Universidade Federal do Pará
Faculdade de Geologia
Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EDSON JOSÉ LOUZADA BATISTA

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DAS ATIVIDADES MINERÁRIAS: O CASO DO ARSÊNIO EM VILA DE ELESBÃO, AMAPÁ-AP.

BELÉM
FEVEREIRO/2015

EDSON JOSÉ LOUZADA BATISTA

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DAS ATIVIDADES MINERÁRIAS: O CASO DO ARSÊNIO EM VILA DE ELESBÃO, AMAPÁ-AP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Estanislau Luczynski

BELÉM
FEVEREIRO/2015

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/UFPA

Batista, Edson José Louzada, 1992-
Impactos ambientais decorrentes de atividades minerárias: o caso do arsênio em Vila de Elesbão, Amapá-AP / Edson José Louzada Batista. – 2015
106 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Estanislau Luczynski
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2015.

1. Mineração - Aspectos ambientais - Amapá (AP). 2. Arsênio - Aspectos ambientais - Amapá (AP). I. Título.

CDD 22 ed. 333.85098116

EDSON JOSÉ LOUZADA BATISTA

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DAS ATIVIDADES MINERÁRIAS: O CASO DE ARSÊNIO EM VILA DE ELESBÃO, AMAPÁ-AP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Estanislau Luczynski - Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Evaldo Raimundo Pinto da Silva- Relator
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Clóvis Wagner Maurity - Terceiro Membro
Mestre em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

A minha Mãe: Ana Carla Louzada Pereira

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda força e esperança que ele me deu nos momentos mais difíceis da minha vida para que eu tivesse êxito nas minhas empreitadas, ainda que o fracasso e a derrota fosse uma sombra minha volta ele sempre me guiou pelos caminhos certos da vida.

Meu agradecimento eterno a minha amável mãe Ana Carla Louzada Pereira que depositou todo seu amor e fé em min e sempre me apoio nas minhas decisões durante toda minha vida.

In memoriam a minha Bisavó Ana Louzada Guimarães que sempre me deu conselhos incríveis e que nortearam minha vida acadêmica e social.

A minha família que incondicionalmente me ajudou à travar esta batalha de quase 5 anos na universidade.

Ao meu orientador Prof. Dr.Estanislau Luczynski por toda atenção e dedicação prestada durante a confecção desde trabalho, sem a sua ajuda eu não conseguiria, obrigado. A alguns professores do curso de Geologia que me ajudaram e contribuíram com o seu conhecimento para que eu conseguisse chegar ao final deste curso.

Aos Geólogos da CPRM, Jose Armindo Pinto e Abrão Freire Melo, pelas informações acerca do assunto e também pelos conselhos durante o estagio.

Meus agradecimentos especiais aos meus amigos e colegas de curso incluindo os da turma de 2010, Arthur Gerônimo o Passividade, Reinaldo Fontoura, Dayane Coelho, Helder Thadeu (o Facista cultural), Rafael Pereirinha, Paulo together (vulgo Cara de Peixe), Ramaon, mas conhecido como Pipes, Franco Felipe, Cristian Ribeiro também conhecido como Bino, Romulo Pinto Amaral o ultra gordo, Adson Pinheiro, Pablo o moleque Piranha, Patrícia à mulher X-Tudão, Nayra Micheli, Ailton Brito, Camila, Bruninha, Lucas Baía (o Mendigo), Davison Serrão, Caio Alves, Percival e Hanna Sales.

Também e não menos importante gostaria de agradecer ao complexo do Vadião por esses quase 5 anos que você se fez presente na minha vida, principalmente nas sextas feiras, com seu apoio conseguimos chegar ao fim desta jornada árdua e cansativa que é o curso de Geologia da UFPA .

Em fim gostaria de agradecer a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, meus eternos agradecimentos a vocês.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo”.

Winston Churchill

RESUMO

A atividade mineradora é conhecida dos mais remotos tempos da civilização humana contribuindo para o desenvolvimento e modernização. No cenário atual ela continua sendo de vital importância para aquelas regiões que se utilizam da explotação dos mais variados bens minerais oriundos dessa atividade. Entretanto, assim como no passado e mais intensificado no atual contexto, ela vem gerando grandes impactos na esfera socioambiental. Nos últimos anos, diversos problemas relacionados à saúde da população no entorno dos grandes empreendimentos minerais figuraram no cenário mundial. Em nível regional, pode ser ressaltado à contaminação por Arsênio na localidade de Vila de Elesbão, no estado Amapá, situada às margens do canal norte da foz do rio Amazonas próximo ao porto de Santana. Nesse local, a mineradora ICOMI (Indústria e Comércio de Minérios S.A), durante os anos 1953 a 1998, atuou na exploração e beneficiamento do minério de manganês possivelmente contribuindo para a contaminação na localidade de Elesbão. Ocasionado pelo vazamento de substâncias toxicas, dentre elas o arsênio (As), em virtude da ruptura da barragem de contenção de rejeito do minério de manganês de baixo teor. Trata-se do material armazenado após o processo de peletização em condições ambientes. O rejeito do minério sofreu processos químicos (reações oxidantes) e posterior lixiviação do As, um metal pesado e toxico contaminando solos e aguas das regiões anexas ao empreendimento. (Scarpelli 2003). Existem diversos registros de problemas de saúde relatados pela população local, que podem estar relacionado ao passivo ambiental deixado pela ICOMI, durante os anos de atuação na a região. Diversos estudos realizados ao longo dos anos constataram concentrações elevadas de arsênio no meio ambiente, entretanto poucos faziam alusões ao arsênio como agente causador das graves patologias registradas. O Arsênio é toxico em concentrações acima de 1 µg\L no organismo humano indicam uma intoxicação crônica, enquanto valores de 1 a 2 µg\L caracterizam a intoxicação aguda. O caso que ocorreu na localidade de Vila de Elesbão pode ser visto como exemplo de impactos gerados por resíduos de empreendimentos minerários.

Palavras-chaves: Mineração. Impacto ambiental. Arsênio.

ABSTRACT

Mining activity is known to the earliest times of human civilization contributing to the development and modernization. In the present scenario it remains vitally important for those regions that use the exploitation of various minerals resulting from this activity. However, as in the past and more intensified in the current context, it has generated impacts on social and environmental sphere. In recent years, many problems related to the health of the population in the vicinity of large mineral projects figured on the world stage. At the regional level, can be emphasized to contamination by arsenic in Elesbão village locality, in Amapá state, situated on the banks of the canal north of the mouth of the Amazon River near the port of Santana. There, the ICOMI mining (Industry and Trade of ores SA) during the years 1953 to 1998, he served in the exploitation and processing of manganese ore possibly contributing to the contamination in the town of Elesbão. Caused by leakage of toxic substances including arsenic (As), due to the rupture of the tailings containment dam of low grade manganese ore. It stockpiles after the pelleting process at ambient conditions. The waste ore suffered chemical processes (oxidation reactions) and subsequent leaching of As, a heavy metal and toxic contaminating soils and waters of the regions attached to the enterprise. (Scarpelli 2003). There are several records of health problems reported by the local population, which may be related to environmental liabilities left by ICOMI during the years of work in the region. Several studies over the years have found high concentrations of arsenic in the environment, however, few references made to arsenic as a causative agent of serious pathologies recorded. The Arsenic is toxic in above 1 µg/L concentrations in humans indicate a chronic intoxication, while values from 1 to 2 µg/L characterize acute intoxication. The case occurred in Elesbão village locality can be seen as an example of impacts generated by waste mining ventures.

Keywords: Mining. Environmental impact. Arsenic.

LISTA DE ILUSTRAÇÔES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, em destaque a localidade de Vila de Elesbão. 22

Figura 2 - Mapa dos principais tipos de relevo que caracterizam o estado do Amapá, detalhe para a área em vermelho, caracterizada como planície litorânea, onde a área de estudo esta inserida. 26

Figura 3 - Mapa hidrográfico do estado do Amapá. 27

Figura 4 - Mapa geológico doe estado do Amapá, destaque para a porção Sudeste do estado onde esta inserida a área de estudo, sedimentos aluvionares de idade quaternária são predominantes na área. 32

Figura 5 - Em (A) Destaque para o lago artificial de coloração azul de uma beleza nociva, agua do lago contém elevados teores de substância prejudicais a saúde humana, dentre eles o próprio manganês, esta localizado em uma antiga cava de extração de minério de manganês no município de Serra do Navio- AP; em (B) Cava de extração de minério de Cobre na Mina Serra Norte em Canaã dos Carajás-PA, destaque para a paisagem lunar que atividade mineral gerou neste local 34

Figura 6 - Pilha de estéril de Mn depositado no hoje município de Serra do Navio antiga vila operaria da ICOMI no Amapá. 37

Figura 7 - Figura mostrando as principais regiões da Argentina que sofrem com a exposição ao arsênio e casos de hidroarsenismo 44

Figura 8 - Compostos orgânicos de arsênio de maior ocorrência natural em ambientes aquáticos. 55

Figura 9 - Mapa com as principais ocorrências de contaminação por arsênio no mundo.....60

Figura 10 - Efeitos de exposição crônica de Arsênio por longo período causa patologias relacionadas a pele, principalmente câncer entre outras doenças, em (A) aspectos da mão de um pessoa contaminada, em (B) revela pessoas com hiperqueratose, e em (C) homem morador de Bengali na índia com sintomas apresentando quadro de

alterações dérmicas na mão, (D) quadro de alteraçõesdérmicas presentes no pé.....62

Figura 11 - Esquema de remoção do arsênio da água baseado na técnica de SORAS (*Solar Oxidation and Removal of Arsenic*)..... 71

Figura 12 - Mapa de localização e acesso a Serra do Navio, detalhe para a área que representa o destino final do minério de manganês extraído de Serra do Navio e já processado, cujo destino era o Porto de Santana para dai partir para os mercados externos, onde em seus arredores houve a contaminação do meio ambiente pelo elemento Arsênio. 73

Figura 13 - Em (A) ferrovia que levaria o minério de manganês de Serra do Navio ate o porto de Santana, em (B) estruturas de processamento do minério no perímetro de mineração, (C) e (D) vista do porto de Santana destino final para o minério de manganês extraído em Serra do Navio e ponto de partida para o mercado externo o primeiro recém-montado e o segundo nos dias atuais..... 76

Figura 14 - Em (A) Destaque para a planta da Vila de Serra do Navio, a área desmatada para construí-la e a própria vila já construída, (B) cartaz da época enaltecendo a Vila de Serra do Navio na época sinônimo de conforto e elevada qualidade de vida para seus habitantes..... 77

Figura 15 - Secção de uma das minas explorada pela ICOMI para a explotação de minério de manganês destaque em vermelho para a morfologia do corpo mineralizado e para a rocha hospedeira (quarzto-biotita-granada-xisto em verde) do minério..... 80

Figura 16 - Estocagem de rejeito de minerio Mn de baixo teor, ao fundo comunidade ribeirinha de Vila de Elesbão. 84

Figura 17 - Mapa com os pontos coletados por Lima et al, 2002, na área industrial da usina de pelotização da ICOMI. 89

Figura 18 - Mapa de dispersão da possível contaminação de arsênio na região próximo a área industrial da empresa ICOMI, próximo ao porto de Santana, em (1) analise comprando o elemento na agua, em (2)

nos sedimentos da área e (3), em materiais suspensos nas águas do entorno da área industrial..... 91

Figura 19 - Bacia de rejeito vedada com manta impermeável, para onde seria transferido os rejeito da área portuária de Santana. 95

Figura 20 - Mapa mostrando os Poços de monitoramento instalados na área da usina de peletização, nas proximidades do porto de Santana. 96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração de arsênio em urina de crianças e adultos no Médio Vale do Ribeira (2002-2003) Cerro Azul e Bairro da Serra (Iporanga), destaque em vermelho para as regiões com valores elevadosrelacionadoscom a própria geologia da região. 49

Tabela 2 - Principais características físico-químicas do elemento arsênio.....51

Tabela 3 - Teores médios de arsénio (mg/kg) na crosta terrestre, em vários tipos de rochas e em solos..... 52

Tabela 4 - Compostos de arsênio e suas Formulas químicas..... 54

Tabela 5 - Principais técnicas utilizadas na remoção do arsênio do meio ambiente e comparação das eficiências das Técnicas convencionais de remoção..... 66

Tabela 6 - Comparação entre as principais técnicas emergentes de remoção de arsénio 70

Tabela 7 - Resultados das análises de arsênio em água, sedimento de fundo e no material particulado suspenso nos igarapés Elesbão 1 e Elesbão 2. 89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	- Alumina Ativada
AP	- Amapá
ATSDR	- Agency for Toxic Substances & Disease Registry
CAEMI	- Companhia Auxiliar de Mineração
CNMM	- Conselho Nacional de Minas e Metalurgia
CPRM	- Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
DNPM	- Departamento Nacional de Produção Mineral
DMA	- Dimetilarseniato
ICOMI	- Indústria Comércio de Minerais
IBAMA	- Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCTA	- Instituto de Pesquisa Ciência e Tecnológia do Amapá
MMA	- Monometilaraseniato
NRCC	- National Research Council Canada
OMS	- Organização Mundial de Saúde
PIB	- Produto Interno Bruto
QF	- Quadrilátero Ferrífero
SEMA	- Secretária Estadual de Meio Ambiente
SORAS	- Solar Oxidation and Removal of Arsenic
URSS	- União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USEPA	- United States Environmental Protection Agency
UV	- Ultra Violeta
WHO	- World Health Organization
ZCA	- Zona Costeira do Amapá

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 20
1.1 Apresentação 20
1.2 Localização da área de estudo 21
1.3 Objetivos 22
1.3.1 Objetivos gerais 23
1.3.2 Objetivos específicos 23
2 MATERIAIS E MÉTODOS 23
2.1 Descrição da metodologia 24
3 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA ÁREA 25
3.1 Relevo 25
3.2 Vegetação 26
3.3 Hidrografia 27
3.4 Clima 28
3.5 Geomorfologia 28
3.5.1 Planaltos Residuais do Amapá 28
3.5.2 Planalto Rebaixado da Amazônia 28
3.5.3 Colinas do Amapá 29
3.5.4 Depressão Periférica do Norte do Pará 29
3.5. 5 Planície Flúvio-Marinha Macapá/Oiapoque 29
3.6 Geologia 29
3.6.1 Crosta antiga 30
3.6.2 Coberturas Plataformais 30
4 IMPACTOS AMBIENTAIS 33
4.1 Introdução 33
4.2 Principais Impactos ambientais decorrentes das atividades Minerárias 33
4.3 Degradação da Paisagem 34
4.4 Tráfego de Veículos 35
4.5 Poeira e Gases 35
4.6 Contaminação da Água 35
4.7 Rejeito e Estéril 36

4.8 Impactos ambientais em áreas urbanas 37
4.9 Conclusões 38
5 CASOS DE CONTAMINAÇÕES POR ARSÊNIO (As) 39
5.1 Introdução 39
5.2 Bangladesh 39
5.3 China 40
5.4 Tailândia 42
5.5 Argentina 43
5.6 Estados Unidos da America (EUA) 45
5.7 Quadrilátreo Ferrífero (Brasil-MG) 46
5.8 Vale da Ribeira (Brasil) 47
5.9 Conclusões 49
6 ARSÊNIO:ASPECTOS QUÍMICOS 50
6.1 Introdução 50
6.2 Propriedades físico-químicas 50
6.3 Distribição e abundância do arsênio 52
6.4 Fontes 53
6.5 Principais espécies químicas do asênio 53
6.6 Geoquimica 56
6.7 Mobilidade e comportamento 58
6.8 Produção e uso 59
6.9 Toxidade do arsênio para a saúde humana 59
6.10 Patologias decorrentes da contaminação por arsênio 61
6.11 Prevenção e tratamento 63
6.12 Conclusões 64
7 TECNICAS DE REMEDIAÇÃO DO ARSÊNIO DO MEIO AMBIENTE 65
7.1 Introdução 65
7.2 Processo de precipitação 66
7.2.1 Coagulação/filtração 66
7.2.2 Suavização/Enfraqueciemnto pela Cal 67
7.3 Processo de adsorção 67
7.3.1 Alumina Ativada 67
7.4 Permuta iônica 68

7.5 Processo de membrana 69
7.6 Tecnologias alternativas 69
8 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO DA ICOMI NO AMAPÁ 72
8.1 Introdução 72
8.2 Localização e aceso do empreendimento 72
8.3 Contexto histórico 74
8.4 Geologia da Serra do Navio 79
9 O ESTUDO DE CASO DO ARSÊNIO EM VILA DE ELESBÃO-AP 81
9.1 Introdução 81
9.2 Problemática 82
9.3 Diagnóstico 84
9.4 Tipo de minério presente e sua relação com o arsênio 86
9.5 Origem da contaminação 87
9.6 Análise de dados 88
9.7 Discussão dos dados 92
9.8 Consequências e medidas efetuadas na área afetada 94
10 CONCLUSÕES 97
REFERÊNCIAS 99

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A atividade mineradora é uma das atividades mais antigas exercidas pela civilização humana, documentos históricos fazem alusão e esta atividade datadas de 500 a.C, durante todo a historia do desenvolvimento humano ela serviu para alicerçar à ascensão de grandes civilizações, como a e Egípcia, Persa, Romana entre outras.

A extração mineral é uma atividade importante para o desenvolvimento social e econômico. Ela é a base de formação da cadeia produtiva, do processo de transformação de minérios até os produtos industrializados. Na medida em que as cidades crescem, criam-se demandas por infraestrutura e serviços, o que induz a instalação de indústrias de transformação (SILVA, 2010). Neste contexto, a mineração é reconhecida internacionalmente como atividade propulsora do desenvolvimento, tendo grande participação no desenvolvimento econômico de muitas das principais nações do mundo (PINTO, 2006).

Porém em contrapartida esta atividade no cenário atual vem sendo cada vez mais alvo de inúmeras criticas ambientais, por conta do seu grande poder de desestruturação socioambiental no meio físico, como o desmatamento da flora e fauna, construção de paisagens lunares, poluição hídrica, do solo e sonora. A utilização de produtos químicos contamina o solo, alterando suas propriedades. As chuvas arrastam esses produtos químicos para os rios, que também se contaminam. Durante o processo de infiltração da água, o lençol freático é atingido por essas substâncias. Em quase todas as etapas da extração mineral (lavra, beneficiamento, infraestrutura, etc.) é consumido um grande volume de água. Esse aspecto é preocupante, visto que a água é um bem essencial para a manutenção da vida na Terra e deve ter seu uso gerenciado.

Um dos um dos grandes problemas de ordem social é o remanejamento de comunidades para a realização das atividades minerais. Famílias podem ser

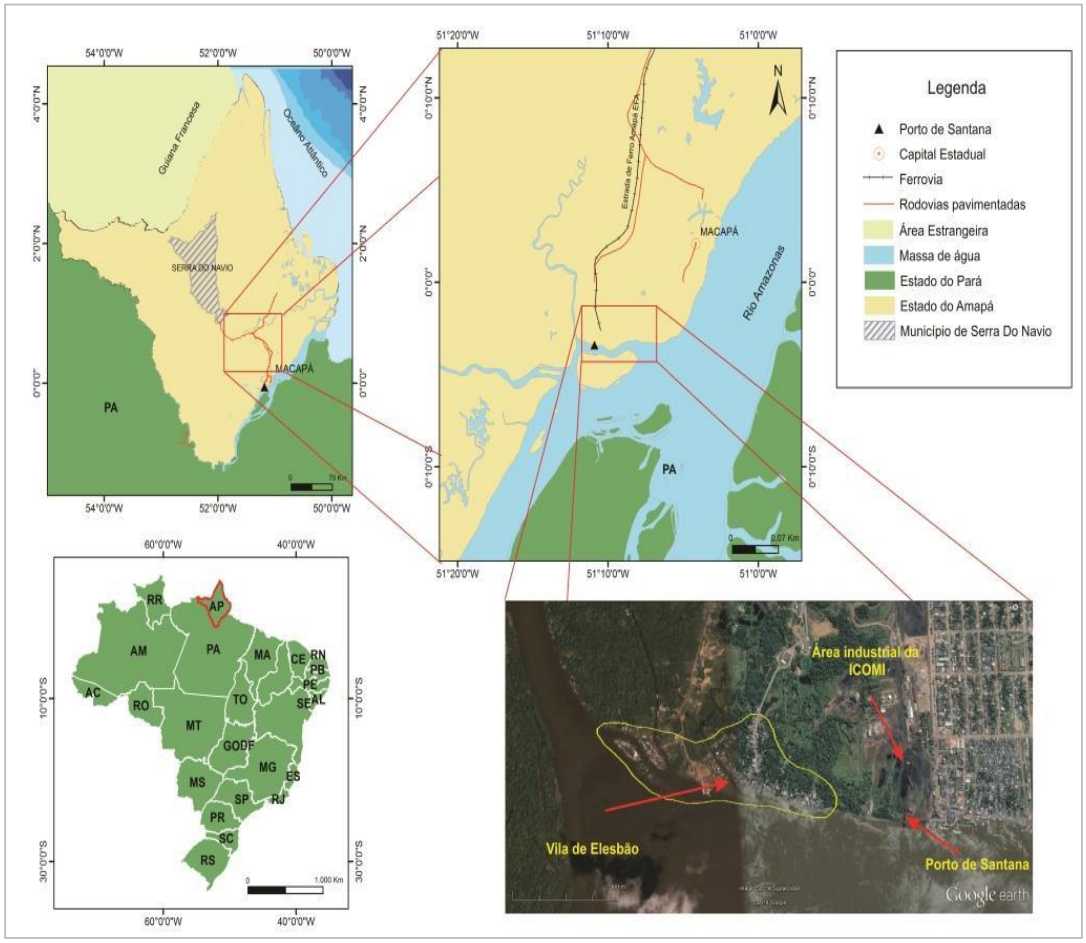
deslocadas da sua moradia devido ao processo exploratório. Outro aspecto negativo é a situação de trabalho nas minas, em que a exposição aos resíduos pode levar a problemas respiratórios (asma, bronquite, silicose entre outros). Portanto o que se nota é que a atividade mineradora possuiu aspectos positivos e negativos, nesse sentido deve-se ponderar o chamando custo beneficio socioambiental durante a instalação de grandes empreendimentos minerais, uma vez que tais empreendimentos são temporários, mas suas consequências permanecem por anos, durante e após o encerramento de suas atividades.

1.2 Localização da área de estudo

O Estado do Amapá, localizado na Região Norte, possui uma superfície territorial de 143.453,7 km², correspondendo a 1,67% do território nacional e a 3,7% da área da Região Norte. Situado no extremo norte do país, o Amapá faz fronteira com o Estado do Pará, com o Suriname e a Guiana Francesa e concentra uma grande diversidade em ambientes naturais, fazendo parte de dois grandes domínios geográficos: o amazônico e o oceânico, o que lhe atribui características muito particulares quanto à formação e à estruturação de seus ambientes naturais.

A capital do estado é Macapá, a cidade mais populosa do território amapaense. Na porção sudeste deste estado situada às margens do canal norte da foz do rio Amazonas e próxima ao porto de Santana está localizada a pequena localidade de Vila de Elesbão, (Figura 1) local do incidente relacionado à contaminação de arsênio no meio ambiente. Essa vila possui cerca de 1800 moradores, sendo que no final de 2000 havia 936 crianças. A principal atividade econômica é a pesca do camarão seguida de perto pelo comércio e pela carpintaria. Muitos dos habitantes já trabalharam para a ICOMI (Indústria comercio de Minérios Ltda.) na época que ainda estava em atividade na região (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, em destaque a localidade de Vila de Elesbão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por objetivo fazer um levantamento de dados e informações acercar dos principais impactos causados pelas atividades mineradoras, especificamente à contaminação do arsênio em Vila de Elesbão, Amapá, no intuito de melhor compreender a possível relação entre os empreendimentos e seus potenciais impactos sobre o meio ambiente.

1.3.2 Objetivos específicos

Tentar evidenciar a relação entre os empreendimentos minerais e suas implicações no meio inserido, e os problemas de gestão destes empreendimentos para com os seus resíduos industriais, que podem ser potencialmente prejudicais a saúde humana. Utilizar-se como exemplo um estudo de caso ocorrido em vila de Elesbão no estado do Amapá (AP).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho constitui-se de algumas etapas que a seguir serão brevemente descritas

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica acerca dos principais impactos causados pela atividade mineradora, bem como os mais importantes casos de contaminações do arsênio no mundo e inclusive no Brasil além de assuntos relacionados ao histórico de implantação destes empreendimentos na área de estudo, assim como as características inerentes do elemento arsênio e suas implicações para a saúde humana.

Posteriormente foi feito um levantamento de dados e informações acerca da contaminação do arsênio em Vila de Elesbão, assim como as caraterísticas geológicas, socioeconômicas e ambientais da região.

