

DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA IDEAL PARA A FLOTAÇÃO DE ZINCO DA USINA DE VAZANTE – VOTORANTIM METAIS*

Jorge Lucas Carvalho Bechir¹

Valerio Metsavaht²

Eder Lúcio de Castro Martins³

Adelson Dias de Souza⁴

Lucas Monteiro Correa e Lopes⁵

José Renato Baptista de Lima⁶

Carlos Antonio Mendes de Oliveira⁷

José Max da Cruz Melo⁸

Resumo

A usina de beneficiamento da Unidade Vazante da Votorantim Metais concentra zinco a partir de Willemite – Zn_2SiO_4 por flotação. Através desse processo, é possível obter elevadas recuperações metalúrgicas. Contudo, foi identificado que é possível aumentar ainda mais a recuperação de zinco através de redução de granulometria. Essa redução eleva os custos de energia de um circuito de cominuição, fato que torna fundamental a identificação da relação ideal entre ganho de recuperação e os gastos com maior consumo de energia. Grande parte das frações de Willemite mais grosseiras (acima de 0,15 mm) que passam pelo processo de flotação, vão para o rejeito. Isso ocorre devido a granulometria atual de moagem não atingir a liberação ideal do mineral de interesse, de forma que, grande parte da superfície das partículas ainda apresenta ganga que não é adsorvida pelo coletor específico da Willemite. Em busca de elevar a recuperação metálica de zinco potencializando o seu aproveitamento, estudos de caracterização mineralógica foram realizados. O trabalho consistiu na utilização de MEV/EDS com MLA (*Mineral Liberation Analyzer*) e na realização de testes de flotação em escala de bancada e piloto para determinar a granulometria ideal para flotação do mineral Willemite. Através dos resultados obtidos, foi possível concluir que houve ganhos de recuperação de zinco com a redução da granulometria sem comprometer a qualidade do concentrado gerado.

Palavras-chave: Willemite; Zinco; Liberação; Flotação.

DETERMINATION OF IDEAL GRAIN SIZE FOR ZINC FLOTATION IN VAZANTE UNIT – VOTORANTIM METAIS

Abstract

The Votorantim Metais plant located in Vazante-MG-Brazil processes zinc from a silicate mineral called Willemite - Zn_2SiO_4 through froth flotation. With this process, it is possible to obtain high recoveries of zinc. However, it is likely to increase the recovery through size reduction. Most part of coarser grains of Willemite (> 0.15 mm) are almost entirely lost and sent to tailings. This fact happens because of the current grinding, that do not achieve optimal liberation of the mineral of interest, so that much of the surface of the particles still have gangue which is not adsorbed by the specific collector of Willemite. Seeking to raise the recovery of zinc, consequently raising the production, studies of mineralogical characterization via MLA (Mineral Liberation Analyzer) and laboratorial froth flotation were conducted aiming to determine the optimal particle size for the froth flotation process of Willemite. Through the results, we concluded that there were zinc recovery gains by reducing the particle size without compromising the Zn grade in the concentrate.

Keywords: Willemite; Zinc; Liberation; Froth flotation.

¹ Eng. Minas, UFOP, Eng. Pleno/Geometalurgia, Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Vazante, MG Brasil.

² Eng. de Minas, UFOP, Consultor de Eng., Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Vazante, MG Brasil.

³ Eng. Metalurgista, UFOP, Gerente de Tecnologia, Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Vazante, MG Brasil.

⁴ Eng. Químico, UFMG, Gerente Geral de Tecnologia, Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Brasil

⁵ Eng. Minas, UFOP, Eng Jr/Tecnologia, Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Vazante, MG Brasil.

⁶ Eng. Minas, USP, Professor Associado- USP Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP Brasil

⁷ Técnico Químico, Técnico em mineração, Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Vazante, MG Brasil.

⁸ Técnico em mineração, Téc. especialista, Tecnologia Poli metálicos, Votorantim Metais, Vazante, MG Brasil.

