



**Centro de Tecnologia Mineral
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**

Coordenação de Processos Mineraiis – COPM

Funcate – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais

**RELATÓRIO FINAL
“AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR ARSENIO
E ESTUDO EPIDEMIOLÓGICO DA EXPOSIÇÃO AMBIENTAL
ASSOCIADA EM POPULAÇÃO HUMANA DE PARACATU-MG”**

09 de dezembro de 2013

VERSÃO 1

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO GERAL - MCTI/CETEM

- Zuleica C. Castilhos, DSc - Geoquímica e Toxicologia Ambiental

- └ **Coordenação Geral**

CETEM

- Silvia Egler, MSc - Bióloga
 - └ Avaliação da contaminação de solos por Arsênio;
- Luiz Carlos Bertolino, DSc – Geólogo
 - └ Análises mineralógicas de solos e sedimentos;
- Adão B. da Luz, DSc – Engenheiro de Minas
 - └ Consultor de tratamento de minérios, para análise dos minerais provenientes da extração, beneficiamento e metalurgia do ouro;
- Lilian da Silva – Mestre em Físico-Química
 - └ Análises de arsênio em material particulado na atmosfera e em material particulado de sistemas fluviais;
- Lillian Maria Borges Domingos – MSc; Química Industrial
 - └ Apoio logístico para o estudo epidemiológico e banco de dados;
- Manuel Carneiro – Doutor em Química Analítica do Meio Ambiente e Poluição
 - └ Análises de arsênio em material particulado da atmosfera;
- Maria Inês Monteiro – Doutora em Química Analítica Inorgânica
 - └ Análises de arsênio em material particulado da atmosfera.
- Patrícia Araújo - Técnica em Química
 - └ Análises químicas de contaminantes ambientais e acompanhamento das amostras de arsênio em amostras biológicas e ambientais;
- Ricardo Cesar, MSc – Geógrafo
 - └ Trabalho de campo, coleta, preservação, transporte, preparo das amostras ambientais para análise de Arsênio e organização dos dados analíticos;
- Ricardo Sierpe - Geógrafo
 - └ Organização de dados primários e secundários em Sistemas de Informações Georreferenciadas;
- Vanessa Godoy - Geógrafa
 - └ Organização de dados primários de teores de arsênio em amostras biológicas humanas em Sistemas de Informações Georreferenciadas;

- Aline Lessa – Bolsista PIBIC de Engenharia Ambiental
 - └ Participante da equipe de Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição ao arsênio;
- Gabriela Felix - Bolsista PIBIC de Engenharia Ambiental
 - └ Participante da equipe de Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição ao arsênio;
- Yasmini Dopico - Bolsista PIBIC de Engenharia Ambiental
 - └ Participante da equipe de Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição ao arsênio;
- Danielle Gomes – Secretária: Graduanda de Serviço Social
 - └ Auxiliar na organização dos dados

MEC/UFF - Departamento de Geoquímica/Programa de Pós-Graduação em Geociências (Geoquímica) (PPGG)

- Edison D. Bidone, PhD - Especialista em Geoquímica Ambiental
 - └ Orientação e interpretação de dados de contaminantes em águas superficiais e sedimentos fluviais e dos fluxos dos contaminantes entre bacias hidrográficas;
- Sambasiva Rao, PhD - Especialista em Geoquímica Ambiental.
 - └ Avaliação de especiação de arsênio em águas subterrâneas e comportamento biogeoquímico do arsênio;
- William Zamboni de Mello – PhD – Especialista em Geoquímica Ambiental
 - └ Avaliação de teores de arsênio em material particulado na atmosfera.
- Maria Carla Barreto- MSc- Geógrafa/ Doutorando da Geoquímica Ambiental
 - └ Avaliação de teores de arsênio em águas superficiais, sedimentos e solos. Orientada pelo Prof. Dr. Edison Bidone
- Marcos Ferreira, MSc – Químico/ Doutorando da Geoquímica da UFF
 - └ Avaliação de especiação de arsênio em águas subterrâneas e comportamento biogeoquímico do arsênio. Orientado pelo Prof. Dr. Sambasiva Rao
- Janaína de Assis Matos – Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geociências (Geoquímica) da UFF

- └ Avaliação de teores de arsênio em material particulado na atmosfera.
Orientanda do Prof. Dr. William Zamboni de Mello.

