5	19,7	1,34	0,035	10,59	0,038	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Total analisado*			18,2	1,23	0,037	10,07	0,039					
Cabeça			100	18,4	1,32	0,032	10,34	0,0392					

*Obtido a partir dos resultados de granulometria

3.3 Ensaios Detalhados de Separação Mineral em Meio Denso

As Tabelas 4 e 5 e os gráficos das Figuras 2 a 5 ilustram os resultados obtidos no ensaio detalhados de meio denso.

Tabela 4. Resultados dos ensaios detalhados de meio denso

Fração (mm)	Produto	Massa (%)		Teores					Distribuição ensaio (%)				
		Ensaio	amostra	Ag	Cu	Pb	S	Zn	Ag	Cu	Pb	S	Zn
				ppm	%	%	%	%					
-12,7+1,18	Afundado 2,95	38,6	33,9	47,7	2,60	0,099	24,00	0,078	83,8	74,2	81,9	91,1	71,7
	Afundado 2,90	5,6	4,9	15,8	1,55	0,033	4,85	0,040	4,0	6,3	3,9	2,6	5,3
	Afundado 2,85	2,7	2,4	12,7	1,42	0,036	3,20	0,035	1,6	2,8	2,0	0,8	2,3
	Afundado 2,80	10,3	9,0	9,4	0,87	0,020	2,09	0,026	4,4	6,6	4,3	2,1	6,3
	Afundado 2,75	19,6	17,2	4,5	0,43	0,012	1,10	0,018	4,0	6,2	5,1	2,1	8,4
	Afundado 2,70	18,2	16,0	2,4	0,24	0,006	0,60	0,012	2,0	3,2	2,3	1,1	5,2
	Flutuado	5,0	4,4	1,4	0,15	0,004	0,31	0,009	0,3	0,6	0,4	0,2	1,0
	Total calculado	100,0	87,7	22,0	1,36	0,047	10,19	0,042	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
-1,18	Total analisado*			18,2	1,23	0,037	10,07	0,039					
	Total calculado		12,3										
Cabeça	Total analisado*			22,1	1,85	0,060	12,19	0,070					
	Total calculado		100,0	22,0	1,42	0,048	10,43	0,045					
Cabeça	Total analisado			18,4	1,32	0,032	10,34	0,039					

*Obtido a partir dos resultados de granulometria

Tabela 5. Resultados dos ensaios detalhados de meio denso – cálculo dos teores de alimentação da usina e rejeito acumulados

Fração (mm)	Produto	Massa (%)		Teores		Teor acumulado para planta (afundado + finos)		Teor acumulado de rejeito (produto flutuado)	
		Ensaio	amostra	Ag	Cu	Ag	Cu	Ag	Cu
				ppm	%	ppm	%	ppm	%
-12,7+1,18	Afundado 2,95	38,6	33,9	47,7	2,60	40,9	2,40	5,8	0,57
	Afundado 2,90	5,6	4,9	15,8	1,55	38,5	2,32	4,8	0,47
	Afundado 2,85	2,7	2,4	12,7	1,42	37,4	2,28	4,4	0,42
	Afundado 2,80	10,3	9,0	9,4	0,87	33,3	2,08	3,2	0,32
	Afundado 2,75	19,6	17,2	4,5	0,43	27,1	1,72	2,2	0,22
	Afundado 2,70	18,2	16,0	2,4	0,24	23,0	1,47	1,4	0,15
	Flutuado	5,0	4,4	1,4	0,15	22,0	1,42	0,0	0,00
	Total calculado	100,0	87,7	22,0	1,36				
-1,18	Total analisado*			18,2	1,23				
	Total calculado		12,3						
Cabeça	Total analisado*			22,1	1,85				
	Total calculado		100,0	22,0	1,42				
Cabeça	Total analisado			18,4	1,32				

