

Avaliação de risco dos rejeitos da usina desativada de flotação de galena e esfalerita da Mineração Boquira (Bahia, Brasil)

Luiza Zeneide Santana Souza ¹ 
Luiz Rogério Pinho de Andrade Lima ^{1*} 

Resumo

A Mineração de Boquira (Bahia) tratou por mais de trinta anos um minério de Pb e Zn. A sua usina de flotação produziu cerca de 4,5 milhões de toneladas de rejeito, contendo mais de 50% de anfibólios e significativos teores de Pb, Zn e Cd. Os resultados mostram que o índice de poluição do rejeito para Pb, Cd e Zn classificam a região da barragem de rejeitos como área altamente contaminada. Os resultados mostram também que o conteúdo de Pb e Cd no rejeito faz com que a área da barragem possua um alto fator de risco potencial ecológico. O risco potencial do rejeito em contribuir para desenvolver doenças não cancerígenas é alto em crianças devido aos altos teores de Pb e Cd, entretanto para adultos somente Pb pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de doenças não cancerígenas. Baseado no conhecimento atual, as concentrações de metais pesados no rejeito não contribuem significativamente para aumentar o risco de doenças cancerígenas nesta região. A presença de amianto-anfibólio na barragem de rejeitos pode representar um sério risco para a saúde da população. Os resultados do presente estudo indicam que a população de Boquira esta exposta aos riscos associados ao rejeito da mineração, que inclui metais potencialmente tóxicos (sobretudo Pb, Cd e Zn) e amianto-anfibólio.

Palavras-chave: Metais pesados; Amianto; Risco; Poluentes do solo.

Risk assessment of tailings from the deactivated galena and sphalerite flotation plant of Boquira Mining (Bahia, Brazil)

Abstract

Mineração de Boquira (Bahia) has treated a Pb and Zn ore for over thirty years. Its flotation plant produced about 4.5 million tons of tailings, containing more than 50% of amphiboles and significant levels of Pb, Zn and Cd. The results show that the tailings pollution index for Pb, Cd and Zn classifies the tailings dam region as a highly contaminated area. The results also show that the content of Pb and Cd in the tailings causes the area of the dam to have a high potential ecological risk factor. The potential risk of tailings in contributing to the development of non-carcinogenic diseases is high in children due to the high levels of Pb and Cd, however for adults only Pb can contribute significantly to the development of non- carcinogenic diseases. Based on current knowledge, the concentrations of heavy metals in the tailings do not significantly contribute to increasing the risk of carcinogenic diseases in this region. The presence of asbestos- amphibole in the tailings dam can represent a serious risk to the health of the population. The results of the present study indicate that the population of Boquira is exposed to the risks associated with mining waste, which includes potentially toxic metals (mainly Pb, Cd and Zn) and asbestos-amphibole.

Keywords: Heavy metals; Asbestos; Risk; Soil pollutants.

1 Introdução

A extração de minerais de chumbo e zinco da mina de Boquira, localizado na região do centro-sul do estado da Bahia, teve início em 1956. Em 1959 uma usina de moagem e concentração do minério usando o processo de flotação em

espuma foi implantada visando produzir um concentrado de chumbo, para sua aplicação na produção de baterias para carros. Em 1974 esta usina foi modificada com a introdução do processo de flotação diferencial visando produzir também

¹Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, BA, Brasil.

*Autor correspondente: lelo@ufba.br



um concentrado de zinco, a ser usado na galvanização de aço. Os rejeitos desta usina, que esteve em operação até 1993, foram dispostos em uma barragem, próxima da usina ao Norte na própria cidade de Boquira (ver Figura 1) [1,2].

Os minerais de chumbo e de zinco de Boquira ocorrem nas cristas dos morros localizados próximo à serra de Macaúbas e a rocha encaixante é um anfibólio bandedo e magnetita [1].

A usina da Mineração de Boquira tratava cerca de 147000 toneladas por ano de minério e produzia cerca de 13600 toneladas por ano de concentrado [2]. O minério apresentava tipicamente, além de 10% de galena (PbS) e 3% de esfalerita ((Zn,Fe)S), 59% de anfibólios, 15% de magnetita e 4% de clorita e o rejeito apresentava tipicamente 0,5% de Pb e 0,3% de Zn [2]. No caso de Boquira os anfibólios são basicamente cummingtonita ((Mg,Fe)₂(Mg,Fe)₅Si₈O₂₂(OH)₂), actinolita e tremolita (Ca₂(Mg,Fe)₅Si₈O₂₂(OH)₂) [1-4]. Estes minerais são fibrosos e são classificados como asbesto [5].

Asbestos ou amianto são designações genéricas para um grupo de minerais silicatados formados naturalmente e que cristalizam na forma de fibras. Existem duas classes principais de asbestos: serpentina e anfibólio. A serpentina é composta unicamente pela crisotila, que é a forma de amianto mais usada comercialmente.

Existem vários anfibólios asbestiformes, mas levando em conta a importância comercial, os principais minerais são: actinolita, tremolita, amosita (ou cummingtonita-grunerita), crocidolita e antofilita. Estudos epidemiológicos de trabalhadores e da população expostos às fibras de anfibólios asbestiformes indicam aumento do câncer de pulmão e mesotelioma, bem como asbestose e outras doenças, doenças respiratórias não malignas [5,6].

A Figura 2 mostra partículas do rejeito da mineração Boquira, obtidas com microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM-6610LV, que indica a presença partículas alongadas de asbestos. A figura da direita mostra a presença de minerais com elementos pesados (zonas claras) e seu espectro de fluorescência de raios X (abaixo) confirma a presença de Pb, Zn, Fe e Mn, além de Si, Mg e Ca.