MS/ FUNASA- Instituto Evandro Chagas

- Elisabeth Conceição de Oliveira Santos, DSc – Virologista, Diretora do Instituto Evandro Chagas
 - └ Coordenadora da equipe responsável pela abordagem, orientação e interpretação de dados da saúde da população;
- Iracina de Jesus, DSc – Especialista em Vigilância em Saúde Ambiental do Instituto Evandro Chagas
 - └ Epidemiologista, participante da equipe responsável pela abordagem, orientação e interpretação de dados da saúde da população;
- Kleber Faial – Mestre em Química Analítica
 - └ Treinamento para coleta, preservação e transporte de amostras biológicas de população humana;
- Kelson Faial – Mestre em Química Analítica
 - └ Análises de arsênio em material biológico
- Marcelo Lima – Doutor em Química
 - └ Integração dos dados de arsênio e em matrizes abióticas e bióticas, aplicação de questionário epidemiológico.
- Renato Medeiros – Mestre em Biologia de Agentes Parasitários e Infecciosos
 - └ Logística para coletas biológicas e análises de arsênio em material biológico.

FIOCRUZ - ENSP

- Aldo Pacheco – Doutor em Engenharia Biomédica
 - └ Avaliação de mortalidade e estatísticas gerais, aplicação de questionários epidemiológicos;

FCM/UNICAMP

- Eduardo Mello De Capitani, DSc – Médico, Pneumologista, Especialista em Saúde Coletiva
 - └ Delineamento de estratégia epidemiológica, interpretação e integração de dados de saúde e de exposição ambiental; Aplicação de questionário epidemiológico

CDS/UnB

- Renata Távora, doutoranda CDS/UnB
 - └ Análise de redes sociais para estratégia de retorno de resultados às partes interessadas;
- Frederico Mertens, PhD (CDS)
 - └ Análise de redes sociais para estratégia de retorno de resultados às partes interessadas.

Alunos de Graduação UnB:

Juliana Ferreira de Assis

Lucas Vieira da Silva

Marcela Dupont Britto

Marina Cazilda de Moura Alves

Sheila Lopes da Silva

TECSOMA

- Claudia Peres, MSc – Coordenação do Curso de Biomedicina
- Rosalba Cassuci, MSc – Coordenação do Curso de Enfermagem

Alunos de Graduação TECSOMA:

Nilda Gonçalves Aragão – Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Jéssica Moreira Silva- Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Bianca Pires da Silva– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Juliana Batista Alves– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Thaissa Monteiro de Barros– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Jayne Correia Guimarães– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Camilla Carolina Campos Cambronio– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Thays Monteiro Costa– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Geisiane Pires da Silva– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Samira Ângela Rabelo– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

Yara Marques Soares– Graduação Ciências da Saúde/TECSOMA

APOIO de INSTITUIÇÕES LOCAIS EM PARACATU

Prefeitura de Paracatu/Secretaria Municipal de Meio Ambiente

Prefeitura de Paracatu/Secretaria Municipal de Saúde- POSTO DE SAÚDE DA FAMÍLIA

- Rejane Araújo Lopes – Enfermeira Chefe PSF Paracatuzinho

Agentes de Saúde

- Raquel José Macedo
- Simone Boitrigo Soares
- Cleone Bento Martins
- Antonieta Neves de Melo Oliveira
- Geni de Souza Brito
- Patrícia da Silva Amorim
- Muriene Assunção Xavier

- Luciana Tolentino de Oliveira – Enfermeira Chefe PSF Amoreiras

Agentes de Saúde

- Rosimar de Souza Fonseca
- Abgail Rodrigues Soares
- Leila Maria Ruela
- Cristiane Nunes Rabelo
- Jussara de Fátima Nascimento Santos Silva
- Vânia Aparecida Ferreira Simão
- Maria José Ferreira Gonçalves

CONTRATOS TEMPORÁRIOS

- Edson de Oliveira Lopes– Farmacêutico- Bioquímico
- Tatiany Dumbá Santos- Enfermeira
- Amanda Mayara da Silva Costa- Técnica laboratório
- Emilene Monteiro Furtado Serra- Técnica laboratório
- Vanuza de Fátima Campos - Técnica de laboratório
- Thalita Cassuci Gonçalves- Enfermagem/TECSOMA
- Sayure Kayashima- graduanda de Nutrição/ATENAS

SUMARIO EXECUTIVO

O principal objetivo deste projeto foi responder ao Poder Público Municipal de Paracatu quais os níveis de exposição humana ao arsênio (As) e seus riscos associados à saúde da população local.