De posse de diversos dados e informações do assunto ocorreu uma seleção desses últimos, enfatizando as informações mais pertinentes para este trabalho, sequencialmente houve a compilação de dados e informações para a estruturação deste trabalho e apartir de alguns dados adquiridos foi gerado alguns mapas usando os software ArcGIS 10.1 e Google Earth além de tabelas que fazem alusão ao assunto debatido no presente trabalho, com o objetivo de otimizar a transmissão da informação para o leitor.

3 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA ÁREA

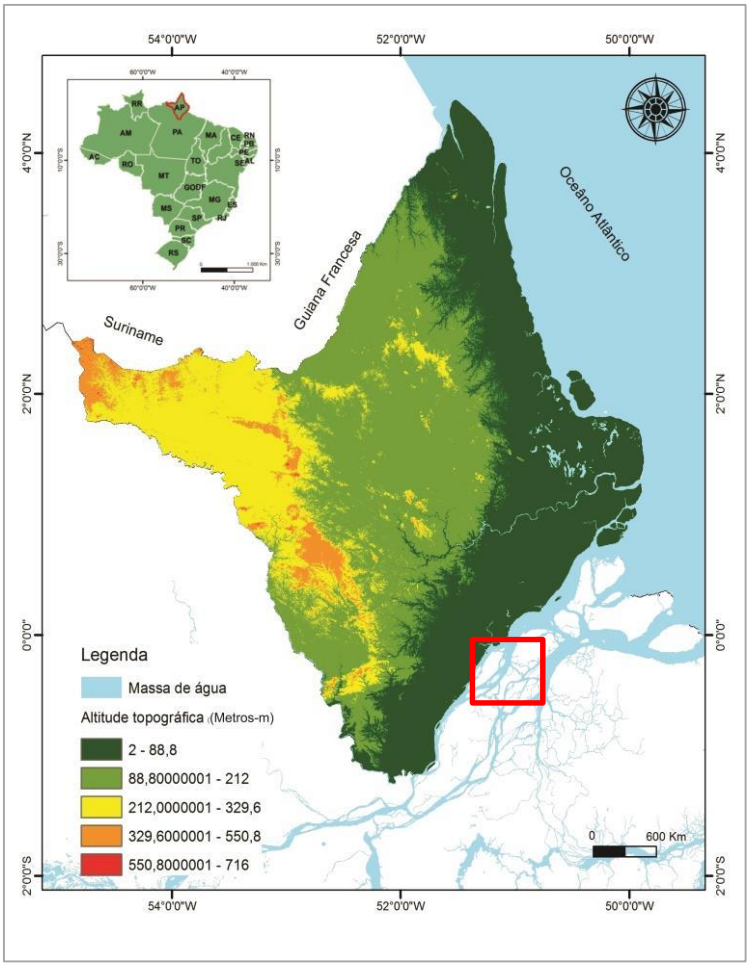
3.1 Relevo

O estado do Amapá apresenta basicamente três modalidades de relevo Figura 2, são elas:

- Planície Litorânea: é caracterizada por ambientes propícios a inundações, pois a superfície é muito plana e dificulta a drenagem das águas.
- Baixo Planalto Terciário: refere-se a planaltos levemente elevados e planície litorânea.
- Planalto Cristalino: essa unidade de relevo predomina no Estado, ocupa grande parte do território, localiza-se em uma região que concentra diversas serras, colinas e morros.

O relevo do Estado é predominantemente plano, isto é, com baixas altitudes, se faz presente nas proximidades da foz do Rio Amazonas, litoral e bacia Oiapoque. Na porção centro-oeste e noroeste apresentam maiores elevações, podendo atingir 500 metros acima do nível do mar, destacando-se a Serra do Tumucumaque e a Serra Lombarda. Nesse contexto a área de estudo esta inserida na modalidade de planície litorânea (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Figura 2 - Mapa dos principais tipos de relevos que caracterizam o estado do Amapá, detalhe para a área em vermelho, caracterizada como planície litorânea, onde a área de estudo esta inserida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

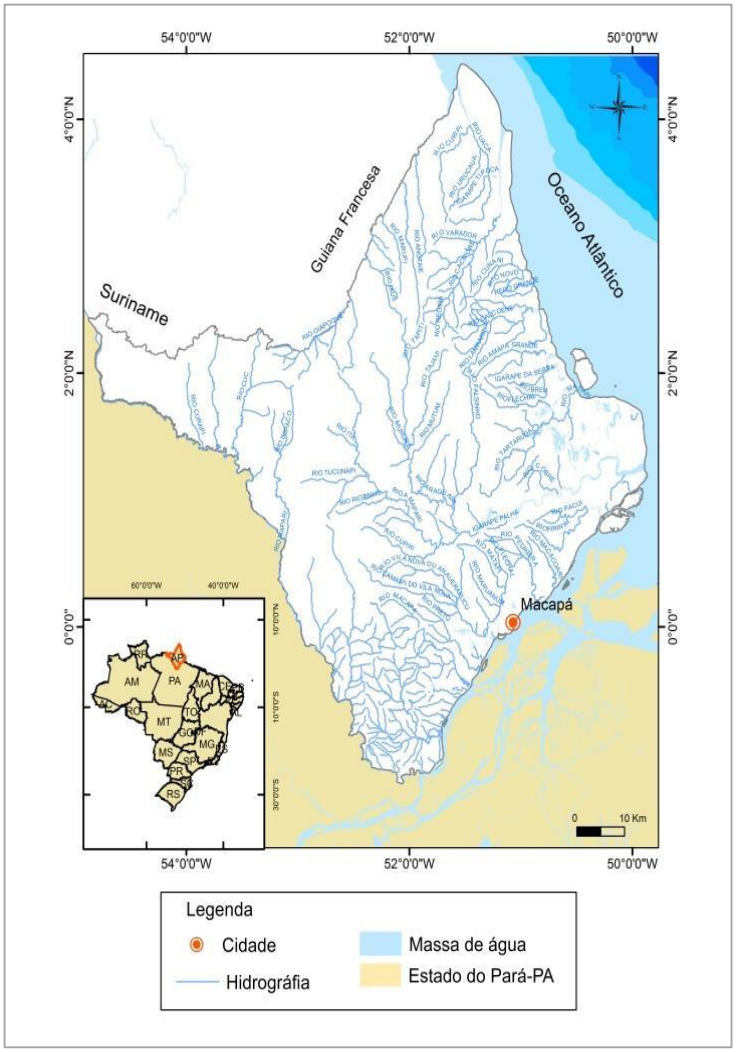
3.2 Vegetação

Como o clima do Estado do Amapá é quente e úmido a cobertura vegetal é bastante diversificada e apresenta densas Florestas, e essas são classificadas em Floresta de Várzea, Floresta de Terra Firme, além de campos e cerrados. Nas áreas próximas ao litoral a vegetação encontrada é mangue ou manguezal. Aproximadamente 73% da área estadual é coberta pela Floresta Amazônica, na área de estudo o principal tipo de vegetação encontrada e do tipo manguezal com porções de florestas de várzea em menor expressão (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

3.3 Hidrografia

Cerca de 40% da bacia hidrográfica do Estado do Amapá faz parte da bacia do Amazonas. A rede hidrográfica do Amapá Figura 3 é formada por rios que desempenham um grande papel econômico na região desde a atividade pesqueira até o transporte hidroviário além de servir como abastecimento para a população ribeirinha. A maioria dos rios do estado deságua no oceano Atlântico (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Figura 3 - Mapa hidrográfico do estado do Amapá.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Clima

A classificação oficial do clima do Amapá é "tropical superúmido". O estado possui duas regiões climáticas principais. Uma delas é úmida (dois meses secos) e predominante sobre a maior parte do interior do estado - oeste, sul norte e toda a parte central. A outra é úmida (com três meses secos) e é registrada na maior parte do litoral - leste. A precipitação anual média cai significativamente do litoral para o interior. A costa Atlântica, incluindo Macapá, registra uma média de 3 250 mm de chuva anuais, diferente de Serra do Navio, que recebe uma diferença de 1 000 mm anuais. Os ventos no Amapá são, em sua maioria, moderados; a temperatura mínima já registrada foi 16°C e a máxima absoluta já atingida foi de 38°C. A umidade anual gira em torno de 85% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

3.5 Geomorfologia

Cinco unidades morfoestruturais ocorrem no Estado do Amapá de acordo com Boaventura e Narita, (1974) são:

3.5.1 Planaltos Residuais do Amapá

Esta unidade de relevo é formada por maciços residuais, constituídos por rochas pré-cambrianas. Esses maciços caracterizam-se por uma dissecação fluvial intensa e podem dar origem a um conjunto de cristas e picos ou formas tabulares, sendo estes últimos testemunhos da superfície aplainada mais elevada da região. Localmente, são denominados de Serra do Iratapurú, do Ipitinga, do Tumucumaque e do Navio, com altitudes variáveis entre 400 e 550 m.

3.5.2 Planalto Rebaixado da Amazônia

Apresenta altitude média de 100 m, sendo constituído por sedimentos do Grupo Barreiras; localizam-se na porção oriental da região, com caimento

suave para o rio Amazonas. Possui uma densidade elevada da rede de drenagem. E neste domínio que esta inserida área de estudo.

3.5.3 Colinas do Amapá

Corresponde à unidade de maior expressão espacial da região. Apresentam altitudes variando entre 150 a 200 m, com declividade regional na direção leste. Na faixa costeira, apresentam cotas inferiores a 100 m. Os principais rios que drenam a área de Colinas do Amapá são Oiapoque, Araguari, Jarí e o Ipitinga.

3.5.4 Depressão Periférica do Norte do Pará

Esta unidade representa o prolongamento da faixa de circundesnudação periférica à bacia sedimentar do Amazonas. Limita-se a norte por cristas e escarpamentos do Planalto Residual do Amapá, que recebe localmente a denominação de Serra do Ipitinga e a leste pelos rebordos do Planalto Rebaixado da Amazônia.

3.5.5 Planície Flúvio-Marinha Macapá/Oiapoque

Esta unidade de relevo corresponde à área ocupada pela ZCA (Zona Costeira do Amapá no trecho Macapá - foz do rio Oiapoque; constitui-se de sedimentos arenosos, siltosos, argilosos e vasas. Segundo Faria Jr. et al. (1990) a costa do Amapá é do tipo progradacional nos Cabos Cassiporé e Orange, ao passo que o setor compreendido entre o Cabo Norte e o sul do Cabo Cassiporé está submetido a fortes processos erosionais.

3.6 **Geologia**

O Estado do Amapá abrange um território de pouco mais de 14 milhões de hectares, cuja geodiversidade tem potencialidade mineral para diversos bens de interesse econômico, dentre os quais se destacam minerais metálicos, como ouro, cromo, ferro, cassiterita, tantalita, outros; jazimentos minerais não

metálicos como o caulim e a bauxita e; aqueles utilizados na construção civil: argila, seixo, areia e rocha para brita.

Em consonância com o Instituto de pesquisas científicas e tecnológicas do estado do Amapá (INTITUTO DE PESQUISA CIENTIFICA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ, 2002), o contexto geológico do estado pode ser simplificado em duas unidades geotectônicas distintas: crosta antiga retrabalhada ou não e coberturas plataformais.

3.6.1 Crosta antiga

A crosta antiga corresponde ao domínio de rochas cristalinas assentadas em pouco mais de 70% do estado. Constituem um prolongamento do escudo das Guianas em território brasileiro, onde passa a ser chamado de cráton amazônico conforme Santos, (2003) o designa como domínio Amapá da Província Transamazônica.

O domínio Amapá é caracterizado como terrenos granito-greenstone, onde ocorrem complexos metamórficos de médio a alto grau, faixas móveis tipo “greenstone belts” e, manifestações intrusivas ácidas a básicas. A maior parte deste domínio data do proterozóico superior, contudo, são também encontrados remanescentes arqueanos.

Os litotipos metamórficos de médio a alto grau são representados por gnaisses, granulitos e migmatitos pertencentes aos Complexos Guianenses e Tumucumaque.

3.6.2 Coberturas Plataformais

Ocorre na porção sul e se estendem por toda a zona litorânea do estado, sendo caracterizadas pela ocorrência de rochas sedimentares paleo-mesozóicas do flanco norte da bacia do Amazonas e sequências sedimentares cenozóicas.

Os sedimentos mais antigos são representados por termos clásticos a pelíticos, pertencentes às seguintes unidades, segundo o (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2004):

- Formação Trombetas – de idade siluriana é representada principalmente por arenitos na base com intercalação de siltitos e folhelhos no topo;
- Formação Maecuru – pertence ao devoniano sendo caracterizada por termos predominantemente arenosos, mas também com a ocorrência de siltitos e folhelhos;
- Formação Ererê - também de idade devoniana onde ocorrem siltitos com intercalações de arenitos, sendo que em direção ao topo aparecem finas intercalações de folhelhos fossilíferos e;
- Formação Curuá (Devoniano) - dominada por folhelhos pretos marinhos, piritosos, com intercalação de siltitos e arenitos.

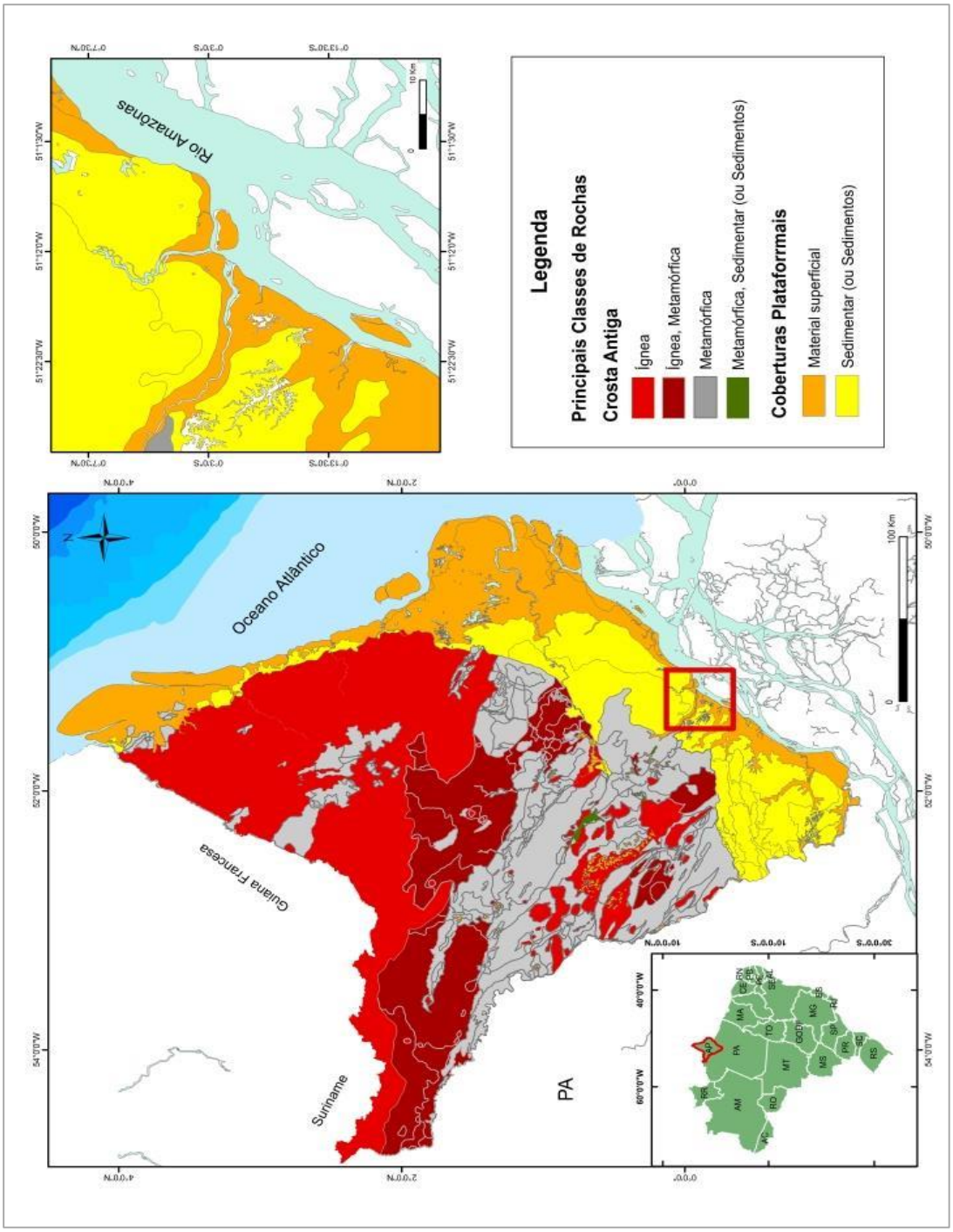
São encontrados ainda no flanco norte da bacia do Amazonas estratos sedimentares de idade mesozóica (Cretáceo) da Formação Alter do Chão representados por rochas clásticas de origem continental: arenitos, siltitos e argilitos caulínicos.

Já na borda litorânea e estuarina que se estendem pelas porções leste e extremo sul do estado, ocorrem coberturas sedimentares cenozóicas terciárias do Grupo Barreiras e quaternárias associadas a processos deposicionais recentes em planície flúvio-costeira.

O Grupo Barreiras de idade terciária é formado por arenitos finos, siltitos e argilitos caulínicos com lentes e conglomerados e arenitos grosseiros. São geralmente friáveis e pouco estruturados.

A área de estudo e formada por depósitos sedimentares quaternários, podem ser pleistocênicos ou recentes, sendo encontrados ao longo e nas margens de sistemas fluviais, ambientes lacustres, mangues e cordões litorâneos (Figura 4).

Figura 4 - Mapa geológico doe estado do Amapá, destaque para a porção Sudeste do estado onde esta inserida a área de estudo, sedimentos aluvionares de idade quaternária são predominantes na área.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 IMPACTOS AMBIENTAIS

4.1 Introdução

É notório que as atividades minerárias exercem grande pressão sobre o meio ambiente em que é instalada, a ação impactante pode afetar direta ou indiretamente as pessoas, podendo esta ser prejudicial à saúde humana ou para o meio da qual esta se utiliza para viabilizar sua sobrevivência. Entretanto sabemos que os empreendimentos minerais também geram grandes benefícios, como arrecadação de imposto, infraestruturas, melhoria na qualidade de vida econômica, favorecimento da balança comercial entre outras.

O que deve ser pertinente para viabilização dos empreendimentos minerais é sua estruturação adequada desde a sua instalação até o fechamento, no intuito de resguarda a qualidade de vida do meio ambiente e seus eventuais “inquilinos”, nesse sentido foi realizado uma breve revisão bibliográfica acerca dos principais impactos decorrentes desta atividade que representa 4% do PIB (Produto interno Bruto) do país, o que equivale a cerca de 50 bilhões de reais por ano, refletindo assim sua grande importância econômica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2008).

4.2 Principais Impactos ambientais decorrentes das atividades minerárias

Assim como toda exploração de recurso natural, a atividade de mineração provoca impactos no meio ambiente seja no que diz respeito à exploração de áreas naturais ou mesmo na geração de resíduos. De acordo com a Companhia de pesquisa e recursos minerais, (2014) os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em cinco categorias: poluição da água, poluição do solo e do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão e rejeitos radioativos. A seguir, serão relatadas algumas atividades de exploração mineral onde são abordados os impactos ambientais gerados durante o processo de exploração e disposição de seus resíduos. No caso de Elesbão que mais adiante iremos tratar, os

principais impactos estariam associados em pelo menos três destas categorias, mas principalmente a poluição da água e solo além da produção de rejeitos tóxicos.

4.3 Degradação da paisagem

O principal e mais característico impacto causado pela atividade minerária é o que se refere à degradação visual da paisagem, a atividade mineradora apesar de não demandar grandes extensões de terra como na agricultura entre outras atividades, esta por sua vez acaba por transformar totalmente a paisagem local, na medida em que ocorre a lavra do bem mineral, toneladas de rejeitos são retirados juntos e depósitos em local adequado, todo o solo é retirado, bem como a vegetação nativa e com o passar do tempo uma enorme cava se forma, originando as chamadas “paisagens lunares” isto para aqueles empreendimentos que adotam o método de lavra a céu aberto, o que, diga-se de passagem, e bem comum na atividade mineral. A seguir, a Figura 5, ilustra alguns dos impactos ambientais causados pelas atividades mineradoras em particular a degradação da paisagem natural (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1992).

Figura 5 - Em (A) Destaque para o lago artificial de coloração azul de uma beleza nociva, agua do lago contém elevados teores de substância prejudicais a saúde humana, dentre eles o próprio manganês, esta localizado em uma antiga cava de extração de minério de manganês no município de Serra do Navio- AP; em (B) Cava de extração de minério de Cobre na Mina Serra Norte em Canaã dos Carajás-PA, destaque para a paisagem lunar que atividade mineral gerou neste local

Fonte: Sakamoto, (2001).

4.4 Tráfego de Veículos

O tráfego intenso de veículos pesados, carregados de minérios, causam uma série de transtornos à comunidade, especialmente nas áreas mais proximas a minas, como: poeira, emissão de ruídos, frequente deterioração do sistema viário da região entre outros (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1992).

4.5 Poeira e Gases

Um dos maiores transtornos enfrentados pelos habitantes próximos e/ou os que trabalham diretamente em minas, relaciona-se com a poeira. Esta pode ter origem tanto nos trabalhos de perfuração da rocha como nas etapas de beneficiamento e de transporte da produção.

Estes resíduos podem ser solúveis, ou particulares que ficam em suspensão como lama e poeira. A contribuição da mineração para a poluição do ar é principalmente uma poluição por poeira. A poluição por gases a partir da mineração é pouco significativa, e em geral se restringe à emissão dos motores das máquinas e veículos usados na lavra e beneficiamento do minério (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 1992).

4.6 Contaminação da água

Quanto à poluição das águas provocada pela mineração, a maior parte das mineradoras no Brasil provoca poluição por lama. A poluição por compostos químicos solúveis, também existe e pode ser localmente grave, mas é mais restrita. O controle no caso da lama é termicamente simples, mas pode requerer investimentos consideráveis.

As minerações de ferro, calcário, granito, areia, argila, bauxita, manganês, cassiterita, diamante e várias outras, provocam em geral poluição das águas apenas por lama. O controle tem que ser feito através de barragens para contenção e sedimentação destas lamas. As barragens são muitas vezes

os investimentos mais pesados em controle ambiental realizado pelas empresas de mineração. Por outro lado, estas barragens servem também para recirculação de água e podem não ser consideradas investimentos exclusivos de controle ambiental.

Além da poluição por lama, muitas minerações provocam poluição de natureza química, por efluentes que se dissolvem na água usada no tratamento do minério ou na água que passa pela área de mineração. As minerações de ouro podem apresentar problemas mais complexos de contaminação das águas, por usarem cianetos altamente tóxicos no tratamento do minério. Além disso, muitos minérios de ouro são ricos em arsenopirita e provocam contaminação por arsênico, principal elemento contaminante de Vila de Elesbão-Ap. Pode-se dizer com segurança que o problema ambiental mais sério provocado pela mineração no Brasil, é a contaminação por lama e por mercúrio de rios da Amazônia, causada pelos garimpos de ouro. Como os "garimpeiros" usam uma tecnologia rudimentar, o controle ambiental é difícil e a contaminação só não é muito mais grave porque os rios da Amazônia são muito volumosos e a área é ainda pouco povoada (BARRETO, 2001).

4.7 Rejeito e estéril

A disposição final de rejeitos não constitui problema mais sério, quando destinados aos trabalhos de recuperação das áreas. Entretanto, durante a fase da lavra devem ser observados cuidados especiais para que estes não sejam lançados no sistema de drenagem. A Figura 6 – Rejeito de mineração. mostra uma pilha de rejeitos em uma área de mineração (BARRETO, 2001).

Figura 6 - Pilha de estéril de Mn depositado no hoje município de Serra do Navio antiga vila operaria da ICOMI no Amapá.

Fonte: Observatorio Social, (2003).

Quando esses depósitos ficam muito volumosos, tornam-se, por si mesmos, instáveis e sujeitos a escorregamentos localizados. No período de chuvas, devem ser removidos e transportados continuamente até as regiões mais baixas e, em muitos casos, para cursos de água. A repetição contínua do processo provoca o transporte considerável desse material, ocasionando gradativamente o assoreamento dos cursos de água. Além do volume provindo do material estéril, devem ser consideradas as quantidades advindas da área das próprias jazidas e o material produzido pela decomposição das rochas e erosão do solo.

O problema pode ser minimizado através do adequado armazenamento do material estéril e sua posterior utilização para reaterro de áreas já mineradas e de tanques de decantação que retenham os sedimentos finos na própria área, preservando a hidrografia (BARRETO, 2001).

4.8 Impactos ambientais em áreas urbanas

A mineração em áreas urbanas e periurbanas é um dos fatores responsáveis pela degradação do subsolo. Atualmente, junto às grandes metrópoles brasileiras, é comum a existência de enormes áreas degradadas, resultante das atividades de extração de argila, areia, saibro e brita.

A proximidade de pedreiras de centros habitados é uma decorrência natural da forte influência do custo dos transportes no preço final do produto. Isso ocorre, principalmente, com os agregados, devido ao seu baixo valor unitário (INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2006).

