



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / FACULDADE DE GEOLOGIA
II CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM POLÍTICA E ECONOMIA MINERAL

FÁBIO MACIEL PINTO

**DEPÓSITOS MINERAIS, PREVISÃO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO: O CASO DOS MODELOS PERAU E PANELAS
NO ESTADO DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BELÉM

2014

FÁBIO MACIEL PINTO

**DEPÓSITOS MINERAIS, PREVISÃO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO: O CASO DOS MODELOS PERAU E PANELAS
NO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Política e Economia Mineral. Área de Concentração: Impactos Ambientais da Mineração. Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski.

BELÉM

2014

FÁBIO MACIEL PINTO

**DEPÓSITOS MINERAIS, PREVISÃO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO: O CASO DOS MODELOS PERAU E PANELAS
NO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Política e Economia Mineral. Área de Concentração: Impactos Ambientais da Mineração.

Data da aprovação: 27/03/2014

Conceito: Excelente

Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski

Universidade Federal do Pará

Membro da banca: Prof. Dr. Francisco de Assis Matos
de Abreu

Universidade Federal do Pará

Membro da banca: Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da
Silva

Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Direciono meus agradecimentos a toda a equipe envolvida na estruturação e abertura do Curso de Especialização em Política e Economia Mineral, ou seja, aos membros do Instituto de Geologia e Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará que proporcionaram a nós, discentes, o enriquecimento de conhecimentos nessa importante área que, por vezes, é esquecida pelos cursos de graduação em Geologia estabelecidos no Brasil.

Conhecemos as dificuldades associadas ao desenvolvimento da educação e pesquisa científica, ou acadêmica, no Brasil. Assim, desejo que a troca de experiências ocorrida durante o transcorrer de nossas relações acadêmicas, seja base para o progressivo amadurecimento técnico de nós, alunos; auxilie na consolidação definitiva do curso de especialização e sirva para que a Política e a Economia Mineral ocupem, finalmente, o papel de destaque que merecem no meio acadêmico nacional.

RESUMO

O impacto ambiental negativo é a alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio ambiente, causada por ação antrópica que, direta ou indiretamente, afeta a saúde, a segurança, o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, os ecossistemas, a qualidade dos recursos ambientais, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente. A identificação e estimativa da probabilidade de ocorrência de um impacto pressupõe a elaboração de diagnóstico do meio físico, biótico, socioeconômico das áreas afetadas por um empreendimento e de memorial descritivo desse empreendimento. O diagnóstico e o memorial propiciam a previsão e a avaliação dos impactos negativos, os quais refletem o potencial de degradação causada pelo empreendimento. No caso de atividades de mineração, o potencial varia de acordo com fatores como extensão e localização da mina, produção bruta e beneficiada, métodos e equipamentos de lavra e beneficiamento. Contudo, talvez o principal fator seja a constituição mineralógica e química do minério, rochas encaixantes, ganga, estéreis e rejeitos, as quais refletem a constituição mineralógica, ou de um modo geral a geologia do depósito, ou jazida mineral pretendida, ou em fase de lavra. Nesse âmbito, o trabalho propôs estudar os impactos ambientais negativos que podem ser originados a partir da exploração dos depósitos minerais dos tipos Perau e Panelas, respectivamente pertencentes aos modelos SEDEX e MVT, hospedados nas Formações Perau e Votuverava, pertencentes aos Grupos Setuva e Açungui. Esses depósitos apresentam mineralizações de Pb, Zn, Ba, Cu, Ag, Au e foram minerados sistematicamente entre os finais do séculos XIX e XX. Em adição foi estudado o beneficiamento da Mina de Panelas, o qual visava a recuperação de Pb, Zn, Cu, Ag e Au. O estudo indicou que as atividades de mineração provocaram impactos sobre o meio ambiente e sobre as comunidades. Ademais, concluiu-se que os principais impactos gerados ocorrem sobre a saúde humana. Ainda que o estudo não indique todos os prováveis impactos ambientais relacionados aos depósitos, foi possível elaborar uma rotina de avaliação que poderá servir como base para métodos, relativamente, mais apurados de avaliação de impactos negativos, focados em aspectos da geologia de empreendimentos de mineração.

ABSTRACT

A negative environmental impact can be considered as an adverse alteration of the physical, chemical or biological properties of the environment. These negative changes need to be caused by direct or indirect human action. However, natural changes may not be considered as impacts. Therefore, anthropogenic activities that affect the population's health and safety, the economic activities, the ecosystems, the natural resources quality, the landscape aesthetic, and the sanitary patterns are negative environment impacts. To estimate the probability of occurrence of these impacts it is necessary an identifying and evaluating process of how the expected changes affect the biophysical and social environments. The process provides the prediction and assessment of the negative impacts, for example, of a mining enterprise and explains your degradation potential. This potential varies according to factors such as mine location and size, nameplate capacity, mining technics, mineral processing technics and kinds of equipment or machinery used on the mine. However the main factors are the ores, host rocks, gangues, tailings and slags chemical compositions. Usually the chemical composition reflects the geology of the mined deposit, or of the deposit desired for mining. Thus, this study analyzed the negative environment impacts related to the Perau and Panelas Mineral Deposits, which are belonged to the SEDEX and MVT models and are hosted in the Perau and Votuverava Formations, respectively Açungui and Setuva Groups. Perau and Panelas Deposits show Pb, Zn, Ba, Cu, Ag and Au mineralizations and were mined between the nineteenth and twentieth centuries. Furthermore was analyzed a plant of smelting installed on the area of the Panelas Mine, which recovered Pb, Zn, Cu, Ag and Au from the ore of the Perau and Panelas Mineral Deposits. The study showed that the former mining activities of those deposits have caused negative impacts for the environment and population. Although the study does not elucidate all the environment negative impacts related to the deposits, it was possible to develop an assessment routine that can be a basis for future more accurate methods of environmental impact assessment focused on mining enterprises.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização da região de ocorrência das Formações Votuverava e Perau, no Estado do Paraná.....	4
Figura 02: Principais vias de acesso à região de afloramento das Formações Votuverava e Perau, no Estado do Paraná.....	5
Figura 03: Mapa geológico simplificado do Escudo do Paraná.....	6
Figura 04: Processo de metalurgia do concentrado de chumbo, com deposição da escória diretamente sobre o pátio. Mina de Pannels.....	24
Figura 05: Pilha de rejeito de beneficiamento da Mina do Rocha, Depósito do Tipo Pannels.....	24
Figura 06: Pilha de rejeito de beneficiamento da Mina do Rocha, situada às margens do ribeirão homônimo.....	25
Figura 07: Depósito de rejeito de beneficiamento da Mina de Pannels, Depósito do Tipo Pannels.....	25
Figura 08: Pilha de escória de metalurgia da Mina de Pannels, Depósito do Tipo Pannels.....	25
Figura 09: Pilha de estéreis de lavra da Mina do Perau, Depósito do Tipo Perau.....	25
Figura 10: Planta de beneficiamento e galeria de lavra, abandonadas, da Mina de Pannels.....	26
Figura 11: Localização dos pontos de amostragem de solo e de pilhas de resíduos (rejeito e escória) de Cunha (2003).....	27
Figura 12: Paisagem geoquímica do Pb, fração < 180 μ	27
Figura 13: Paisagem geoquímica do Pb, fração < 63 μ	29
Figura 14: Localização dos sítios de amostragem na região de La Oroya.....	32
Figura 15: Fluxograma de Beneficiamento de Chumbo da Usina de Pannels.....	49
Figura 16: Mapa de Riscos de Impactos Ambientais da Unidade de Beneficiamento e Metalurgia de Chumbo da Mina de Pannels.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Coluna Estratigráfica simplificada do Escudo do Paraná.....	10
Quadro 02: Modelos Genéticos Associados aos Depósitos do Tipo Perau.....	15
Quadro 03: Modelos Genéticos Associados aos Depósitos do Tipo Pannels.....	16
Quadro 04: Teores de Pb nos solos superficiais de acordo com a distância da Mina de Pannels.....	21
Quadro 05: Concentrações de Pb nos rejeitos e escórias das minas de Pannels e do Rocha.....	22
Quadro 06: Teores de Pb nos sedimentos de corrente do Rio Ribeira, Ribeirão do Rocha e Ribeirão Grande.....	23
Quadro 07: Média aritmética dos teores de PbS no sangue das crianças.....	23
Quadro 08: Teores mínimo, máximo e médio geral de PbS encontrado no sangue das crianças.....	23
Quadro 09: Teores de Pb detectados nos tecidos secos e carapaças do bivalve <i>Corbicula flumínea</i>	24
Quadro 10: Comparação entre os teores de Pb nos solos identificados na região de Adrianópolis e La Oroya, Brasil e Peru.....	31
Quadro 11: Classificação das associações minerais do minério e indicação de suas fórmulas químicas básicas.....	39
Quadro 12: Identificação dos impactos relacionados aos elementos químicos das associações minerais do minério.....	40
Quadro 13: Background aproximado dos elementos potencialmente danosos ao meio ambiente, referente ao Horizonte B dos solos.....	43
Quadro 14: Avaliação de comportamento de um elemento, ou composto, químico potencialmente danoso ao meio ambiente.....	44
Quadro 15: Pontuação atingida por um elemento, ou composto, químico na avaliação de comportamento.....	45
Quadro 16: Classificação da importância, probabilidade de ocorrência de danos ou impactos ambientais, e categorias de medidas protetivas.....	46
Quadro 17: Identificação dos impactos relacionados aos compostos químicos utilizados no beneficiamento, rejeito, escória e concentrado.....	51
Quadro 18: Pontuação atingida pelos compostos químicos, rejeito, escória e concentrado na avaliação de comportamento.....	52
Quadro 19: A classificação da importância, probabilidade de ocorrência de danos e medidas protetivas referentes ao mapa da Figura 16.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA - Avaliação de Impacto Ambiental

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

EAS - Estudo Ambiental Simplificado

ECA - Estudo de Conformidade Ambiental

MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A., Serviço Geológico do Estado do Paraná

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

MME - Ministério de Minas e Energia

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

PRAD - Projeto de Recuperação de Área Degradada

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

NRM - Normas Reguladoras de Mineração

PCIAM - Plano de Controle de Impacto Ambiental na Mineração

PAE - Plano de Aproveitamento Econômico

PL - Plano de Lavra

NBR – Norma Brasileira

AMX - Amil Xantato de Sódio

MIBC - Metil Isobutil Carbinol

CFEM - Compensação Financeira pela Exploração Mineral

APP - Área de Preservação Permanente

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
1.0. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Materiais e Métodos	2
1.4. Localização	3
2.0. CONTEXTO E DIAGNÓSTICO DO MEIO GEOLÓGICO	6
2.1. Trabalhos Anteriores	6
2.2. Formações Hospedeiras	10
2.2.1. Formação Perau.....	10
2.2.2. Formação Votuverava.....	12
2.3. Características dos Depósitos Minerais	13
2.3.1. Depósitos do Tipo Perau.....	14
2.3.1. Depósitos do tipo Panelas.....	16
3.0. IMPACTOS E PASSIVOS AMBIENTAIS DAS MINAS DESTIVADAS	17
3.1. O Caso de La Oroya	30
4.0. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS	33
4.1. Revisão da Legislação Federal	33
4.1.1. Compensações Ambientais.....	33
4.1.2. Passivo Ambiental e Recuperação de Área Degradada.....	35
4.1.3. Parâmetros de Qualidade Ambiental.....	36
4.2. Referencial para a Previsão e Avaliação de Impactos	37
4.3. Impactos Negativos Associados ao Minério dos Depósitos Perau e Panelas	38
4.4. Impactos Ambientais Associados aos Rejeitos e Escórias do Beneficiamento do Minério Explotado nos Depósitos do Tipo Perau e Panelas	47
5.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1. Recomendações	59

6.0. REFERÊNCIAS.....	61
ANEXOS.....	69
Anexo I - Mapa Geológico Simplificado da Região de Afloramentos das Formações Votuverava e Perau.....	70

1.0. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

A mineração é uma atividade econômica com potencial para causar impactos negativos ao meio ambiente. Através da verificação do conteúdo de diagnósticos do meio físico e avaliações de impactos ambientais (AIA), componentes de estudos ambientais (EIA, RIMA, EAS, ECA, etc.) para o licenciamento de atividades de mineração no Estado de Santa Catarina, foram constatadas deficiências no embasamento técnico das características das substâncias pretendidas para lavra e beneficiamento, abrangendo, principalmente, a ausência de descrições quanto à composição mineralógica e química do minério bruto e beneficiado, ausência de informações sobre o processo e equipamentos de beneficiamento, ausência de informações sobre a composição química de rejeitos e estéreis. Essas falhas culminam na imposição de exigências técnicas pelo órgão fiscalizador e licenciador do estado (FATMA), determinando correções e reelaborações dos estudos, novas análises químicas de caracterização de materiais e de caracterização dos parâmetros de qualidade ambiental, além do detalhamento do processo de beneficiamento. Devido a essa necessidade de melhor instrução dos processos de licenciamento, ocorrem atrasos nas emissões de licenças ambientais e, mais raramente, a paralização de atividades de mineração em operação.

A partir das inconformidades nos estudos ambientais e dos problemas relatados, houve a oportunidade de elaborar uma proposta de previsão e avaliação de impactos ambientais negativos, focalizada na geologia dos depósitos minerais e processos de beneficiamento. Deste modo, o trabalho identificou e classificou de forma introdutória e de exemplificação alguns aspectos da geologia e processos de beneficiamento que podem culminar em danos ao meio ambiente, portanto, não esgotou o assunto. Assim, visa-se contribuir para o enriquecimento do embasamento técnico-geológico dos estudos ambientais para a mineração, servir como meio de discussão sobre a eficácia dos métodos de coleta de informações técnicas empregados nesses estudos e despertar nos profissionais e acadêmicos do campo da Geologia e Engenharia de Minas, dentre outros, o interesse pelo aperfeiçoamento e padronização dos procedimentos de elaboração de estudos ambientais para a mineração.

1.2. Objetivos

Este trabalho avalia as potencialidades de impactos ambientais de depósitos minerais e respectivas instalações de beneficiamento, através do estudo da constituição do minério e dos insumos de beneficiamento. Como referência, foram analisados os depósitos dos tipos Perau e Pannels e a usina de beneficiamento da Mina de Pannels. Deste modo, objetivou-se:

- Determinar a área de abrangência dos depósitos dos tipos Perau e Panelas;
- Relacionar os principais componentes dos minérios dos depósitos;
- Identificar, relacionar e classificar os componentes do minério, insumos e instalações de beneficiamento que podem ocasionar impactos ambientais negativos;
- Prever e classificar os impactos ambientais negativos que podem ser gerados pelos componentes do minério, insumos e instalações de beneficiamento;
- Indicar os parâmetros de qualidade ambiental, compensação ambiental, avaliação de impactos ambientais encontrados na legislação federal;
- Propor meios de avaliações de impactos ambientais na mineração.

1.3. Materiais e Métodos

O trabalho foi baseado em pesquisa bibliográfica. Os procedimentos utilizados estão descritos abaixo, em fases:

a) Fase I – Identificação da área problema: Indicou a abrangência no Estado do Paraná e proporcionou a elaboração de um histórico bibliográfico sobre as unidades hospedeiras e depósitos dos tipos Perau e Panelas;

b) Fase II – Levantamento das características dos depósitos: Foram relacionadas características gerais dos depósitos do tipo Perau e Panelas, quanto aos seus modelos genéticos, principais elementos químicos e minerais do minério;

c) Fase III – Identificação dos Problemas Ambientais Existentes: Foi levantado o histórico dos problemas ambientais, associados à exploração dos depósitos e identificadas características do minério e do processo de beneficiamento de mina desativada, que poderiam causar impactos ambientais negativos;

c) Fase IV – Discussões e Conclusões: Houve a discussão sobre a relação entre os impactos ambientais negativos, prováveis, e os casos históricos de problemas ambientais, bem como houve comparação dos resultados obtidos com a legislação federal e discussão sobre as deficiências dos diplomas legais.

1.4. Localização

Os depósitos dos tipos Perau e Panelas estão, respectivamente, hospedados nas Formações Perau e Votuverava, as quais integram o Escudo do Paraná e afloram, principalmente, na região denominada Vale do Ribeira, situada ao leste dos Estados de São Paulo e Paraná. No caso do Estado do Paraná, foco deste trabalho, as formações estão distribuídas ao longo de uma faixa de abrangência regional com direção geral NE-SW. Essa

faixa se localiza no Primeiro Planalto Paranaense, em área dominada por rochas pré-cambrianas, na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba. Os municípios abrangidos pelas formações são Cerro Azul, Adrianópolis, Tunas do Paraná, Bocaiuva do Sul, Rio Branco do Sul, Itaperuçu, Campo Magro e Campo Magro. Secundariamente, as unidades apresentam ocorrências nos municípios de Jaguariaíva, Piraí do Sul, Doutor Ulysses e Castro (Figura 01).

Devido distribuição geográfica das unidades, existem diversas possibilidades de acesso através de rodovias federais, estaduais e municipais, bem como através de vias vicinais. Entretanto, o acesso aos principais municípios de afloramento das formações é realizado, sobretudo, através da rodovia BR-476 (Estrada da Ribeira) que liga Curitiba ao Município de Ribeira/SP, e a PR-092 (Rodovia dos Minérios) que liga a capital Curitiba às proximidades do Município de Palmital/SP. No caso da BR-476, a partir da capital percorre-se um trajeto de cerca de 29km, sentido norte, até a entrada na área de afloramentos. Já na PR-092, percorre-se um trajeto de 23km até atingir a faixa aflorante das formações (Figura 02).

Figura 01: Localização da região de ocorrência das Formações Votuverava e Perau, no Estado do Paraná (Modificado de: MINEROPAR, 2008 e IBGE, 2012).

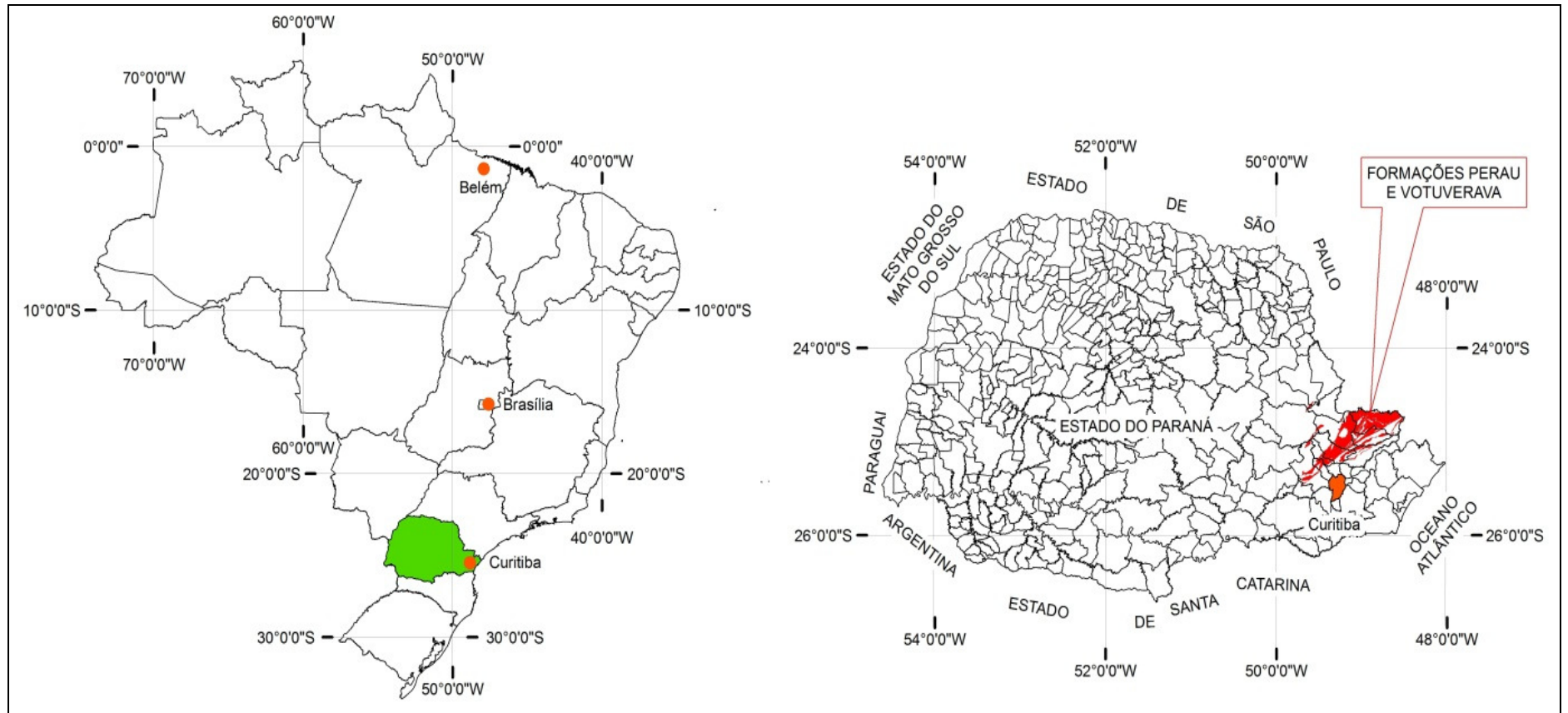
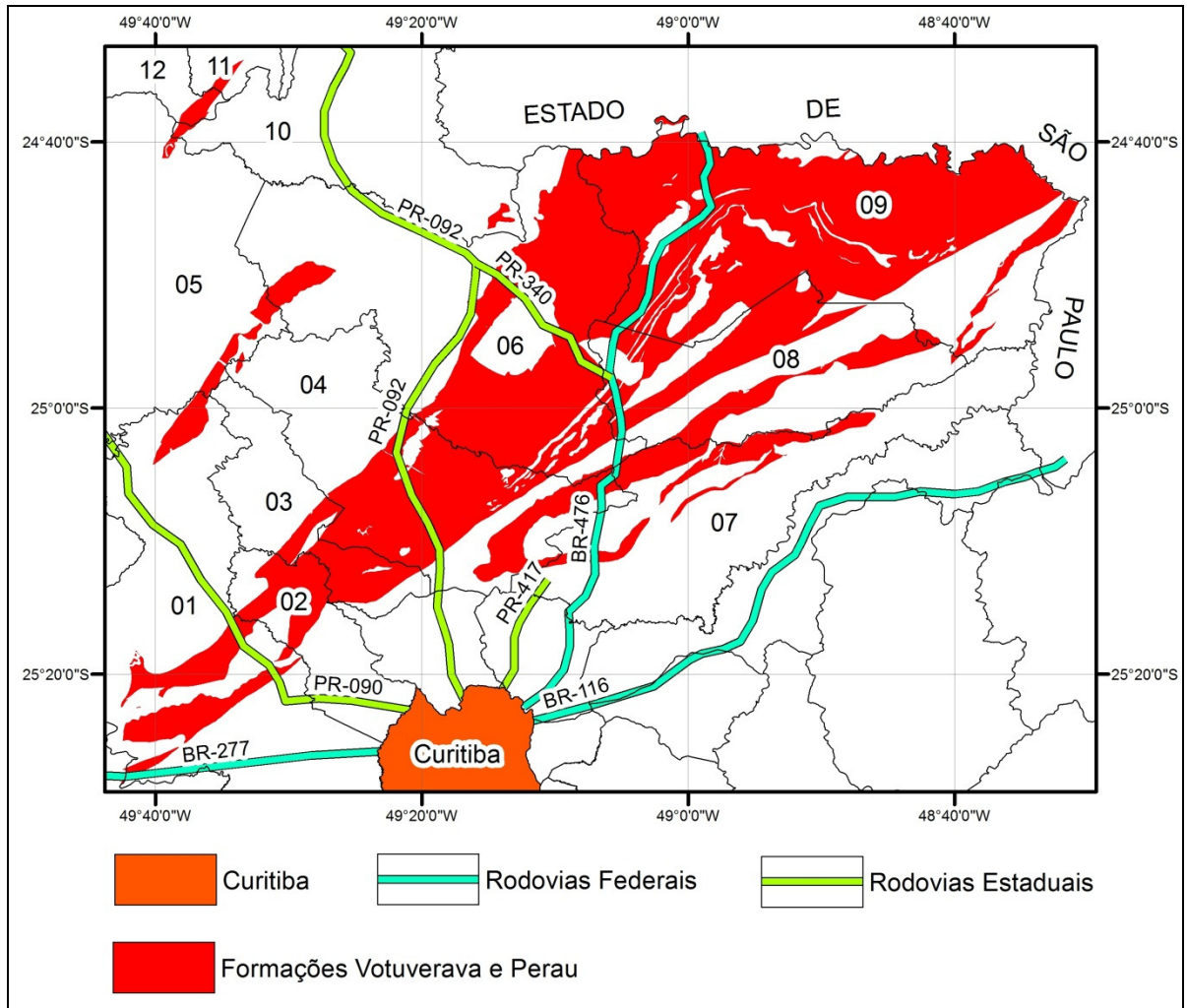


Figura 02: Principais vias de acesso à região de afloramento das Formações Votuverava e Perau, no Estado do Paraná. 01 - Campo Largo, 02 - Campo Magro, 03 - Itaperuçu, 04 - Rio Branco do Sul, 05 - Castro, 06 - Cerro Azul, 07 - Bocaiuva do Sul, 08 - Tunas do Paraná, 09 - Adrianópolis, 10 - Doutor Ulysses, 11 - Jaguariaíva, 12 - Piraí do Sul (Modificado de: MINEROPAR, 2008 e IBGE, 2012).

