

## Depósitos minerais e previsão de Impactos Ambientais: Os modelos genéticos Perau e Pannels no estado do Paraná (Brasil)

Fábio Maciel-Pinto <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geólogo (UFPR), Especialista em Política e Economia Mineral (UFPA), Especialista em Perícia e Auditoria Ambiental (UNINTER), Perito, Consultor e Pesquisador Independente (\*Autor correspondente: [fabiomacielpinto@gmail.com](mailto:fabiomacielpinto@gmail.com))

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 21/10/2019 – Revisado em: 19/12/2019 – Aceito em: 08/01/2020

### RESUMO

O impacto ambiental negativo é a alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do ambiente, causada por ação antrópica direta ou indireta. A identificação e estimativa da probabilidade de ocorrência de um impacto pressupõe a elaboração de diagnósticos das áreas afetadas. Os diagnósticos propiciam a previsão e a avaliação dos impactos, os quais refletem o potencial de degradação de uma atividade antrópica. No caso de atividades de mineração, o potencial varia de acordo com a extensão e a localização da mina, produção bruta e beneficiada, métodos e equipamentos de lavra e de beneficiamento. Contudo, talvez o principal fator seja a constituição mineralógica do minério, rochas encaixantes, ganga, estereis e rejeitos e os quais refletem a constituição do depósito, além dos insumos utilizados no beneficiamento. Visando estudar os impactos que podem ser oriundos da exploração de depósitos minerais, foram analisados aqueles dos tipos Perau e Pannels, pertencentes aos modelos Sedimentar Exalativo (SEDEX) e Mississippi Valley (MVT), hospedados nas Formações Perau e Votuverava dos Grupos Setuva e Açungui. Os depósitos Perau e Pannels são mineralizados em Pb, Zn, Ba, Cu, Ag, Au, conjuntamente foram analisados os insumos utilizados em uma unidade de beneficiamento que existiu na Mina de Pannels. O estudo indicou que as atividades provocaram impactos sobre o ambiente e a sociedade, inclusive sobre a saúde humana. Ainda que o estudo não esgote os prováveis impactos, foi possível elaborar rotina que pode servir como base para métodos de avaliação de impactos centrados em aspectos geológicos de depósitos, jazidas minerais e de empreendimentos de mineração.

**Palavras-chave:** Avaliação de Impactos, Perau, Pannels, SEDEX, MVT.

### Mineral Deposits, Environmental Impact Prevision: The Perau and Pannels Models, Paraná State (Brazil)

### ABSTRACT

A negative environmental impact is an adverse alteration of the physical, chemical or biological properties of the environment. These negative changes can be caused by direct or indirect human action. To estimate the probability of occurrence of impacts it is necessary identifying and evaluating processes of how the expected changes affect the environment. These processes provides the prediction and assessment of the impacts and explains the degradation potential. In mining activities the potential varies according to mine location and size, nameplate capacity, mining technics, mineral processing technics and kinds of equipment or machinery used. However the main factors are the ores, host rocks, gangues, tailings and slags compositions. Usually the chemical composition reflects the geology of the mineral deposit. Thus, this study analyzed the environmental impacts related to the Perau and Pannels Mineral Deposits, which belongs to the *Sedimentary exhalative* (SEDEX) and Mississippi Valley (MVT) models and are hosted in the Perau and Votuverava Formations, Açungui and Setuva Groups. The Deposits shows Pb, Zn, Ba, Cu, Ag and Au mineralizations. Furthermore, was analyzed the processing plant of the Pannels Mine. The study showed that the mining activities 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 more accurate methods of environmental impact assessment focused on ore deposits and mining enterprises.

**Keywords:** Environmental Impact Assessment, Perau, Pannels, SEDEX, MVT.

## 1. Introdução

Pioneiramente introduzida nos Estados Unidos da América (EUA), com a promulgação do *National Environmental Impact Assessment (NEPA)* no ano de 1969 (Prado-Filho & Souza, 2004), a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) é uma ferramenta baseada em diagnósticos sociais e ambientais interdisciplinares, que visa reunir informações e análises quanto à viabilidade ambiental de um empreendimento, ou projeto. A avaliação abrange, inclusive, mecanismos de prevenção, controle e mitigação de danos decorrentes das interferências antrópicas no meio ambiente e na sociedade.

No Brasil, a AIA foi introduzida pela Lei Federal 6938 de 1981, mas, somente com o advento da Resolução CONAMA 001/86 de 23/01/1986 e o estabelecimento de critérios técnicos e diretrizes para a elaboração dos estudos de impacto ambiental, é que a AIA passou efetivamente a ser conduzida em toda a Federação (Prado-Filho & Souza, 2004). No entanto, foi o Decreto Federal nº 99.274 de 1990 que regulamentou, definitivamente, a AIA e estabeleceu que tal avaliação é parte do licenciamento ambiental de atividades que podem provocar significativos impactos ambientais (Prado-Filho & Souza, 2004).

Segundo Santiago et al. (2015), ainda que para alguns, a análise da variável ambiental nos projetos de empreendimentos, seja considerada como mera formalidade e, conseqüentemente, não atinja a qualidade esperada, a AIA se trata de instrumento que promove o debate sobre as conseqüências das atividades antrópicas, ao passo que pode incentivar a organização da comunidade atingida através da inclusão desta no processo decisório; promover o direito ao ambiente ecologicamente equilibrado e o dever de preservá-lo; modificar projetos para aumentar a aceitabilidade no processo de licenciamento; e interromper a concepção de projetos ambientalmente inviáveis. Compreende-se que a AIA, com a inerente predição da significância dos impactos ambientais, promove a identificação, previsão e avaliação de impactos que condicionam a viabilidade ambiental de um projeto (Sandoval & Cerri, 2009), ou empreendimento que poderá trazer graves conseqüências à sociedade e ao meio ambiente. Porém, há de se contornar a citada baixa qualidade para atingir a máxima eficiência das AIA e a máxima proteção à sociedade e ao ambiente. Esses problemas se relacionam, majoritariamente, à incapacidade técnica, ao desconhecimento técnico-científico, à avaliações tendenciosas e à inaptidão para agir em casos que não foram previstos na literatura técnica e científica. Em geral, os problemas surgem desde o início da elaboração dos estudos ambientais e tendem a conduzir a atos falhos no processo de avaliação de impactos.

Por exemplo, as deficiências podem começar no escopo das AIA, quando desconsideram as minúcias dos diferentes *layouts* e características dos empreendimentos; o meio em que se pretende implantar o projeto e as diferenças entre biomas; estendendo-se à pouca participação de entidades interessadas nas avaliações; falhas na identificação, previsão e avaliação dos impactos; e à redações que dificultam o entendimento dos decisores e do público interessado (Sandoval & Cerri, 2009; Santiago et al., 2015). Além disso, por mais bem elaborados que sejam os estudos que baseiam a AIA e por mais bem conduzido que seja o processo decisório de licenciamento ambiental, de nada valerá o esforço se a etapa de avaliação de impactos não for seriamente executada (Sandoval & Cerri, 2009). Desse modo, permite-se a concessão de licenças a empreendimentos que gerarão impactos não previstos (Vulcanis, 2013).

No caso específico das atividades de mineração, altamente modificadoras do meio em que se inserem e com alto potencial para causar impactos negativos, Prado-Filho & Souza (2004) observam que a realidade operacional e de mercado impõe dinamismo aos empreendimentos, podendo fazer com que ações ambientalmente proativas não sejam postas em prática, ou não sejam executadas corretamente. Acrescentam que a visão empresarial é fator que influencia nas questões ambientais, mesmo após a adoção de medidas de controle estabelecidas na fase de licenciamento ambiental. A pressão pela obtenção de resultados operacionais e econômicos, conduz a situações que infligem à AIA, erros cruciais na identificação, mensuração de impactos relevantes e provoca no empreendimento em operação, riscos ambientais adicionais.