Segundo Bacci, (2006) os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepressão atmosférica, vibração do terreno, ultralançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local.

4.9 Conclusões

A poluição visual é o primeiro efeito visível da mineração ao meio ambiente. Grandes crateras e lagos, paredões e áreas devastadas são produtos da mineração em numerosos casos, impedindo a posterior utilização do mesmo. Em alguns casos (grandes jazidas), a reconstituição da paisagem tal qual era antes da extração é difícil. Porém, através de condução adequada das operações de lavra e de um projeto de recuperação que leve em conta o destino a ser dado à área futuramente, a degradação ambiental pode ser reduzida e até eliminada. Sendo assim, Os cuidados para a recuperação das áreas mineradas vão desde a concepção do plano de lavra até a implantação do projeto de revegetação, realizada concomitantemente à exploração da mina.

Por outro lado, com o conceito cada vez mais forte de desenvolvimento sustentável, faz-se necessário um programa eficiente de disposição de resíduos gerados por parte da mineração, pois de uma forma geral, precisa-se fazer uso dos bens minerais no momento, porém, precisamos proporcionar um meio ambiente adequado para as futuras gerações que estão por vir.

5 CASOS DE CONTAMINAÇÃO POR ARSÊNIO (As)

5.1 Introdução

A poluição das águas naturais com arsénio é atualmente considerada um problema de saúde internacional que afeta mais de 40 milhões de pessoas em todo mundo (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2003). Estudos epidemiológicos confirmam o efeito potencialmente cancerígeno (pele, pulmão, bexiga, rins, fígado, etc.) de algumas espécies inorgânicas do arsénio, quando presentes em altas concentrações no meio ambiente e principalmente na água de abastecimento público.

Já é historico o registro de episódios relacionados à problemas dessa natureza em todo o mundo e suas consequências são desastrosas na maioria das vezes para a população afetada. Podemos citar os casos de intoxicação mais graves por arsênio como os que ocorreram em Bengala Ocidental (estado federado da índia localizado na região nordeste do Ásia Meridional), Bangladesh, Argentina, México, Tailândia e Chile. Esses casos graves foram causados, em geral, por consumo de água subterrânea contaminada, extraída de aquíferos em formações geológicas arseníferas de grandes extensões (SMEDLEY et al., 2002). A intoxicação por Arsenio causa graves problemas de sáude, como cancer de pele, ulcerações dermicas, neuropatias periféricas, doenças gastrointestinais entre outras segundo Rodrigues e Malafaia 2010, no Brasil a região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais à contaminação por Asênio (As) esta associado a mineração do Ouro (Au), e na região do Vale de Ribeiro, Santa Catarina e São Paulo, por sua vez relacionada ao beneficiamento e refino de minerios de chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Prata (Ag), em Vila de Elesbão no estado do Amapá, objeto de estudo deste trabalho, também figura entre os principais incidentes decorrentes da contaminação por este elemento registrado no Brasil .

5.2 Bangladesh

O problema do arsênio em Bangladesh datas para a década de 1970, quando os poços de águas subterrâneas rasas foram instalados em todo o

país, onde o arsênio ocorria naturalmente em altas concentrações no solo. Bangladesh, é um dos países mais pobres e povoados do mundo, enfrentou o maior envenenamento massivo de uma população em toda a história da humanidade. O envenenamento acidental atingiu pelo menos 85 dos 125 milhões de habitantes, devido à contaminação por arsénio inorgânico das suas fontes de abastecimento de água para consumo humano.

Esta situação foi considerada, pela Organização Mundial de Saúde (OMS), uma catástrofe mais grave que inundações, ciclones e até mesmo que o acidente de Chernobyl.

Com a abertura de cerca de 10 milhões de poços, a fonte de abastecimento mudou para os lençóis de água subterrânea, sem que fossem feitas análises detalhadas sobre a qualidade da água, que apresentava teores de arsênico acima do nível considerado seguro. O arsênico é uma substância naturalmente presente no solo e em rochas, mas também é um resíduo de vários processos industriais.

O artigo científico da *The Lancet*, divulgado em julho, mostrou que a água dos poços de Bangladesh, país com 125 milhões de habitantes, possui concentrações superiores a 10 microgramas por litro. Problemas cardíacos, câncer de pele, bexiga e pulmão são algumas das complicações decorrentes do envenenamento por arsênico.

Para os autores do estudo, uma das alternativas para solucionar o problema é cavar poços mais profundos, onde a água estará livre do arsênio. Mas o médico Joseph Graziano, líder da pesquisa adverte: "Devemos dar uma resposta global a essa situação, que vai além das fronteiras de Bangladesh. A presença do arsênio em águas subterrâneas afetam 140 milhões de pessoas em vários países e especialmente no sul da Ásia. É necessário um esforço concentrado para trazer segurança a essas pessoas." (SMEDLEY et al., 2002).

5.3 China

Outro caso conhecido de contaminação do meio ambiente pelo elemento arsênio ocorreu na china, à mina Baiyun, de 1.500 anos, localizada no distrito de Baiyun, condado de Shimen, província de Hunan, outrora uma fonte de

suplemento medicinal chinês, se tornou progressivamente um deserto tóxico nas últimas seis décadas. O arsênio contaminou o solo e a água em nove quilômetros quadrados ao redor da mina e envenenou mais de mil moradores, segundo um artigo da mídia chinesa *Legal Weekly* divulgado em seu site em 2014.

Pessoas que sofrem de envenenamento por arsênio geralmente ficam acamadas, incapazes de esticar os dedos, e sua pele é marcada com hematomas escuros, os típicos sintomas de uma arsenicose. Se o envenenamento por arsênio não for tratado precocemente, desenvolve-se câncer de pele ou pulmão. Segundo o Dr. Zhao Guangming, vice-presidente do Hospital Huang, uma média de 10 pessoas por ano morreram de envenenamento por arsênio na região, com o maior número sendo 30. De 1976 a 1998, houve mais de 300 mortes, na região. O Realgar (As_4S_4) o sulfeto de arsênio que durante anos foi explorado na região, também conhecido como ‘rosalgar’, ‘rubi de enxofre’ ou ‘sandáraca’, foi usado como um pigmento vermelho na antiga China, Índia, Roma e Egito. O realgar também tem sido empregado na fabricação de fogos de artifício, na produção de couro e no controle de pragas por causa de sua toxicidade, também tem aplicação na medicina chinesa; quando misturado com licor de arroz, por exemplo, para preparar vinho de rosalgar. A contaminação por arsênio nos solos de Hunan é insidiosa, pois os agricultores locais ainda usam o solo contaminado para a produção rural o que torna os seus produtos perigosos ao consumo humano. O mesmo ocorre com a água que, possivelmente, continuará contaminada por séculos deixando um legado negativo à região de Baiyun. A mina de Baiyun, outrora próspera e explorada com moderação por centenas de anos, tem declinado progressivamente nos últimos 60 anos devido à exploração excessiva, segundo os habitantes locais (EMSLEY, 1998).

Outro grande problema que a China enfrenta é a questão do arsenismo endêmico, certas regiões do país, devido às condições geológicas e climáticas da área favorecem a elevada concentração do arsênio na água causando a exposição prolongada deste elemento sobre a população. As áreas de arsenismo é de mais ou menos 6×10^5 Km^2. O arsenismo ocorre principalmente na Cidade de Kuitun, na Província de Xinjiang (WANG, 1986), na bacia de

Datong na Província de Shanx (WANG et al., 1998), nas planícies de Hetao e Hubao na Mongólia Interior (SABOR et al., 1996), e em Jiayi e Tainan na Província da Taiwan (TSENG et al*.,* 1961).

A concentração de arsênio nas áreas com arsenismo varia entre 0,185–0,85 ppm em Kuitun na Província de Xinjiang e a probabilidade de detecção é de 9,5% em 6.228 pessoas. A concentração de arsênio em Taiwan é de 0,24–1,82 ppm e a probabilidade de descoberta é de 25,45% em 4.421 pessoas; a probabilidade de detecção de neoplasmas cutâneos malignos é 1,06% da mesma população (YU, 1984; LIN, 1999b). A concentração de arsênio na Mongólia Interior é de 0,05–0,9 ppm,, o envenenamento por arsênio é relacionado não só a concentração de arsênio na água, mas também para as concentrações de As^{3+} e metil arsenato, porque sua toxicidade e mais alta que as de As^{5+} (LIN et al*.,*1992).

A prevalência das doenças endêmicas está altamente correlacionada aos fatores ambientais tais como a água e o solo, especialmente a água que não possui padrões de potabilidade e não foi devidamente tratada.

5.4 Tailândia

Outro caso de contaminação por As relacionado à mineração ocorreu na Tailândia (WILLIAMS, 1997), onde a água contaminada, com teores de As de ate 5000 µg/L, oriundos de aquíferos rasos, com ate 10m de profundidade, situados em aluviões constituídos por sedimentos quaternários.

A agua subterrânea da região possui pH variando de 6 a 8, e Eh>300 mV. A cassiterita (SnO_2) é extraída tanto de minério primário como de aluviões (*placer*); o As ocorre no minério como arsenopirita (FeAsS). Foram identificados dois tipos de fontes de contaminação: (1°) pontual relacionada às pilhas de rejeito das minas que lavravam o minério primário, e (2°) outra não pontual relacionada com arsenopirita presente nos aluviões rnineralizados, sendo a área responsável pela contaminação do aquífero. O arsênio nos aluviões esta contido principalmente (> 80%) em arsenopirita, o restante esta nas bordas alteradas da arsenopirita constituídas por escorodita, arsenolita. Os locais com maiores concentrações de As na agua contem arsenopirita coberta

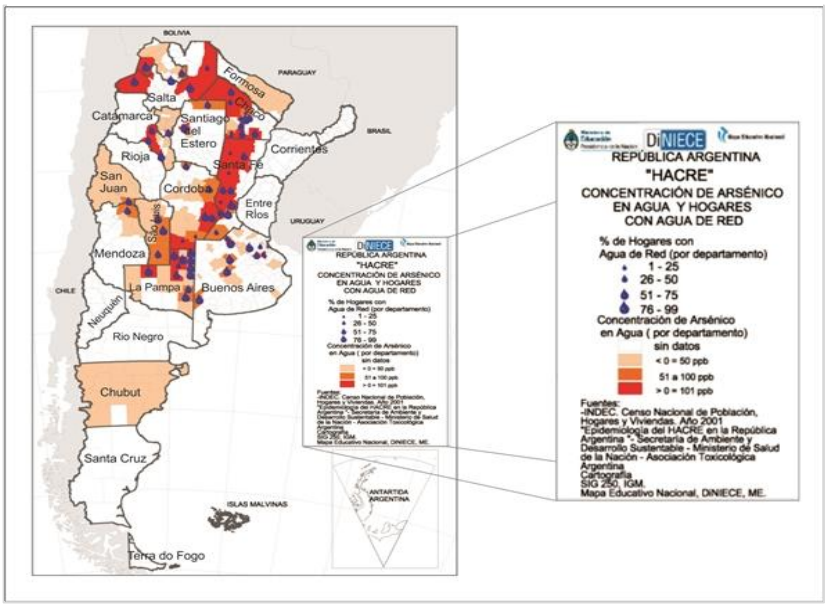
por arsenolita. O arsênio vem tanto da dissolução dos minerais secundários de As como da oxidação da arsenopirita. Acredita-se que a exploração dos depósitos aluvionares promoveu uma aceleração na dissolução\oxidação dos minerais que contem As, fazendo com que o As fosse liberado mais facilmente, via exposição dos sedimentos ao oxigênio durante a lavra.

5.5 Argentina

Mais de três milhões de argentinos consomem água contaminada com altos níveis de arsênio. O país precisa fazer grandes investimentos em infraestrutura para fornecer água potável nas províncias mais afetadas pelo problema. Crianças da comunidade *Qom El Salado*, no noroeste da província *de Chaco*, têm fios de cabelos loiros avermelhados que se interpõem em seus cabelos. A razão disto é o arsênio, um elemento químico presente em uma proporção elevada na água de reservatórios e poços a partir do qual as pessoas daquela região são alimentadas. O arsénio não só é considerado uma das principais causas do mau estado dos dentes dos membros das comunidades, mas também é considerado um imunossupressor que desempenha um papel-chave no elevado número de mortes de mulheres por câncer de colo do útero entre outros tipos de câncer que também já foram registrados na região (SMEDLEY et al*.,* 2002).

A distribuição da concentração e dos casos de contaminação por arsênio na Argentina Figura 7 segue um padrão crescente que se estende desde as montanhas *de Salta*, ao norte *de La Pampa* (província), *a Chaco*, *Santa Fé e Córdoba.* Também afeta, com vários níveis para *Jujuy*, *Formosa, Catamarca*, *Tucumán, Santiago del Estero*, *Buenos Aires, San Juan, Mendoza, San Luis e Chubut* .

Figura 7 - Figura mostrando as principais regiões da Argentina que sofrem com a exposição ao arsênio e casos de hidroarsenismo.



Fonte: Secretaria de Meio ambiente e desenvolvimento sustentável, Ministério da Saúde da Nação, Argentina, (2001).

A concentração de arsênio na Argentina também é uma dos maiores do mundo. Sua presença é devido à atividade vulcânica que elevou os Andes, durante movimentos tectônicos no passado, apesar da dimensão que tem o problema e as inúmeras advertências de estudiosos da área, milhares de mortes silenciosas provocadas pela ingestão de arsênio continuam sendo manchete no país, de acordo com o Ministério da Saúde da Nação pouco se fez para resolver os problemas de contaminação envolvendo o arsênio. (SMEDLEY et al*.,* 2002).

A província de *La Pampa* possui uma das maiores regiões do mundo, algo em torno de um milhão de quilômetros quadrados, com elevadas concentrações de As na água subterrânea, as concentrações do As oscilam entre 4-5300 µg/L, com uma concentração em media de 145 µg/L. Os aquíferos da região são caracterizados como depósitos Quaternários de *loess* (principalmente silte), intercalado com cinzas vulcânicas rioliticas ou daciticas. Os teores de As nos sedimentos variam de 3 a 18 mg/kg. Parte do As encontrado nestes sedimentos estaria ligado a óxidos amorfos de Fe, Mn, e Al, em concentrações entre 0.5 e 9.6 mg/kg, o que representaria entre 10-50% do As total dos sedimentos. As águas dos aquíferos apresentam características

oxidantes, e pH neutro a alcalino (até 8.7), o que provocaria a dessorção do As ligado aos óxidos amorfos. A variação espacial nas concentrações de As e errática, não havendo uma tendência de distribuição regional definida. As altas concentrações de As são atribuídas a um lento fluxo da água subterrânea que estão localizadas próximas a depressões que funcionam como zonas de descarga de águas subterrânea (SMEDLEY et al., 2002).

Swatch Roberto Cáceres, professor universitário e engenheiro químico com sede em *San Juan*, que é considerado uma das maiores autoridades sobre o assunto, relatou que a Argentina não tem sequer estatísticas confiáveis sobre quantas mortes ocorre a cada ano devido à ingestão do arsênio.

Na Argentina, grande o problema enfrentado em algumas regiões é a chamada hidroarsenismo endêmica regional crônica (HACRE). É facilmente identificável a doença, provocam lesões na pele e várias desordens fisiológicas, cancro ou não. Apesar de Organização Mundial de Saúde (OMS) recomendar que a concentração limite de arsênio na água potável não deve ser superior a 10 µg/L, ainda assim milhões de argentinos continuam a beber água com taxas mais elevadas (SMEDLEY et al*.,* 2002).

Em províncias como de Córdoba, o problema da água com arsênico está concentrado em suas regiões economicamente mais poderosas: a leste e sul, onde há muitas cidades e vilas que bebem o líquido de perfuração subterrânea em área onde a geologia da área apresenta naturalmente elevada concentração de arsênio (SMEDLEY et al., 2002).

5.6 Estados Unidos da America (EUA)

Uma situação distinta de contaminação natural da água subterrânea por As (arsênio) ocorreu em Winsconsin, nos EUA, em um aquífero confinado hospedado em arenitos (SCHREIBER et al*.,* 2000). Nestas rochas existe um delgado horizonte que contem pirita (FeS_2) e marcassita, polimorfo da pirita (FeS_2) como cimento secundário, onde o As ocorre como impureza nos sulfetos. O As e liberado dos sulfetos via oxidação dos mesmos. O processo de oxidação e acelerado pela intensa exploração do aquífero e variações climáticas, com consequente variação do nível do lençol freático e exposição do horizonte sulfetado a condições oxidantes. A contaminação dos poços

subterrâneos localizada ocorre nos locais onde o horizonte sulfetado e interceptado pelo nível estático do aquífero afetado pelo bombeamento

Em New Hampshire, EUA, arsênio inorgânico estava presente em cerca de 95% da amostra de água de beber e a concentração era de 0,01 µg/L até 180 µg/l, o que de certa forma caracterizou uma exposição ao elemento arsênio na região, milhares de pessoas estavam consumido água com valores acima do permitido segundo a EPA, o que levou ao desencadeamento de varias doenças na população local, principalmente complicações vasculares e alguns registros de câncer de pele (PETERS et al., 2000).

5.7 Quadrilátreo Ferrífero (Brasil-MG)

Desde o final do século XVII, o Quadrilátero Ferrífero tem se destacado como uma das mais famosas regiões produtoras de ouro do Brasil. A descoberta do ouro, na região de Ouro Preto, ocorreu em 1698, cujas extrações ocorriam essencialmente nos leitos dos rios. Instalaram-se, a partir desse período, técnicas rudimentares de extração por garimpo em aluviões e posteriormente em minas. Padrões modernos de exploração surgiram em 1817 com a criação da primeira empresa de mineração de ouro a Mina de Passagem segundo Eschwege, (1979).

Nas mineralizações auríferas mesotermais hospedadas em greestone belts do Quadrilátero Ferrífero, participaram fluidos que transportaram, além do ouro, elementos como As, Sb, Cu, Pb e Zn (BORBA, 2002). Desses metais, o As se apresenta como o maior problema ambiental, não só pela elevada toxidade, mas também pelas concentrações alarmantes que se encontram em águas e sedimentos dos rios da região (ELEUTÉRIO, 1997; COSTA, 2006).

Oficialmente, 35 toneladas de ouro foram extraídas da Mina de Passagem (porção sudeste do quadrilátero Ferrífero), durante 284 anos de exploração. Considerando a relação mínima ouro/arsênio sendo equivalente a 1/300 (BORBA, 2002), estima-se que aproximadamente 10500 toneladas de As foram disponibilizados para as águas e sedimentos da bacia do ribeirão do Carmo (COSTA, 2007).

A liberação do arsênio para as vias hídricas depende do tipo e resistência do mineral, da mobilidade das espécies químicas e das condições físico-químicas do meio (ELEUTÉRIO, 1997; BORBA, 2002).

No Quadrilátero Ferrífero (QF), o abastecimento público é feito principalmente com a captação de águas das bacias hidrográficas. Entretanto, em alguns locais, há a utilização de água subterrânea, proveniente de nascentes ou mesmo de minas abandonadas, para o abastecimento humano.

As principais fontes naturais de As no QF estão relacionadas às rochas que hospedam depósitos auríferos sulfetados. As fontes antrópicas de As são as pilhas de rejeito, solos e sedimentos contaminados. Em águas coletadas em algumas minas auríferas subterrâneas e nascentes das regiões de Ouro Preto e Mariana, foram encontradas concentrações de As totais variando de 2 a 2980 µg/L e de As^{3+} de 1 a 86 µg/L. Com base nos estudos geológicos e hidrogeoquímicos da ocorrência de As, nas rochas e nas águas subterrâneas, observou-se que as maiores concentrações de As são encontradas nos aquíferos hospedados em rochas que possuem sulfetos e carbonatos, embora as concentrações dos aquíferos que possuem somente sulfetos também foram elevadas, mostrando assim a intima relação e afinidade química que o elemento arsênio tem com esse tipo de mineralização (BORBA, 2002).

5.8 Vale da Ribeira (Brasil)

O Vale do Ribeira estende-se desde o nordeste do Paraná até o litoral sul do estado de São Paulo abrigando grande parte da Mata Atlântica remanescente e um importante reservatório de água doce da Região Sudeste do país. Durante o século 20, a região do Alto Vale abrigou várias minas de Pb-Zn-Ag em operação, bem como uma planta de refino de chumbo, instalada no município de Adrianópolis (PR), em operação no período de 1945-1995. As mineralizações principais da região continham quantidades significativas de arsênio (arsenopirita e tennantita), em especial nas jazidas filonares de Panelas e Furnas, hospedadas em calcários dolomíticos de idade mesoproterozóica.

No Médio Vale, entre as cidades de Iporanga e Itapeúna, estende-se a Unidade Piririca, de idade mesoproterozóica, constituída de xistos e rochas

metabásicas, hospedeiras de filões de quartzo, ouro e sulfetos (incluindo arsenopirita). Concentrações elevadas de As em sedimento de corrente e solos delimitam uma faixa de direção NE (COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, 1982; PERROTA, 1996), que representa uma anomalia natural de arsênio, visto que na área a mineração moderna não chegou a ser implantada.

A liberação de arsênio para o ambiente ocorreu devida à atividade de mineração e refino de metais no Alto Vale, e também naturalmente, a partir do intemperismo de rochas e formação de solos ricos em As, no Médio Vale.

Campanhas de monitoramento humano para arsênio foram realizadas em cinco municípios, distribuídos nas regiões do Alto Vale (1999-2001) e do Médio Vale (2001-2003). Foram determinadas as concentrações de As em urina, coletada no início da manhã, entre crianças e adultos (SAKUMA, 2004), como mostra a Tabela 1, no médio vale, as medianas mais altas foram obtidas para as populações de Galvão, São Pedro, Ivaporunduva e Castelhanos, coincidentemente, as localizadas mais próximas da anomalia de arsênio do Piririca, relacionado com a própria litologia da área rica em minerais arsênicos, enquanto que as medianas mais baixas foram obtidas para as comunidades mais afastadas da anomalia geoquímica.

Tabela 1 - Concentração de arsênio em urina de crianças e adultos no Médio Vale do Ribeira (2002-2003) Cerro Azul e Bairro da Serra (Iporanga), destaque em vermelho para as regiões com valores elevados relacionados com a própria geologia da região.

Localidade	n	Mediana µg\l As	Mn µg\l	Max µg\l As
Cerro Azul	156	**3,86**	**1**	**34,12**
Bairro de Serra-Iporanga	175	8,90	1	62,54
Iporanga	112	8,14	1	33,49
Pilões	73	3,97	1	68,92
Castelhanos	58	9,48	1	60,32
Galvão	35	15,02	2,36	55,69
São Pedro	51	11,35	1	76,19
Ivaporunduva	30	10,02	1,77	34,57
Nhungara	22	5,84	1	25,95

Fonte: Sakuma, (2004).

5.9 Conclusões

Como relatado anteriormente pelos casos mundias e locais descritos a contaminação por arsenio não é uma problema recente nem de privilégio local, mas pelo contrário, esta presente em varais regiões do mundo, de maneira que fica evidenciado a necessidade de um cuidado nas atividades minerárias ligadas a extração de minerios arseniferos, uma vez que os caso relatados acima estavam mais relacionado a falta de estudos pioneiros e geológicos para o abastecimento de água da população, em regiões onde a geologia local naturalmente poderia oferecer risco à saúde das pessoas que acabaram consumindo aquele recurso inadequado, portanto vale resaltar estas experiências no intuito de concientizar e tomar como exemplo para que no futuro tristes episodios como estes não se repitam novamente.

6 ARSÊNIO: ASPECTOS QUIMICICOS

6.1 Introdução

O arsênio (As) é um semimetal (metalóide) presente na natureza em diversas formas químicas, incluindo espécies orgânicas e inorgânicas que ocorrem em dois diferentes estados de oxidação, 3^+ e 5^+, sob a forma de óxidos de As ou sais destes óxidos (DE SESSO, 1998; GHOSH, 2008). No ambiente e sistemas biológicos, o As inorgânico é comumente encontrado na forma de arsenato pentavalente (FIGUEIREDO et al., 2007). É um elemento vestigial, apresenta uma cor branca prateada, brilho metálico e é muito quebradiço, também é bastante conhecido pela sua toxicidade e carcinogenicidade, quando indivíduos tem exposição prolongada a este, principalmente apartir fontes como água, ar, solo, alimentos e medicamentos. Foi empregado entre os séculos XIX e XX no tratamento de dermatoses como a psoríase, acne, na leishmaniose e na sífilis, também tem aplicações na agricultura, indústria, como a produção de certos vidros, materiais semicondutores e fotocondutores, entre outros.