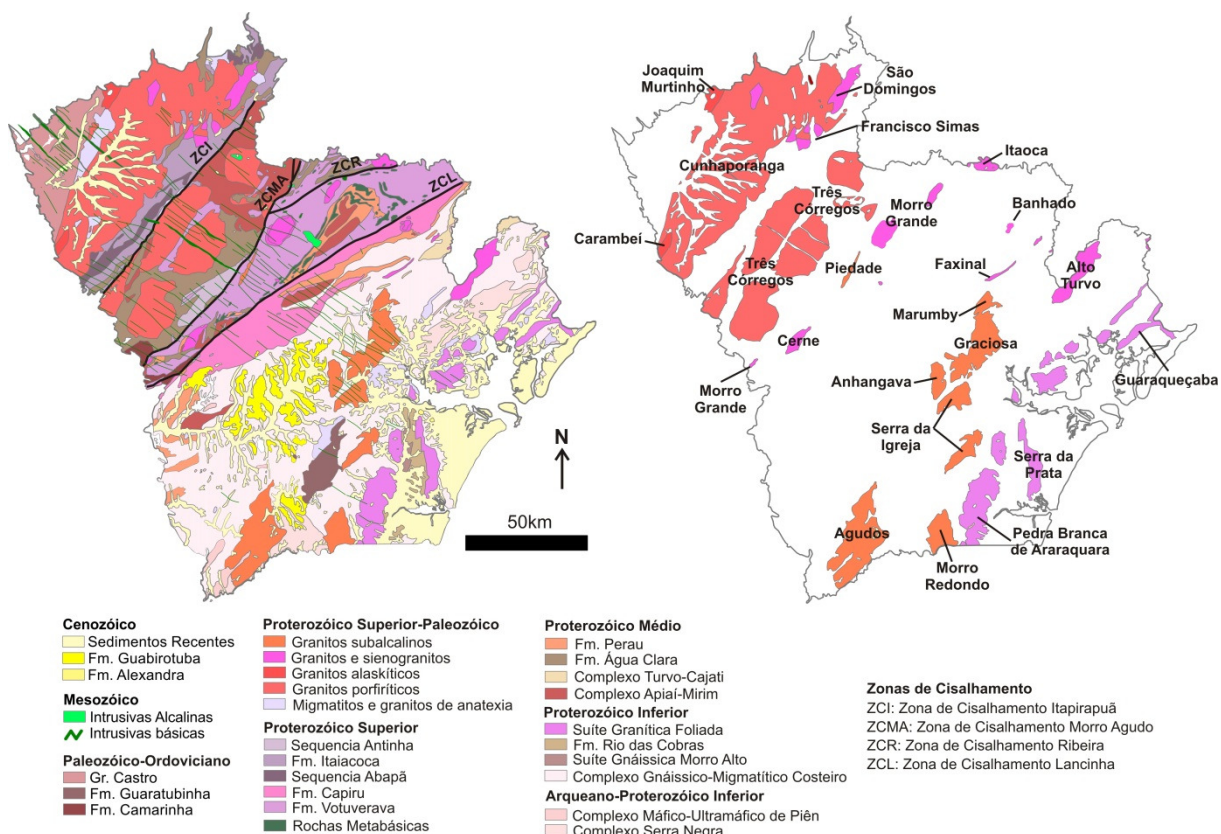


2.0. CONTEXTO E DIAGNÓSTICO DO MEIO GEOLÓGICO

As Formações Perau e Votuverava, respectivamente hospedeiras dos depósitos Perau e Pannels, são componentes da unidade geotectônica Província Mantiqueira. Segundo Santos (2003), a província está instalada a leste dos Crátons São Francisco e Rio de La Plata/Paraná e se desenvolveu entre o Neoproterozóico e o Paleozóico, preservando rochas datadas desde o arqueano.

Especificamente, a província se localiza nas regiões sul e sudeste do Brasil, na faixa litorânea. No Estado do Paraná, abrange a região do Primeiro Planalto, ao leste do estado, onde ocorrem as rochas pré-cambrianas do Escudo (Figura 3).

Figura 03: Mapa geológico simplificado do Escudo do Paraná. À direita, detalhe das intrusões graníticas com as denominações de alguns dos corpos (MACIEL-PINTO; GOMES; FREITAS, 2009 *apud* MINEROPAR, 2001).



2.1. Trabalhos Anteriores

Diversos trabalhos abordam os aspectos geológicos das Formações Votuverava e Perau. Contudo, divergências ocorrem, na definição, nomenclatura e posicionamento estratigráfico. Derby (1878) realizou estudo pioneiro, no qual identificou a existência de rochas metamórficas xistosas na região de Assunguy e indicou que as primeiras descobertas

de metais no Vale do Ribeira teriam ocorrido na segunda metade do século XVI. Por outro lado, a Comissão Geológica e Geográfica do Estado de São Paulo (1914) apontou, na região, ocorrências de chumbo, cobre, antimônio, prata, ferro e ouro. Já Oliveira (1916) realizou a primeira classificação estratigráfica das rochas identificadas por Derby (1878), atribuindo-lhes o nome Série Açungui, basicamente xistos, quartzitos e calcários, sobrepostos a um embasamento Arqueano. Carvalho e Pinto (1937) consideraram que foram impostos, na unidade, esforços regionais de direção N-S, os quais produziram anticlinais e sinclinais, sem que houvesse a inversão de camadas. No ano seguinte, Brasil (1938), através de decreto concede à Pumblum S.A. os direitos de lavra sobre de galena argentífera no Município de Bocaiúva (PR), no local denominado Panelas, ou Breajúvas. Posteriormente, foi iniciada a lavra no Morro do Chumbo, Município de Apiaí (SP) (Knecht, 1939), onde o IPT instalaria a primeira usina de beneficiamento de chumbo e prata do país.

Em trabalho clássico sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina, Maack (1947) indicou que a Série Açungui apresenta contato discordante com o embasamento de composição gnáissica, sendo que ao oeste mergulharia sob a Bacia Sedimentar do Paraná, na região de divisa entre o Primeiro e o Segundo Planalto Paranaense. Os litotipos presentes na série seriam filitos, sericita xistos, clorita xistos, talco xistos, calcários calcíticos e dolomíticos, quartzitos e itabiritos. Também propôs a inclusão de gnaisses à unidade, originados durante um primeiro evento deformacional Neoproterozóico que teria causado gnaissificação parcial dos protólitos da série. Durante o Paleozóico, a unidade teria sofrido um segundo evento deformacional.

Nas proximidades de Itaiacoca e Serra das Antas, Almeida (1956) identificou um pacote de quartzitos, filitos e mármore dolomíticos com ocorrências de estruturas estromatolíticas associadas ao fóssil *Collenia itapevensis*, ao qual denominou Formação Itaiacoca. Bigarella e Salamuni (1956), por sua vez, dividiram a Série Açungui em duas subunidades. Na base definiram a Formação Setuva, composta por sericita quartzitos, quartzitos e filitos. Para o topo propuseram a Formação Capirú, com filitos, calcários calcíticos e dolomíticos. Para os autores, a Formação Capirú seria correlata à Formação Itaiacoca devido a semelhanças litológicas, relações de contato com o embasamento Arqueano e conteúdo fossilífero. Posteriormente, Salamuni e Bigarella (1958) utilizaram o nome Formação Votuverava para identificar os calcários, anteriormente pertencentes à Formação Capirú. A nova unidade seria a mais jovem da série e, além dos calcários, incluiria quartzitos e filitos.

A formalização do termo Grupo Açungui, em substituição ao termo Série Açungui, ocorreu no trabalho de Salamuni e Bigarella (1967). Na mesma época, Marini, Trein e Fuck (1967) definiram a Formação Água Clara, composta por rochas carbonático-argilosas, sobrepostas à Formação Votuverava, da qual fora individualizada. Petri e Suguio (1969) questionaram Salamuni e Bigarella (1958) e indicaram que a Formação Itaiacoca não seria correlata à Formação Capirú, pois semelhanças nos litotipos e ambientes de sedimentação podem ocorrer em unidades de idades distintas; os fósseis *Collenia itapevensis* distribuem-se desde o Pré-Cambriano até idades recentes, não servindo como guia estratigráfico; e não se teria comprovado a continuidade entre as Formações Capirú e Itaiacoca.

Marini (1970) identifica discordância angular no topo da Formação Setuva e a posiciona como anterior ao Grupo Açungui. Por considerar a deposição das unidades do grupo como concomitante e que o posicionamento estratigráfico não estava solucionado, posicionou as Formações Capirú, Votuverava e Água Clara lado a lado. Citou, também, a ocorrência de rochas gnáissicas anteriores à Formação Setuva. Ebert (1971) denominou estas rochas, ortognaisses e paragnaisses, como Complexo Pré-Setuva, separado da Formação Setuva por um hiato. Ebert, Brochini e Marini (1971) consideram que a Formação Setuva é composta, da base para o topo, por gnaisses leucocráticos; gnaisses melanocráticos e quartzitos; e mica xistos com quartzitos. O topo indicaria diferenças no grau metamórfico em relação à Formação Capirú, sobreposta e contendo filitos. Simultaneamente Fuck *et al.* (1971) reafirmaram a Formação Setuva como sotoposta ao Grupo Açungui devido às diferenças de grau metamórfico, comportamento estrutural e datações geocronológicas. O Grupo Açungui seria subdividido, da base para o topo, em Formação Capirú, Formação Itaiacoca, Formação Votuverava e Formação Água Clara. Na época, Brasil (1975), concede à Eletro São Marco Ltda., os direitos de lavar cobre e chumbo no Município de Adrianópolis (PR), no local denominado Barra do Perau. Odan, Fleisher e Espourteille (1978), indicam que a mina da localidade de Pannels, ou Brejaúvas, situa-se na Formação Votuverava do Grupo Açungui, e que, possivelmente, houve remobilização das mineralizações e influência de corpos graníticos. Por outro lado, Barbour e Oliveira (1979) consideram as mineralizações da Barra do Perau como singenéticas, associadas a um ambiente marinho com deposição de carbonatos de plataforma.

Schöll *et al.* (1980) propôs que a estratigrafia da região fosse definida em, da base para o topo, Complexo Pré-Setuva, composto por migmatitos com ocorrências de granitos de anatexia, anfibolitos, rochas ultrabásicas e paragnaisses; Formação Setuva, com xistos, carbonato-xistos, lentes de quartzitos, filitos e mármore; e Grupo Açungui, dividido na

Fácies Capirú, composta por rochas carbonáticas, e Fácies Votuverava, com rochas clásticas de granulação fina. O autor utilizou o termo “fácies” por considerar os protólitos como contemporâneos. Pontes (1980) retoma a Formação Água Clara e a posiciona na base do Grupo Açungui. Por outro lado, Piekarz (1981) descreve a Sequência Perau e a define como base do Grupo Açungui, sobreposta à Formação Setuva e sotoposta à Formação Água Clara. Genericamente, os litotipos da sequência seriam quartzitos, rochas carbonáticas, anfíbolitos ortoderivados e xistos clásticos. Nessa sequência estaria instalada a Mina do Perau, na localidade de Barra do Perau. Concomitantemente, Silva, Felipe e Pontes (1981) subdividem a Formação Votuverava em três fácies, da base para o topo: Fácies Pelitoclástica, composta por filitos e metassiltitos, subordinadamente com quartzitos, metaconglomerados, anfíbolitos, mármore calcícticos e carbonato-xistos; Fácies Carbonática, composta por mármore calcícticos e carbonato-filitos, secundariamente com metarenitos e metassiltitos; e Fácies Clástica Superior, que inclui metaconglomerados, metarenitos grossos e imaturos, metassiltitos e metargilitos.

Ao analisar a Sequência Perau, Fritzsos-Junior, Piekarz e Falcade (1982) abandonam o termo, optam por Formação Perau e a consideram como sotoposta à Formação Água. As formações comporiam o Grupo Setuva, sotoposto ao Grupo Açungui. Citam, ainda, a existência de mineralizações de Pb, Zn, Cu e Barita em meio a rochas carbonáticas da unidade, além de ocorrências de corpos de formações ferríferas, crostas manganésíferas, corpos de hematita maciça e itabiritos. Todavia, Schöll, Silva e Monastier (1982) reafirmam a Formação Setuva, composta da base para o topo pelas sequências Clástica a Clasto-Carbonatada, com paragneisses e xistos; Química Inferior, com metacherts; Química Superior a Clasto-Química, com mármore e metamargas; e Sequência Vulcanossedimentar, constituída por metapelitos e rochas metabásicas. Pontes (1982) reafirma a Formação Água Clara como base do Grupo Açungui, constituída na base pela fácies São Silvestre de origem vulcanossedimentar e, no topo, pela fácies carbonática Serrinha. Igualmente, Piekarz (1984) após prospectar a Formação Perau, reafirma a divisão litoestratigráfica proposta por Fritzsos-Junior, Piekarz e Falcade (1982) e as condições ambientais interpretadas por Barbour e Oliveira (1979), identifica um corpo de sulfeto maciço; ocorrências de formação ferrífera da fácies óxidos, associadas a carbonatos; anomalias de Cu e Pb/Zn, semelhantes às da Mina do Perau, além de anomalias de Fe e Mn.

Figueiredo (1992) propõe, para as mineralizações da Formação Perau, um modelo de depósitos estratiforme, singenético do tipo sedimentar exalativo. Já para as mineralizações da Formação Votuverava, propõe um modelo filonar em veios e fraturas, epigenético com

remobilização dos metais. Por fim, MINEROPAR (2001, 2006) realizou compilação bibliográfica, solucionando momentaneamente os problemas de posicionamento temporal e de nomenclatura das unidades.

2.2. Formações Hospedeiras

Para MINEROPAR (2001), as Formações Perau e Votuverava são, respectivamente, base do Grupo Setuva e base do Grupo Açungui, ambos com idades proterozóicas (Quadro 01 e Anexo I – Mapa Geológico Simplificado da Região de Afloramentos das Formações Votuverava e Perau, *Datum SAD-69*).

Quadro 01: Coluna Estratigráfica simplificada do Escudo do Paraná (MINEROPAR, 2001).

Era	Período	Grupo	Formação
Paleozóico	Ordoviciano	Castro	436 M.a
			500 M.a
			500 M.a
	Cambriano	Granitóides	570 M.a
570 M.a			
Proterozóico	570 M.a.	Açungui	Sup
			Sequência Antinha
			Itaiacoca
			Capiru
	Votuverava		
	1.000 M.a.	Setuva	Turvo Cajati
			Água Clara
Perau			
2.500 M.a.	2.500 M.a.	Inf	Complexo pré-Setuva
Arqueano	> 2.500 M.a.		Complexo Serra Negra

2.2.1. Formação Perau

A Formação Perau apresenta, genericamente, quartzitos, rochas carbonáticas, xistos clásticos, metabasitos, metavulcânicas e/ou metavulcanoclásticas e formações ferríferas. Esse conjunto de rochas pode ser subdividido em Sequência Quartzítica, Sequência Carbonatada, Sequência Xistosa Clástica, Rochas Metabásicas, Rochas Metavulcânicas e Metavulcanoclásticas. A Sequência Quartzítica corresponde a quartzitos heterogêneos em granulometria e pureza. Em geral, se alternam quartzitos puros, majoritariamente compostos por quartzo e quartzitos impuros que geralmente correspondem a quartzitos micáceos.

Também podem ocorrer quartzo xistos, brechas quartzíticas/quartzitos brechados, quartzitos feldspáticos, níveis de metapelitos, níveis ferríferos e xistos clásticos com carbonatos. Um acamamento sedimentar reliquiar (S0), pode ser definido pela alternância desses litotipos, por vezes com uma foliação (S1) paralela, definida como xistosidade. Como estruturas primárias reliquias, também ocorrem estratificações cruzadas planares de médio porte, com pequeno a médio ângulo. Já a Sequência Carbonatada, normalmente sobreposta a Sequência Quartzítica, apresenta maior diversidade composicional. Os principais litotipos encontrados são carbonato xistos, mármore calcíticos e dolomíticos, biotita-carbonato xistos e rochas calcossilicáticas, as quais podem compor os níveis estratigráficos do topo da sequência. Secundariamente ocorrem níveis de metassedimentos carbonosos. Frequentemente são encontrados indícios de mineralizações de (Pb, Cu, Zn), Barita e (Cu, Pb, Zn e Barita). Considerada como sobreposta à Sequência Carbonatada, a Sequência Xistosa Clástica é predominantemente metapelítica. Os litotipos são xistos, localmente com porfiroblastos de granada e/ou biotita, segregações de quartzo e variações para xistos clásticos manganésíferos. Como estruturas primárias reliquias ocorre uma aparente ritmicidade das camadas, definidas como (S0) com uma foliação (S1) paralela. Também se observa, localmente, um acamamento gradacional. Por fim, as Rochas Metabásicas tratam-se, provavelmente, de um conjunto de corpos intrusivos restritos que podem apresentar textura ígnea reliquiar e foliação. Já as Rochas Metavulcânicas e Metavulcanoclásticas, igualmente restritas, podem estar associadas a formações ferríferas (FRITZSONS-JUNIOR; PIEKARZ; FALCADE, 1982 e PIEKARZ, 1984).

Quanto ao ambiente de deposição, é possível que a unidade seja transgressiva. Os protólitos dos metassedimentos teriam se depositado entre o Paleoproterozóico e o Mesoproterozóico em plataforma continental, inicialmente rasa. A Sequência Quartzítica comporia a primeira unidade, sedimentada em ambiente clástico possivelmente litorâneo. Posteriormente devem ter ocorrido subsidência e transgressão, ocasionando o início de sedimentação de rochas clastoquímicas e clásticas, correspondentes a Sequência Carbonatada, com o desenvolvimento de uma plataforma carbonática. Concomitantemente houve manifestações vulcânicas félsicas e, possivelmente, máficas, propiciando a precipitação de níveis de Cu, Pb, Zn, Ba e Fe. Por fim, com o aprofundamento da bacia, iniciou-se deposição exclusiva de material clástico, correspondente à Sequência Xistosa Clástica. Posteriormente, duas fases de deformação geraram dobramentos. A primeira fase (D1) correspondeu a dobramentos isoclinais que geraram uma xistosidade (S1), paralela a subparalela ao acamamento (S0). Comumente houve a transposição do S0 e a inversão de camadas. A segunda fase (D2) corresponde a dobras assimétricas a recumbentes. Os eixos são

subparalelos às direções gerais do S0 e S1, com eixos mergulhando ora para NE, ora para SW. Considera-se que os esforços tiveram direção NW-SE. Essa fase de deformação gerou, ainda, uma clivagem de crenulação que, por vezes, transpõe o S0 e S1 com transposição. Suspeita-se, ainda, da ocorrência de outras duas fases de deformação, caracterizadas por dobras suaves e arqueamentos regionais. Considera-se que a formação foi metamorvisada no grau fraco, Fácies Xisto Verde - Zona da Biotita a Zona da Granada. Contudo, em alguns locais foram constatadas evidências de metamorfismo no grau médio, Fácies Anfibolito e, em outros locais, de retrometamorfismo para a Fácies Xisto Verde – Zona da Clorita (FRITZSONS-JUNIOR; PIEKARZ; FALCADE, 1982 e PIEKARZ, 1984).

2.2.2. Formação Votuverava

A Formação Votuverava pode ser subdividida em três conjuntos de litotipos, denominados Bromado, Coloninha e Saivá. O Conjunto Bromado contém filitos maciços; quartzitos lenticulares com baixo grau de seleção; metaconglomerados polimíticos de matriz pelítica a arenosa, por vezes com ausência de matriz, compostos majoritariamente por seixos. Subordinadamente podem ocorrer filitos de aspecto rítmico, com alternância de níveis milimétricos de silte e argila, além de filonitos. No caso dos quartzitos e filitos, as estruturas primárias (S0) abrangem microestratificações cruzadas associadas a marcas onduladas e estratificações cruzadas, em geral de pequeno porte. Os quartzitos podem apresentar, também, estratificação gradacional. Já os metaconglomerados apresentam características que remetem a origem glacial, como variedade composicional (polimíticos), imaturidade, pouco retrabalhamento e clastos facetados. Já o Conjunto Coloninha compreende metarenitos, metassiltitos, metarritmitos e metaconglomerados de baixa variação composicional (monomíticos). Como estruturas sedimentares reliquiares (S0), os litotipos frequentemente apresentam gradação entre si. As sucessões stratigráficas geradas são compatíveis com as definidas por Bouma (1962 apud FIORI, 1992) para os turbiditos, inclusive com estratificações cruzadas, microestratificações cruzadas associadas a marcas onduladas, linsen e laminações convolutas. Por fim, o Conjunto Saivá é composto por filitos com elevado teor de matéria carbonosa, sucedido por mármore que gradam lateralmente para metamargas. A seguir, ocorrem filitos homogêneos que gradam para metarritmitos. Localmente, entre as camadas de mármore e filitos ocorrem metabasitos. Igualmente, ocorre uma brecha de matriz calcária de origem sedimentar, composta por clastos angulosos esparsos na matriz, oriundos de filitos e quartzitos. As estruturas primárias (S0) são reconhecidas, principalmente, no mármore e abrangem bandamento sedimentar, estratificações e microestratificações cruzadas,

estratificação gradacional, estratificações plano-paralelas, níveis oolíticos e brechas sinsedimentares. Em adição, ocorre bandamento rítmico nos metarritmitos (FIORI, 1992 e FIORI; GASPAR, 1993).