Mechi & Sanches (2010), ao abordar atividades de mineração no Estado de São Paulo, concluíram que os procedimentos envolvidos no licenciamento ambiental não eram satisfatórios. Os autores identificaram que, com elevada frequência, a mineração se desenvolvia em locais sensíveis ambientalmente e importantes para a preservação da biodiversidade, dos recursos hídricos e da paisagem, revelando equívocos técnicos que

minimizavam os impactos ambientais.

Outros estudos, demonstram que os problemas associados aos impactos da mineração, são antigos e ainda carecem de discussão e maior dedicação da comunidade técnica e científica. Gothe (1993), ao estudar impactos da mineração de carvão energético em Santa Catarina, concluiu que as influências ambientais geradas, dependem dos vários métodos de lavra e beneficiamento adotados, sendo que os métodos de disposição de materiais como rejeitos, efluentes líquidos, águas de drenagem de mina e de pilhas, contribuem para a produção de impactos ambientais negativos. Igualmente, concluiu que o fechamento de uma mina, não encerra o processo poluidor, ou de impacto, o qual continua enquanto houver material contaminante exposto às intempéries (Gothé, 1989 apud Gothe, 1993). O autor identificou que os principais impactos estavam associados a um componente mineral do minério, a pirita (FeS<sub>2</sub>) que ao oxidar exposta às intempéries, gera ácido sulfúrico. Segundo o autor, o ácido gerado pode, ainda, contribuir para a dissolução de outros minerais metálicos do minério. Tal situação, ocasionou graves problemas associados à drenagem ácida na Bacia Carbonífera de Santa Catarina, sendo necessário, inclusive, a ação do Ministério Público Federal (MPF).

Já ao consultar Fayal (2003) que analisou os aspectos dos impactos sociais descritos nos estudos ambientais de uma mina de cobre no Estado do Pará, dotada de usina de concentração de minério e barragem de rejeitos, percebemos que não há menção sobre impactos sociais importantes que podem ser derivados de impactos ambientais, como rompimentos de barragens, contaminação de águas superficiais, de solos e da atmosfera. A importância da previsão de impactos sociais derivados de impactos ambientais, pode ser verificada ao analisar a crise social ocorrida após rompimentos de barragens nos municípios de Mariana e Brumadinho, Estado de Minas Gerais. Inclusive, através da Resolução 14/2019 do Conselho Nacional de Direitos Humanos, as situações decorrentes do rompimento da barragem em Mariana, foram consideradas crime contra os direitos humanos.

Conforme observado por Matta et al. (2010), em análise de um projeto associado a minério de ferro no Amapá, em certos casos, ocorre a tendência de minimizar certos impactos, denotando parcialidade nas análises ambientais. Tal situação, pode abranger a ocultação, ou desconsideração de certos impactos potencialmente graves ao meio ambiente e à sociedade. A não identificação de determinados impactos, já foi mencionada por MPU (2004), o qual constatou que em certos casos, alguns impactos sequer são mencionados, apesar de previsíveis, acontecendo o mesmo para impactos decorrentes de atividades associadas ao projeto principal do empreendimento. Inclusive, a fonte cita que tal situação foi identificada em áreas de exploração de jazidas e barragens de rejeitos. Ademais, MPU (2004) constatou que muitos estudos ambientais concluem pela viabilidade ambiental de projetos, sem que antes tenha sido possível caracterizar completamente o ambiente.

Constata-se que deficiências em estudos ambientais e, conseqüentemente, em Avaliações de Impactos Ambientais não são exceções. A condução deficitária dos estudos e diagnósticos ambientais pode culminar em situações ambientalmente e socialmente graves. Há de se levar em conta casos como o da cidade peruana de La Oroya, afetada por contaminação por metais pesados oriunda de complexo metalúrgico, no qual ocorria a recuperação de Cu, Au, Ag, As, Sb, Cd, Bi e Pb (Reuer et al., 2012). O complexo criou uma crise de saúde pública na cidade, sendo que as principais vítimas foram crianças, afetadas por problemas neurológicos e deficiências causados pela contaminação do solo, biota, atmosfera e águas por metais pesados (Reuer et al., 2012).

Assim, visando avaliar as potencialidades de impactos negativos associados a depósitos minerais, jazidas e instalações de beneficiamento de minério, através do estudo da constituição do minério e dos insumos de beneficiamento, este trabalho analisou os depósitos minerais dos tipos Perau e Pannels, bem como o fluxograma de uma usina de beneficiamento, outrora instalada na Mina de Pannels. Deste modo, objetivou-se identificar e relacionar os principais componentes dos minérios dos depósitos e do minério; identificar e relacionar os principais insumos utilizados nas instalações de beneficiamento; levantar os impactos ambientais negativos passados, atrelados às minas que explotavam o minério, à usina de beneficiamento e relacioná-los aos constituintes do minério e aos insumos de beneficiamento; propor meio de avaliação das associações minerais e insumos quanto aos danos identificados, classificando-os de acordo com a importância e probabilidade de ocorrência de impactos ambientais.

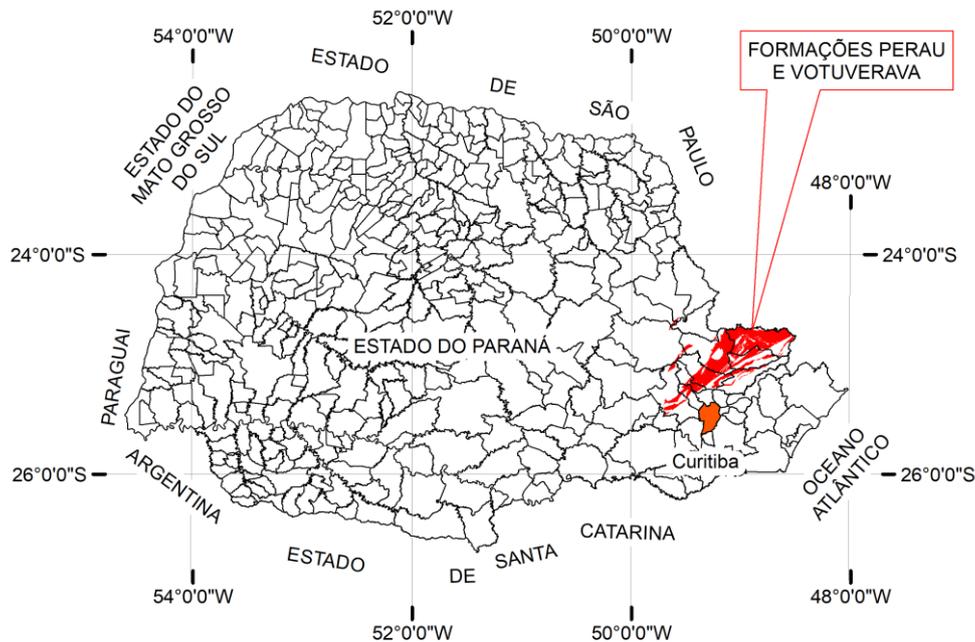
Pretende-se, desse modo, contribuir para a melhoria das Avaliações de Impactos Ambientais da mineração, alertando para a necessidade da análise completa dos constituintes do minério, dos insumos de beneficiamento, dentre outros produtos, subprodutos e atividades secundárias associadas ao empreendimento mineiro. Pretende-se, finalmente, alertar para a subutilização de informações técnicas preexistentes, como aquelas relativas a impactos ambientais comprovados e ocorridos, associados a empreendimentos correlatos, bem como às informações disponíveis sobre a própria jazida, ou depósito mineral pretendido para a lavra.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

As Formações Perau e Votuverava, hospedeiras dos depósitos Perau e Panelas, afloram em faixa de abrangência regional com direção NE-SW ao norte de Curitiba/PR (Figura 01) e são consideradas, respectivamente, bases do Grupo Setuva e do Grupo Açungui.