1.0 INTRODUÇÃO

Atualmente a Votorantim Metais conta com duas minas de zinco no Brasil, representadas pelas unidades de Vazante e Morro Agudo. A unidade Vazante apresenta capacidade instalada de 142.000 t/ano de zinco e é estratégica para a manutenção da Votorantim Metais como 5ª maior produtora de zinco do mundo.

A concentração de zinco na unidade de Vazante é realizada através de flotação. Sabe-se que em um processo de flotação, diversas variáveis de entrada devem ser levadas em consideração, de forma que, apenas definir a granulometria que apresenta maior liberação via microscopia ou outros métodos de caracterização não é suficiente para garantir o melhor resultado do processo. O MLA (*mineral Liberation analyser*) não pode prever, por exemplo, consequências negativas de uma granulometria mais fina, como elevação de consumo de reagentes (devido ao aumento da área de superfície), aumento do arraste hidrodinâmico (que facilita a passagem de minerais contaminantes finos para o concentrado); os significativos aumentos de custo energético na moagem decorrente de reduzir ainda mais a granulometria das partículas; entre outros.

Levando isso em conta, foram realizados ensaios de flotação em escala de bancada, com variação das faixas granulométricas de entrada, alinhadas aos resultados obtidos pelo MLA. Os detalhes dessa etapa se encontram no tópico de materiais e métodos. Em busca de otimizar o processo da flotação da usina de Vazante, o presente estudo visa elevar a recuperação de zinco através do apoio de caracterização mineralógica e flotação em escala de bancada. Com a caracterização mineralógica é possível obter a granulometria ideal de moagem que resulta na maior liberação do mineral de interesse com o mínimo aumento dos custos na cominuição.

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Todas os ensaios exceto caracterização mineralógica foram realizados no laboratório de processos da Votorantim Metais Unidade Vazante.

Para realização do estudo, foram utilizados equipamentos de britagem, moagem, flotação, filtração, análise química e microscopia eletrônica. São eles: britador de mandíbulas, moinho de bolas, célula de flotação, filtro a vácuo, analisador químico (fluorescência de raios-X), balança analítica, estufa, MEV/EDS (microscópio eletrônico de varredura) com MLA (*mineral Liberation Analyzer*), reagentes de flotação, pHmetro. Nesse trabalho foi utilizado minério de zinco representativo de 4 diferentes pilhas que alimentaram a usina de beneficiamento, escolhidas com critérios de variabilidade temporal e espacial. Na unidade Vazante, as pilhas de alimentação da usina são formadas através de uma empilhadeira automática, que gera pilhas do tipo Chevron. As quatro pilhas foram amostradas na correia transportadora que alimenta o moinho da usina, coletando material referente a um metro de correia. O esquema simplificado de tratamento das amostras é mostrado na Figura 1 abaixo:

