

MINERALIZAÇÕES DE ZINCO E CHUMBO DO DEPÓSITO SALOBRO, PORTEIRINHA (MG)

Fernando Antônio CROCCO ¹, Francisco Robério de ABREU ², Noevaldo TEIXEIRA ¹,
Fernando Luis Lucena CANÇADO ¹, Juliano Duarte MACIEL ³,
Florivaldo SENA ¹, Maurício Moacir RAMOS ¹

(1) Diretoria de Desenvolvimento de Projetos Minerais, Companhia Vale do Rio Doce. BR 262, km 296 s/n°. CEP 33010-970. Santa Luzia, MG. Endereços eletrônicos: fernando.crocco@cvrld.com.br; noevaldo.teixeira@cvrld.com.br; fernando.cancado@cvrld.com.br; florivaldo.sena@cvrld.com.br; mauricio.ramos@cvrld.com.br. (2) Rua Alto da Mata 194/201. CEP 31035-530. Belo Horizonte, MG. Endereço eletrônico: f.deabreu@yahoo.com. (3) Magnesita S.A. Rua Alto da Mata 194/201. CEP 31035-530. Belo Horizonte, MG. Endereço eletrônico: julianomaciel@magnesita.com.br

Introdução
Contexto Geológico
Geologia do Grupo Riacho dos Machados na Região do Depósito Salobro
Empilhamento Litológico
Orognaisses Pedra do Urubu
Grupo Riacho dos Machados
Unidades A, B, C e Níveis Inferior e Superior
Granito Confisco
Intrusão Gabrótica
Grupo Macaúbas
Sedimentos Inconsolidados
Geologia Estrutural
Evolução Tectônica
Mineralizações de Zinco e Chumbo do Depósito Salobro
Descrição das Mineralizações
Gênese e Modelos Geológicos
Estimativa de Recursos do Depósito Salobro
Parâmetros Utilizados na Avaliação
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O depósito de zinco-chumbo Salobro, localizado no município de Porteirinha (MG), foi descoberto dentro do programa regional de prospecção de ouro e metais base executado pela CVRD por mais de três décadas (desde os anos 70) na região de Riacho dos Machados, no norte do estado de Minas Gerais. O Grupo Riacho dos Machados foi individualizado na região em três unidades litoestratigráficas denominadas A, B e C da base para o topo. A avaliação geológica definiu recursos de 8 mt@7% (Zn+Pb) para um teor de corte de 5% e uma espessura mínima de 2 m. As mineralizações ocorrem na seqüência metassedimentar do Grupo Riacho dos Machados e estão hospedadas em uma camada de metacherte da unidade B. A mineralização é essencialmente do tipo *stratabound*. Esfalerita e galena são os minerais econômicos, ambos apresentando granulometria grossa devido ao metamorfismo regional. O teor de ferro da esfalerita varia entre 2,4% e 7,9%. A ganga do minério é composta principalmente por quartzo, anfibólio e magnetita. Pirita e pirrotita estão presentes disseminadas no minério e em vários corpos maciços e espessos. Apesar de tratar-se de um depósito de dimensões reduzidas, o Salobro apresenta características competitivas e favoráveis à sua exploração.

Palavras-chave: Zinco, chumbo, depósitos minerais, Salobro.

ABSTRACT – F.A. Crocco, F.R. de Abreu, N. Teixeira, F.L.L. Cançado, J.D. Maciel, F. Sena, M.M. Ramos – Zn-Pb mineralization of de Salobro deposit, Porteirinha (MG). A regional prospect program carried out by CVRD since the 70's to find out gold and base metals deposits discovered the Salobro Zn-Pb deposit among others. It is located in the Porteirinha district in the northern area of Minas Gerais state. Three units were defined in the Riacho dos Machados Group (A, B, C from bottom to top), an Arquean or Paleoproterozoic metasedimentary sequence. The geological evaluation defined 8 mt@7% (Zn+Pb) measured for a cut off of 5% and a minimum width of 2,00 m. The Riacho dos Machados Group hosts the mineralization in a metachert layer in the unit B. The mineralization is essentially stratabound. Sphalerite and galena are the ore minerals, both with coarse granulometry imposed by metamorphic processes. The iron content of sphalerite ranges from 2,4% to 7,9%. The mineralogy of the ore-gangue is composed mainly by amphiboles, quartz and magnetite. Pyrite and pyrrhotite are present disseminated in the ore and in several massive and thick bodies. In spite of being a small deposit, Salobro has favorable features for exploitation.

Keywords: Zinc, lead, mineral deposits, Salobro.

INTRODUÇÃO

O depósito de zinco e chumbo Salobro é um dos depósitos minerais descobertos pela CVRD através da DOCEGEO, nos trabalhos de prospecção desenvolvidos no norte e nordeste de Minas Gerais nas décadas

de 70, 80 e 90. Está localizado no norte de Minas Gerais, a cerca de 15 km da sede do município de Porteirinha.

Com uma avaliação preliminar de recursos geológicos de 8 milhões de toneladas com teor médio de 7,52 % de Zn+Pb, teor de corte de 5 % e espessura mínima de 2 m, o depósito se posiciona como o terceiro maior depósito de zinco do Brasil (Tabela 1).

A história da descoberta do depósito tem como pano de fundo a pesquisa prospectiva para ouro na janela estrutural do Bloco Itacambira-Monte Azul (BIMA)(Guimarães et. al., 1993). Anomalias de zinco e chumbo em sedimentos de corrente (máximo de 310 ppm de Zn) na região do Córrego Salobro (município de Porteirinha) associadas à caracterização de um ambiente geológico favorável, levaram à implantação de uma malha de amostragem de solos. A dosagem de zinco em amostras de solos conduziu à definição de uma anomalia contínua ao longo de 2.500 m, com largura de até 200 m, para um limiar de 320 ppm e máximo em 3.680 ppm de Zn.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Depósito Salobro se insere na borda centro-leste do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977), aproximadamente sobre o limite Bouguer entre a Província São Francisco e a Província Mantiqueira de Almeida & Hasui (1984). Em relação à Faixa de Dobramentos Araçuaí, está localizado na zona externa do cinturão.

A área Salobro situa-se no Bloco Itacambira-Monte Azul (BIMA), conforme descrição de Guimarães et al. (1993). Esta porção cratônica, que se estende por cerca de 300 km, é caracterizada como uma janela estrutural, que possui uma porção central rebaixada, de relevo suave, representada por várias unidades de rochas de composição granítica, por vezes migmatizadas. Este terreno cristalino constitui o embasamento e contém as unidades do Grupo Riacho dos Machados (Figura 1), pertencentes ao Supergrupo Espinhaço, enquanto e as rochas metassedimentares do Grupo Macaúbas ocorrem bordejando e definindo a janela estrutural do BIMA (Crocco-Rodrigues et al., 1993).

Nos trabalhos de Guimarães et al. (1993), Mourão et al. (1997) e Guimarães et al. (1997) é possível encontrar um detalhamento das unidades que compõem o embasamento e bordejam o BIMA.

As mineralizações estão hospedadas em metassedimentos do Grupo Riacho dos Machados (Guimarães et al., 1993), que foi objeto de vários estudos regionais (Moraes, 1937; Moutinho da Costa et al., 1976; Drumond et al., 1980; Mourão et al., 1997; Guimarães et al., 1997, entre outros) recebendo diversas denominações e interpretações.

TABELA 1. Maiores depósitos de zinco e chumbo no Brasil. Modificado de Misi et al. (1999) e Misi (2000).

Depósito	Reservas (Mt)	Teor Zn %	Teor Pb %	Idade (Ga)
Vazante	18	22	-	0,6-0,74
Morro Agudo	11,7	6,4	2,2	0,65
Salobro	8	6,2	1,3	>1,72
Boquirá	7	0,6	4,7	2,5-2,7
Camaquã	46	0,9	1,3	0,57

No desdobramento da pesquisa desta anomalia foram realizados trabalhos prospectivos de amostragem de trincheiras (1.576,25 m³), sondagens rotativas (13.158,59 m) e rotoperussivas (853 m), além de uma extensa programação de levantamentos geofísicos aéreos e terrestres utilizando magnetometria, gama-espectrometria, gravimetria, TEM, IP, NSAMT e CSAMT. Estes trabalhos permitiram delimitar o depósito e efetuar sua avaliação geológica preliminar.

As sucessões que compõem o Grupo Riacho dos Machados ocorrem como faixas estreitas e segmentadas de direção geral N-S. Encontram-se encaixadas nas rochas do embasamento, com contatos marcados por zonas de cisalhamento de médio ou alto ângulo (Guimarães et al., 1993). Os litotipos que constituem este grupo foram descritos em diversos trabalhos (Fonseca & Lobato, 1991; Ecogeo, 1991, 1992; Guimarães et al., 1993; Fonseca, 1993; Fonseca et al., 1997) em função das associações litológicas, dos padrões estruturais e das composições litogeoquímicas. Estes trabalhos discutem, entre outros problemas, a existência de rochas de suposta origem ígnea no Grupo Riacho dos Machados. No entanto, em todos os trabalhos, o amplo predomínio das rochas de origem sedimentar ficou bem estabelecido. Nenhum desses trabalhos define um arcabouço estratigráfico para os diferentes litotipos.

Abreu & Belo de Oliveira (1998), estudando as rochas que compõem o Grupo Riacho dos Machados na região do Córrego Salobro, apresentaram a primeira proposta estratigráfica para estas sucessões litológicas. Os autores citados definiram a “Seqüência Salobro” e identificaram três unidades litoestratigráficas distintas que foram informalmente denominadas, da base para o topo, como Unidade A, constituída por quartzomuscovita-clorita xisto, Unidade B, reunindo clorita-quartzo xisto, anfíbolito, xisto anfíbolítico, metacherte ferruginoso, quartzito, quartzito ferruginoso, quartzito conglomerático e formações ferríferas magnéticas e Unidade C, que corresponde a um pacote de xistos

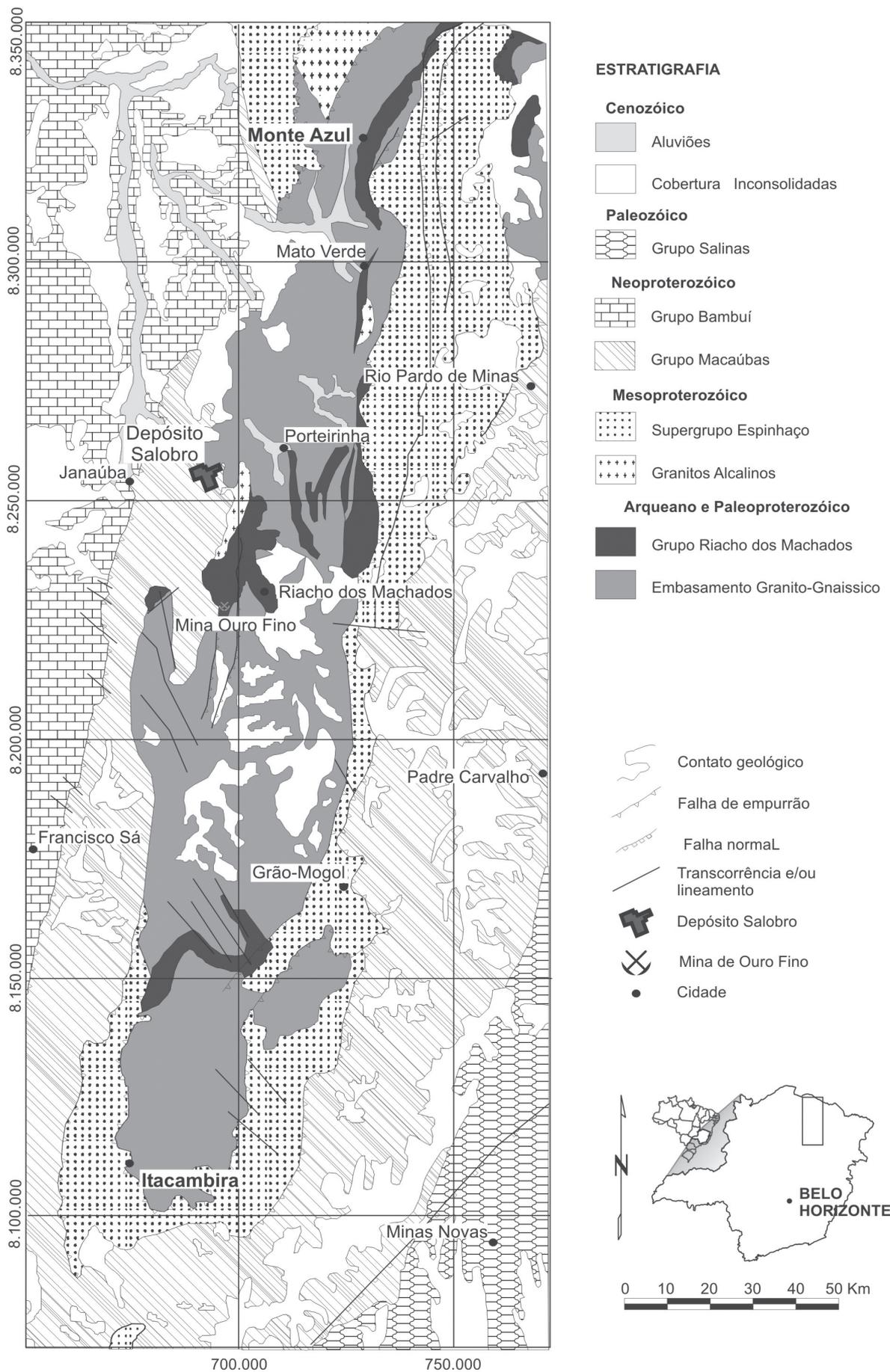


FIGURA 1. Contexto geológico do bloco entre Itacambira e Monte Azul (MG).

bandados compostos por proporções variadas de quartzo, muscovita e clorita, localmente com níveis grafitosos ou granatíferos.

