



Classificação dos depósitos de enriquecimento supérgeno na mina de zinco de Vazante – MG: contribuições para prospecção de calamina

J. Mota e Silva, G.D. Oliveira & S.N. Ferreira

Votorantim Metais, Pr. Ramos de Azevedo, 254 – 5º andar – Centro - 01037-912 – São Paulo – SP.
jonasmota@vmetais.com.br, gustavo_diniz@vmetais.com.br, samuel_nunes@vmetais.com.br

Abstract Recent developments of the hydrometallurgy technique have caused the attraction on the non-sulphide zinc deposits. The Vazante Mine in Brazil has the biggest hypogenic zinc deposit in the world, which was recently defined as a hydrothermal willemite deposit. However, works dealing with the Vazante's supergenic (calamine) deposit comprehension are still scarce. This work relates seven different types of these non-sulphide deposits at Vazante Mine. The deposits are classified according to the ore body architecture, stratigraphic position, size, and zinc to iron ratios. The new classification associated with the hydrologic analysis allowed a different interpretation for the Vazante supergenic deposits, with mechanical and chemical transportation process involved. Finally some guides to the calamine prospecting are proposed based on the deposit types understanding.

Keywords: calamine, hemimorphite, Vazante Mine, non-sulphide zinc deposits, supergenic.

A faixa metapelítica-dolomítica pertencente ao Grupo Vazante, com cerca de 10 km de largura e 250 km de comprimento, estende-se desde seu extremo norte em Unai até seu extremo sul em Coromandel no NW do estado de Minas Gerais. Essa extensa, porém delgada faixa abriga algumas dezenas de ocorrências de Zn e Zn-Pb. Dentre os depósitos importantes existentes, destacam-se a mina de Zn-Pb sulfetado de Morro Agudo no Município de Paracatu e a mina de zinco silicatado de Vazante (19Mt @ 24% minério primário e 1Mt @ 15% minério de enriquecimento supérgeno), no município de mesmo nome. O minério primário é formado basicamente por willemite, enquanto que o secundário constitui uma importante capa de enriquecimento supérgeno com formação de hemimorfita e subordinadamente hidrozinca (informalmente conhecidas como calamina).

Os depósitos de zinco silicatado vêm-se tornando cada vez mais importantes no mundo contemporâneo, pois consistem em minério de alto teor e com baixo impacto ambiental no beneficiamento e metalurgia. Avanços científicos com novas técnicas na fundição (inovações em hidrometalurgia) também colaboraram para o crescimento no interesse por esse tipo de depósito (Hitzman 2003).

O entendimento do processo de formação do minério primário de Vazante vem passando por discussões e transformações recentes na comunidade científica. Porém trabalhos como os de Monteiro *et al.* (2003) e Brugger *et al.* (2003) mostram mais claramente o consenso sobre sua origem hidrotermal, semelhante ao que ocorre em Beltana, sul da Austrália (Groves *et al.* 2003).

A zona de mineralização primária (willemítica) demonstra constituir-se de corpos alongados por superfícies curvas de falhas contidas em importante faixa conhecida como Falha Vazante. Essa apresenta direção muito semelhante ao acamamento regional, com média em N30E, porém com mergulho 55°NW, enquanto que o S₀ médio apresenta 25°NW. Toda essa estrutura evidencia uma forte brechação hidrotermal, com desenvolvimento inclusive de um halo de alteração ankerítica nos dolomitos encaixantes.

A paragênese dos corpos de minério primário é basicamente composta de

willemite+dolomite+quartz+siderite+hematite±
esfalerite±barite±franklinite±zincite±magnetite± Zn-clorite
(Monteiro 1997).

Porém o zinco silicatado de enriquecimento supérgeno é de fato muito mais comum no mundo afora do que o silicatado de origem hipogênica, correspondendo hoje a 10% das reservas mundiais. Foi justamente explorando o minério secundário (calamínico) que a Mina de Vazante se desenvolveu por quase 20 anos. Hoje em dia o minério calamínico corresponde a 25% da produção e tem seu esgotamento previsto para 2007. O entendimento da dinâmica referente à alteração do minério primário, transporte mecânico, transporte químico e deposição faz-se necessária para ampliação das reservas, tendo em vista a perspectiva de ampliação da mina para as áreas mais a norte.