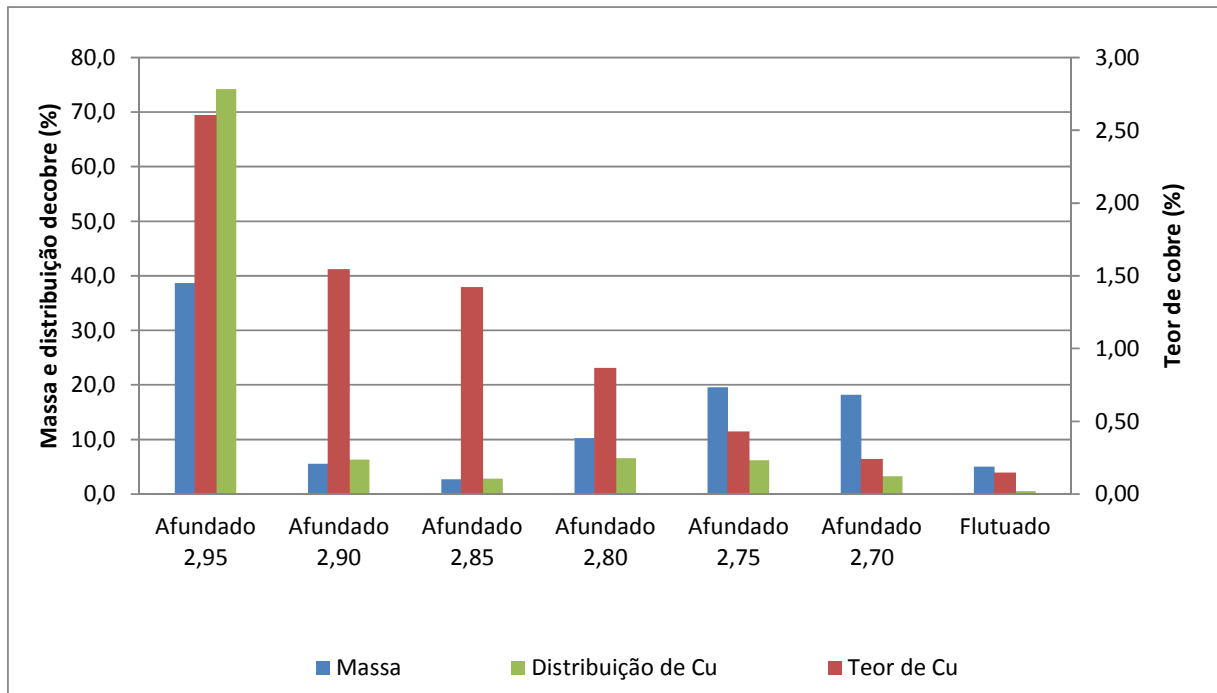


Figura 2. Recuperação em massa, distribuição e recuperação de cobre por densidade