Crocco-Rodrigues et al. (1993) indicam a atuação de pelo menos quatro eventos deformativos na região. O evento mais antigo (Dn) refere-se ao desenvolvimento do bandamento gnáissico nas rochas do embasamento.

O evento Dn+1 forma estruturas de orientação N-S, sejam elas falhas ou foliação. Os dois últimos eventos tectônicos se relacionam ao Ciclo Brasileiro, cujas ocorrências estão impressas nas rochas do Grupo Macaúbas. O primeiro (Dn+2) corresponde à extensão que acompanhou a deposição do Supergrupo São Francisco; o segundo (Dn+3), refere-se à inversão da bacia imposta pelo desenvolvimento do cinturão da Faixa Araçuai, durante a Orogênese Brasileira.

O metamorfismo no Grupo Riacho dos Machados é bastante heterogêneo, com regiões que preservam as paragêneses do metamorfismo da fácies anfibolito, e outras mais influenciadas pelo retrometamorfismo para o fácies xisto verde, este podendo ser regional ou dínamo-termal. Informações a este respeito podem ser encontradas em detalhe em Fonseca (1993) e Fonseca et al. (1997).

As rochas que compõem o Grupo Riacho dos Machados já foram objeto de diversas e controversas interpretações no que se refere à natureza do protólito e ao contexto geotectônico. Inda et al. (1984) as considera representativas de seqüências vulcano-

sedimentares do tipo *greenstone belt* e as correlaciona a seqüências semelhantes no estado da Bahia. Os trabalhos litogeoquímicos e petrográficos realizados por Fonseca (1993) e Fonseca et al. (1997) postulam que o ambiente geotectônico para deposição do Grupo Riacho dos Machados é relacionado a arco vulcânico continental. Abreu & Belo de Oliveira (1998) consideraram que a “Seqüência Salobro” depositou-se em um contexto extensional, em bacia tipo rifte.

Datações relativas às rochas aflorantes na região do Bloco Itacambira-Monte Azul são muito escassas, restringindo-se apenas a gnaisses cataclásticos localizados próximo às cidades de Botumirim e Barroão (Siga Jr., 1986; Siga Jr. et al., 1987). Estas rochas foram datadas pelos métodos Rb-Sr e Pb-Pb, em rocha total, e K-Ar, obtendo-se idades de 2.640 ± 130 Ma (Rb-Sr) e 2.780 ± 100 Ma (Pb-Pb), próximo a Botumirim, e 2.230 ± 60 Ma (Rb-Sr) e 2.020 ± 120 Ma (Pb-Pb), próximo a Barroão. Cristais de biotitas analisados através do método K-Ar apresentaram idades de 632 ± 22 Ma e 670 ± 18 Ma.

Considera-se que o Supergrupo Espinhaço tenha iniciado a sua deposição no final do Paleoproterozóico, com corpos vulcânicos ácidos da sua base, datados com U-Pb em zircões 1.715 ± 2 Ma (Machado et al., 1989). O início de deposição dos sedimentos glácio-marinhos do Grupo Macaúbas foi limitado através da datação de zircões detríticos em 950 Ma (Pedrosa Soares et al., 2000).

GEOLOGIA DO GRUPO RIACHO DOS MACHADOS NA REGIÃO DO DEPÓSITO SALOBRO

As pesquisas do Depósito Salobro transformaram a região como a mais bem conhecida área de ocorrência do Grupo Riacho dos Machados, mas a validade da utilização das interpretações geológicas em outras localidades de ocorrência dessa unidade, especialmente o empilhamento litológico, deve ser objeto de estudos mais detalhados.

EMPILHAMENTO LITOLÓGICO

Na região do Córrego Salobro foram definidas três das unidades geológicas regionais, além de rochas intrusivas ácidas e básicas. São elas: Ortognaisse Pedra do Urubu, Grupo Riacho dos Machados e Grupo Macaúbas. A descrição das unidades e de suas relações pode ser acompanhada através da Figura 2, que apresenta uma proposta de empilhamento das unidades, e das Figuras 3 e 4 que apresentam, respectivamente, o mapa geológico da área e uma seção vertical transversal ao empilhamento.

Ortognaises Pedra do Urubu

Os ortognaises Pedra do Urubu, que formam o embasamento local, são constituídos por gnaisses leucocráticos, compostos por bandas félsicas quartzo-feldspáticas e bandas máficas ricas em biotita. A segregação em bandas pode ser difusa.

Grupo Riacho dos Machados

O pacote metassedimentar do Grupo Riacho dos Machados repousa discordantemente sobre os Ortognaises Pedra do Urubu, formando um conjunto de elevações onduladas que se destacam dos vales aplainados de ocorrência dos ortognaises. A unidade é recoberta discordantemente por metassedimentos do Grupo Macaúbas que formam os contrafortes da Serra do Coco.

Adota-se neste trabalho a divisão estratigráfica proposta por Abreu & Belo de Oliveira (1998) para o Grupo Riacho dos Machados no Córrego Salobro, com

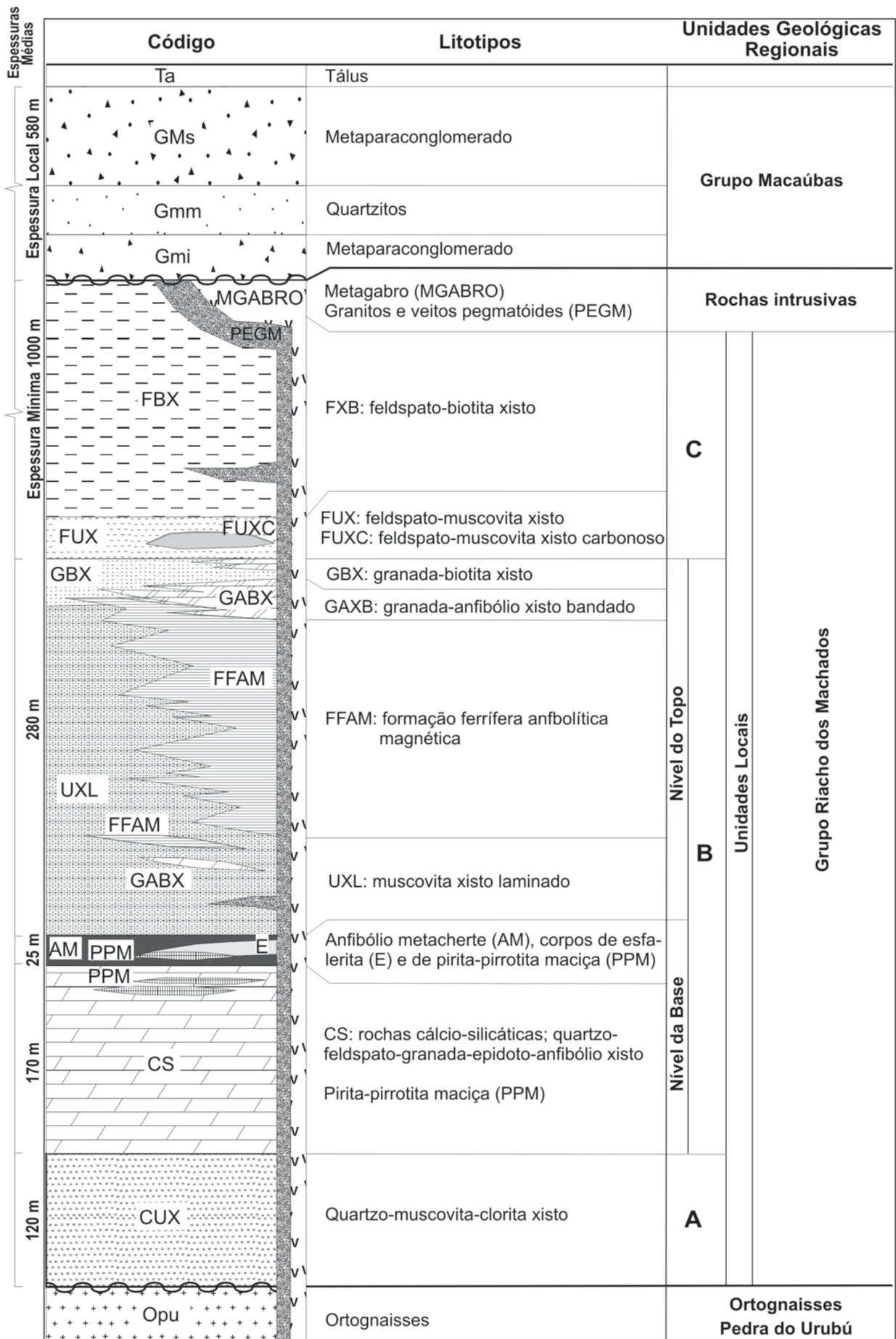


FIGURA 2. Coluna lito-estratigráfica do Grupo Riacho dos Machados na região do Depósito Salobro.