A intoxicação por potenciais contaminantes, como o As, pode resultar em efeitos tóxicos, agudos, subcrônicos ou crônicos, relativos a exposições curtas, médias e longas, respectivamente, ocasionando diferentes patologias (RUSSELL et al., 1990). O Ministério da Saúde no Brasil considera o As uma substância química que representa potenciais riscos à saúde humana, sugerindo sua concentração máxima em águas potáveis de 10 µg/L, Portaria N° 2914/2011 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006), em conformidade com a Organização Mundial de Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

6.2 Propriedades físico-químicas

Do ponto de vista químico, é um metalóide, isto é, um elemento com propriedades intermédias entre os metais e não metais (ADRIANO, 1986; EMSLEY, 1998), ele pode existir nos estados metálico ou nativo As^1, trivalente As^{3+}, As^{3-} ou pentavalente As^{5+}, sendo amplamente distribuído no ambiente,

na Tabela 2, são apresentadas as principais características deste elemento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA, 1978).

Tabela 2 - Principais características físico-químicas do elemento arsênio

Número Atómico	33
Massa Atómica	74,922
Principal estado de oxidação	-3, + 3 e +5
Densidade (g/cm3)	5,73
Raio Atómico (pm)	133
Propriedades do óxido	Ácido fraco
Estado (a 300 K, 1 atm)	Sólido
Grupo (s)	Não metal pesado (predominância)

Fonte: Reimann, (1998).

O elemento mais comum associado com o arsênio na natureza é o enxofre, apesar de também poder ocorrer junto com o antimônio (BOYLE et al., 1973). O principal “sequestrador” do arsênio em rochas assim como em depósitos minerais é a pirita (FeS2) – sulfeto de ferro, chamado de “ouro de tolo”. Este mineral pode conter mais de 2000 mg/kg de arsênio.

As associações naturais do arsénio são com, o ouro (Au-As) e a prata (Ag-As) nos filões hidrotermais; o cobre, níquel, cobalto, ferro e a prata em jazigos de sulfuretos maciços de cobre e níquel; o urânio em alguns depósitos de urânio (U-As); cobre, vanádio, urânio e a prata em depósitos sedimentares de cobre e ocorre ainda em rochas ricas em fosfatos. Devido à sua ocorrência associado a vários tipos de mineralizações, o arsénio é um importante indicador em trabalhos de prospecção mineral de ouro, prata, chumbo e zinco (CARITAT et al., 1998).

Os minerais típicos do arsénio são a arsenopirita (FeSAs), realgar (AsS), enargita (Cu_3AsS_4) entre outros. Os possíveis minerais hospedeiros deste elemento são: os feldspatos, a magnetita, a ilmenita, a pirita, a galena e a apatita (DEER et al.,1966).

6.3 Distribuição e abundância do arsênio

O arsénio é distribuído abundantemente na maior parte das rochas, apresentando concentrações entre 0,5 e 2,5 mg/kg, embora em sedimentos argilosos a sua concentração possa atingir 13 mg/kg. A sua concentração é elevada em solos superficiais em sedimentos argilosos bem como na água, comparada com as rochas originárias, pode refletir fontes externas do elemento provenientes de exalações vulcânicas, da poluição, entre outros fatores. Em solos não contaminados, a concentração total do elemento raramente excede 10 mg/kg, podendo atingir concentrações elevadas quando estes solos são sujeitos a tratamentos para a agricultura, devido ao uso de pesticidas (ADRIANO, 1986).

Na Tabela 3, encontram-se os teores médios deste elemento na crosta terrestre, e em vários tipos de rochas e em solos.

Tabela 3 **-** Teores médios de arsénio (mg/kg) na crosta terrestre, em vários tipos de rochas e em solos

Crosta Continental	1,7 mg/kg
Crosta Continental Superior	2,0 mg/kg
Granitos, Granodioritos	3,0 mg/kg
Arenitos, Quartzitos	0,5 mg/kg
Argilitos, Xistos	13 mg/kg
Solos	5,0 mg/kg

Fonte: Caritat, (1998).

A abundância do arsênio é comum em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, sendo menos variável nas rochas ígneas. No carvão mineral, a maior parte do arsênio presente está na forma de pirita e ocasionalmente em outros sulfetos, tais como arsenopirita (FeAsS) e galena (PbS). Também é provável que alguma quantidade de arsênio esteja presente como complexo orgânico-metálico em certos tipos de carvão (NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA, 1978). Outros metais em solução, como Co, Ni, Pb e Zn,

reagem facilmente com arsenato (AsO_4^{3-}) solúvel para formar minerais de arsênio secundários, os quais são lixiviados e intemperizados pela água (NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA, 1978).

6.4 Fontes

Arsênio é encontrado na atmosfera, na água, nos solos e sedimentos tanto quanto em organismos, estando sua abundância na crosta terrestre em 52º lugar. O elemento é encontrado em uma variedade de formas químicas e pode sofrer transformação através da ação de microorganismos, por mudanças nas condições geoquímicas ou por outros processos que ocorrem no meio ambiente. O arsênio é liberado na atmosfera por fenômenos naturais e por fontes antropogênicas na proporção de 60:40 e retorna para a superfície da terra através de deposição seca ou úmida (CORNELIS, 2005).

As duas principais fontes naturais de arsênio são a volatilização que libera, aproximadamente, 26.000 toneladas de arsênio por ano e a atividade vulcânica, que libera para a atmosfera em torno de 17.000 toneladas de As por ano. O elemento é encontrado em centenas de minerais, dos quais 60% são arsenatos, 20% são arsenosulfetos com metais como Fe, Pb, Cu, Ag e Ti e o restante se compõe de arsenitos, óxidos, arsenetos e arsênio elementar. O mineral mais comum é o arsenopirita (FeAsS). A crosta terrestre, rochas e sedimentos possuem níveis diferenciados de arsênio em sua composição, porém a maior parte do arsênio está associada com pirita.

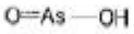
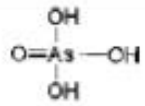
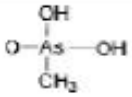
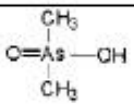
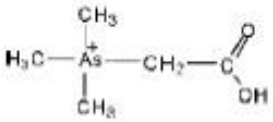
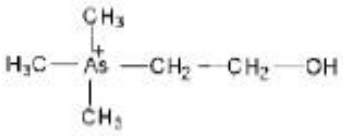
As fontes antropogênicas deste elemento são as atividades mineradoras principalmente as de ouro, a combustão de carvão, os efluentes de indústrias, áreas urbanas, aviários além de fertilizantes fosfatados, os herbicidas, inseticidas e fungicidas (CARITAT et al., 1998).

6.5 Principais espécies químicas do arsênio

Naturalmente, o arsênio ocorre em aproximadamente 200 formas diferentes de minerais das quais 60% são arsenatos, 20% sulfetos e sulfossais e os 20% restantes incluem arsenitos, óxidos, silicatos e arsênio elementar (As)

(SILVA, 2005). Em meio aquoso o As ocorre principalmente na forma de arsenato e arsenito sendo o pH determinante de suas propriedades (Tabela 4).

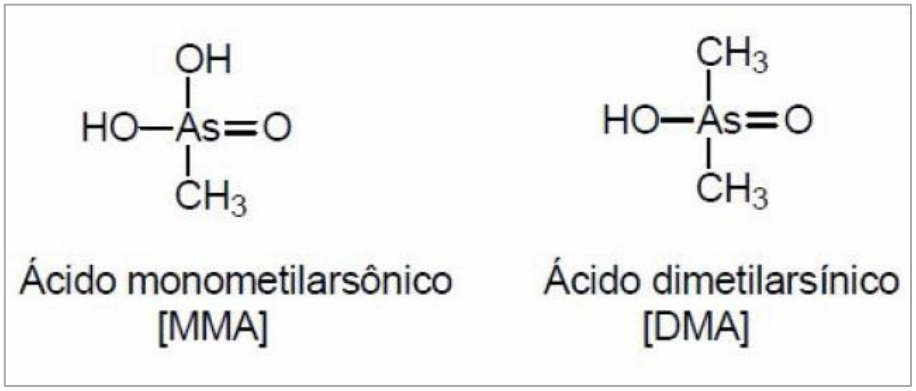
Tabela 4 - Compostos de arsênio e suas formulas químicas

Composto	Fórmula	Formula	pKa
Arsênio molecular	As	---	—
Arsina	AsH_3	---	—
Acido arsenioso As (III)	$HAsO_2$		9,3
Formas químicas de As(III) dissociado	H_4As H_2AsO^{3-} HAs As		
Acido arsênico As (V)	H_3AsO_4		2,3 6,9 11,4
Formas químicas de As(V) dissociado	H_2AsO^{4-} HAs - As		
Acido monometilarsônico MMAA (V)	$CH_3AsH_2O_3$		3,6 8,2
Acido dimetilarsínico DMAA (V)	$(CH_3)_2AsHO_2$		1,6 6,2
Arsenobetaina (AsB)	$(CH_3)_3As^+CH_2COO^-$		4,7
Arsenocolina (AsC)	$(CH_3)_3As^+CH_2CH_2OH$		-

Fonte: Barra et al. (2000); Prado, (2006).

Em aguas naturais, o arsênio esta presente na forma de compostos inorgânicos e orgânicos. Os compostos inorgânicos solúveis encontrados nas águas, onde o arsênio possui valências 3+ e 5+, são os ácidos arseniosos ($HAsO_2$) e arsênicos (H_3AsO_4) e suas espécies deprotonadas (quando em uma reação química o H^+, é removido de uma molécula ou de um íon), H_2AsO_4-, $HAsO_4^{2-}$ e AsO_4^{3-} (íon arsenato), Thornton et al. (1997). A espécie inorgânica de As presente na água depende das condições de pH e Eh do meio. Sob condições semelhantes as das águas subterrâneas e superficiais, com Eh> 100 mV e pH entre 5 e 8, podem estar presentes o As^{+3}, na forma de H_3AsO_3, passando para o As^{5+}, à medida que o meio se torne mais oxidante, como H_2AsO_4- ou $HAsO_4^{2-}$ (VINK, 1996). Na presença de microrganismos pode ocorrer a biometilação dos oxianions de arsênio levando a formação dos compostos organometálicos como ácido monometilarsônico ($H_2AsO_3CH_3$) e dimetilarsínico ($(CH_3)_2AsO_2H$), Figura 8, Cullen et al. (1989). Em alguns ambientes, as formas MMA e DMA podem atingir cerca de 60% do arsênio total (BARRA et al., 2000).

Figura 8 - Compostos orgânicos de arsênio de maior ocorrência natural em ambientes aquáticos.



Fonte: Varejão, (2008).

6.6 Geoquímica

O arsênio ocorre naturalmente em compostos inorgânicos e orgânicos em diversos estados de oxidação: 3^-, 0, 3^+, 5^+ (FERGURSON; ANDERSON, 1974). Os minerais mais comuns de As são os sulfetos, sulfoarsenetos e arsenetos, por exemplo, arsenopirita (FeAsS), o mais comum dos minerais de As (KINNIBURGH, 2002), realgar (AsS), tenantita [(Cu,Fe)12As4S13],enargita (Cu3AsS4), loellingita (FeAs5). Também e comum à ocorrência de As como impureza na pirita (FeS_2).

A oxidação da arsenopirita pode ocorrer através de processos inorgânicos e orgânicos, liberando o As para a formação de novos minerais ou para sua solubilização em águas superficiais e subterrâneas. A investigação laboratorial dos produtos de oxidação da arsenopirita e processos inorgânicos em meios ácidos e alcalinos, realizada por Richardson et al. (1989), identificou a formação de uma camada oxidada na superfície dos cristais de arsenopirita constituída por óxidos e hidróxidos de ferro, arsenatos e arsenitos. Os autores ainda sugerem a formação de arsenatos e arsenitos de Fe3+.

Nesbitt et al. (1995), ao avaliar em laboratório a oxidação da arsenopirita exposta ao ar seco, ar úmido e água por 8 horas, constatou que a oxidação do As no ar e mais rápida que a oxidação do Fe^{2+} , e a oxidação do S_2^{2-} e a mais lenta de todas. Na água As e o Fe^{2+} são oxidados muito mais rapidamente que o S_2^{2-}. Na oxidação da arsenopirita pelo ar ocorre a difusão do As no interior do cristal até sua superfície onde ele reage com oxigênio(O_2) para formar $As(OH)_3$, $AsO(OH)_3$ ou talvez $FeAsO_4.nH_2O$. Na oxidação em meio aquoso a superfície da arsenopirita que reagiu com o meio possui As^{3+} e As^+ entre 35-40% e o Fe^{3+} e dominante em relação ao Fe^{2+}, os estudos indicaram também que o As não é acumulado na superfície da arsenopirita oxidada em meio aquoso como no caso da superfície da arsenopirita oxidada pelo ar. O As que se difunde a partir da arsenopirita e alcança a superfície é oxidada, formando arsenato(AsO_4^{3-}) e arsenito(AsO_3^{3-}), que são rapidamente lixiviados da superfície do cristal pela solução diluidora.

Experimentos em laboratórios identificaram em superfícies de cristais de arsenopirita, exposta a 25 anos de oxidação pelo ar, delgadas camadas de

oxidação. Nestas camadas foram identificados hidróxidos de Fe^{3+}, arsenato de Fe^{3+}, arsenitos de Fe^{3+}, goethita, arsenatos e arsenitos, sendo que preferencialmente a o acumulo de As na camada oxidada. Esta camada contendo As^0, As^{3+} e As^{5+}, aliada a pronta difusão de As^0 no interior do cristal, funciona como um retardador do avanço da oxidação da arsenopirita, pois o oxigênio que penetrar oxidará o As reduzido presente na camada, preservando assim o cristal. Entretanto esta camada em contato com soluções aquosas perde a capacidade de reter a oxidação em função da solubilização do arsenato e arsenito nas soluções (NESBITT et al., 1998).

Processos orgânicos também são notórios nas reações que envolvem o elemento Arsênio, por exemplo, bactérias na oxidação dos sulfetos ocorrem naturalmente em rochas mineralizadas (em superfície e subsuperfície), em minas e em pilhas de rejeitos (NORDSTROM et al. 1997; BOONE et al. 1995). Nas condições ambientais, a lenta oxidação inorgânica dos sulfetos é acelerada com a participação de bactérias (NORDSTROM et al. 1999). Em experimentos, McGuire et al. (2001) determinou que a participação de bactérias acelera em 2,5 vezes a oxidação da arsenopirita. Dentre inúmeras espécies de bactérias que participam da oxidação de sulfetos (SOUTHAM et al., 1997), as bactérias da espécie Thiobacillus ferrooxidans estão entre as encontradas com maior frequência.

Segundo Bowell et al. (1994), nos solos, sob condições superficiais, oxidantes e úmidas, o As liberado pela oxidação dos sulfetos pode levar a formação de minerais de arsênio como escorodita ($FeAsO_4.2H_2O$), bukovskyita ($Fe_2AsO_4SO_4OH\ 7H_2O$) e kankita ($FeAsO_4.3,5H_2O$). Outra possibilidade e a liberação do arsênio e seu transporte em solução. Nesta situação os compostos de arsênio podem ser adsorvidos por óxidos e hidróxidos de Fe e AI, caulinita, illita e esmectita, presentes nos solos (DZOMBAK et al., 1990; MANNING, 1996). A fração não adsorvida de As pode ser transportada para a drenagem superficial ou para as águas subterrâneas

Nas drenagens os compostos de arsênio dissolvido podem ser adsorvidos pelos sedimentos, óxidos e hidróxidos de Fe e AI e pelos argilominerais, (KINNIBURGH, 2002).

6.7 Mobilidade e comportamento

A mobilidade do arsênio ocorre em ambientes oxidantes, sendo muito baixa em ambientes redutores. Este elemento é removido com relativa facilidade da água, dispersando-se no sedimento. As suas principais barreiras geoquímicas são a presença de sulfureto, e adsorção pelos hidróxidos de ferro e argilas (REIMANN et al., 1998).

O arsênio pode ser liberado durante a dissolução, gerada pelo intemperismo, de seus principais minerais, exemplo a arsenopirita (FeAsS), sendo que entre 10 a 15% do arsênio pode estar associado com alguns minérios de ouro e outros concentrados. Waldbott (1973) sugeriu que águas subterrâneas são mais enriquecidas em arsênio do que as águas superficiais, e águas marinhas possuem concentrações mais elevadas do que águas doces. Formas inorgânicas de arsênio prevalecem em muitas águas naturais. Porém, em águas ricas em substâncias húmicas o arsênio pode encontrar-se associado ao material húmico coloidal ele também pode estar presente em uma ampla variedade de formas químicas em águas estuarinas sendo transformado pela ação de microorganismos e por processos de mistura de águas doces e marinhas, onde ocorrem mudanças de pH e reações redox.

As reações de oxidação da arsenopirita (principal mineral de associado ao arsênio), bem como de os outros minerais de As, pode ocorrer através de processos inorgânicos e orgânicos, liberando o arsênio para a formação de novos minerais ou para sua solubilização em aguas superficiais e subterrâneas, o As que se difunde apartir da arsenopirita e alcança a superfície é oxidado formando arsenato (AsO_4^{3-}) e arsenito (AsO_3^{3-}), que são rapidamente lixiviados da superfície do cristal pela solução diluidora.

No solo, a mobilidade e disponibilidade do arsênio são controladas por reações com a fase sólida. O arsenato (AsO_4^{3-}) é o estado redox termodinamicamente estável sob condições oxidantes em solos (GOLDBERG et al., 2005), sendo fortemente adsorvido por hospedeiros sólidos enquanto o arsenito (AsO_3^{3-}) é mais discriminado tendendo a se combinar fortemente só com hidróxidos férricos (FENDORF et al., 2004). A presença e quantidades relativas das diferentes formas em que o arsênio pode estar presente no

ambiente são funções de fatores como pH, Eh, composição e textura do solo e presença de microorganismos entre outros (TURPEINEN et al., 1999).

6.8 Produção e uso

A produção mundial de As é estimada da ordem de 0,75 a 1,0 x 10^3 toneladas por ano, sendo utilizado em diversos setores. Os processos de refino de rochas, incluindo a fusão de cobre e chumbo são as maiores fontes de liberação de arsênio. O arsênio elementar é usado na produção de vidro e como aditivo na fabricação de ligas não ferrosas. O gás arsina (AsH_3), espécie de maior toxicidade entre todas, é usado na indústria de microeletrônicos e semicondutores. No passado, compostos de arsênio eram largamente usados na agricultura e silvicultura como inseticida ou herbicida, principalmente nas culturas de algodão. (BARRA et al., 2000)

Atualmente, os compostos inorgânicos não podem ser utilizados na agricultura, porém alguns compostos orgânicos, tais como o ácido cacodílico, o metilarsenato dissódico e o metilarsenato monossódico ainda são usados como pesticidas. No ramo da agricultura, o arsênio também tem aplicação como preservativo de madeira, para aumentar a sua resistência ao apodrecimento.

No ramo da medicina veterinária, o arsênio é utilizado como agente antiparasitário e como aditivo em ração animal para acelerar o crescimento (MARCUS et al., 2006).

6.9 Toxidade do arsênio para a saúde humana

A contaminação nas águas naturais com arsénio é atualmente considerada um problema internacional de saúde pública Figura 9, que afeta mais de 40 milhões de pessoas em todo mundo segundo estudos da USEPA. Inicialmente este problema foi reportado em Bangladesh, Bengala e em alguns países da América Latina.

Figura 9 - Mapa com as principais ocorrências de contaminação por arsênio no mundo.

Fonte: Smedley, (2002)

O arsénio e grande parte das suas espécies químicas possuem um elevado grau de toxicidade, a contaminação por este elemento é um grande problema de saúde pública em muitas áreas geográficas do mundo, existindo assim, a necessidade de evitar a sua absorção pelos seres-vivos. Uma forma de absorção possível é através da ingestão de água ou alimentos contaminados, sendo que se torna especialmente problemático quando ocorre uma exposição prolongada a este elemento ainda que a baixos teores (DRIEHAUS et al., 2005).

É importante diferenciar as duas classes de compostos de arsênio, pois os inorgânicos são mais tóxicos que os orgânicos. A maioria dos compostos inorgânicos ou orgânicos de arsênio é um pó branco; também, não possuem odor ou sabor especial. Desta forma, não é possível saber se existe arsênio na comida, na água ou no ar ao olho nu (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005).

A toxicidade está diretamente relacionada com a mobilidade na água e em fluidos biológicos. O grau de toxicidade corresponde a seguinte ordem decrescente: arsina > arsenitos inorgânicos > compostos trivalentes orgânicos > arsenatos inorgânicos > compostos pentavalentes orgânicos > compostos arsônicos > As elementar. As espécies arsenobetaína e arsenocolina são consideradas atóxicas (CORNELIS, 2005).

6.10 Patologias decorrentes da contaminação por arsênio

Os efeitos causados pela exposição ao arsênio dependem da espécie, da dose, da duração e da via de exposição. Outros fatores a serem considerados são as idades, sexo, hábitos familiares e estado de saúde da pessoa que foi exposta (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005). O arsênio nos alimentos ocorre como uma mistura de espécies inorgânicas e orgânicas, incluindo a arsenobetaína. Geralmente os compostos orgânicos representam 60 a 99 % do arsênio total na alimentação. Estudos indicam que em espécies aquáticas, os níveis de arsênio inorgânico são, geralmente, inferiores a 1 %, mas em outros alimentos, tais como carne, aves e cereais, o teor de arsênio inorgânico é maior. Nos alimentos, um limite considerado tolerável para o consumo de arsênio é da ordem de 1µg\g^{-1} como trióxido de arsênio (CORNELIS, 2005). Para seres humanos, o envenenamento por arsênio inorgânico pode ser letal, se estes forem submetidos a grandes doses orais (acima de 60mg de As por kg de massa corporal), através da comida ou bebida.

Ao serem expostos a doses orais entre 3 e 30mg de As por kg de massa corporal, os sintomas mais aparentes são irritação estomacal ou do intestino, causando dor, náusea, vômito e diarréia. Além disso, a contaminação por arsênio inorgânico pode provocar a diminuição da produção das células brancas e vermelhas do sangue causando fadiga, alteração dos batimentos cardíacos ou das funções nervosas (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005).

Ao se tratar de exposições orais por períodos prolongados, o envenenamento por arsênio inorgânico pode provocar alterações na pele Figura 10, como o seu escurecimento e o aparecimento de pequenos calos ou verrugas na palma da mão, planta do pé ou dorso, que estão frequentemente, associados às alterações nos casos sanguíneos da pele. Como alguns destes calos podem resultar em câncer de pele, o arsênio inorgânico é considerado cancerígeno para os seres humanos por diversas instituições de saúde pública (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005).

Figura 10 - Efeitos de exposição crônica de Arsênio por longo período causa patologias relacionadas a pele, principalmente câncer entre outras doenças, em (A) aspectos da mão de um pessoa contaminada, em (B) revela pessoas com hiperqueratose, e em (C) homem morador de Bengali na índia com sintomas apresentando quadro de alterações dérmicas na mão, (D) quadro de alterações dérmicas presentes no pé.

Fonte: Agency for subtances and disease registry, (2005).

A inalação de baixas concentrações de arsênio inorgânico, por longos períodos, pode provocar efeitos na pele e problemas circulatórios. Já a exposição a altas concentrações pode acarretar dor de garganta e irritação nos pulmões, aumentando, consideravelmente, o risco de câncer de pulmão. Além disso, existem dados que sugerem que a inalação de arsênio inorgânico pode interferir no desenvolvimento fetal (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005). O contato direto da pele com compostos de arsênio inorgânico pode provocar irritação na pele, levando à vermelhidão e inchaço. No entanto, os efeitos apresentados por este contato, aparentemente, não acarretam nenhum sintoma interno grave.

Em relação aos compostos orgânicos de arsênio, praticamente não se conhece os efeitos provocados nos seres humanos por exposição a estes

compostos. No entanto, através de estudos com animais, verificou-se que a exposição a altas concentrações pode levar ao aparecimento de alguns sintomas, como por exemplo, irritação estomacal e problemas nervosos (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005).

6.11 Prevenção e Tratamento

No intuito de minimizar os efeitos da exposição ao elemento arsênio, é sugerido o uso de fontes alternativas de água, como a água da chuva, mananciais não contaminados ou então remover o arsénio da água contaminada, apartir de vários processos tecnológicos conhecidos. A maioria das medidas corretivas importante para a pessoa que sofre de arsenicose, a mais importante, é a prevenção do uso de água contaminada com arsênio, no intuito de interromper a continua exposição e posterior intoxicação pelo elemento, e minimizar as patologias oriundas do elemento. (CHOWDHURY et al., 2000)

Água potável e alimentos bem nutridos são essenciais para a reversão da toxicidade crónica do arsénio. Uma boa alimentação desempenha um papel importante na prevenção do envenenamento crónico e pode auxiliar na remediação da melanose e diminuir a queratose, patologias dérmicas associadas à contaminação do elemento no organismo humano. A deficiência de proteína, fosfato e vitamina B em uma dieta afeta a biotransformação de arsênico, uma vez que o arsênio não é excretado do corpo faz com que o organismo perca a sua homeostase. (CHOWDHURY et al., 2000). Uma dieta pobre em proteínas, gorduras, vitaminas e minerais pode aumentar o risco de lesões cutâneas e outras doenças induzidas pela intoxicação do arsênio.