Quanto ao ambiente deposicional, o Conjunto Bromado indica diamictitos como os principais protólitos, depositados em corpo aquoso próximo a geleiras, sendo possível a relação com uma das glaciações do Proterozóico Superior. Já o Conjunto Coloninha indica como protólitos os turbiditos, com feições de turbiditos proximais e com a existência de feições de canais submarinos na base, migrando para turbiditos distais rumo ao topo do pacote. O conjunto indica deposição em águas profundas, com estruturas de movimentação de massa sinsedimentar. No topo, o Conjunto Saivá indica deposição em águas calmas e restritas, passando a euxínico. Supõe-se que a deposição ocorreu abaixo do nível das ondas, porém a profundidade não deve ter excedido 800m, e que os sedimentos eram ocasionalmente afetados por tempestades. Posteriormente ocorreram deformações, provavelmente contemporâneas. Citam-se três sistemas deformacionais relacionados. O primeiro, o Sistema de Cavalgamento Açungui, teria gerado uma foliação (S1), em geral paralela ao antigo acamamento sedimentar (S0). Essa foliação é classificada como clivagem ardosiana e é penetrativa em praticamente toda a Formação Votuverava. Uma característica marcante é o anastomosamento dos planos da clivagem, ocorrendo o desenvolvimento de micrólitos. Em alguns locais essa foliação pode apresentar aspecto de xistosidade e estiramento mineral, conferindo às rochas características miloníticas ou filoníticas. O segundo, o Sistema de Dobramento Apiaí teria originado em posição transversal a perpendicular à S1 e ao S0, uma clivagem ardosiana S2, relativamente menos penetrativa do que S1. Nos micrólitos dessa foliação se observa remanescentes de S1 formando estruturas sigmoidais, Em casos de deformação extrema, a S2 se paraleliza com S1, tornando difícil a distinção entre ambas. O sistema ainda gerou uma foliação S3 de ocorrência restrita, definida como plano axial de dobras cerradas, ou isoclinais. Por fim, o Sistema de Transcorrência Lancinha, o qual engloba genericamente falhas transcorrentes, falhas de empurrão e dobras escalonadas, gerou clivagem de fratura associada a falhas antitéticas em faixas de deformação cataclástica. Essa clivagem é restrita (FIORI, 1992 e FIORI; GASPAR, 1993). O metamorfismo da unidade é de grau fraco, Fácies Xisto Verde - Zona da Clorita, podendo atingir a Zona da Biotita (MANIESI, 1997).

2.3. Características dos Depósitos Minerais

São conhecidos cerca de dezesseis depósitos minerais na região de ocorrência das Formações Perau e Votuverava, alguns são citados no Anexo I. Esses depósitos podem ser

separados em dois grupos: depósitos complexos de modelo não definido, denominados como do tipo “Painéis” e depósitos vulcanogênicos distais, estratiformes, conhecidos como do tipo “Perau” (BIONDI, 2003).

2.3.1. Depósitos do Tipo Perau

Os depósitos do tipo Perau apresentam origem sedimentar-exalativa em ambiente vulcanogênico distal, possuindo modelo genético compatível com os depósitos estratiformes distantes da estrutura vulcânica SEDEX, ou Rosebery, conforme o Quadro 02 (BIONDI, 2003). No âmbito mundial, os depósitos pertencentes a esses modelos são dominados por mineralizações compostas por sulfetos de Zn-Pb, sendo que representam mais da metade dos recursos conhecidos dessas substâncias. Secundariamente ocorre Cu e, frequentemente, Ba e Ag (ROBB, 2005). Alguns elementos, como Hg, As, Sb, Sn, Au, Fe, Mn, P, Ca, Mg, Cd, Se, In, Ga, Bi, Co, Ni e Tl podem estar associados ao minério, porém não necessariamente em tonelagens econômicas (GOODFELLOW; LYDON, 2007). Entretanto, a mineralogia do minério é relativamente simples, em geral com pirita e/ou pirrotita, esfalerita e galena como sulfetos predominantes. A barita pode ser componente maior dos depósitos. Secundariamente, pode haver significativa abundância de calcopirita (MACINTYRE, 1991). As encaixantes abrangem protólitos, ou rochas sedimentares propriamente ditas, depositados em ambiente bacinal marinho. São, principalmente, rochas carbonáticas, cherts e folhelhos, por vezes com alternância com turbiditos silteicos e/ou arenosos (GOODFELLOW; LYDON, 2007).

A descrição da seção tipo e adoção do modelo SEDEX para os depósitos do tipo Perau, ocorreu na mina homônima, a qual apresenta mineralizações de sulfetos de Pb, Ag (Zn, Cu). Posteriormente, o modelo foi generalizado para mineralizações semelhantes. Assim, além da Mina do Perau, existem pelo menos sete áreas mineralizadas semelhantes, dentre as quais os depósitos de sulfetos de Pb, Ag (Zn) da Mina de Canoas e do Araçazeiro; de Pb, Ag (Zn, Cu) de João Neri; de Barita de Pretinhos, Água Clara e do Tigre; e o depósito de Pb do Betara (BIONDI, 2003). Além das associações de substâncias citadas, há a possibilidade de existência de mineralizações de Cu (Au) (PIEKARZ, 1984).

Quadro 02: Modelos Genéticos Associados aos Depósitos do Tipo Perau (BIONDI, 2003).

Sistema	Subsistema	Ambiente		Variantes	
				Modelos Genéticos	Principais Depósitos Brasileiros
Hidrotermal Magmático	Hidrotermal Vulcânico	Vulcanogênico Subaquático (superficial)	Distantes da Estrutura, sobre locais de exalação (SEDEX e VCO)	Rosebery (Pb, Zn, Cu, Ba, Au)	Perau, Canoas, Araçazeiro, Pretinhos, Água Clara, Tigre e Betara (PR), João Neri (SP), Zacarias? (TO)

Na seção tipo do Modelo Perau, os corpos mineralizados estão encaixados em um pacote de rochas carbonáticas e pelito-carbonáticas, correspondentes à Sequência Carbonatada da Formação Perau (FRITZSONS-JUNIOR; PIEKARZ; FALCADE, 1982 e BIONDI, 2003). Esses corpos podem ser divididos, da base para o topo, em quatro subunidades. A primeira é composta por veios de quartzo com, principalmente, óxidos de cobre e calcopirita, encaixados em flogopita-tremolita-carbonato xistos tufáceos. A segunda subunidade apresenta dois níveis de lentes de sulfetos maciços com, principalmente, > 50% de galena > esfalerita > pirita > pirrotita > calcopirita > sulfossais (fases portadoras de Ag: tetradrita, freibergita, pirargita, stephanita e polibasita), os quais gradam lateralmente para minério disseminado e venular (BIONDI, 2003; DAITX, 1996). As lentes de sulfetos maciços apresentam comprimento de 850m na direção NS, largura de 200m na direção EW e espessura máxima de 8m. Predominantemente, o minério é brechóide e, no interior das lentes, compõe leitões centimétricos a decimétricos. Como encaixantes, ocorrem comumente rochas calciossilicáticas, mica-carbonato xistos e quartzo-sericita-biotita xistos. O nível de lentes basal é zonado, com Zn > Pb ao norte e Pb > Zn ao sul. Já as lentes do nível superior são compostos quase exclusivamente por Pb.

A terceira subunidade apresenta lente composta por minério à barita e sulfeto, dimensões de 900m de comprimento, 500m de largura e 8,5m de espessura. Secundariamente galena, pirita e calcopirita estão distribuídos em meio à barita e aos carbonatos, aparentemente sem condicionamento estrutural. A encaixante é um anfibólio-mica-carbonato xisto. Por fim, a quarta subunidade apresenta formação ferrífera bandada na fácies óxido, essencialmente composta por magnetita. Em outras mineralizações, como na Mina de Canoas, pode ocorrer minério associado a horizontes de magnetita (BIONDI, 2003).

2.3.2. Depósitos do Tipo Panelas

No Vale do Ribeira são conhecidos diversos depósitos filoneanos e lenticulares, concordantes e discordantes com encaixantes carbonáticas, frequentemente stratabound, ou estratiformes de Pb e Ag (BARBOUR; NEVES; MEDEIROS, 1990). Esses depósitos não apresentam gênese, ambientes de formação e modelos completamente definidos. Usualmente são denominados como Depósitos do Tipo Panelas, em correspondência à mina homônima, esgotada e situada na Formação Votuverava, com mineralizações de Pb (Ag) e Cu (Au). Outra mina com mineralizações semelhantes, no Estado do Paraná, é a do Rocha, atualmente fechada, igualmente com mineralizações de Pb (Ag) e Cu (Au). Possivelmente, a gênese das mineralizações está associada à zona de cisalhamento Ribeira, integrante do sistema Lancinha-Cubatão. Deste modo, podem representar exemplos de depósitos polimetálicos em falhas extensionais, conforme o Quadro 03. Aventa-se, ainda, que as mineralizações são epigenéticas do tipo Mississippi Valley (MVT) (BIONDI, 2003).

Quadro 03: Modelos Genéticos Associados aos Depósitos do Tipo Panelas (BIONDI, 2003).

Sistema	Subsistema	Ambiente		Variantes	
Mineralizador Metamórfico	Metamórfico Dinamotermal e Dinâmico	Formados durante transição do grau incipiente / fraco ("sub to mid greenschist transition") - 225°. 400 °C, <1 a 3kb, <5 a 10km de profundidade	Zonas de cisalhamento extensional, ou "detachment fault related polymetallic deposits"	<i>Modelos Genéticos</i>	<i>Principais Depósitos Brasileiros</i>
				Depósitos Polimetálicos	Rocha e Panelas (PR), Furnas (SP), Ribeirão da Prata (SC)

Os depósitos MVT de classe mundial apresentam mineralizações compostas, essencialmente, por sulfetos de Pb, Zn e Cu, as quais correspondem a cerca de ¼ do recurso mundial, mas correspondem aos maiores depósitos de Pb-Zn conhecidos (ROBB, 2005). Secundariamente, podem ocorrer concentrações de Ag, Cd, Ba, Ge, As, Ni, In, Ga, Bi, Mo, Sn, Au, Co, Ni, Sb, Fe, Tl, Mn e F, porém não necessariamente econômicas. Normalmente, a mineralogia do minério abrange sulfetos, como esfarelita, galena, pirita e marcassita. O minério pode conter ainda minerais de cobre, como a calcopirita e a bornita. Em alguns casos ocorrem mineralizações com alta complexidade, abrangendo arsenopirita, bravoita, carrolita, celestita, chalcocita, covelita, digenita, djurleíta, enargita, galita, germanita, greenockita, lineíta, mileríta, molibdenita, pirrotita, renierita, siegenita, tennantita, tungstenita e vaesita. Através da alteração intempélica dos sulfetos, podem ser formados limonita, cerusita,

anglesita, smithsonita, hemimorfita e piromorfita. A ganga apresenta, usualmente, dolomita, calcita, quartzo, barita e fluorita. Como protólitos, ou encaixantes propriamente ditas, ocorrem rochas carbonáticas de plataforma e, por vezes, rochas sedimentares detríticas (PARADIS; HANNIGAN; DEWING, 2007).

Na seção tipo dos depósitos Panelas, ocorriam mineralizações de Pb (Ag) e Cu (Au) em corpos filoneanos, ou em corpos concordantes com as encaixantes (BIONDI, 2003). À época da operação da mina, foram identificados cerca de 90 corpos de minério (ODAN; FLEISCHER; ESPOURTEILLE, 1978). Os minerais de minério eram principalmente galena, esfalerita e pirrotita. Como acessórios em geral ocorriam a bourmonita, tennantita-tetraedrita, electrum e arsenopirita (BIONDI, 2003). A ganga era composta normalmente por calcita, dolomita, ankerita, quartzo, sericita e fluorita (DARDENNE; SHOBENHAUS, 2001). Na Mina do Rocha, o minério poderia apresentar galena argentífera, bornita, tetraedrita, argentita, neodigenita, calcocita, anglesita, cerusita e piromorfita (BIONDI, 2003).

Na seção tipo, na Mina de Panelas, as encaixantes eram rochas calcárias, as quais compunham dois horizontes separados por sericita xistos. O horizonte inferior apresentava as principais mineralizações e podia ser separado em duas fácies, denominadas “Calcário Negro e Calcário Cinza Claro”. Esses metassedimentos são atravessados por rochas graníticas que geraram auréola de metamorfismo de contato o que transformou os metassedimentos, em alguns locais, em hornfels (ODAN; FLEISCHER; ESPOURTEILLE, 1978). A zona de contato entre as rochas calcárias e as intrusivas apresenta mineralizações. Essa zona de contato, normalmente, está silicificada e dolomitizada. As mineralizações desse tipo são consideradas filoneanas. Contudo, há a possibilidade de que tenham ocorrido remobilização e concentração/reconcentração dos metais presentes nos protólitos sedimentares. Esse processo teria ocorrido durante deformação e metamorfismo, associados à orogênese e intrusões ácidas (SILVA et al., 1982). Posteriormente, podem ter ocorridos novas remobilizações e recristalizações do minério nos filões (BIONDI, 2003).

3.0. IMPACTOS E PASSIVOS AMBIENTAIS DAS MINAS DESATIVADAS

A exploração dos depósitos Perau e Panelas objetivou, principalmente, a recuperação de Pb contido no minério. Como subprodutos, frequentemente houve a recuperação de Ag, Zn e Cu. Secundariamente, houve a mineração de Ba em certas minas. Contudo, como principal *commodity* alvo de lavra e beneficiamento, o chumbo é considerado o maior responsável pelos impactos e passivos ambientais associados aos depósitos citados, sendo assim o

principal alvo de estudos ambientais na região. Assim, a seguir discute-se brevemente o perfil do chumbo, como contaminante oriundo da mineração, na região do Vale do Ribeira.

Estima-se que a mineração de chumbo nesses depósitos, dentre outros existentes no Vale do Ribeira, tenha iniciado de forma sistemática ao final do Século XIX, sendo que a abertura da Mina de Panelas ocorreu em 1939 (ODAN; FLEISCHER; ESPOURTEILLE, 1978). Por outro lado, na Mina do Perau as primeiras aberturas de frente de lavra ocorreram em 1920 (BARBOUR; OLIVEIRA, 1979), com lavra sistemática ocorrendo a partir de 1975. Progressivamente, as minas em operação passaram por fechamento a partir da segunda metade da década de 1980, culminando na paralização das unidades de beneficiamento e fechamento das últimas frentes de lavra ao final da primeira metade da década de 1990. Cunha (2003) cita que o declínio da mineração ocorreu por fatores como a queda nos preços de metais básicos no mercado internacional; queda dos teores de Pb contido no minério; e reservas de pequeno porte, mas alto custo operacional. Esses fatores foram agravados pela falta de investimentos em pesquisa mineral, modernização das unidades de beneficiamento e inovações tecnológicas. Essa situação é corroborada por MME (1980), que cita que no início dos anos de 1980 os detentores minerários do Vale do Ribeira já não apresentavam interesse na própria atividade mineira, preferindo importar concentrado de chumbo para beneficiamento nas suas usinas. À época citava-se a importância de convencer as empresas da necessidade de investimentos para manter a mineração atrativa economicamente, prevenindo possíveis paralizações futuras.

No âmbito ambiental, pelo menos durante parte do período de operação das minas, abrangido entre o final do Século XIX e o fim do Século XX, houve intenso impacto, devido à contaminação ambiental por escórias e rejeitos de beneficiamento, provenientes dos processos de concentração de chumbo e processos metalúrgicos de refinamento do concentrado (Figuras 04 a 10). Segundo Cunha (2003), em 1945 começou a operar no Município de Adrianópolis, no Paraná, adjacente à Mina de Panelas, uma usina de beneficiamento que até 1990 lançou diretamente no Rio Ribeira, ou empilhou junto às margens, a escoria de forno (2,5% de Pb) e o rejeito (lodo de flotação com 0,7% de Pb), produzidos durante o beneficiamento do minério. Guimarães (2007), através de campanha realizada nos anos de 2002 e 2003, amostrou pilhas de rejeitos de concentrado nas minas do Rocha e de Panelas, bem como pilhas de escória de metalurgia na Mina de Panelas. Desse modo, concluiu que o Pb concentra-se, majoritariamente, na superfície das pilhas de rejeito. No caso a Mina de Panelas, até uma profundidade 20cm, foi encontrado um máximo de 12.034ppm de Pb (1,25% de PbO). Na Mina do Rocha, até a profundidade de 1,5m, a concentração máxima foi de 18.135ppm de Pb

(1,95% de PbO). Os teores das pilhas de escória não foram analisados em relação à profundidade, contudo o autor indicou concentração máxima de 35.540ppm de Pb (3,63% de PbO) (Quadro 05).

Como consequência, Tessler, Suguio e Rabiolotta (1987) indicaram que a presença de sedimentos pelíticos, no sistema estuarino lagunar Iguape-Cananéia, com concentrações de Zn de 1,4 a 105ppm, Pb de 0,3 a 246,8ppm e de Cu entre 0,05 a 292,4ppm, poderia ser explicada pela descarga dos contaminantes no Rio Ribeira (Quadro 06). Posteriormente, em 1990, houve a construção da bacia de rejeito a céu aberto, às margens do rio. Segundo Cassiano (2001), a bacia apresentava dois tanques de decantação com capacidade para 80.000m³, destinados aos rejeitos do concentrado. Porém, não houve destinação final e, à época do estudo da autora, os rejeitos remanescentes da bacia estavam depositados diretamente sobre o solo nas proximidades do rio, perfazendo um volume de cerca de 300.000 toneladas.

Após a desativação das minas, Moraes (1997) identificou teores máximos de chumbo nos sedimentos de corrente de 619µg/g (619ppm). Já Cunha (2003), cita teores máximos de 527,2µg/g (527,2ppm), sendo que o background, considerado pelo autor como natural para a região, é de 40µg/g (40ppm). Por outro lado, Lopes-Junior *et al.* (2006), elabora mapas de paisagens geoquímicas para o Pb na Bacia do Rio Ribeira e estabelece valores de background natural, variando de 14 a 49,9ppm de acordo com a fração de sedimento, em micras, analisada (Quadro 06, Figuras 12 e 13). Em adição, Cunha (2003) cita que houve o lançamento para a atmosfera de particulado rico em Pb que se depositou sobre os solos adjacentes à área de beneficiamento (Quadro 04 e Figura 11). Esse particulado poderia apresentar, também, Si₂O, Cu, Sn, Bi, As e Cd, dentre outros elementos. Segundo o autor, o acúmulo de chumbo nos solos depende do pH, quanto mais ácido, maior a lixiviação do metal e, desde modo, menor é a concentração de chumbo. Assim, para um solo com pH 6,3, situado a 900m da mina e unidade de beneficiamento de Panelas, o teor de chumbo foi de 916µg/g (916ppm), o máximo encontrado pelo autor.

O material contaminado também atingiu ruas e residências das vilas operárias Vila Mota e Capelinha, adjacentes à mina, e tem causado danos à saúde humana (Quadros 07 e 08). Estudos com crianças de 7 a 14 anos, moradoras das vilas, mostram concentrações médias de 11,89µg/dL (0,1189ppm) de Pb no sangue, com um máximo de 37,8µg/dL (0,378ppm) (Cunha, 2003). Valores iguais, ou acima de 10 µg/dL (0,1ppm) são considerados prejudiciais à saúde (LOPES-JUNIOR *et al.*, 2006). Para Guimarães (2007), os metais pesados também tem afetado a biota do Rio Ribeira, pois houve acumulação nos tecidos e carapaças do bivalve *Corbicula fluminea* (Quadro 09). Segundo o autor, as concentrações de

Pb nos tecidos de bivalves do município de Iporanga/SP atingiu 4,53 μ g/g (4,53ppm), enquanto aqueles de Sete Barras/SP apresentaram 3,77 μ g/g (3,77ppm). Essas concentrações ultrapassam o limite máximo tolerável de Pb nos tecidos, estipulado em 2 μ g/g (2ppm) para peixes e produtos da pesca. Contudo, para o caso das carapaças não existe um limite máximo tolerável. Ademais, o autor informa que encontrou grãos de escória e a presença de metais pesados no sedimento de corrente, confirmando a permanência do transporte dos contaminantes, mesmo após o encerramento das atividades mineiras (Quadro 06). Moraes (1997) considera a mina e a unidade de beneficiamento de Pannels, como as principais responsáveis pela contaminação com metais pesados no Rio Ribeira, pois as assinaturas isotópicas de chumbo dos sedimentos de corrente revelam que, apesar de contribuições dos diferentes litotipos e solos da bacia, a principal correspondência é com as galenas das jazidas do tipo Pannels, cujo minério foi alvo de lavra e beneficiamento. Segundo o autor, o principal meio de contaminação ambiental e de transporte dos metais, ocorreu através dos sólidos em suspensão na água. Em 1995, estimou-se que a massa de chumbo, transportada anualmente pelo Rio Ribeira, era de 151t adsorvidas em uma massa total de 840.000 t de sólidos em suspensão, o que equivaleria a 6% da produção anual de chumbo metálico do Vale do Ribeira, em meados da década de 80. Contudo, segundo Franchi (2004), também existem importantes contaminações associadas, por exemplo, à Mina do Rocha devido à disposição de rejeitos de beneficiamento às margens do Ribeirão do Rocha, e à Mina do Perau, devido à lixiviação em galerias abandonadas e da drenagem ácida originária de pilhas de estéreis da lavra. CETESB (1986), detectou teores de 2560mg/kg de Pb (2560ppm) nos sedimentos de corrente do Ribeirão do Rocha, que drena a mina homônima.

Macedo (1993), em estudo geoquímico em sedimentos de corrente na bacia do Ribeirão Grande e Perau, os quais drenam águas da Mina do Perau, encontrou teores de Pb superiores a 20.000mg/kg (20.000ppm) a até 1,5km a jusante da mina. Esses teores decrescem até 100mg/kg (100ppm) a 17km a jusante da mina, contudo quando a bacia recebe a contribuição do Ribeirão Canoas, que drena a mina homônima, os teores crescem até 292mg/kg (292ppm) e, após, tornam a decrescer.

Tendo em vista o exposto, além das contaminações geradas pelos rejeitos e escórias, é provável que existam contaminações em curso, associadas ao minério remanescente; aos estéreis de lavra dispostos a céu aberto, ou utilizados no preenchimento de galerias; aos vapores e vazamentos de tanques e/ou barragens de rejeitos; e às frentes de lavra a céu aberto, expostas às intempéries, às águas superficiais e subterrâneas. Essas contaminações podem alcançar expressividade regional, atingindo municípios não associados às atividades de lavra e

beneficiamento. Contudo, a mensuração da interferência e gravidade desses impactos prováveis é complexa, já que demandam estudos específicos de abrangência desde local à regional, especialmente estudos geoquímicos, biogeoquímicos, além de estudos de saúde humana de antigos trabalhadores, moradores do entorno das minas e população possivelmente afetada, residente nas cidades próximas. A própria mensuração dos impactos ambientais comprovados e dos passivos remanescentes é complexa, já que se desconhecem os volumes reais de estéreis, escórias, rejeitos, particulados, etc., lançados no meio ambiente, bem como se desconhece o background natural, anterior ao início do decurso das contaminações, para os elementos químicos potencialmente poluidores. Salienta-se que, apesar do foco no chumbo, outros elementos agem, ou podem agir como contaminantes, tais como Zn, Cu, Cr, As, etc.

Quadro 04: Teores de Pb nos solos superficiais de acordo com a distância da Mina de Panelas. As linhas sombreadas indicam solos utilizados para horticultura. Dados obtidos por Cunha (2003).

Amostra	Pb (µg/g) ou (ppm)	pH	Distância (km)	Amostra	Pb (µg/g) ou (ppm)	pH	Distância (km)
1	175	6,6	5	13	217	7,2	1,7
2	432	6,6	2,5	14	293	6,3	1,8
3	343	7,9	1,2	15	37	5,9	2
4	63	6,2	1	16	52	5,6	3,5
5	672	6,7	1	17	76	5,9	3,6
6	904	6,5	0,3	18	58	5,8	4,5
7	397	6,5	0,5	19	21	5,6	6,5
8	916	6,3	0,9	20	37	5,8	6
9	802	5,5	0,9	21	26	5,5	9,5
10	76	5,0	1				
11	117	6,7	1,4				
12	245	5,9	1,5				

Quadro 05: Concentrações de Pb nos rejeitos e escórias das minas de Pannels e do Rocha. Segundo Guimarães (2007), os teores classificam os rejeitos e escórias como Resíduos Classe I – Perigosos.