A mina e a usina da Mineração Boquira foram desativadas em 1993. A quantidade de rejeito, com tamanho inferior a 0,3 mm, gerado pela usina em trinta e quatro anos de operação pode ser estimado, usando as taxas de produção declarada, em cerca de 4,5 milhões de toneladas, dos quais mais de 2,5 milhões de toneladas são anfibólios (asbestos) [2,3].

Devido ao fato que a região da Mineração de Boquira não foi submetida a nenhum tipo de tratamento ou

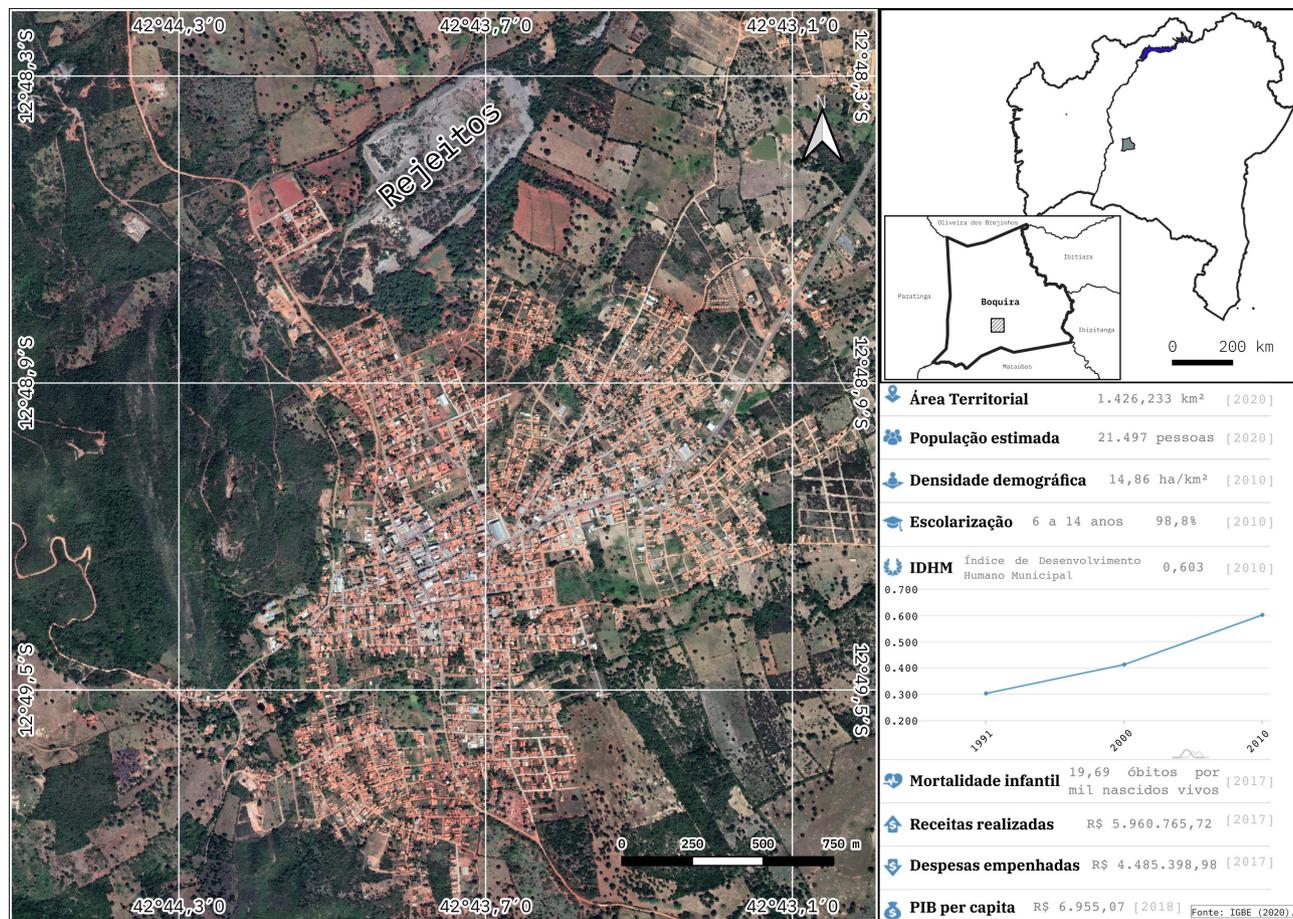


Figura 1. Localização da barragem da mineração Boquira.

