

Impacto da pré-concentração em um  
minério de zinco silicatado

Impacto de la pre-concentración en un  
mineral de zinc silicatado

Sanches, J.G.<sup>1</sup>  
Neto, D.J.<sup>1</sup>  
Bergerman, M.G.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo - Av. Prof. Mello Moraes, 2373, São Paulo - SP, Brasil  
julia.guimaraes.sanches@gmail.com



## RESUMO

**A** pré-concentração consiste no descarte prévio de material com pouco ou nenhum conteúdo de metal antes da alimentação do concentrador. Tal prática causa uma série de impactos nas operações subsequentes, como redução do consumo de energia por tonelada de metal produzido, nos casos em que o material rejeitado apresentar WI elevado; diminuição do desgaste abrasivo em tubulações, rotores de bombas e revestimento de moinhos, quando o rejeito exibir AI alto; além de impactos na flotação, como aumento de recuperação e eliminação de flutuações no teor de alimentação. Neste sentido, a pré-concentração diminui custos operacionais, aumenta a rentabilidade da planta e permite o aproveitamento de minérios marginais. Para quantificar a influência da pré-concentração na usina de beneficiamento este trabalho teve como metodologia a realização de ensaios de flotação, com amostras de minério de zinco willemítico, que passaram por etapa de pré-concentração em comparação com amostras do mesmo minério que não foram pré-concentradas. A pré-concentração da willemita foi realizada por jigagem com material grosseiro (-12,7 +1,18 mm) e foi responsável por um descarte de aproximadamente 47% da massa com um teor de Zn de apenas 3,6% e um conteúdo de 72 % de dolomita, principal contaminante.

**Palavras-chave:** Pré-concentração, jigue, willemita, zinco.

## RESUMEN

La pre-concentración consiste en el descarte previo de material con poco o ningún contenido de metal antes de la alimentación del concentrador. Tal práctica causa una serie de impactos en las operaciones subsiguientes, como reducción del consumo de energía por tonelada de metal producido, en los casos en que el material rechazado presenta WI elevado; disminución del desgaste abrasivo en tuberías, rotores de bombas y revestimiento de molinos, cuando el rechazo muestra AI alto; además de impactos en la flotación, como aumento de recuperación y eliminación de fluctuaciones en el contenido de alimentación. En este sentido, la pre-concentración disminuye costos operacionales, aumenta la rentabilidad de la planta y permite el aprovechamiento de minerales marginales. Para cuantificar

la influencia de la pre-concentración en la planta de beneficiamiento este trabajo tuvo como metodología la realización de ensayos de flotación, con muestras de mineral de zinc Willemita, que pasaron por la pre-concentración en comparación con muestras del mismo mineral que no fueron pre-concentrado. La premezcla de la willemita fue realizada por lo jigge con material grueso (-12,7 +1,18 mm) y fue responsable de un descarte de proximidad el 47% de la masa con un contenido de Zn de sólo el 3,6% y un contenido de 72% de dolomita.

**Palabras clave:** Pre-concentración, jigge, willemita, zinc.

## INTRODUÇÃO

Atualmente tem-se encontrado cada vez mais minérios com baixo teor que exibem uma complexidade de associações mineralógicas, granulometria de liberação mais fina e alta diluição. O tratamento destes minérios requer operações de cominuição mais elaboradas com intensivo consumo energético e várias etapas de concentração, aumentando custos de instalação e operação da usina (1). Nestes casos, a adoção de uma estratégia de pré-concentração que elimina parte da ganga previamente, diminui custos e maximiza a produção, pode viabilizar projetos até então inviáveis. Já no caso de projetos existentes, esta prática pode ainda aumentar a vida útil do empreendimento por transformar minérios marginais em ROM (2,3)

A pré-concentração do minério antes das etapas dispendiosas, como moagem e flotação, consiste em descartar-se uma fração da ganga liberada, ou parcialmente liberada, com pouca ou nenhuma quantidade do metal de interesse, reduzindo a massa a ser alimentada no concentrador. Isto traz uma série de benefício para as operações subsequentes, como redução do consumo de energia por tonelada de metal produzido, nos casos em que o material rejeitado apresentar WI elevado; diminuição do desgaste abrasivo em tubulações, rotores de bombas e revestimento de moinhos, quando o rejeito exibir AI alto; além de impactos na flotação, como aumento de recuperação e eliminação de flutuações no teor de alimentação (4,5).

