

## RECUPERAÇÃO DE SULFETOS EM MINÉRIO DE ZINCO PREDOMINANTEMENTE SILICATADO

SIQUEIRA, J.S.<sup>1</sup>, PERES, A.E.C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais. Juliana.siqueira.js1@vmetais.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais. aecperes@demet.ufmg.br

### RESUMO

Estudos desenvolvidos na mina de Vazante indicaram a presença de minerais sulfetados de zinco, cobre, chumbo e prata, sugerindo a busca de alternativas para recuperar esses minerais. Por ter como produto principal o concentrado de zinco silicatado, a preocupação em não alterar os parâmetros de processo da flotação de silicato de zinco foi uma premissa em todo o desenvolvimento dos trabalhos. Devido ao tamanho de liberação entre os minerais de zinco e chumbo sulfetados estar em torno de 16  $\mu\text{m}$  e a granulometria utilizada na flotação de zinco silicatado ser em torno de 18% retido em 150  $\mu\text{m}$ , na bateria de ensaios em escala piloto foi necessário realizar uma primeira etapa de flotação *bulk*, com o objetivo de separar os minerais sulfetados dos demais e dessa forma não gerar finos para a flotação de zinco silicatado, o que prejudicaria esta etapa de flotação. O concentrado *bulk* passou por um processo de remoagem para atingir o grau de liberação requerido para separação entre os minerais de chumbo e zinco sulfetados. No processo industrial o rejeito da flotação *bulk* seguirá para a flotação atual de zinco silicatado sem nenhuma alteração de granulometria. Foram produzidos concentrados sulfetados de chumbo/prata com recuperação mássica média de 42% e teor médio de Pb de 65,5% e Ag de 5401 ppm e de zinco com recuperação mássica média de 40% e teor médio de Zn de 48,6%.

**PALAVRAS-CHAVE:** zinco silicatado; minerais sulfetados; flotação *bulk*; remoagem.

### ABSTRACT

Studies developed at Vazante's mine indicated the presence of zinc, copper, lead, and silver sulfides, suggesting the search for alternatives to recover these minerals. Considering that the silicate zinc concentrate is the main product, the concern was not to alter the zinc silicate flotation parameters. Due to the fact that the liberation size between the zinc and lead sulfide minerals is 16  $\mu\text{m}$  and the size distribution of the silicate flotation feed is 18% retained in 150  $\mu\text{m}$ , the first stage of the pilot scale testwork consisted of bulk flotation aiming at the separation of the sulfides from the other minerals preventing the production of fines that would impair the silicate zinc flotation. The bulk concentrate was then reground to reach the liberation degree required for the separation between lead and zinc sulfides. In the industrial process the bulk flotation tailings will follow to the zinc silicate flotation without any change in size. The lead sulfide concentrate presented average weight recovery of 42% and Pb average grade of 65,5% and Ag grade of 5401 ppm and the zinc sulfide concentrate presented average weight recovery of 40% and Zn average grade of 48,6%.

**KEYWORDS:** zinc silicate; sulfide minerals; bulk flotation; regrinding.

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Vazante, localizada no noroeste mineiro, possui a maior reserva brasileira de zinco contanto com cerca de 2 milhões de toneladas a um teor geológico estimado de 22% de zinco, o que corresponde a quase 1% do total mundial (maior mina de zinco em operação no Brasil). Atualmente, a Votorantim Metais possui uma Unidade de concentração de zinco no município de Vazante com uma capacidade instalada de 170.000t/ano de zinco silicatado (MARTINS, 2010).

Os trabalhos realizados por Amaral (1968), Monteiro (1997; 2002) e Monteiro *et al.*, (1999, 2006; 2007) na Mina de Vazante indicaram a presença de múltiplas fases minerais portadores de zinco, incluindo, além de willemita (mineral-minério), hemimorfita, smithsonita, esfalerita, clorita (contendo até 13% de Zn), hematita (contendo até 6% de Zn), franklinita, zincita, gahnita e dolomita. Associados ao zinco foram identificados chumbo, cádmio, prata, cobalto, antimônio, cobre, níquel, arsênio, mercúrio, vanádio, urânio e elementos terras-raras leves.