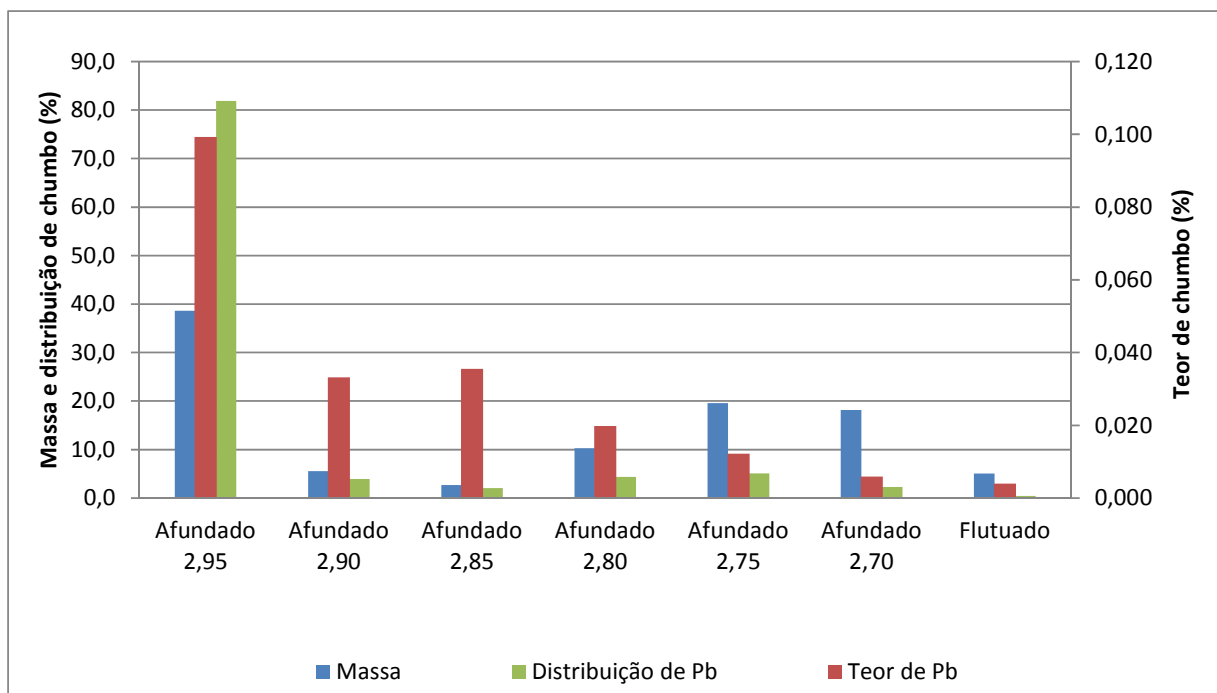


Figura 3. Recuperação em massa, distribuição e recuperação de chumbo por densidade.