Os estudos desenvolvidos em outras áreas sobre esse tipo de mineralização, constituem casos um pouco diferentes daquele de Vazante, pois derivam de minério sulfetado em profundidade (Skorpion e Berg Aukas, Namíbia; Franflin e Sterling, EUA; Abu



Samar, Sudão). Apesar desse fato não afetar muito as paragêneses minerais formadas, esse fator é fundamental no entendimento da geração de águas ácidas. O zinco é um metal que tem sua solubilidade fortemente atrelada ao pH do fluido solvente. Sendo ele fortemente solúvel sob condições ácidas e insolúvel sob condições alcalinas, com a inflexão da curva próxima ao pH 6,5 (levemente ácido). Além disso, essas águas irão, em áreas calcárias ou dolomíticas, condicionar o processo de carstificação, componente fundamental no enriquecimento supérgeno.

O modelo genético típico para esses depósitos começa com a oxidação dos minerais sulfetados primários (ex. esfalerita, pirita, galena) e conseqüente formação de águas ácidas. O zinco pode então se estabilizar na forma de silicatos ou óxidos na mesma posição do minério primário, ou sofrer transporte químico pela percolação do fluido ácido. A interação desse fluido com as rochas carbonáticas eleva o pH e diminui a solubilidade do zinco causando, assim, sua deposição (Hitzman *et al.* 2003). Quando em ambiente cárstico, a erosão e deposição mecânica também devem ser consideradas.

Em Vazante, porém, a associação sulfetada na zona mineralizada (pirita+esfalerita) é irregular e subordinada, bem como a presença de filitos piritosos. Existem registros, todavia, da presença de águas levemente ácidas ou até ácidas, em profundidade.

Heyl e Bozion (1962) sugeriram a divisão dos depósitos não-sulfetados em hipogênicos e supergênicos. Esses últimos sub-divididos em três tipos distintos: substituição direta, substituição da encaixante e acumulação saprolítica (solo argiloso rico em zinco, com ou sem transporte mecânico envolvido). Large (2001) tratou do assunto muito tempo depois, dividindo em depósitos calamínicos, willemíticos ou silicatos hidratados de zinco preservados em zona supérgena. Mais recentemente Hitzman *et al.* (2003) propuseram a seguinte classificação baseada na proposta de Heyl & Bozion (1962): substituição direta (ex. Accha, Peru e Agouran, Irã), substituição da encaixante (ex. Skorpion, Namíbia) e preenchimento de carst e residual (ex. Padaeng, Tailândia).

Nesse mesmo o artigo Hitzman *et al.* (2003) classifica o depósito supergênico de Vazante como de substituição direta. Todavia, uma análise mais detalhada sobre os diversos depósitos que constituem a Mina de Vazante, sugere um complexo sistema de alteração, transporte e deposição em uma dinâmica cárstica que resulta em diversas geometrias, mineralogias e teores distintos. Para podermos colaborar com indicadores prospectivos relacionados à expansão da Mina de Vazante, bem como evoluir na discussão sobre a classificação mais genérica desses depósitos, é explicitado na Tabela 1 um resumo dos tipos encontrados.

Tipo do depósito		Tipo Hitzman (2003)	Transp. químico	Transp. mecânico	Estrutura associada	Tamanho	Geometria	Material hospedeiro
A	solo residual	substituição direta	não	não	brecha mineralizada	medianos	lenticular (na posição da brecha)	latossolo
B	topo rochoso	substituição encaixante	sim	não	topo rochoso	pequenos	bacia ou tabular (horizontal)	latossolo
C	base de camadas de filito	substituição encaixante	sim	não	acamamento	pequenos	tabular (paralelo ao acamamento)	dolomito alterado
D	base de zona brechada	substituição encaixante e preenchimento de carste	sim	não	brecha mineralizada	medianos	tabular (paralelo à brecha)	dolomito alterado e zonas carstificadas
E	conduto	preenchimento de carste	sim	não	estruturas NW-SE entrecruzadas com acamamento	medianos	cilíndrica (paralelo ao SO)	zonas carstificadas e material de atulhamento
F	fratura carstificada	preenchimento de carste	sim	sim	grandes estruturas NW-SE	medianos	tabular (vertical)	zonas carstificadas e material de atulhamento
G	bocaina	preenchimento de carste	sim	sim	grandes estruturas entrecruzadas	grandes	cônica (vertical)	zonas carstificadas e material de atulhamento