Para tanto, foi elaborado um Plano de Ação tendo a toxicologia do As como fundamento e as atividades foram realizadas em duas fases. O As inorgânico é considerado a forma mais tóxica deste elemento. Uma grande variedade de efeitos adversos à saúde incluindo câncer de pele e em órgãos internos e efeitos cardiovasculares e neurológicos tem sido atribuída à exposição crônica ao As, principalmente via oral através da ingestão de águas. A inalação contribui com menos de 1% da dose total. O tempo de meia vida do As no organismo humano é de apenas algumas horas e que sua excreção é predominantemente via urinária, mas também liga-se a queratina. Por isto, a análise de As total nas matrizes urina e sangue indica níveis de exposição aguda (dias) enquanto que a análise de As em cabelo indica exposição crônica (6 meses a 1 ano). O padrão característico de mudança na pigmentação da pele causada por arsênio (hiperqueratinização, hiperpigmentação) é provavelmente o indicador e diagnóstico clínico mais sensível de exposição crônica (muitos anos) ao arsênio.

Assim, a primeira fase incluiu a caracterização dos níveis de As nos compartimentos ambientais (água de abastecimento público, água superficial, água subterrânea, sedimento de fundo, solo e material particulado na atmosfera), como subsídio para o estudo epidemiológico e de avaliação da exposição humana. Adicionalmente, foram realizados um levantamento de dados de mortalidade por câncer na população de Paracatu, uma análise do banco de dados municipal sobre tratamento fora do domicílio, ênfase em casos de câncer e uma análise de redes sociais, como base para a comunicação dos resultados. A segunda fase relaciona-se ao estudo epidemiológico e à avaliação dos biomarcadores de exposição (As em urina, sangue e cabelo) e de efeitos, pela investigação de casos de dermatoses e dermatologias referidas nos PSFs em Paracatu.

As análises químicas de arsênio em matrizes ambientais e biológicas foram realizadas nos laboratórios especializados do CETEM/MCTI, do Instituto Evandro Chagas/MS, do Curso de Pós-graduação da UFF/MEC e em laboratórios comerciais. Exercícios de intercalibração resultaram satisfatórios.

Os resultados revelaram baixos teores de arsênio em águas de abastecimento doméstico e em material particulado na atmosfera, dentro de faixas esperadas para áreas urbanas, mas com maiores teores em áreas próximas à mineração de ouro.

Considerando-se a potencial baixa exposição crônica ambiental, os possíveis efeitos seriam esperados após longo período de exposição ambiental. Assim, a estratégia epidemiológica seguiu a metodologia seccional, com amostragem de conveniência e o critério de inclusão contemplou o morador de Paracatu há mais de 20 anos, tendo 40 anos ou mais de idade, sendo morador de bairros localizados próximo às atividades da mineração de ouro (atendidos pelo PSF de Amoreiras e selecionados para este estudo são: Amoreiras II, Esplanada, Nossa Senhora Aparecida e Alto da Colina) ou de bairro distante da mineração de ouro, o bairro Paracatuzinho, atendido pelo PSF Paracatuzinho, considerado área de referência.

Os teores de As em urina, sangue e cabelo da população amostrada indicam baixa exposição corrente da população humana ao As, em concordância com os dados ambientais obtidos.

Resultados em águas superficiais, solos e sedimentos são discutidos no texto. Análises de redes sociais como estratégia para a comunicação dos resultados deste projeto de pesquisa também são apresentadas, assim como atividades complementares.

Recomendações ao Poder Público Municipal encontram-se no final deste relatório.