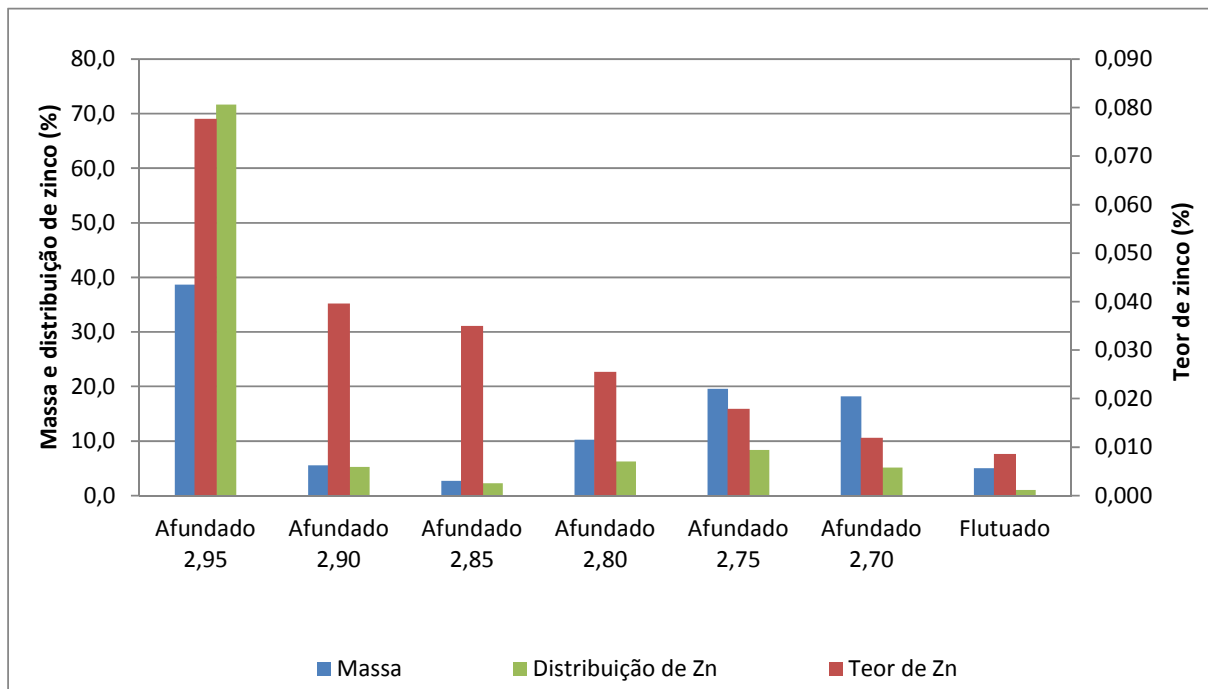


Figura 4. Recuperação em massa, distribuição e recuperação de zinco por densidade.

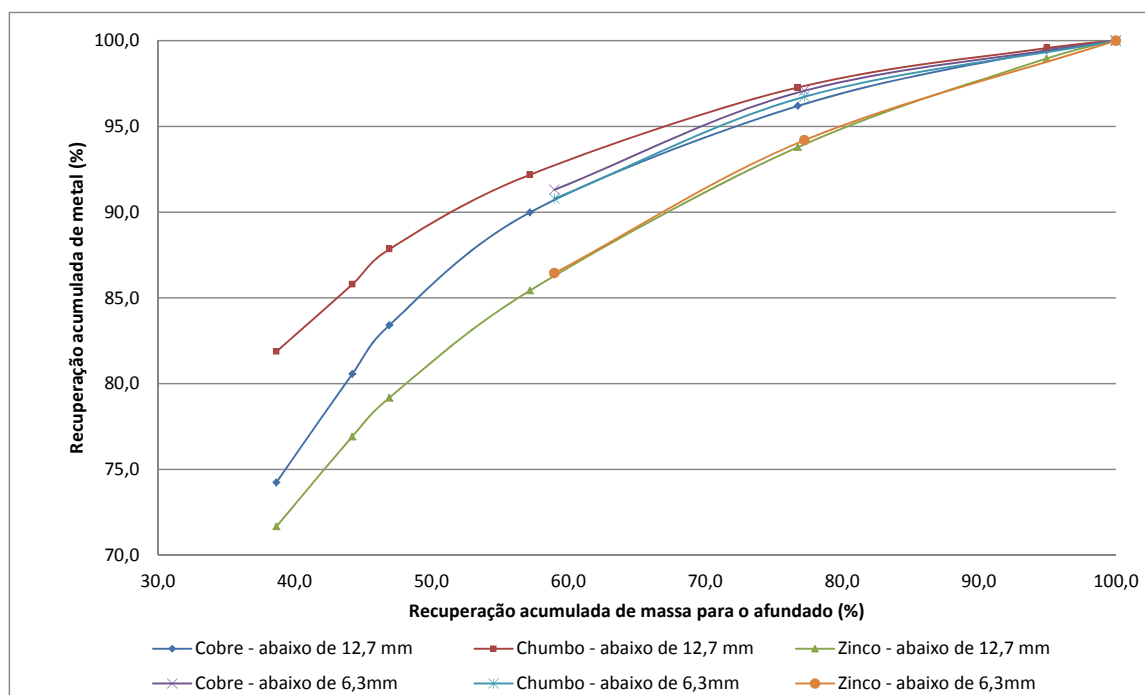


Figura 5. Recuperação em massa acumulada vs recuperação de metal acumulada

Os resultados obtidos para a amostra estudada foram muito positivos em termos de recuperação metalúrgica e enriquecimento, confirmando os resultados obtidos na etapa de ensaios preliminares. O gráfico da Figura 2 ilustra recuperações metalúrgicas significativamente maiores que as recuperações em massa para os principais metais de interesse. Considerando-se uma recuperação em massa de 47% no ensaio (considerando-se o acumulado do afundado na densidade 2,85 t/m³), uma recuperação metalúrgica de cobre de 83%. Para esta densidade, o teor de alimentação de cobre da usina, composta pelo produto afundado mais a fração fina,