Tabela 1. Esquema simplificado com a classificação proposta para os depósitos supergênicos da Mina de Vazante

A faixa dolomítica, onde está inserida a mineralização, é uma planície arrasada em relação aos terrenos adjacentes, conformando uma grande bacia coletora de águas superficiais e subterrâneas. Na porção a SE da Falha Vazante, é muito freqüente a identificação de surgências, sendo o próprio rio Santa Catarina suportado pelas águas subterrâneas (Figs. 1 e 2).

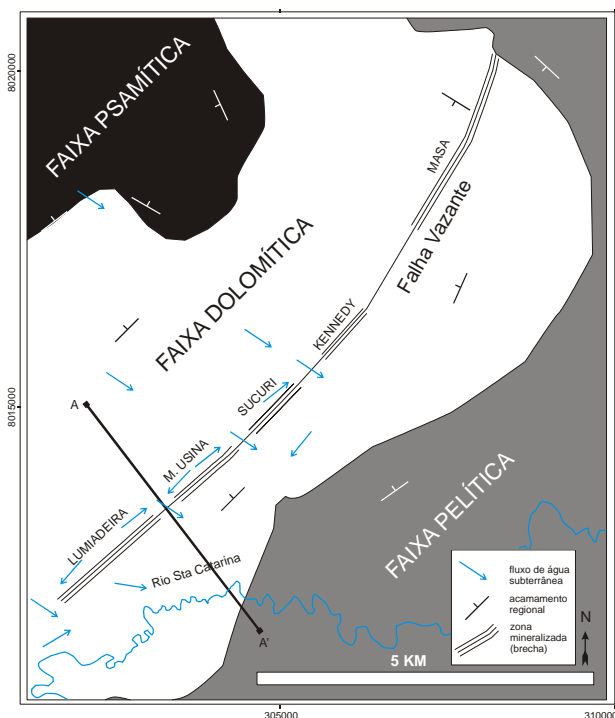


Figura 1. Mapa esquemático destacando a dinâmica hidrológica da região da mina

A carstificação na região é muito intensa, com presença de grandes cavernas com salões bem desenvolvidos e com intenso dolinamento na superfície.

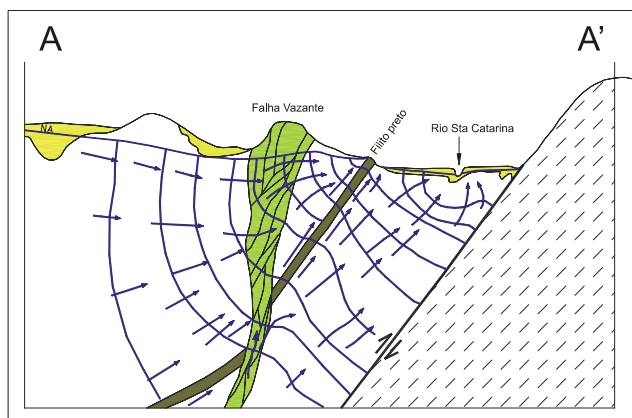


Figura 2. Seção esquemática evidenciando linhas de fluxo e curvas equipotenciais (Scudino 2005)

Partindo do princípio do domínio de uma intensa dinâmica cárstica para Vazante, é de se esperar que deparemos com importantes depósitos relacionados à erosão mecânica ou mesmo precipitação química preenchendo grandes estruturas cársticas. A estrutura da bocaina (entre as minas Morro da Usina e Lumiadeira), definida como “tipo G” na Tabela 1, exemplifica-nos muito bem esse fato. Extraídos dela, até a data presente, cerca de 1,4Mt a 18%, esse depósito sugere tratar-se de um importante sequenciamento de abatimentos cársticos, com grandes blocos de hemimorfita compacta em meio a matriz argilosa tipicamente estéril. Blocos de willemita dentro em solo avermelhado, certamente advindos da zona de falha, podem ser encontrados nas porções mais distais da estrutura (cerca de 250 m a SE da zona de falha).