**Figura 01** – Região de ocorrência das Formações Votuverava e Perau, no Estado do Paraná.



Fonte: Autor (2019).

### 2.2. Características dos Depósitos Minerais dos Tipos Perau e Panelas

A Formação Perau é subdividida nas subunidades Sequência Quartzítica, Carbonatada, Xistosa Clástica, Rochas Metabásicas, Rochas Metavulcânicas e Metavulcanoclásticas (Fritzsons-Junior et al., 1982). Os depósitos do tipo Perau, característicos dessa Formação, são sedimentar-exalativos de ambiente vulcanogênico distal, com modelo genético compatível com os depósitos estratiformes distantes da estrutura vulcânica SEDEX, ou Rosebery (Biondi, 2003).

Os depósitos Perau apresentam mineralizações de sulfetos de Pb, Ag, Zn, Cu, Au e Barita (Biondi, 2003). Essas mineralizações estão hospedadas em rochas carbonáticas e pelito-carbonáticas da Sequência Carbonatada, sendo compostas pelos minerais calcopirita, galena, esfalerita, pirita, pirrotita, sulfossais (fases portadoras de Ag: tetraedrita, freibergita, pirargita, stephanita e polibasita) e magnetita (Fritzsons-Junior et al.,

1982; Biondi, 2003).

Por outro lado, a Formação Votuverava é subdividida nas subunidades Conjunto Bromado, Coloninha e Saivá (Fiori, 1992). Os depósitos do tipo Painéis, característicos dessa Formação, tem gênese associada à zona de cisalhamento Ribeira do sistema Lancinha-Cubatão, sendo que se aventa que as mineralizações são epigenéticas do tipo Mississippi Valley (MVT) (Biondi, 2003).

Nos depósitos Painéis, os corpos mineralizados são filoneanos, ou concordantes com as encaixantes e apresentam mineralizações de Pb, Ag, Cu e Au, sendo que os minerais de minério abrangem galena, esfalerita, pirrotita, bornita, tetraedrita, argentita, neodigenita, calcocita, anglesita, cerusita, piromorfita, além de bournonita, tennantita-tetraedrita, electrum e arsenopirita (Biondi, 2003).

### 2.3. Impactos e Passivos ambientais

A exploração dos depósitos objetivou, principalmente, a recuperação de Pb. Como principal *commodity* recuperada, o Pb é considerado o maior responsável pelos impactos e passivos ambientais associados à exploração.

Estima-se que a atividade de lavra tenha iniciado sistematicamente no final do Século XIX (Odan et al., 1978). A exploração dos depósitos passou à fase de encerramento a partir da década de 1980, culminando na paralisação total na década de 1990. Durante o período de operação e após o encerramento das atividades minerárias, houve contaminação ambiental por escórias e rejeitos de beneficiamento, provenientes dos processos de concentração dos metais e de metalurgia para o refinamento do concentrado.

Segundo Cunha (2003), em 1945 começou a operar em Adrianópolis/PR, uma usina de beneficiamento de minério que até 1990 lançou no Rio Ribeira e empilhou junto às suas margens, a escória de forno (2,5% de Pb) e o rejeito (lodo de flotação com 0,7% de Pb).

Guimarães (2007) amostrou pilhas de rejeitos de concentrado em minas que exploravam os depósitos e pilhas de escória de metalurgia na usina de beneficiamento. Nas pilhas de rejeito, Guimarães (2007) encontrou teores máximos de 12.034ppm de Pb (1,25% de PbO), 18.135ppm de Pb (1,95% de PbO) e de 35.540ppm de Pb (3,63% de PbO).

Tessler et al. (1987), em estudo de sedimentos do sistema estuarino lagunar Iguape-Cananéia, encontraram concentrações máximas de 105ppm/Zn, 246,8ppm/Pb e 292,4ppm/Cu. Os autores correlacionaram esses teores às descargas de rejeitos e escórias no Rio Ribeira. Posteriormente, em estudo de sedimentos de corrente, Moraes (1997) identificou teores máximos de Pb de 619µg/g (619ppm). Já Cunha (2003), encontrou teores máximos de Pb de 527,2µg/g (527,2ppm) e informa que houve o lançamento para a atmosfera de particulado enriquecido em Pb, SiO<sub>2</sub>, Cu, Sn, Bi, As, Cd, que se depositou nos solos adjacentes à usina de beneficiamento.

Segundo Cunha (2003), as atividades minerárias e de beneficiamento atingiram vilas operárias próximas à usina, causando danos à saúde humana. Estudos com crianças de 7 a 14 anos, moradoras das vilas, mostraram concentrações médias de 11,89µg/dL (0,1189ppm) de Pb no sangue, com um máximo de 37,8µg/dL (0,378ppm), valores considerados prejudiciais à saúde (Cunha, 2003). Para Guimarães (2007), a biota do Rio Ribeira também foi afetada. O autor constatou concentração máxima de 4,53µg/g (4,53ppm) de Pb em tecidos de bivalves, o que atribuiu à presença de grãos de escória e metais pesados nos sedimentos de corrente que, segundo o autor, são oriundos das atividades minerárias. Corroborando, Moraes (1997) verificou que as assinaturas isotópicas do chumbo dos sedimentos de corrente do Rio Ribeira, revelam que a principal correspondência é com as galenas dos depósitos do tipo Painéis. Segundo o autor, o principal meio de contaminação e de transporte dos metais, ocorreu através dos sólidos em suspensão na água.

Moraes (1997), estimou que em 1995 a massa de chumbo transportada no Rio Ribeira, era de 151t. Nesse contexto, em estudo de rios da bacia do Rio Ribeira, CETESB (1986) detectou teores de 2560mg/kg de Pb (2560ppm) nos sedimentos de corrente do Ribeirão do Rocha, afetado pela mineração. Macedo (1993), em estudo de sedimentos de corrente nas microbacias do Ribeirão Grande e do Rio Perau, afetados pelas atividades minerárias, encontrou teores de Pb superiores a 20.000mg/kg (20.000ppm).