Com o intuito reduzir os teores de carbonatos (dolomita) no concentrado silicatado de zinco produzido na Unidade de Vazante, visando eliminar ou minimizar a geração de espuma, reduzir o consumo de ácido e reduzir as perdas por transbordo na unidade de extração hidrometalúrgica de Três Marias, foram realizados estudos de pré-concentração e concentração de carbonatos por flotação. Durante estes estudos foi evidenciada a presença de minerais sulfetados de zinco e chumbo no concentrado de zinco silicatado produzido na Unidade de Vazante.

### 1.1. Mineralogia

Segundo Monteiro (2002), em Vazante, a associação de minerais-minério é constituída principalmente por willemita ( $Zn_2SiO_4$ ), com esfalerita, galena, franklinita e zincita subordinados. Em Vazante, a associação sulfetada na zona mineralizada (esfalerita + galena) é irregular e subordinada, bem como a presença de folhelhos carbonosos. Existem registros, todavia, da presença de águas levemente ácidas ou até ácidas, em profundidade (LEMOS, 2011).

Autores como Hitzman (2003) e Silva *et al.* (2006) consideram que o complexo sistema de alteração supergênica, transporte e deposição em uma dinâmica cárstica teriam sido os responsáveis pela ocorrência da mineralização supergênica de calamina na área de Vazante. Esses depósitos são irregulares e apresentam diversas geometrias, mineralogias e teores distintos.

### 1.2. Flotação

A concentração de minerais por meio de flotação basicamente envolve a afinidade ou não de determinados constituintes minerais pelos reagentes químicos adicionados durante o processo. Esta tecnologia é muito aplicada no tratamento de polimetálicos sulfetados (Pb, Zn, Cu), contendo elementos preciosos como ouro e prata (BULATOVIC, 2007).

Determinados minerais ou grupos de minerais são tratados seletivamente com base nas suas diferentes propriedades físicas e químicas. A identificação dos minerais presentes na jazida é a primeira etapa dentro de um estudo de concentração por flotação, e a flotabilidade das espécies de interesse depende não apenas da natureza ou abundância dos minerais presentes, mas também da sua textura, tamanho dos grãos, condições de superfície e a forma mineralógica de ocorrência.

Classicamente os sistemas de flotação são divididos em sulfetos e não sulfetos. Os coletores empregados na flotação de sulfetos são conhecidos como tio-compostos. A classe dos não sulfetos é mais complexa, pois engloba um número muito grande de minerais. Os minérios contendo sulfetos minerais são muitas vezes polimetálicos e contêm ganga não sulfetada.

Segundo Yovanovic (2004), raramente acontece a separação de apenas um sulfeto da ganga, processo que seria chamado de flotação seletiva. Pelo contrário, a separação de todos os sulfetos da ganga é chamada de flotação bulk ou coletiva. Sulfetos de cobre (como a calcopirita –  $\text{CuFeS}_2$ ), chumbo ( $\text{PbS}$ ) e zinco ( $\text{ZnS}$ ) são normalmente encontrados no mesmo minério.

Os grupos polares dos tio-compostos contêm pelo menos um átomo de enxofre não ligado a oxigênio. São usualmente derivados de um “composto de origem” oxigenado, através da substituição de um ou mais átomos de oxigênio por enxofre.

As principais propriedades dos tio-compostos são: (i) baixa ou nenhuma atividade na interface líquido/ar (caracterizando ação exclusivamente coletora, ausência de ação espumante); (ii) alta atividade química em relação a ácidos, agentes oxidantes e íons metálicos; (iii) diminuição da solubilidade com o aumento da cadeia hidrocarbônica

A presença de minérios oxidados acontece normalmente nas zonas mais altas da jazida, ou mais alteradas. A baixa recuperação geral de minérios que possuem frações de minério oxidado se deve não apenas à presença destes, mas também das lamas associadas a estes tipos de minérios (YOVANOVIC, 2004).

Os minerais oxidados de chumbo são mais difíceis de flotar que os seus correspondentes sulfetos. Esta dificuldade é relatada por Azañero *et al.* (2002) e está intimamente associada à extensiva hidratação de carbonatos, sulfatos e silicatos, a qual se deve à interação das moléculas de água com os sítios polares que são criados nas superfícies destes minerais durante a sua fratura; como resultado da adsorção de moléculas de água na superfície são formados grupos hidroxila, sendo a superfície muito mais hidrófila quando comparada com a superfície dos sulfetos. Estas camadas de água têm um efeito significativo na umectação físico-química da superfície do sólido e na natureza da adsorção, criando condições desfavoráveis para a flotação já que a adsorção de coletores na interfase mineral / água é fundamental para se passar de uma situação hidrófila a hidrófoba para que se flote um mineral. Assim sendo, alterar as condições desta interfase é muito importante e, algumas vezes, difícil de se lograr, em minerais oxidados.