A distribuição geográfica dos diferentes tipos de depósitos na Mina, inclusive a bocaina, estão contemplados na Fig. 3, com suas respectivas seções na Fig. 4. Notar nas seções a exclusiva presença de corpos mineralizados acima do nível do aquífero, na zona de percolação vadosa. Esse fato sugere uma mineralização que se relaciona com o nível de água atual, portanto provavelmente recente. A existência de um nível de água pretérito coincidente com o atual também não pode ser descartada.

Os depósitos apresentam também um interessante padrão no que diz respeito aos teores de ferro e zinco. Desde o minério primário a relação inversamente proporcional entre esses elementos já ocorre, porém é no depósito de solo residual (tipo A, substituição direta) que essa razão fica nítida. Nos outros depósitos os teores de ferro são sempre baixos (< 6%), o que sugere a existência de uma segregação conseqüente do transporte químico do zinco.

No depósito de solo residual (tipo A) é comum encontrarmos muito material argiloso em conjunto com hemimorfita fina. Seus teores de zinco, não são muito altos (Zn ~ 15%), salvo quando presentes blocos de willemita pouco afetados pelo intemperismo, que nesses casos temos preenchimento de hidrozinco e hemimorfita nas fraturas. O teor de ferro é função da quantidade de hematita no minério primário, e pode comprometer a qualidade do depósito.

Os depósitos do tipo B (topo rochoso) raramente apresentam teores atraentes (Zn ~ 8%), normalmente limitando-se a uma camada métrica de material terroso com hemimorfita muito fina. Esses depósitos podem ser mais expressivos quando trapeados por um baixo do topo rochoso.

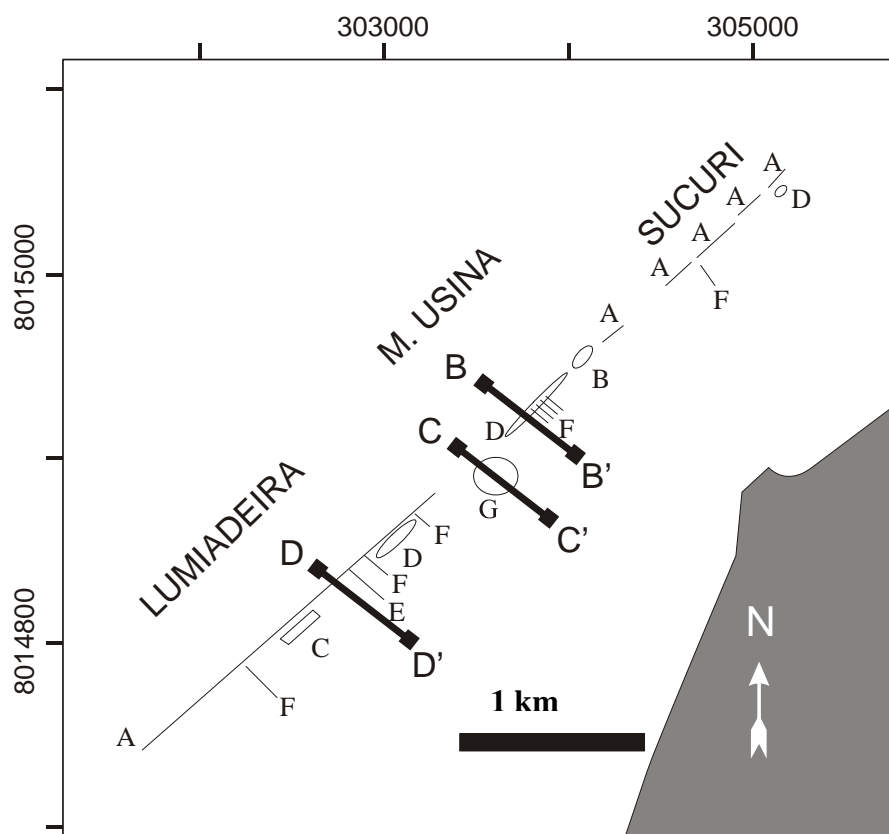


Figura 3. Mapa esquemático destacando as três principais minas de Vazante e a distribuição geográfica dos diferentes tipos de depósitos supergênicos definidos na Tabela 1

Os corpos tipo C (base de filito) ocorrem pontualmente em alguns locais no sul da Mina. Na camada de dolomito abaixo do filito, a hemimorfita mostra-se cristalizada pelos planos do bandamento, fraturas e cavidades pré-existentes. Apresenta teores normalmente altos (Zn ~30%), mas geometria e dimensão que dificultam a extração. Com geometria geralmente tabular, implicam em uma alta relação estéril/minério para cavas mais desenvolvidas.