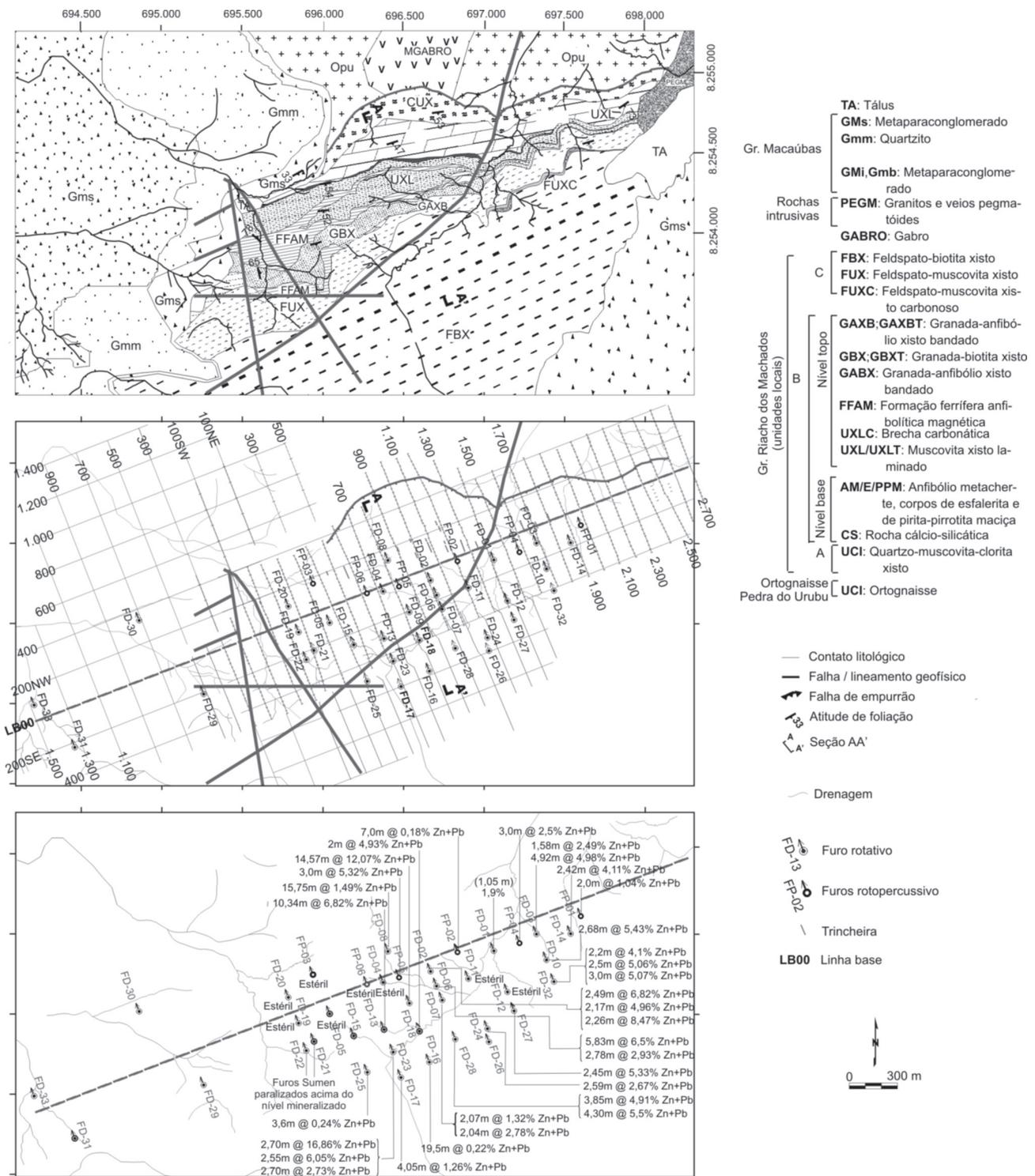


FIGURA 3. Mapa geológico da área do Depósito Salobro.

modificações decorrentes do detalhamento das unidades.

Unidade A

A unidade A, na base, é constituída por quartzo-clorita-muscovita xistos (CUX). A camada se estende por 2.200 m ao longo do empilhamento, atingindo 150 m de espessura, mas suas condições de afloramento

são desfavoráveis sendo comum a cobertura por tálus. São rochas de coloração verde-acinzentada com grau de intemperismo normalmente elevado, em afloramento. A granulação dos minerais é fina e a foliação é fortemente penetrativa. Os efeitos de metamorfismo, deformação e intemperismo dificultam a definição sobre a origem dessas rochas.

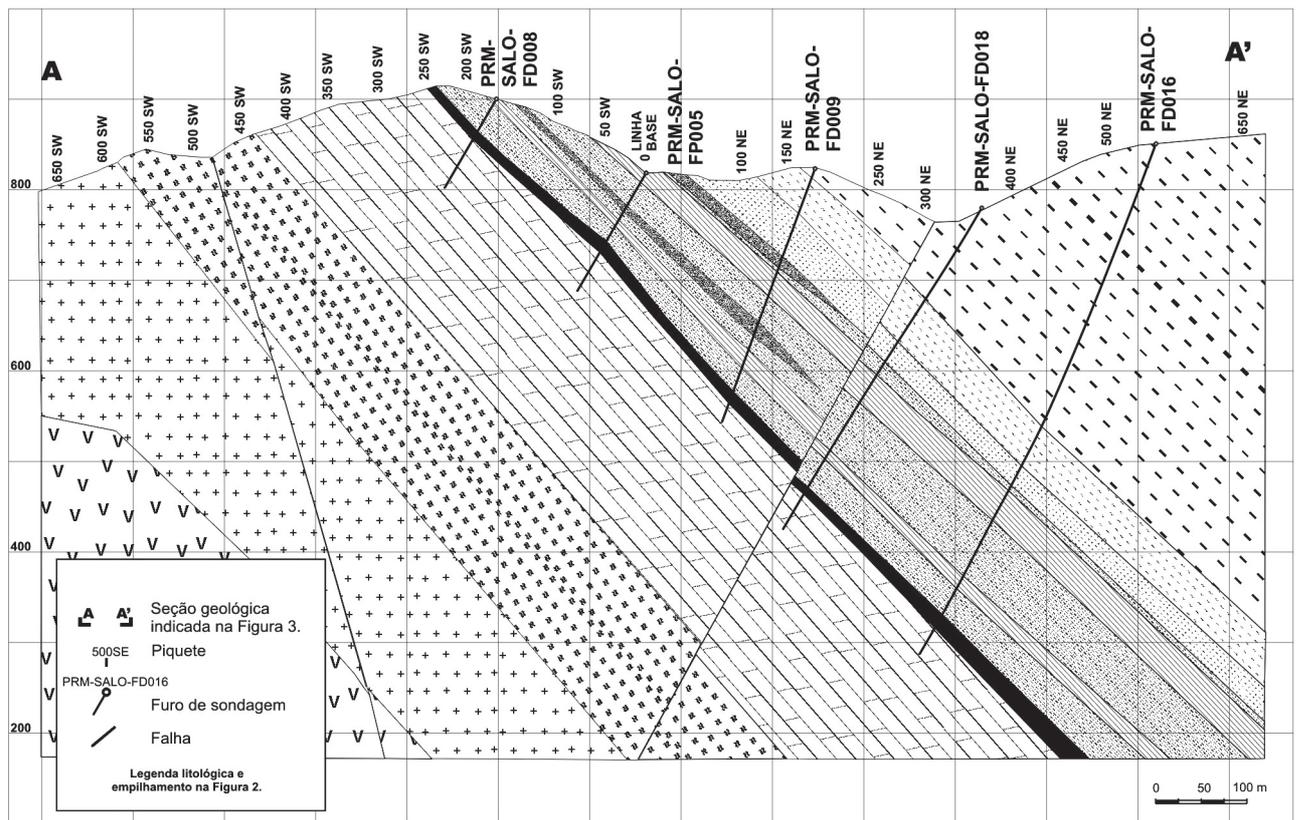


FIGURA 4. Seção geológica da LT900NE.

Unidade B

O contato da Unidade B com a unidade A é brusco e concordante.

Como pode ser visualizado na Figura 3, as unidades do Grupo Riacho dos Machados mostram um adelgaçamento progressivo de espessuras de oeste para leste, ao longo da direção da pilha de metassedimentos. Esse comportamento é ainda mais característico na Unidade B (Figura 3).

A Unidade B de Abreu & Belo de Oliveira (1988) é mais facilmente descrita se for visualizada a distinção de dois níveis. O primeiro, aqui denominado Nível Inferior, compõe um pacote com duas camadas lateralmente contínuas: uma camada de rochas cálcio-silicáticas (CS) e um metacherte (AM). O segundo, também aqui denominado Nível Superior, compõe um pacote com inúmeras camadas de composição variada e descontínuas lateralmente, além de uma camada de granada+quartzo+biotita, lateralmente contínua, no topo da Unidade B.

Nível Inferior

A base do Nível Inferior da unidade B é constituída por rochas cálcio-silicáticas compostas por quartzo+feldspato+granada+epidoto+anfíbólio (CS) (Figura 2). A camada tem espessura média de 200 m, com

adelgaçamento de espessura na porção nordeste do pacote.

Embora ocorram variações, o anfíbólio perfaz até 90 % da rocha. A rocha tem estrutura bandada, com bandas ricas em anfíbólio e bandas ricas em quartzo+feldspato+epidoto, de espessura entre 0,7 e 1,0 cm. A granada apresenta-se superimposta ao bandamento. A rocha pode apresentar, ainda, quantidades menos significativas de biotita, muscovita, turmalina e apatita.

É comum a presença de lentes de sulfetos maciços (pirita+pirrotita) na base do Nível Inferior da Unidade B. A espessura das lentes pode variar de poucos centímetros até 3 m, com continuidade lateral indefinida. Um afloramento dessas lentes no Córrego Salobro (Foto 1) foi o precursor das pesquisas na área.

A camada de rocha denominada CS apresenta como característica um crescente aumento da proporção de quartzo, da base para o topo. O aumento progressivo dessa proporção culmina com a passagem para uma rocha bandada com quartzo e anfíbólio que representa o topo do Nível Inferior da Unidade B.

No mapa da Figura 3 esta rocha com quartzo e anfíbólio foi delimitada sob a denominação de anfíbólio metacherte (AM). Esta camada apresenta ao longo de sua extensão lateral lentes de rochas cálcio-

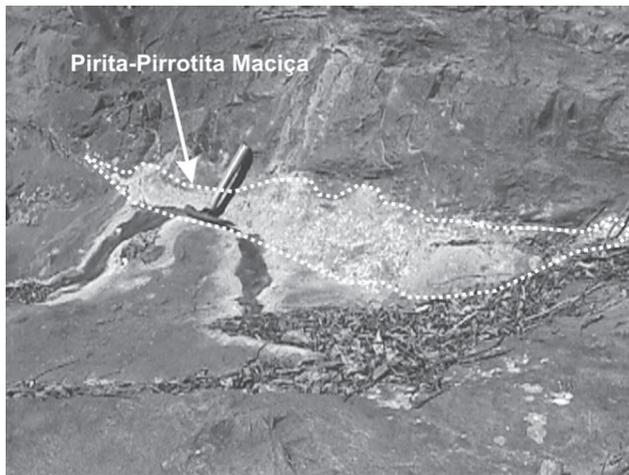


FOTO 1. Corpo de sulfeto maciço aflorante no Córrego Salobro hospedado em rochas cálcio-silicáticas da unidade B. Afloramento recoberto por sulfato resultante da alteração dos sulfetos.

silicáticas, de sulfetos maciços (pirita-pirrotita) e de lentes mineralizadas com esfalerita e galena, que não puderam ser individualizadas na escala no mapa. Assim, o AM é o hospedeiro das mineralizações de Zn e Pb no Depósito Salobro.

A camada de AM tem espessura muito variável, entre 15 m e 40 m. Observa-se que as menores espessuras correspondem às interseções em sondagens mais ricas em Zn e Pb. A camada pode apresentar localmente espessuras na ordem de 2 a 6 m, mas nestes casos as interferências de falhas e intrusões (como de granitóides na porção este da área) são consideradas as responsáveis pelos adelgaçamentos.

Além de quartzo e grünerita a rocha denominada AM contém proporções variáveis de esfalerita, galena, magnetita, sericita, pirita e pirrotita. O bandamento é milimétrico e formado pela alternância de bandas bem e mal segregadas de quartzo, esfalerita e magnetita. Sericita, pirita, pirrotita e galena ocorrem disseminadas.

As lentes de rochas cálcio-silicáticas presentes no AM têm espessura de até 3 m, como verificado nos furos de sondagem. São rochas algo semelhantes àquelas da base do Nível Inferior da Unidade B. Como já apontado, a passagem da base para o topo do Nível Inferior tem caráter transicional, o que é reforçado pela presença de lentes de metacherte nas rochas cálcio-silicáticas e lentes de rochas cálcio-silicáticas no AM.

Destaca-se no AM a presença de lentes de sulfeto maciço compostas de proporções variáveis de pirrotita+pirita+magnetita, que têm espessura entre 1 e 18,8 m. Estes corpos de sulfeto maciço foram denominadas como pirita-pirrotita maciças (PPM). Estas zonas de enriquecimento de sulfetos são responsáveis pelas anomalias bem definidas nos levantamentos geofísicos eletromagnéticos.

Existe uma tendência bem definida, mas não regular, de uma diminuição dos teores de zinco e chumbo no metacherte onde as espessuras de sulfeto maciço são mais expressivas. Isto está também retratado no fato dos dois corpos de minério bloqueados no trabalho de avaliação de recursos do depósito, embora totalmente hospedados na camada contínua de Anfibólio Metacherte, estarem separados por uma porção onde os corpos de sulfeto maciço são mais expressivos e os teores de zinco mais baixos.