O aumento da recuperação global com a adoção de etapa de pré-concentração é ilustrado com os resultados observados na planta de Castlemaine Goldfield – Lion Gold Corp (Austrália). Nesta operação, 48% da alimentação foi rejeitada como ganga, quase dobrando o teor

da alimentação da planta de processamento. Embora apenas 92,6% do ouro tenha sido recuperado na pré-concentração, a recuperação global aumentou 3,8% devido ao aumento no teor da planta. Assim, com a rejeição da ganga e com aumento da recuperação, o consumo de energia para o ouro produzido, em MWh/oz, diminuiu 30% com a utilização da pré-concentração (6).

Na mina de Pirquitas (Argentina) da Silver Standard Resources, um circuito de pré-concentração com Inline Pressure Jig (IPJ) foi instalado depois da britagem terciária. Em termos de desempenho, o IPJ fornece uma alimentação mais concentrada para os processos posteriores, com teores variando de 300 a 400 g de Ag/t em comparação com um ROM de 180 g de Ag/t. Foi observado também, melhorias em torno de 10 a 20% na recuperação da flotação e aumento na produção do metal (5).

A pré-concentração não é uma estratégia nova e tem sido praticada por meio de tecnologias consolidadas capazes de tratar partículas grosseiras. Tais tecnologias podem ser separação em meio denso (Ciclone de meio denso (DMC), tambor de meio denso, Dyna Whirpool (DWT) e triflo), jigagem, *ore sorting* e separação magnética.

Tendo em vista os impactos da pré-concentração na usina, o objetivo deste trabalho foi verificar a aplicabilidade da pré-concentração, por meio de jigagem, para um minério de zinco silicatado da extração de Extremo Norte em Vazante-MG.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Uma amostra de minério de zinco silicatado foi coletada no circuito de britagem de um empreendimento mineiro brasileiro e foi estudada para averiguar a possibilidade de remoção da ganga previamente a moagem e adicionalmente qual seria o impacto desta pré-concentração.

A amostra totalizou uma massa inicial de aproximadamente 73 kg e foi homogeneizada em pilha alongada, de onde se retirou uma alíquota de 3,64 Kg para análise granuloquímica nas malhas 12,7; 6,35; 3,35 e 1,18 mm. Com a massa restante, separou-se 25,36 Kg como amostra tal qual, que não passou pela etapa de pré-concentração, e 44,2 Kg que foi preparado e submetido à pré-concentração por jigagem. O fluxograma da Figura 1 ilustra as etapas que a amostra submetida à pré-concentração passou.

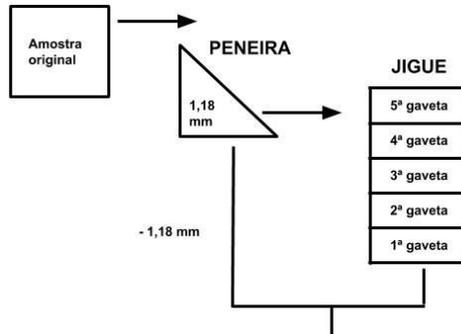


Figura 1. Fluxograma das etapas do circuito de pré-concentração.

Para que se pudesse realizar a jigagem o material fino (-1,18 mm), não alimentou a operação de jigagem (*by pass* da operação), sendo assim, a alimentação foi escalpada, retirando-se esta fração, uma vez que os finos interferem na operação do jigue.

Utilizou-se o jigue de estratificação semi-piloto (AllMineral Minijig) fabricado pela All jig (Figura 2). Este equipamento permite a coleta das camadas estratificadas, mediante a retirada das gavetas justapostas. O ensaio foi realizado com aproximadamente 40 kg de minério com as seguintes condições operacionais: a válvula de admissão de ar foi aberta em 50 %, a válvula de pressão que controla a amplitude do pulso foi aberta em 60% e a rotação do motor foi estabelecida em 74 rpm. O material previamente escalpado em 1,18 mm foi depositado por cima do crivo, situado sob as gavetas. Então, o equipamento foi preenchido com água até que todo o leito de partículas ficasse imerso e operou durante 30 min. Após a estratificação, o material foi retirado das gavetas, encaminhado à estufa e posteriormente pesado e submetido a análise química.



Figura 2. Jigue utilizado no programa de testes.

Foi britado o pré-concentrado até que fosse totalmente passante em 1,18 mm e realizou-se a homogeneização do material. O mesmo procedimento foi realizado para a amostra tal qual.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os resultados encontrados na análise granuloquímica.