Autor	Mina	Amostra	Profundidade (m)	Pb (mg/kg) ou (ppm)	(%)
Cunha (2003)	Pannels	Escória	-	25.000	2,5 (Pb)
		Rejeito	-	7.000	0,7 (Pb)
Guimarães (2007)	Rocha	MR01	0,0-0,6	11.076	1,19 (PbO)
		MR02	0,6-0,9	16.461	1,77 (PbO)
		MR03	0,9 a 1,2	14.508	1,56 (PbO)
		MR04	1,2-1,5	18.135	1,95 (PbO)
		MR05	1,5-1,8	5.673	0,61 (PbO)
		MR06	1,8-2,1	4.929	0,53 (PbO)
		MR07	2,1-2,4	9.951	1,07 (PbO)
		MR08	2,4-2,6	9.207	0,99 (PbO)
		MR09	2,6-2,9	6.882	0,74 (PbO)
		MR10	2,9 a 3,1	3.813	0,41 (PbO)
		MR11	3,1 a 3,4	3.162	0,34 (PbO)
	Pannels	MP01	0,0-0,2	12.034	1,25 (PbO)
		MP02	0,2-0,4	8.159	0,85 (PbO)
		MP03	0,4-0,6	5.946	0,62 (PbO)
		MP04	0,6-0,8	4.607	0,48 (PbO)
		MP05	0,8-1,0	6.400	0,66 (PbO)
		MP06	1,0-1,2	5.404	0,56 (PbO)
		MP07	1,2-1,4	6.337	0,66 (PbO)
		MP08	1,4-1,6	5.021	0,52 (PbO)
		MP09	1,6-1,8	4.790	0,5 (PbO)
		MP10	1,8-2,0	4.969	0,52 (PbO)
		Escória 1	-	33.716	3,63 (PbO)
		Escória 2	-	35.540	3,83 (PbO)
		Escória 3	-	34.024	3,67 (PbO)
		Escória 4	-	34.672	3,73 (PbO)
		Escória 5	-	33.272	3,58 (PbO)
Escória 6	-	32.884	3,54 (PbO)		

Quadro 06: Teores de Pb nos sedimentos de corrente do Rio Ribeira, Ribeirão do Rocha e Ribeirão Grande.

Autor	Amostra	Pb (µg/g) ou (ppm)
CETESB (1986)	Ribeirão do Rocha (Cerro Azul/PR) Mina do Rocha	2560
Tessler, Suguio e Rabiolotta (1987) Fração <64µ	Sistema Estuarino Lagunar Iguape-Cananéia	0,3 a 246,8
Macedo (1993) <105µ	Ribeirão Grande (Cerro Azul/PR) 1,5km a jusante da Mina do Perau	20.000
	Ribeirão Grande (Cerro Azul/PR) ~17km a jusante da Mina do Perau	100
	Ribeirão Grande (Cerro Azul/PR) ~17km da Mina do Perau, influência da Mina de Canoas	292
	Ribeirão Grande (Cerro Azul/PR) ~20km da Mina do Perau, influência da Mina de Barrinha	36.000
Moraes (1997) Fração <63µ	Rio Betari (Iporanga/SP)	619
	Rio Ribeira (Itapeúna/SP)	347
	Rio Ribeira (Canal Valo Grande - Iguape/SP)	90
Cunha (2003) Fração <177µ	Rio Ribeira (Ribeira/SP)	30,8
	Rio Ribeira (Itaoca/SP)	34,7
	Rio Ribeira (Iporanga/SP)	175,5
	Rio Betari (Iporanga/SP)	527,2
	Background considerado	40
Guimarães (2007) <2000µ	Rio Ribeira (Iporanga/SC)	86,9 a 87,9
	Rio Ribeira (Eldorado/SP)	49,74 a 54,7
	Rio Ribeira (Sete Barras/SP)	36,11 a 38,72

Quadro 07: Média aritmética dos teores de PbS no sangue das crianças, segundo Cunha (2003). Os maiores teores encontrados localizam-se em um raio de 2km da Mina de Panelas, nas vilas Mota e Capelinha. Teores iguais, ou maiores do que 10µg/dL de sangue, ou 0,1ppm são prejudiciais à saúde.

Estado	São Paulo		Paraná			
	Ribeira	Iporanga	Adrianópolis			Cerro Azul
Localidade	Área Urbana	Área Rural (Serra)	Área Rural (Vila Mota e Capelinha)	Área Rural (Porto Novo)	Área Urbana	Área Urbana
Teor de PbS (µg/dL)	5,4	5,36	11,89	4,17	6,06	2,37
Teor de PbS (ppm)	0,054	0,0536	0,1189	0,0417	0,0606	0,0237

Quadro 08: Teores mínimo, máximo e médio geral de PbS encontrado no sangue das crianças, segundo Cunha (2003).

Teores	Teor Mínimo Encontrado (Cerro Azul)	Teor Máximo Encontrado (Vila Mota e Capelinha)	Média Geral da População de Crianças
PbS (µg/dL)	1,8	37,8	7,4
PbS (ppm)	0,018	0,378	0,074

Quadro 09: Teores de Pb detectados nos tecidos secos e carapaças do bivalve *Corbicula fluminea*.

Amostra	Teores	<i>Corbicula fluminea</i> (Iporanga/SP)	<i>Corbicula fluminea</i> (Eldorado/SP)	<i>Corbicula fluminea</i> (Sete Barras/SP)	<i>Corbicula fluminea</i> (Registro/SP)
Tecido	Pb (µg/g) ou (ppm)	4,53±0,006	0,82±0,03	3,77±0,07	0,51±0,08
Carapaça	Pb (µg/g) ou (ppm)	3,81±0,12	1,95±0,06	1,01±0,02	0,75±0,13

Figura 04: Processo de metalurgia do concentrado de chumbo, com deposição da escória diretamente sobre o pátio. Mina de Panelas. Detalhe para a seta, indicando pessoal exposto aos vapores e fumos emanados pela escória a alta temperatura, provavelmente, prejudiciais à saúde humana. A fotografia demonstra a falta de controles ambientais na disposição das escórias e os perigos ocupacionais ocasionados aos trabalhadores (Fonte: LICCARDO, 2007).



Figura 05: Pilha de rejeito de beneficiamento da Mina do Rocha, Depósito do Tipo Panelas (Fonte: FRANCHI, 2004).



Figura 06: Pilha de rejeito de beneficiamento da Mina do Rocha, situada às margens do ribeirão homônimo. A seta indica a pilha. Depósito do Tipo Panelas (Fonte: GUIMARÃES, 2007).



Figura 07: Depósito de rejeito de beneficiamento da Mina de Panoelas, Depósito do Tipo Panoelas (Fonte: GUIMARÃES, 2007).



Figura 08: Pilha de escória de metalurgia da Mina de Panoelas, Depósito do Tipo Panoelas (Fonte: FRANCHI, 2004).

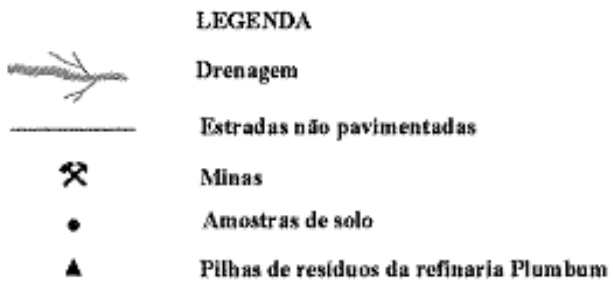
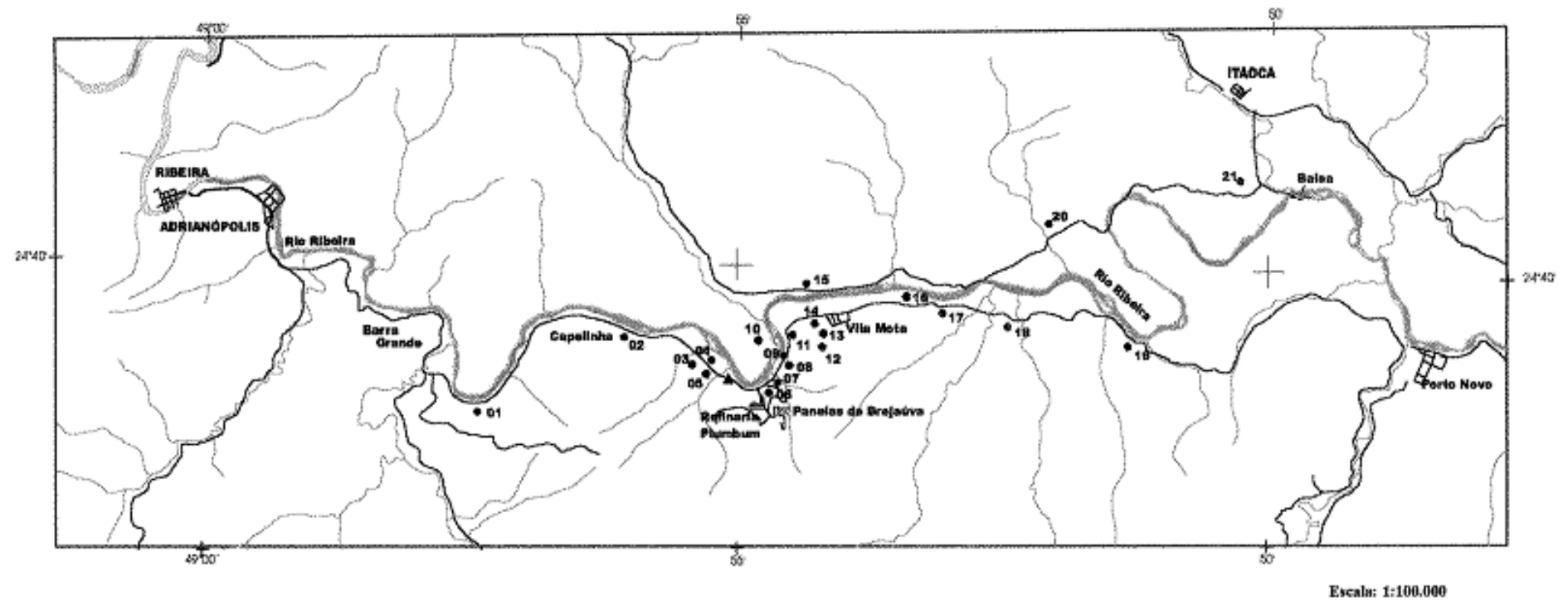


Figura 09: Pilha de estéreis de lavra da Mina do Perau, Depósito do Tipo Perau (FRANCHI, 2004).

Figura 10: Planta de beneficiamento e galeria de lavra, abandonadas, da Mina de Panelas. A e B – Restos de escórias, C – Entrada da galeria, D – Restos de rejeitos (SLOMPO, 2012).



Figura 11: Localização dos pontos de amostragem de solo e de pilhas de resíduos (rejeito e escória) de Cunha (2003).



3.1. O Caso de La Oroya

Esse subcapítulo visa apresentar dados resumidos sobre uma das principais regiões impactadas pela liberação antropogênica de chumbo no meio ambiente.

A cidade de La Oroya, situada no Peru, tem sido afetada pela contaminação por metais pesados desde 1922, quando entrou em operação um complexo metalúrgico, no qual acontecia a recuperação de Cu, Au, Ag, As, Sb, Cd, Bi, Pb, etc. O complexo, desativado desde 2009 devido a dívidas não honradas do seu controlador, situa-se a menos de 1km da cidade e criou uma crise de saúde pública para os cerca 33 mil habitantes de La Oroya. Notadamente, os principais afetados são as crianças, devido aos problemas neurológicos e deficiências causadas pelo envenenamento por metais pesados. Igualmente, a contaminação afeta o solo, biota, atmosfera, águas, etc (REUER *et al.*, 2012).

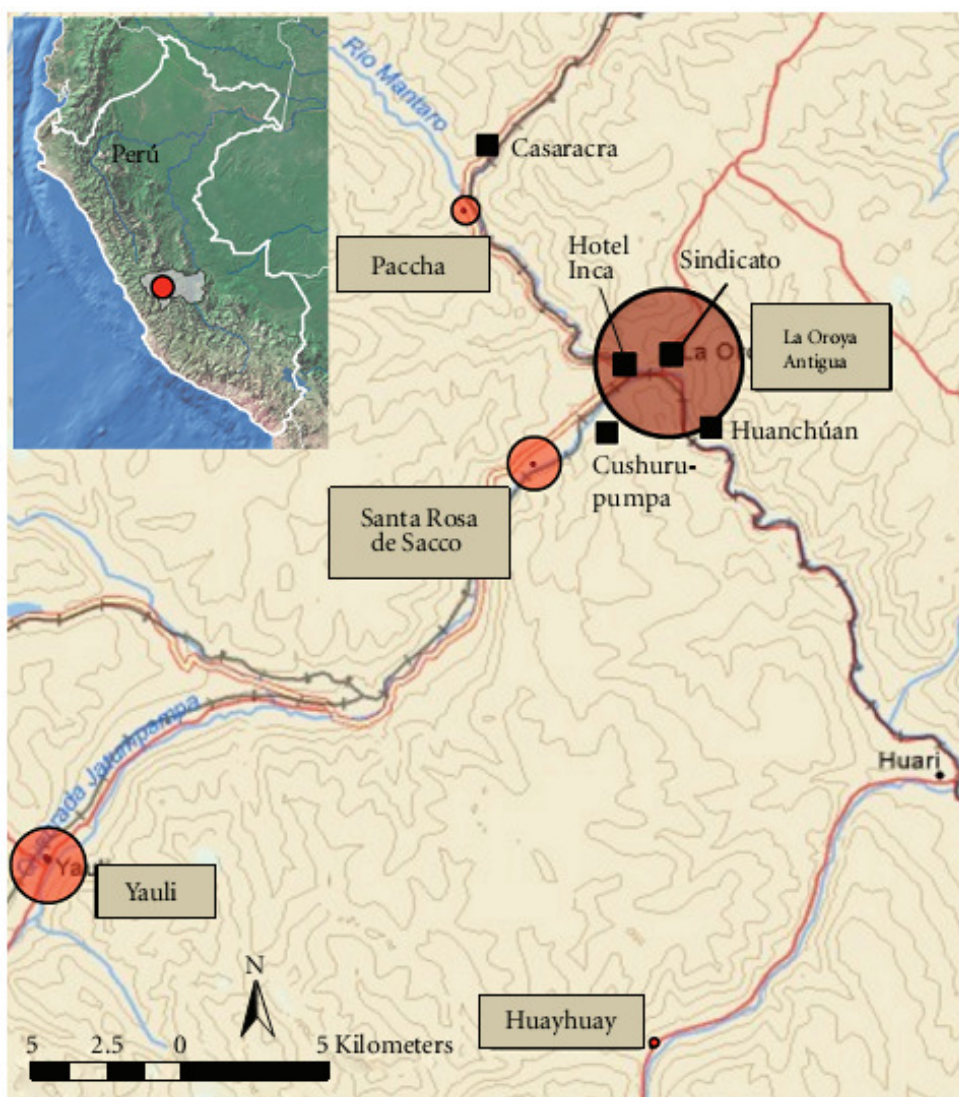
Para a avaliação da contaminação por metais pesados, Reuer *et al.* (2012), coletaram amostras em cinco sítios situados entre 1 e 30km de distância do complexo metalúrgico (Figura 14). As médias aritméticas dos teores apresentados pelas amostras analisadas pelo autor, para o caso do Pb nos solos, encontram-se no Quadro 10. Para comparação, também constam os dados de Cunha (2003) (Quadro 04). Verifica-se que os teores de Pb nos solos identificados por Cunha (2003) são inferiores em relação àqueles obtidos por Rauer *et al.* (2012). Este autor informa, ainda, que os teores identificados no entorno do Complexo Metalúrgico de La Oroya variam de 297 a 11.451ppm e que foram encontrados, na média, cerca de 34µg/dL (0,34ppm).

Reuer *et al.* (2012) não citam indícios de contaminações secundárias no sítio de amostragem de Huayhuay, a cerca de 30km do complexo metalúrgico. Esse sítio apresentou teor médio de 452ppm de Pb. Por outro lado, Cunha (2003) cita que partículas maiores do que 2µm, contendo Pb na composição, tendem a se depositar nas imediações da fonte de emissão. Somente partículas menores do que 2µm poderiam ser carregadas por distâncias quilométricas. Enriquecendo a informação do autor, deve-se considerar que quanto maior o conteúdo de metais pesados de uma partícula, maior será a densidade e maior será a tendência de deposição. Assim, percebe-se a tendência de que as partículas ricas em metais pesados depositem-se nas imediações das fontes de emissão. Tendo em vista essa exposição, considera-se que o teor de 452ppm de Huayhuay, corresponde ao background regional para o Pb nas imediações de La Oroya. Tal informação é corroborada pelo teor médio encontrado em Paccha, a 9km do complexo, o qual é de 596ppm. O teor de Paccha, segundo Reuer *et al.* (2012), é influenciado pela fonte de emissão, contudo apresenta semelhança com Huayhuay, situada a 30km da fonte.

Quadro 10: Comparação entre os teores de Pb nos solos identificados na região de Adrianópolis e La Oroya, Brasil e Peru.

Autor	Local	Unidade de Beneficiamento	Amostra	Distância da Fonte de Contaminação (km)	Pb (ppm)
Cunha (2003)	Adrianópolis/PR Brasil	Panelas	1	5	175
			2	2,5	432
			3	1,2	343
			4	1	63
			5	1	672
			6	0,3	904
			7	0,5	397
			8	0,9	916
			9	0,9	802
			10	1	76
			11	1,4	117
			12	1,5	245
			13	1,7	217
			14	1,8	293
			15	2	37
			16	3,5	52
			17	3,6	76
			18	4,5	58
			19	6,5	21
			20	6	37
			21	9,5	26
Reuer <i>et al.</i> (2012)	La Oroya Peru	La Oroya	La Oroya Antigua	1	5.070
			Santa Rosa de Sacco	9	1.432
			Paccha	9	596
			Huayhuay	30	452
			Yauli	26	1.900

Figura 14: Localização dos sítios de amostragem na região de La Oroya. Levantamento realizado por de Reuer *et al.* (2012). Os cinco sítios são representados pelos círculos, ou pontos, vermelhos. O complexo metalúrgico localiza-se no centro círculo da localidade de La Oroya Antigua. O autor salienta que a localidade de Yauli apresenta uma provável fonte secundária de metais pesados, desassociada ao complexo metalúrgico de La Oroya.



4.0. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

4.1. Revisão da Legislação Federal

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) foi estabelecida no Brasil, pela Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, a qual dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Essa lei impõe no Art. 4º, Inciso VII, a obrigação, ao responsável por impactos ambientais, de recuperar e/ou indenizar a sociedade pelos danos causados e, no artigo Art. 9º, Inciso III, define a AIA como um dos instrumentos da citada política. A Lei nº 6.938/1981 foi inicialmente regulamentada pelo Decreto Federal nº 88.351 de 1 de Junho de 1983, o qual estabeleceu as competências regulamentadoras do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Apesar da anterioridade, esses diplomas legais foram amparados pela Constituição Federal de 1988 que, no Art. 225º, Inciso IV, exige de atividades potencialmente degradantes ao meio ambiente, o estudo prévio de impacto ambiental. Posteriormente, o Decreto Federal nº 88.351/1983 foi revogado e substituído pelo Decreto nº 99.274/1990, o qual impõe ao CONAMA no Art. 7º, Inciso I, a obrigação de estabelecer normas e critérios para o licenciamento ambiental de atividades efetivamente, ou potencialmente poluidoras.

Dentre os regulamentos posteriores que dispõe sobre a AIA, destacam-se a Resolução CONAMA 001/1986 que no Art. 2º, Inciso IX, estabelece a exploração de minérios como atividade modificadora do meio ambiente, dependente de EIA/RIMA para licenciamento ambiental. Uma atividade modificadora do meio ambiente pode ser entendida, conforme o Art. 1º, como aquela que gera impacto ambiental com alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio ambiente, causada por atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança, o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, a qualidade dos recursos ambientais, as condições estéticas, ou sanitárias do meio ambiente. Em adição, o Art. 5º, Inciso II, estabelece que o EIA deve identificar e avaliar os impactos ambientais nas fases de implantação e operação da atividade. Já o Art. 6º estabelece itens mínimos de diagnóstico da situação ambiental que devem constar no estudo, sendo eles: a) meio físico; b) meio biótico; c) meio socioeconômico. Esses itens diagnósticos devem ser acompanhados da análise dos impactos ambientais positivos e negativos; medidas mitigadoras dos impactos negativos; e planos de monitoramento dos impactos positivos e negativos.

4.1.1. Compensações Ambientais

A promulgação da Política Nacional do Meio Ambiente e da Resolução CONAMA nº 001/1986, desencadeou a elaboração de normas visando atenuar, ou compensar os impactos

negativos das atividades potencialmente modificadoras do meio ambiente. Inicialmente, houve a preocupação com a destruição de florestas e ecossistemas. Deste modo, houve o advento da Resolução CONAMA nº 010/1987. Essa resolução introduz a compensação ambiental no ordenamento jurídico brasileiro impondo, no Art. 1º, a obrigação de instalação de uma estação ecológica para fins de reparação de danos causados por obras de grande porte e, no Art. 2º, a obrigação de utilização de, pelo menos, 0,5% dos custos de implantação do empreendimento impactante para a reparação dos danos ambientais. Essa resolução foi substituída e ampliada pela Resolução CONAMA nº 02/1996, a qual redefine a reparação, impondo aos empreendimentos que causassem danos às florestas e ecossistemas, a obrigação de instalação de uma unidade de conservação de domínio público, ou o custeio de unidades de conservação públicas, através do emprego de um equivalente de, no mínimo, 0,5% dos custos efetivos totais para a implantação do empreendimento potencialmente poluidor. Seguindo os preceitos estabelecidos pelas resoluções, a Lei nº. 9.985/2000 do SNUC ampliou, novamente, as reparações e impôs, no Art. 36º, aos empreendimentos de significativo impacto ambiental, com fundamento no EIA/RIMA, a obrigação de apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do tipo estação ecológica, reserva biológica, parque nacional, monumento natural e/ou refúgio da vida silvestre, do Grupo de Proteção Integral. O ato de apoio é entendido como a destinação de, pelo menos, capital equivalente a 0,5% dos custos totais previstos para a implantação do empreendimento do empreendimento impactante. Após a promulgação da lei, houve a revogação da Resolução CONAMA nº 02/1996 e substituição pela Resolução CONAMA nº 371/2006, a qual estabeleceu diretrizes para o cálculo da cobrança da compensação citada na lei do SNUC. Simultaneamente, em atendimento ao Art. 4º, Lei nº 4.771/1965, que autoriza a intervenção em área de preservação permanente (APP) em casos de utilidade pública e/ou interesse social, a Resolução nº CONAMA 369/2006, definiu em seu Art. 2º, Inciso I, a pesquisa e extração de substâncias minerais, exceto areia, argila, saibro e cascalho, como utilidade pública e as atividades de pesquisa e extração de areia, argila, saibro e cascalho, como de interesse social. Deste modo, autorizou tais atividades a intervirem em APP, desde que respeitando as demais obrigações compensatórias e o seu Art. 5º, § 2º, o qual exige compensação na forma de recuperação ou recomposição de APP na mesma sub-bacia hidrográfica na qual se instala o empreendimento potencialmente impactante e, prioritariamente, na área de influência do empreendimento e/ou nas cabeceiras dos rios. A Lei nº 4.771/1965, Art. 37º A., Inciso II, § 4º, ainda obriga que o uso alternativo do solo e/ou supressão de vegetação em local que abrigue espécie ameaçada de extinção, seja atrelado à medida para a conservação da espécie. Contudo, não há em nível federal a

definição de como essa compensação deve ser aplicada. Por fim, a Lei nº 4.771/1965 foi revogada e substituída pela Lei nº 12.651/2012, a qual mantém as obrigações compensatórias, citadas anteriormente, em seus Art. 8º e Art. 27º e mantém a validade da Resolução nº CONAMA 369/2006.