Para a redução da toxicidade e eliminação de metais toxico, dentre este o arsênio, os agentes quelantes (compostos químicos administrados para “sequestrar” os íons metálicos, formando quelatos que possibilitam sua eliminação pelo organismo), são geralmente utilizados. O tratamento de quelação é uma boa ação corretiva para reduzir a toxicidade e eliminação, o antídoto mais comum para arsênio e outros metais tóxicos é o britânico anti-leusite (BAL), quimicamente 2,3-dimerceptopropanol. BAL é um antídoto eficiente na intoxicação aguda, mas também tem atividade tóxica. Assim,

devido à sua atividade tóxica BAL são menos usados como antídoto (CHOWDHURY et al., 2000).

6.12 Conclusões

Portanto o que se tem notado é que a exposição do elemento arsênio é uma questão de saúde pública de nível mundial e que já vitimou milhões de pessoas, reconhecendo este fato, em 1993 a Organização Mundial de Saúde (OMS) fixou o limite máximo de arsénio na água para consumo humano em 10 µg/L na tentativa de minimizar os efeitos adversos deste contaminante (AHUJA, 2008). Além de que, diversos órgãos ambientais do mundo sistematizaram técnicas na tentativa de recuperar áreas contaminadas pelo arsênio no intuito de reverter graves casos de contaminação por este elemento no meio ambiente.

7 TECNICAS DE REMEDIAÇÃO DO ARSÊNIO DO MEIO AMBIENTE

7.1 Introdução

As tecnologias de remoção do arsénio têm sido desenvolvidas em quase todo mundo, sendo muitas delas adaptadas às condições socioeconômicas de cada população. As várias tecnologias aqui discutidas foram agrupadas em processos tais como precipitação, adsorção, permuta iónica, separação por membrana e tecnologias alternativas.

Todas elas apresentam graus de eficiência elevados, embora dependentes de vários parâmetros como pH, Temperatura, Condições ambientais entre outras para que as mesmas sejam bem sucedidas.

Neste contexto existem diversas técnicas capazes de remover o arsénio da água e do solo embora apresentem diferentes eficiências e condicionalismos. Assim, além das tecnologias convencionais, como a coagulação com sais de ferro e de alumínio seguida de filtração, adição de cal, adsorção química (óxidos de alumínio), permuta iónica e utilização de membranas, surgem tecnologias alternativas baseadas na oxidação avançada (presença de ferro e manganês, solar), sorção em meios porosos e imobilização do arsênio *in situ*. A tabela 5 mostra algumas dessas técnicas ditas convencionais, mostrando suas eficiências de remoção e os principais fatores que reduzem essas eficiências (CHENG et al., 1994).

Tabela 5 - Principais técnicas utilizadas na remoção do arsênio do meio ambiente e comparação das eficiências das técnicas convencionais de remoção.

Tecnologia	Reagentes	Remoção de As(III) (%)	Remoção de As(V) (%)	Condições ideais	Redução da eficiência
Coagulação-filtração Precipitação (incluindo adição de cal)	Cloreto férrico	< 30	90 – 95	pH de 6 a 8	Sílica (pH de 6,5-7,5) pH (na gama não *óptima)*
	Sulfatos (alumínio, cobre, amónia)	< 30	80 – 90	pH de 6 a 6,5	pH (na gama não *óptima)*
Adsorção	óxido de alumínio ou carvão activados	30 – 60	> 95	pH de 5,5 a 6	pH (na gama não *óptima)*
	Hidróxido de ferro (granular)	30 – 60	> 95	pH » 8	Sílica (pH de 6,5-7,5) pH (na gama não *óptima)*
Permuta lónica	resinas aniónicas	< 30	80 – 95	$[SO_4^{2-}]$ < 20mg/L [SDT] < 500 mg/L	$[SO_4^{2-}]$>120 mg/L (não viável) [SDT]>500 mg/L (muito baixa)
Nanofiltração Osmose inversa	—	60 – 90	> 95	Presença de As dissolvido	Presença de Fe e Mn (colmatação dos poros)
		80 – 95	> 95		

Fonte: Cheng et al., (1994).

7.2 Processo de precipitação

7.2.1 Coagulação\filtração

Coagulação/filtração é um processo de tratamento onde as propriedades físicas ou químicas da matéria coloidal, dissolvida ou suspensa, são alteradas por aglomeração, de modo que adquiram densidade suficiente para sedimentar em um decantador ou serem removidas por filtração.

A coagulação é uma tecnologia eficiente, para a remoção do As (5+) podendo obter-se rendimentos de até 90%. O arsénio na forma pentavalente é muito mais facilmente removido do que o arsénio trivalente. Para pH igual a 7,6 ou inferior os coagulantes de ferro ou alumínio têm a mesma eficiência de remoção do As(5+). No entanto os coagulantes de ferro têm melhor desempenho para valores de pH superiores a 7,6. No geral a remoção de arsénio aumenta com o aumento da dosagem do coagulante. Os estudos realizados mostraram também que a remoção é independente da concentração inicial de As (5+) e As (3+).

É uma tecnologia eficaz, mas acrescida de efeitos ambientais diversos e requer a adição de vários coagulantes para que o processo de remoção seja completado.

7.2.2 Enfraquecimento/Suavização pela Cal

É uma tecnologia que tem como função remover a dureza da água sob a forma de cristais insolúveis de carbonato de cálcio, $CaCO_3$, e hidróxidos de magnésio, $Mg(OH)_2$. O termo dureza refere-se à presença na água de compostos de cálcio e magnésio. Nesta tecnologia, a remoção, é alcançada pela adição da cal (óxido ou hidróxido de cálcio) que poderá causar um aumento do pH da solução e fazer com que os compostos de cálcio nela dissolvida precipitem na forma de carbonatos de cálcio. Quando é necessário remover os compostos que contêm magnésio, adiciona-se cal, em quantidade para além do ponto de precipitação do carbonato de cálcio (GOMES, 2011).

O Amaciamento pela cal é uma tecnologia bem sucedida na remoção do As(V) podendo alcançar remoções até 99%. O arsénio na forma de arseniato (pentavalente) é mais facilmente removido do que na forma arsenito (trivalente). O valor pH ótimo para a remoção por amolecimento do As(5+) é aproximadamente 10,5 e para o As(3+) é de aproximadamente 11. Estudos realizados mostraram que a remoção de As(5+) é independente da sua concentração inicial. Embora esta seja uma tecnologia eficiente, como dito anteriormente, esta produz muita lama e os custos podem fazer dela uma tecnologia inutilizável em muitos países (GOMES, 2011).

7.3 Processos de adsorção

7.3.1 Alumina Ativada

No processo de adsorção com Alumina ativada (AA) os íons de certa solução são adsorvidos pela superfície oxidada da mesma. É considerado um

processo de adsorção, embora que, na verdade, as reações envolvidas, sejam de permuta iônica (AWWA, 1990). Basicamente a alumina ativada é produzida a partir da desidratação do hidróxido de alumínio Al(OH)3, resultando em um material quase que totalmente constituído por óxido de alumínio (alumina-Al_2O_3).

Como tecnologia é usada em leitos fixos, que são alimentados com água, de modo a absorverem contaminantes como flúor, arsénio, selénio, silício e matéria orgânica. A adsorção dos contaminantes é feita preferencialmente na superfície dos hidróxidos de alumina, que quando preenchida na totalidade, tal como outras tecnologias, obrigará a uma regeneração do leito. A regeneração é realizada através de uma sequência de lavagens com reagentes, normalmente uma base forte (NaOH), seguida de um ácido forte, tipicamente ácido sulfúrico.

Estudos realizados mostram que a AA é efetivamente uma tecnologia eficaz para remover o arsénio, mas os fatores como, pH, estado de oxidação do arsénio, íons concorrentes, tempo de retenção em leito vazio e regeneração têm efeitos significativos na aplicabilidade da mesma.

7.4 Permuta iônica

A permuta iónica consiste na adsorção seletiva de aníons ou cátions, complexos ou não, existentes em uma solução, por resinas sintéticas apropriadas, em condições operatórias convenientes. Para realizar esta adsorção a água da alimentação (solução) deve passar continuamente sobre o leito de resinas de forma ascendente, ou descendente, até o mesmo ficar completamente carregado. O carregamento completo da resina ocorre quando os íons da água de alimentação preenchem na totalidade os íons descobertos da resina. Normalmente este carregamento é atingido depois de tratados entre 300 a 60,000 BV's, sendo necessária posteriormente a regeneração da mesma.

É uma tecnologia usada em muitas áreas industriais. Na remoção do arsénio ela tem em consideração parâmetros da qualidade da água tais como pH, íons concorrentes, tipo de resina, alcalinidade, e a influência da concentração do arsénio ou ainda outros requisitos como afinidade da resina

para o contaminante, regenerantes gastos, requisitos para descarte da resina, efeitos secundários da qualidade da água, parâmetros da operação e projeto.

7.5 Processo de membrana

O processo de membrana pode remover o arsénio através da filtração, repulsão elétrica e adsorção de compostos de arsénio. Quando as partículas de arsénio são maiores que o tamanho dos poros da membrana fornecida, serão rejeitados devido à exclusão de tamanho. Porém o tamanho é assim um fator de influência de rejeição. Estudos realizados têm mostrado que algumas membranas podem rejeitar compostos de arsénio, que são uma ou duas vezes menores que o tamanho dos poros da mesma, indicando que a remoção não é apenas um mecanismo de esforço físico (AWWARF, 1998). Formas e características químicas dos compostos de arsénio desempenham um papel importante na rejeição do arsénio. As membranas podem também remover os compostos de arsénio através da repulsão ou adsorção na superfície das mesmas. Estes dependem das características químicas, particularmente da carga e hidrofobocidade, tanto das matérias constituintes da membrana como os constituintes da água da alimentação.

7.6 Tecnologias alternativas

No intuito de criar técnicas cada vez mais eficiente, baratas e em consonância com meio ambiente, foram desenvolvidas alguns métodos de remoção do arsênio do meio ambiente, estes métodos ficaram conhecidos como tecnologias de remoção emergentes, dentre elas destacam-se aquelas que utilizam a radiação UV, radiação solar e/ou processos biológicos (por ação de bactérias ou plantas) para oxidação do arsenito. Conforme Zaw et al. (2002), a conversão de arsenito supera os 95% quando se utiliza a radiação UV ou a solar, na presença de ferro (filtros aplicados nas áreas rurais de Bangladesh), ou a radiação UV, na presença de sulfitos (filtros usados nos EUA), verificando-se ainda que, nesta última técnica, não há produção de resíduo.

Na área da biotecnologia os processos de fitoremediação e de bio-filtração (CASIOT et al*.,* 2003; KATSOYIANNIS et al., 2004; MURUGESAN et al*.,* 2006) também figuram como métodos emergente de remoção do arsênio. Na fitoremediação utiliza-se a biomassa (plantas e fungos) como material adsorvente, sendo o mecanismo de remoção semelhante ao dos compostos químicos. A capacidade adsorvente desta biomassa é superior à do carvão ativado e de algumas resinas sintéticas, é igualmente susceptível de regeneração. Algumas espécies de plantas removem o arsénio da água acumulando-o no seu tecido celular (a chamada fitoremediação). A tabela 6 faz alusão à eficiência das técnicas emergentes citadas anteriormente no texto.

Tabela 6 - Comparação entre as principais técnicas emergentes de remoção de arsénio

Técnica de Oxidação	Parâmetros	Eficiência de remoção (%)	Vantagens	Desvantagens
Radiação UV e solar (presença de ferro)	As_0 = 10 mg/L pH = 1,5–3 Fe_0 = 180 mg/L Fe(II) / As(III) = 24	>96	Não adição de químicos	pH demasiado baixo
Radiação UV (presença de sulfito)	As_0 = 0.47 mg/L pH = 9 arejamento forçado	>96	remoção de As(V) por qualquer técnica	O teor de sulfitos influencia a eficiência
Bactérias ferro-oxidantes (presença de Fe e Mn)	As_0 = 35.60 µg/L pH = 7,2 Fe_0 = 2,8 mg/L, Mn_0 = 0,6 mg/L OD = 2.7 mg/l	>80	Não adição de químicos; económico e ecológico; microrganismos autóctones	em desenvolvimento
Bactérias sulfato-redutoras	As_0 = 10 mg/L pH = 4,5–7 Fe_0 = 20 mg/L	>78	No use of chemical; cheaper and eco-friendly; indigenous microbes	em desenvolvimento

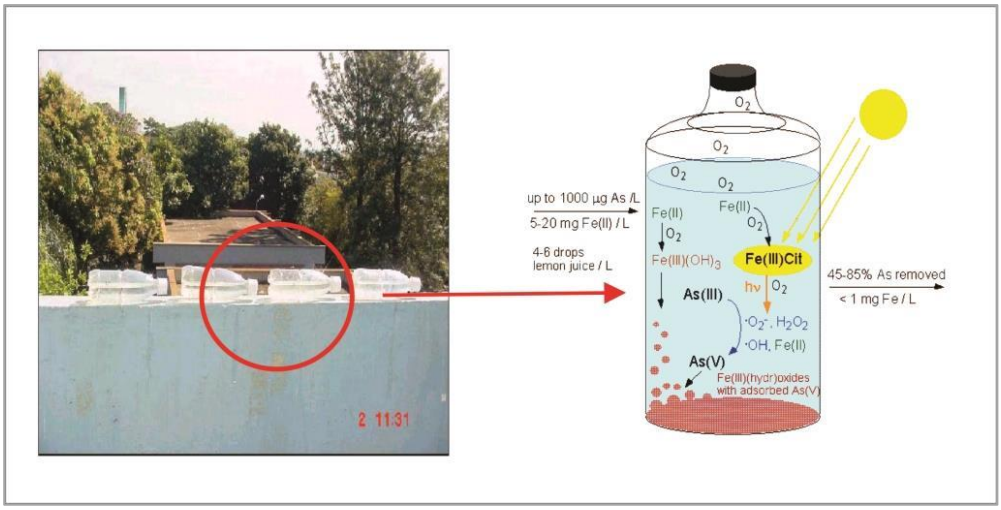
Fonte: Casiot et al., (2003); Katsoyiannis e Zoubouet al., (2004); Murugesan et al., (2006).

Em algumas regiões do mundo, que não dispõem de recursos financeiros e tecnológicos, algumas técnicas alternativas são amplamente utilizadas, muitas dessas revelaram serem bastante eficientes na remoção do arsênio da agua para consumo, principalmente na Índia e em Bangladesh (países afetados pela contaminação do arsênio), essas soluções alternativas são a utilização de filtros de argila, aproveitamento de água da chuva e águas superficiais para diluição e a destilação solar. Esta última técnica utiliza a

energia solar para evaporar a água que é depois condensada, permitindo a separação, da água, de vários compostos químicos, incluindo o arsénio.

Nas regiões andinas da América Latina, tem sido usado frequentemente principalmente em de zonas rurais, a oxidação solar e consequente remoção de arsénio, designado por SORAS (*Solar Oxidation and Removal of Arsenic*), que consiste na remoção do arsénio de águas pela adsorção do As^{+5} em óxidos e hidróxidos de ferro utilizando a radiação UV, como solução temporária para o tratamento de água que abastece as populações locais Figura 11.

Figura 11 - Esquema de remoção do arsênio da água baseado na técnica de SORAS (*Solar Oxidation and Removal of Arsenic*)



Fonte: Elaborado pelo autor.

8 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO DA ICOMI NO AMAPÁ

8.1 Introdução

Talvez pelo conturbado e polêmico início da exploração do minério de manganês em Serra do Navio, pela ICOMI (Indústria comercio de mineração Ltda.), alguns dos críticos ambientais daquela época já poderiam imaginar que tal empreendimento geraria um dos mais preocupantes episódios ambientais da historia da atividade mineradora do Brasil (o caso de contaminação do As em Elesbão), isso em virtude dos interesses econômicos e da pressão externa por parte do EUA principalmente. A mercantilização do minério das jazidas de manganês em Serra do Navio, no então Território Federal do Amapá, teve início na década de 50. Naquela época o manganês era considerado um minério estratégico, pois, em plena "guerra fria", a antiga União Soviética, detentora das maiores reservas mundiais de manganês — insumo indispensável à indústria do aço —, havia suspendido as suas exportações; as reservas de Serra do Navio ganharam então enorme importância. Elas foram inclusive declaradas, em setembro de 1946, por decreto-lei do presidente Eurico Gaspar Dutra, como "reserva nacional", cujo estudo e aproveitamento deveriam ser feitos pelo Governo do Território Federal do Amapá sob a orientação do Conselho Nacional de Minas e Metalurgia. É importante entender o contexto histórico de implantação deste empreendimento assim como os agentes e suas motivações que viabilizaram este projeto e seu próprio desdobramento, no intuito de averiguar os pontos que foram decisivos e que desencadearam consequências até certo ponto irremediáveis para aquela região, portanto é válida uma breve abordagem acerca deste assunto.

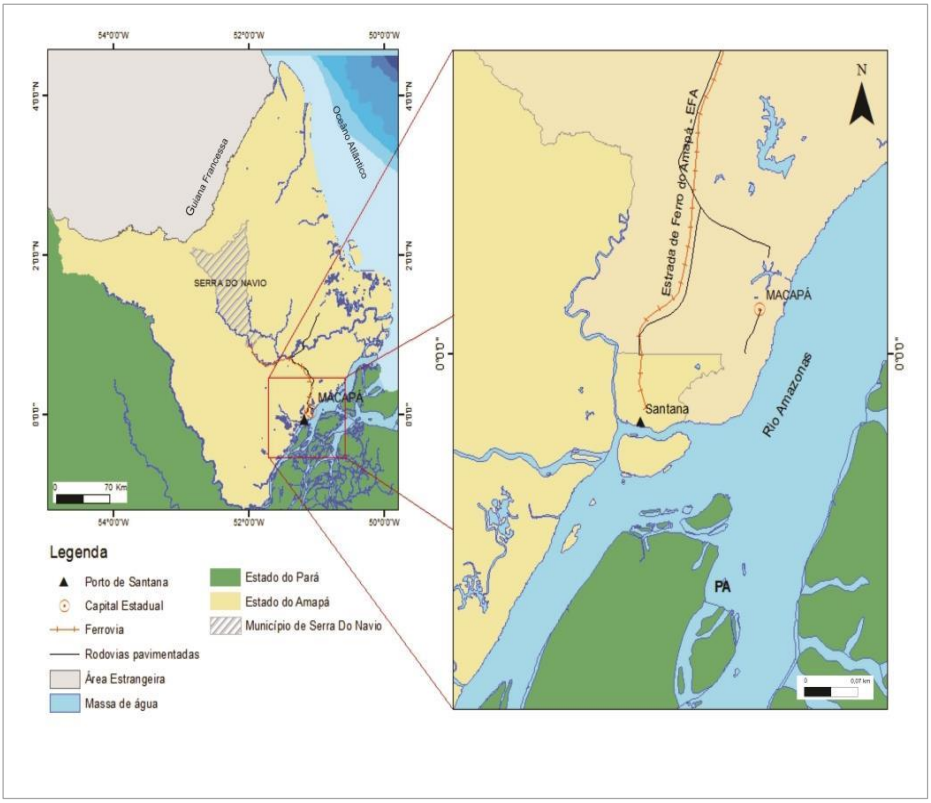
8.2 Localização e aceso ao empreendimento

Localizado na secção centro-noroeste do hoje estado do Amapá, o atual município de Serra do Navio ocupa uma área de 7.755 Km², correspondente a cerca de 5% do território do estado, esta situado nas coordenadas geográficas 00°54'07'' de latitude Norte e 52°00'06'' de longitude Oeste correspondente à área da antiga Vila de Serra do Navio, criada originalmente pela empresa

ICOMI como vila operaria, hoje esta tem o status de município. Ele se limita na região central do estado e têm como seus limitantes os municípios de Porto Grande, Calçoene, Oiapoque, Pedra Branca do Amapari e Ferreira Gomes (DRUMMOND, 2007).

O acesso a Serra do Navio pode ser feito apartir da capital, Macapá, pelas rodovias federais BR-156 e BR-210 ou pelo trem da Estrada de Ferro do Amapá. O minério era extraído nos arredores de Serra do Navio, processado no perímetro industrial e de lá partia de trem, pela estrada de ferro rumo ao Porto de Santana, onde ocorreu a contaminação por arsênio nos igarapés de Elesbão 1 e 2 as margens do canal norte do rio Amazonas. Figura 12 (DRUMMOND, 2007).

Figura 12 - Mapa de localização e acesso a Serra do Navio, detalhe para a área que representa o destino final do minério de manganês extraído de Serra do Navio e já processado, cujo destino era o Porto de Santana para dai partir para os mercados externos, onde em seus arredores houve a contaminação do meio ambiente pelo elemento Arsênio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

8.3 Contexto histórico

É datado de 1934 o primeiro registro feito acerca da ocorrência de minério de manganês no hoje estado do Amapá, na ocasião pelo engenheiro do DNPM Josalfredo Borges, no seu relatório que detalhava o achado ficou engavetado por alguns anos após a sua descoberta inicialmente, somente 1943 quando o território do Amapá foi criado, o seu primeiro interventor (espécie de governador da época), o oficial do exercito Janary Gentil Nunes, logo se interessou pelo relatório de Borges. Posteriormente este tratou de incentivar pesquisas nesse setor a fim de identificar depósitos de minerais metálicos naquela região uma vez que segundo o interventor, a atividade mineradora seria o grande “carro chefe” para o desenvolvimento daquela região e não as atividades tradicionais até então (DRUMMOND, 2007).

Em 1945 um caboclo da região, sabendo da recompensa por achados de minério de manganês, leva para a capital do território, Macapá, algumas amostras de rochas escuras e pesadas que ele acreditava ser o que o interventor do território almejava, já algum tempo (Minerais metálicos), analisadas as amostras ficou claro a descoberta de minérios de manganês com alto teor na região e que poderia ser economicamente viável para exploração; posteriormente à avaliação do deposito também se mostrou economicamente interessante para as partes envolvidas no processo, os depósitos de Serra do Navio eram maiores do que muitos depósitos conhecidos no mundo naquela época (DRUMMOND, 2007).

Com a descoberta das jazidas de minério de manganês em Serra do Navio, pelo caboclo Mário Cruz em 1945, o Território do Amapá começou a entrar no gerenciamento econômico pelas empresas de mineração, além de ser um marco na história mineralógica do Amapá, é também o referencial da implantação mineralógica na Amazônia e, somente mais tarde na década de 60, foram descobertas as jazidas minerais de Serra dos Carajás.

Após a identificação dos depósitos minerais de Serra do Navio, as autoridades politicas da época trataram de criar uma espécie de “reserva nacional”, através do decreto-lei 9.858, de 13 de dezembro de 1946 que englobava as porções que continham os depósitos minerais numa tentativa de

resguardar as áreas e as concessões de exploração da iniciativa privada, hegemônicas no setor.

Com a descoberta do manganês no Amapá, seriam apresentadas para a concorrência da exploração desse minério duas empresas americanas, a *United States*, a *Hanna Exploration Company* e a empresa brasileira ICOMI.

Mas o governo brasileiro optou pela ICOMI, justificando que como eram jazidas, seria fundamental o desenvolvimento de uma empresa do próprio país. Após vencer a concorrência, o Governo Federal autorizou a concessão da exploração desse minério por um período de 50 anos, de 1953 a 2003.

A Empresa ICOMI do empresário Augusto Trajano de Azevedo Antunes, que após a "celebração do contrato de 6 de dezembro de 1947, alegou ao Governo Federal, que não tinha recursos financeiros para executar o projeto". E "em 31 de março de 1950 o ocorre à associação com a Empresa americana *Bethlhen Steel*". Azevedo Antunes transformou sua empresa em Sociedade Anônima/AS, ao vender 49% de suas ações para a *Bethlehen Steel*, uma das mais ricas empresas do ramo de aço dos Estados Unidos. (RAIOL, 1992)

Naquele momento a indústria siderúrgica americana estava dependente do minério de manganês explorado nos países africanos, que estava se esgotando. A extração do minério de manganês da Serra do Navio, além de resolver o problema da dependência do minério extraído da África, aumentaria o estoque americano num momento em que a indústria bélica necessitava de grande quantidade de aço, devido ao período da Guerra Fria. Diferente da Rússia, que possuía um estoque de manganês que garantia a produção de aço necessário ao desenvolvimento industrial.