A origem dos metachertes e a natureza dos processos que nele atuaram é assunto muito controverso. Há de se somar às feições já descritas, aquelas tectônicas e de alteração hidrotermal que serão discutidas adiante. Entretanto, sugere-se que, a despeito de quaisquer processos subseqüentes, esta camada representa originalmente um nível sedimentar de origem detrito-exalativa.

Nível Superior

Sobrepoõe-se ao metacherte um pacote com grande variação composicional e textural, tanto lateral quanto vertical. O pacote foi reunido sob a denominação de quartzo-muscovita xisto laminado (UXL). Essa denominação foi escolhida em função do litotipo dominante no pacote. O UXL tem estrutura laminada, muito constante, embora à primeira vista possa parecer difusa. A presença de variações composicionais e texturais do pacote é tão freqüente que a individualização de camadas internas se torna sem efeito prático (Figura 5).

Clorita, carbonato, granada, anfibólio, biotita, magnetita, turmalina entre outros, são minerais que podem compor as rochas desse pacote, além do quartzo e da muscovita. Salienta-se que representam minerais característicos de alteração hidrotermal. Embora não se afirme aqui que a presença desses minerais sempre esteja associada a processos hidrotermais, a relação dos mesmos com os processos hidrotermais é, na maioria das vezes, evidente, especialmente em relação à clorita, ao carbonato e à granada.

O contato desse pacote com a camada de metacherte sotoposta é caracterizado pela ocorrência de um xisto pelítico carbonoso (FUXC), que a despeito da espessura reduzida (variando entre 10 e 70 cm), foi interceptado em praticamente todos os furos de sondagem.

Várias camadas e lentes de formação ferrífera anfibolítica magnética (FFAM) ocorrem nesse pacote do Nível Superior. As camadas exibem forte variação lateral de espessuras com interdigitação de níveis. De oeste para leste, as espessuras variam de 110 m até se reduzirem a apenas 5,00 m numa estreita camada. São rochas formadas por bandas de quartzo, grünerita-

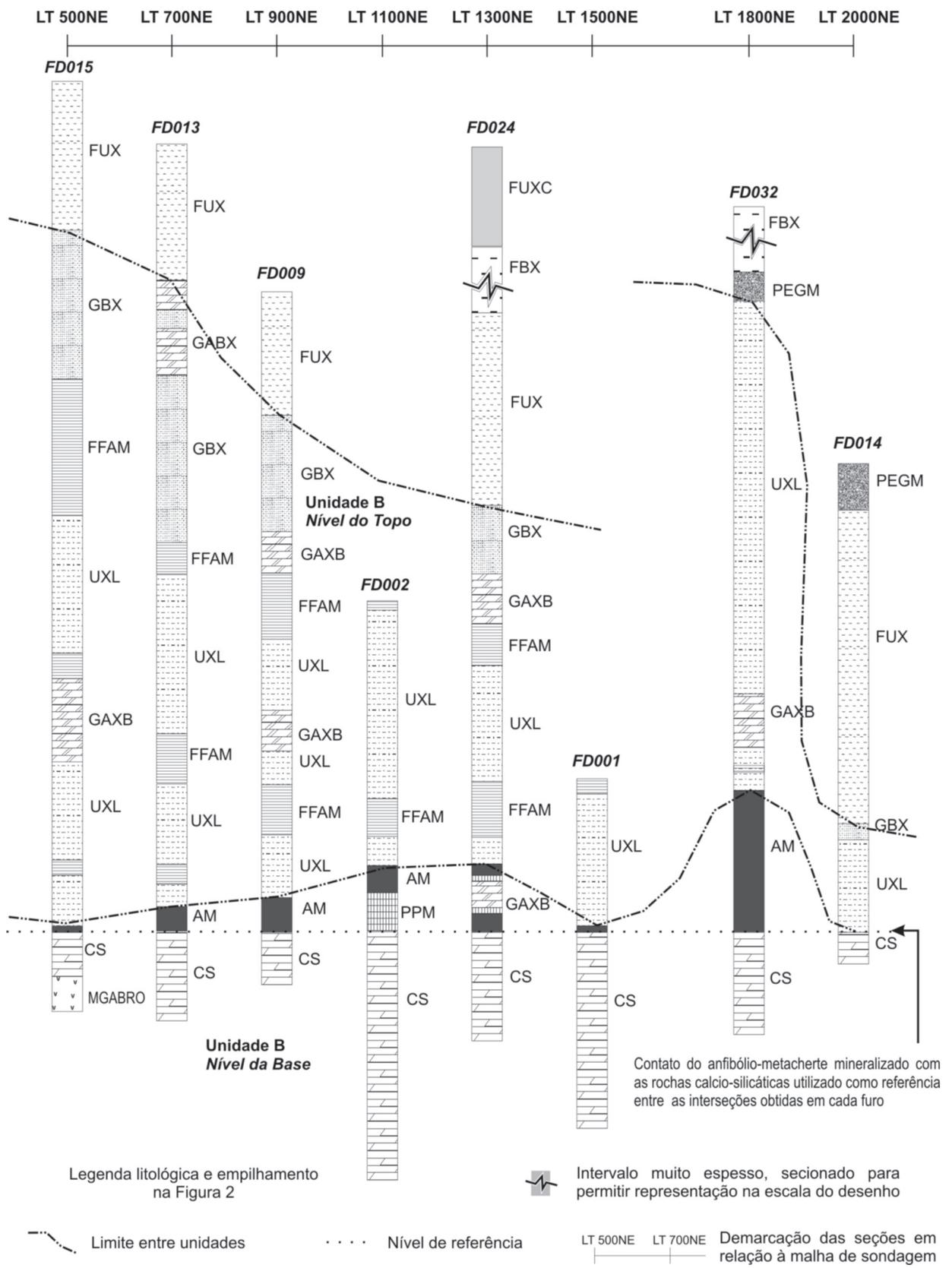


FIGURA 5. Seção longitudinal esquemática.

tremolita e de magnetita-hematita. O bandamento, quando não perturbado por processos tectônicos, é contínuo e na ordem de 0,5 a 1 cm, com boa segregação dos três tipos de bandas. Os níveis ferríferos são as principais fontes das anomalias magnéticas detectadas no alvo.

Merece menção a presença de brechas carbonáticas nesse pacote. Trata-se de rochas formadas por fragmentos de UXL, freqüentemente com intensa cloritização, com dimensões na ordem de 1 a 7 cm, angulosos ou subarredondados, ocasionalmente com bordas corroídas. A matriz é composta 100% por carbonato de cálcio. Formam bancos ou níveis de até 5 m de espessura. Sugere-se que essas rochas possam estar relacionadas a processos tectônicos.

Ocorrem, ainda, lentes de rochas cálcio-silicáticas (GAXB) com características bastante semelhantes às rochas do Nível Inferior da Unidade B, embora com bandamento nem sempre bem definido (Figura 5).

O nível superior fecha a seqüência da Unidade B com uma camada de quartzo+granada+biotita xisto (GBX). São rochas de granulação média, de desenvolvimento bastante irregular das granadas, que podem, inclusive, estar ausentes. Anfibólio pode fazer parte da composição da rocha. Processos de alteração hidrotermal estão mais evidentes pela presença de turmalina e pela freqüente cloritização das biotitas e granadas. Ocorrem pequenos bancos de quartzo-turmalinito bandados de aproximadamente 0,5 a 1,5 m.

A espessura da camada como um todo varia de 60 a 400 m, de leste para oeste.

Unidade C

O contato entre as unidade B e C pode ser considerado brusco e concordante, embora exista uma transição, não superior a 2 m, entre as rochas dessas unidades.

A unidade é composta essencialmente por feldspato+biotita+ quartzo xistos, sendo que alguma quantidade de muscovita está sempre presente. São rochas de aspecto xistoso num pacote bastante monótono, com espessura mínima estimada em 1.000 m.

Na base da unidade, ao longo de cerca de 100 m de espessura, processos de alteração hidrotermal transformaram as biotitas em muscovitas.

Ocorrem níveis carbonosos nessa unidade, sem grande continuidade lateral, com espessura na ordem de 2 m.

Granito Confisco (PEGM)

Na extremidade leste do Depósito Salobro, aflora um pequeno *stock* de dimensões aproximadamente 600 x 250 m de um granito denominado regionalmente como Granito Confisco (Guimarães et al., 1993).

Trata-se de rocha leucocrática, com composição granítica típica, textura de fina a média equigranular, não deformado ou pouco deformado. Entre as características mais importantes está o fato de apresentar mineralogia ígnea original. Efeitos metamórficos de fácies xisto verde baixa são observados apenas em zonas de cisalhamento.

A relação de intrusão desse corpo granítico nas unidades do Grupo Riacho dos Machados é evidente, mas não foram observadas, nem mesmo regionalmente, relações de intrusão dessas rochas com os metassedimentos do Grupo Macaúbas ou do Supergrupo Espinhaço.

Em toda a pilha de metassedimentos do Grupo Riacho dos Machados podem ser observadas intrusões de até uma dezena de metros de espessura. Em associação ao Granito Confisco aparecem incontáveis apófises de aplitos e corpos pegmatíticos de espessura métrica.

Intrusão Gabróica (Gabro)

Na região do Salobro, imediatamente ao norte do contato da pilha de metassedimentos do Grupo Riacho dos Machados com os ortognaisses Pedra do Urubu, aflora um *stock* de rocha gabróica com orientação geral norte-sul, em nítida relação de intrusão com o Ortognaisse Pedra do Urubu.

São rochas de textura fanerítica média a grossa. Comumente, nas regiões de contato com as encaixantes, exibem processos ígneos tardios de percolação de fluidos adquirindo textura afanítica.

Esse corpo é também intrusivo no Grupo Riacho dos Machados, embora sua relação no mapa geológico de superfície sugira o contrário. A relação de intrusão pôde ser bem definida através dos trabalhos de sondagem rotativa. Esse mesmo *stock* aflorante se prolonga em subsuperfície para formar um corpo com as dimensões de um plúton, como é evidenciado através de sondagem e dados aerogeofísicos.

O evento intrusivo relacionado a esses metagabros é anterior à deposição do Grupo Macaúbas. Além de não terem sido observados corpos interceptando os sedimentos Macaúbas, em um furo de sondagem os metadiamicritos, próximos ao contato com a intrusão, apresentam seixos e fragmentos angulosos de metagabro. Admite-se que as intrusões datem do evento de cerca de 906 Ma definido por Machado et al. (1989).

Grupo Macaúbas (Gmi,GMm,GMs)

Os sedimentos do Grupo Macaúbas repousam sobre as unidades anteriormente descritas em discordância angular e erosiva.

Na região do Salobro, a pilha metassedimentar pode ser dividida em três unidades informais, denomi-

nadas aqui de inferior, média e superior. Devido ao caráter de intensa variação faciológica lateral e vertical do Grupo Macaúbas, esse empilhamento pode não ser aplicável na região fora da área do Salobro.

A unidade inferior é composta por metadiamicritos que exibem intensa variação composicional e granulométrica. A matriz, de fina a grossa, pode ser arenosa ou conter proporções de argila. Pode corresponder de 30 a 50% da rocha. Os seixos podem ser de quartzo, xistos diversos, carbonato, granitos e gnaisses, entre outros, e variar em diâmetro de grânulo até bloco. Destaca-se um nível com seixos especialmente grossos aflorante na base da unidade, com espessura de aproximadamente 20 m e que estende lateralmente por 600 m. Este nível pode ser identificado no mapa geológico da Figura 3 nas coordenadas 695.700E/8.254.200N do *grid* UTM.

A unidade média é formada por quartzitos finos a grossos. São geralmente impuros com a presença de material caulínico. Na unidade superior encontram-se filitos predominantemente carbonosos. Podem ocorrer bancos/lentes de metaparaconglomerados finos.

As espessuras de metassedimentos Macaúbas interceptadas em sondagens no Salobro foram respectivamente de 130,0 m para a unidade inferior, 150,0 m para a unidade média e de 300,0 m para a unidade superior. Entretanto estas espessuras não têm representatividade regional. O contexto na região do Salobro é marcado por muitas falhas com movimentação vertical e basculamento de blocos. A oeste da região do Salobro o mesmo empilhamento é observado numa estrutura sinformal onde as espessuras das unidades deve atingir valores muito mais expressivos.