## 2. METODOLOGIA

Cerca de 20 toneladas de amostra retirada da pilha de homogeneização que alimenta a planta industrial foram depositadas no pátio da britagem piloto, de onde alimentou-se um britador de mandíbulas (abertura de 6 mm) a uma taxa de 2,0 t/h . O produto britado seguiu para uma peneira vibratória (abertura de 6,35 mm), o *undersize* da peneira foi direcionado para uma pilha cônica e o *oversize* retornou ao britador em um circuito fechado. Para a formação de uma pilha homogênea, o minério foi direcionado a um carrinho que distribuiu todo material ao longo dessa pilha. O material foi retomado manualmente e alimentou o moinho de bolas via tremonha.

Para a moagem, utilizou-se um moinho de bolas com capacidade de 200 kg/h de minério. Todo material após a moagem foi bombeado para um classificador em espiral, de onde as partículas do *underflow* retornaram ao moinho, e *overflow* foi direcionado para o condicionamento, que recebeu os reagentes pré-estabelecidos. Todo polpa, após ser misturada aos reagentes em condicionadores com capacidade de 60L, seguiu para as etapas de flotação que contam com células com capacidade de 70L, 35L e 10L.

Na etapa da flotação *bulk* foram utilizadas 2 células *rougher* (70L cada), 2 células *scavenger rougher* (70L cada), 1 célula *cleaner* (35L), 1 célula *scavenger cleaner* (35L) e 1 célula *recleaner* (10L). Nesta etapa os reagentes utilizados foram:

- Silicato de sódio: tem função de dispersante. É um sal inorgânico líquido, miscível em água, com densidade entre 1,37g/L a 1,60g/L e pH entre 10,5 e 12,0 para uma solução de 1%. Foi fornecido pela empresa Diatom Mineração Ltda;
- Sulfeto de sódio: tem função de modulador de pH e ativador de minerais oxidados. Para esta função o reagente foi preparado juntamente com barrilha a 23% de sua composição. O sulfeto de sódio é fornecido em escamas com coloração amarelo alaranjada, possui forte odor de ovo podre com 48% de princípio ativo. Atualmente este reagente é fornecido por diferentes empresas chinesas. A barrilha é um sal inorgânico (carbonato de sódio) fornecido na forma de granulado branco inodoro;
- Sulfato de cobre: tem função de ativador de esfalerita. Possui forma de finos cristais azuis, não possui odor característico e é facilmente solúvel em água. Foi fornecido pela Votorantim Metais – Juiz de Fora;
- Pietfloat Ag 585: tem função de coletor de sulfetos. Composto por ditio-fosfato de di-álquila em mistura com compostos coadjuvantes. É um líquido de verde a alaranjado intenso, com forte odor desagradável. Foi fornecido pela empresa Pietschemicals;
- Aero 7376 Promoter: tem função de coletor de sulfetos. É composto por uma mistura entre tiocarbamato, ditio-fosfato e metil isobutil carbinol. É um líquido com coloração amarelo ao âmbar e odor acre. Tem solubilidade em água suave. Foi fornecido pela empresa Cytec;
- Mibcol: tem função de espumante. É um metilisobutilcarbinol, líquido incolor com odor característico e alta inflamabilidade, não deve ser diluído em água. Foi fornecido pela empresa Dow Chemicals.

O objetivo da flotação *bulk* foi separar todos os minerais sulfetados do minério silicatado, para posteriormente, na flotação seletiva, fazer-se a separação entre os minerais sulfetados.

Para os testes piloto foram selecionados os reagentes e a rota que deram os melhores resultados em bancada. As dosagens desses reagentes em cada ponto podem ser vistas na tabela I.

Durante todo o teste piloto as variáveis operacionais foram mantidas, ocorrendo apenas oscilações normais de processo. Várias amostragens foram feitas durante todo o período de operação da planta com intuito de mapear essas oscilações.