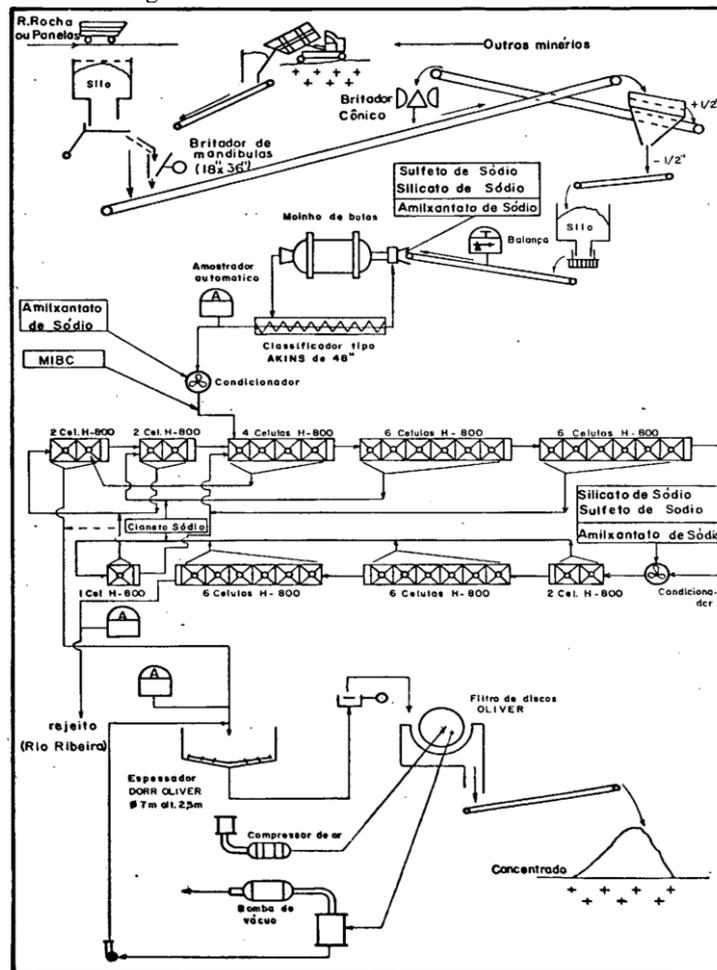
## 2.4. Características do Processo de Beneficiamento, Rejeitos, Escórias e Concentrado

A análise foi realizada através de um fluxograma de beneficiamento utilizado, ao menos, entre as décadas de 1970 e 1980 (Figura 02), bem como em descrição do processo constante na fonte MME (1980).

Os minérios com cerusita e galena eram tratados em dois estágios de flotação. No primeiro, adicionava-se amil xantato de sódio (AMX) e metil isobutil carbinol (MIBC); no segundo, o material não flotado recebia sulfeto de sódio, silicato de sódio e amil xantato de sódio (MME, 1980). Os minérios com quantidade insignificante de cerusita eram tratados estágio único, sendo que nesses casos, utilizava-se sulfeto de sódio, amil xantato de sódio, silicato de sódio e, quando verificada proporção significativa de pirita, tanto na flotação em dois estágios, como em estágio único, adicionava-se cianeto de sódio (MME, 1980).

Os concentrados obtidos apresentavam teor de chumbo de cerca de 50%, com recuperação próxima a 94%, já o material restante, não flotado, era descartado como rejeito de beneficiamento (MME, 1980). Esse rejeito tratava-se do material com certa quantidade de elementos químicos de interesse, porém subeconômico e de altos custos para a continuidade do beneficiamento.

Figura 02 – Fluxograma de Beneficiamento de Chumbo da Usina de Painelas



Fonte: MME (1980).

A seguir, o concentrado era encaminhado para processo metalúrgico, constituído basicamente por pelotização e sinterização, redução em alto-forno e refino. O concentrado era pelotizado com SiO<sub>2</sub>, CaO, escória e ligantes a frio, já na sinterização, as pelotas eram ustuladas e sinterizadas em máquinas de grelha

móvel e aspiração inferior “Dwight-Lloyd” (MME, 1980). Após o processo, as pelotas obtinham resistência para a aplicação em alto-forno tipo “Water Jacket”, no qual ocorria a extração pirometalúrgica do chumbo (MME, 1980).

A carga do alto-forno era constituída por camadas alternadas de sínter e coque, sendo que 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 (MME, 1980). Após as reações, o chumbo e a escória passavam ao cadinho e eram separados, sendo que após resfriada e britada, a escória era armazenada em pilhas e poderia ser reutilizada na pelotização (MME, 1980). Já o chumbo, seguia para processos finais de refino e extração, principalmente do Sb, Ag, Au e Zn (MME, 1980).

Quanto aos rejeitos e escórias de beneficiamento, Cunha (2003) analisou amostras de pilhas abandonadas e encontrou, respectivamente, 0,7% e 2,5% de Pb (~7.000ppm e ~25.000ppm). Guimarães (2007) indicou que o rejeito era enriquecido em Cu, Cr, Pb, Ag e Zn e a escória em Cu, Zn, Cr, Fe, Pb e As, com teores de até 3,83% de Pb (35.540ppm). Em adição, o rejeito apresentava substâncias altamente tóxicas, destacando-se o cianeto de sódio, e a escória apresentava, ao menos, Pb, Zn e Cd (MME, 1980). Desse modo, considera-se que além do cianeto de sódio, o rejeito poderia apresentar certas quantidades de sulfeto de sódio, silicato de sódio, AMX e MIBC.

## 2.5. Referencial para a Previsão e Avaliação de Impactos Negativos

Depósitos minerais representam locais onde os processos geológicos desenvolveram concentrações anômalas de certos minerais e/ou mineralóides. Por outro lado, as jazidas minerais são massas individualizadas de substâncias de interesse econômico que não apresentam, necessariamente, concentrações anômalas. Compreende-se que a lavra e o beneficiamento do minério de certos depósitos, ou jazidas, pode conduzir à redistribuição ambiental de elementos químicos potencialmente danosos. Desse modo, para o diagnóstico ambiental e avaliação de impactos, é preponderante conhecer a constituição do minério pretendido para lavra e respectivos processos de beneficiamento.

Neste trabalho, será utilizada a mineralogia dos depósitos dos tipos Perau e Panelas, conforme relatado anteriormente. Por fim, serão avaliadas as características, produtos e subprodutos do processo de beneficiamento do minério. Desse modo, a avaliação de impactos negativos, seguirá a seguinte rotina:

- a) Classificação das associações minerais e/ou compostos químicos (Tabela 01);
- b) Identificação dos danos ou impactos relacionados às associações minerais, ou compostos químicos (Tabelas 02 e 03);
- c) Avaliação do comportamento das associações minerais, ou compostos potencialmente danosos (Tabela 05)
- d) Indicação da importância dos danos ou impactos identificados (Tabela 06 e 07);
- e) Classificação da importância e probabilidade de ocorrência dos danos ou impactos (Tabela 08).

Na Tabela 01, constam os principais minerais dos depósitos. Os elementos comumente encontrados nos minerais são o Pb, Zn, Fe, S, Cu, Sb, Ag, As, Ba, O, Au, P, Cl, C. A Tabela 02 destaca os danos relacionados aos elementos e às concentrações que podem ocasionar prejuízos à qualidade do solo e águas. Os parâmetros legais foram baseados em Resoluções CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e as concentrações utilizadas para comparação, foram as mais restritivas.

Os principais danos estão associados ao Pb, Zn, Fe, S, Cu, Sb, Ag, As, Ba, P e Cl. Contudo, a ocorrência dos danos depende da disponibilidade dos elementos no ambiente. Observa-se que quanto menor a estabilidade ambiental de um elemento, maior é a probabilidade de ocorrência do dano. Assim, a AIA deve analisar fatores que influenciam na estabilidade mineral e na mobilidade dos elementos químicos.

Por outro lado, para o caso da unidade de beneficiamento, foi elaborada a Tabela 03. Esta tabela focou nos danos que podem ser causados pelos compostos utilizados no beneficiamento, além de danos associados

ao rejeito, escória e concentrado. A tabela baseou-se em fichas de informações químicas sobre o sulfeto de sódio, silicato de sódio, cianeto de sódio, AMX e MIBC. Contudo, além desses fatores, é preponderante o conhecimento dos teores e composição do *background* pré-instalação do empreendimento, já que quanto maiores os teores, igualmente maiores deverão ser os cuidados para não incrementá-los. Igualmente, deve-se estimar a magnitude do dano provável no tempo e espaço. Quanto à estabilidade dos minerais, observa-se que a região apresenta clima Cfa e Cfb de Köppen, temperado úmido com precipitação em todos os meses do ano, inexistência de estação seca e verões quentes a temperados. Essa situação propicia o intemperismo químico. O pH dos solos é ácido e varia entre cerca de entre 3,7 a próximo a 6,0 (MINEROPAR, 2005). Nessas condições, segundo Licht (1986), principalmente sulfetos e carbonatos tornam-se instáveis.