Sedimentos Inconsolidados (Ta)

Em função da topografia irregular e íngreme da região do Salobro, formaram-se em algumas encostas depósitos de tálus. É possível que os depósitos estejam controlados por reativações neotectônicas.

GEOLOGIA ESTRUTURAL

As três grandes unidades geológicas individualizadas na região do Salobro (Ortognaisses Pedra do Urubu, Grupo Riacho dos Machados e Grupo Macaúbas) encerram características estruturais próprias que demarcam os eventos tectônicos de maior importância na evolução regional.

Os ortognaisses apresentam estrutura com bandamento incipiente (Sn-1), mas bem definido. A orientação do bandamento é bastante variável tanto na região do Salobro quanto em outras áreas de ocorrência desta unidade. Esta variação na orientação do bandamento pode estar ligada a superimposição dos eventos mais jovens sobre esta estrutura.

No Salobro, próximo ao contato com os metassedimentos do Grupo Riacho dos Machados, o bandamento apresenta paralelismo com a direção e o mergulho da pilha de metassedimentos do Grupo Riacho dos Machados (N68E/55SE).

O contato entre estas unidades pode ser descrito, na verdade, como uma zona de cisalhamento. O bandamento do gnaisse é progressivamente xistificado, transformando feldspatos e biotitas em muscovita. A deformação atinge também os quartzo-clorita xistos da base do Grupo Riacho dos Machados. As relações descritas apontam a existência de uma falha de empurrão com vergência de SE para NW no contato entre as unidades.

As unidades do Grupo Riacho dos Machados apresentam uma xistosidade (Sn) conspícua, de grande penetratividade em todos os litotipos, com orientação geral N68E/55SE. Esta foliação é paralela ao empilhamento das rochas, também paralela ao contato entre as mesmas, e delinea a distribuição geral das unidades em mapa de superfície (Figuras 3 e 4). Perturbações na orientação e no mergulho desta foliação podem ocorrer ao longo do pacote, mas estão relacionadas à interferência de falhas mais jovens.

Muitas vezes a xistosidade Sn exibe feições de cisalhamento, como estruturas SC, milonitização e anastomosamento. Constatou-se também a presença de lineação mineral segundo o caimento da foliação. As estruturas SC se orientam perpendiculares à lineação mineral indicando movimentação reversa ao plano da foliação.

Assim, o Depósito Salobro está controlado por uma estrutura homoclinal, da qual a xistosidade Sn é o balizador fundamental. A origem da estrutura homoclinal do Salobro é interpretada como associada a falhamentos de empurrão, como já apontado.

Inúmeros litotipos da pilha metassedimentar do Grupo Riacho dos Machados exibem bandamento composicional. O bandamento, onde observado, guarda paralelismo com Sn. A origem deste bandamento é muito controversa entre uma origem sedimentar e uma origem metamórfico-estrutural.

O fato é que tanto a foliação (Sn) quanto o bandamento são estruturados por combinações minerais entre biotita, muscovita, hornblenda, actinolita, granada, epidoto, quartzo (uma vez que existe grande variação de litotipos e de composição entre os tipos petrográficos). As rochas intrusivas posteriores e os metassedimentos do Grupo Macaúbas certamente não foram afetados pelo evento metamórfico responsável pela formação desta foliação Sn, pois não apresenta paragênese mineral compatível com aquela desenvolvida nos metapelitos.

A pilha de metassedimentos do Grupo Macaúbas está assentada em franca descontinuidade estrati-

gráfica com o Grupo Riacho dos Machados e com os Ortognaisses Pedra do Urubu. Tal feição é evidente na Serra do Coco, a leste do Salobro, onde se verifica o caráter discordante angular e erosivo, com as camadas Macaúbas horizontalmente posicionadas sobre o homoclinal do Salobro.

O litotipo dominante no Grupo Macaúbas é um paraconglomerado de matriz arenosa. Por isso estruturas diagnósticas do acamamento sedimentar são quase sempre difíceis de serem identificadas, embora em muitos locais não se observe nenhum efeito metamórfico sobre as rochas. O acamamento é definido de forma mais segura pelo empilhamento, pela interdigitação de camadas (ou lentes) e pelos contatos litológicos.

Embora na região da Serra do Coco a composição mineralógica sedimentar original esteja bem preservada, na região a oeste do Salobro e nas áreas cortadas por falhas verticais as rochas Macaúbas apresentam-se xistificadas.

A oeste do Salobro um conjunto de rampas de empurrões desenvolveu foliação milonítica heterogênea responsável pela formação de uma paragênese metamórfica da fácies xisto verde, onde a muscovita é o mineral-índice principal.

Falhas transcorrentes de orientação geral N-S, predominantemente sinistrais, atuaram sobre todas as unidades expostas na área. Ocorrem também transcorrentes com orientação EW e NW-SE. As falhas transcorrentes exibem em escala regional uma configuração anastomosada, embora as orientações principais sejam mantidas. Nestes sistemas observam-se, além do rejeito direcional, escalonamento e basculamento de blocos.

EVOLUÇÃO TECTÔNICA

O Depósito Salobro está localizado na borda oeste do Bloco Itacambira-Monte Azul, que pode ser descrito como uma janela estrutural para unidades mais antigas que o Supergrupo Espinhaço. O Supergrupo Espinhaço não tem ocorrência na borda oeste da janela, que é definida pelo Grupo Macaúbas.

A base do Supergrupo Espinhaço está datada em 1,715 +/- 2 Ga, datação esta obtida em riolitos alcalinos (Brito Neves et al., 1979) da base da seqüência metassedimentar. Corpos de composição sienítica estão datados também em Guanambi e no Vale do Paramirim na Bahia, com eventos magmáticos entre 3,1 e 1,8 Ga (Rosa et al., 1999; Sato, 1998).

Não existem registros da presença de corpos intrusivos alcalinos no Cráton do São Francisco mais jovens que 1,715 Ga. A esta atividade vulcânica se relaciona uma grande quantidade de plútons alcalinos com ocorrência no BIMA e reunidos sob a denominação de Sienito Paciência. Embora não existam corpos

do Sienito Paciência na região do Salobro, próximo a Riacho dos Machados (na localidade do Sítio) existem vários afloramentos dessas rochas com xenólitos de anfíbolitos e rochas cálcio-silicáticas.

No contexto regional, o único evento orogenético que atuou na borda leste do Cráton do São Francisco após 1,715 Ga (ou seja, após o magmatismo alcalino) tem idade brasileira, formando a Faixa Araçuaí. O Depósito Salobro está localizado na zona externa do cinturão (bem como todas unidades do BIMA), onde o metamorfismo imposto pelo evento Brasileiro não ultrapassou a fácies xisto verde. Portanto, a paragênese anfíbolítica, observada no Grupo Riacho dos Machados, formou-se num evento anterior a 1,715 Ga.

Tais fatos implicam ter o Grupo Riacho dos Machados idade mínima paleoproterozóica.

As datações de Siga Jr. et al (1987) indicaram que pelo menos parte do embasamento granítico-gnáissico tem idade mínima de 2,8 Ga. Esta idade pode ainda estar associada a um evento metamórfico. Mas especula-se que o evento Transamazônico (melhor caracterizado na borda do Cráton do São Francisco) seja o responsável pelo desenvolvimento das paragêneses metamórficas observadas no Grupo Riacho dos Machados.

Crocco-Rodrigues et al. (1993) apresentaram um modelo para explicar as estruturas observadas no BIMA, associadas à evolução do cinturão de cavalgamentos da Faixa Araçuaí. Na região do Salobro fica evidente a formação de grandes *rampas*. Elas se caracterizam pela preservação de grandes fatias (lascas) indeformadas, delimitadas por estruturas onde ocorre a nucleação da deformação (empurrões principais), que funcionam como frentes de avanço.

O Depósito Salobro estaria dentro de uma destas fatias e por isso não exhibe interferências significativas dos empurrões brasileiros de orientação N-S e vergência para oeste.

O ambiente de sedimentação das seqüências correlatas ao Grupo Riacho dos Machados é interpretado aqui como uma bacia rifte com vários segmentos/compartimentos. No Salobro esta sedimentação se iniciaria em ambiente raso com a deposição química sobrepujando ao aporte terrígeno, o que está representado pela unidade A.

Na fase inicial (Unidade A) a deposição contaria com uma relativa estabilidade tectônica na bacia, que seria quebrada com a subsidência se acentuando, o aumento do aporte terrígeno e a instalação de intenso processo exalativo. Tais características estão evidenciadas na passagem da unidade A para a B e pelas características composicionais e faciológicas da unidade B.

A deposição das unidades A e B teria sido controlada por calhas de dimensões restritas e bem entalhadas no embasamento.

A deposição da Unidade B seria interrompida por uma subsidência mais rápida e contínua da bacia, atingindo profundidades mais expressivas e extrava-

sando as calhas das unidades A e B, permitindo que a deposição da unidade C apresentasse uma área de distribuição mais abrangente.

MINERALIZAÇÕES DE ZINCO E CHUMBO DO DEPÓSITO SALOBRO

DESCRIÇÃO DAS MINERALIZAÇÕES

As mineralizações de zinco e chumbo do Depósito Salobro estão hospedadas na camada de anfibólio-metacherte da Unidade B do Grupo Riacho dos Machados, mais precisamente no topo do Nível Inferior.

A camada de metacherte tem espessura variando entre 15 e 40 m e distribuição contínua por mais de 2.000 m ao longo de sua direção, só deslocada por falhamentos. A camada se estrutura como um homoclinal de orientação N65E e caimento médio de 55SE.

Nos dois furos mais profundos executados no depósito, a camada de metacherte foi interceptada até a profundidade respectivamente de 450 e 570 m, quando medida verticalmente à superfície, ou 800 e 870 m da superfície, quando medida ao longo do plano da camada.

As mineralizações podem ser descritas como do tipo *stratabound* uma vez que estão sempre hospedadas na camada de metacherte.

Os corpos de minério individualizados na avaliação de recursos estão restritos à porção da camada de metacherte entre as LTs 600NE e 1.900NE, ou seja, ao longo de 1.300 m do depósito.

Foram definidos dois corpos de minério. O corpo 1 está localizado entre as LTs 600NE e 1200NE. É o corpo mais rico e mais espesso. No plano da camada esse corpo se distribui por uma área de 550 por 600 m. O corpo 2 localiza-se entre as LTs 1.400NE e 1.900NE. No plano da camada este corpo se distribui por uma área de 350 por 500 m.

Entre as LTs 1.200NE e 1.400NE, a presença de corpos de sulfetos maciços de pirita-pirrotita, além da interferência de falhamentos, reduz significativamente os teores de zinco e chumbo no metacherte.

O mineral de zinco do depósito é a esfalerita e o de chumbo é a galena, não tendo sido observados outros minerais destes dois metais. Nas análises do testemunho de sondagem os valores de prata estão sempre abaixo de 4 ppm, exceção feita a dois valores, um de 92 ppm e outro de 10 ppm. Os valores de cádmio apresentam média de 20 ppm, atingindo valores máximos pontuais da ordem de 3.000 ppm.

O elemento que guarda maior correlação com a mineralização é o cádmio (0,72), embora chumbo e mercúrio também guardem boa correlação (0,69 e 0,62). Cobre, prata e ouro não exibem correlação com o zinco e o chumbo. A forte correlação entre enxofre e ferro demonstra ainda o papel da sulfetação nos processos

mineralizantes, a despeito da forte presença de magnetita no depósito.

Os valores de ouro no nível mineralizado são muito baixos, normalmente inferiores ao limite de detecção (0,05 ppm). Imediatamente acima das camadas de formação ferrífera na Unidade B, nos granada-biotita xistos (GBX), ocorre um nível mineralizado em ouro, marcado pela presença de arsenopirita disseminada. Os teores de ouro estão abaixo de 2,5 g/t para espessuras de 1 m. Essas mineralizações foram consideradas anti-econômicas e não foram objeto de avaliação.