**Tabela I. Dosagem dos reagentes utilizados nos testes em escala piloto.**

Reagentes	Dosagem por ponto (g/t)		Dosagem Total (g/t)
	Ponto de Dosagem	Dosagem (g/t)	
Silicato de Sódio	Condicionador 1	1300	1300
Sulfeto de Sódio	Condicionador 1	240	380
	Scavenger Rougher	140	
Sulfato de Cobre	Condicionador 2	250	400
	Ag 585	220	
Ag 585	Scavenger Rougher	150	370
	Aero 7376	Moinho	
Mibcol	Condicionador 2	35	70
	Scavenger Rougher	35	

O concentrado final (concentrado *bulk*) foi enviado para um cone desaguador onde a porcentagem de sólidos da polpa foi elevada para aproximadamente 50%, para assim alimentar um moinho de remoagem que reduz a amostra até um P80 = 0,016mm. A polpa foi então enviada para os condicionadores onde foram adicionados os reagentes definidos em bancada para a flotação de galena e depressão de esfalerita.

Nesta etapa de flotação foram utilizadas 2 células *rougher*, 2 células *scavenger rougher*, 1 célula *cleaner* e 1 célula *re-cleaner*. Todas as células de flotação desta etapa tem capacidade de 10L (menor tamanho fabricado para células de flotação em escala piloto). Os reagentes utilizados nesta etapa foram:

- Deprapol COT 01: tem função de depressor de esfalerita. É um amido modificado, fornecido na forma de um pó fino com coloração creme a levemente marrom com viscosidade entre 27 e 37 s. Foi fornecido pela empresa Pietschemicals;
- Sulfato de zinco: tem função de depressor de esfalerita. É um sulfato de zinco heptahidratado, fornecido na forma de cristais transparentes a brancos, com leve odor e solúvel em água. Foi fornecido pela empresa Microsal;
- Pietfloat Ag 01/011: tem função de coletor de minerais de prata. É um amino ditiofosfato, fornecido em forma de grãos levemente acinzentados, com odor desagradável tipo dissulfeto de carbono, e baixa solubilidade em água. Foi fornecido pela empresa Pietschemicals;
- Mibcol: o mesmo utilizado na etapa *bulk*.

O rejeito da flotação seletiva de Chumbo e Prata alimentou a flotação seletiva de Zn sulfetado. Nesta etapa foram utilizados 3 condicionadores, 2 células *rougher*, 2 células *scavenger rougher* e 1 célula *cleaner* (todas de 10l) e os reagentes que foram pré-estabelecidos em bancada. Estes reagentes foram:

- Dicromato de sódio: tem função de depressor de chumbo. É um sal fornecido em forma de cristais alaranjados, inodoro e solúvel em água. Foi fornecido pela empresa Casquímica;
- Sulfato de cobre: mesmo utilizado na etapa *bulk*;
- Cal: tem função de modulador de pH. É um óxido inorgânico, fornecido em forma de um sólido branco em diferentes faixas granulométricas, inodoro, com baixa solubilidade em água. Foi fornecida pela empresa Belocal;
- Mibcol: mesmo utilizado na etapa *bulk*;
- Aero 7376 Promoter: mesmo utilizado na etapa *bulk*;
- Amil xantato de potássio: tem função de coletor de sulfetos. É um ester-ditio-amil fornecido na forma de pó com coloração de amarelo claro a verde com odor desagradável. Foi fornecido pela empresa FloMin.

A flotação seletiva foi dividida em duas etapas, na primeira etapa buscou-se deprimir a esfalerita e flotar os minerais de chumbo e prata, produzindo-se um concentrado de chumbo/prata. O rejeito desta flotação seguiu para segunda etapa de flotação, que teve por objetivo deprimir os minerais de chumbo e zinco silicatado e flotar o zinco sulfetado.

Neste teste, assim como no teste feito para a etapa *bulk*, as variáveis operacionais foram mantidas durante todo o teste, com oscilações comuns de processo. Os testes das etapas de flotação seletiva de chumbo/prata e seletiva de zinco sulfetado foram feitos em série. Na tabela II apresentam-se os reagentes, dosagens e distribuição utilizados no teste piloto.