Por outro lado, o *background* encontra-se na Tabela 04. Esses dados correspondem ao Horizonte B dos solos. Quanto ao aspecto temporal, os impactos surgem desde a pesquisa mineral, avançando à fase de desenvolvimento, exploração, à fase de desmobilização ou fechamento da mina. Quanto ao caráter temporal, os danos são restritos, temporários, mas podem exceder o período de operação e fechamento da mina. Já no espaço, os danos podem se tornar regionais, dependendo do meio preferencial de transporte e/ou dispersão dos elementos, bem como dependendo dos métodos de disposição de rejeitos, estéreis, dentre outros produtos e subprodutos da lavra e do beneficiamento.

**Tabela 01** – Associações minerais do minério e indicação de suas fórmulas químicas básicas.

Modelo	Depósito	Classificação (Dana)	Mineral	Fórmula		
SEDIMENTAR EXALATIVO (SEDEX)	Perau	Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Galena	PbS		
			Esfalerita	ZnS		
			Pirita	FeS <sub>2</sub>		
			Pirrotita	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>		
			Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>		
		Classe 03 - Sulfossais	Tetraedrita	(Cu, Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>		
			Freibergita	(Ag, Cu, Fe) <sub>12</sub> (Sb, As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>		
			Pirargita	Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>		
			Stephanita	Ag <sub>5</sub> SbS <sub>4</sub>		
			Polibasita	[Ag <sub>9</sub> CuS <sub>4</sub> ][(Ag, Cu) <sub>6</sub> (Sb, As) <sub>2</sub> S <sub>7</sub> ]		
		Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos	Barita	BaSO <sub>4</sub>		
		MISSISSIPPI VALLEY (MVT)	Panelas	Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Galena	PbS
					Esfalerita	ZnS
Pirrotita	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>					
Calcocita	Cu <sub>2</sub> S					
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>8</sub>					
Arsenopirita	FeAsS					
Neodigenita	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>					
Argentita	Ag <sub>2</sub> S					
Classe 03 - Sulfossais	Bournonita			PbCuSbS <sub>3</sub>		
	Tennantita-Tetraedrita			(Cu, Fe) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> - (Cu, Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>		
	Tetraedrita			(Cu, Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>		
-	Electrum			Liga de Au e Ag		
Classe 07 - Múltiplos Óxidos	Magnetita			Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		
Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos	Anglesita			PbSO <sub>4</sub>		
Classe 14 - Carbonatos Anidros	Cerussita			PbCO <sub>3</sub>		
Classe 41 - Fosfatos Anidros, etc. Contendo Hidroxila ou Halogênio	Piromorfita	Pb <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Cl				

Fonte: Maciel-Pinto (2014); WEBMINERAL (2014).

**Tabela 02** – Identificação dos impactos relacionados aos elementos químicos das associações minerais do minério.

Elemento	Descrição do Impacto	Solo	Água Superficial	Água Subterrânea	Efluente
		Valor de	Classe 1	Consumo Humano	
		Prevenção	Resolução CONAMA		
		420/2009	357/2005	396/2008	430/2011
Pb	Migra nos ecossistemas. Contamina solo, água e ar. Acumula no ambiente. Contamina populações de plantas, microrganismos e invertebrados. Populações tolerantes à contaminação podem se desenvolver e alterar os ecossistemas. Diminui a biodiversidade e contamina alimentos. Afeta o desenvolvimento e a reprodução dos vertebrados. Gera problemas neurológicos, danifica neurônios e cérebro. Acumula nos ossos, afeta o sistema cardiovascular, gastrointestinal, nervoso, renal e reprodutivo. Afeta olhos, a formação do sangue, músculos e do esqueleto. Potencial carcinogênico. Pode causar a morte. Humanos são contaminados por alimentos, água, respiração e contato direto.	72mg/kg 72ppm	0,01mg/L 0,01ppm	10µg/L 0,01ppm	0,5mg/L 0,5ppm
Zn	Contamina solo, água e ar. Risco reduzido de intoxicação de plantas. Risco em solos com estoque de zinco elevado, exemplo de pilhas de mineração. Nos animais afeta a formação do sangue, danifica neurônios, pâncreas, o sistema gastrointestinal e respiratório. Humanos são contaminados pela ingestão de alimentos, água e respiração. A contaminação provoca náuseas, contrações severas no estômago, vômito, anemia e aumenta os níveis de colesterol.	300mg/kg 300ppm	0,18mg/L 0,18ppm	5000µg/L 5ppm	5mg/L 5ppm
Fe	Em geral associados a danos estéticos no meio ambiente, como mudança no odor e sabor da água.	-	0,3mg/L 0,3ppm	300 µg/L 0,3ppm	15mg/L 15ppm
S	Inofensivo quando isolado. Tóxico para certos microrganismos e, quando composto poeira, irrita os olhos. Associado aos sulfetos, gera drenagens e chuvas ácidas. Na forma de SO <sub>2</sub> afeta o sistema imunológico e respiratório humano. Na forma de SO <sub>3</sub> afeta a pele, sistema respiratório, gera ácidos e é cancerígeno.	-	-	-	-
Cu	Contamina solo, ar e água. Tóxico para bactérias e fungos. Nos animais se acumula no fígado, cérebro e rins. Afeta o sistema gastrointestinal, hepático e a formação do sangue. O homem pode ser contaminado através das vias respiratórias, água, alimentação e contato direto. Causa irritação nas vias respiratórias e na garganta, náuseas, vômitos, diarreia. Pode danificar pulmões e neurônios. Pode causar a morte.	60mg/kg 60ppm	0,009mg/L 0,009ppm	2000 µg/L 2ppm	1mg/L 1ppm
Sb	Contamina ar e solo. Nos animais danifica os rins, prejudica a formação do sangue, causa irritação na pele, infertilidade, carcinogênico, danifica neurônios, sistema cardiovascular e respiratório. Causa a morte. Humanos são contaminados pela água, alimentação, vias respiratórias e contato direto. Causa irritação nos olhos, pulmões, dores e úlceras no estômago, diarreia e vômito.	2mg/kg 2ppm	0,005mg/L 0,005ppm	5µg/L 0,005ppm	-
Ag	Contamina, principalmente, ar e água. Potencial carcinogênico. Pode causar a morte. Deposita-se na pele. Humanos são contaminados pela água, alimentos e respiração. Afeta o sistema renal, reprodutor e a pele.	2mg/kg 2ppm	-	-	-
As	Contamina ar, água e solo. Peixes e moluscos acumulam arsênio. Inibe o crescimento, inibe a fotossíntese e a reprodução, afeta o comportamento e causa a morte. Em níveis de contaminação elevados, apenas certos microrganismos são resistentes à exposição. Humanos são contaminados pela ingestão, respiração e contato direto. Afeta a pele, sistema gastrointestinal, hepático, nervoso, respiratório e é cancerígeno. Causa náuseas, vômito, afeta a produção de células do sangue, danifica vasos sanguíneos, causa arritmia cardíaca, afeta a pele.	15mg/kg 15ppm	0,01mg/L 0,01ppm	10µg/L 0,01ppm	0,5mg/L 0,5ppm
Ba	Contamina ar, solo e água. Acumula em peixes e organismos aquáticos. Tóxico para plantas e animais. Humanos são contaminados pela ingestão, inalação e contato direto. Afeta o sistema cardiovascular, gastrointestinal e a reprodução. Causa distúrbios gastrointestinais, fraqueza muscular, vômito, contrações 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, com 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	-	-	-	-	-

Fonte: Maciel-Pinto (2014); ATSDR (2011); LEAD (1993); EPA (2014); CONAMA (2005, 2008, 2009, 2011).