A esfalerita tem granulação grossa. Ocorre maciça, em bandas (Prancha 1: A, B, C), laminações (Prancha 1: D), disseminações e também em vênulas. Apresenta-se nas cores carmim e alaranjada clara (Prancha 1: E, F), com gradação de cor entre os tipos. A coloração está diretamente ligada ao teor de ferro na estrutura da esfalerita e à temperatura de cristalização (Teixeira, 2001). As cores em carmim denotam a esfalerita mais rica em ferro e mais pobre em zinco. O sulfeto de Zn apresenta concentração em mol%FeS em torno de 12% o que corresponde a valores entre 6,5% e 7% Fe e 57% a 58% Zn em sua estrutura. Nas cores alaranjadas o teor de ferro cai para entre 4% e 5% Fe, elevando a concentração de zinco para até 64%.

A galena apresenta também granulação grossa. Está predominantemente disseminada.

Foram realizadas amostragem e análises químicas contínuas em dois furos de sondagem (FD009 e FD013). Estes furos interceptam o empilhamento da seqüência desde a Unidade C até cerca de 30 m abaixo do nível mineralizado. Os teores de zinco estão predominantemente abaixo de 0,06% e só atingem valores acima de 0,2% no nível mineralizado. Além do nível de metacherte, não foram identificados outros níveis sulfetados com esfalerita na descrição dos testemunhos.

Os teores de zinco e chumbo no nível de minério chegam a alcançar concentrações de até 24% e 6,7% respectivamente. A relação de zinco para chumbo está em 82,86% para os intervalos mineralizados incluídos na avaliação de recursos, mas dependendo do conjunto de amostras tomadas para o cálculo, a proporção pode variar bastante, chegando até a 88%. Isso se deve ao fato de que existe uma tendência não-linear, dentro do nível mineralizado, do chumbo ser proporcionalmente mais rico nos níveis mais pobres em zinco.

A Figura 6 apresenta os níveis mineralizados, tomados segundo o critério de $Zn+Pb\% > 3,5\%$ e

espessura mínima de 2 m, ilustrando as espessuras e as relações de zinco e chumbo na mineralização.

Vários minerais compõem a ganga do minério do Salobro. Os mais proeminentes são quartzo, anfibólio (comumente grünerita) e magnetita. Aparecem ainda biotita, sericita, granada, carbonato, turmalina, pirita e pirrotita.

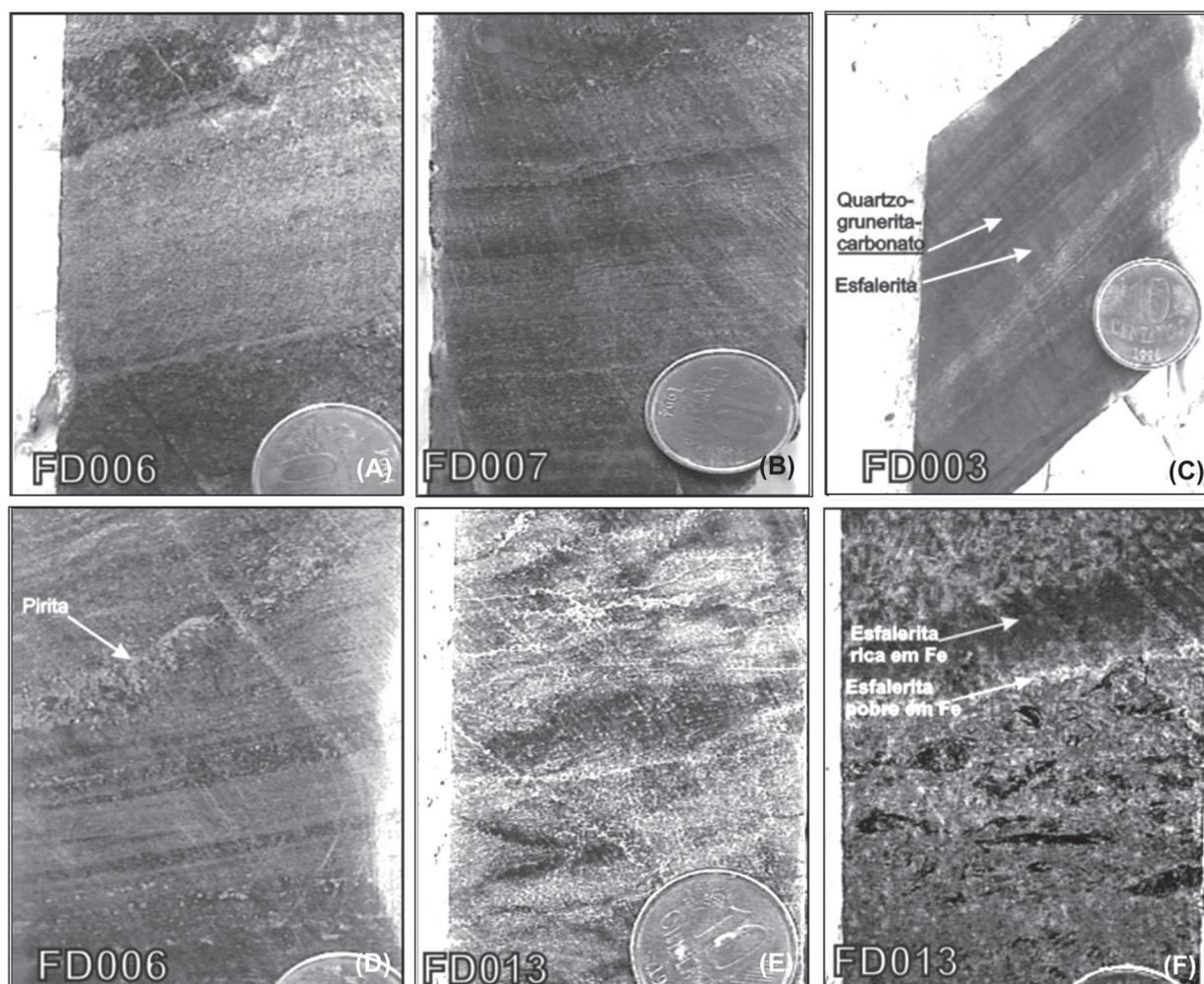
Embora os corpos de minério possam ser descritos como corpos de sulfeto maciço, e pirita e pirrotita sejam sulfetos sempre presentes na camada de metacherte, é preciso destacar a presença de níveis de sulfeto maciço a pirita-pirrotita com espessuras de até 18,80 m.

Os minerais que compõe a ganga do minério formam uma paragênese compatível com vários tipos de hidrotermalismo-metassomatismo. Independentemente de interpretações genéticas a camada de

metacherte, dentro do empilhamento litológico da seqüência Salobro, representa o ápice dos efeitos de alteração hidrotermal. Em torno da camada é possível desenhar um halo de alteração que se inicia poucos metros abaixo da camada de metacherte (não mais que 15 m) e se estende por até 200 m na unidade C da seqüência. Assim, toda a Unidade B está posicionada dentro da célula de alteração.

GÊNESE E MODELOS GEOLÓGICOS

A definição de um modelo geológico para as mineralizações do Salobro encontra sua maior condicionante na idade máxima admitida para o depósito (1,715 Ga). Existem poucos depósitos de zinco e chumbo datados no Paleoproterozóico e Arqueano (Lydon, 1995).



PRANCHA 1. (A) Esfalerita maciça e pontuações de galena em níveis regulares sugerindo uma deposição sin-sedimentar. (B) Porção bandada de esfalerita em rocha rica em quartzo, grünerita, carbonato, turmalina e chamosita. (C) Níveis de esfalerita em grünerita metacherte. Tal feição constitui a principal evidência para uma possível deposição primária da esfalerita. (D) Típica feição de sulfurização, na qual vênulas de pirita truncam o bandamento. (E) Lâminas descontínuas de esfalerita pobre em ferro (tons claros) em metacherte constituído por quartzo, grünerita, carbonato, chamosita e turmalina. (F) Esfalerita de coloração mais clara com menor teor em ferro, passa para esfalerita de cor castanha rica em ferro de mais alta temperatura.

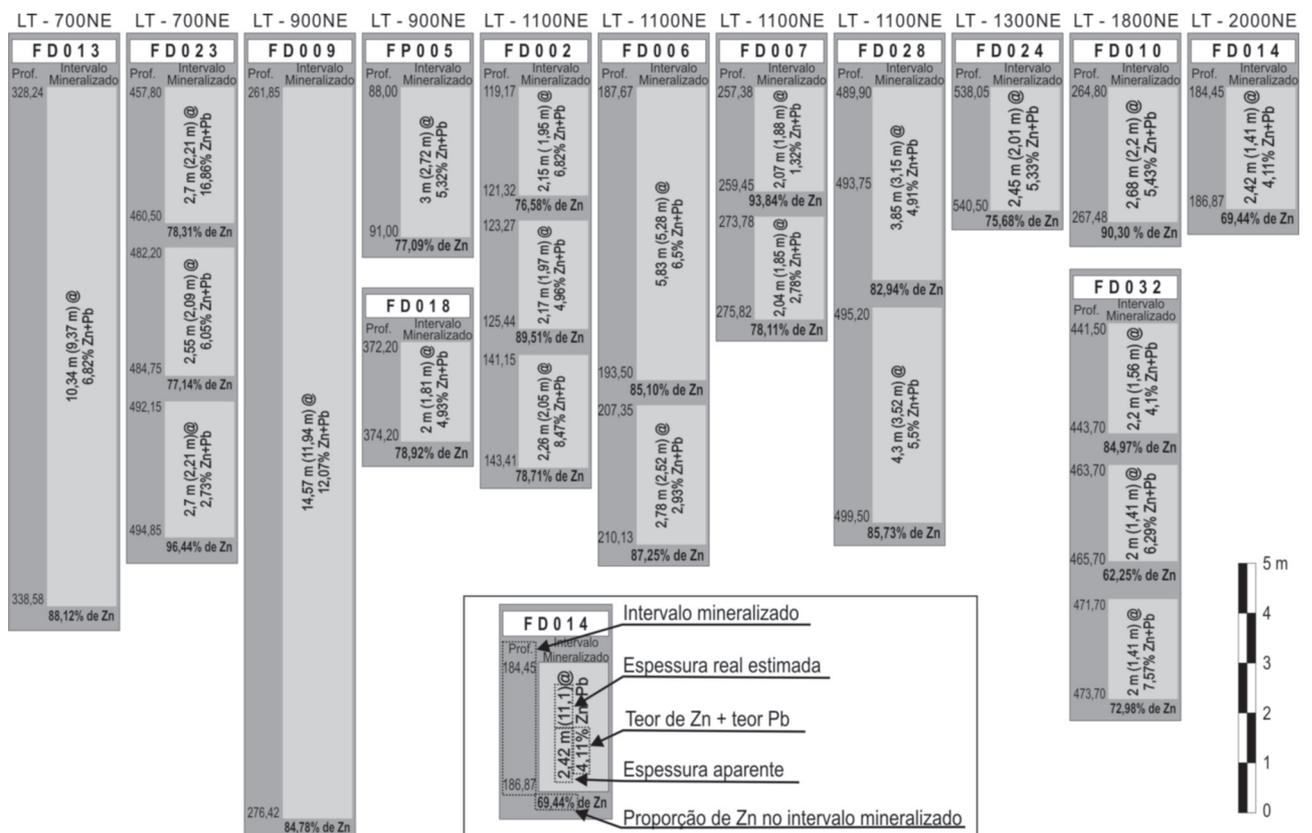


FIGURA 6. Relação entre zinco e chumbo na mineralização.

Durante a descoberta e a fase inicial de pesquisa do Depósito Salobro, as mineralizações de zinco e chumbo observadas foram interpretadas como geneticamente relacionadas a um modelo do tipo sedex. Apesar dos pontos que possam ser levantados para contestar a utilização do modelo sedex, considera-se que existe concordância bastante satisfatória das características descritas com a estruturação geral proposta para esse modelo (Goodfellow et al., 1993; Lydon, 1995).