**Tabela II. Reagentes utilizados nos testes em escala piloto.**

Flotação	Ponto de Dosagem	Reagentes					
		Deprapol COT01	Sulfato de Zinco	Ag 01/011	Mibcol		
Flotação Seletiva de Chumbo/Prata	Condicionador 01	300	50				
	Condicionador 02			9	6		
	SCV RG 1	300	50	9	11		
	SCV RG 2	300	50	9	11		
	SCV RG 3	300	50	9	11		
	Cleaner	300	50	9	11		
Flotação Seletiva de Zinco Sulfetado	Ponto de Dosagem	Reagentes					
		Dicromato de Sódio	Sulfato de Cobre	Cal	Mibcol	Aero 7376	Amil
Condicionador 1	8700	2000	550				
Condicionador 2				20	30	70	
SCV RG 1	1700	500	220	20		45	
Cleaner	1700	500	70				

Ao final do processo foi feita uma amostragem de todos os pontos do processo, seguindo-se, filtragem, secagem, pesagem e análise química via absorção atômica de todas as amostras, para fechamento de balanços mássicos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Flotação *bulk*

Os resultados obtidos na flotação *bulk* podem ser vistos na tabela III. Nesta bateria de testes alimentou-se a planta com um teor de 0,52% de chumbo e 15,33% de zinco.

**Tabela III. Resultados obtidos nos testes em escala piloto na flotação *bulk*.**

Amostragem	Teor Zn (%)	Teor Pb (%)	Teor Ag (ppm)	Rec. Mássica	Amostragem	Teor Zn (%)	Teor Pb (%)	Teor Ag (ppm)	Rec. Mássica
1	28,23	35,31	2338,55	0,50	19	21,29	33,47	2750,52	0,71
2	21,17	40,49	2961,53	0,20	20	22,18	33,29	2919,09	1,29
3	24,84	38,04	3138,52	0,57	21	20,06	38,80	3011,72	0,24
4	25,38	34,81	2643,26	0,69	22	22,09	36,90	2975,85	0,72
5	24,03	36,54	2645,84	0,56	23	23,72	32,22	3241,33	0,57
6	24,79	37,30	3035,12	0,44	24	20,12	36,66	2881,35	0,38
7	26,35	34,32	2699,44	0,76	25	21,22	36,08	2724,98	1,21
8	25,97	34,30	2617,58	0,65	26	21,50	35,80	3214,53	0,68
9	26,00	34,26	2686,56	0,66	27	20,77	33,60	2337,89	0,14
10	25,70	33,05	2870,56	0,65	28	20,74	36,50	2824,15	0,16
11	21,28	36,56	2406,78	0,54	29	23,28	35,30	2893,43	1,35
12	24,02	35,61	2501,72	0,33	30	23,35	36,60	3008,69	0,54
13	29,06	33,93	3156,33	0,51	31	22,52	36,20	2509,86	0,98
14	28,71	35,65	2695,82	0,98	32	22,21	39,47	2529,94	1,88
15	28,46	35,82	2958,59	0,30	33	21,12	36,58	3070,96	1,08
16	24,97	32,00	3407,80	0,77	34	21,69	39,26	3013,16	0,96
17	21,35	36,96	2966,65	0,10	35	21,82	32,38	2769,44	0,70
18	21,78	36,32	2762,16	1,14	36	36,17	36,46	2552,64	0,63

A partir da tabela 3 foi possível concluir que os reagentes e as dosagens escolhidas permitiram chegar às metas de teores e recuperações desejadas: 35% de Pb e 25% de Zn com recuperação mássica de 0,6% com pequenas variações entre os resultados, fato comum em um circuito com carga circulante.

#### 3.2. Flotação Seletiva

Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos nas duas etapas piloto de flotação seletiva. Apesar das variações nos resultados, pode-se observar que estão bem próximos à meta estipulada: 60% de Pb e 9% de Zn com recuperação mássica de 40%. A etapa de flotação seletiva de zinco sulfetado requer mais estudos com o intuito de reduzir o teor de chumbo neste concentrado, uma vez que este metal é visto como um contaminante para o concentrado de zinco.