abaixo de 1,18 mm (Tabela 5) subiria de 1,42% para 2,28%, recuperando 53% da massa e 86% do cobre da amostra, gerando um rejeito com teor de cobre de 0,42%. A fim de confirmar os resultados obtidos com a presente amostra, outras amostras do mesmo depósito devem ser estudadas. Caso confirmem-se os resultados positivos, o estudo deverá seguir com uma avaliação econômica de uma instalação de pré-concentração, possivelmente utilizando ciclones de meio denso.

4 CONCLUSÃO

O estudo de pré-concentração dos sulfetos da amostra estudada apresentou bons resultados frente aos ensaios de meio denso realizados em escala de laboratório. Mesmo em produtos relativamente grosseiros, abaixo de 12,7 mm, a amostra apresentou, para uma recuperação em massa de 47% no ensaio (considerando-se o acumulado do afundado na densidade 2,85 t/m³), uma recuperação metalúrgica de cobre de 83%. Para esta densidade, o teor de alimentação de cobre da usina, composta pelo produto afundado mais a fração fina, abaixo de 1,18 mm (Tabela 5) subiria de 1,42% para 2,28%, recuperando 53% da massa e 86% do cobre da amostra, gerando um rejeito com teor de cobre de 0,42%.

Estudos complementares devem ser realizados a fim de se confirmar esses bons resultados. Mantendo-se essas recuperações metalúrgicas, a redução de massa obtida é muito significativa, permitindo o aumento de produção da usina sem a necessidade de investimentos em capacidade de moagem e flotação.

REFERÊNCIAS

- 1 CAMPOS, A.R.; LUZ, A.B.; BRAGA, P.F.A. Separação em meio denso. In: DA LUZ, A.B; SAMPAIO, J.A; FRANÇA, S.C.A. Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 5^a Ed. Cap. 8. P. 329-366.
- 2 MILLS, C. Process design, scale-up, and plant design for gravity concentration. In: Mular, A.R.; Bhattu.R.B. Mineral Processing Plant Design. Littleton: SME, 1980. Cap. 18. P. 404-426.
- 3 KLEIN, B. Energy efficiency technologies for the mining industry. In: CIM CONFERENCE, 2010, Vancouver. Westmount: CIM, 2010.
- 4 MORGAN, P. The impact of a crushing plant upgrade and dms pre-concentration on the processing capability of the Tati Nickel Concentrator. In: BASE METALS CONFERENCE, 2009, Kasane. Joanesburgo: SAIMM, 2009. P. 231-244.
- 5 DENYSSCHEN, D.F.; WAGNER, B.N. Pre-concentration of low grade lateritic sulphide nickel ore. In: BASE METALS CONFERENCE, 2009, Kasane. Joanesburgo: SAIMM, 2009. P. 291-306.
- 6 FOURIE, H.; ROOYEN, P.H.V.; RUPPRECHT, S.; LUND, T.; VEGTER, N.M. Exploitation of a massive low grade zinc-lead resource at Rosh Pinah Zinc Corporation, Namibia. In: THE FOURTH SOUTHERN AFRICAN CONFERENCE ON BASE METALS, 2007, Swakopmund. Joanesburgo: SAIMM, 2007. P. 109-118.
- 7 CRESWELL, G.M. Pre-concentration of base metal ores by dense medium separation. In: SAIMM COOPER, COBALT, NICKEL AND ZINC RECOVERY CONFERENCE, 2001, Cidade. Joanesburgo: SAIMM, 2001. P. 1-10.
- 8 SAMPAIO, C.H; TAVARES, L.M.M. Beneficiamento Gravimétrico. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.
- 9 BURT, R.O. Gravity Concentration Technology. Amsterdam: Elsevier, 1984.