**Tabela 03** – Identificação dos impactos relacionados aos compostos químicos utilizados no beneficiamento, rejeito, escória e concentrado.

<i>Composto</i>	<i>Descrição do Impacto</i>
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 cegueira, 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 umidade 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.

Fonte: Maciel-Pinto (2014); SUPERQUÍMICA (2014); DQI (2014); CARBOCLOR (2006).

**Tabela 04** – Background dos elementos potencialmente danosos. Horizonte B dos solos.

<i>Elemento Químico</i>	<i>Background</i>
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

Fonte: Maciel-Pinto (2014); MINEROPAR (2005).

### 3. Avaliação dos Impactos

Salienta-se que, em geral, as avaliações de impactos são subjetivas, condicionadas ao histórico de impactos ambientais de empreendimentos pretéritos, e podem apresentar consideráveis variações de acordo

com o método de análise, ou o pessoal técnico envolvido.

Para a efetiva mensuração e avaliação dos impactos, foi elaborada a Tabela 05. Esta tabela é aplicável à avaliação do comportamento e influência de um composto, ou elemento químico, no meio circundante. Além disso, serviu para a avaliação da capacidade de produzir danos no espaço/tempo. Na tabela, são somados os pontos correspondentes às células que indicam características do elemento, ou composto, meio circundante e danos prováveis.

Aplicou-se a Tabela 05 para fins de somatório de pontuação de avaliação de comportamento, avaliando-se isoladamente os impactos prováveis indicados para cada elemento químico que compõe os minerais do minério, conforme as Tabelas 01 e 02. As informações contidas nas Tabelas 01 e 02 serviram ao somatório das seguintes colunas da Tabela 05: parâmetros Ambientais, biota e saúde humana.

Por outro lado, o caráter de estabilidade levou em conta o clima, propício ao intemperismo químico dos sulfetos e carbonatos, e os teores de *background* da Tabela 04. Finalmente, os caracteres de temporalidade, reversibilidade e extensão, basearam-se nas informações constantes nos itens 2.3. *Impactos e Passivos Ambientais* e 2.4. *Características do Processo de Beneficiamento, Rejeitos, Escórias e Concentrado*.

**Tabela 05** – Avaliação de comportamento de um elemento químico, ou composto, danoso ao meio ambiente.

Efeito Cumulativo (escolher, nas colunas, a célula que melhor corresponde aos impactos e somar valores da esquerda para a direita)						
Parâmetros Ambientais	Biota e Saúde Humana	Estabilidade	Temporalidade do Dano	Reversibilidade do Dano	Extensão ou Geografia do Dano	
<i>Ao realizar o somatório, considerar os danos causados tanto pelo elemento isolado, como pelo composto como um todo</i>						
Efeito não Cumulativo (não somar valores nas mesmas colunas)	Altera os parâmetros de qualidade ambiental.	Não afeta diretamente a biota, ou a saúde humana. <b>(1 PONTO)</b>	Estável nas condições ambientais normais. <b>(1 PONTO)</b>	Dano temporário e restrito ao período de operação da mina. <b>(1 PONTO)</b>	Dano totalmente reversível. <b>(1 PONTO)</b>	Dano local, restrito à mina. <b>(1 PONTO)</b>
		Produz danos diretos à biota. Não afeta a saúde humana. <b>(2 PONTOS)</b>	Instável nas condições ambientais normais. <b>(2 PONTOS)</b>	Dano temporário e excede o período de operação da mina. <b>(2 PONTOS)</b>		Dano local, restrito à mina e ao(s) município(s) de operação da mina. <b>(2 PONTOS)</b>
		Produz danos diretos à biota e à saúde humana. <b>(3 PONTOS)</b>	Instável nas condições ambientais normais e apresenta <i>background</i> natural elevado. <b>(3 PONTOS)</b>	Dano permanente (atinge mais de uma geração da biota, ou dos seres humanos). <b>(3 PONTOS)</b>	Dano irreversível (não existem tratamentos e métodos de recuperação de áreas degradadas que eliminem o dano, restaurem a saúde e/ou o ambiente). <b>(3 PONTOS)</b>	Dano regional, atinge a mina, município(s) de operação da mina e município(s) onde não há operação da mina. <b>(3 PONTOS)</b>

Fonte: Autor (2019). Modificado de Maciel-Pinto (2014).

Através da Tabela 05, obteve-se a Tabela 06 de somatório. Na tabela constam os tipos de depósitos minerais, os minerais encontrados no minério, as suas fórmulas químicas e as pontuações atingidas.

Procedimento idêntico foi realizado com os compostos utilizados no beneficiamento, rejeitos, escórias e concentrados. Na Tabela 07 consta o somatório obtido através da aplicação da Tabela 05.

A partir dos somatórios obtidos nas Tabelas 06 e 07, do histórico de impactos e das informações sobre os riscos ambientais e à saúde humana, constantes em trabalhos mencionados nos itens 2.3. *Impactos e Passivos Ambientais* e 2.4. *Características do Processo de Beneficiamento, Rejeitos, Escórias e Concentrado*, elaborou-se a Tabela 08 para classificar a importância e a probabilidade de ocorrência de danos.

A tabela elenca categorias de medidas para administrar e controlar impactos. Algumas medidas elencadas são o monitoramento da evolução dos efeitos do elemento danoso no ambiente; controle e manutenção dos padrões ambientais anteriores ao empreendimento; restrição da liberação do elemento no ambiente; mitigação, ou ações para anular efeitos do elemento; compensações, ou ações de indenização e ressarcimento pelos danos; isolamento, ou restrição de acesso às áreas potencialmente impactadas.

**Tabela 06** – Pontuação atingida por um elemento isolado, ou composto químico como um todo na avaliação de comportamento.

Classificação (Dana)	Depósito	Mineral	Fórmula	Pontuação segundo a Tabela 04
Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Perau	Galena	PbS	1+3+3+3+3 = 16
		Esfalerita	ZnS	1+3+3+3+3 = 16
		Pirita	FeS <sub>2</sub>	1+3+3+2+1+3 = 13
		Pirrotita	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	1+3+3+2+1+3 = 13
		Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
Classe 03 - Sulfossais		Tetraedrita	(Cu, Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Freibergita	(Ag, Cu, Fe) <sub>12</sub> (Sb, As) <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Pirargita	Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Stephanita	Ag <sub>5</sub> SbS <sub>4</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Polibasita	[Ag <sub>9</sub> CuS <sub>4</sub> ][(Ag, Cu) <sub>6</sub> (Sb, As) <sub>2</sub> S <sub>7</sub> ]	1+3+3+3+3+3 = 16
Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos	Barita	BaSO <sub>4</sub>	1+3+1+3+1+3 = 12	
Classe 02 - Sulfetos - Incluindo Selenitos e Teluritos	Panelas	Galena	PbS	1+3+3+3+3+3 = 16
		Esfalerita	ZnS	1+3+3+3+3+3 = 16
		Pirrotita	Fe <sub>7</sub> S <sub>8</sub>	1+3+3+2+1+3 = 13
		Calcocita	Cu <sub>2</sub> S	1+3+3+3+3+3 = 16
		Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>8</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Arsenopirita	FeAsS	1+3+3+3+3+3 = 16
		Neodigenita	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Argentita	Ag <sub>2</sub> S	1+3+3+3+3+3 = 16
		Bournonita	PbCuSbS <sub>3</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
		Classe 03 - Sulfossais	Tennantita-Tetraedrita	(Cu, Fe) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> - (Cu, Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
Tetraedrita			(Cu, Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
-		Electrum	Liga de Au e Ag	1+3+3+3+3+3 = 16
Classe 07 - Múltiplos Óxidos		Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1+1+2+2+1+3 = 10
Classe 28 - Ácido Anidro e Sulfatos		Anglesita	PbSO <sub>4</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
Classe 14 - Carbonatos Anidros		Cerusita	PbCO <sub>3</sub>	1+3+3+3+3+3 = 16
Classe 41 - Fosfatos Anidros, etc. Contendo Hidroxila ou Halogênio		Piromorfita	Pb <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Cl	1+3+3+3+3+3 = 16

Fonte: Autor (2019). Modificado de Maciel-Pinto (2014).