1. INTRODUÇÃO

Em atendimento à solicitação da Prefeitura Municipal de Paracatu-MG (PMP), o CETEM/MCTI coordenou ações para a formação de uma equipe de pesquisadores com alto reconhecimento no meio científico e apresentou em 2010, uma proposta de trabalho para a “Avaliação da Contaminação Ambiental por Arsênio e Estudo Epidemiológico da Exposição Ambiental Associada em Populações Humanas de Paracatu-MG”. Os pesquisadores foram convidados em função de suas especialidades em toxicologia ambiental, epidemiologia, toxicologia clínica, medicina ambiental, química ambiental, geoquímica ambiental, avaliação de riscos à saúde humana e ao meio ambiente, entre outros, conforme mostrado na Equipe Técnica. Os estudos tiveram início em março de 2011 (com a liberação da primeira parcela dos recursos) e finalização em dezembro de 2013. Cinco (5) Relatórios Parciais foram entregues à Prefeitura Municipal de Paracatu (em setembro de 2011, em julho de 2012, em dezembro de 2012, em março de 2013 - Relatório de Andamento do Projeto- e em junho de 2013).

O principal objetivo deste projeto foi realizar uma avaliação da contaminação ambiental por arsênio e um estudo epidemiológico da exposição ambiental associada em populações humanas no município.

Para tanto, as atividades baseadas no Plano de Ação (descrito abaixo) foram realizadas basicamente em duas fases. A primeira fase incluiu a caracterização dos níveis de arsênio nos compartimentos ambientais (água de abastecimento público, água superficial, água subterrânea, sedimento de fundo, solo e material particulado na atmosfera), um levantamento de dados de mortalidade por câncer na população de Paracatu, com ênfase naqueles que tem comprovada associação com exposição ambiental/ocupacional ao arsênio (e comparação com as taxas observadas em outros municípios, regiões e no país) e análise do banco de dados municipal sobre tratamento fora do domicílio, ênfase em casos de câncer. Os resultados subsidiaram o planejamento estratégico do estudo epidemiológico e de avaliação da exposição humana. Adicionalmente, foi realizado o estudo de análise de redes sociais, como base para a

comunicação dos resultados. A segunda fase diz respeito ao estudo epidemiológico e à avaliação da exposição humana ao arsênio, incluindo a investigação de casos de dermatopatias referidas nos PSFs em Paracatu.

Este Relatório Final apresenta os principais resultados da avaliação dos níveis de exposição humana ao arsênio, realizada pela medida dos teores de arsênio em indicadores biológicos (urina, sangue e tecido capilar) e os dados consolidados de todas as etapas prévias realizadas durante a primeira fase e finaliza com as conclusões e recomendações de ações futuras à Prefeitura Municipal de Paracatu.

2. PLANO DE AÇÃO

A toxicologia do arsênio (As) foi considerada como fundamento para o Plano de Ação proposto. O As inorgânico é considerado a forma mais tóxica deste elemento e é encontrado praticamente em todos os compartimentos ambientais, sendo de particular interesse em águas superficiais, subterrâneas e em alguns alimentos. Uma grande variedade de efeitos adversos à saúde incluindo câncer de pele e em órgãos internos e efeitos cardiovasculares e neurológicos tem sido atribuída à exposição crônica ao As, principalmente via oral através da ingestão de águas. A grande maioria dos estudos de avaliação de exposição ambiental ao As foi realizada em populações humanas expostas a teores variáveis de As via oral, por ingestão de água contaminada. A maior parte dos estudos sobre exposição humana a As via inalação é oriunda de exposição ocupacional, ou seja, em situações de exposição em ambiente de trabalho. Pode-se afirmar que, na grande maioria das situações, a exposição via oral é a mais importante via de exposição, enquanto que a inalação contribui com menos de 1% da dose total. A água de beber é a mais importante via de exposição oral de populações humanas ao As inorgânico (ASTDR, 2007). Considerando-se que o tempo de meia vida do arsênio no organismo humano é de apenas algumas horas e que sua excreção é predominantemente via urinária, a análise de arsênio total nas matrizes urina e sangue indicam níveis de exposição aguda (dias) enquanto que análises de arsênio em cabelo indicam exposição crônica (6 meses a 1 ano). O padrão característico de mudança na pigmentação da pele causada por arsênio (hiperqueratinização, hiperpigmentação) é provavelmente o

indicador e diagnóstico clínico mais sensível de exposição crônica (muitos anos) ao arsênio.