Tabela 1. Valores da análise granuloquímica do material tal qual

QUÍMICA POR FAIXA												
Fração (mm)	Massa			Teores					Distribuição no ensaios (%)			
	Retido (Kg)	Retido simples (%)	Passante Acumulad o (%)	Zn	Fe	Pb	CaO	MgO	Zn	Fe	Pb	MgO
				%	%	%	%	%				
+12,7	0,00	0,00	100,00									
-12,7+6,35	2,03	55,77	44,23	19,53	2,87	0,29	17,32	12,05	57,12	57,31	54,80	55,26
-6,35+3,35	0,77	21,15	23,08	18,87	2,59	0,31	17,80	12,70	20,93	19,62	22,22	21,54
-3,35+1,18	0,51	14,01	9,07	18,17	2,67	0,29	17,79	12,56	13,35	13,40	13,77	14,26
-1,18	0,33	9,07	0,00	18,07	2,98	0,30	17,24	12,36	8,59	9,67	9,22	8,94
<b>Total calculado*</b>	<b>3,6</b>			<b>19,07</b>	<b>2,79</b>	<b>0,30</b>	<b>17,48</b>	<b>12,29</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
<b>Total analisado**</b>				<b>19,73</b>	<b>2,90</b>	<b>0,27</b>	<b>16,34</b>	<b>11,90</b>				
<b>Total calculado (+1,18)</b>	<b>3,3</b>			<b>19,17</b>	<b>2,77</b>	<b>0,29</b>	<b>17,50</b>	<b>12,28</b>				

\* Calculado a partir da média ponderada de cada fração

\*\* Valor da análise química da amostra cabeça

Esta análise mostrou como a granulometria do material pouco interfere nos teores dos elementos de interesse. Além disso, pode-se observar uma compatibilidade entre os teores de alimentação calculados e os analisados o que mostra uma análise química consistente e sem eventuais problemas de preparação de amostras.

Os resultados obtidos na estratificação em jigge podem ser visualizados na Tabela 2. O produto pré-concentrado foi composto pelas gavetas 1 e 2. O rejeito foi uma composição das gavetas 3, 4 e 5.

Tabela 2. Valores da análise química do material pré-concentrado.

JIGAGEM (-12,7 +1,18mm)												
Produto	Massa (kg)	Massa (%)	Teores (%)					Distribuição (%)				
			Zn (%)	Pb (%)	Fe (%)	CaO (%)	MgO (%)	Zn	Pb	Fe	CaO	MgO
1ª gaveta	12,00	27,47	46,02	0,31	5,52	3,66	2,41	65,20	32,70	49,72	5,55	5,30
2ª gaveta	8,88	20,33	17,41	0,27	2,98	19,09	12,56	18,25	21,00	19,85	21,40	20,44
3ª gaveta	8,18	18,73	3,78	0,23	1,80	26,77	19,45	3,65	16,48	11,05	27,64	29,16
4ª gaveta	7,96	18,22	3,81	0,21	1,44	27,00	19,05	3,58	14,64	8,60	27,13	27,79
5ª gaveta	2,64	6,04	2,39	0,20	0,91	28,63	16,96	0,74	4,62	1,80	9,54	8,21
Total jigge calculado*	39,66	90,80	19,53	0,26	3,06	18,23	12,50	91,42	89,44	91,01	91,25	90,89
Total jigge analisado**			19,17	0,29	2,77	17,50	12,28					
Cabeça jigge***			19,07	2,79	0,30	17,48	12,29					
<b>Pre-concentrado (G1+G2)</b>	<b>20,88</b>	<b>47,80</b>	<b>33,85</b>	<b>0,29</b>	<b>4,44</b>	<b>10,22</b>	<b>6,73</b>	<b>83,45</b>	<b>53,70</b>	<b>69,57</b>	<b>26,94</b>	<b>25,74</b>
Rejeito (G3+G4+G5)	18,78	42,99	3,60	0,22	1,52	27,13	18,93	7,98	35,74	21,45	64,31	65,16
By pass (1,18mm)	4,02	9,20	18,07	0,30	2,98	17,24	12,36	8,58	10,56	8,99	8,75	9,11
<b>Pré-concentrado + By-pass</b>	<b>24,90</b>		<b>31,30</b>	<b>0,29</b>	<b>4,21</b>	<b>11,36</b>	<b>7,64</b>	<b>92,02</b>	<b>64,26</b>	<b>78,55</b>	<b>35,69</b>	<b>34,84</b>
Total calculado*	43,68	100,00	19,39	0,26	3,05	18,14	12,49	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Cabeça***			19,73	0,27	2,9	16,34	11,9					

\* Calculado a partir da média ponderada de cada gaveta

\*\*Extraído da química por faixa ( Total calculado sem -1,18)

\*\*\* Cabeça (Total calculado extraído da química por faixa)

Quando considerada apenas a massa de alimentação do jigge, foi obtido um descarte de aproximadamente 47% da massa como rejeito, com um teor de Zn de apenas 3,6% e um conteúdo de 72% de MgO e 70% de CaO, principais contaminantes. Em contrapartida, recupera-se no pré-concentrado 91% do Zn em apenas 53% da massa alimentada.