Já os corpos tipo D (base da brecha) são uns dos mais ricos e importantes tipos de depósitos. Apresentando normalmente teores altos (Zn ~30%) com hemimorfita maciça e pouco ferro.

Os corpos em condutos (tipo E) são pontuais e pouco extensos. Ocorre como hemimorfita finamente disseminada em material silte-argiloso. Apresenta teores não muito expressivos (Zn ~15%).

Extremamente importantes na porção central da Mina, os corpos tipo F (fraturas carstificadas) têm dimensões dependentes do grau de carstificação. Mostram teores altos (Zn ~20%), intercalando hemimorfita fina em argila com hemimorfita compacta.

Os depósitos de bocaina (tipo G) configuram a maior perspectiva em relação à identificação de

grande depósito de alto teor na Mina de Vazante, pois consiste em método de lavra barato (escavadeira em solo) com alta tonelagem e teor.

Este trabalho ressalta por fim, algumas diretrizes para prospecção de calamina na região da Falha Vazante:

- terrenos a SE da falha (jusante hidrológica);
- terrenos a NW da filito preto (barreira hidráulica espessa);
- estruturas carstificadas com bom, potencial para transmissividade de água;
- mapa gravimétrico de detalhe para identificação de baixos no topo rochoso e grandes cavidades cársticas;
- região com comunidade vegetal exclusiva e plantas mal desenvolvidas (alta toxicidade do zinco no solo);
- proximidade espacial com o minério primário willemítico;
- estar acima da cota natural do lençol freático e/ou uma paleocota do lençol.
- junção da estruturas NE-SW (zona de mineralização primária) com a NW-SE, e
- estar abaixo do nível de erosão do solo residual pelo material coluvionar.

A partir deste trabalho esperamos dar início a uma série de discussões que contribuam para o melhor entendimento desse importante depósito de zinco no

Brasil, e quem sabe, contribuir para o entendimento de outros depósitos do mundo análogos a este.