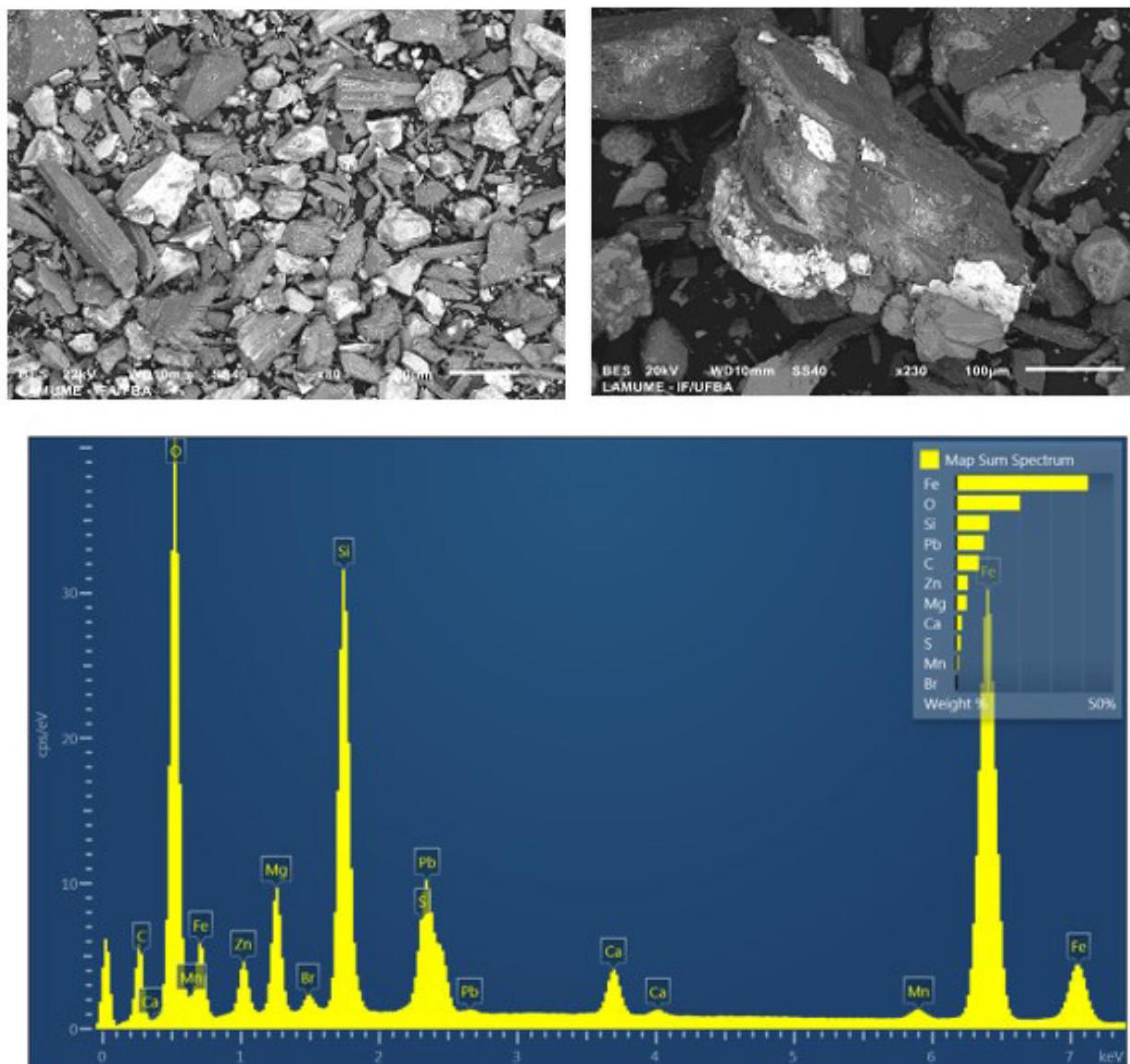


Figura 2. Imagem e espectro de raios X no MEV de partículas de rejeito da usina da mineração Boquira.

descontaminação nestes 34 anos, do elevado conteúdo de elementos potencialmente tóxicos (como zinco, chumbo, cobre e cádmio) além de asbestos nos rejeitos e de deste material estar situada na área urbana de uma cidade de 21497 habitantes, é importante avaliar o potencial risco para saúde da população causado por este material [7]. Este estudo tem como principal objetivo apresentar uma análise de risco de poluição, ecológico e à saúde humana com o rejeito da flotação descartado próximo a cidade de Boquira baseado na aplicação da regulamentação nacional para uso de solos pelo CONAMA [8].

2 Materiais e métodos

Os dados analíticos utilizados neste estudo foram obtidos de trabalhos precedentes, que envolveu a coleta de

uma amostra composta do rejeito da usina da mineração Boquira e a sua caracterização, como está sumarizado na Tabela 1 [3].

2.1 Avaliação de risco de poluição por metais pesados

Estudos recentes usam o método do índice de poluição para avaliar a poluição do solo. O índice de poluição (PI) permite uma avaliação rápida da qualidade do ambiental do solo, este índice é definido como a razão entre a concentração dos elementos potencialmente tóxicos na amostra de solo (C_i) e o valor de referência da concentração destes elementos em solo não contaminado (S_i) [9] (Equação 1):

$$PI_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

No presente estudo, os valores de referência para os elementos potencialmente tóxicos foram escolhidos assumindo os limites regulatórios para prevenção do CONAMA para solos, Tabela 2.

O Índice de poluição de Nemerow (PI_N) utiliza o índice de poluição de cada elemento e sumariza em um único indicador e foi usado como critério para avaliar a qualidade do solo [9] (Equação 2):

$$PI_N = \sqrt{\frac{PI_{ave}^2 + PI_{i\ max}^2}{2}} \quad (2)$$

onde, PI_{ave} e $PI_{i\ max}$ são respectivamente os índices de poluição médio e máximo individuais dos metais (i). Usando o índice de poluição de Nemerow a qualidade ambiental do solo é classificada em cinco classes: $PI_N \leq 0.7$: não poluído (Classe 1), $0.7 < PI_N \leq 1$: tornando-se poluído (Classe 2), $1 < PI_N \leq 2$: levemente poluído (Classe 3); $2 < PI_N \leq 3$: moderadamente poluído (Classe 4) e $PI_N > 3$: altamente poluído (Classe 5) [9-11].