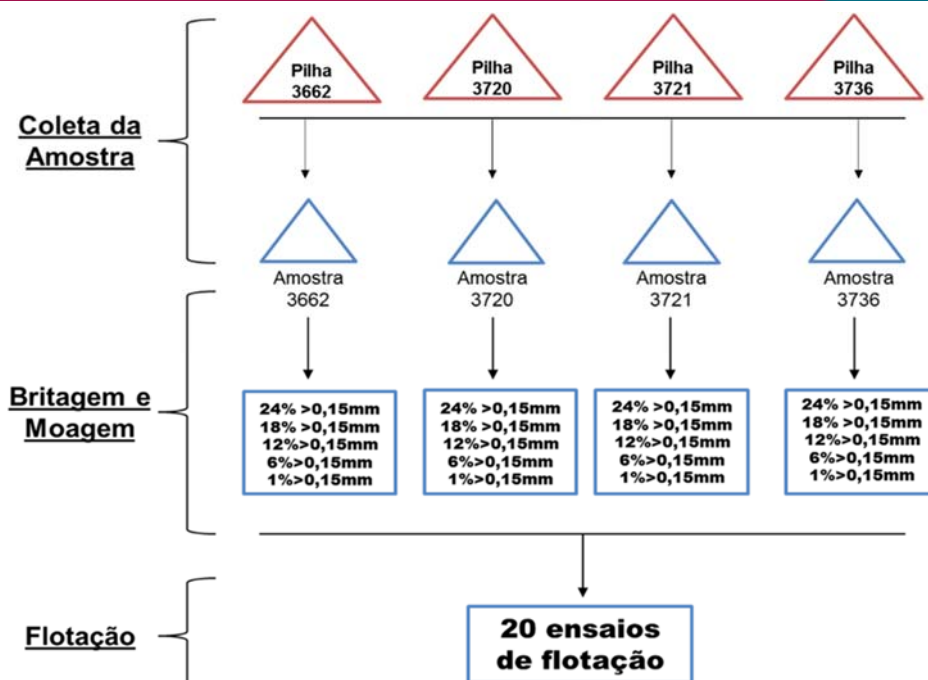


Figura 1 - Esquema simplificado do estudo

2.1 Britagem

A granulometria do minério proveniente da pilha pulmão é próxima a 95% passante em 9,5mm. O moinho de bancada utilizado para o trabalho não apresenta capacidade para moer o material de um *top size* tão elevado como o citado. Para que o material pudesse ser moído, foi necessária uma redução de granulometria até 100% passante em 1,18 mm feita através de um britador de mandíbulas com abertura de 1,5 mm e de um moinho de disco.

2.1 Caracterização Mineralógica e Moagem

Para definição das faixas granulométricas que compuseram o estudo, foram utilizados dados históricos da usina e caracterização mineralógica via MEV/EDS com MLA. A usina de Vazante apresenta granulometria atual que varia de 16 e 22% de material maior que 0,15mm. Para verificar se essa granulometria atinge a especificação de liberação ideal do mineral-minério, foi feita uma análise de liberação de Willemite em diferentes faixas granulométricas. Os dados de caracterização mineralógica utilizados foram provenientes do banco de dados da geometurgia da jazida de Vazante. Para a análise de liberação, foram selecionados dados de amostras com granulometria de moagem igual a 18%, 12% e 6% maior que 0,15 mm.