4.1.2. Passivo Ambiental e Recuperação de Área Degradada

Conforme citado, a Política Nacional do Meio Ambiente, Art. 4º e Inciso VII, obriga o responsável por danos ao meio ambiente a recuperar e/ou indenizar os prejuízos causados. Ademais, insere no meio jurídico brasileiro a figura da área degradada, conforme o Art. 2º, Inciso VIII, o qual estabelece como princípio da política a necessidade de recuperação desses locais. Uma área degradada pode ser definida como um local em que a atividade humana originou alterações negativas no meio ambiente e que necessita de recuperação, ou restauração, para restituir totalmente, ou parcialmente, a função ambiental, social e econômica. Por outro lado, uma área degradada pode ser considerada um passivo ambiental. O passivo pode ser entendido como o conjunto de obrigações legais assumidas pelo responsável por atividade impactante ao meio ambiente. Essas obrigações abrangem desde a recuperação e/ou restauração do meio degradado, execução de controle, monitoramento, mitigação e compensação pelo impacto, até punições financeiras e criminais, estas aplicadas em caso de passivo gerado por desconformidade com a lei, ou com os parâmetros técnicos definidos para a atividade impactante. Deste modo, uma área degradada pressupõe a existência de um passivo ambiental.

No âmbito dessas áreas, o Decreto nº 97.632/1989 regulamentou o Art. 2º, Inciso VIII, da Lei nº 6.938/1981 e obrigou os mineradores, no ato de apresentação do EIA/RIMA, à submissão de plano para a recuperação das áreas degradadas pela mineração (PRAD), visando estabilizar os processos ambientais e propiciar o uso futuro do solo. O DNPM, seguindo os preceitos da legislação, publicou a Portaria 237/2001, modificada pela Portaria 12/2002, e estabeleceu a figura da suspensão e fechamento de mina. A primeira trata-se da suspensão temporária das atividades mineiras e, a segunda, a cessação definitiva, ambas acompanhadas da recuperação dos sítios foco de trabalhos mineiros. Deste modo, a portaria define nas NRM-20 e NRM-21, quesitos técnicos específicos focados nas atividades de mineração, visando a recuperação ambiental do sítio degradado, os quais abrangem o cuidado para permitir o aproveitamento ulterior das jazidas lavradas, o controle e o monitoramento das áreas após a recuperação e fechamento da mina, a definição do uso ulterior do solo, dentre outros, e obriga o minerador a submeter o PRAD, dentre outros planos pertinentes, ao crivo do DNPM através

de requerimento dirigido ao Ministério de Minas e Energia. Igualmente, a portaria insere mecanismos de proteção dos trabalhadores e meio ambiente; controle da disposição de rejeitos e estéreis; documentos específicos de controle e monitoramento, como o plano de controle dos impactos ambientais decorrentes de atividade minerária (PCIAM); e inova na legislação mineral do país, disciplinando o aproveitamento racional das jazidas, protegendo o pessoal envolvido e o meio ambiente, tornando a atividade mineira compatível com a preservação ambiental, a segurança, a saúde de trabalhadores e outros envolvidos.

4.1.3. Parâmetros de Qualidade Ambiental

Os parâmetros de qualidade ambiental podem ser definidos como critérios e valores de orientação quanto à presença de certos elementos, ou compostos químicos, no solo, água, atmosfera, etc. Esses parâmetros servem como diretrizes para o monitoramento, controle e recuperação de áreas degradadas, bem como podem servir como critério para uma avaliação prévia das probabilidades de ocorrência de impactos ambientais negativos, ou de agravamento de situações naturais de alta concentração de elementos, ou compostos, danosos à saúde humana. Os parâmetros nacionais de qualidade, que podem ser aplicados a todos os empreendimentos de mineração e respectivas avaliações de impactos, são aqueles que abrangem o solo, as águas superficiais e subterrâneas. Adicionam-se, ainda, os padrões para lançamento de efluentes e para classificação de resíduos.

No caso do solo, os parâmetros são definidos pela Resolução CONAMA 420/2009, alterada pela Resolução CONAMA 460/2013. Segundo o Art. 3º, a resolução visa proteger o solo preventivamente, para garantir a manutenção de sua funcionalidade ou, de maneira corretiva, restaurar a sua qualidade. Em adição, a resolução classifica os solos em quatro classes de acordo com as concentrações e tipos de elementos, ou compostos químicos encontrados. Igualmente, estabelecem-se diretrizes gerais para o gerenciamento de solos contaminados, visando eliminar, ou reduzir os riscos à saúde humana e ao meio ambiente. As resoluções que definem os parâmetros para as águas subterrâneas e superficiais, apresentam objetivos semelhantes aos da qualidade do solo. Pretendem propiciar meio para proteção do meio ambiente, garantia da funcionalidade, prevenção de danos, controle e reparação de impactos ambientais ocorridos. A resolução CONAMA pertinente às águas subterrâneas, as quais são dispostas em cinco classes, é a de número 396/2008. Já as águas superficiais, dispostas em três classes, são governadas pela Resolução CONAMA 357/2005, originada pela Resolução CONAMA 20/1986, e alterada pela Resolução CONAMA 370/2006, pela 410/2009 e pela 430/2011. Essas resoluções, pertinentes às águas superficiais, ainda ditam os

parâmetros legais para lançamento direto, ou indireto, de efluentes em corpos hídricos. Por fim, os resíduos são classificados em duas classes, de acordo com a NBR 10004/2004, Classe I - Perigosos e Classe II - Não Perigosos. Essa classificação visa auxiliar nos métodos de armazenagem e destinação final dos resíduos.

4.2. Referencial para a Previsão e Avaliação de Impactos

A avaliação de impactos, a seguir, se restringe aos aspectos negativos e ao meio físico, especificamente à mineralogia dos depósitos dos tipos Perau e Panelas, aos produtos de beneficiamento do minério, bem como aos rejeitos e escórias. Essa escolha é justificada, pois esses materiais em conjunto, ou isolados, e acima de certas concentrações, são potencialmente danosos e provocam efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde humana. Assim, a AIA atenta para a redistribuição ambiental de causa antrópica de elementos e compostos químicos, removendo-os de sítios onde não são prejudiciais e encaminhando-os para locais onde podem afetar o meio ambiente. Essa redistribuição pode ocorrer, por exemplo, em depósitos e jazidas minerais alvos de lavra.

Os depósitos representam locais onde os processos geológicos proporcionaram o desenvolvimento de concentrações anômalas de certos elementos químicos, na forma de minerais e/ou mineralóides. Esses elementos podem ser identificados em pesquisa mineral e tornar-se alvo de exploração de acordo com as tendências econômicas, as quais ditarão se as tonelagens e teores encontrados serão viáveis para lavra, e se influenciarão no desenvolvimento de técnicas de exploração e beneficiamento, caso a tecnologia existente seja insuficiente. Por outro lado, as jazidas são massas individualizadas de substâncias minerais de interesse econômico, mas não necessariamente apresentam concentrações anômalas de certos elementos químicos. Como exemplo de redistribuição de elementos, cita-se a hipótese de uma lavra de areia em leito de rio, a qual poderá induzir à redistribuição de elementos, ou compostos químicos aprisionados em camadas, ou estratos, e conseqüentemente ocasionar impactos negativos. Conclui-se que o prévio conhecimento da geologia e modelos genéticos de um depósito, ou jazida, é fator que deve ser considerado na previsão e avaliação de impactos. O mesmo ocorre com os processos de beneficiamento, que devem ser completamente avaliados, incluindo os insumos e tipos de equipamentos.

Assim, para fins de exemplificação, será utilizada a mineralogia encontrada na Mina de Panelas e na Mina de Canoas, a qual é composta, essencialmente, por galena, esfalerita, pirita, pirrotita, calcopirita, sulfossais (tetraedrita, freibergita, pirargita, stephanita e polibasita), barita e magnetita. Somada a essa mineralogia, será utilizada a associação

encontrada tanto no minério da Mina de Panelas, como no minério da Mina do Rocha. Comumente, composta por galena, esfalerita, pirrotita, bournonita, tennantita-tetraedrita, electrum, arsenopirita e tetraedrita, bornita, argentita, neodigenita, calcocita, anglesita, cerusita e piromorfita. Por fim, serão avaliadas as características do processo de beneficiamento da Mina de Panelas, dos seus produtos, rejeitos e escórias. As associações minerais e o beneficiamento serão avaliados para a identificação dos minerais, elementos e compostos químicos que podem gerar impactos. No caso presente, a avaliação será uma previsão, focada nessas possíveis alterações negativas do meio ambiente, e um referencial para futuras avaliações e ponderações entre os benefícios de projetos mineiros e seus custos ambientais. Portanto, não ocorrerá a elucidação completa das potencialidades de danos.

4.3. Impactos Negativos Associados ao Minério dos Depósitos Perau e Panelas

Para a avaliação de impactos, utilizou-se uma rotina baseada na norma *British Standard* 8800:1996, composta por:

- a) Classificação das associações minerais e/ou compostos químicos (Quadro 11);
- b) Identificação dos danos ou impactos ao meio ambiente relacionados às associações e/ou compostos (Quadro 12);
- c) Indicação da importância dos danos ou impactos identificados (Quadros 13 e 14);
- d) Classificação da importância e probabilidade de ocorrência dos danos ou impactos e indicação de medidas protetivas (Quadro 15).

Tendo em vista a rotina acima, foi elaborado o Quadro 11, com o minério considerado típico para os depósitos. O quadro indica que os elementos comumente encontrados são o Pb, Zn, Fe, S, Cu, Sb, Ag, As, Ba, O, Au, P, Cl, C. O Quadro 12 destaca os danos relacionados a esses elementos e concentrações acima das quais podem ocorrer prejuízos à qualidade do solo, água subterrânea e água superficial. Incluem-se os valores para lançamento dos efluentes. Os parâmetros de concentrações utilizados foram os mais restritivos, sendo os danos associados ao Pb, Zn, Fe, S, Cu, Sb, Ag, As, Ba, P e Cl. A ocorrência desses danos depende da disponibilidade dos citados elementos químicos no meio ambiente. Para Toujaguez *et al.* (2013), a disponibilidade dos elementos é controlada pelo pH, sendo que quanto maior a acidez, maior a mobilidade. Segundo o autor, o pH controla a dispersão dos elementos e o seu acesso aos seres vivos. Já Licht (1986), compreende que a mobilidade dos elementos químicos depende do meio ambiente, cujas características são refletidas na estabilidade, ou instabilidade de um material. Basicamente essas características são aquelas que influenciam o intemperismo (temperatura, pressão, umidade, precipitação, etc.), Eh e pH.

Quadro 11: Classificação das associações minerais do minério e indicação de suas fórmulas químicas básicas (Fonte: WEBMINERAL, 2014).

Modelo Genético	Depósito	Minério					
		Classificação de Dana		Mineral	Fórmula		
		Antiga	Nova				
SEDEX	Perau	II - Sulfetos	Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Galena	PbS		
				Esfalerita	ZnS		
				Pirita	FeS ₂		
				Pirrotita	Fe ₇ S ₈		
				Calcopirita	CuFeS ₂		
			Classe 03 - Sulfossais	Tetraedrita	(Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃		
				Freibergita	(Ag, Cu, Fe) ₁₂ (Sb, As) ₄ S ₁₃		
				Pirargita	Ag ₃ SbS ₃		
				Stephanita	Ag ₅ SbS ₄		
				Polibasita	[Ag ₉ CuS ₄][(Ag, Cu) ₆ (Sb, As) ₂ S ₇]		
		VI - Sulfatos, Cromatos, Selenatos	Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos	Barita	BaSO ₄		
		MVT	Panelas	II - Sulfetos	Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Galena	PbS
						Esfalerita	ZnS
Pirrotita	Fe ₇ S ₈						
Calcocita	Cu ₂ S						
Bornita	Cu ₅ FeS ₈						
Arsenopirita	FeAsS						
Neodigenita	Cu ₉ S ₅						
Argentita	Ag ₂ S						
Classe 03 - Sulfossais	Bournonita				PbCuSbS ₃		
	Tennantita-Tetraedrita				(Cu, Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃ - (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃		
Tetraedrita	(Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃						
-	-			Electrum	Liga de Au e Ag		
III - Óxidos e Hidróxidos	Classe 07 - Múltiplos Óxidos			Magnetita	Fe ₃ O ₄		
VI - Sulfatos, Cromatos, Selenatos	Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos			Anglesita	PbSO ₄		
V - Carbonatos, Nitratos, Boratos	Classe 14 - Carbonatos Anidros			Cerusita	PbCO ₃		
VII - Fosfatos, Arsenatos, Vanadatos	Classe 41 - Fosfatos Anidros, etc. Contendo Hidroxila ou Halogênio			Piromorfita	Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl		

Quadro 12: Identificação dos impactos relacionados aos elementos químicos das associações minerais do minério (Fontes: ATSDR, 2011; LEAD, 1993; EPA, 2014; LICHT, 2005 e Resoluções CONAMA 430/2011; 357/2005; 420/2009 e 396/2008).

Elemento	Descrição do Impacto	Solo	Água Superficial	Água Subterrânea	Efluente
		Valor de prevenção	Classe 1	Consumo humano	
		Resolução CONAMA			
		420/2009	357/2005	396/2008	430/2011
Pb	Migra através dos ecossistemas. Contamina o solo, água e o ar. Tende a acumular no meio ambiente. Populações de plantas, microrganismos e invertebrados podem ser contaminados. Populações relativamente mais tolerantes à contaminação podem se desenvolver, alterando a composição dos ecossistemas. Afeta o desenvolvimento, a reprodução dos vertebrados e gera problemas neurológicos. Acumula nos ossos e diminui a biodiversidade. Contamina alimentos. O homem pode ser contaminado pela ingestão de alimentos, água, respiração e contato direto. No homem, afeta o sistema cardiovascular, gastrointestinal, nervoso, renal e reprodutivo. Afeta os olhos, desenvolvimento, a formação do sangue, músculos e do esqueleto. Acumula nos ossos, danifica neurônios e o cérebro. Indicado como carcinogênico. Pode causar a morte.	72mg/kg 72ppm	0,01mg/L 0,01ppm	10µg/L 0,01ppm	0,5mg/L 0,5ppm
Zn	Contamina o solo, ar, água superficial e subterrânea. Nas plantas o risco de toxidez é, em geral, reduzido e apenas observado em solos com estoque de zinco elevado, por exemplo, em pilhas de rejeito de mineração. Nos animais pode afetar a formação do sangue, danificar neurônios, pâncreas e o trato gastrointestinal. O homem pode ser contaminado pela ingestão de alimentos, água e respiração. No homem, afeta o sistema gastrointestinal, respiratório e a formação do sangue. A contaminação com zinco provoca náuseas, contrações involuntárias e severas no estômago, vômito, anemia, aumenta os níveis de colesterol ruim.	300mg/kg 300ppm	0,18mg/L 0,18ppm	5000µg/L 5ppm	5mg/L 5ppm
Fe	Em geral, apenas associados a danos estéticos no meio ambiente, como mudança no odor e sabor da água.	-	0,3mg/L (dissolvido) 0,3ppm (dissolvido)	300 µg/L 0,3ppm	15mg/L (dissolvido) 15ppm (dissolvido)

S	Inofensivo quando isolado. É tóxico para certos microrganismos e, quando compondo poeira, irrita os olhos. Associado aos sulfetos, fera drenagens e chuvas ácidas. Na forma de SO ₂ afeta o sistema imunológico e respiratório humano. Na forma de SO ₃ afeta a pele, sistema respiratório, gera ácidos e é cancerígeno para o homem.	-	-	-	-
Cu	Contamina o solo, ar e água. Nos animais se acumula no fígado, cérebro e rins. É tóxico para bactérias e fungos. O homem pode ser contaminado através das vias respiratórias, água, alimentação e contato direto. No homem, afeta o sistema gastrointestinal, hepático e a formação do sangue. O cobre causa irritação nas vias respiratórias e na garganta, náuseas, vômitos, diarreia. Pode danificar os pulmões e os neurônios. Pode causar a morte.	60mg/kg 60ppm	0,009mg/L (dissolvido) 0,009ppm (dissolvido)	2000 µg/L 2ppm	1mg/L (dissolvido) 1ppm (dissolvido)
Sb	Contamina o ar e o solo, é encontrado em baixo nível na água. Nos animais danifica os rins, prejudica a formação do sangue, causa irritação na pele, infertilidade, danifica e causa câncer nos pulmões, danifica os neurônios e o coração. Causa a morte. O homem pode ser contaminado através da água, alimentação, vias respiratórias e contato direto. No homem, afeta o sistema cardiovascular e respiratório. O antimônio causa irritação nos olhos, pulmões, problemas no coração e pulmões, dores e úlceras no estômago, diarreia e vomito.	2mg/kg 2ppm	0,005mg/L 0,005ppm	5µg/L 0,005ppm	-
Ag	Contamina, principalmente, o ar e a água. Provavelmente associado a câncer em animais e à morte. Deposita-se na pele dos animais e do homem. O homem pode ser contaminado pela ingestão de água, alimentos e respiração. No homem, afeta o sistema renal, reprodutor e a pele.	2mg/kg 2ppm	-	-	-
As	Contamina o ar, água e solo. Peixes e moluscos podem acumular arsênio. Causa inibição do crescimento nos seres vivos, inibe a fotossíntese e a reprodução, afeta o comportamento e causa a morte. Se os níveis de contaminação são muito elevados, apenas certos microrganismos podem resistir à exposição. O homem pode ser contaminado pela ingestão, respiração e contato direto. No homem, afeta a pele, sistema gastrointestinal, hepático, nervoso, respiratório e é cancerígeno. O arsênio causa náuseas, vômito, decréscimo na produção de células do sangue, danifica vasos sanguíneos, causa arritmia cardíaca, afeta a pele. Pode causar a morte.	15mg/kg 15ppm	0,01mg/L 0,01ppm	10µg/L 0,01ppm	0,5mg/L 0,5ppm

Ba	Contamina o ar, solo e água. Acumula em peixes e organismos aquáticos. Pode ser tóxico para plantas e animais. O homem pode ser contaminado através da ingestão, inalação e contato direto. No homem, afeta o sistema cardiovascular, gastrointestinal e a reprodução. O bário causa distúrbios gastrointestinais, fraqueza muscular, vômito, contrações involuntárias e severas no estômago, diarreia, dificuldades para respirar, aumento da pressão sanguínea, amortecimento da face, arritmia cardíaca, parada cardíaca. Pode causar a morte.	150mg/kg 150ppm	0,7mg/L 0,7ppm	700µg/L 0,7ppm	5mg/L 5ppm
O	-	-	-	-	-
Au	-	-	-	-	-
P	No ambiente aquático, em conjunto com o nitrogênio, causa eutrofização, rápido crescimento de algas e fitoplâncton.	-	0,1mg/L 0,1ppm	-	-
Cl	Na forma de gás, contamina a água e o ar. Porém o gás não é comumente encontrado no meio ambiente. No homem, afeta os olhos, sistema respiratório. Irrita as vias respiratórias, garganta e olhos. Pode danificar os pulmões.	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-

Conclui-se que, quanto menos estável é um composto potencialmente danoso, maior é a probabilidade de que o dano ocorra. Assim, considera-se que a avaliação da gravidade, ou importância dos danos deve abranger a análise dos fatores ambientais que influenciam na estabilidade mineral e na mobilidade de elementos químicos. Além desses fatores, também é preponderante o conhecimento prévio dos teores do background, já que quanto mais elevado o background natural para um elemento nocivo, maiores deverão ser os cuidados para não incrementar esses teores através da ação antrópica. Igualmente, deve-se estimar a magnitude do provável do dano, ou impacto no tempo e espaço, e deve-se ter conhecimento dos parâmetros de qualidade ambiental definidos pela legislação.

As condições ambientais da região abrangem, segundo MINEROPAR (2005), clima Cfa e Cfb de Köppen, temperado úmido com precipitação durante todos os meses do ano, inexistência de estação seca definida e verões quentes a temperados, o que propicia o intemperismo químico. O pH é ácido e varia entre cerca de entre 3,7 a próximo a 6,0. Nessas condições, segundo Licht (1986), principalmente sulfetos e carbonatos tornam-se instáveis e, nas condições entre 5 e 8, nas proximidades de corpos sulfetados, o ambiente será oxidante. Contudo, a mobilidade variará de acordo com o elemento químico. Já o background para os elementos potencialmente danosos encontra-se no Quadro 13, salienta-se que os teores citados

no quadro correspondem ao solo, e os parâmetros legais encontram-se no Quadro 12. Quanto ao Quadro 13, os dados de background correspondem ao Horizonte B do solo, sendo aplicáveis aos parâmetros legais para a qualidade do solo. A região foi alvo de estudos geoquímicos quanto às águas superficiais, subterrâneas e, inclusive, sedimentos de corrente, contudo esses levantamentos apresentam abrangência local, restrição no número de elementos químicos analisados, ou não são aplicáveis aos objetivos deste trabalho.

Quadro 13: Background aproximado dos elementos potencialmente danosos ao meio ambiente, referente ao Horizonte B dos solos (Fonte: MINEROPAR, 2005).

Elemento Químico	Background
Pb	>30.2985ppm
Zn	~61.141ppm
Fe	~7.6905 a 12.2235
S	~143.477 a 242.958ppm
Cu	~35.106ppm
Sb	~0,83ppm
Ag	~56.353 a 63.534ppm
As	>10.742ppm
Ba	>343.9615ppm
P	~393.706 a 563.233
Cl	>45,47ppm

Para IPT (2002), os impactos negativos surgem desde a fase de pesquisa, ou exploração mineral, avançando à fase de desenvolvimento e exploração e, por fim, à fase de desmobilização, ou fechamento de mina. Contudo, os impactos poderão continuar após o término da atividade mineira. A partir dessa explanação, quanto ao caráter temporal, considera-se empiricamente que os danos são restritos, temporários, mas que podem exceder o período de operação da mina. Já no espaço, podem tornar-se regionais, dependendo do meio preferencial de transporte e/ou dispersão dos elementos químicos, bem como dependendo dos locais escolhidos para disposição de rejeitos, estéreis, dentre outros produtos/subprodutos da lavra e beneficiamento. Tendo em vista essas observações, os Quadros 14 e 15, iniciam a avaliação da gravidade, ou importância dos danos prováveis, através da interpretação das condições ambientais citadas e das informações dos Quadros 11, 12 e 13. A aplicação do Quadro 14 avalia o comportamento e influência de um composto (mineral, mineralóide, rejeito, estéril, etc.), ou elemento químico, no meio circundante e sua capacidade de produzir danos no espaço/tempo. Para tal aplicação, são somados os pontos correspondentes às células que indicam características do elemento, composto, meio circundante e danos prováveis. No Quadro 15 encontra-se a pontuação atingida através da aplicação do Quadro 14.

A partir das pontuações indicadas no Quadro 15, no Quadro 16 ocorre a classificação efetiva da importância, ou gravidade, e probabilidade de ocorrência dos danos, ademais, há a indicação de categorias de medidas protetivas, visando à redução da probabilidade de ocorrência de impacto, ou dano ao meio ambiente.

Quadro 14: Avaliação de comportamento de um elemento, ou composto, químico potencialmente danoso ao meio ambiente.