2.2 Avaliação do risco potencial ecológico de metais pesados

O índice de risco ecológico (RI) estima a sensibilidade dos corpos hídricos a poluição por elementos potencialmente tóxicos, levando em conta o nível de toxicidade, o tipo de poluentes e as concentrações de elementos potencialmente tóxicos em sedimentos e solos [12]. O índice de risco ecológico pode ser estimado com o uso do indicador de contaminação (C_d) [9-11] (Equações 3 e 4):

$$C_d = \sum_{i=1}^m C_f^i = \sum_{i=1}^m \frac{\bar{C}_{0-1}^i}{C_n^i} \quad (3)$$

onde C_f^i é o fator de contaminação, \bar{C}_{0-1}^i é o teor médio do elemento tóxico (i) nos sedimentos superficiais e C_n^i é o nível de referência.

$$RI = \sum_{i=1}^m Er^i = \sum_{i=1}^m Tr^i C_f^i \quad (4)$$

onde Er^i é o fator de risco potencial ecológico para cada elemento potencialmente tóxico (i), Tr^i é o fator de resposta para cada elemento potencialmente tóxico. Os critérios de classificação para Er^i são: $Er^i < 40$, baixo potencial de risco ecológico; $40 \leq Er^i < 80$, potencial de risco moderado; $80 \leq Er^i < 160$, considerável risco potencial; $160 \leq Er^i < 320$, alto potencial de risco e $Er^i \geq 320$, risco potencial bastante elevado. O critério de classificação do índice do potencial risco ecológico (RI) é sumarizado na Tabela 3.

No presente estudo, foram usados os coeficientes de toxicidade apenas para os elementos cuja concentração excede o limite de prevenção (ver Tabela 2). Neste caso os valores dos coeficientes de toxicidade para Pb, Cd, Zn, Cu e Ni foram respectivamente 5, 30, 1, 5 e 5 [9-11]

2.3 Avaliação de risco para a saúde humana de metais pesados

A análise de risco a saúde permite estimar a exposição de crianças e adultos ao efeito de metais potencialmente tóxicos. No presente caso foram usados dois indicadores, o índice de risco (HI), que avalia o risco de desenvolvimento de doenças não cancerígenas, e o risco de câncer (RC). O fator carcinogênico representa a taxa de resposta analisada de animais ou em seres humanos expostos por altas doses e também para seres humanos expostos em ambientes com extrapolação em doses baixas. O método utilizado no cálculo desses dois índices são [13-15] (Equações 5 e 6):

Tabela 1. Composição dos elementos potencialmente nocivos do rejeito (mg/kg)

| ZnO | PbO | MnO | Cu | Cd | Ni | U | Ag | Co | As | Mo | Sb | Se |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 19400 | 14600 | 10300 | 135,0 | 127,0 | 30,1 | 13,4 | 6,9 | 5,9 | 5,0 | 3,6 | 3,6 | 2,0 |

Tabela 2. Concentração máximas aceitáveis em solos [8]

| Elemento | Máxima Concentração Aceitável (mg/kg) | | | |
|----------|---------------------------------------|---------------|-------------|-----------------|
| | Prevenção | Solo Agrícola | Solo Urbano | Solo Industrial |
| Zn | 300 | 450 | 1000 | 2000 |
| Pb | 72 | 180 | 300 | 900 |
| Cu | 60 | 200 | 400 | 600 |
| Ni | 30 | 70 | 100 | 130 |
| Mo | 30 | 50 | 100 | 120 |
| Co | 25 | 35 | 65 | 90 |
| As | 15 | 35 | 55 | 150 |
| Se | 5 | - | - | - |
| Ag | 2 | 25 | 50 | 100 |
| Sb | 2 | 5 | 10 | 25 |
| Cd | 1.3 | 3 | 8 | 20 |

$$HI = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{R_f D} \quad (5)$$

$$RC = \sum_{i=1}^n D_i CPF \quad (6)$$

em que $R_f D$ é a dose de referência, CPF é o fator de potência do câncer, apresentados na Tabela 4.

A exposição de crianças e adultos aos metais potencialmente tóxicos pode ser avaliada através de três vias principais: i) ingestão direta de partículas no substrato (DI_{ing}), ii) inalação de partículas suspensas através da boca e nariz (DI_{inal}) e iii) e absorção pela derme de partículas que aderiram a pele exposta (DI_{derme}). A taxa diária de exposição a estes elementos pode ser estimada como (Equações 7-10):

$$D_{inal} = C \times \frac{InhR \times EF \times ED}{BW \times AT \times PEF} \quad (7)$$

$$D_{ing} = C \times \frac{IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (8)$$

$$D_{derme} = C \times \frac{ABS \times SA \times SL \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \quad (9)$$

$$D = D_{ing} + D_{inal} + D_{derme} \quad (10)$$

onde C é a concentração do elemento na amostra de solo (mg/kg) e os outros parâmetros são sumarizados na Tabela 5.

O índice de risco para doenças não cancerígenas (HI) indica um risco aceitável se este valor for inferior 1,0. A probabilidade de ocorrência de doenças não cancerígenas aumenta com o incremento índice de risco.

O índice de risco para doenças cancerígenas (RC) indica um risco aceitável (ou negligenciáveis) para valores na faixa de 10^{-6} a 10^{-4} [15,16].

Neste trabalho, a avaliação de risco à saúde humana foi realizada considerando os critérios da USEPA e foi avaliado a taxa de absorção dos elementos cuja concentração excediam o limite de prevenção da CONAMA (Tabela 2). Foi considerada absorção por ingestão, inalação e absorção pela pele.