Apesar de não se identificar uma pilha sedimentar espessa sotoposta à mineralização, a seqüência de deposição evolui caracteristicamente de detrítica (Unidade A) para predominantemente química com contribuições terrígenas (Nível Inferior – Unidade B), passando a detrítico-química com intensa variação lateral e vertical de fácies (Nível Superior – Unidade B). A pilha sedimentar é finalizada por um espesso pacote de rochas detríticas que sugere uma fase final de forte subsidência na bacia. Esta estruturação se mostra bastante compatível com a interpretação de evolução de uma bacia restrita tipo rifte com fase final *sag*, e intensa e rápida variação lateral e vertical de fácies. Este empilhamento pode ser comparado com a discussão sobre ambientes deposicionais dos depósitos sedex elaborada por Muir (1983), ou com a descrição do

empilhamento dos depósitos do distrito de Western Brooks Range no Alasca (Young, 2004) e do depósito de Lady Loretta na Austrália (Large & McGoldrick, 1988).

Outras características que ensejaram a adoção do modelo sedex são o fato da mineralização se hospedar no nível clasto-químico de uma seqüência metassedimentar (merecendo menção o caráter silicoso do nível mineralizado), a ausência de contribuição vulcânica e a possível preservação de um bandamento sedimentar (Plancha 1: A, B, C). Observa-se ainda paragênese mineral compatível com processos de alteração exalativa, o caráter *stratabound* das mineralizações e a proporção entre Zn e Pb ($Zn/(Zn+Pb) > 80\%$).

A limitação de idade é um dos pontos que se contrapõe a um modelo sedex para o Salobro, especialmente por se tratar de um período onde a crosta continental ainda estava pouco desenvolvida. Em geral os depósitos sedex apresentam na base do empilhamento da bacia espessos pacotes de sedimentos detríticos. No Salobro o contato da pilha metassedimentar com o embasamento granito-gnáissico se dá por falha de empurrão e o que está preservado da unidade sotoposta ao nível mineralizado é uma camada com espessura inferior a 250 m.

O único trabalho sistemático que abordou a gênese das mineralizações do Salobro foi o de Teixeira (2001), que apresentou dois modelos para o depósito denominando-os de Inalação Contemporânea aos estratos exalativos oxidados e Sulfurização Inalativa tardia em estratos oxidados.

No modelo de Inalação Contemporânea o autor destaca, entre outras coisas, o caráter tabular da mineralização, sua significativa extensão lateral, o fato dos contatos entre os níveis mineralizados e as rochas encaixantes serem sempre bruscos (sugerindo um único evento mineralizante), a presença de esfalerita intercamadada com sílica e grünerita (compondo um típico metacherte onde forma uma mineralização finamente laminada), a inexistência de indicações de expressivos sistemas hidrotermais exalativos à época da deposição da mineralização, além da presença marcante de mercúrio. Estas feições poderiam evidenciar uma deposição primária da mineralização.

Contudo, as inclusões fluidas das amostras do metacherte mineralizado mostram altas taxas de salinidade e temperaturas mínimas estimadas em 350°C, que seriam demasiadamente altas para um processo exalativo. Alternativamente o autor sugere que isso poderia ser explicado pela participação de fluidos escapados de câmaras magmáticas rasas.

Salienta ainda que “a esfalerita laminada sofreu deformação penetrativa com o desenvolvimento de fabric de plano axial. Os grãos de esfalerita, pirita, galena e pirrotita apresentam-se alongados, há poligonização, cataclase, annealing e deslocamento de planos

intracristalinos. Nenhuma textura primária foi encontrada como esferulóides, flambóides, colofome ou pequenos grãos euédricos.”

O modelo de Sulfurização Inalativa tardia difere do modelo anterior especialmente na definição do momento em que atuaram os processos mineralizantes. Esta hipótese considera que os estratos encaixantes da mineralização de Zn-Pb são exalativos, mas não a mineralização.

Além das feições estruturais dos minerais-minério e da ausência de textura e estruturas primárias, feições que apontam na direção deste segundo modelo, o autor destaca que os fluidos mineralizantes (inclusões fluidas em quartzo associado à esfalerita) têm alta salinidade e temperaturas mínimas entre 220°C-365°C e que mostram evidências claras de serem tardios em relação aos fluidos metamórficos (aquocarbônicos). Acrescenta que a ocorrência de gersdorffita-cobaltita no nível mineralizado indica altas temperaturas para os fluidos mineralizantes (>500°C). Tais temperaturas são incompatíveis com processos exalativos conhecidos.

Na inalação tardia os fluidos seriam focados preferencialmente ao longo de canais tectônicos, marcados por cisalhamento que acompanham a mineralização do Salobro. O autor propõe que os fluidos mineralizantes apresentaram inicialmente baixas fO_2 e fS_2 , formando pirrotita-esfalerita com alto ferro. Progressivamente a atividade de enxofre teria se intensificado, acompanhando o abaixamento da temperatura, formando pirita-esfalerita-galena.

ESTIMATIVA DE RECURSOS DO DEPÓSITO SALOBRO

Os recursos geológicos definidos na avaliação preliminar do Depósito Salobro totalizam 8,3 mt@ 7,12% de Zn+Pb com espessura média de 5,66 m.

Estudos de concentração por flotação realizados por Penna et. al. (2004) obtiveram concentrados de zinco com teores de 48% a 57% de Zn, com recuperação superior a 80%. Concentrados de chumbo alcançaram 62% a 72% de Pb e recuperações da ordem de 80%. A liberação de esfalerita e galena inicia-se a partir de 0,105 mm e atinge taxas significativas de liberação em relação aos minerais de ganga a partir de 0,074 mm. Os resultados destes testes preliminares colocam o minério dentro de parâmetros da indústria metalúrgica.

O método utilizado na avaliação de recursos foi o da área de influência das seções. A densidade das informações de sondagem no Depósito Salobro (em sua maior parte espaçamento superior a 200 m X 100 m) não permitiu estudar a variabilidade geoestatística dos corpos mineralizados.

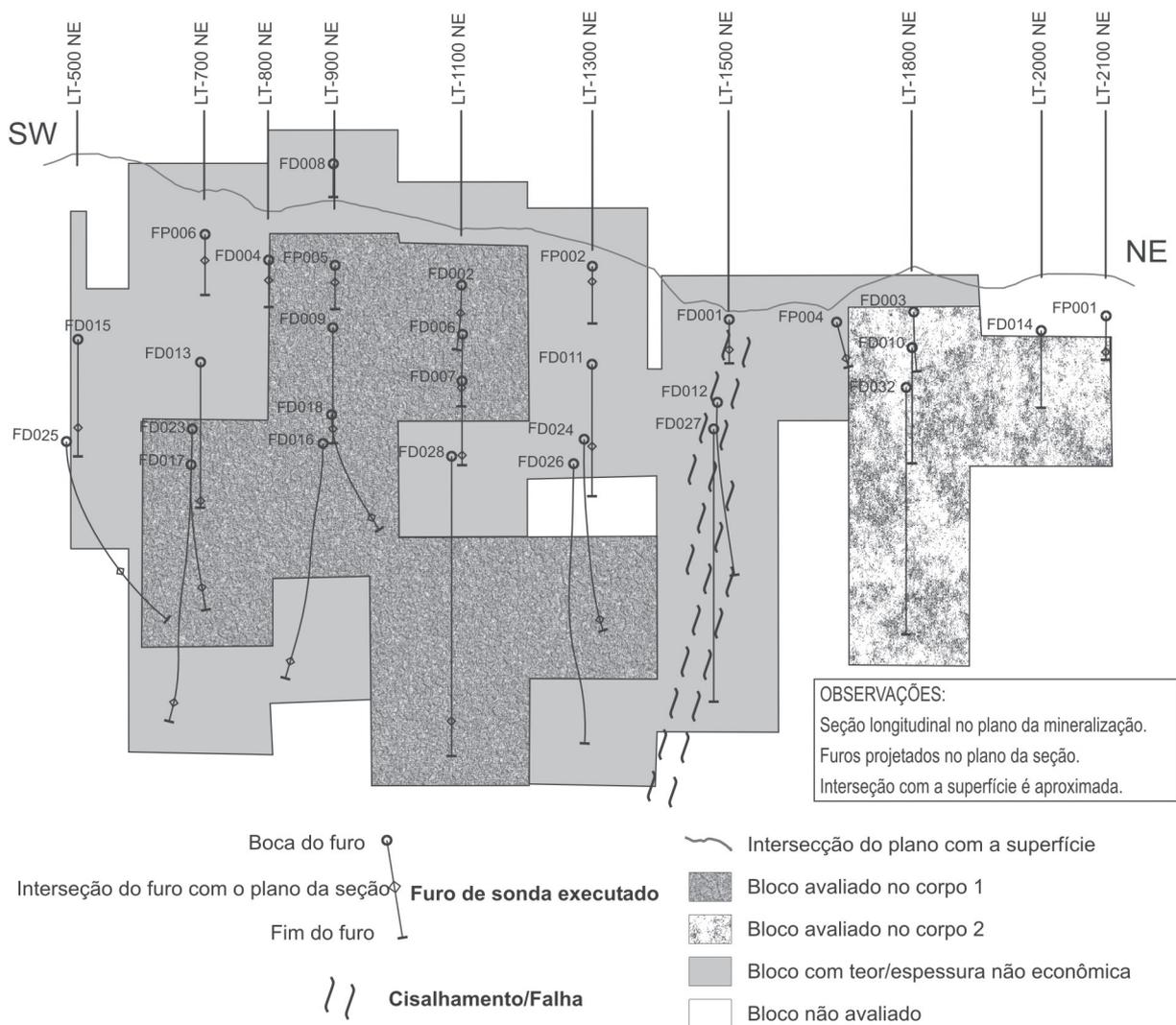
A Figura 7 apresenta uma seção longitudinal ao longo do depósito, no plano do corpo de minério, onde é possível visualizar os corpos, sua distribuição no depósito e como foram incorporados às estimativas de recursos.

PARÂMETROS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO

A espessura mínima considerada para os corpos de minério foi de 2 m e o teor de corte foi tomado como 5% de zinco mais chumbo. O minério marginal foi considerado como o que respeitava a mesma espessura de corte, mas com teores de zinco mais chumbo entre 3,5% e 5%.

Decidiu-se pela estimativa de um volume de minério marginal em função das características da mineralização. A densidade adotada foi de 3,1 g/cm³, que é o valor médio das medidas executadas no minério.

A área de influência das seções foi considerada como sendo de 200 m (100 m para cada lado no sentido perpendicular às seções).



CORPO1	INDICADO	INFERIDO	MARGINAL	TOTAL
Tonagem	3.491.372	2.076.687	624.721	6.192.780
Teor Zn+Pb (%)	8,34	8,19	4,50	7,72
Espessura Média (m)	7,24	7,51	2,67	6,76

CORPO2	INDICADO	INFERIDO	MARGINAL	TOTAL
Tonagem	839.480	610.815	649.633	2.099.928
Teor Zn+Pb (%)	5,13	5,15	4,10	4,82
Espessura Média (m)	2,43	2,07	1,76	2,12

TOTAL GERAL	INDICADO	INFERIDO	MARGINAL	TOTAL
Tonagem	4.330.852	2.687.502	1.274.354	8.292.708
Teor Zn+Pb (%)	7,72	7,50	4,30	7,12
Espessura Média (m)	6,31	6,27	2,20	5,66

FIGURA 7. Recursos geológicos do Depósito Salobro.

Em cada seção, os níveis mineralizados foram interpretados entre as interseções obtidas na sondagem. Segundo os parâmetros de classificação de recursos, foram delimitados polígonos para massas de minério indicado e inferido, além de corpos com massas marginais.

A partir dos corpos individualizados nas seções, foram gerados sólidos por extrusão, considerando a área de influência das seções. Os volumes dos sólidos, seus teores e densidades forneceram as massas de minério em cada corpo de minério.

Os critérios para classificação das massas de minério bloqueadas na avaliação foram os seguintes:

1. *Recurso Indicado*: massa de minério que atenda aos critérios de corte, bloqueada dentro da seção geológica e limitada até 50 m para cada lado de uma interseção mineralizada e até 100 m para cada lado na área de influência da seção.
2. *Recurso Inferido*: massa de minério que atenda aos critérios de corte, bloqueada dentro da seção geológica, considerada a área de influência até 100 m para cada lado da seção e limitada na seção:

- a partir de um corpo Indicado até a meia distância entre duas interseções mineralizadas;
- até 50 m a partir de um corpo Indicado no sentido da continuidade da mineralização em profundidade;
- a partir de um corpo Indicado em direção à superfície até o limite do intemperismo, nas seções onde existe mineralização interceptada em trincheiras.