3. ATIVIDADES REALIZADAS

O Plano de Ação foi concebido após a realização da I Oficina Técnica do Projeto Paracatu, que contou com a presença dos coordenadores das sub-áreas do projeto e de convidados. Durante a execução do projeto foram realizadas outras cinco (5) Oficinas Técnicas, no CETEM, para discussão de estratégias, metodologias e resultados. Diversas outras reuniões técnicas foram realizadas nas sub-áreas específicas, presenciais e/ou por videoconferências.

Considerando-se o Plano de Ação estabelecido pela equipe técnica, foram desenhadas as estratégias de ação e executadas as consequentes atividades, aqui brevemente descritas, divididas nas duas fases já citadas:

- a) Definição de locais amostrais considerando o cadastro técnico do abastecimento de água de consumo da população urbana; coleta e análise de As em águas de abastecimento da urbana e em alguns pontos da rede rural, administrados pela PMP;
- b) Obtenção de autorização de grandes empresas proprietárias para coleta de águas de poços em distintas localizações do município; coleta e análise de As;
- c) Definição de locais amostrais considerando sub-bacias hidrográficas do rio Paracatu no município de Paracatu, coleta de águas superficiais, sedimentos e solos e análise de As nestas matrizes, visando a caracterização da distribuição ambiental deste elemento;
- d) Obtenção de filtros com material particulado na atmosfera amostrados no município de Paracatu e análises de As nos filtros;
- e) Avaliação dos teores de As em material particulado na atmosfera e suas potenciais implicações à saúde humana;
- f) Aplicação da metodologia de análises de redes sociais nos bairros atendidos pelos PSFs de Paracatuzinho e de Amoreiras e seus principais resultados;
- g) Obtenção de aprovação do projeto pelo Comitê de Ética;

- h) Análise de taxas de mortalidade por câncer em Paracatu e comparações com as taxas de outros municípios, regiões e no país, utilizando dados do DATASUS, e avaliação do potencial uso de informações oriundas do banco de dados de casos de câncer na população de Paracatu;
- i) Definição dos pilares do estudo epidemiológico baseada nas premissas do Plano de Ação e dos resultados ambientais obtidos, incluindo o critério de inclusão no estudo, as metodologias para as coletas de material biológico da população, o sistema de registro e de documentação, a logística dos trabalhos de campo do estudo epidemiológico, o acondicionamento e transporte das amostras biológicas para os laboratórios especializados;
- j) Treinamento de equipes técnicas em Paracatu;
- k) Análises do banco de dados municipal de tratamento fora do domicílio, com enfoque sobre os casos de oncologia;
- l) Avaliação das fichas de atendimento diário nos PSFs, visando identificar casos de dermatopatias crônicas, com potencial nexos causal com a exposição ambiental ao arsênio;
- m) Publicação dos resultados já apresentados à Prefeitura Municipal de Paracatu em fórum científicos especializados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Plano de Amostragem

a) Amostras ambientais

a.1 Amostragem de águas de consumo humano

A amostragem de águas de consumo humano foi realizada em Maio de 2011 e totalizaram 41 amostras, referenciadas ao cadastro técnico da COPASA , abrangendo captação, água tratada, armazenamento e distribuição. Foram coletadas, também, água em residências, sobretudo localizadas no “fim de linha” do sistema de distribuição, bem como águas de poços utilizados para abastecimento em área rural. As residências de fim de linha de distribuição são importantes, pois podem ser pontos vulneráveis a

contaminações pós-tratamento caso haja rompimento de tubulação e pressão negativa por falta de abastecimento. A Tabela 1 mostra a localização dos pontos amostrados.