3 Resultados e discussão

3.1 Avaliação de risco de poluição por metais pesados

O índice de poluição (PI) dos elementos potencialmente tóxicos relevantes no rejeito da Mineração Boquira (Pb, Cd, Zn, Ag, Cu, Sb e Ni) estão sumarizados na Tabela 6.

Tabela 3. Classificação do índice do potencial risco ecológico (RI) [9-12]

| Classificação | Valor de RI |
|--------------------------------------|-----------------|
| Baixo Potencial Risco Ecológico | Menor que 150 |
| Moderado Potencial Risco Ecológico | Entre 150 e 300 |
| Alto Potencial Risco Ecológico | Entre 300 e 600 |
| Muito Alto Potencial Risco Ecológico | Maior que 600 |

Tabela 4. Dose de referência ($R_f D$) e Fator de Potência do Câncer (CPF) dos elementos potencialmente tóxicos (mg kg⁻¹ dia⁻¹)

| Elementos | $R_f D_{ing}$ | $R_f D_{inal}$ | $R_f D_{derme}$ | CPF_{ing} | CPF_{inal} | CPF_{derme} |
|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|-------------|-----------------------|---------------|
| Pb | 3,50 x 10 ⁻³ | - | 5,25 x 10 ⁻⁴ | - | - | - |
| Cd | 1,0 x 10 ⁻³ | - | 1,0 x 10 ⁻⁵ | - | 6,30 | - |
| Zn | 3,0 x 10 ⁻¹ | - | 6,0 x 10 ⁻² | - | - | - |
| Ag | 5,0 x 10 ⁻³ | - | 9,0 x 10 ⁻⁴ | - | - | - |
| Cu | 4,0 x 10 ⁻² | - | 1,20 x 10 ⁻² | - | - | - |
| Sb | 4,0 x 10 ⁻⁴ | - | 8,0 x 10 ⁻⁶ | - | - | - |
| Ni | 2,0 x 10 ⁻² | - | 5,40 x 10 ⁻³ | - | 8,40x10 ⁻¹ | - |

Tabela 5. Descrição dos valores de parâmetros usados nas equações da avaliação de riscos à saúde [14]

| Parâmetros | Descrição | Crianças | Adultos |
|------------|---|------------------------|---------|
| AT | Tempo médio não-carcinogênico | ED x 365 dias | - |
| | Em caso, carcinogênico | 70 x 365 dias | - |
| EF | Frequência de exposição (dia/ano) | 350 | - |
| PEF | Fator de emissão de partículas | 1,36 x 10 ⁹ | - |
| ABS | Fator absorção dérmica para todos os metais | 1,0 x 10 ⁻³ | - |
| | Se for arsênio | 3,0 x 10 ⁻² | - |
| $IngR$ | Taxa de ingestão (mg/dia) | 200 | 100 |
| ED | Duração da exposição (ano) | 6 | 24 |
| $InhR$ | Taxa de inalação (m ³ /dia) | 7,6 | 20 |
| SA | Área exposta da pele (cm ²) | 2800 | 5700 |
| SL | Fator de aderência a pele para solo (mg/cm ² /h) | 0,2 | 0,07 |
| BW | Peso corpóreo (kg) | - | 15 |
| | | 15 | 70 |

O rejeito apresenta contaminação do solo para Pb, Cd, Zn, Ag, Cu e Sb. Ni esta no limiar da poluição. Pb, Cd e Zn possuem PI maior que 5, o que caracteriza este material como extremamente contaminado para estes elementos. A avaliação rejeito também permite mostrar que o risco de poluição no solo possui PI_N igual a 138, que é muito superior a 3, que caracterizaria a classe 5, altamente poluído.

3.2 Avaliação do potencial de risco ecológico dos metais pesados

O fator de potencial risco ecológico (RI) e os fatores de risco para cada elementos potencialmente tóxicos relevante no presente caso (Er) são apresentados na Tabela 7. Nota-se que Cu e Ni representam um baixo risco ecológico, Zn apresenta risco moderado e Pb e Cd representam alto risco ecológico. O índice de potencial risco ecológico (RI) no presente caso é 3940, que é muito superior a 600 e indica ser a região de muito alto potencial risco ecológico.

3.3 Avaliação de risco à saúde humana dos metais pesados

O risco de adquirir doenças não cancerígenas (HI) foi avaliado para cada elemento potencialmente tóxico relevante no presente caso (Pb, Cd, Zn, Ag, Cu, Sb e Ni) pelas vias de exposição. Os resultados, sumarizado na Tabela 8, mostram que Pb e Cd excederam os limites toleráveis ($HI > 1$) para crianças, enquanto o Pb excedeu o limite tolerável para adultos.

O risco de adquirir doenças cancerígenas (RC) foi avaliado apenas para os elementos potencialmente tóxicos relevantes no presente caso, mas que apresentam conhecido efeito carcinogênico (Cd e Ni). Estes elementos são considerados cancerígenos apenas pela via de inalação. Os resultados, sumarizados na Tabela 9 mostra que o risco de doenças cancerígenas para estes elementos não ultrapassara os níveis aceitáveis (entre 10^{-6} e 10^{-4}). Embora esteja associado a incertezas, estas estimativas indicam que os metais pesados contidos no rejeito da Mineração

Tabela 6. Índice de poluição único de cada elemento potencial tóxico*

| Elemento | C (mg/kg) | PI_i | Classificação | Classe |
|----------|-----------|--------|--|--------|
| Pb | 13557,1 | 188,29 | Extremamente contaminado | 6 |
| Cd | 127 | 97,6 | Extremamente contaminado | 6 |
| Zn | 15586,7 | 51,96 | Extremamente contaminado | 6 |
| Ag | 6,9 | 3,45 | Fortemente contaminado | 4 |
| Cu | 135 | 2,25 | Moderadamente ou fortemente contaminado | 3 |
| Sb | 3,6 | 1,80 | Moderadamente Contaminado | 2 |
| Ni | 30,1 | 1,00 | Não contaminado para moderadamente contaminado | 1 |

* $P_{máx}$ = 188,29 e $P_{médio}$ = 49,48.