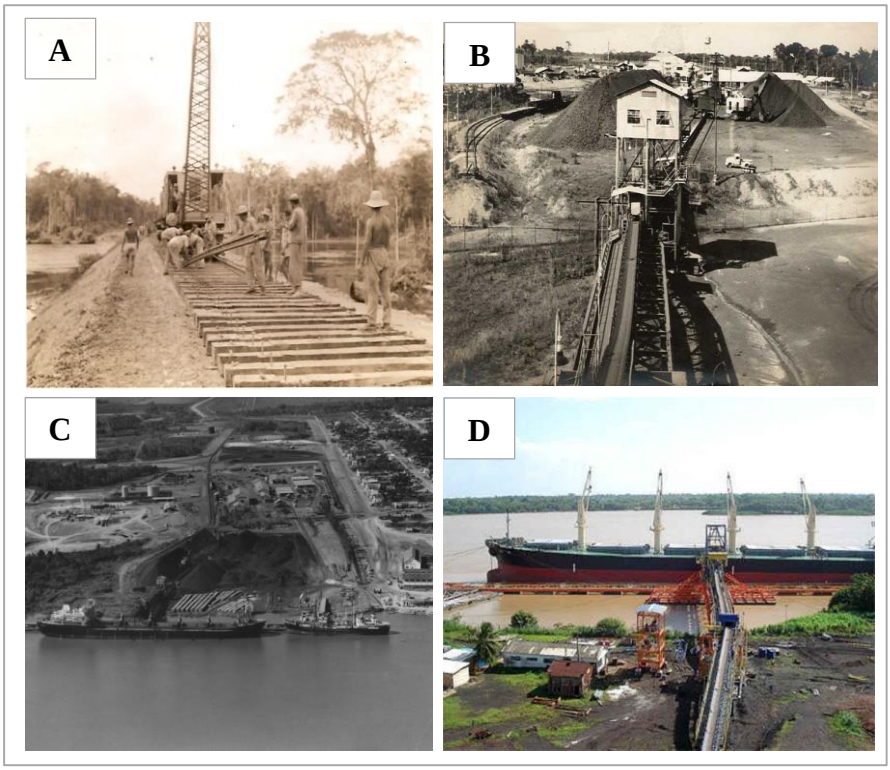
A empresa ICOMI ao contrário de muitos empreendimentos, como o Jarí Florestal do empresário norte-americano Daniel Keith Ludwig, que produzia papel e celulose, que não conseguiu grandes lucros, mas foi comprada por Augusto Antunes em 1982, teve grande prosperidade e somente começou a decair com o fim da Guerra Fria e o início da exploração de manganês da Serra do Carajás, no Pará.

De acordo com Raiol, (1992) a Empresa Bethlehen Steel, parceira estrangeira da Empresa ICOMI, retirou-se da associação em 1984, contudo desde 1957 o grupo lavrou cerca de 29 milhões de toneladas de manganês e exportou mais de 25 milhões.

De 1953 até 1997 ocorreu a exploração de manganês em Serra do Navio pela ICOMI, para viabilização de tal empreendimento houve a necessidade de criar uma pesada infraestrutura já prevista por Lei na região a fim de garantir a exploração e seu escoamento.

De 1954 a 1956 ocorreu o processo de estruturação da área para exploração e escoamento da produção mineral. Essa estruturação pode ser dividida em três, Perímetro da mineração, Estrada de Ferro e o Porto de Santana entre outros, em uma região remota, a construção dessas infraestruturas eram indispensáveis para o êxito econômico do empreendimento Figura 13. Em 18 de janeiro de 1954, a ICOMI contratou a empresa norte-americana *Foley Brothers Inc.,* para projetar e construir toda a infraestrutura de mineração e processamento. A mesma empresa construiu a ferrovia e o porto, além do farol e outras instalações ligadas ao canal de navegação, no Canal Norte da foz do rio Amazonas (RAIOL, 1992).

Figura 13 - Em (A) ferrovia que levaria o minério de manganês de Serra do Navio ate o porto de Santana, em (B) estruturas de processamento do minério no perímetro de mineração, (C) e (D) vista do porto de Santana destino final para o minério de manganês extraído em Serra do Navio e ponto de partida para o mercado externo o primeiro recém-montado e o segundo nos dias atuais.

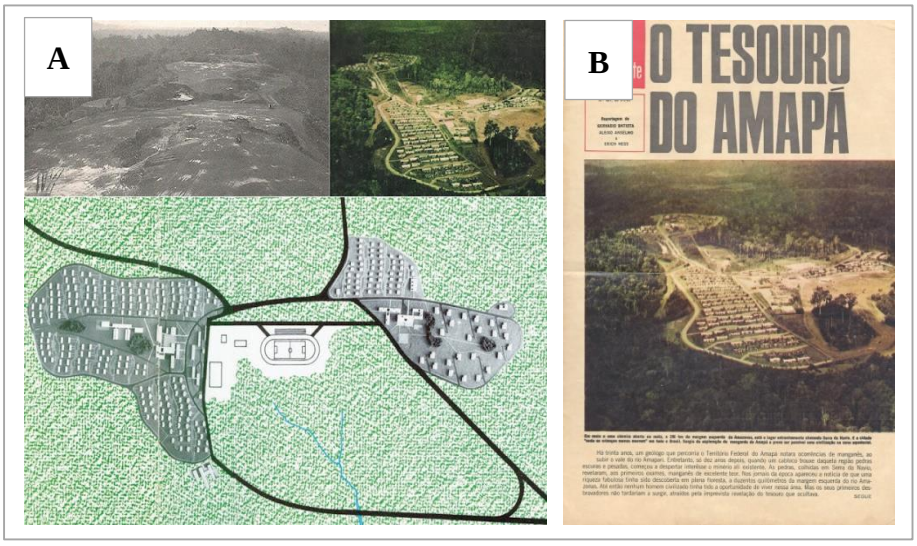


Fonte: Jordaniano, (2012).

Em julho de 1956, seis meses antes do prazo acordado, a empresa conclui a construção e a montagem de toda a infraestrutura de mineração e processamento, localizado em Serra do Navio. O perímetro de mineração de Serra Navio representava o núcleo interior do empreendimento minerador, sendo o porto de Santana o seu núcleo exterior, localizado as margens do rio Amazonas, ambos conectados por uma ferrovia.

Além do porto e da ferrovia, foi construídas também duas vilas operarias para abrigar os funcionários da empresa, a Vila de Serra do Navio e a Vila Amazona. A primeira localizada junto ao perímetro de mineração foi construída para abrigar os trabalhadores diretamente envolvidos na atividade mineradora, levando em conta que o perímetro de mineração ficava cerca de 200 km de distância de Macapá, numa área praticamente desabitada, portanto uma vila de operários em serra do Navio era uma necessidade incontornável para abrigar os trabalhadores, técnico e gerentes das minas. A vila Amazonas, localizada cerca de 40 km de Macapá, foi destinado aos trabalhadores, gerentes e técnicos do porto e da ferrovia. As obras de construção das vilas se iniciaram em 1957 e em meados de 1959 estavam prontas. Estas vilas foram construídas com todo o planejamento urbano e todos os aparatos necessários para garantir uma excelente qualidade de vida para os funcionários, casas, hospitais, escolas, áreas de lazer entre outras além de contar com um excelente sistema de serviço de manutenção, Figura 14.

Figura 14 - Em (A) Destaque para a planta da Vila de Serra do Navio, a área desmatada para construí-la e a própria vila já construída, (B) cartaz da época enaltecendo a Vila de Serra do Navio na época sinônimo de conforto e elevada qualidade de vida para seus habitantes.



Fonte: Ribeiro et al.,(1992).

Na década de 70 a ICOMI, no que tange o seu processamento mineral, foi feito a aquisição de dois acréscimos importantes no seu aparelhamento, uma usina de concentração em Serra do Navio e uma de pelotização no porto de Santana, cenário do episodio do arsênio, o objetivo das duas unidades era aproveitar o valor comercial crescente de milhões de toneladas de minério de baixo teor empilhadas desde 1957 em Serra do Navio e no Porto de Santana. Mudanças técnicas na siderurgia mundial tinha tornado estes minérios comercialmente viáveis, se devidamente concentrados e pelotizados. Somente em 1975 estas usinas começaram a funcionar em escala industrial, antes tiveram que passar por um período de adaptação e testes.

Por problemas de custos e mudanças no cenário mundial no que se refere ao preço dos minérios de baixo teor, em 1985 a usina foi definitivamente fechada.

Em dezembro de 1997, a Empresa ICOMI também resolveu encerrar suas atividades, deixando um saldo negativo para o Amapá, pois, além do desemprego, a decadência econômica do município de Serra do Navio, o grande impacto ambiental causado pela empresa entre eles, a contaminação da área portuária de Santana e da Comunidade de Elesbão, com o elemento químico chamado “Arsênio”

O contrato firmado entre a Empresa ICOMI, associado com a empresa *Bethehen Steel* (Americana), evidenciou-se profundamente perverso para com as necessidades do país e especialmente para Amapá, pois além de uma verdadeira afronta à soberania nacional, na medida em que uma empresa estrangeira interessada apenas na acumulação da riqueza sem nenhuma preocupação social ou ambiental para com a região local. Este contrato se constituiu em uma postura antinacionalista e entreguista, até parece ter sido elaborado pelas próprias empresas, uma vez que lesou sempre os interesses do Brasil (MORAIS, 2009).

A cláusula que se refere ao abastecimento da indústria nacional dá com exatidão a marginalização em que o próprio país foi colocado.

As empresas foram embora porque exatamente não havia mais lucro. O legado que elas deixaram foi uma cidade fantasma sucateada pela iniciativa pública, com extrema ineficiência de gestão, além de um dos maiores casos de contaminação por elementos tóxicos e também um dos casos de maior

repercussão por contaminação do arsênio no Brasil, sem falar da questão social, milhares de pessoas que ficaram desempregados quando essa partiu sem deixar nenhum ponto por assim dizer positivo para aquela região. Os Bônus foram durante quase que 50 anos levados nos comboios de trem de Serra do Navio até o Porto de Santana, para de lá seguir caminho paro o exterior, entretanto por 50 anos o ônus dessa atividade ficou-se acumulando na região e pode ser que leve ainda muito tempo para que este seja amenizado (MORAIS, 2009).

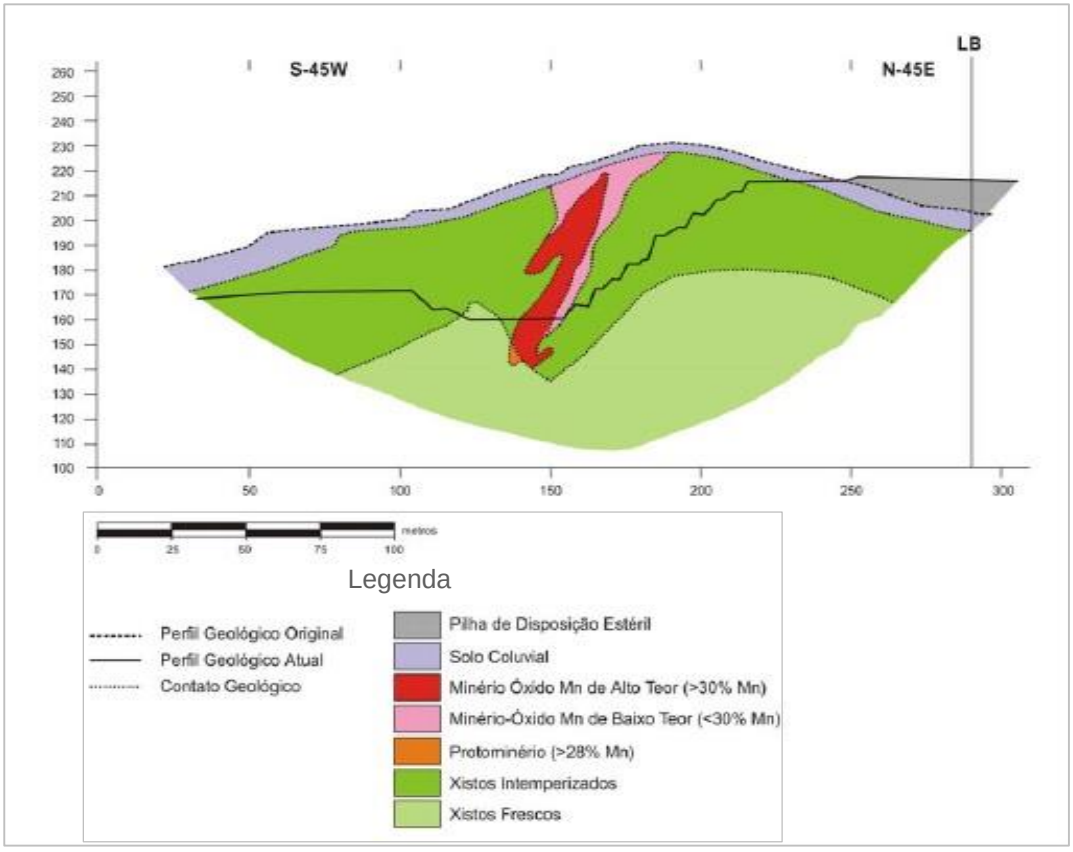
8.4 Geologia da Serra do Navio

A área do município insere-se em uma grande unidade geotectônica de importante significado geológico do ponto de vista da evolução da plataforma Sul-americana. Trata-se do Escudo das Guianas, que ocorre no extremo norte brasileiro além do território das Guianas, Suriname, Venezuela e de uma parte leste da Colômbia. (DRUMMOND, 2007)

O território de Serra do Navio, no seu extremo norte é caracterizado pelo cinturão de Cisalhamento Caroni-Quatro-Pancadas e ao sul, pelo Cinturão de Cisalhamento Tumucumaque. As maiores elevações formam espigões alongados, compondo-se geralmente das unidades litológicas mais resistentes à erosão (DRUMMOND, 2007).

Serra do Navio, localizada no Cráton Guianês, é constituída principalmente de xistos, anfibólio ganisse, ganisses e granitos, com unidades menores de quartzito. O grupo Serra do Navio é composto predominantemente de xisto, com intercalações de quartzitos e anfibolitos. Este grupo que ocupa a parte central do município tem no quartzo-biotita-granada-xisto a rocha portadora dos horizontes manganesíferos à sua unidade mais importante, Figuras 15, tanto em termos de extensão quanto de valor. As terras do município apresentam relevo bastante acidentado, evidenciando formações de depressões naturais, destacando-se os planaltos residuais (DRUMMOND, 2007).

Figura 15 - Secção de uma das minas explorada pela ICOMI para a explotação de minério de manganês destaque em vermelho para a morfologia do corpo mineralizado e para a rocha hospedeira (quarzto-biotita-granada-xisto em verde) do minério



Fonte: Observatório Social, (2003).

9 O ESTUDO DE CASO DE ARSÊNIO (AS) EM VILA DE ELESBÃO-AP

9.1 Introdução

Talvez tenha sido este caso, ocorrido em Vila de Elesbão “até agora” na região amazônica, aquele de maior destaque e repercussão social, isto por que ele acabou por afetar não só o meio ambiente, mas também à saúde humana. Inúmeros são os relatos de óbitos que estariam intimamente relacionados às concentrações elevadas do arsênio no meio ambiente (água, solo e ar), além do mais foram registrados naquela comunidade vários casos de câncer de pele e também de acefalia em recém-nascidos, patologias relacionados com altas concentrações deste elemento no organismo humano (DRUMMOND, 2007).

A empresa ICOMI como já relatado no capitulo 8, explorou o minério de manganês na região por quase 50 anos, durante este período, não ocorreu um monitoramento ou gestão adequada dos seus resíduos de beneficiamento, os quais foram protagonistas e vetor da contaminação do meio ambiente no caso relatado, portanto temos o fator humano impulsionado pelos agentes econômicos da época como uma das principais causas prováveis do dano ambiental em Elesbão e não as condições geológicas naturais da região, como as que ocorrem em outras partes do mundo, que propiciaram tal episódio (DRUMMOND, 2007).

Em virtude disso é necessária uma avaliação nos aspectos e nas consequências deste dano ambiental, uma vez que esta analise (Revisão bibliográfica), possa servir de alerta para outros empreendimentos minerais, os quais são inúmeros na região amazônica, diga-se de passagem, e de diversas naturezas exploratórias, no intuito de que tais atividades minerais não cometam ou detectem precocemente potenciais riscos que estes possam gerar para a região e para próprio bem estar da população de entorno do empreendimento minerário, evitando assim novos “Casos de Elesbão na Amazônia” (DRUMMOND, 2007).

9.2 Problemática

> "Meu pai morreu de câncer no pulmão e meus irmãos também. Cheguei aqui com 11 anos, agora estou com 50. Não sei como ainda não morri." Josequias, fala do morador da Vila de Elesbão, localizada no município de Santana a aproximadamente 22 km da capital Macapá.

O relato acima faz alusão a triste herança deixada pela mineradora ICOMI S.A que operou durante quase 50 anos na região, na extração e beneficiamento do minério de manganês, durante este período uma grande quantidade de rejeito foi produzido e armazenado no pátio da usina de pelotização da ICOMI, localizada próxima ao porto de Santana, a bacia de rejeito da usina não consegui conter este ultimo que em virtude de uma serie de combinações químicas e condições ambientais favoráveis, contribuíram para que o elemento químico Arsênio (As), fosse liberado da estrutura química do minério de manganês pelotizado de baixo teor ali armazenado, contaminando assim os afluentes dos igarapés Elesbão 1 e Elesbão 2, localizados as margens do rio Amazonas, próximo ao porto de Santana.

O resultado foi à contaminação do meio ambiente do entorno das instalações da empresa, onde o principal afetado foi à população local, que, diga-se de passagem, já vivia em condições precárias, a situação mais tarde observada foi o diagnostico de cerca de 2.000 pessoas com taxas de As (arsênio) muito elevadas no organismo para os padrões estabelecidos e recomendados pela OMS (0,1 á 0,5 µg/L de urina), sendo que dessas pessoas, 98 teriam o índice de arsênio superior ao tolerado segundo á Organização Mundial da Saúde. Caracterizando assim em muitos dos casos analisados uma intoxicação aguda (taxas de As 1 a 2 µg/L de urina), sem falar nos problemas genéticos, câncer e patologias associadas à pele que ali já eram corriqueiros durantes e após a paralisação das operações da ICOMI naquela região (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2003).

Isso por si só já bastaria para tornar Vila de Elesbão, o local onde ocorreu um dos mais catastróficos casos de contaminação envolvendo atividades mineradoras no mundo se não fosse pelo fato de que, o mesmo minério de manganês (continha o arsênio) que contaminou Vila de Elesbão,

também foi empregado na pavimentação de muitas ruas na cidade de Santana, agravando ainda mais o quadro de contaminação de arsênio na região, isso porque na região de Santana é marcada por áreas de inundação que favorecerem a solubilização do minério, liberando assim o elemento arsênio para o meio ambiente da cidade. É importante frisar que o elemento arsênio unicamente já é devastador para a saúde humana, mas junto com o próprio elemento Mn (manganês), que causa a popularmente conhecida “Manganosa”, doença que origina diversos distúrbios na saúde humana como alterações no fígado, sistema nervoso, rigidez muscular entre outras patologias. São devastadores e também em parte contribui para causar o maior, até agora que se tem notícia caso de contaminação química registrado na região Amazônica.

Anos mais tardes, o rejeito foi transferido pra outra bacia para evitar mais contaminação da área, fora da usina de pelotização, isso ainda sobre a jurisdição da empresa ICOMI, que durante anos utilizou-se de artifícios e manobras políticas e científicas para minimizar sua responsabilidade para com aquela região. (SCARPELLI, 2012)

Avaliado a extensão e a gravidade do impacto causado pela contaminação do meio ambiente nos arredores da usina de pelotização da ICOMI S.A, pelos órgãos ambientais competentes da época, dentre eles a SEMA e o Instituto de Pesquisa Cientificas Evandro Chagas, Observatório Social entre outros, á ICOMI foi condenada a pagar uma multa milionária para o estado (cerca de 50 milhões de reais).

E assim em poucas palavras se resume a trajetória melancólica do primeiro grande empreendimento mineral que a região amazônica teve. O bônus desse empreendimento durante muitos anos partiu do porto de Santana para outras regiões do mundo, entretanto o ônus ficou enraizado na região, uma cidade fantasma sobre a gestão ineficiente do estado (município de Serra do Navio), parte do maquinário industrial abandonado e inutilizado que o estado teve que comprar da empresa após a paralização das atividades minerais, situação esta definida em contratos, e já discutida em capítulos anteriores deste trabalho, além de um dano ambiental bastante nocivo para a região e principalmente para a população de Vila de Elesbão, onde até hoje,

ainda sofre com as heranças deixadas pela ICOMI e seu arsênio principalmente.

9.3 Diagnóstico

A mineração de Manganês na Serra do Navio-AP foi desenvolvida pela ICOMI entre os anos de 1957 e 1997. O minério extraído era transportado por via férrea com extensão de 194 km até o Porto de Santana, às margens do rio Amazonas. Entre os anos de 1973 e 1983, a empresa manteve em funcionamento uma usina de pelotização, na sua área industrial e portuária no município de Santana, para aproveitamento do minério fino, e posteriormente a usina foi usada para a produção de sínter, que é um aglomerado mais frágil que as pelotas e formado apartir de temperaturas da ordem de 600°C. Nesse período, os rejeitos gerados nestes processos foram depositados numa lagoa artificial, escavada na área da empresa, nas proximidades da usina, Figura 16 (SANTOS E.C.O et al., 2003). Estes rejeitos continham As, quando solubilizados, atingiram as águas do nível freático da lagoa, e também pequenos igarapés nas suas imediações, Elesbão 1 e 2 (SANTOS E.C. O et al., 2003).

Figura 16 - Estocagem do rejeito do minério de Mn de baixo teor, ao fundo comunidade ribeirinha de Vila de Elesbão.

Fonte: Scarpelli, (2010).

O “caso do arsênio” veio a público em meados de 1998. A Jakko Poyry Engenharia foi contratada pela ICOMI para fazer uma auditoria ambiental da área do porto de Santana, já que a empresa pensava em vendê-la para a Chamflora. A auditoria constatou que traços do elemento arsênio estavam acima dos limites estabelecidos pela a OMS (acima de 0,5 µg\L), principalmente em aguas superficiais e subsuperficiais próximo da localidade de Elesbão, em Santana, nas proximidades do porto e da área industrial da ICOMI. Toda essa área durante os anos que a empresa atuou no estado esteve sob a jurisdição desta ultima desde a década de 50. (DRUMOND, 2007)

Os resíduos que causaram a contaminação da área tinham sido produzidos nas décadas de 1970 e 1980 (e em quantidade menor na de 90), nos esforços de pelotizar minérios de baixo teor de Mn, para agregar valor a eles. Apesar de os 55.000m³ de resíduos terem sido dispostos de maneira tecnicamente correta – em uma bacia impermeabilizada com concreto e dotada de mecanismo de monitoramento e controle, falhas na estrutura do deposito e do monitoramento, principalmente este, diga-se de passagem, permitiram o vazamento de arsênio para as águas de diversos igarapés da região e posterior para os rios Matapi e do próprio rio Amazonas, não se sabe o quando do inicio do vazamento antes de sua descoberta em 1998.

A falha da bacia e do monitoramento da empresa e dos próprios órgãos ambientais amapaenses em fazer os devidos estudos de rotina da área permitiu com que o vazamento se prolongasse por muitos anos antes de sua descoberta (DRUMOND, 2007).

O outro grande problema envolvendo o arsênio e a gestão dos órgãos ambientais daquela região foi o recebimento por parte da prefeitura do município de Santana de vários carregamentos de rejeitos de alta periculosidade ambiental, para fazer o aterro de varias ruas e ressacas do município sendo que estas áreas eram sujeitas a inundações constantes, agravando ainda mais a contaminação na região e aumentando o raio de afetados pelo elemento. Anos mais tardes o Instituo de Pesquisa Evandro Chagas, assim com outros órgãos competentes constataram através de estudo a contaminação da população de Elesbão pelo elemento químico arsênio, cerca de 98% dos integrantes da localidades, tal diagnósticos ficou concluído após análises e exames de sangue, urina além de exames em cabelos da

população entre outros estudos realizados nas águas e em solos da área afetada (SCARPELLI, 2010).

9.4 Tipo de minérios presente e sua relação com o arsênio

Foram explorados dois tipos de minérios em Serra do Navio, Um primário, ou inicial, formado pelas camadas do mármore manganesífero, e um secundário, ou óxido, formado por massas de óxidos e hidróxidos de manganês.

O minério carbonático ocorre em profundidade, abaixo do nível de água freático, e contém carbonato, rodocrosita ($MnCO_3$) e silicatos de manganês, espessartita ($Mn_3Al_2Si_3O_{12}$) e tefroita (Mg_2SiO_4), mais quantidades traço de sulfetos de zinco, de cobalto e de níquel. Possui de 20% a 32% de manganês.

O xisto adjacente aos mármores contém quantidades traço de sulfetos de ferro e de cobre (FeS_2 e $CuFeS_2$), os quais possuem concentrações traço de arsênio. Em nenhuma dessas rochas foi visto o mineral arsenopirita, que é o mineral mais comum de arsênio em depósitos ricos em sulfetos. (SCARPELLI, 2010)

O minério óxido é formado pela intemperização dos mármores manganesíferos, quando a rocha é decomposta e a maioria dos demais elementos é removida em solução, o manganês é oxidado pelas águas pluviais e hidrolizado e, frequentemente passando por uma fase coloidal, deposita como óxidos e hidróxidos nos espaços ocupados anteriormente pelos carbonatos e silicatos. Os teores resultantes variam de 32 a 52% de manganês.