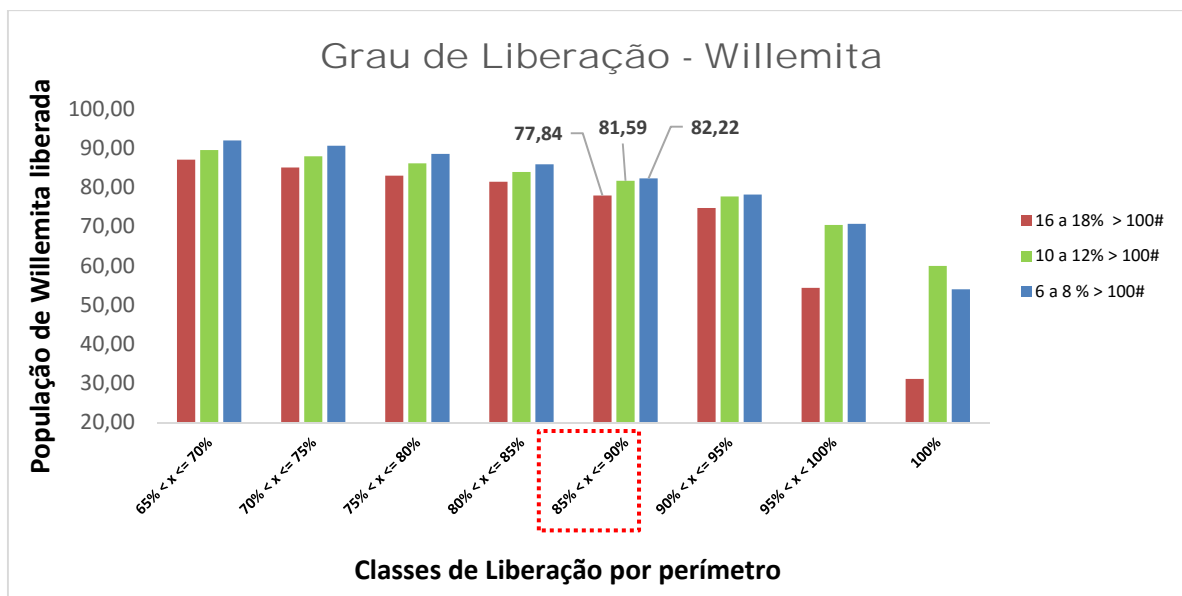


Gráfico 1 - Grau de Liberação da Willemita para três diferentes granulometrias

Para o processo de flotação do mineral Willemita, considera-se que a liberação ideal ocorre na classe que apresenta mais que 85% de perímetro liberado (fração destacada em vermelho na base do gráfico 1). Considerando o Gráfico 1, nota-se que há um aumento na população de Willemita liberada com a redução da granulometria. Para a faixa mais grossa, foi obtida uma população liberada de 77,84%; para a faixa intermediária foi obtida população de 81,59% e para a faixa mais fina, foi obtida população de 82,22%.

Através dos resultados obtidos no Gráfico, conclui-se que, nas granulometrias analisadas de Willemita, houve maior liberação nas faixas mais finas entre 6 a 12%, quando comparadas com a faixa de 16 a 18%, gerando uma correlação inversamente proporcional entre granulometria e liberação. Dessa forma, foram definidas cinco faixas granulométricas de moagem, para serem avaliadas no processo de flotação. São elas:

- Granulometria 24% retida acumulada em 0,15mm
- Granulometria 18% retida acumulada em 0,15mm – Média Atual praticada na usina
- Granulometria 12% retida acumulada em 0,15mm
- Granulometria 6% retida acumulada em 0,15mm
- Granulometria 1% retida acumulada em 0,15mm

O moinho de bolas utilizado para a moagem das amostras apresenta os seguintes parâmetros e condições:

- Moinho 22cm x 18cm (Comprimento x Diâmetro) e Revestimento de borracha;
- Moagem a 67% de sólidos e Grau de Enchimento de 32%;
- 72 RPM e 73% da Velocidade Crítica
- Carga de Bolas de 10500g.

Para obter as diferentes granulometrias para o estudo, foi utilizada uma curva de moagem (granulometria vs tempo) obtida experimentalmente para cada pilha, já que a dureza do minério da mina de Vazante pode variar de acordo com a região.

Através das curvas foi definido o tempo de moagem para atingir os alvos granulométricos selecionados. Após submeter as amostras para moagens com tempos pré-definidos, foi feito um peneiramento a úmido para confirmar o resultado

obtido. A Tabela 1 apresenta os resultados médios de granulometria obtida, tempo de moagem e energia consumida

Tabela 1 – Resultados médios de granulometria obtida, tempos de moagem e energia consumida na moagem

GRANULOMETRIAS DEFINIDAS PARA FLOTAÇÃO			
PERCENTUAL > 0,15mm (100#)	P80 (µm)	TEMPO MÉDIO DE MOAGEM (min)	ENERGIA CONSUMIDA (Kwh/t)
24,0	176	20	8,26
18,0	145	22	9,09
12,0	124	27	11,15
6,0	102	30	12,39
1,0	69	44	18,17

2.2 Flotação

Para flotação, foram geradas vinte amostras com 1300 g cada, provenientes das alíquotas que representam as quatro diferentes pilhas pulmão. Ou seja, cada amostra de pilha coletada foi moída em cinco diferentes granulometrias, gerando cinco flotações para cada pilha e totalizando vinte ensaios de flotação em escala de bancada.

Todas as amostras foram submetidas a um idêntico processo de flotação que engloba mesma rota, tempo de flotação, dosagem de reagentes, porcentagem de sólidos, nível de célula, vazão de ar, tempo de condicionamento e método de análise. A Tabela 2 apresenta os reagentes, juntamente com suas funções e dosagens utilizadas nos ensaios de flotação.

Tabela 2 - Reagentes e dosagens utilizadas nos ensaios de flotação

REAGENTE	FUNÇÃO	DOSAGEM (g/t)	TEMPO COND (min)	pH
SULFETO DE SÓDIO	Ativador e regulador de pH	1250	2	10,5
AGLP	Dispersante	320		
AMINA	Coletor	70		
MIBCOL	Espumante	28		

A rota de flotação utilizada para os testes se encontra na Figura 2. Os ensaios foram realizados em etapa única de concentração *Rougher* em pH 10,5 com tempo de flotação de dois minutos.