Tabela 7. Fator de risco potencial ecológico para cada elemento potencialmente toxico

| Elemento | C (mg/kg) | Tr | Er | Classificação |
|----------|-----------|------|------|---------------------------------------|
| Pb | 13557,1 | 5 | 941 | Elevado potencial de risco ecológico |
| Cd | 127,0 | 30 | 2931 | Elevado potencial de risco ecológico |
| Zn | 15586,7 | 1 | 52 | Moderado potencial de risco ecológico |
| Cu | 135,0 | 5 | 11 | Baixo potencial de risco ecológico |
| Ni | 30,1 | 5 | 5 | Baixo potencial de risco ecológico |

Tabela 8. Risco de doenças não cancerígenas para crianças e adultos

| Elementos | C (mg/kg) | | HQ_{ing} | HQ_{inal} | HQ_{derme} | HI |
|-----------|-----------|----------|-----------------------|-------------|-----------------------|--------|
| Pb | 13557,1 | Crianças | 49,5 | - | 0,924 | 50,45 |
| Cd | 127 | | 1,62 | - | 0,455 | 2,08 |
| Zn | 15586,7 | | 0,664 | - | $9,30 \times 10^{-3}$ | 0,67 |
| Ag | 6,9 | | $1,76 \times 10^{-2}$ | - | $2,74 \times 10^{-4}$ | 0,018 |
| Cu | 135 | | $4,32 \times 10^{-2}$ | - | $4,03 \times 10^{-4}$ | 0,044 |
| Sb | 3,6 | | $1,15 \times 10^{-1}$ | - | $1,61 \times 10^{-2}$ | 0,13 |
| Ni | 30,1 | | $1,92 \times 10^{-2}$ | - | $2,00 \times 10^{-4}$ | 0,019 |
| Pb | 13557,1 | Adultos | 5,31 | - | 0,141 | 5,45 |
| Cd | 127 | | 0,174 | - | $6,94 \times 10^{-2}$ | 0,24 |
| Zn | 15586,7 | | $7,12 \times 10^{-2}$ | - | $1,42 \times 10^{-3}$ | 0,07 |
| Ag | 6,9 | | $1,89 \times 10^{-3}$ | - | $4,19 \times 10^{-5}$ | 0,0019 |
| Cu | 135 | | $4,62 \times 10^{-3}$ | - | $6,15 \times 10^{-5}$ | 0,0047 |
| Sb | 3,6 | | $1,23 \times 10^{-2}$ | - | $2,46 \times 10^{-3}$ | 0,015 |
| Ni | 30,1 | | $2,06 \times 10^{-3}$ | - | $3,05 \times 10^{-5}$ | 0,002 |

Tabela 9. Risco de doenças cancerígenas para crianças e adultos

| Elementos | C (mg/kg) | RC_{ing} | RC_{inal} | RC_{derme} | RC |
|-----------|-----------|------------|------------------------|--------------|------------------------|
| | | | Crianças | | |
| Cd | 127 | - | $2,45 \times 10^{-8}$ | - | $2,45 \times 10^{-8}$ |
| Ni | 30,1 | - | $7,74 \times 10^{-10}$ | - | $7,74 \times 10^{-10}$ |
| | | | Adultos | | |
| Cd | 127 | - | $5,53 \times 10^{-8}$ | - | $5,53 \times 10^{-8}$ |
| Ni | 30,1 | - | $1,75 \times 10^{-9}$ | - | $1,75 \times 10^{-9}$ |

Boquira, até onde se sabe neste momento, não apresentam risco de câncer para a população que habita no entorno da antiga bacia de rejeitos.

3.4 Avaliação de risco à saúde humana quando em contato com amianto-anfibólio

A presença de amianto-anfibólio na barragem de rejeitos e nas rochas e solo da região da Mineração Boquira pode representar um sério risco para a saúde da população. Dois fatores importantes na avaliação do risco a exposição ao amianto é a concentração de fibras no ar e o tempo de exposição. Segundo o tempo de exposição, placas pleurais, asbestose, câncer de pulmão e mesotelioma são as doenças associadas ao amianto. O câncer do pulmão causado pelo amianto pode aparecer após 15 a 20 anos de exposição. O mesotelioma pode aparecer após 25 a 40 anos de exposição as fibras de amianto.