O minério óxido é constituído de minerais manganesíferos como pirolusita (MnO_2), psilomelana ($BaMn^{2+}Mn_8^{4+}O_{16}(OH)_4$), litioforita ((Li, AL) $Mn2(HO)_2$), associados a quantidades menores de limonita ($Fe(OH)_3$ $n.H_2O$), goethita (FeO(OH)), gibbsita (Al(OH)), argilas, sílica e outros minerais secundários. O arsênio derivado das rochas próximas aos mármores fica retido na estrutura cristalina dos óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês (SCARPELLI, 2010).

Como se formaram nas condições ambientais atuais, os minerais do minério óxido são muito estáveis e o arsênio neles contidos não é liberado em condições normais. Há, inclusive, boa relação entre os teores de manganês e de arsênio, com o minério de 48% de manganês sempre contendo entre 0,17 e 0,18% de arsênio (OBSERVATORIO SOCIAL, 2003).

9.4 Origem da contaminação

A ICOMI durante muito tempo explorou o minério de manganês de Serra do Navio a maior parte da produção foi constituída de blocos naturais de minério, os quais no processo de preparo para a venda não sofreram nenhuma alteração química ou mineral em sua constituição. Foram apenas britados, peneirados e classificados granulometricamente, até atingir às especificações exigidas pelos compradores, e lavados, para remoção de argilas. (SCARPELLI, 2012)

Até meados dos anos setenta, os fragmentos mais finos, menores que um milímetro, não era vendido ao mercado, então eram estocados em Serra do Navio. Para a comercialização desses finos foi construída, próxima ao porto, uma usina de pelotização, a qual, usando temperaturas da ordem de 900 a 1.000°C, aglomerava os finos em pelotas endurecidas de cerca de 1 centímetro de diâmetro, permitindo sua venda segundo as exigências do mercado externo, principal consumidor do produto naquele momento (SCARPELLI, 2012).

A usina operou de 1973 a 1983, interrompendo a produção de pelotas quando coincidiu que o mercado consumidor passou a solicitar o fino em estado natural e os preços de combustíveis tornaram-se excessivamente altos. De 1989 até 1996 a usina foi usada para a produção de sínter, que é um aglomerado mais frágil que a pelota, formado a temperaturas da ordem de 700°C (SCARPELLI, 2012).

Quando o minério fino foi aquecido a temperaturas entre 900 e 1.000°C para a produção de pelotas parte do minério recristalizou em hausmanita (Mn_3O_4) e tefroita (Mg_2SiO_4), minerais instáveis à superfície. Parte do arsênio saiu da proteção dos hidróxidos de ferro e de manganês e tornou-se solubilizável em condições ambientais. O arsênio solubilizável, mas que ficou retido no interior das pelotas manteve-se estável, visto que ali não poderia ser

alcançado. Todas as pelotas produzidas foram comercializadas e consumidas em altos-fornos, onde o arsênio foi removido por técnicas siderúrgicas convencionais (SCARPELLI, 2012).

9.4 Análises de dados

Tomando conhecimento da contaminação do arsênio na área de entorno da empresa ICOMI e principalmente na localidade de Elesbão, diversos estudos foram realizados no intuito de quantificar e qualificar a extensão da contaminação na área.

Foram realizados estudos ambientais em amostras de águas superficiais e subsuperficiais em Elesbão 1 e 2 (pequenos igarapés da região), através de amostras coletadas bem como em materiais suspensos nos igarapés, Figura 17, além de analises químicas em sedimentos na área industrial da usina na bacia de contenção do rejeito, exames clínicos de sangue, urina e cabelo na população de Vila de Elesbão, o que serviu para evidenciar o total de pessoas contaminadas com o elemento. A seguir são evidenciados alguns desses dados adquiridos através desses estudos na região.

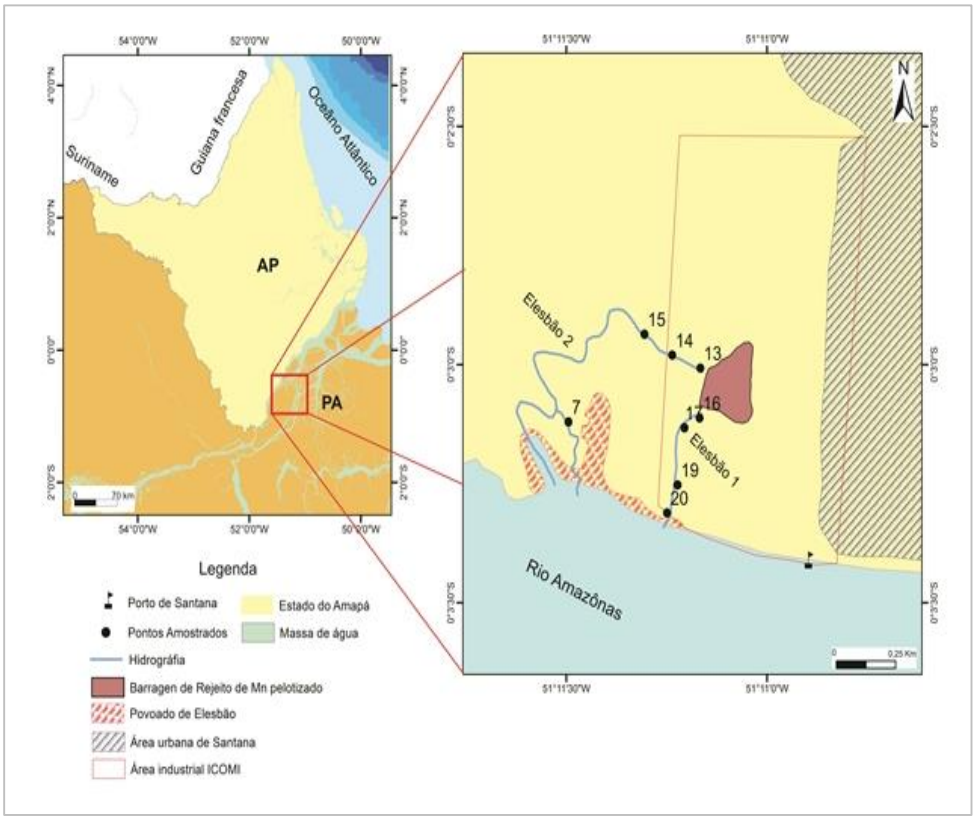
As análises físico-químicas das águas realizadas pelos pesquisadores do Instituto Evandro Chagas (LIMA et al., 2002) constataram a existência de teores de arsênio bastante elevados na área industrial da ICOMI. O que se refletiu na elevada presença do arsênio na água, nos sedimentos de fundo e no material particulado suspenso nos igarapés Elesbão 1 e Elesbão 2 e em áreas mais próximas à barragem de rejeitos, como se verificou nos pontos de amostragem da Tabela 7.

Tabela 7 **-** Resultados das análises de arsênio em água, sedimento de fundo e no material particulado suspenso nos igarapés Elesbão 1 e Elesbão 2.

Local da amostragem	Ponto de Amostragem	Arsênio em água (µg/L)	Arsênio em sedimentos de fundo (µg/g)	Arsênio em material particulado suspenso (µg/L)
Ig. Elesbão 1	16	4054	1591,5	-
Ig. Elesbão 1	17	57,4	87,7	89,6
Ig. Elesbão 1	18	16,0	1030,8	45,8
Ig. Elesbão 1	19	230,5	205,4	695,9
Ig. Elesbão 1	20	195,0	7,9	481,1
Ig. Elesbão 2	07	-	7,66	36,7
Ig. Elesbão 2	06	31,6	239,8	30,0
Ig. Elesbão 2	13	114,2	-	280,5
Ig. Elesbão 2	14	94	31,5	207,0
Ig. Elesbão 2	15	60,8	-	127,9

Fonte: Lima et al. (2002).

Figura 17 - Mapa criado apartir de dados vetoriais da CPRM demostrando os pontos amostrados por Lima et al., (2002), na área industrial da usina de pelotização da ICOMI.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere à avaliação da exposição de pessoas ao arsênio, o Instituto de Pesquisa Evandro Chagas realizou estudos que envolveram 2.045 pessoas, dos quais 881 homens (43,1%) e 1.164 mulheres (56,9%), com idade variando de 3 dias a 97 anos. Os estudos constataram que os teores do arsênio no tecido capilar de 1.986 pessoas variam entre 0,06 µg/g a 5,85µg/g, com média de 0,56 µg/g. As análises de sangue em 1.927 pessoas apresentaram média de 5,95 µg/L e uma variação entre 0,07 µg/L e 19,31µg/L (SANTOS et al., 2002).

Após coletar os resultados das análises do material biológico (sangue e cabelo), indicadores de exposição, com os das patologias identificadas na Vila do Elesbão por meio da avaliação clínica, epidemiológica e laboratorial, os pesquisadores do Instituto Evandro Chagas concluíram que estas patologias "não apresentaram associação estatística significativa com as determinações de arsênio no sangue e tecido capilar da população estudada, estando em grande parte associada à precariedade das condições sanitárias, o que se reflete na qualidade de vida e saúde da comunidade" (SANTOS et al., 2002).

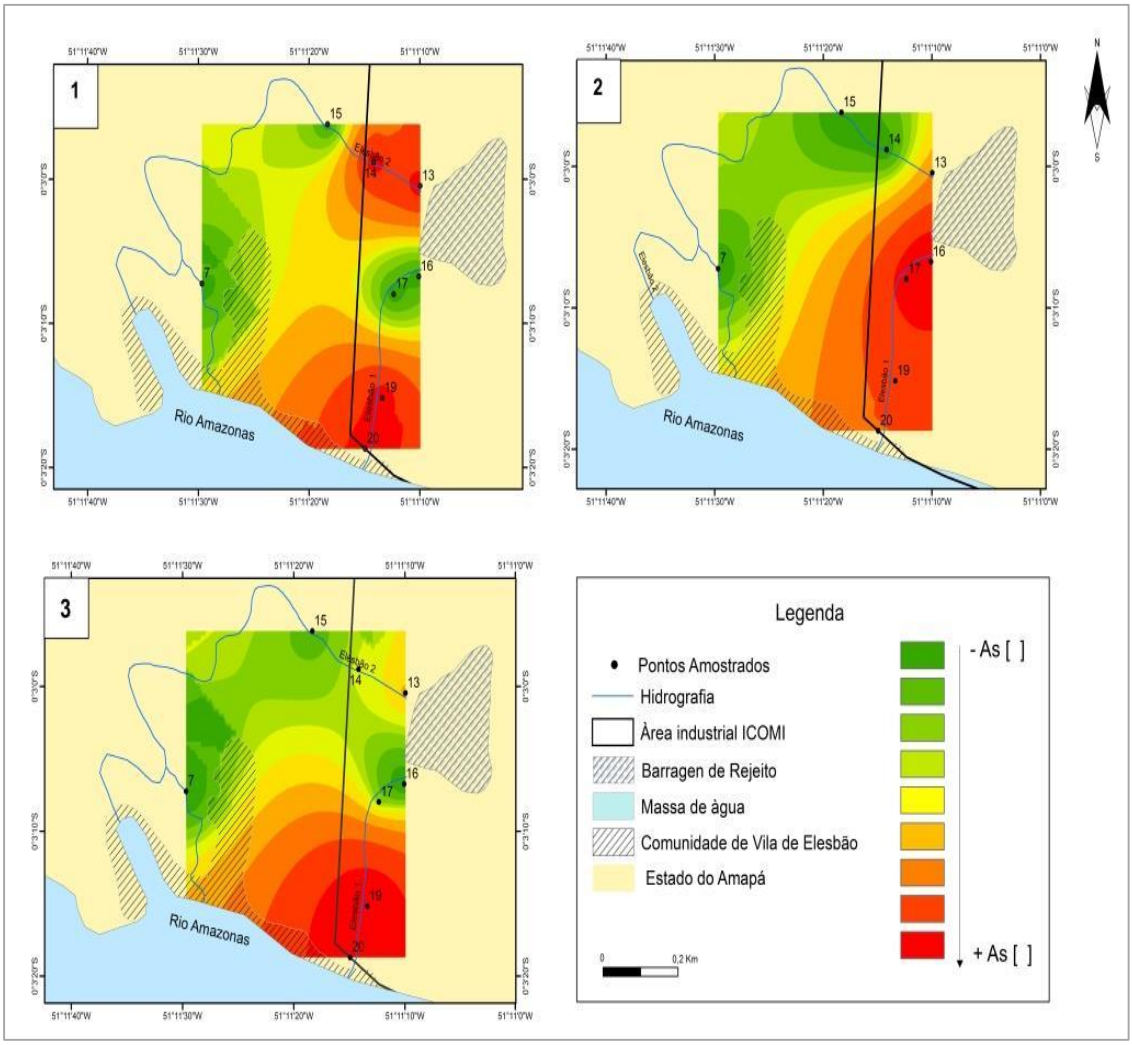
De pose dos dados clínicos e medico-laboratoriais os pesquisadores do instituo Evandro chagas concluíram que as patologias registradas na comunidade de vila de Elesbão não apresentavam ligação direta com os níveis de arsênio encontrado no organismo das pessoas da localidade. Entretanto apesar do respeito e seriedade do instituo, muito se questionou pelo fato das pesquisas do instituto não levarem em consideração as associações de elementos como o Mn ao Arsênio, potencializadores dos efeitos da exposição ao arsênio.

Outro fato que merece a atenção e o registro de patologias fora área da usina de pelotização, além do que a Pastoral da Criança, da Igreja Católica, alertou para o fato da existência de casos de acefalia ou microcefalia em crianças nascidas nas proximidades da mina na Serra do Navio, levantando hipóteses também de que tais casos poderiam ter relação com a contaminação por arsênio ou manganês, em outras áreas que não as próximas ao Igarapé Elesbão, em Santana.

De posse dos pontos amostradas (LIMA et al., 2002) da área industrial da usina de pelotização da ICOMI, aliadas a técnicas de Geoprocessamento, utilizando o software ArcGIS 10.1, foi desenvolvido um mapa que mostra a área

de dispersão da contaminação do arsênio na região, o mapa espacializa as informações contidas nas tabela 7, evidenciando as áreas preferencias de contaminação do elemento, com destaque para a de Vila de Elesbão como indicado na Figura 18, no intuito de facilitar a visualização do dano ambiental e a sua abrangência nas áreas circunvizinhas a ICOMI.

Figura 18 - Mapa de dispersão da possível contaminação de arsênio na região próximo a área industrial da empresa ICOMI, próximo ao porto de Santana, em (1) analise comprando o elemento na agua, em (2) nos sedimentos da área e (3), em materiais suspensos nas águas do entorno da área industrial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

9.7 Discussão dos dados

Diante de tudo que foi exposto acerca deste dano ambiental, devemos salientar certos pontos que são relevantes para o entendimento deste assunto.

Primeiramente é notório que houve um dano ambiental na área do entorno da ICOMI, isso já abordado bastante em tópicos anteriores, o vazamento do rejeito de Mn apartir da barragem de contenção foi o principal fator condicionante, aliado a processos siderúrgicos que enfraqueceram a estrutura química do minério (ver tópico 9.4) que continha o elemento arsênio, em condições ambientes este sofreu solubilização, de maneira que se dispersou e contaminou água, solo e sedimentos nas adjacências da empresa inclusive os igarapés de Elesbão 1 e 2 (ver Figura 17), principais fontes de abastecimento de água domestica para a comunidade local de Vila de Elesbão-AP.

Situação essa ratificada pelas altas concentrações de arsênio constatadas nas águas, como indica os pontos de amostragem realizados, Lima et al., (2002), (ver tabela 7) que evidenciaram concentrações de arsênio no intervalo de 60,8 µg/L à 4054 µg/L na água, situação preocupante, um vez que a OMS recomenda concentrações de 10 µg/L para o consumo de água, desta maneira fica evidente que a população de Elesbão ficou exposta a altas concentrações de As na água.

Sem falar nos valores detectados nas analises de cabelo realizadas pelo Instituto de Pesquisa Evandro Chagas (0,06 µg/g a 5,85µg/g) o que já denota uma intoxicação crônica (valores acima de 1 µg/L de urina segundo a OMS), do elemento (PERREIA et al., 2002), uma vez que esta se mostra já incorporado ao organismo. As analises realizadas no sangue de uma amostra da população, também indicaram valores acima do recomendado (0,07µg/L a 19,31µg/L) pela OMS o que ratifica ainda mais a exposição populacional ao elemento.

Outro ponto que deve ser mencionado são os Inúmeros casos de doenças como câncer de pele, pulmão, problemas hepáticos renais, distúrbios neurológicos, má formação fetal em gravidas, acefalia em recém-nascidos (Pastoral da criança da região) que foram registradas na área, diferentemente do que alguns órgãos relacionaram tais doenças a condições sanitárias do

ambiente, essas doenças tem uma relação mais intima com elementos tóxicos dentre este o Mn e As. Uma vez que tais elementos por apresentarem similaridades químicas a outros elementos que participam de inúmeros processos celulares no organismo humano como o Fosforo (P), causam diversos distúrbios nos processos homeostáticos do organismo humano, o que acaba gerando inúmeras patologias cancerígenas e neurológicas relacionadas a esses elementos (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000). Isso só faz aumentar a certeza da contaminação ambiental e mais ainda a possibilidade da contaminação populacional da área, o que seria um agravante ainda maior para empresa ICOMI responder juridicamente perante o Estado, no entanto apenas por danos ambientais a empresa respondeu e foi condenada a pagar uma multa ao estado alçada em cerca de 50 milhões de reais. Logo é provável que possíveis manobras jurídicas e cientificas podem ter sido utilizadas para minimizar a responsabilidade da empresa ICOMI. (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2003).

Apartir da analise espacial realizada tendo como base os dados de Lima et al., (2002), ver Figura 18, também fica evidente que a vila de Elesbão estava dentro do possível raio de dispersão do contaminante arsênio no meio ambiente, o que contribui para evidenciar e sustentar o dano ambiental causado pela ICOMI. A própria contaminação do ambiente e bastante desastrosa uma vez que este elemento possui efeito acumulante, logo ele pode ficar retido em diversos níveis tróficos da cadeia alimentar, por vários anos, sem manifestar qualquer tipo de patologia, como a contaminação atingiu a agua é bastante provável que peixes entre outro organismo marinhos tenham incorporados quantidades significativas de arsênio no seu organismo (CAROLI , 1996). Logo além da possível ingestão de água contaminada (concentrações acima de 10 µg/L), a população de Elesbão poderia também ter sido exposta a alimentos contaminados principalmente marinhos (haja visto que a comunidade também possui um caráter pesqueiro, bastante típico das comunidades ribeirinhas da região amazônica), caracterizando ainda mais um provável quadro de contaminação aguda à crônica de arsênio.

Também se deve ressaltar o fato de que nas analises feitas por diversos órgãos, inclusive o Instituto de Pesquisa Evandro Chagas, não foram realizados estudos detalhados em relação a influência do Mn e As associados

em certos organismo, inclusive o humano, e no meio ambiente, o que poderia ajudar no entendimento da extensão dos danos causados pelo vazamento na região (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2003).

De fato houve um dano ambiental da área entorno do empreendimento da ICOMI, entretanto o que se diverge bastante é o quanto esta contaminação afetou a população local, inúmeras são as causas para essas divergências, das quais muitas fogem ao assunto principal do trabalho (questões jurídicas, econômicas e politicas), que não cabem aprofundar neste momento, mas e visível que tal problema ocorreu e afetou bastante o meio ambiente da região.

9.4 Consequências e medidas efetuadas na área afetada

Apesar de algumas divergências quanto aos efeitos do arsênio na população de Vila de Elesbão, é unanimidade a ocorrência do dano ambiental deixado pela ICOMI na região, principalmente em relação a exposição do arsênio. O arsênio e listado com uma das substâncias químicas, mas nocivas para a saúde humana considerado pela *Priority List Hazardous subtances de 2007 da Comprehensive Environmental Response*, dependendo da sua concentração no organismo humano este é letal (concentrações de As inorgânico acima de 140 µg/L é a dose letal para o organismo humano OMS),

Conforme já relatado muitas pessoas de Vila de Elesbão foram diagnosticados com teores elevados de arsênio no organismo, muitos deste foram diagnosticados com contaminação crônica (teores >1µg/L de urina) e contaminação aguda (valores 1 a 2µg/L de urina). (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE, 2002)

E vasto também o registro de patologias características da contaminação de arsênio, acima listadas, nas pessoas da comunidade como acefalia em recém-nascidos, casos de câncer, doenças dérmicas e problemas gastrointestinais principalmente.

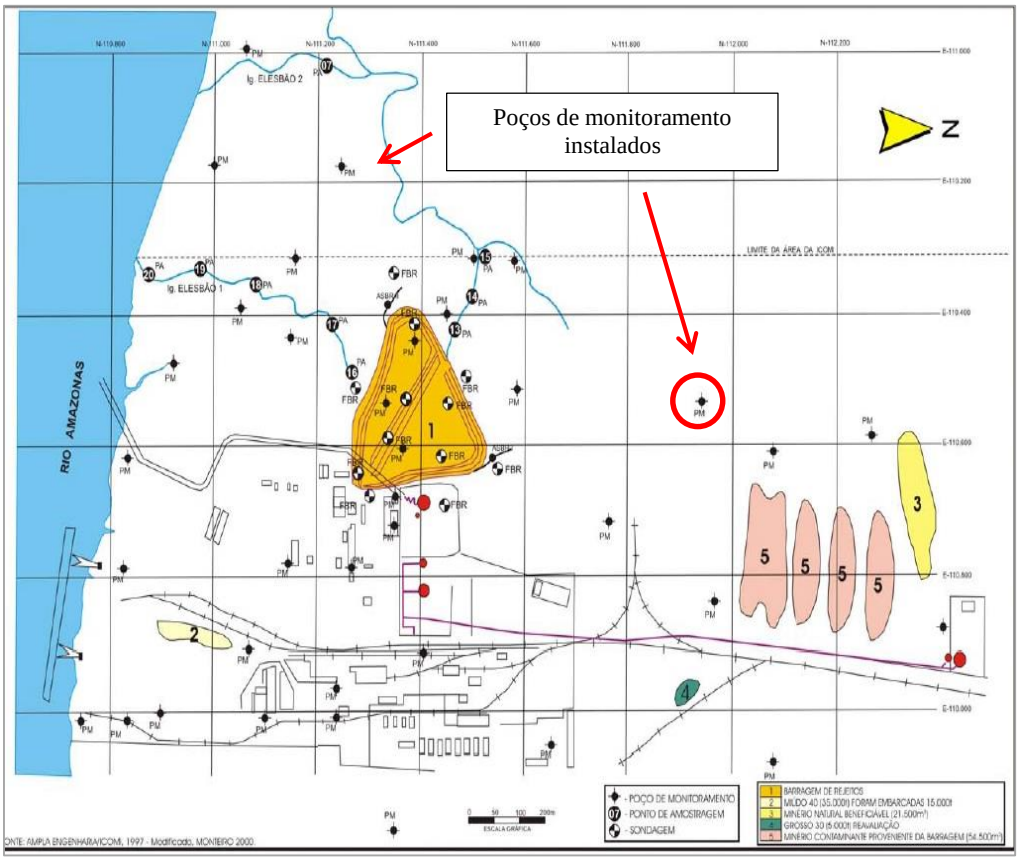
Portando observa-se que a contaminação na área de entorno da usina de pelotização foi catastrófica para a comunidade de Vila de Elesbão, após a descoberta em 1998 a empresa foi multada em cerca de 52 milhões de reais, detectado a fonte da contaminação (bacia de rejeito de minério de baixo teor de

Mn), posteriormente o minério foi removido da área industrial, para uma nova bacia de rejeito fora da área da usina com as devidas medidas de retenção do rejeito, Figura 19, além disso, foram instalados vários poços de monitoramento na área industrial, no intuito de monitorar os níveis do arsênio na área, Figura 20, (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2003).

Figura 19 - Bacia de rejeito vedada com manta impermeável, para onde seria transferido os rejeito da área portuária de Santana.

Fonte: Observatório Social, (2003).

Figura 20 - Mapa mostrando os Poços de monitoramento instalados na área da usina de pelotização, nas proximidades do porto de Santana.



Fonte: Observatório Social, (2003).

10 CONCLUSÕES

Portanto observa-se que a atividade mineral está muito presente na vida do ser humano desde muito tempo atrás até os dias de hoje, sabe-se que esta exerce grande impacto e são potencias degradadoras do meio ambiente, em virtude disso deve-se ter o cuidado necessário a fim de preservar o máximo possível do meio ambiente, em toda sua plenitude ecológica e garantir a qualidade de vida das populações afetadas pelos empreendimentos mineradores, para que esta atividade seja pautada no tripé do desenvolvimento sustentável (social, ecológico e ambientalmente viável).