		Efeito Cumulativo (soma valores da esquerda para a direita)			
		A	B	C	D
Efeito não Cumulativo (não soma valores)	Elemento pode alterar os parâmetros de qualidade ambiental. (1 PONTO)	Composto que porta o elemento é estável nas condições ambientais. (1 PONTO)	Dano pode ser temporário, reversível e restrito ao período de operação da mina. (1 PONTO)	Dano pode ser local, restrito à mina. (1 PONTO)	
	Elemento pode alterar os parâmetros de qualidade ambiental e pode produzir danos diretos à biota. (2 PONTOS)	Composto que porta o elemento é instável nas condições ambientais. (2 PONTOS)	Dano pode ser temporário, reversível e exceder o período de operação da mina. (2 PONTOS)	Dano pode ser local, restrito à mina e ao(s) município(s) de operação da mina. (2 PONTOS)	
	Elemento pode alterar os parâmetros de qualidade ambiental, pode produzir danos diretos à biota e pode produzir danos diretos à saúde humana. (3 PONTOS)	Composto que porta o elemento é instável nas condições ambientais e apresenta background elevado (restrito à qualidade do solo) que produz, ou pode produzir danos diretos à saúde humana. (3 PONTOS)	Dano pode ser permanente, irreversível. (3 PONTOS)	Dano pode ser regional, atinge a mina, município(s) de operação da mina e município(s) onde não há operação da mina. (3 PONTOS)	

Quadro 15: Pontuação atingida por um elemento, ou composto, químico na avaliação de comportamento (Fonte: WEBMINERAL, 2014).

Classificação de Dana		Mineral	Fórmula	Pontuação segundo o Quadro 14
Antiga	Nova			
II - Sulfetos	Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Galena	PbS	3+2+2+3 = 10
		Esfalerita	ZnS	3+2+2+3 = 10
		Pirita	FeS ₂	2+2+2+3 = 9
		Pirrotita	Fe ₇ S ₈	2+2+2+3 = 9
		Calcopirita	CuFeS ₂	3+2+2+3 = 10
	Classe 03 - Sulfossais	Tetraedrita	(Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	3+2+2+3 = 10
		Freibergita	(Ag, Cu, Fe) ₁₂ (Sb, As) ₄ S ₁₃	3+3+2+3 = 11
		Pirargita	Ag ₃ SbS ₃	3+3+2+3 = 11
		Stephanita	Ag ₅ SbS ₄	3+3+2+3 = 11
		Polibasita	[Ag ₉ CuS ₄][(Ag, Cu) ₆ (Sb, As) ₂ S ₇]	3+3+2+3 = 11
VI - Sulfatos, Cromatos, Selenatos	Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos	Barita	BaSO ₄	3+1+2+3 = 9
II - Sulfetos	Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Galena	PbS	3+2+2+3 = 10
		Esfalerita	ZnS	3+2+2+3 = 10
		Pirrotita	Fe ₇ S ₈	2+2+2+3 = 9
		Calcocita	Cu ₂ S	3+2+2+3 = 10
		Bornita	Cu ₅ FeS ₈	3+2+2+3 = 10
		Arsenopirita	FeAsS	3+2+2+3 = 10
		Neodigenita	Cu ₉ S ₅	3+2+2+3 = 10
		Argentita	Ag ₂ S	3+3+2+3 = 11
	Classe 03 - Sulfossais	Bournonita	PbCuSbS ₃	3+2+2+3 = 10
		Tennantita-Tetraedrita	(Cu, Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃ - (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	3+2+2+3 = 10
Tetraedrita		(Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	3+2+2+3 = 10	
-	-	Electrum	Liga de Au e Ag	3+1+2+3 = 9
III - Óxidos e Hidróxidos	Classe 07 - Múltiplos Óxidos	Magnetita	Fe ₃ O ₄	1+1+2+3 = 7
VI - Sulfatos, Cromatos, Selenatos	Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos	Anglesita	PbSO ₄	3+1+2+3 = 9
V - Carbonatos, Nitratos, Boratos	Classe 14 - Carbonatos Anidros	Cerusita	PbCO ₃	3+2+2+3 = 10
VII - Fosfatos, Arsenatos, Vanadatos	Classe 41 - Fosfatos Anidros, etc. Contendo Hidroxila ou Halogênio	Piromorfita	Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl	3+1+2+3 = 9

Quadro 16: Classificação da importância, probabilidade de ocorrência de danos ou impactos ambientais, e categorias de medidas protetivas.

Pontuação	Probabilidade	Importância	Categorias de Medidas Protetivas
4	Desprezível	Insignificante	As alterações no meio ambiente podem ser inexpressivas, ou nulas. Demanda Medidas de monitoramento dos parâmetros de qualidade ambiental.
5			
6	Marginal	Pequena	Podem ocorrer alterações mínimas, ou toleráveis, no meio ambiente. Demanda medidas de monitoramento dos parâmetros de qualidade ambiental e controle das emissões de efluentes, disposição de rejeitos, etc.
7			
8	Moderada	Média	Podem ocorrer alterações danosas ao meio ambiente de forma geral e à saúde do homem. O impacto pode assumir proporções, relativamente, maiores se não controlado e mitigado. Demanda medidas de monitoramento dos parâmetros de qualidade ambiental, controle das emissões de efluentes, disposição de rejeitos, etc., e mitigação dos danos verificados e/ou prováveis.
9			
10	Alta	Grande	Podem ocorrer alterações danosas expressivas ao meio ambiente de forma geral e à saúde do homem. Demanda medidas de monitoramento dos parâmetros de qualidade ambiental, controle das emissões de efluentes, disposição de rejeitos, etc., mitigação dos danos verificados e/ou prováveis e compensação ambiental pela operação da atividade mineira.
11			
12	Iminente	Crítica	Pode ocorrer a descaracterização completa do meio ambiente de forma geral. A exposição ao agente danoso gera risco máximo à saúde do homem. Demanda medidas de monitoramento dos parâmetros de qualidade ambiental, controle das emissões de efluentes, rejeitos, etc., mitigação dos danos verificados e/ou prováveis, compensação ambiental pela operação da atividade mineira e isolamento da mina, áreas próximas, ou proteção do homem contra qualquer contato com o agente danoso.

Seguindo o exposto no Quadro 16, este trabalho define que as medidas necessárias para a administração da importância e probabilidade de ocorrência de um dano, são:

a) Monitoramento, ações que visem acompanhar a evolução dos efeitos do elemento potencialmente danoso no meio ambiente. Exemplo, análises químicas de águas superficiais, subterrâneas, solos, sedimentos de drenagens, etc.;

b) Controle, ações para manutenção dos padrões ambientais anteriores à instalação do empreendimento e restrição das quantidades do elemento potencialmente danoso liberadas no meio ambiente. Exemplo, análises químicas de águas superficiais, subterrâneas, solos, sedimentos de drenagens, etc. e comparação com os teores máximos permitidos pela legislação, ou indicados por levantamento do background da região;

c) Mitigação, ações para anular total, ou parcialmente, os efeitos do elemento potencialmente danoso liberado, ou de liberação provável, no meio ambiente. Exemplo, medidas instalação de filtros para chaminés, manta geotêxtil nas áreas de deposição de rejeitos e estéreis, reciclagem da água utilizada no beneficiamento, etc.;

d) Compensação, ações de indenização, ou ressarcimento, pela liberação, ou provável liberação, do elemento potencialmente danoso no meio ambiente. Exemplo, compensação financeira, recuperação ambiental de áreas degradadas, preservação ambiental de florestas nativas, etc.;

e) Isolamento, ações para impedir o acesso de seres humanos às áreas que podem ser atingidas pelos elementos potencialmente danosos. Exemplo, isolamento preventivo de áreas no entorno da mina, ou título minerário, utilização de equipamentos de proteção individual, ou coletiva, que impeçam o contato do homem com o agente possivelmente danoso;

Deste modo, no que tange o minério, considera-se que os maiores danos podem ocorrer diretamente à saúde do homem, através da exposição aos elementos químicos potencialmente danosos. Tais danos variam de um nível de pontuação 7, com alterações mínimas, ou toleráveis, no meio ambiente, a um nível 11, com alterações expressivas ao meio ambiente e à saúde do homem, as quais demandam monitoramento, controle, mitigação e compensação ambiental. A não adoção dessas medidas protetivas pode desencadear danos prováveis, ou agravar os danos existentes.

4.4. Impactos Ambientais Associados aos Rejeitos e Escórias do Beneficiamento do Minério Explotado nos Depósitos do Tipo Perau e Painelas

Apesar dos impactos identificados, associados aos constituintes do minério, a avaliação somente estará completa quando analisados os planos econômicos (PAE) e de lavra (PL), as plantas, equipamentos de beneficiamento, áreas de disposição de rejeitos, etc. Nesse ponto, a gravidade dos impactos passa de uma probabilidade de ocorrência incerta, para uma probabilidade real inclusa no tempo de vida da mina. Como exemplo, essa análise será realizada através de um fluxograma de beneficiamento da Mina de Painelas, cuja utilização estendeu-se pelo menos entre as décadas de 1970 e 1980.

A unidade de beneficiamento de Painelas possuía capacidade para tratar 300t minério/dia, chegou a processar todo o minério de chumbo lavrado no Vale do Ribeira e era composta, basicamente, por moagem, classificação e flotação (Figura 15). Os minérios recebidos das diferentes minas eram tratados separadamente, devido às variações nas composições mineralógicas. Os minérios com cerusita e galena eram tratados em dois estágios de flotação. No primeiro, adicionava-se como reagentes o coletor de sulfetos amil xantato de sódio (AMX) e o espumante metil isobutil carbinol (MIBC) para flotar a galena. No segundo estágio, o material não flotado recebia como reagentes o ativador sulfeto de sódio, o depressor silicato de sódio e o coletor amil xantato de sódio (AMX) para flotar a cerusita (MME, 1980).

Os demais minérios eram tratados em um estágio de flotação, porque a cerusita não apresentava proporção significativa. Nesses casos, eram usados como reagentes o ativador sulfeto de sódio, o coletor amil xantato de sódio (AMX) e o depressor silicato de sódio. Contudo, nos casos em que o minério apresentava proporção significativa de pirita, tanto na flotação em dois, como em um estágio, adicionava-se cianeto de sódio para deprimir a pirita. Adição que, acima de certas quantidades, poderia dissolver a prata. Os concentrados obtidos em ambos os processos de beneficiamento apresentavam um teor de chumbo de cerca de 50% com recuperação próxima a 94%. A seguir, o concentrado era encaminhado para processo metalúrgico, constituído basicamente por pelotização e sinterização, redução em alto forno e refino. A pelotização e sinterização eram empregadas, pois o concentrado apresentava granulação fina, o que impedia o seu uso direto em alto forno para a extração pirometalúrgica. Deste modo, o concentrado era pelotizado com a utilização de fundentes (SiO₂, CaO e, principalmente, escória) e ligantes a frio, produzindo aglomerados em forma de esferas com baixa resistência. Na sinterização as pelotas eram ustuladas e sinterizadas para obtenção de aglomerados de óxido de Pb com elevada resistência. Essa etapa era realizada em máquinas grelha móvel e aspiração inferior “Dwight-Lloyd”, onde as pelotas eram descarregadas formando camadas. Na superfície era realizada ignição com ar aquecido, provocando a oxidação do enxofre presente nas pelotas. A reação, fortemente exotérmica, também causava a oxidação das camadas abaixo da superfície por efeito do calor e do ar aspirado. O calor também provocava a sinterização, por meio de reações de escorificação, empregando a resistência necessária para a utilização do material no alto forno. O sínter obtido era classificado em -1” (menor do que uma polegada), o qual era britado e retornava para a alimentação da sinterização e +1”-5” (entre uma e cinco polegadas), empregado diretamente em alto forno tipo “Water Jacket”, no qual ocorria a extração pirometalúrgica do chumbo através de redução. A carga do alto forno era constituída por camadas alternadas de sínter e coque, carregados pelo topo do forno por um sistema de duplo sino que permitia o carregamento contínuo, sem a alteração da pressão interna do forno. A principal reação ocorria com a redução do PbO pelo CO, obtido pela oxidação parcial do coque pelo oxigênio contido no ar e injetado no forno através de ventaneiras após o aquecimento:

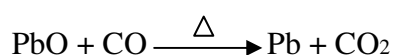
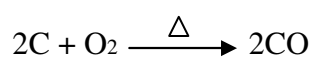
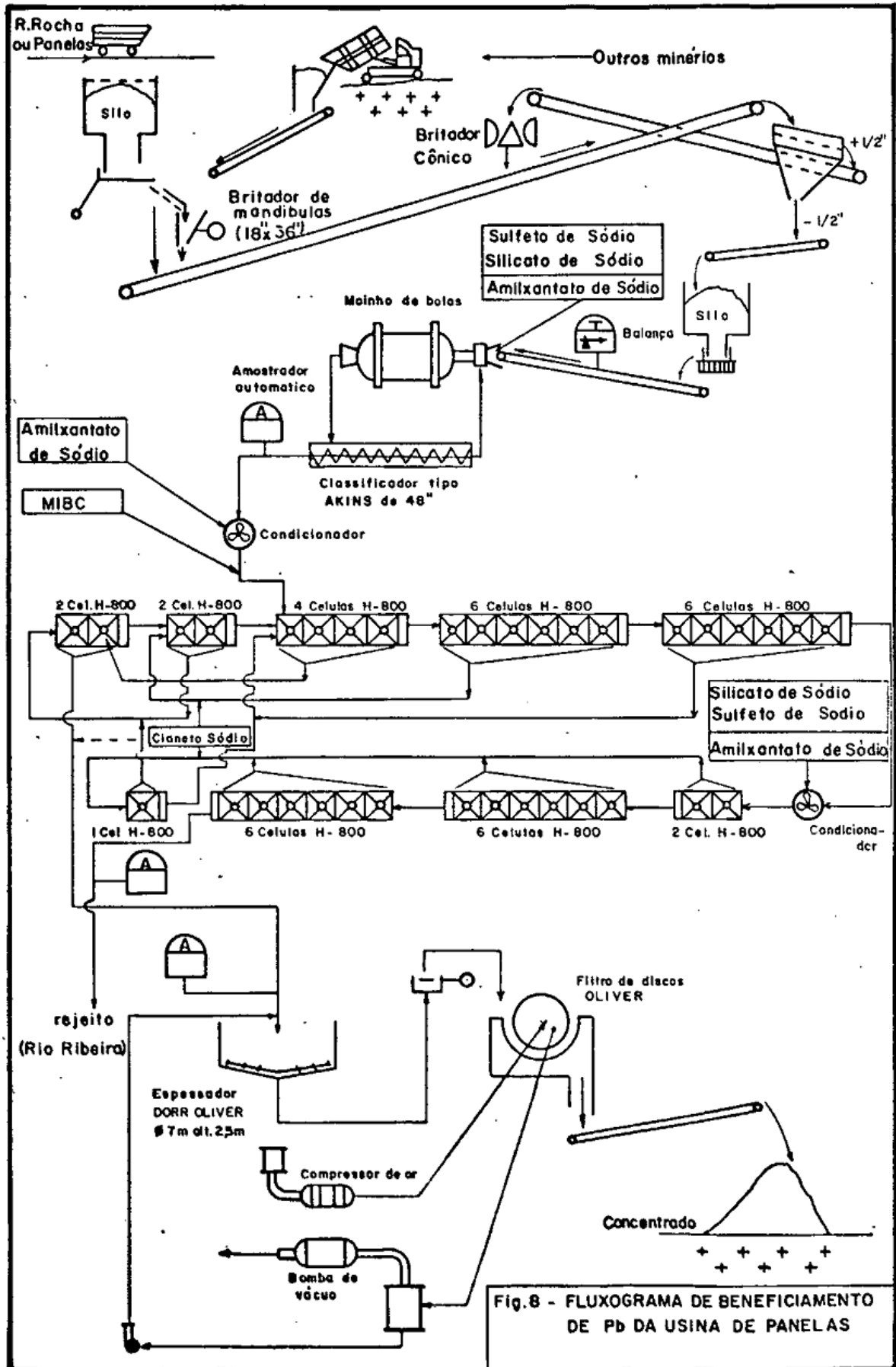


Figura 15: Fluxograma de Beneficiamento de Chumbo da Usina de Painelas (MME, 1980).



Após as reações, o chumbo metálico fundido e a escória se armazenavam em cadinho, abaixo da zona das ventaneiras. O chumbo se separava da escória por diferença de densidades e era coletado por um sifão, já a escória vazava por um orifício, sempre que atingia um nível pré-determinado. Após resfriada, a escória era britada e retornada para a etapa de pelotização, como fundente. O chumbo metálico seguia para refino e extração, principalmente, do Sb, Ag, Au e Zn. O antimônio era retirado através de oxidação controlada, já que o elemento apresenta maior afinidade pelo oxigênio do que pelo chumbo, e seus óxidos são insolúveis em chumbo metálico fundido. Com o chumbo fundido a 450°C, através da adição de 1 a 2% de Zn, o ouro e prata eram removidos. Nessas condições havia a formação de ligas de Ag, Au e Zn de maior ponto de fusão e menor densidade do que o chumbo. Esses compostos flutuavam, eram retirados e encaminhados para a extração do Zn por destilação. A Ag e o Au brutos passavam por refino eletrolítico para a obtenção de metais puros. Por fim, o chumbo metálico fundido continha 0,7% de Zn, que era retirado por oxidação controlada com NaNO₃. Ao final, o chumbo puro era levado até uma panela para ser vazado em lingoteiras (MME, 1980).

Para a avaliação, inicialmente foram elaboradas as Quadros 17 e 18, para identificação e pontuação dos impactos associados aos produtos químicos utilizados no beneficiamento, rejeito e escória descartados no Rio Ribeira, e concentrado de chumbo. Para a elaboração dos quadros foram utilizadas informações de indústrias químicas fabricantes de sulfeto de sódio, silicato de sódio, cianeto de sódio, AMX e MIBC. As fórmulas químicas não foram citadas, pois não são disponibilizadas pelos fabricantes. Igualmente, não existem parâmetros de qualidade ambiental, específicos para esses compostos. Quanto ao rejeito e escória despejados no Rio Ribeira, as informações sobre os danos causados são de difícil estimativa já que não se sabe, ao certo, a composição do material à época. Cunha (2003) analisou amostras de rejeito e escória e encontrou, respectivamente, 0,7% e 2,5% de Pb (~7.000ppm e ~25.000ppm). Guimarães (2007) indicou que o rejeito é enriquecido em Cu, Cr, Pb, Ag e Zn e a escória em Cu, Zn, Cr, Fe, Pb e As, esta com teores de até 3,83% de Pb (35.540ppm) (Quadro 05). Contudo, como o ambiente pode ser propício para a mobilização de certos elementos químicos, talvez os teores citados nos estudos não correspondam àqueles da época de disposição final. Ademais, a concentração de elementos desinteressantes economicamente, como o Fe, S, Cu, As, Ba, P e Cl, deveria ser alta. Em adição, MME (1980), cita que o rejeito apresentava substâncias altamente tóxicas, destacando-se o cianeto de sódio, e a escória apresentava, ao menos, Pb, Zn e Cd. O rejeito deveria apresentar sulfeto de sódio, silicato de sódio, cianeto de sódio, AMX e MIBC, prejudiciais ao ambiente e à saúde humana. Assim, inferiu-se que o rejeito e a escória apresentavam alta periculosidade, sendo que a

probabilidade de impactos foi agravada pelo não tratamento e pelo despejo às margens, ou diretamente no rio. A inferência é corroborada pelo fato de que teores de Pb acima de 1ppm, conforme a NBR 10004:2004, classificam um resíduo como perigoso, ou com características que implicam em risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente. Para o concentrado, considera-se que era composto por cerca de 50% de chumbo, com presença de outros metais e compostos danosos, como Ag, Zn e S. O concentrado era de alta periculosidade, pois era de granulação fina propícia ao carregamento, provavelmente era depositado em áreas sem proteção contra as intempéries e apresentava alguma quantidade dos compostos sulfeto de sódio, silicato de sódio, cianeto de sódio, AMX e MIBC. Deste modo, seus impactos são considerados semelhantes aos relacionados ao rejeito e escória.

Quadro 17: Identificação dos impactos relacionados aos compostos químicos utilizados no beneficiamento, rejeito, escória e concentrado (Fontes: SUPERQUÍMICA, 2014; DQI, 2014; CARBOCLOR, 2006).

Composto	Descrição do Impacto
Sulfeto de Sódio	Contamina a água e o ar. É corrosivo. Estável à temperatura ambiente, porém quando aquecido, ou devido à percussão, pode se inflamar e formar gases que podem formar mistura explosiva com o ar. Poeiras de granulação fina podem formar mistura explosiva com o ar. É tóxico para peixes, crustáceos, algas e bactérias. No homem causa irritação nas vias respiratórias, paralisa o olfato, causa reações alérgicas severas, causa lesões severas à pele, aos olhos e provoca dermatite, Pode causar cequeira, queimaduras na boca e garganta, vômito, náusea, dores abdominais e diarreia. Pode causar a morte.
Silicato de Sódio	Contamina o solo, ar, água superficial e subterrânea. É Corrosivo. É estável à temperatura ambiente, porém quando aquecido libera gases tóxicos. Pode reagir com metais, liberando gás inflamável e formar misturas explosivas com o ar. Pode se acumular em espécies que utilizam sílica como material estrutural. Não sofre biodegradação. No homem pode causar câncer, queimaduras nas vias respiratórias e mucosas, distúrbios cardíacos e respiratórios, tosse, irritação, dor abdominal, náusea, vômito com sangramento, febre, asfixia, queimaduras na pele e nos olhos, danos aos olhos, irritação nos olhos, vermelhidão, lacrimejar e visão turva, pode causar danos gastrointestinais. Pode causar a morte.
Amil Xantato de Sódio	Contamina a água e o ar. É corrosivo. Sob agitação, aquecimento, ou humidade pode gerar vapores que ocasionam combustão espontânea. No homem causa irritação severa dos olhos e cegueira, causa queimaduras na pele, irritação das vias respiratórias e dificuldades para respirar. Pode causar a morte.
Metil Isobutil Carbinol	Contamina o ar e a água. É inflamável. É tóxico para peixes, bactérias e invertebrados. No homem causa irritação nas vias respiratórias, dores de cabeça, congestão, desidratação, bronquite, pneumonia, edema pulmonar, cegueira, irritação na pele, dores abdominais, náuseas, vômito, sonolência, dores de cabeça, fraqueza e tosse.
Cianeto de Sódio	Contamina o solo, ar e água. Libera gás venenoso quando em contato com a água. Tóxico para animais, bactérias e organismos aquáticos. No homem causa envenenamento se inalado, ingerido, ou exposto à pele. Pode causar a morte.
Rejeito, Escória e Concentrado	Contamina o solo, ar e água. Pode liberar gases e compostos tóxicos no meio ambiente. Provavelmente danosos para o meio ambiente em geral, tóxico para os seres vivos. No homem, provavelmente agente causador de problemas de saúde indicados para as substâncias sulfeto de sódio, silicato de sódio, amil xantato de sódio, cianeto de sódio, metil isobutil carbinol e elementos como o Pb, Zn, Fe, S, Cu, Sb, Ag, As, Ba, P e Cl. Podem ocorrer outros elementos danosos, como o Cd.