Estudo da EPA relacionado ao risco de desenvolver mesotelioma para população exposta por 10 anos a uma concentração de 0,1479 fibras/mL de um amianto-anfibólio (de Libby, Montana) indica um aumento para o grupo de idade superior a 26 anos, atingido um máximo para indivíduo da faixa de 45 a 59 anos. Para o risco de desenvolver câncer no pulmão para população exposta por 10 anos a uma concentração de 0,191 fibras/mL do amianto-anfibólio (de Libby, Montana) indicam um aumento para o grupo de idade superior a 35 anos, atingido um máximo para indivíduo da última faixa etária considerada de 80 a 84 anos

Em estudo recente Martins e Monteiro [17] mostram que na cidade de Boquira entre 2008-2013, de forma repetida, o maior percentual de internações foi por doenças causadas por problemas no aparelho respiratório. Além disso, em 2012 e 2013 a taxa de mortalidade segundo os principais grupos de causas indicam que as neoplasias apresentaram valores significativamente maiores em Boquira em reação ao estado da Bahia (136,2 e 70,6 em 2012 e 67,0 e 66,2 em 2013, por 100.000 habitantes). Nesta mesma avaliação, em 2011 e 2012, a taxa de mortalidade das doenças do aparelho respiratório apresentara valores significativamente maiores em Boquira em reação ao estado da Bahia (68,1 e 42,8 em 2011 e 63,6 e 42,3 em 2012, por 100.000 habitantes) [17].

A Figura 3 mostra a cidade de Boquira, a barragem de rejeitos da mineração e setores definidos pelo IBGE com a população que habita cada um destes setores [7]. Nota-se que os três setores que contém a barragem de

rejeitos totalizam 1844 pessoas, enquanto no entorno, a uma distância inferior a 2 km da barragem, vivem 9432 pessoas. Portanto a região metropolitana da cidade de Boquira está exposta aos riscos associados ao rejeito da mineração, que inclui metais potencialmente tóxicos (sobretudo Pb, Cd e Zn) além amianto-anfibólio.

A velocidade média anual dos ventos na região de Boquira está entre 7,5 e 8,0 m/s e a direção predominante dos ventos é Sudoeste, embora haja uma distribuição de ventos em várias direções [18]. Isso faz com que o possível transporte das fibras de amianto-anfibólios do rejeito seja predominante na direção da cidade de Paratinga, para fora da zona urbana, mas podendo afetar diretamente 985 pessoas. Por outro lado, ventos menos frequentes em outras direções podem dispersar fibras minerais em diversas outras partes da cidade.

Um programa de monitoramento da concentração e da identificação de fibras minerais no ar usando filtro de ar e sua posterior análise em microscópio eletrônico de varredura, tanto nas ruas quanto nas residências, se faz necessário para esta região. Além disso, a avaliação de medidas de contenção para evitar a suspensão e o transporte destas fibras se faz necessário.

4 Conclusões

A usina desativada de flotação de galena e esfalerita da Mineração Boquira produziu cerca de 4,5 milhões de toneladas de rejeito que foram dispostos em uma barragem. Este rejeito tem cerca de 0,5% de Pb, 0,3% de Zn e mais de 60% de anfibólios, basicamente cummingtonita, actinolita e tremolita, que são minerais fibrosos classificados como asbesto. A análise de risco por metais pesados do rejeito mostrou que o Pb, Cd e Zn possuem um índice de poluição elevado, o que significa que a região da barragem tem um solo extremamente contaminado. Pb e Cd também contribuíram para o fator de potencial de risco ecológico elevado nesta região. A avaliação de risco a saúde humana mostra acentuado potencial de desenvolvimento de doenças não cancerígenas em crianças e adultos na região, devido à presença de Pb e Cd nos rejeitos. Entretanto, com base nos conhecimentos atuais, não é significativo o aumento do risco de doenças cancerígenas em crianças ou em adultos causados por metais pesados presentes no rejeito. A presença predominante de amianto-anfibólio nos rejeitos é uma séria