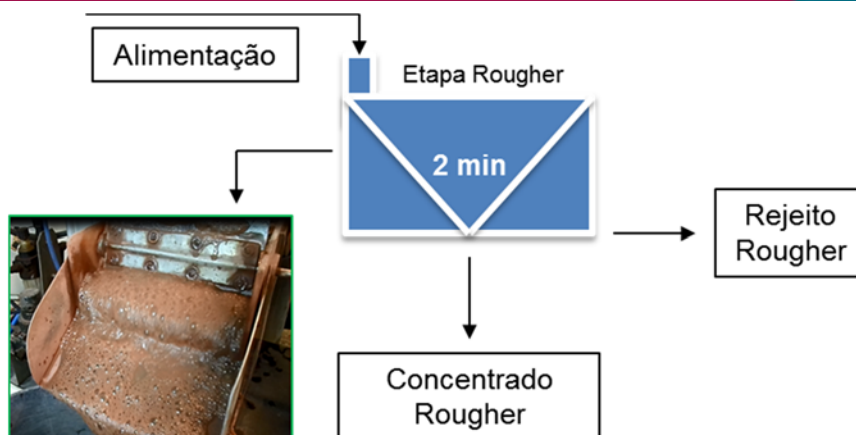


Figura 2 - Esquema da rota utilizada nos ensaios de flotação

As amostras de concentrado e rejeito, obtidas nos ensaios de flotação foram preparadas e analisadas através de fluorescência de raios X.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de flotação obtidos para as quatro amostras de pilhas são apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Resultados de Flotação em bancada

GRANULOMETRIA	TEOR Zn - ALIMENTAÇÃO	TEOR Zn - CONCENTRADO ROUGHER	RECUPERAÇÃO Zn ROUGHER
24% >0,15mm	12,13	43,24	63,98
	12,04	35,76	69,94
	11,68	36,19	62,88
	11,44	38,86	64,01
18% >0,15mm	12,16	39,76	73,96
	12,17	38,14	64,87
	11,64	38,42	72,26
	11,48	36,87	66,87
12% >0,15mm	12,43	39,65	75,68
	12,03	37,24	77,45
	11,44	37,06	80,93
	11,71	38,52	80,00
6% >0,15mm	12,33	39,46	79,49
	11,59	37,74	77,23
	11,95	37,49	81,39
	12,03	38,40	83,19
1% >0,15mm	12,34	36,23	82,52
	12,24	35,46	84,28
	11,82	32,34	84,55
	12,01	33,95	85,83

Os dados de recuperação e teor de concentrado provenientes da Tabela 3 foram organizados em gráficos de colunas para melhor interpretação dos resultados.



Gráfico 2 – **A** – Teores de Zn – Concentrado *Rougher*. **B** – Recuperações Zn – Concentrado *Rougher*

Observando o Gráfico 2 – **A**, nota-se que a redução de granulometria de 24%>0,15mm até 6%>0,15mm não acarretou em quedas expressivas de teor de concentrado, variando entre 38,51% e 38,12% de Zn. O mesmo não pode ser dito quanto a granulometria da moagem passa a ser de 1%>0,15mm. Com essa granulometria, a média do concentrado foi de 34,50, valor bem inferior às outras granulometrias aplicadas durante os ensaios.

Observando o Gráfico 2 – **B**, existe uma forte correlação entre a granulometria e a recuperação de zinco, deixando claro que, quanto menor a granulometria, maior a recuperação do elemento. Os ganhos em recuperação foram muito significativos, saindo de 65,20% até 84,29% em média, para as 4 pilhas estudadas.