Notamos também que impactos decorrentes da contaminação por substancias tóxicas é uma realidade mundial e que afeta milhões de pessoas. No caso da contaminação do arsênio observou-se cenários críticos como em Bengali Ocidental, Bangladesh, China, Argentina entre outros, essa situação decorreu das altas concentrações do elemento presente no ambiente naturalmente, devido as condições geológicas dessas regiões, mas também estavam relacionados as atividades antrópicas da mineração em alguns casos como na China e Brasil. Muitas pessoas foram contaminadas pelo ingestão do elemento apartir do consumo de água oriunda de aquíferos com altas concentrações do arsênio, como relatado no caso de Bengali ocidental (SMEDLEY et al., 2002).

O arsênio é um elemento considerado metaloide, incolor e com alto poder de toxicidade para a saúde humana, é empregado na indústria do vidro, ligas metálicas e também na agricultura (arsênio orgânico). Está presente naturalmente no meio ambiente em concentrações variadas; dependendo das condições do ambiente pode mudar de comportamento e espécie química. Quando em contato com o organismo humano gera diversas patologias dérmicas, distúrbios neurológicos, hepático-renais entre outras. Segundo Russel et al, (1990), dependendo da sua espécie química e da sua dosagem pode ser letal para o ser humano (concentração de 140 µg/L, dose letal), a OMS recomenda que as concentrações de arsênio na agua sejam de no máximo 10µg/L acima dessa concentração a situação pode ser considerada critica para consumo humano.

Ainda que a contaminação de arsênio seja preocupante devido o seu alto poder degradador do meio ambiente, existem diversas técnicas (Osmose reversa, *SORAS*, Permuta iônica, Enfraquecimento pela Cal entre outras) e tratamento médicos (base de compostos quelantes) que auxiliam na remediação da contaminação do ambiente e da saúde humana.

Como já mencionado a contaminação por As também é presente na região amazônica. Durante muitos anos a ICOMI, atuou na exploração do minério Mn nas regiões de Serra do Navio (cerca de 50 anos), Durante esse período, ela gerou e armazenou na região portuária de Santana de onde o minério era exportado para o mercado externo. Na década de 70 o valor do minério de baixo teor de Mn tornou-se economicamente viável para exploração, em virtude disso a empresa instalou uma uisna de pelotização na área próxima ao porto. O resíduo oriundo do processo de pelotização foi depositado em uma bacia de contenção, a mesma não teve uma atenção merecida e não conseguiu conter o material, que em condições químicas e ambientais favoreceram a solubilização e posterior lixiviação do elemento As para as áreas do entorno da usina, afetando a comunidade de vila de Elesbão localizada as margens do Rio Amazonas, causando inúmeras patologias decorrentes da exposição ao arsênio (OBSERVATÓRIO SOCIAL, 2003).

Como observado o elemento As é extremamente prejudicial à saúde humana, e no caso de Elesbão muita pessoas morreram e outras continuam sofrendo até os dias de hoje com os efeitos da intoxicação, neste sentido o presente trabalho deixa claro como o meio ambiente e incluso neste o próprio ser humano, podem ser bastante afetados quando os grandes empreendimentos minerais, neste caso representado pela empresa ICOMI S.A, não tem o devido cuidado na execução de suas atividades de extração e beneficiamento de bens minerais. Aliado a isso se soma condições ambientais especificas que podem tornar substancia inicialmente não toxicas em potentes contaminantes do meio físico, e desta maneira criam um cenário perfeito para a degradação da saúde humana e do meio ambiente. Portanto é de fundamental importância que as empresas de mineração tenham cada vez mais atenção e cuidado na execução de suas atividades e na gestão adequado de seus resíduos oriundos de suas atividades no intuito de que não ocorram novos episódios como este na Amazônia.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. Springer Verlag, New York, USA. 1986.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Priority list of hazardous substances.(ATSDR) 2005. Disponível em: < http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=3> Acesso em: 13 set. 2014

AHUJA, S. **Arsenic contamination of groundwater - Mechanism, analysis, and remediation***.* New Jersey: Wiley. 2008.

ANDERSON, W. C. Innovative site remediation technology: chemical treatment. Washington, **USEPA**, Springer, 1994a. v. 2, p. 1.1 – 1.7. Innovative Site Remediation Technology: Soil washing/soil flushing, Washington, USEPA, Springer, 1994b. v. 3, p. 1.1 – 1.6.

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados**: o caso da Plumbum emSantuariodaurificação/BA. 2003. 301 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA - **Water Quality and Treatment-A** Handbook of Community Water Systems . New York : McGraw-Hill Publishing Company, 1990.

ARSENIC Treatability Options and Evoluation of Residuals Management Issues. [New York] : AWWA Research Foundation, 1998

BACCI, DENISE DE LA CORTE; LANDIM, PAULO MILTON BARBOSA; ESTON, SÉRGIO MÉDICI DE. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. Rem: **Rev. Esc. Minas**., Ouro Preto, v. 59, n. 1, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 29 Nov, 2006.

BARBOSA A. M. GOMES. **Mitigação do Arsénio em Águas Subterrâneas Utilizando SBF**. Tese - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

BARRA, C MARIA. Especiação de arsênio: uma revisão. **QUÍMICA NOVA**, Seropédica, RJ, (, 23 (1) (2000)).

BARRA, C. M.; SANTELLI, R. E.; ABRÃO, J. J. DE LA GUARDIA, M. Especiação de arsênio - uma revisão. **QUÍMICA NOVA**, 23 (1), 2000.

BARRETO, MARIA LAURA. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Brasil**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ, (2001).

BRASIL, Portaria No. 2914/2011, do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo

humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, nº 239, Seção 1, pág. 39. 14 de dezembro de 2011.

BOAVENTURA, F.M.C., NARITA, C.. **Geomorfologia da Folha NA/NB. 22 – Macapá.** In: Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha NA/NB.22 – Macapá: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, p. IV-I-IV/84 (Levantamento de Recursos Naturais, 6). 1974

BORBA R. P. **Arsênio em ambiente superficial: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera**. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - São Paulo, Tese de Doutorado, 113 p, 2002.

BOYLE, D.R.; TURNER, R.J.W.; HALL, G.E.M. **Anomalous arsenic concentrations in groundwater's of the island community**, Bowen Island, British Columbia. Environmental. Geochemistry. Health, 20(4): 199-212, 1998.

BOYLE R. W. & JONASSON I. R.. The Geochemistry of Arsenic and its Use as an Indicator Element in Geochemical Prospecting. **Journal Geochemical. Explorer**, 2:251, 1973.

BOWELL, RJ.; MORLEY, N.H.; DIN, V.K.. **Arsenic speciation in soil porewaters from the Ashanti mine**, Ghana. Applied Geochemistry, 9: 15-22, 1994

CASIOT C., MORIN G., JULLOT F., BURNEEL O., PERSONNE J.C., LEBLANC M., DUQUESNE K., BONNEFOY V., POULICHET F.E.,. **Bacterial immobilization and oxidation of arsenic in acid mine drainage** (Carnoules Creek, France), *Water Research.,* 37, pp. 2929–2936, 2003.

CAROLI, S. Element speciation in bioinorganic chemistry. John Wiley and Sons, USA, 1996.

CHENG, R.C. **Enhanced Coagulation for Arsenic Removal**. J.AWWA, vol. 9 pp. 79-90, 1994.

CHOWDHURY, U.K., B.K. BISWAS, T.R. CHOWDHURY, G. SAMANTA, B.K. MANDAL,G.C. BASU, C.R. CHANDA, D. LODH, K.C. SAHA, S.K. MUKHERJEE, S. ROY,S. KABIR, Q. QUAMRUZZAMAN AND D. CHAKRABORTI: Ground water arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India. **Enrironmental Health Perspect**., 108, 393-397, 2000.

COSTA AT. **Registro histórico de contaminação por metais pesados, associados à exploração aurífera no alto e médio curso da bacia do ribeirão do Carmo, QF: Um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais**. [Tese]. Ouro Preto: Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto; 2007.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS – CPRM - Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil – Uso do Subsolo. MME - Ministério de Minas e Energia, 2002. Disponível em< www.cprm.gov.br >. Acesso em 30 Out 2014.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM - *Projeto Eldorado*: relatório integrado final de pesquisa. São Paulo, 1982. 200 p, 2003.

CSUROS, M. & CSUROS, C.- **Environmental sampling and analysis for metals**. Lewis Publishers, USA, 372 p, 2000.

CULLEN, W.R., REIMER, K.J., Arsenic speciation in the environment. **Chem. Rev**. 89, 713–764, 1989.

DE CAPITANI E. M., SAKUMA A. M., PAOLIELLO M. M. B., FIGUEIREDO B. R., OKADA I. A., DURAN M. C., OKURA R. I.. Exposicão humana ao arsênio no Médio Vale do Ribeira, São Paulo, Brasil. *Geologia Médica*, Rio de Janeiro,CPRM/SGB. 2005

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J - **Minerais constituintes das rochas. Lisboa**, Fundação Calouste Gulbenkian, 558 p, 1966.

DRIEHAUS, W., & DUPONT, F.. Arsenic removal – solutions for a world wide health problem using. **European Journal of Water Quality**, *36* (2), pp. 119-132, 2005.

DRUMMOND, JOSÉ AUGUSTO E PEREIRA, MARIÂNGELA DE ARAÚJO P. O - **Amapá nos Tempos do Manganês, Um estudo sobre o desenvolvimento de um estado amazônico** - 1943-2000. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

ELEUTERIO, L. **Diagnóstico da situação ambiental da cabeceira da bacia do rio Doce, no âmbito das contaminações por metais pesados em sedimentos de fundo -** Dissertação de mestrado, 163p - Depto. de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 1997.

EMSLEY, J. 1998. The elements. Oxford University Press Inc., New York. 292pp. **Epoch times** disponível em : <http://www.epochtimes.com.br/maior-mina-arsenio-asia-foi-desativada/#.VEr9-fnF_X4> ultimo acesso em 24 de Out. 2014.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA; Technologies and costs for removal of arsenic from drinking water, US, 2003

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: WASHINGTON, D.C., 2000.FENDORF, S., EICK, M.J., GROSSEL, P., SPARKS, D.L.,. Arsenate and chromate retention mechanisms on goethite. 1. Surface structure. **Environ. Sci**. Technol. 31, 315–320, 1997.

FARIA Jr., L.E.C.; MENDES, A.C.; VITAL, H.; FERREIRA, M.R.; SILVEIRA, O.F.M.; NITTROUER, C.A.; RINE, J.M.;ALLISON, M.A.; KUEHL, S.A. & SEGALL, M. P.. Geological evolution of Maracá island, Amapá Coast, its relation with sea level change in the north of Brazil. **Agu fall meetings**. San Francisco. Abstracts, p. 99, 1990.

FENDORF, S.; LA FORCE, M.J.; LÍ, G. Heavy metals in the environment: temporal changes in soil partitioning and bioaccessibility of arsenic, chromium, and lead. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p.2049- 2055, 2004.

FERGUSON, J.F. Y ANDERSON, M.A - **Chemical forms of arsenic in water supplies and their removal.** In: Chemistry of Water Supply, *Treatment and Distribution* (Rubin A. J. Ed.), Ann Arbor Science, MI, U.S., pp. 137-158, 1974.

FIGUEIREDO, B.R.; BORBA, R.P.; ANGÉLICA, R.S - Arsenic occurrence in Brazil and human exposure. **Environmental Geochemistry & Health, Springer**, Netherlands, 29: 109-118, 2007.

GOMES, A. B.M. **Mitigação do Arsénio em Águas Subterrâneas Utilizando SBF**. 15p - Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia de Minas, Porto, Portugal, 2011.

Hug, S.J., Canonica, L., Wegelin,- M. Solar Oxidation and Removal of Arsenic at Circun neutral pH in Iron Containing Waters. ***Environmental Science and Technology,*** **35**, pp. 2114-2121, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA - O estado dos subsolos. 2006. Disponível em: < http://www2.ibama.gov.br/~geobr/Livro/cap2/subsolos.pdf>. Acesso em: 30 Nov. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2004. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10 Out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2007. Disponível na Internet: < http://www.ibge.gov.br. > – acesso em 10. Out.2014.

INDÚSTRIA COMERCIO E MINERAÇÃO LDTA - ICOMI. Exploração do minério de manganês do Amapá. A exploração do minério de manganês da Serra do Navio Território Federal do Amapá. Macapá, 1960.

INDÚSTRIA COMERCIO E MINERAÇÃO LDTA - ICOMI . Manganês do Amapá 1968. Macapá, 1968.

INDÚSTRIA COMERCIO E MINERAÇÃO LDTA - ICOMI . Manganês do Amapá 1972. Macapá, 1972.

INDÚSTRIA COMERCIO E MINERAÇÃO LDTA - ICOMI. Manganês do Amapá 1975/76. Macapá, 1975.

INDÚSTRIA COMERCIO E MINERAÇÃO LDTA - ICOMI. Manganês do Amapá. Macapá, 1958.

INST. EVANDRO CHAGAS – “Resultados parciais do estudo de saúde humana realizado na Comunidade do Elesbão, Santana – Amapá”, dezembro de 2001.

INST. EVANDRO CHAGAS – “Resultado da investigação sobre exposição ao arsênio na Comunidade do Elesbão, Município de Santana – Amapá”, abril de 2002.

INSTITUTO DE PESQUISA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ- IPCTA 2002 Disponível em <http:/ http://www.ifap.edu.br/>. Ultimo acesso em 20 Dez .2014.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA - IPT. **Curso de Geologia de Engenharia aplicada a problemas ambientais**. São Paulo. V 3. 291p. 1992

JORDANIANO, E. – 1955: Avanços na construção da Estrada de ferro do Amapá. Disponivél em < http://memorial-stn.blogspot.com.br/2012/07/1955-avancos-nas-obras-da-estrada-de.html>. Acesso em: 15 de Jun 2014. 2012

LIN N-F, TANG J, YANG J-Q. b, Application of artificial neural network arsenismo area of Inner Mongolia. ***Chin J Endemiol*** 18(3), 180–183, 1999.

LIMA, MARCELO.O. et al. O. Estudo da Dispersão do As no Meio Físico na Área de Estocagem de Minério de Mn e Adjacências no Município de Santana, Estado do Amapá. Belém: Instituto Evandro Chagas, 2002 (Relatório de Pesquisa).

Mabuchi, K.; Lilienfeld, A.M.; Snell, L.M. Lung-cancer among pesticide workers exposed to inorganic arsenicals. ***Arch. Environ. Health****,* 34(5):312-320, 1979.

MORAIS, PAULO DIAS. **História do Amapá – O passado é o espelho do presente**. Macapá; JM Editora Gráfica. p - 81-85, 2009.

MCGNIRE, M.M.; EDWARDS, K.J.; BANFIELD, J.F.; HAMERS, RJ.. Kinetics, surface chemistry, and structural evolution of microbially mediated sulfide mineral dissolution. ***Geochemica et Cosmochimica Acta****,* 65 (8): 1243-1258. , 2001.

.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Arsenic in drinking water.** Washington (DC): National Academic Press; 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA - NRCC. Effects of arsenic in the Canadian Environment. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, 1978.

NESBITT, H.W, MUIR, I.J.. Oxidation states and speciation os secondary products on pyrite and arsenopyrite reacted with mine waste waters and air. ***Mineralogy and Petrology****,* 62:123-144, 1998.

NESBITT, H.W.; MUIR, I.J. & PRATT, A.R.. Oxidation of arsenopyryte by air and air-satured, distillide water, and implications for mechanism of oxidation. ***Geochemical et Cosmochimica*** *Acta,* 59(9): 1773-1786, 1995.

NORDSTROM, D.K.; ALPERS, C.N - Geochemistry of acide mine waters. ln G.S. Plumlee, M.J. Logsdon, (eds.) *The environmental geochemistry of mineral deposits, Part A: Processes, techniques, and health issues.* Society of Economic Geologists, **Reviews in Economic Geology**, V. 6A, pp. 133- 160. 1999

NORDSTRON, D.K.; SOUTHAM, G.. Geomicrobiology of sulphide mineral oxidation. LN J.F BANFIELD.; K.H. NEALSON (eds.) *Geomicrobiology - Interactions between microbes and minerals.* **Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, Washington**, D.C., v. 35: 361-390p, 1997.

OBSERVATÓRIO SOCIAL 2003 - Relatório Geral de Observação - A ICOMI no Amapá-Disponível em: <www.observatoriosocial.org.br>. Acessado em 20 set.2013

PEREIRA, R. E CORDEIRO, C. *Influence of Sn-W vein mineralization in groundwater geochemistry of Sá - Santa Valha - Sonim (NE Portugal)*. Em: Abstracts of 2nd Workshop of the Iberian Regional Working Groupon Hardrock Hydrogeology, Évora, Portugal, 2005.

R. PENROSE. *The Institute of Mathematics and its Applications Bulletin*, Vol. 10, No. 7/8. pp. 266-271 Key: citeulike:381549, 1974.

PEREIRA, S. F. P.; FERREIRA, S. L. C.; COSTA, A. C. S.; SARAIVA, A. C. F.; SILVA, A. K.F. Determinação espectrofotométrica do arsênio em cabelo usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) e trietanolamina/CHCl3 como solvente. **Eclética Química**, 27v, 2p, 2002.

PERROTA, M.M. ***Potencial aurífero de uma região no Vale do Ribeira, São Paulo, estimado por modelagem de dados geológicos, geoquímicos, geofísicos e de sensores remotos num sistema de informações geográficas***. 1996. 149 p. Tese (Doutorado em Geociências)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

PETROPULU, M. O.; VARSAMIS, J.; PARISSAKIS, G.; Anal. Chim. Acta, v. 337, p. 323, 1997.

PETERS, S.C. AND J.D. BLUM: Arsenic in randomly selected vs. self selected well water samples in relation to potential arsenic MCLS. 4th International conference on Arsenic exposure and Health effects, San Diego, CA, June 18-22, p. 95, 2000.

PINI.SOUZA, MARCELO LOPES. Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2008.

PINO, H. G., MESQUITA, L. M. S., TOREM, M. L., PINTO, G. A. S., "Biosorption of cadmium by Green coconut shell powder." **Minerals Engineering**, v.19, pp.380-387, 2006.

Raiol, Osvaldino 1992 *A utopia da terra na fronteira amazônica*. Macapá, Ed. Gráfica O Dia.

REYMANN, C.; A YRAS, M.; CHEKUSHJN, V.; BOGATYREV, I.; BOYD,R.; CARITAT, P.;DUTTER, R.; FINNE, T.E.; HALLERAKER, J.H.; JAEGER, 0.; KASHULJNA, G.; LEHTO, 0.; NJSKAVAARA,H.; PAVLOV, V.; RAISANEN, M.L.; STRAND, T.; VOLDEN, T. (1998) Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. Geological Survey of Norway, 745p.

RIBEIRO, BENJAMIN ADIRON. Vila Serra do Navio: comunidade urbana na selva amazônica. Um projeto do arquiteto Oswaldo Arthur Bratke, São Paulo, 1992.

RODRIGUES ASL, MALAFAIA G. Efeitos da exposição ao arsênio na saúde humana. **Rev. Saúde.** 4(2): 148-159, 2008.

RUSSELL LD, ETTLIN RA, SINHAHIKIM AP, CLEGG ED. Mammalian Spermatogenesis.In: Russell LD, Ettlin RA, SinhaHikim AP, Clegg ED (Eds): Histological and Histopathological Evaluation of the Testis. Bolesta: Cache River Press 1-4.Sainath, 1990.

SANTOS, ELISABETH DE OLIVEIRA, *et al. .*O. Avaliação da exposição ao As associado ao rejeito de minério de Mn (mineração) no Estado do Amapá: abordagem da saúde humana. Belém: Instituto Evandro Chagas, 2002 (Relatório de Pesquisa).

SANTOS, E.C.O.; JESUS, I.M.; BRABO, E.S.; FAYAL, K.F.; LIMA, M.O. Exposição ao mercúrio e ao arsênio em estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA. ***Revista Brasileira de Epidemiologia***, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 171-185, 2003.

SAKAMOTO, L. Triste herança. Disponível :< http://reportebrasil.org.com/2001/01/tristeherança/>. Acessado em:15 de Jul, 2014.

SAKUMA A. MA. **Avaliação da exposição humana ao arsênio no Alto Vale do Ribeira,** [Tese]. Brasil, São Paulo: Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas; 2004.

SCARPELLI, WILSON. Arsênio do minério de manganês da Serra do Navio. Disponívelem:<http://200.20.105.7/cytedxiii/Publicaciones/OutrosArtigos/Scarpelli_ArsenioemMinerioManganes.pdf>. Acesso em: 25 out. 2010.

SCARPELI 2012 - Arsênio do Minério de Manganês de Serra do Navio Disponívelem:<http://www.periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/viewFile/85/134>. Acesso em: 20 nov. 2013.

SCHIANETZ, Bojan. Passivos ambientais: levantamento histórico: avaliação da periculosidade: ações de recuperação. Curitiba: SENAI-PR, 200p. 1999

SILVA Jr. A. I. ; BIDART, A. M. F.; CASELLA, R. J. Absorção atômica. Disponível em: <http://www.ifrj.edu.br/webfm_send/545> Acesso em: 02 Nov. 2010. 17 p.

SILVA, W. G.P. Estudo da dinâmica química do arsênio no resíduo da Companhia Mercantil Ingá / Tese de mestrado, 63f. 2005.

SMEDLEY PL, KINNIBURG DG. A review of the source, behavior and distribuition of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry; 17:517-68, 2002.

SMEDLEY, P.L. , KINNIBURGH, D.G. A review of the natural source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. **Applied Geochemistry**, v. 17, p. 517-560, 2002.

Thornton, I., Farago, M., 1997. The geochemistry of arsenic. In: Abernathy, C.O., Calderon, R.L., Chappell, W.R. (Eds.), Arsenic Exposure. Thompson, D.J.. A chemical hypothesis for arsenic methylation in mammals. ***Chem. Bioi. Interact***. , 88 (2-3): 89-114, 1993.

Tseng W-P, Chen W-Y, Sung J-L, Chen JS. A clinical study of black foot disease in Taiwan, an endemic peripheral vascular disease. ***Memoirs of College of Medicine of National Taiwan University*** 7, 1–18, 1961.

TURPEINEM, R., PANTSAR, K. M., HAGGBLOM, M., KAIRESATO, T. Influence of microbes on the mobilization, toxicity and biomethilation of arsenic in soil. ***Science Total Environmental*.** 5(236): 173-180, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Constructed wetlands treatment of municipal wastewater. Washington, EPA-625/R-99/010, 1990.

USEPA, US Environmental Protection Agency. 2003. Draft Final Guidance for Carcinogen Risk Assessment Forum . Washington

VINK B. W. 1996. Stability relations of antimony and arsenic compounds in the light of revised and extended Eh-pH diagrams. Chemical Geology, 130: 21-30.

WALDBOTT, G. L. Health effects of environmental pollutants. The C. V. Mosby Co., SaintLouis.. 316 p, 1973.

WANG L-F. 1986 The relationship between arsenic in groundwater and arsenismo.*J Environ Health* 3(5), 22–24,

WANG J-G, ZHAO L-S. 1998 Study on environmental geochemistry of arsenic in arsenismo area of Shany in and Ying County in Shanxi Province. *Mod Geol* 12 (2), 49–53,

WEGELIN, M., GECHTER, D., HUG, S., MAHMUD, A.,. SORAS a simple arsenic removal process. In: 'Water, Sanitation, Hygiene: Challenges of the Millennium', 26th WEDC Conference, Dhaka, 5–9 November, 2000, pp. 379–382, 2000.

WHO - World Health Organization. 2011. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating first addendum. 4th ed. Geneva 315-318.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Arsenic and arsenic compounds. Geneva: International Programme on Chemical Safety; 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Guidelines for drinking water quality. Vol. 1, Recommendations 2nd ed., Geneva. 1993

WILLIAMS, M. Mining-related arsenic hazards: thailand case study summary report. Keyworth: British Geological Survey, 36p, 1997.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Methylmercury. International Program on Chemical Safety. Geneva;. United Nations Environment Program/International Labour Organization: Word Health Organization: Environmental. (Health Criteria, 101),1990.

YU H-S. Black-food disease and chronic arsenismo in southern Taiwan. *Int J Dermatol* 5(21), 258–262, 1984.

YU, H., W. GUO-QUAN, Y. WEI-LI, Y. HUA and L. KAITAi: Raynaud's disease caused by drinking water with high level of arsenic in Xinjang, China. 4th International conference on arsenic exposure and health effects, San Diego, CA, June 18-22, p. 118, 2000.

XIA, Y. and J. LIU: An overview on chronic arsenism via drinking water in PR China. **Toxicol.**, 198, 25-29, 2004.

ZAW, M.; EMETT, M. J.; Arsenic removal from water using advanced oxidationprocesses. ***Toxicology Letters***., *133*, 113, 2002.