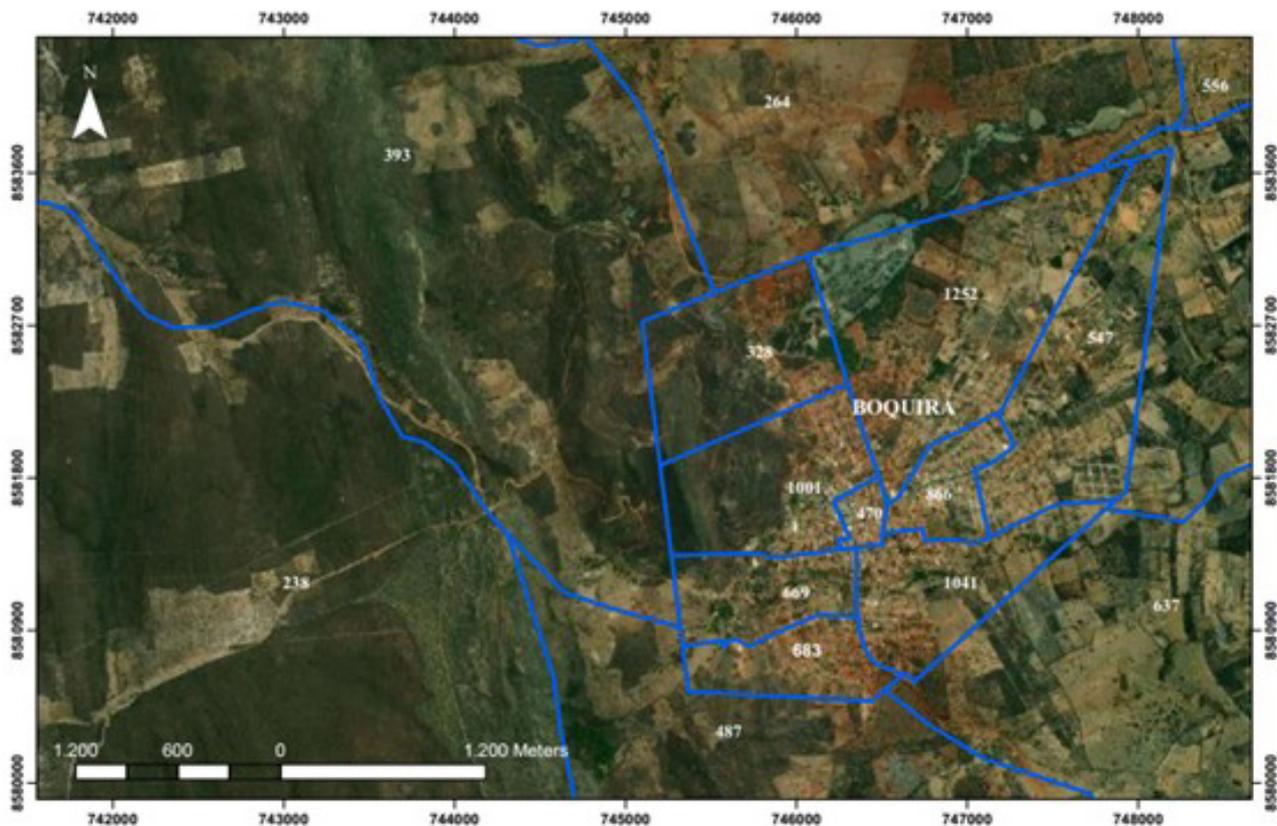


Figura 3. Região de Boquira com quantidade de pessoas residente em cada região.

fonte de preocupação, pois pode aumentar significativamente o risco a saúde humana devido à exposição às fibras minerais com significativo potencial carcinogênico. Foi observado que 9432 pessoas vivem a menos de 2 km da barragem de rejeitos; estando, portanto, expostas aos riscos associados ao rejeito, que inclui elementos potencialmente tóxicos (Pb, Cd e Zn) e amianto-anfibólio. Estudo recente mostra que a taxa de internações por doenças respiratórias e a taxa de mortalidade por doenças respiratórias e neoplasia em Boquira em 2011-2012 apresentou valores maiores que a média do estado da Bahia. Um programa de monitoramento

da concentração e de identificação de fibras minerais no ar se faz necessário para esta região. Assim como medidas de contenção para evitar a suspensão e o transporte destas fibras.

Agradecimentos

Este projeto teve suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- 1 Esporteille F, Fleischer RA. Mina de Boquira. In: Inda HAV, Duarte FB, editores. Geologia e recursos minerais do estado da Bahia. Salvador: Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral; 1980. p. 103-125.
- 2 Luz AB, Almeida SLM. Manual de usinas de beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM-CNPq; 1989. 203 p.
- 3 de Andrade Lima LRP, Barbosa LAD, Vasconcelos CSA, Silva JB Jr. Caracterização e tratamento do rejeito da mineração boquira. In: Anais do XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (ENTMME); 2009; Gramado. Gramado; 2009. p. 115-122.
- 4 Alves FEA, Bertolino LC, Mendes JC. Caracterização mineralógica do rejeito da mineração de chumbo em Boquira, Estado da Bahia, Brasil. Anuário do Instituto de Geociências. 2017;40(3):14-23.
- 5 Gunter ME, Belluso E, Mottana A. Amphiboles: environmental and health concerns. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2007;67(1):453-516.

- 6 U.S. Environmental Protection Agency – EPA. EPA/635/R-11/002F: toxicological review of libby amphibole asbestos, in support of summary information on the Integrated Risk Information System (IRIS). Washington: EPA; 2014.
- 7 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo populacional do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.
- 8 Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Diário Oficial da União. Dez 30 2009; no. 249.
- 9 Lu X, Zhang XY, Li L, Chen H. Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi'an, China. *Environmental Research*. 2014;128:27-34.
- 10 Zhang P, Qin C, Hong X, Kang G, Qin M, Yang D, et al. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution from lower reaches of Yellow River irrigation in China. *The Science of the Total Environment*. 2018;633:1136-1147.
- 11 Qingjie G, Jun D, Yunchuan X, Qingfei W, Liqiang Y. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *J China Univ Geosci*. 2008;19(3):230-241.
- 12 Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001.
- 13 Ferreira-Baptista L, De Miguel E. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric Environment*. 2005;39(25):4501-4512.
- 14 De Miguel E, Iribarren I, Chacón E, Ordoñez A, Charlesworth S. Risk-based evaluation of the exposure of children to trace elements in playgrounds in Madrid (Spain). *Chemosphere*. 2007;66(3):505-513.
- 15 Doabi SA, Karami M, Afyuni M, Yeganeh M. Pollution and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil, atmospheric dust and major food crops in Kermanshah province, Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018;163:153-164.
- 16 Kolo MT, Khandaker MU, Amin YM, Abdullah WHB, Bradley DA, Alzimami KS. Assessment of health risk due to the exposure of heavy metals in soil around mega coal-fired cement factory in Nigeria. *Results Phys*. 2018;11:755-762.
- 17 Martins EHC, Monteiro EMS. Riscos à saúde da população causados pela contaminação por chumbo no município de Boquira, Bahia. *Revista Baiana de Saúde Publica*. 2016;40:114-131.
- 18 Amarante AC, Silva FJL, Melo Ribeiro VC, Bautista-Vidal MJ, Martin RS. Estado da Bahia Atlas de Potencial Eólico. Projeto P&D COELBA-ANEEL; 2002.

Recebido em: 10 Abr. 2021

Accito em: 20 Jun. 2022