Como dito anteriormente, a granulometria atual da usina de beneficiamento de Vazante é de 18%>0,15mm. Essa informação seja utilizada como referência para a tratativa dos resultados obtidos no estudo. Transferindo os dados do Gráfico 2 para a Tabela 3, temos:

Tabela 4 - Resultados de média dos testes de flotação

FAIXA GRANULOMÉTRICA	TEOR Zn - CONCENTRADO (%)	RECUPERAÇÃO Zn (%)	RECUPERAÇÃO MÁSSICA (%)
18% >0,15mm (Referência)	38,30	69,49	21,51
24% > 0,15mm	38,51	65,20	20,16
12% > 0,15 mm	38,12	78,51	24,51
6% > 0,15 mm	38,27	80,33	25,15
1% > 0,15mm	34,50	84,29	27,07

A faixa de 24% apresentou teor de concentrado dentro da especificação (>38%), porém houve uma queda de recuperação de aproximadamente 4 pontos percentuais em relação a referência atual de 69,49%. Os resultados de caracterização mineralógica obtidos demonstram que nessa granulometria acima de 18%> 0,15mm, a quantidade de Willemite liberada é baixa quando comparada com outras faixas granulométricas mais finas, corroborando para a queda de recuperação observada. As faixas de 6 e 12% apresentaram teores de concentrado próximos a referência, e um aumento significativo de recuperação de zinco. Dentre as duas faixas, a que apresentou melhor resultado foi a de 6%>0,15mm, com maior teor de concentrado (38,27% contra 38,12%) e recuperação (84,29% contra 80,33%). Essas informações evidenciaram uma maior seletividade ocasionada pela maior liberação de Willemite nessa faixa granulométrica, sem geração de ultrafinos que são prejudiciais a flotação. A faixa granulométrica de 1% apresentou a maior recuperação de zinco, porém acredita-se que o excesso de finos gerado por essa sobremoagem elevou o arraste hidrodinâmico de minerais carbonatados (dolomita) na flotação, comprometendo a seletividade do processo e reduzindo o teor de Zn no concentrado para valores indesejáveis de 34,71%. Atualmente, para que o concentrado de Zn seja tratado na etapa de metalurgia de forma efetiva, o mesmo precisa atingir valores próximos ao teor de referência de granulometria 18%>0,15mm, que é de 38% de Zn.

4.0 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que as faixas de 6 e 12%>0,15 mm com P₈₀ de 0,102 mm e 0,124 mm respectivamente, apresentaram os melhores resultados na flotação, com teor de concentrado dentro da especificação, e consequente elevação da recuperação de zinco. Quando a granulometria se reduz ainda mais até 1%>0,15mm, a recuperação de zinco segue se elevando, porém ocorre muita contaminação de ganga no concentrado, reduzindo a seletividade do processo e o teor de Zn no concentrado. Através dos ensaios realizados, foi demonstrado que o processo de moagem atual da usina não é suficiente para atingir a liberação ideal de Willemite. Esse fato reduz o melhor aproveitamento do minério no processo de flotação, evidenciando que há necessidade de uma moagem mais fina na usina de Vazante. Considerando os ensaios de etapas em bancada, a adequação granulométrica da etapa de moagem de 18% para 6% elevaria a recuperação de zinco em aproximadamente 11%, representando um ganho considerável que viabilizaria a otimização do processo de moagem atual. É importante ressaltar que o real ganho a ser obtido pela redução granulométrica só pode ser obtido através de uma exaustiva campanha de testes em usina piloto, onde todo o circuito da usina poderá ser simulado, com suas cargas circulantes, ineficiências de processo e outros fatores que não podem ser replicados

em testes de etapas em escala de bancada. Comprovou-se ainda que moagens ainda mais finas ($1\% > 0,15\text{mm}$) permitirão maior liberação, mas esta não refletirá em ganhos no processo atual, pois ocorre uma redução significativa do teor de zinco no concentrado, provavelmente devido a presença de ultrafinos na polpa que eleva o arraste de ganga carbonatada para o concentrado de Zn.

REFERÊNCIAS

- 1 Votorantim Metais. Relatório de dados – Trabalhos de flotação de Zinco e Geometalurgia 2014. Relatório Interno.
- 2 Votorantim Metais. Caracterização Tecnológica em Amostras de Minério de Silicatado de zinco 2014. Relatório Interno.
- 3 Votorantim Metais. Dados de planilhas de moagem – Trabalhos de flotação de Zinco em escala de bancada 2014. Relatório Interno.