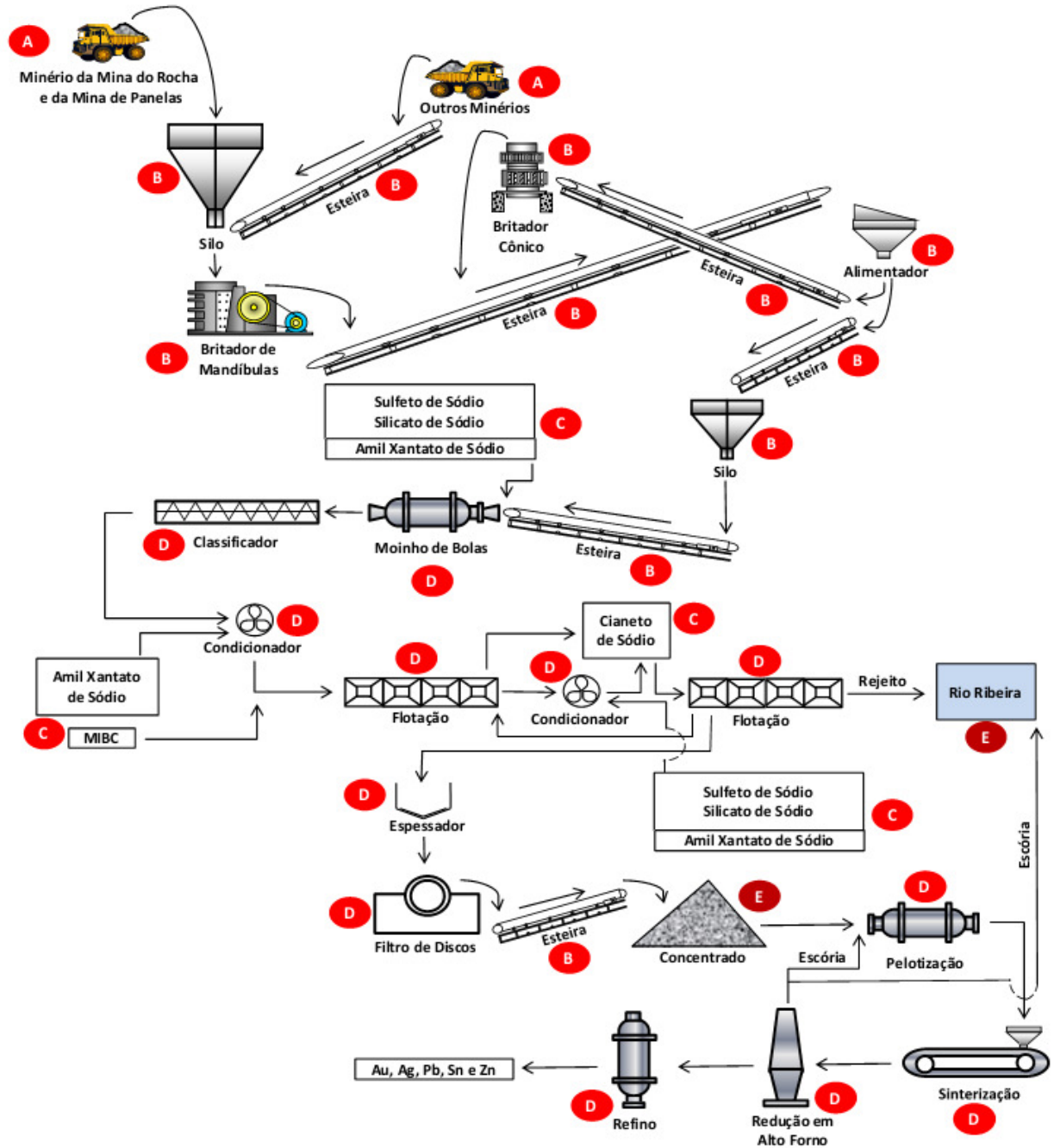
Quadro 18: Pontuação atingida pelos compostos químicos, rejeito, escória e concentrado na avaliação de comportamento.

Composto	Fórmula	Pontuação segundo o Quadro 13
Sulfeto de Sódio	-	3+2+2+3 = 10
Silicato de Sódio	-	3+2+2+3 = 10
Amil Xantato de Sódio (AMX)	-	3+2+2+3 = 10
Metil Isobutil Carbinol (MIBC)	-	3+2+2+3 = 10
Cianeto de Sódio	-	3+2+2+3 = 10
Rejeito, Escória e Concentrado	-	3+3+3+3 = 12

Após a identificação de impactos e avaliação de comportamento, foram elaboradas a Figura 16 e o Quadro 19. Esse quadro trata-se de um explicativo para a figura, na qual os círculos indicam os diferentes riscos de impactos ambientais existentes na área de beneficiamento do minério e metalurgia do concentrado. Para a elaboração do Quadro 19, foram utilizados dos dados de pontuação máxima atingida pelas assembleias minerais (Quadros 14, 15 e 16) e pelos compostos químicos, escória, rejeito e concentrado (Quadro 18).

Através desses dados, conclui-se que a unidade de beneficiamento e metalurgia de chumbo apresenta potencial para ocasionar danos ao meio ambiente, sendo que a pontuação atingida situa-se entre 10 e 12, com probabilidade de ocorrência alta a iminente, e com importância grande a crítica. Os impactos atingem o meio ambiente em geral e afetam diretamente a saúde do homem, através da exposição tanto aos elementos químicos presentes no minério, como aos compostos químicos utilizados no beneficiamento, como aos produtos e resíduos oriundos do beneficiamento e metalurgia. Salienta-se que as formas de armazenamento, transporte, disposição final, disposição provisória, descarte e a própria planta de beneficiamento é que potencializam a probabilidade de ocorrência de danos. A não adoção de medidas de monitoramento, controle e mitigação, igualmente, contribui para potencializar a probabilidade de ocorrência de danos.

Figura 16: Mapa de Riscos de Impactos Ambientais da Unidade de Beneficiamento e Metalurgia de Chumbo da Mina de Panelas. A classificação da importância, probabilidade de ocorrência de danos e medidas protetivas referentes ao mapa encontram-se no Quadro 19 (Fonte: MME, 1980).



Quadro 19: A classificação da importância, probabilidade de ocorrência de danos e medidas protetivas referentes ao mapa da Figura 16.

A		
Objeto	Transporte de Minérios.	
Pontuação Máxima	11	
Impactos Ambientais	Contaminação do ar e solo pela dispersão de particulado ao longo de estradas e vias de acesso.	
Probabilidade	Alta	
Importância	Grande	
Categorias de Medidas Protetivas	Monitoramento	Direção dos ventos e direção de dispersão de particulado. Amostragem do solo e ar nas áreas atingidas, ou em risco.
	Controle	Parâmetros legais de qualidade do ar e do solo.
	Opções de Mitigação	Enlonação dos caminhões, umectação das vias de acesso e das cargas de minério.
	Compensação	Não ocorrendo supressão de vegetação e intervenção em áreas públicas protegidas, a compensação mínima é composta por investimentos destinados à melhoria da qualidade ambiental e compensação ambiental através de recuperação ou recomposição de área de preservação permanente.
	Isolamento	-
B		
Objeto	Silos, Britadores, Esteiras e Alimentador	
Pontuação Máxima	11	
Impactos Ambientais	Contaminação do ar e solo pela dispersão de particulado devido à cominuição de minerais, transporte por esteiras, operação de alimentadores e silos.	
Probabilidade	Alta	
Importância	Grande	
Categorias de Medidas Protetivas	Monitoramento	Direção dos ventos e direção de dispersão de particulado. Amostragem de solo e ar nas áreas atingidas, ou em risco. Monitoramento da bacia de rejeitos.
	Controle	Parâmetros de qualidade do ar, solo e de exposição de trabalhadores. Acompanhamento técnico das condições de operação de bacia de rejeito.
	Opções de Mitigação	Umectação do minério (disposição da água utilizada na umectação em bacia de rejeitos, para tratamento e/ou reciclagem); barreiras vegetais contra carreamento pelos ventos de particulado; enclausuramento de esteiras, silos, alimentadores e britadores; equipamentos de segurança individuais e coletivos para proteção das vias respiratórias dos trabalhadores.
	Compensação	Não ocorrendo supressão de vegetação e intervenção em áreas públicas protegidas, a compensação mínima é composta por investimentos destinados à melhoria da qualidade ambiental e compensação ambiental através de recuperação ou recomposição de área de preservação permanente.
	Isolamento	-

C		
Objeto	Sulfeto de Sódio, Silicato de Sódio, Amil Xantato de Sódio, Metil Isobutil Carbinol e Cianeto de Sódio.	
Pontuação Máxima	10	
Impactos Ambientais	Contaminação do ar por vapores, solo e água por derramamento.	
Probabilidade	Alta	
Importância	Grande	
Categorias de Medidas Protetivas	Monitoramento	Conforme especificação dos fabricantes. Temperatura, umidade e calor no transporte, armazenamento, disposição de rejeitos e contaminados. Vazamentos, vapores e derramamentos durante a utilização. Monitoramento da bacia de rejeitos.
	Controle	Parâmetros indicados pelos fabricantes em fichas técnicas e de segurança.
	Opções de Mitigação	Conforme especificação dos fabricantes. Equipamentos de segurança individuais e coletivos para proteção dos trabalhadores. Sistema de coleta, reciclagem e/ou destinação final dos resíduos e material contaminado. Armazenamento em bacia de rejeito dos efluentes contaminados para tratamento e/ou reciclagem. Proteção do solo exposto com lages, camadas impermeáveis de solo, argila, etc. Direcionamento das águas, ou produtos vazados, para canaletas e bacia de rejeitos.
	Compensação	Não ocorrendo supressão de vegetação e intervenção em áreas públicas protegidas, a compensação mínima é composta por investimentos destinados à melhoria da qualidade ambiental e compensação ambiental através de recuperação ou recomposição de área de preservação permanente.
	Isolamento	-
D		
Objeto	Moinho de Bolas, Condicionadores, Flotação, Espessador, Filtro de Discos, Pelotização, Sinterização, Alto Forno e Refinaria.	
Pontuação Máxima	10	
Impactos Ambientais	Contaminação do ar, solo e água. Contaminação ocasionada por vapores, derramamento, vazamento de material contaminado e emissão de particulado. Contaminação ocasionada por sulfeto de sódio, silicato de sódio, amil xantato de sódio, metil isobutil carbinol, cianeto de sódio e particulado.	
Probabilidade	Alta	
Importância	Grande	
Categorias de Medidas Protetivas	Monitoramento	Conforme especificação dos fabricantes dos produtos químicos. Direção dos ventos e direção de dispersão de particulado. Amostragem de solo, água e ar nas áreas atingidas, ou em risco. Monitoramento da bacia de rejeitos.
	Controle	Parâmetros indicados pelos fabricantes em fichas técnicas e de segurança. Parâmetros de qualidade do ar, água, solo e de exposição de trabalhadores.
	Opções de Mitigação	Conforme especificação dos fabricantes. Equipamentos de segurança individuais e coletivos para proteção dos trabalhadores. Sistema de coleta, reciclagem e/ou destinação final dos resíduos e material contaminado. Armazenamento em bacia de rejeito dos efluentes contaminados para tratamento e/ou reciclagem. Barreiras vegetais contra carreamento pelos ventos de particulado; enclausuramento de equipamentos. Proteção do solo exposto com lages, camadas impermeáveis de solo, argila, etc. Direcionamento das águas, ou produtos vazados, para canaletas e bacia de rejeitos.
	Compensação	Não ocorrendo supressão de vegetação e intervenção em áreas públicas protegidas, a compensação mínima é composta por investimentos destinados à melhoria da qualidade ambiental e compensação ambiental através de recuperação ou recomposição de área de preservação permanente.
	Isolamento	-

E		
Objeto	Deposição de Rejeito, Escória e de Concentrado de Beneficiamento.	
Pontuação Máxima	12	
Impactos Ambientais	Contaminação do ar, solo e água. Contaminação ocasionada por vapores, derramamento, vazamento de material contaminado e emissão de particulado. Contaminação ocasionada por sulfeto de sódio, silicato de sódio, amil xantato de sódio, metil isobutil carbinol, cianeto de sódio.	
Probabilidade	Iminente	
Importância	Crítica	
Categorias de Medidas Protetivas	Monitoramento	Conforme especificação dos fabricantes dos produtos químicos. Direção dos ventos e direção de dispersão de particulado no ar. Amostragem de solo, água e ar nas áreas atingidas, ou em risco. Monitoramento da bacia de rejeitos, áreas de deposição de rejeitos, escória e de concentrado.
	Controle	Parâmetros indicados pelos fabricantes em fichas técnicas e de segurança. Parâmetros de qualidade do ar, água, solo e de exposição de trabalhadores.
	Opções de Mitigação	Conforme especificação dos fabricantes. Equipamentos de segurança individuais e coletivos para proteção dos trabalhadores. Sistema de coleta, reciclagem e/ou destinação final dos resíduos e material contaminado. Armazenamento em bacia de rejeito dos efluentes contaminados para tratamento e/ou reciclagem. Isolamento das áreas de deposição de rejeitos e escória, visando impedir contato direto com o solo, água e dispersão pelo vento. Isolamento de áreas de deposição de concentrado, evitando contato com a água, solo e dispersão pelo vento. Barreiras vegetais contra carreamento pelos ventos de particulado. Proteção do solo exposto com lages, camadas impermeáveis de solo, argila, etc. Direcionamento das águas, ou produtos vazados, para canaletas e bacia de rejeitos.
	Compensação	Não ocorrendo supressão de vegetação e intervenção em áreas públicas protegidas, a compensação mínima é composta por investimentos destinados à melhoria da qualidade ambiental e compensação ambiental através de recuperação ou recomposição de área de preservação permanente. Indenização das populações atingidas.
	Isolamento	Isolar áreas de deposição de rejeitos e escórias contra o contato com animais, homem, e intempéries. Isolar áreas de deposição do concentrado, por exemplo isolar o pátio, adotar silos, dentre outros. Isolar as áreas já afetadas pelos rejeitos e efluentes e impedir o uso até a mitigação definitiva do passivo ambiental.

5.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo desenvolvido, conclui-se que diversos tipos de impactos negativos podem ser associados aos depósitos minerais e seus modelos genéticos. Quando analisada a constituição mineral de um depósito, ou seja, de suas rochas encaixantes, ganga e minério, é possível prever os danos ao meio ambiente causados por esses constituintes, quando afetados pela intervenção antrópica. A ação do homem é preponderante para desencadear o impacto. Assim, deve-se entender que as alterações no meio ambiente ocasionadas por processos naturais, mesmo que substanciais para os parâmetros legais de qualidade ambiental e nos teores de exposição humana, não podem ser considerados impactos ambientais. Considera-se que o impacto surge a partir do momento em que a ação antrópica afeta direta, ou indiretamente, o ciclo natural de transformação dos materiais geológicos, provocando reconcentração, aceleração na mobilização e redistribuição de elementos químicos, alterações nos padrões de pH e Eh do ambiente, etc. Alguns dos meios para provocar essas mudanças estão associados à lavra, beneficiamento mineral e disposição de rejeitos/estéreis. Deste modo, para a execução da AIA de mineração, é necessário o conhecimento prévio da constituição mineral do depósito, dos teores dos elementos químicos presentes no minério/estéril/rejeito, do background natural desses elementos, dos métodos de lavra, dos métodos de beneficiamento, dos métodos e locais de disposição de rejeitos/estéreis, dos métodos e locais de armazenamento e estocagem de minério/concentrado, dos métodos de tratamento de efluentes, etc. Parte das avaliações de impactos ambientais, atualmente elaboradas para empreendimentos mineiros, não abrangem toda essa complexidade da geologia dos depósitos e jazidas minerais em fase de licenciamento ambiental. Igualmente, os métodos de elaboração de AIA empregados, não são voltados para as áreas de Geologia e Engenharia de Minas. Assim, o breve exercício de previsão de impactos executado neste trabalho, demonstrou a capacidade de produção de impactos intrinsecamente ligada aos depósitos Perau e Panelas, agravada por um processo de beneficiamento que não empregava técnicas ambientalmente aceitáveis de disposição final e tratamento rejeitos, escória, etc., ocasionando danos à saúde dos moradores do entorno da mina. Certamente, o método de abordagem empregado neste trabalho não é completamente adequado para a execução da AIA, contudo é um passo para a superação das deficiências e aprimoramento das previsões e avaliações de impactos de empreendimentos mineiros. Porém, o método foi capaz de indicar que os maiores danos podem ocorrer diretamente à saúde do homem, através da exposição aos elementos químicos potencialmente danosos. Em adição, foram elencadas e conceituadas medidas protetivas que poderiam reduzir, ou eliminar os danos prováveis. Essas medidas são

o monitoramento, visando acompanhar a evolução dos efeitos do elemento danoso no meio ambiente, através de análises químicas de águas superficiais, subterrâneas, solos, sedimentos de drenagens, etc. O monitoramento seria aplicado em situações em que não é observado um risco de importância insignificante, ou de probabilidade desprezível. Através do monitoramento, caso verifique-se, por exemplo, o incremento nos teores de elementos nocivos, pode-se reclassificar a importância do risco, a probabilidade e o nível de medidas protetivas.

Já o controle é aplicado em situações de risco de gravidade pequena e probabilidade marginal, com vistas à manutenção dos padrões ambientais anteriores à instalação do empreendimento, através da comparação, por exemplo, com os parâmetros de qualidade ambiental citados na legislação, ou indicados por levantamento do background. A partir desse controle, pode-se reclassificar a probabilidade e a importância do risco, caso necessário e adotar medidas efetivas para eliminar, ou reduzir a possibilidade de ocorrência de impactos.

A medida protetiva que se sobrepõe ao controle é a mitigação. Quando o risco passa a apresentar importância média e probabilidade moderada, ou seja, as possibilidades de danos são reais, exceto se adotadas medidas que visem para anular total, ou parcialmente, os efeitos do elemento danoso. Essa anulação pode ocorrer através de, por exemplo, adoção de equipamentos que impeçam a liberação do elemento danoso no meio ambiente, ou tratem-no antes da liberação. Contudo, quando as medidas protetivas não são suficientes para garantir a segurança completa contra os impactos prováveis, deve-se adotar a compensação.

Entende-se a compensação como ações de indenização, ou ressarcimento, pelo risco de importância grande e probabilidade alta de liberação do elemento danoso no meio ambiente. No âmbito legal, são poucas as compensações existentes, como exemplo, existe a compensação financeira (SNUC), recuperação ambiental de áreas degradadas e de preservação ambiental de florestas nativas. Contudo, essas compensações são aplicadas durante o ato de licenciamento ambiental, devido à intervenção do empreendimento em biomas protegidos por lei e áreas de preservação permanente (APP), principalmente. Tais compensações não refletem as situações de risco identificadas na AIA e as probabilidades de ocorrência de impactos geradas por um empreendimento. Para esse caso, sugere-se um instrumento de compensação executado simultaneamente à operação e ao fechamento de uma mina, nos moldes da CFEM. Assim, caso o empreendimento apresentasse, ou atingisse probabilidade alta e importância grande de ocorrência de impactos, seria obrigado a arcar com a compensação. No momento em que fossem tomadas e surtisse efeito ações para a redução da probabilidade e da importância do risco, a compensação seria automaticamente anulada.

Por fim, em casos extremos de probabilidade iminente e risco de importância crítica, sugere-se a adoção do isolamento de certas áreas, preferencialmente o título minerário, ou sítios no entorno da mina, visando o isolamento preventivo em caso de liberação acidental do elemento nocivo.

5.1. Recomendações

O trabalho demonstrou a possibilidade de elaboração de métodos específicos para a previsão e avaliação de impactos ambientais relacionados a certos depósitos minerais. Contudo, algumas dificuldades e lacunas encontradas na legislação e nos trabalhos científicos existentes, demandaram as recomendações que seguem:

a) Certos depósitos e jazidas minerais apresentam ambiente de formação e composição elucidada, sendo relacionados a modelos genéticos aplicados a minas em atividade, ou desativadas. Algumas dessas minas apresentam histórico de impactos, passivos ambientais e das respectivas consequências sobre o meio ambiente e a saúde humana. Deste modo, a AIA pode ser iniciada através do estudo dos ambientes de formação, modelos genéticos e respectivos históricos de impactos ambientais;

b) É normal que regiões com mineralizações de interesse econômico apresentem concentrações anômalas de certos elementos químicos e, conseqüentemente, background elevado para esses elementos. Deste modo, o diagnóstico do meio físico, para a elaboração da AIA, deve abranger o estudo do background natural nas áreas afetadas pela atividade mineira. Especificamente, o diagnóstico deve relacionar as características do background dos solos, águas superficiais, subterrâneas e sedimentos de drenagem/corrente. Os teores indicados como background, poderão divergir dos parâmetros legais de qualidade ambiental. Contudo, se inexistir influência direta, ou indireta, da ação antrópica sobre os teores divergentes com a legislação, então inexistirá impacto ambiental, bem como se cria instrumento de defesa do empreendedor contra acusações de responsabilidade por poluição;

c) O diagnóstico do meio físico deve, ainda, analisar a influência das intempéries, pH e Eh sobre a estabilidade dos minerais, mineralóides, sobre a mobilidade e distribuição dos elementos químicos no meio ambiente. Igualmente é necessário entender o modo e o meio preferencial de distribuição dos elementos danosos no meio ambiente. Elementos potencialmente danosos, com mobilidade acentuada devido às características ambientais identificadas e meios propícios para a distribuição, poderão gerar impactos de abrangência regional;

d) Para a elaboração da AIA, é necessária a análise da planta de beneficiamento, insumos utilizados na produção, tipos de rejeitos, estéreis, etc., descartados, e forma de descarte. Um minério poderá ter sua potencialidade e probabilidade de geração de impactos agravada nos processos de beneficiamento, ao gerar produtos e subprodutos tóxicos;

e) Recomenda-se que, na época de execução de testes de beneficiamento em laboratório, ou unidade piloto, todos os produtos e subprodutos obtidos (concentrados, rejeitos, estéreis, etc.) sejam testados quanto à toxicidade e classificados quanto à periculosidade, nos moldes da NBR 10004:2004;

f) Em adição à testagem e classificação de toxicidade dos produtos e subprodutos, bem como com informações dos meios de distribuição no meio ambiente, recomenda-se traçar as possíveis áreas alvos de impactos em caso de dispersão de contaminantes, classificando-as de acordo com a probabilidade de riscos. Para o traçado dessas áreas é preponderante conhecer os sistemas do meio ambiente que serão, prioritariamente, afetados por dado contaminante, por exemplo: horizontes de solo, tipos de bacias hidrográficas, certas espécies da biota, etc.;

g) A legislação acerca dos parâmetros de qualidade ambiental apresenta lacunas, tanto no nível federal, como em nível estadual. Esses parâmetros, normalmente, são baseados em estudos químicos e de background de abrangência regional, normalmente sem considerar a compartimentação ambiental. Um estudo regional, por exemplo, de nível estadual não pode ser aplicado, com precisão, a todos os empreendimentos executados no estado. Os parâmetros de qualidade ambiental tornam-se mais realistas se definidos de acordo com a compartimentação ambiental, por exemplo, para certas bacias hidrográficas, unidades geomorfológicas, unidades pedológicas, etc.;

h) Há a necessidade de discussão das compensações ambientais. Atualmente as compensações aplicam-se, unicamente, à fase de abertura de um empreendimento. Contudo, após o início das operações, não existem compensações definidas, mesmo que um empreendimento seja intensamente impactante ao meio ambiente. Desse modo, torna-se interessante a discussão de uma compensação financeira, como contraprestação pela utilização econômica e degradação dos recursos ambientais;

h) Por fim, é preponderante para situações de iminente risco de impacto ambiental, a elaboração de um plano de ação emergencial para casos de crise associada a riscos ao meio ambiente, ou à saúde pública, contendo as áreas prioritariamente afetadas, medidas protetivas, medidas de contenção e isolamento, dentre outras, que visem à redução e impedimento do avanço de danos.

6.0. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, F.F.M. Novas ocorrências fósseis no Pré-Cambriano Brasileiro. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 28, n.4, p. 44-45. 1956.

ATSDR. *ATSDR Toxic Substances Portal*. Atlanta, 2011. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp/>>. Acesso em: 17 jun. 2014.