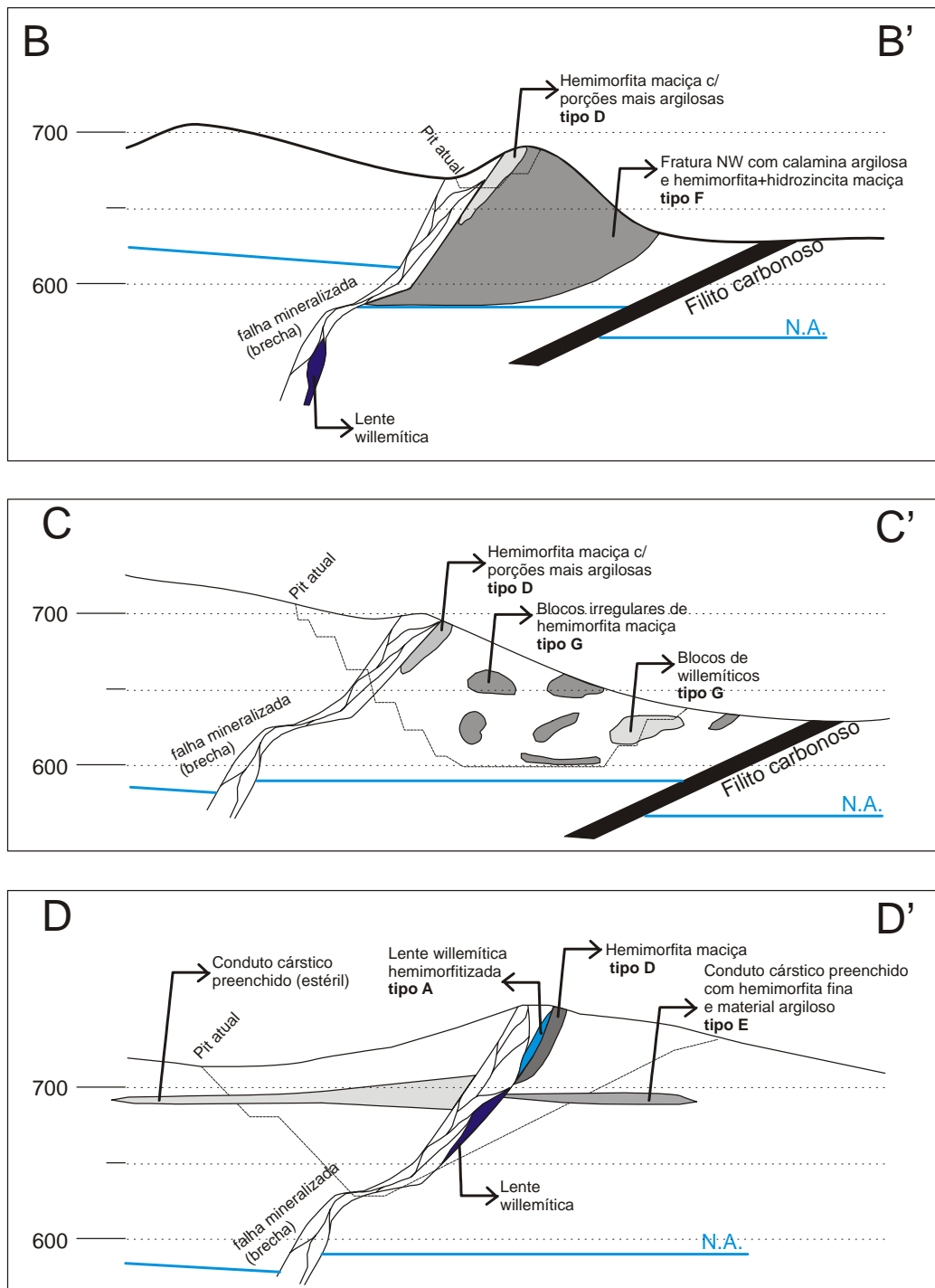


Figura 4. Seções relativas ao mapa da figura 3



Referências

- BRUGGER J. *et al* 2003. Formation of Willemite in Hydrothermal Environments. *Economic Geology*; june 2003; **98**(4):819-835.
- GROVES I.M. *et al* 2003. Geology of the Betana Willemite Deposit, Flinders Ranges, South Australia. *Economic Geology*; june 2003; **98**(4):797-818.
- HEYEL A.V. & BOZION C.N. 1962. Oxidized Zinc Deposits of United States, Part I. General Geology: U.S. *Geological Survey Bulletin* 1135-A, 52 p.
- HITZMAN W.M. *et al* 2003. Classification, Genesis, and Exploration Guides for Nonsulfide Zinc Deposits. *Economic Geology*; june 2003; **98**(4):685-714.
- LARGE D. 2001. The geology of non-sulphide zinc deposits. An overview: *Erzmetall*; **54**:264-274.
- MONTEIRO L.V.S. 1997. *Modelamento metalogenético dos depósitos de zinco de Vazante, Fagundes e Ambrósia, associados ao Grupo Vazante, MG*. Tese de doutoramento, IGc – USP, 159 p.
- MONTEIRO L.V.S. *et al* 2003. Sulfur, Carbon, Oxygen and Strontium Isotopic Evidences for the GÊNESIS of the Hydrothermal Zinc Non-sulphide and Sulfide Mineralizations in the Vazante, Ambrósia and Fagundes Deposits, MG, Brasil. *Short Paper* em <http://www.brasil.ird.fr/sympIsotope/Papers/ST6/ST6-10-Monteiro.pdf> em 20/03/2006 no IV South American Symposium on Isotope Geology
- SCUDINO P.C.B. 2005. *Estudos Hidroquímicos / Isotópicos – emprego de traçadores naturais da água para reconhecimento da dinâmica de funcionamento do sistema aquífero cárstico de Vazante – MG*. Relatório Interno Votorantim Metais; 80p.