**Tabela 07** – Pontuação atingida pelos compostos químicos, rejeito, escória e concentrado na avaliação de comportamento.

Composto	Fórmula	Pontuação segundo a Tabela 14
Sulfeto de Sódio	-	1+3+2+2+1+3 = 12
Silicato de Sódio	-	1+3+2+3+1+3 = 13
Amil Xantato de Sódio (AMX)	-	1+3+2+2+1+3 = 12
Metil Isobutil Carbinol (MIBC)	-	1+3+2+2+1+3 = 12
Cianeto de Sódio	-	1+3+2+2+1+3 = 12
Rejeito, Escória e Concentrado	-	1+3+3+3+3+3 = 16

Fonte: Autor (2019). Modificado de Maciel-Pinto (2014).

Quanto ao minério, os maiores danos estão associados a uma pontuação 12 a 16, com danos severos ao meio ambiente e à saúde humana. Nesse nível de pontuação, recomendam-se ações de monitoramento, controle, mitigação e compensação ambiental. A não adoção de medidas protetivas pode desencadear danos prováveis, ou intensificar os preexistentes.

Por outro lado, inferiu-se que o rejeito e a escória apresentavam alta periculosidade, sendo que a probabilidade de impactos foi agravada pela disposição final incorreta desses materiais.

O concentrado era composto por cerca de 50% de chumbo, com presença de outros metais e compostos danosos, como Ag, Zn e S (MME, 1980). O concentrado era de alta periculosidade, pois era de granulação fina, o que propiciava o carreamento pelos ventos, água de escoamento superficial e como sedimento de corrente. Esse material, provavelmente era depositado em áreas sem proteção contra as intempéries. Deste modo, seus impactos são considerados semelhantes aos relacionados ao rejeito e escória.

Conclui-se que a unidade de beneficiamento apresentava potencial para ocasionar danos ao ambiente, sendo que a pontuação atingida se situa entre 12 e 16, com probabilidade de ocorrência iminente e importância crítica.

Os impactos identificados, em geral, têm capacidade para atingir proporções regionais e afetar à saúde humana. Salienta-se que as formas de armazenamento, transporte, disposição final, disposição provisória, descarte e a própria planta de beneficiamento potencializaram a probabilidade de ocorrência de danos.

**Tabela 08** – Classificação da importância, probabilidade de ocorrência de danos ou impactos ambientais, e categorias de medidas protetivas.

Pontuação	Probabilidade	Importância	Categorias de Medidas Protetivas
≤5	Desprezível	Insignificante	As alterações no meio ambiente podem ser inexpressivas, ou nulas. Demanda Medidas de monitoramento dos parâmetros de qualidade ambiental.
6 – 7	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.
8 – 9	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.
10 – 11	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.
≥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.

Fonte: Autor (2019). Modificado de Maciel-Pinto (2014).

#### 4. Considerações finais

Os impactos ambientais surgem da ação antrópica sobre o ciclo natural de transformação dos materiais geológicos, provocando reconcentração, mobilização, redistribuição de elementos químicos e alterações nos padrões ambientais normais.

Impactos previsíveis e específicos podem estar associados aos depósitos e jazidas minerais. Quando analisada a constituição de um depósito, ou jazida, ou seja, rochas encaixantes, ganga e minério, é possível associá-los a danos ao ambiente quando da intervenção antrópica. Desse modo, na execução da AIA de empreendimentos, ou projetos minerários, é preponderante o conhecimento da constituição do depósito, ou

jazida mineral, dos teores e composição do minério, estéril, rejeito, escória e *background* local, além de conhecimento dos métodos de lavra, beneficiamento, métodos de disposição ou armazenamento dos rejeitos, estéreis, minério, concentrado, além de métodos de tratamento de efluentes.

Compreende-se que, além das contaminações geradas por rejeitos e escórias, é provável que existam contaminações 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 ao empreendimento. A correta mensuração da gravidade de impactos, demanda estudos de abrangência local a regional, especialmente geoquímicos, biogeoquímicos, de sedimentos de correntes, de correntes fluviais, marítimas, direção dos ventos, direção do fluxo das águas subterrâneas e de *background*.

A mensuração torna-se mais complexa se inexistem estimativas sobre a produção de minério, estéreis, escórias, rejeitos, particulados, efluentes, ao longo do tempo, bem como se o projeto de mineração não é minuciosamente detalhado quanto ao incremento na produção ao longo do tempo, quanto aos equipamentos e métodos de lavra, beneficiamento, e disposição de produtos e subprodutos da lavra e do beneficiamento.

Parte das avaliações de impactos elaboradas para empreendimentos mineiros, não abrange a complexidade dos depósitos e jazidas minerais. Assim, a previsão de impactos executada, demonstrou a capacidade de produção de impactos intrinsecamente ligada a certos depósitos minerais. Impactos que foram agravados por um processo de beneficiamento que não empregava técnicas ambientalmente aceitáveis de disposição e tratamento rejeitos, escórias e concentrados.

Contudo, 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 ambiente e a sociedade. Podem apresentar, também, histórico de medidas corretivas de sucesso. Em tais situações, a avaliação de impactos será facilitada, tendo em vista o histórico existente.

Outra situação importante a considerar é que regiões com mineralizações de interesse econômico, geralmente apresentam concentrações anômalas de certos elementos químicos e, conseqüentemente, *background* elevado para esses elementos. Especificamente, devem ser analisadas as características do *background* dos solos, águas superficiais, subterrâneas, sedimentos de corrente e de fundo pré-emprego. Os teores indicados como naturais, poderão divergir dos parâmetros legais de qualidade ambiental. Contudo, se inexistente influência direta, ou indireta da ação antrópica sobre os teores divergentes com a legislação, então inexistente impacto ambiental a mitigar. Existe, por outro lado, a necessidade de controle e monitoramento, visando impedir o incremento dos teores naturais e a redistribuição de elementos químicos devido às atividades antrópicas.

É preponderante, ainda, traçar as áreas que serão alvos potenciais de impactos, classificando-as de acordo com a probabilidade de riscos. Para o traçado é necessário o conhecimento dos ecossistemas que serão afetados e dos meios de dispersão. Deve-se, então, analisar a influência das intempéries, pH e Eh sobre a estabilidade dos minerais, mineralóides, e sobre a mobilidade e distribuição dos elementos químicos no ambiente. Igualmente, faz-se necessário entender o modo e o meio preferencial de dispersão de cada elemento potencialmente danoso. Elementos com mobilidade acentuada devido às características ambientais e com meios propícios para a redistribuição, poderão gerar impactos regionais.