Os teores de Fe, MgO e CaO sem a pré-concentração (alimentação da jigagem) são de 3,06%; 12,50% e 18,23%. Após a pré-concentração os teores destes mesmos componentes ficaram 4,44%; 6,73% e 10,22% respectivamente.

Para efeito de estudos, o pré-concentrado foi blendado ao *by pass*, com este acréscimo de material, a recuperação metalúrgica do zinco passou a ser de 92%. O teor do Zinco subiu de 19% na amostra original, sem pré-concentração, para 31,29% na amostra final blendada.

Pode-se observar também que mesmo tendo uma pequena queda no teor de zinco de 33 para 31% quando acrescentado o *by pass* nas gavetas de concentrado do jig, a mistura ainda é vantajosa para o concentrado final pelo aumento da recuperação mássica do zinco. Quando consideramos apenas o material jigado como concentrado, a recuperação do zinco é de cerca de 83% e quando acrescentamos o material fino (-1,18 mm) ao concentrado final, essa recuperação passa a ser 92%. Além disso, também há um pequeno aumento na quantidade da ganga, não interferindo negativamente no resultado final pois o teor ainda é menor do que a amostra original, ou seja, na parte tal qual o teor de MgO é de 11,9% enquanto na pré-concentrada + *by pass*, é de 7,64 e para o CaO, os números são 16,34% na alimentação original contra 11,36% após o jig e o blend.

## CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios em escala laboratorial mostraram, pela análise granulométrica, que as faixas granulométricas não alteram significativamente nos teores de interesse para o material. Todas as alimentações analisadas quando comparadas com as calculadas resultam em números consistentes, ou seja, evidencia uma boa análise química somada a falta de eventuais problemas de preparação das amostras. Após a utilização do jig, fica evidente, também, que este método de pré-concentração para o minério utilizado é bastante eficaz. Tornou-se vantajoso o blend entre as gavetas 1 e 2 resultantes do jig e o fino (*by pass*) como concentrado do processo. Os números para o elemento de interesse, o zinco, mostram uma recuperação mássica de 92% e um aumento do teor de cerca de 19% para cerca de 31%. Quando observada a ganga do material (MgO e CaO), os teores caíram de 12,50% e 18,23% respectivamente na alimentação para 7,64% e 11,36% no concentrado final.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Nexa Resources pela doação das amostras, realização das análises químicas e bolsa de estudos em parceria com o

CNPq (Projeto Inova Talentos), para o segundo autor deste trabalho. Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelo apoio com a realização dos ensaios de jigagem e ao Laboratório de Tratamento de Minérios da EPUSP pelo apoio para a realização dos ensaios de britagem e peneiramento. Agradecemos também ao CNPq pelo apoio por meio do edital Universal, processo 449932/2014/1 e bolsa produtividade, processo CT2016 – 308767/2016-0 e a Pró-reitoria de Graduação da USP pela bolsa de iniciação científica do autor principal do presente estudo. Por fim, agradecemos ao Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da USP pelo apoio financeiro para que os autores participassem do evento.

## REFERÊNCIAS

1. BERGERMAN, M.; NETO, D.; et al. “Redução do consumo de energia de circuitos de moagem com a utilização de pré-concentração de minerais sulfetados.” *Holos*, Ano 30, Vol. 3 2014.
  2. BAMBER, A S. Integrated mining, pre-concentration and waste disposal systems for the increased sustainability of hard rock metal mining. 2008. 331p. Tese (Doutorado) - The Faculty of Graduate Studies (Mining Engineering), University of British Columbia, Vancouver, 2008.
  3. MURPHY, B; VAN ZYL, J; DOMINGO, G. Underground Preconcentration by Ore Sorting and Coarse Gravity Separation. In: NARROW VEIN MINING CONFERENCE, Perth. 2012.
  4. CRESWELL, G. M. Pre-concentration of base metal ores by dense medium separation. In: SAIMM cooper, cobalt, nickel and zinc recovery conference, 2001, Joanesburgo: SAIMM, 2001. p. 1-10.
  5. GRIGG, N. J.; DELEMONTE, G. J. The Pre-Concentration Of Precious And Base Metal Deposits Using The Inline Pressure Jig (IPJ); Higher Feed Grades And More Metal. 2015. Disponível em: <<http://www.ceecthefuture.org/wp-content/uploads/2015/06/IMPC-2014-Pre-concentration-Paper-Revision-CEEC-150825.pdf>>. Acesso em: 25 Out. 2015.
- GRIGG, N. Implementing Eco-Efficient Comminution Strategies, In 8TH INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING SEMINAR, Santiago, Chile, 2011.