**Tabela IV. Restados obtidos nos testes em escala piloto na flotação seletiva.**

Flotação Seletiva de Chumbo/Prata				
Amostragem	Rec. Mássica (%)	Teor Pb (%)	Teor Ag (ppm)	Teor Zn (%)
1	41,24	63,05	5421,51	8,75
2	41,26	63,91	5485,15	9,44
3	30,34	59,99	5500,33	9,90
4	57,34	60,49	5404,03	9,90
5	34,58	67,07	5456,60	7,59
6	30,39	72,08	5293,31	6,54
7	46,03	73,39	5449,50	6,18
8	51,23	64,34	5201,00	8,40
<b>Média</b>	<b>41,55</b>	<b>65,54</b>	<b>5401,43</b>	<b>8,34</b>
Flotação Seletiva de Zinco Sulfetado				
Amostragem	Rec. Mássica (%)	Teor Pb (%)	Teor Ag (ppm)	Teor Zn (%)
1	34,02	11,63	709,00	52,79
2	46,09	19,06	692,00	44,33
<b>Média</b>	<b>40,06</b>	<b>15,35</b>	<b>700,50</b>	<b>48,56</b>

#### **4. CONCLUSÃO**

Diante dos resultados atingidos em escala piloto pode-se concluir que é possível produzir em escala industrial concentrados de chumbo e prata (recuperação mássica média de 42% e teor médio de 65,5% de Pb e 5401 ppm de Ag) e zinco (recuperação mássica média de 40,0% e teor médio de 48,6% de Zn e 700,5 ppm de Ag) sulfetados provenientes do ROM da mina de Vazante atendendo os requisitos de qualidade do mercado, elevando a receita da Unidade com a produção de mais dois sub-produtos.

#### **5. REFERÊNCIAS**

AMARAL, G. Resultados preliminares do estudo sobre a mineralização e composição isotópica do chumbo em galenas de depósitos encaixados no Grupo Bambuí. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Geologia, 1968.

AZAÑERO, O.A., JARA, A.N.P., LOLI, F.A., DELGAD, L.E., SOSIMO, S.F., SALAZAR, R.O., RIOS, C.M., REYES, R.B., ARAGÃO, Y.C.S. Flotación de Minerales Oxidados de Plomo. Revista Del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, v. 5, n. 10, p. 34-43, 2002.

BULATOVIC, S.M. Handbook of flotation reagentes: Chemistry, Theory and Practice, Flotation of Sulfide Ore, First edition. Petersborough, Ontario, Canada, 2007.

HITZMAN, M.W.; Reynolds, N.; Sangster, D.F.; Allen, C.R.; Carman, C. Classification, Genesis, and Exploration Guides for Non-Sulfide Zinc Deposits. Econ. Geol., v. 98, p. 685–714, 2003.

LEMOS, M.G. Caracterização Geológica e Tecnológica do Minério de Zinco do Extremo Norte da Mina de Vazante, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geologia, UNICAMP, 2011.

MARTINS, L. Produção de Concentrado do Zinco com a partir de Minério Silicatado com Redução no Teor de Carbonato. Tese de Doutorado, CPGEM, UFMG, 2010.

MONTEIRO, L.V.S. Contribuição à gênese das mineralizações de Zn da Mina de Vazante, Vazante, MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1997.

MONTEIRO, L.V.S. Modelamento metalogenético dos depósitos de zinco de Vazante, Fagundes e Ambrósia, associados ao Grupo Vazante, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Instituto de Geologia, UNICAMP, 2002.

MONTEIRO, L.V.S., BETTENCOURT, J.S., SPIRO, B., GRAÇA, R., OLIVEIRA, T.F. The Vazante zinc mine, Minas Gerais, Brazil: Constraints on willemitic mineralization and fluid evolution. Exploration Mining and Geology, v. 8, p. 21–42, 1999.

MONTEIRO, L.V.S.; BETTENCOURT, J.S.; JULIANI, C.; OLIVEIRA, T.F. Nonsulfide and sulfide-rich zinc mineralizations in the Vazante, Ambrósia and Fagundes deposits, MG, Brazil: mass balance and stable isotope constraints on the hydrothermal alterations. Gondwana Research, v. 11, p. 362-381, 2007.

MONTEIRO, L.V.S.; BETTENCOURT, J.S.; JULIANI, C.; OLIVEIRA, T.F. Geology, petrography, and mineral chemistry of the Vazante non-sulfide and Ambrósia and Fagundes sulfide-

rich carbonate-hosted Zn-(Pb) deposits, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geology Reviews*, v. 28, p. 201-234, 2006.

SILVA, T.A.V. Estudos de Reagentes na Flotação de Minério de Zinco. Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2006.

YOVANOVIC, A.P. Engenharia da Concentração de Massa por Flotação, Volume 01: Fundamentos da Flotação. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004.