3. *Recurso Marginal*: massa de minério que atenda aos critérios de corte em espessura e com teor de zinco mais chumbo entre 3,5% e 5%, bloqueada dentro da seção geológica, considerada a área de influência até 100 m para cada lado da seção e limitada na seção:

- entre duas interseções mineralizadas;
- até 100 m a partir de uma interseção mineralizada no sentido da continuidade da mineralização em profundidade;
- a partir de uma interseção mineralizada em direção à superfície até o limite do intemperismo, nas seções onde existe mineralização interceptada em trincheiras.

CONCLUSÕES

No contexto mundial, o depósito de zinco e chumbo do Salobro se enquadra como um depósito de pequeno porte com cerca de 500.000 t de metal contido.

O tamanho do depósito pode guardar relação com a sua idade, limitada ao Paleoproterozóico, uma vez que depósitos com grandes reservas de Zn são conhecidos apenas a partir do Mesoproterozóico. Esta pode ser uma questão meramente relacionada à evolução da crosta e dos ambientes geológicos-metalogenéticos. Talvez o depósito de Boquira seja o único conhecido no mundo com datação das mineralizações no Arqueano-Paleoproterozóico. Destaca-se que as mineralizações de Boquira estão hospedadas em unidades correlatas ao Grupo Riacho dos Machados.

As feições das mineralizações de Zn e Pb do Depósito Salobro, observadas e descritas aqui, não permitem uma conclusão inequívoca sobre o melhor modelo metalogenético a ser adotado. Entretanto, destaca-se as muitas feições apontadas que são coerentes com o modelo sedex e o sucesso obtido com este modelo durante a fase de prospecção e pesquisa.

Entre as características mais marcantes do depósito destacam-se a alta relação Zn/Pb, o caráter silicoso do nível hospedeiro, o caráter maciço dos corpos mineralizados, a ausência de prata associada, a

forte correlação de mercúrio e cádmio com a mineralização e o caráter predominantemente detrítico a detrítico-químico da pilha sedimentar sem contribuição vulcânica. Numa certa medida, algumas dessas características podem ser consideradas singulares se comparadas com outros depósitos de zinco-chumbo mundiais. Mais uma vez, a explicação para as peculiaridades pode estar na idade e o posicionamento geotectônico do depósito.

O estudo de depósitos localizados nos terrenos cristalinos do Cráton do São Francisco sempre encontra dificuldades nos efeitos metamórficos e deformacionais de eventos orogênicos, especialmente em relação ao evento Transamazônico. Como descrito neste trabalho, a definição dos efeitos singenéticos e epigenéticos que atuaram sobre o depósito suscita várias controvérsias. Mas está claro que a interferência de processos metamórfico-estruturais sin ou pós-mineralização desenvolveram feições e controles específicos.

Os depósitos do Salobro e de Boquira (BA) são os exemplares conhecidos de mineralizações de Zn-Pb em unidades correlatas do Grupo Riacho dos Machados. O potencial dessas unidades para a definição de novos depósitos permanece em aberto. Entretanto, as perspectivas para a descoberta de grandes depósitos parecem ser reduzidas em face das considerações aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, F.R. & BELO DE OLIVEIRA, O.A. Geologia e ocorrência de zinco e chumbo do Prospecto Salobro, Porteirinha (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 1998, 40, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998, p. 140.
2. ALMEIDA, F.F.M. DE. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira Geociências**, v. 7, n.4, p. 349-364, 1977.
3. ALMEIDA, F.F.M. DE & HASUI, Y. (Coords.). **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
4. BRITO NEVES, B.B.; KAWASHITA, K.; CORDANI, U.G.; DELHAL, J. A Evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço: dados novos e integração. **Revista Brasileira Geociências**, v. 9, n. 1, p. 71-85, 1979.
5. CROCCO-RODRIGUES, F.A.; GUIMARÃES, M.L.V.; ABREU, F.R. DE; BELO DE OLIVEIRA, O.A.; GRECO, F.M. Evolução tectônica do Bloco Itacambira-Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4, 1993, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993, p. 212-216.
6. DRUMMOND, J.B.V.; VON SPERLING, E.; RAPOSO, F.O. **Projeto Porteirinha Monte Azul**. Belo Horizonte: CPRM, Relatório Final, 559 p., 1980.
7. ECOGEO. **Mapeamento tectônico-estrutural da região de Ouro Fino-Jatobá, Riacho dos Machados – MG**. Belo Horizonte: Rio Doce Geologia e Mineração S.A. (DOCEGEO), 37 p., 1991.
8. ECOGEO. **Mapeamento geológico-estrutural em escala 1:50.000 da região de Riacho Machados (MG)**. Belo Horizonte: Rio Doce Geologia e Mineração S.A. (DOCEGEO), 121 p., 1992.
9. FONSECA, E. **Depósito aurífero de Riacho dos Machados, norte de Minas Gerais: hidrotermalismo, deformação e mineralização associada**. Belo Horizonte, 1993. 179 p. Tese (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
10. FONSECA, E. & LOBATO, L.M. Metamorfismo e alteração hidrotermal da Seqüência de Ouro Fino, Riacho dos Machados. MG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA MINAS GERAIS, 1991, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Revista da Escola de Minas, 1992, v. 45, n. 1-2, p. 176-178.
11. FONSECA, E.; LOBATO, L.M.; BAARS, F.J. The petrochemistry of the auriferous, vulcanosedimentary Riacho dos Machados Group, Central-Eastern Brazil: geotectonic implications for shear-hosted gold mineralization. **Journal of South American Herat Science**, v. 10, n. 5-6, p. 423-443, 1997.
12. GOODFELLOW, W.D.; LYDON, J.W.; TURNER, R.J.W. Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (SEDEX) zinc-lead-silver sulphide deposits. In: R.V. KIRKHAM; E.D. SINCLAIR; R.I. THORPE; J.M. DUKE (Eds.), **Mineral deposits modelling**. Geological Association of Canada Special Paper, n. 40, p.201-252, 1993.
13. GUIMARÃES, M.L.V.; CROCCO-RODRIGUES, F.A.; DE ABREU, F.R.; BELO DE OLIVEIRA, O.A.; GRECO, F.M. Geologia do Bloco Itacambira-Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4, 1993, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1993, p. 74-78.
14. GUIMARÃES, M.L.V.; GROSSI-SAD, J.H.; FONSECA, E. DA. Geologia da Folha Francisco Sá. In: J.H. GROSSI-SAD; L.M. LOBATO; A.C. PEDROSA-SOARES; B.S. SOARES-FILHO (Coords.), **Projeto Espinhaço em CD-ROM (Textos, Mapas e Anexos)**. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG), p. 223-313, 1997.
15. INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.O.; DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARALYI, N.L.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R.O. Cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuai. In: C. SCHOBENHAUS; D. ALMEIDA CAMPOS; G.R. DERZE; H.E. ASMUS (Coords.), **Geologia do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, p. 196-303, 1984.
16. LARGE, R.R. & MCGOLDRICK, P.J. Lithochemical halos and geochemical vectors to stratiform sediment hosted Zn-Pb-Ag deposits, 1. Lady Loretta Deposit, Queensland. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 63, p. 37-56, 1988.
17. LYDON, J.W. Sedimentary exhalative sulphides (SEDEX). In: O.R. ECKSTRAND; W.D. SINCLAIR; R.I. THORPE (Eds.), **Geology of Canadian mineral deposits types**. Geological Survey of Canada, n. 8, 640 p., 1995.
18. MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R. DE; KNAUER, L.G.; ALMEIDA ABREU, P.A. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NÚCLEO MG, 5, e SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NÚCLEO BRASÍLIA, 1, 1989, Belo Horizonte. **Resumos Expandidos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1989, p. 171-174.
19. MISI, A. Reservas brasileiras de zinco. S. Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), **Seminário de Zinco e suas Aplicações**, p. 35-53, 2000.
20. MISI, A.; IYER, S.S.; TASSINARI, C.C.G.; KYLE, J.R.; COELHO, C.E.S.; FRANCA-ROCHA, W.J.S.; GOMES, A.S.R.; CUNHA, I.; CARVALHO, I.G. Geological and isotopic constraints on the metallogenic evolution of the proterozoic sediment-hosted Pb-Zn (Ag) deposits of Brazil. **Gondwana Research**, v. 1, n. 1, p. 47-65, 1999.
21. MORAES, L.J. DE. **Geologia Econômica do Norte de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Serviço de Fomento da Produção Mineral, Departamento Nacional da Produção Mineral, Boletim 19, 1937.
22. MOURÃO, M.A.A.; GROSSI-SAD, J.H.; FONSECA, E. DA. Geologia da Folha Janaúba. In: J.H. GROSSI-SAD; L.M. LOBATO; A.C. PEDROSA-SOARES; B.S. SOARES-FILHO (Coords.), **Projeto Espinhaço em CD-Rom (Textos, Mapas e Anexos)**. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais (COMIG), p. 9-123, 1997.
23. MOUTINHO DA COSTA, L.A.M.; BAPTISTA, M.B.; SILVA, W.G. DA; PORTELA, A.C. P.; MOSMANN, R.; JOHANNES, H.S.; MARCHETTO, C.M.L.; SANTOS, E.L.; MENEGUETTO, G. **Projeto LETOS (Leste do Tocantins / Oeste do São Francisco)**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral / PROSPEC S.A., Relatório Final, 1976.
24. MUIR, M.D. Depositional environments of host rocks to northern Australian lead-zinc deposits, with special reference to McArthur River. In: **Short Course in sediment-hosted stratiform lead-zinc deposits**. Victoria: Mineralogical Association of Canada, p. 141-174, 1983.
25. PEDROSA SOARES, A.C.; CORDANI, U.G.; NUTMAN, A. Constraining the age of Neoproterozoic glaciation in the Eastern Brazil: first U-Pb (Shrimp) data of detrital zircons. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 58-61, 2000.
26. PENNA, M.; TEIXEIRA, N.; CROCCO, F.A.; MACIEL, J.D.; LUZ, A.B.; ALMEIDA, S.L.M.; NEUMANN, R. Aspectos geológicos e tecnológicos do depósito de zinco/chumbo de Salobro – Porteirinha – MG. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E

- METALURGIA EXTRATIVA, 20, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2004, v. 2, p. 159-167.
27. ROSA, M.L.S.; CONCEIÇÃO, R.V.; RIOS, D.C.; NARDI, L.V.; MARTIN, H.; OBERLI, F.; MEIER, M.; SCHELLER, T.; MACAMBIRA, M.J.B.; McREATH, I.; PEREIRA SANTOS, C.G.; BARRETO SANTOS, E.; PAIM, M.M.; LEAHY, G.A.S. Isotopic of the Paleoproterozoic potassic-ultrapotassic syenites from Bahia state, Brazil. In: SOUTHERN AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 2, 1999, Córdoba (Argentina). **Actas...** Córdoba, 1999, p. 272-274.
28. SATO, K. **Evolução crustal da plataforma Sul-Americana, com base na geoquímica isotópica Sm-Nd**. São Paulo, 1998. 297 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
29. SIGA JUNIOR, O. **A Evolução geotectônica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas**. São Paulo, 1986., 140 p. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
30. SIGA JUNIOR, O.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; BASEI, M.A.S.; TAYLOR, P.N. Aplicação dos isótopos de Sr e Pb nas rochas gnáissico-migmatíticas de Itacambira. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA MINAS GERAIS, 6, 1987, Belo Horizonte. **Resumos Expandidos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Minas Gerais, 1987, p. 45-57.
31. TEIXEIRA, N. **Projeto Riacho dos Machados - Relatório de atividades**. Belo Horizonte: Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), 53 p., 2001
- YOUNG, L.E. A Geologic framework for mineralization in the Western Brooks Range, Alaska. **Economic Geology**, v. 99, p. 1281-1306, 2004.

*Manuscrito Recebido em: 24 de abril de 2005
Revisado e Aceito em: 2 de fevereiro de 2007*