No contexto do processamento dos produtos da lavra, é necessário a análise da planta de beneficiamento, insumos utilizados na produção, tipos de rejeitos, estéreis, forma de armazenamento, disposição temporária e final. Um minério poderá ter sua potencialidade e probabilidade de geração de impactos agravada, ao sofrer transformação. Recomenda-se que nos testes de beneficiamento em laboratório, ou unidade piloto, os produtos e subprodutos obtidos, sejam caracterizados, testados quanto à toxicidade, mobilidade e classificados quanto à periculosidade. Assim, quando chegada a época dos licenciamentos ambientais e estudos ambientais, haverá uma base de dados sólida para a execução dos diagnósticos ambientais e da avaliação e impactos.

---

## 5. Referências

- ATSDR. (2011). **ATSDR Toxic Substances Portal**. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp/>>. Acessado em: 17 jun. 2014.
- Biondi, J.C. (2003). **Processos Metalogenéticos e os Principais Depósitos Minerais Brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 528p.
- BRASIL. **Lei 6938 de 31 de agosto de 1981, que Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938compilada.htm)>. Acessado em 06 jan. 2020.
- BRASIL. **Decreto 99274 de 06 de junho de 1990, que Regulamenta a Lei 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei 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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm)>. Acessado em 06 jan. 2020.
- CARBOLOR. (2006). **Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos**. Disponível em: <<http://www.carboclor.com.ar/>>. Acessado em: 18 jun. 2014.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (1986). **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**. Relatório Final, 68p.
- CNDH – Conselho Nacional dos Direitos Humanos. **Resolução 14, de 11 de dezembro de 2019**. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-14-de-11-de-dezembro-de-2019-236401658>>. Acessado em 03 jan. 2020.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acessado em 19 fev. 2013.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=201>>. Acessado em 19 fev. 2013.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 396, de 3 de abril de 2008**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acessado em 19 fev. 2013.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 420, de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acessado em 19 fev. 2013.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=493>>. Acessado em 19 fev. 2013.
- Cunha, F.G. (2003). **Contaminação Humana e Ambiental por Chumbo no Vale do Ribeira, nos Estados de São Paulo e Paraná, Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, Campinas, 125p., Brasil.
- DQI. (2014). **Ficha Técnica**. Disponível em: <<http://www.dqisa.com/>>. Acessado em: 18 jun. 2014

---

EPA – United States Environmental Protection Agency. (2014). **Learn the issues**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/>>. Acessado em: 18 jun. 2014.

Fiori, A.P. (1992). Tectônica e Estratigrafia do Grupo Açungui – PR. **Boletim IG-USP – Série científica**, 23, p.55-74.

Fritzsos-Junior, O.; Piekarz, G.F.; Falcade, D. (1982). Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva - PR. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador, BA, Brasil, 32(3): 987-1001.

Gothe, C.A.D.V. (1993). **Avaliação dos Impactos Ambientais da Indústria Carbonífera nos Recursos Hídricos da Região Sul Catarinense**. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 145p.

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

Fayal, A.C.S. (2003). **Avaliação de Impacto Ambiental como Instrumento de Políticas Públicas: Análise de Problemas e Estudo de Caso em Área de Mineração no Estado do Pará**. Dissertação, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 241p.

Licht, O.A.B. (1986). **Prospecção Geoquímica**. Curitiba: MINEROPAR, 170p.

LEAD. (1993). **Effects of lead on the environment**. Disponível em: <<http://www.lead.org.au/>>. Acessado em: 18 jun. 2014.

MME – Ministério de Minas e Energia. (1980). **Projeto Usinas de Beneficiamento. Estudo de Minérios Sulfetados de Chumbo e Zinco**. Relatório Final. Brasília, 75p.

Macedo, A.B. (1993). Poluição por mineração na bacia do Ribeirão Grande, Vale do Ribeira, PR. **Boletim de Resumos do Simpósio Sul Brasileiro de Geologia**, Curitiba, PR, Brasil, 5, p.70-71.

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

MPU – Ministério Público da União. (2004). **Deficiências em Estudos de Impacto Ambiental: Síntese de uma Experiência**. Brasília, 47p.

MINEROPAR. (2005). **Levantamento Geoquímico Multielementar do Estado do Paraná**. Curitiba: MINEROPAR.

Matta, A.D.S.; Brasil, R.O.; Cavalcante, I.N.; Assis, J.F.P.~; Diniz, C.G.; Martins, J.A.C.; Vasconcelos, Y.B.D.; Carmona, K.M.; Vanzin, M.M. (2010). EIA-RIMA do Projeto Amapari – Expansão Minério de Ferro da Empresa MMX – No Estado do Amapá: Uma Análise Crítica. **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**, São Luís, MA, Brasil, 1-9.

Mechi, A.; Sanches, D.L. (2010). Impactos Ambientais da Mineração no Estado de São Paulo. **Revista Estudos Avançados**, 24(68): 209-220.

Maciel-Pinto, F. (2014). **Depósitos Minerai, Previsão e Avaliação de Impactos Ambientais a Mineração: O Caso dos Modelos Perau e Pannels no Estado do Paraná**. Trabalho de Conclusão de Curso de

Especialização, Universidade Federal do Pará, Belém, 68p., Brasil.

Odan, Y.; Fleischer, R.; Espourteille, F. (1978). Geologia da Mina de Chumbo de Panelas – Adrianópolis – PR. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**, Recife, PE, Brasil, 30(4): 1545-1552.

Prado-Filho, J.F.D.; Souza, M.P.D. (2004). O Licenciamento Ambiental da Mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais – Uma Análise da Implementação de Medidas de Controle Ambiental Formuladas em EIAs/RIMAs. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, 9(4):343-349.

Reuer, M.K.; Bower, N.W.; Koball, J.H.; Hinostroza, E.; Marcas, M.E.D.L.T.; Surichaqui, J.A.H.; ECHEVARRIA, S. (2012). Lead, Arsenic, and Cadmium Contamination and Its Impact on Children's Health in La Oroya, Peru. **ISRN Public Health**, New York, USA, 2012: 1-12.

Sandoval, M.D.S.; Cerri, L.E.D.S. (2009). Proposta de Padronização em Avaliação de Impactos Ambientais. **Revista Engenharia Ambiental**, 6(2):100-113.

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

Santiago, T.M.O.; Rezende, J.L.P.; Borges, L.A.C.; Borges, A.F.; Santos, A.A. (2015). A Eficácia da Avaliação de Impactos Ambientais no Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 6(2):37-51.

Tessler, M.G.; Suguio, K.; Rabiolotta, P.R. (1987). Teores de alguns elementos traços metálicos em sedimentos pelíticos da superfície de fundo da região lagunar de Cananéia-Iguape. Anais do Simpósio Sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: Síntese dos Conhecimentos. Cananeia, SP, Brasil, 2, p.255-263.

Vulcanis, A. (2013). Os Problemas do Licenciamento Ambiental e a Reforma do Instrumento. Disponível em: <[http://www.planetaverde.org/arquivos/biblioteca/arquivo\\_20131031141015\\_4012.pdf](http://www.planetaverde.org/arquivos/biblioteca/arquivo_20131031141015_4012.pdf)>. Acessado em: 06 jan. 2020.

WEBMINERAL. (2014). **Mineralogy Database**. Disponível em: <<http://http://webmineral.com/>>. Acessado em: 13 jun. 2014.

## Informações adicionais

**Como referenciar este artigo:** Maciel-Pinto, F. (2020). Depósitos minerais e previsão de Impactos Ambientais: Os modelos genéticos Perau e Panelas no estado do Paraná (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.8, n.1, p.70-86.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o crédito seja de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.