BARBOUR, A.P.; OLIVEIRA, M.A.F. Pb, Zn, Cu e Ba do Distrito do Perau – Modelo Sedimentar para Sulfetos do Vale do Ribeira. *Boletim IG-USP – Série científica*, São Paulo, v.10, p.97-120. 1979.

BARBOUR, A.P.; NEVES, B.B.B.; MEDEIROS, R.A. Algumas Implicações Tectônicas na Gênese das Mineralizações Sulfetadas do Tipo Pannels no Vale do Ribeira, SP e PR. *Revista Brasileira de Geociências*, v.20, n.1-4, p. 46-54. 1990.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. Estudos preliminares na Série Açungui V – Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capirú (Estado do Paraná). *Boletim do Instituto Histórico Natural*, Curitiba, Dusenya, v.7, n.6, p. 317-323. 1956.

BIODI, J.C. *Processos Metalogenéticos e os Principais Depósitos Minerais Brasileiros*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 528p.

BRASIL. Decreto nº 2.893, de 15 de julho de 1938. *Concede à Plumbum, S.A., Indústria Brasileira de Mineração, sociedade brasileira legalmente constituída, a lavra da mina de galena argentífera situada no imóvel denominado Pannels ou Brejaúvas, município de Bocaiúva, comarca de Curitiba, Estado do Paraná*. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=74372&norma=100752>>. Acesso em: 11 nov. 2011.

_____. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. *Institui o novo Código Florestal*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/14771.htm>. Acesso em 02 de jul. 2014.

_____. Decreto nº 62.934, de 2 de julho de 1968. *Regulamento do Código de Mineração*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1950-1969/D62934.htm>. Acesso em: 11 nov. 2011.

_____. Decreto nº 76.053, de 30 de julho de 1975. *Concede à Eletro São Marco Ltda, o direito de lavrar minérios de cobre e chumbo no Município de Adrianópolis, Estado do Paraná*. Disponível em: <legis.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=190334&norma=205307>. Acesso em: 11 nov. 2011.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 19 fev. 2013.

____. Decreto Federal nº 88.351, de 1 de junho de 1983. *Regulamenta a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental, e dá outras providências.* Disponível em: <[http://www.emplasa.sp.gov.br/sijur/03 Legislação federal/03.02. Meio Ambiente/11. Decreto Federal nº 88.351, de 1º de junho de 1983.htm](http://www.emplasa.sp.gov.br/sijur/03_Legislação_federal/03.02_Meio_Ambiente/11.Decreto_Federal_nº_88.351_de_1º_de_junho_de_1983.htm)>. Acesso em: 02 jul. 2014.

____. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.* Brasília, 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 10 nov. 2011.

____. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. *Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.* Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em: 02 jul. 2014.

____. Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990. *Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.* Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm>. Acesso em: 02 jul. 2014.

____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. *Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.* Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em 02 de jul. 2014.

____. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, e dá outras providências.* Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em 02 de jul. 2014.

BRITISH STANDARD. *BS 8800: HSE Successful Health and Safety Management.* United Kingdom, 1996.

CARVALHO, P.F.; PINTO, E.A. Reconhecimento geológico na serie Assunguy. Rio de Janeiro, *Boletim do DNPM/SGM*, n. 71, 29 p. 1937.

CARBOLOR. *Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos.* Argentina, 2006. Disponível em: <<http://www.carbochlor.com.ar/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

CASSIANO, A.M. *Estudo da contaminação por metais na bacia do rio Ribeira de Iguape (SP-PR): Estratégias para a remediação da área de disposição de rejeitos da mina do Rocha.* 2001. 159p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CETESB. *Avaliação dos níveis de contaminação por metais pesados e pesticidas organoclorados na água, ictiofauna e outros organismos aquáticos do complexo Estuarino-Lagunar de Iguape-Cananéia*. São Paulo: CETESB, 1986. Relatório Final. 68p.

CETESB. *Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/media/files/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf/>. Acesso em: 18 jun. 2014.

COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Exploração do Rio Ribeira de Iguape*, 2 ed., São Paulo, 1914.

CONAMA. Resolução 001, de 23 de janeiro de 1986. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 20, de 18 de junho de 1986. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=61>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 010, de 03 de dezembro de 1987. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=61>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 02, de 18 de abril de 1996. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=201>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 357, de 17 de março de 2005. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=201>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 369, de 28 de março de 2006. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=489>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 371, de 5 de abril de 2006. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 396, de 3 de abril de 2008. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em 19 fev. 2013.

_____. Resolução 410, de 04 de maio de 2009. *Licenciamento Ambiental - Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em 19 fev. 2013.

____. Resolução 420, de 28 de dezembro de 2009. *Licenciamento Ambiental – Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em 19 fev. 2013.

____. Resolução 430, de 13 de maio de 2011. *Licenciamento Ambiental – Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em 19 fev. 2013.

____. Resolução 460, de 30 de dezembro de 2013. *Licenciamento Ambiental – Normas e Procedimentos*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acesso em 19 fev. 2013.

CUNHA, F.G. *Contaminação Humana e Ambiental por Chumbo no Vale do Ribeira, nos Estados de São Paulo e Paraná, Brasil*. 2003. 125p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

DAITX, E.C. *Origem e Evolução dos Depósitos Sulfetados Tipo – Perau (Pb-Zn-Ag), com base nas jazidas Canoas e Perau (Vale do Ribeira, PR)*. 1996. 420p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Estado de São Paulo, Rio Claro, 1996.

DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; *Metalogênese do Brasil*. Brasília: CPRM, 2001. 392p.

DERBY, O.A. Geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil. Rio de Janeiro, *Arquivos do Museu Nacional*, n. 3, p. 89-96. 1878.

DNPM. Portaria 237, de 18 de outubro de 2001. *Dispõe sobre as Normas Reguladoras de Mineração*. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=83&PalavraChave=&IDLegislacaoCategoria=7&IDLegislacaoAssunto=&Situacao=&filtro=1&pag=1&cont=1>>. Acesso em 19 fev. 2013.

____. Portaria 12, de 22 de janeiro de 2002. *Altera dispositivos do ANEXO I da Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001*. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=83&PalavraChave=&IDLegislacaoCategoria=7&IDLegislacaoAssunto=&Situacao=&filtro=1&pag=1&cont=1>>. Acesso em 19 fev. 2013.

DQI. *Ficha Técnica*. Colômbia, 2014. Disponível em: <<http://www.dqisa.com/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

EBERT, H. Observações sobre a litologia e divisão do “Grupo Setuva” no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: SBG, 1971. p.131-165.

EPA. *Learn the issues*. United States of America, 2014. Disponível em: <<http://www.epa.gov/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

FIGUEIREDO, B.R. Modelos de Depósitos Minerais. *Boletim IG-USP – Série científica*, São Paulo, n.23, p.75-95. 1992.

FIORI, A.P. Tectônica e Estratigrafia do Grupo Açungui – PR. *Boletim IG-USP – Série científica*, São Paulo, n.23, p.55-74. 1992.

FIORI, A.P.; GASPAR, L.A. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, sul do Brasil. *Boletim IG-USP - Série científica*, São Paulo, n. 24, p. 1-19. 1993.

FRANCHI, J.G. *A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados*. 2004. 198p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

FRITZSONS-JUNIOR, O.; PIEKARZ, G.F.; FALCADE, D. Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva - PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1982. v.3, p.987-1001.

FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; TREIN, E.; MURATORI A. Geologia do leste paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Resumos...* São Paulo: SBG, 1971. p.121-130.

GOODFELLOW, W.D.; LYDON, J.W. Sedimentary-Exhalative (SEDEX) Deposits. In: GOODFELLOW, W.D. *Mineral Deposits of Canada: a Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, The Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. St. John's: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 2007. p.163-183.

GUIMARÃES, V. *Resíduos de Mineração e Metalurgia: Efeitos Poluidores em Sedimentos e em Espécie Biomonitora Rio Ribeira de Iguape – SP*. 2007. 161p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

IBGE. Malhas Digitais em Shapefile. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://downloads.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

IPT. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo, 1992. 165 p.

KNECHT, T. Ouro no Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, n.6, 37p., 1939.

LEAD. *Effects of lead on the environment*. Australia, 1993. Disponível em: <<http://www.lead.org.au/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

LICCARDO, A. *Geoturismobrasil.com*. Ponta Grossa, 2007. Disponível em: <<http://www.geoturismobrasil.com/aulasN.html>>. Acesso em: 01 jul. 2014.

LICHT, O.A.B. 1986. *Prospecção Geoquímica*. Curitiba: MINEROPAR – Minerais do Paraná, 1986. 170p.

LOPES-JUNIOR, I.; FIGUEIREDO, B.R.; ENZWELLER, J.; VENDEMIATTO, M.A. Chumbo e Arsênio nos Sedimentos do Rio Ribeira do Iguape, SP/PR. In: SILVA, C.R.P.;

FIGUEIREDO, B.R.; CAPITANI, E.M.; CUNHA, F.G. *Geologia Médica no Brasil*. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. 220p.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, n.2, p. 63-154. 1947.

MACEDO, A.B. Poluição por mineração na bacia do Ribeirão Grande, Vale do Ribeira, PR. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 5., 1993, Curitiba. *Boletim de Resumos...* Curitiba: SBG, 1993. p.70-71.

MACINTYRE, D.G. SEDEX – Sedimentary-Exhalative Deposits. In: MACMILLAN, W.J.; HÖY, T.; MACINTYRE, D.G.; NELSON, J.L.; NIXON, G.T.; HAMMACK, J.L.; PANTELEYEV, A.; RAY, G.E.; WEBSTER, I.C.L. *Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera*. British Columbia: Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, 1991. 273p.

MACIEL-PINTO, F.M; GOMES, M.V.; FREITAS, T.M. *Relatório do Mapa Geológico da Região do Ribeirão dos Monos (Cerro Azul, PR)*. 2009. 124 p. Relatório (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MINEROPAR. (Ed.). *Atlas Geológico do Estado do Paraná*. Curitiba: MINEROPAR, 2001. 116p.

_____. *Mapa Geológico do Estado do Paraná*. Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

_____. *Shapefiles do Mapa Geológico do Estado do Paraná*. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2014.

MANIESI, V. *Petrologia das rochas anfíbolíticas das regiões de Adrianópolis, Campo Largo e Rio Branco do Sul/PR*. 1997. 215p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

MME. *Projeto Usinas de Beneficiamento. Estudo de Minérios Sulfetados de Chumbo e Zinco. Relatório Final*. Brasília, 1980.

MARINI, O.J.; TREIN, E.; FUCK, R.A. O Grupo Açungui no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, v.23, n.25, p. 43-104. 1967.

MARINI, O.J. *Geologia da Folha de Rio Branco do Sul*. 1970. 190 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1970.

MORAES, R.P. *Transporte de Chumbo e Metais Associados no Rio Ribeira de Iguape, São Paulo, Brasil*. 1997. 105p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

ODAN, Y.; FLEISCHER, R.; ESPOURTEILLE, F. Geologia da Mina de Chumbo de Pannels – Adrianópolis – PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. *Anais...* Recife: SBG, 1978. v.4, p.1545-1552.

OLIVEIRA, E.P. *Geologia do Estado do Paraná*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1916. 143 p.

PARADIS, S.; HANNIGAN, P.; DEWING, K. Mississippi Valley-Type Lead-Zinc Deposits. In: GOODFELLOW, W.D. *Mineral Deposits of Canada: a Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, The Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. St. John's: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 2007. p.185-203.

PETRI, S.; SUGUIO, K. *Sobre os metassedimentos do Grupo Açungui do extremo sul do estado de São Paulo*. Secretaria de Serviço Público – Serviço Vale do Ribeira, São Paulo, 1969. 98 p

PIEKARZ, G.F. 1981. Reconhecimento das unidades correlacionáveis à sequência mineralizada Perau – Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG, 1981. v.1, p.148-154.

PIEKARZ, G.F. 1984. Geologia e Resultados Preliminares da Pesquisa Mineral no Núcleo Betara da Formação Perau (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.8, p.3682-3696.

PONTES, J.B. Investigação geológica preliminar na região de Itaiacoca – PR. In: Relatório Interno. *Projeto Açungui 1979*. Curitiba: MINEROPAR, 1980. 14p.

PONTES, J.B. Geologia e potencialidades econômicas da Formação Água Clara - Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1982. v.3, p.1002-1016.

ROBB, L.; *Introduction to Ore-Forming Processes*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 2005. 386p.

REUER, M.K.; BOWER, N.W.; KOBALL, J.H.; HINOSTROZA, E.; MARCAS, M.E.D.L.T.; SURICHAQUI, J.A.H.; ECHEVARRIA, S. Lead, Arsenic, and Cadmium Contamination and Its Impact on Children's Health in La Oroya, Peru. *ISRN Public Health*, New York, USA, v.2012, p.1-12. 2012

SALAMUNI, R.; BIGARELLA, J.J. Estudos preliminares na série Açungui VIII – A Formação Votuverava. *Boletim do Instituto de História Natural*, Curitiba, Geologia, v.2, p. 1-6. 1958.

SALAMUNI, R.; BIGARELLA, J.J. Contribuição à geologia do Grupo Açungui. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, Curitiba, Geologia, v.23, p. 1-29. 1967.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica dos Escudos da Guiana e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003. 642p.

SCHÖLL, W.U.; LOPES, O.F.; SILVA, A.C.G.A.; PROZZI, C.R. Geologia do Pré-Cambriano da Região do Anticlinal do Setuva (municípios de Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul – PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. *Anais...* Camboriú: SBG, 1980. v.5, p.3002-3012.

SCHÖLL, W.U.; SILVA, A.C.G.A.; MONASTIER, M.S. A Formação Setuva do pré-cambriano do Estado do Paraná: uma revisão crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32.,1982, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1982, v.1, p.55-63.

SILVA, D.C.; FELIPE, R.S.; PONTES, J.B. Nota sobre as ocorrências de fluorita no Vale do Ribeira (PR) In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. *Atas...* Curitiba: SBG, 1981. v.1, p.21-35.

SILVA, R.B.; MAEYAMA, O.; PEROSA, P.T.Y.; ALMEIDA, E.B.; SARAGIOTTO, J.A.R. Considerações Sobre as Mineralizações de Chumbo, Zinco e Prata do Grupo Açungui no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1982. v.3, p.972-986.

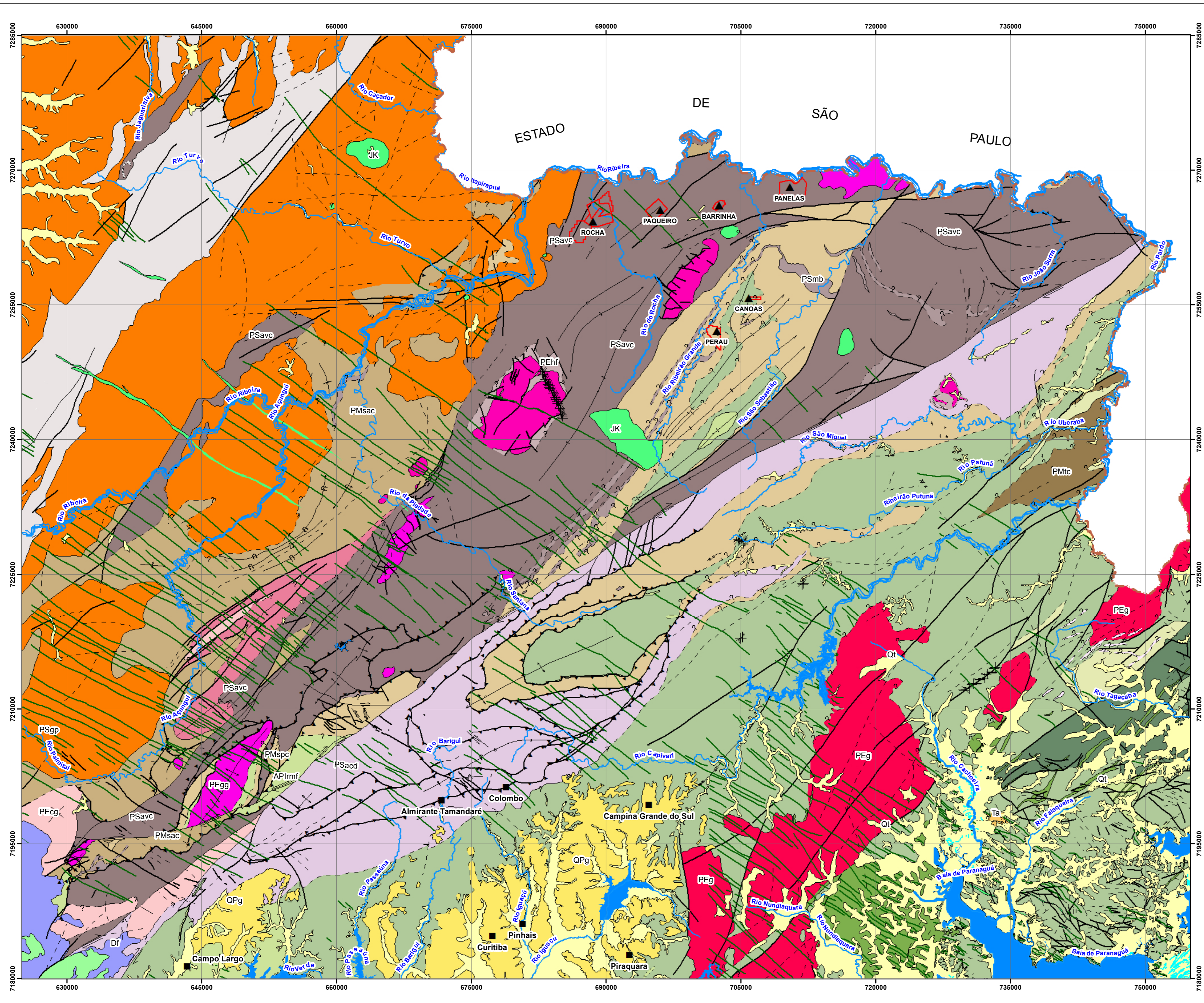
SLOMPO, P.H. *Pedro Henrique Slompo*. Apiaí, 2012. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/user/3675529/>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

SUPERQUÍMICA. *Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos*. Canoas, 2014. Disponível em: <<http://www.superquimica.com.br/?open=/>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

TESSLER, M.G.; SUGUIO, K.; RABIOLOTTA, P.R. Teores de alguns elementos traços metálicos em sedimentos pelíticos da superfície de fundo da região lagunar de Cananéia-Iguape. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS. CANANÉIA, 1987, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ACIESP, 1987. v.2, p.255-263.

TOUJAGUEZ, R.; OLIVEIRA, J.M.; FAGUNDES, F.; AMARAL, D.C.; ALEXANDRINO, R.C.S.; ZINN, Y.; MARQUES, J.J.S.M.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Caracterização Petromineralógica da Cava 3 A, Vazante-MG para fins de sua Recuperação Ambiental. Lavras, 2013. Disponível em: <http://www.cbmina.org.br/media/palestra_7/T60.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2014.

WEBMINERAL. Mineralogy Database. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://webmineral.com/>>. Acesso em: 13 jun. 2014.



MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA REGIÃO DE AFLORAMENTOS DAS FORMAÇÕES VOTUVERAVA E PERAU

CONVENÇÕES

	Principais mineralizações de Cu, Pb e/ou Zn		Contato Definido		Falha Transcorrente
	Principais Processos DNPM associados às mineralizações de Cu, Pb e/ou Zn.		Dobra		Falha Transcorrente Aproximada
	Sede de município acima de 30 mil habitantes		Falha Aproximada, Falha Provável		Limite Litológico
	Divisa Estadual		Falha Cavalcamento		Zona Cataclase
	Curso hídrico		Falha Cavalcamento Provável		Contato Aproximado Provável
	Corpo hídrico		Falha Definida		Contato Inferido
	Cordão Litorâneo		Falha Encoberta		Contato Suposto
	Dique, Falha Preenchida por Dique		Falha Inversa		

UNIDADES

	APlcca Complexo Cachoeira: Quartzitos, xistos, metarenitos, metarcósios, metacherts, anfibolitos, metabasitos, metaultrabasitos, gnaisses, ectinitos.
	APlg Complexo Granítico-Gnássico: Monzogranitos e granodioritos gnássicos.
	APImg Complexo Gnássico-Migmatítico: Gnaisses, migmatitos, xistos feldspáticos, ultrabasitos, metabasitos, anfibolitos, quartzitos, tonalitos, granodioritos, granitos foliados, granitos de anatexia.
	APImf Complexo Metamórfico Indiferenciado: Xistos, quartzitos, peridotitos serpentinizados, noritos, bandas ferríferas, metacherts, anfibolitos, metabasitos, microgranitos, metavulcânicas.
	APIsn Complexo Serra Negra: Enderbitos, opdalitos, granulitos, charnockitos, gnaisses, kinzigitos, dioritos, tonalitos, granodioritos.
	Df Formação Furnas: Arenitos.
	Egm Formação Guaratubinha: Granófiros, granitos, quartzo pórfiros e microgranitos.
	JKdb Grupo São Bento: Diques de basalto, diabásios, gabros e dioritos.
	JK Intrusivas Alcalinas: Sienitos, foiaitos, malignitos, ijolitos, essexistos, urtilos, fonolitos, tinguaítos, dioritos, sienodioritos, pulasquitos, microsienitos, traquitos, bostonitos, brechas, gabros.
	PCi Grupo Itararé: Arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitos, tilitos, níveis de carvão.
	PEcg Formação Camarinha: Conglomerados, arenitos arcoseanos, siltitos, argilitos.
	PEg Suíte Álcali-Granitos: Álcali-granitos.
	PEgc1A Suíte Monzogranitos. Monzogranitos.
	PEgg Suíte Sienogranitos: Sienogranitos.
	PEhf Fácies hornblenda hornfels: hornfels e escarnitos.
	PEhmaga Complexo Máfico Ultramáfico de Piên: Metagabros, hornblenditos, anfibolitos e gnaisses.
	PMsac Formação Água Clara: xistos e mármore.
	PMspsc Formação Perau: Xistos, quartzitos, metacalcários, metadolomitos, mármore, formações ferríferas, metavulcânicas, metacherts.
	PMtc Complexo Turvo Cajati: Xistos, mármore, gnaisses.
	PSaaA Formação Antinha: Metassiltitos, metaconglomerados, metarenitos, metarrimtos, microconglomerados, metacalcários.
	PSacd Formação Capiru: Metassiltitos, filitos, metarrimtos, ardósias, xistos, mármore, metadolomitos, quartzitos, metacherts, metarenitos, metarcósios.
	PSalan Formação Itaiacoba: Metarrimtos, ardósias, xistos, mármore, metadolomitos, metacherts, metacalcários, migmatitos, quartzitos, anfibolitos, metarcósios, metasubarcósios, filitos.
	PSavc Formação Votuverava: Metassiltitos, xistos, filitos, metarrimtos, ardósias, tufo, mármore, metacalcários, calciossilicáticas, metadolomitos, epicalcários, quartzitos, metarenitos, metarcósios, metaconglomerados, metagrauvacas.
	PSgp Suíte Monzogranitos e Granodioritos Porfíridos: Monzogranitos, granodioritos, sienogranitos.
	PSmb Metabasitos: Metabasitos, anfibolitos e xistos.
	QA Sedimentos Recentes: Areias marinhas de fundo raso e areias de praias.
	QHa Sedimentos Recentes: Aluviões, areias, siltes, argilas, cascalhos de canais, barras e planícies de inundação.
	QHm Sedimentos Recentes: Sedimentos flúvio-marinhos associados à manguezais, sedimentos argilo-silítico-arenosos de paleoestuários.
	QPg Formação Guabirotuba: Argilas, arcósios, areias e cascalhos.
	Qt Sedimentos Recentes: Depósitos de talus.
	Qm Sedimentos Recentes: Sedimentos marinhos de plaície costeira, cordões litorâneos.
	Ta Formação Alexandra: Conglomerados, arcósios, areias e argilitos.