Tabela 1 – Localização dos pontos de coleta e inventário de amostragem realizada em Paracatu (MG).

| Ponto | Localização | Descrição | Característica |
|--------------|--------------------------|---|---|
| 1 | S 17.26550 W46.95534 | Captação do Ribeirão Santa Izabel | Água bruta fluvial |
| 2 | S 17.25891 W46.94344 | ETA Ribeirão Sta Izabel | Água bruta fluvial |
| 3 | S 17.25891 W46.94344 | ETA Ribeirão Sta Izabel | Água tratada |
| 4 | S 17.23577 W46.89739 | Reservatório Paracatuzinho, recebe água tratada da ETA Sta Izabel | Água tratada |
| 5 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 10 | Água bruta de poços artesianos |
| 6 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 02 | Água bruta de poços artesianos |
| 7 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 06 | Água bruta de poços artesianos |
| 8 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 08 | Água bruta de poços artesianos |
| 9 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 07 | Água bruta de poços artesianos |
| 10 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 06 | Água bruta de poços artesianos |
| 11 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 04 | Água bruta de poços artesianos |
| 12 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 12 | Água bruta de poços artesianos |
| 13 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 02 | Água bruta de poços artesianos |
| 14 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana | Água tratada de poços artesianos |
| 15 | S 17.23435 W 46.86286 | RAP Vila Mariana | Água tratada vinda exclusivamente da ETA de Santana |
| 16 | S 17.22257 W 46.85784 | REL JK | Água tratada vinda principalmente da ETA Santa Izabel |
| 21 | S 17.20552 W 46.87423 | RAP Amoreira 2 | Água tratada vinda principalmente da ETA Santa Izabel |

Tabela 1. Cont.

| | | |
|----|------------------------------------|-----------------------|
| 17 | Avenida Eduardo Ferreira de Araujo | Bairro Vista Alegre |
| 18 | Rua Antonia Neto Siqueira | Bairro Vista Alegre |
| 19 | Rua Severiano Silva Neiva | Bairro Alto do Açude |
| 20 | Rua Vicente Lopes Costa | Bairro Alto do Açude |
| 22 | Rua Cristal | Bairro Esplanada |
| 23 | Rua Amélia da Silva Neiva | Bairro Esplanada |
| 24 | Rua Prata | Bairro Amoreiras 2 |
| 25 | Rua Esmeralda | Bairro Amoreiras 2 |
| 26 | Rua 6 | Bairro Bela Vista 2 |
| 27 | Rua Elisabeth | Bairro Alta Colina |
| 28 | Rua João Macedo | Bairro Bela Vista |
| 29 | Rua Francisco Melo | Bairro Bela Vista |
| 30 | Rua Pedro Araújo Caldas | Bairro Cidade Nova |
| 31 | Rua João Paulo II | Bairro Bom Pastor |
| 32 | Rua Perimetro | Bairro Paracatuzinho |
| 33 | Rua Ricardo Adjoto | Bairro Paracatuzinho |
| 34 | Rua Benedito Oliveira Melo | Bairro Paracatuzinho |
| 35 | Rua Jacaranda | Bairro Primavera |
| 36 | Rua Belmiro Araujo Neves | Bairro Novo Horizonte |
| 44 | Avenida Olegario Maciel | Centro |
| 46 | Rua Bento Pereira Mundim | Centro |

Tabela 1. Cont.

| | | |
|----|---|--------------------------------|
| 38 | Água Bruta sem tratamento, oriunda do poço da Fazenda Marinho | |
| 39 | Reservatório de águas do Poço da Lagoa de Santo Antonio | Arraial Lagoa de Santo Antonio |
| 41 | Água bruta de poço, sem cloração, coletada em casa próxima | Poço Sao Sebastião |
| 42 | Água de poço com cloração de 8 em 8 dias; Rua da Igreja | Povoado de São Domingos |

a.1.1 Amostragem de águas subterrâneas

Amostras de águas subterrâneas foram coletadas nos meses de novembro e dezembro de 2011, totalizando 25 amostras, localizadas em vários pontos do município, incluindo as as indústrias Dow, Monsanto e Coopervap, além dos poços da Copasa, os quais foram coletados em duas oportunidades. Poços de monitoramento das empresas de mineração Kinross e Votorantim também foram amostrados. A Tabela 2 mostra a localização dos poços amostrados.

Tabela 2 – Localização dos pontos de coleta de águas subterrâneas (de consumo e de poços de monitoramento) realizada em Paracatu (MG).

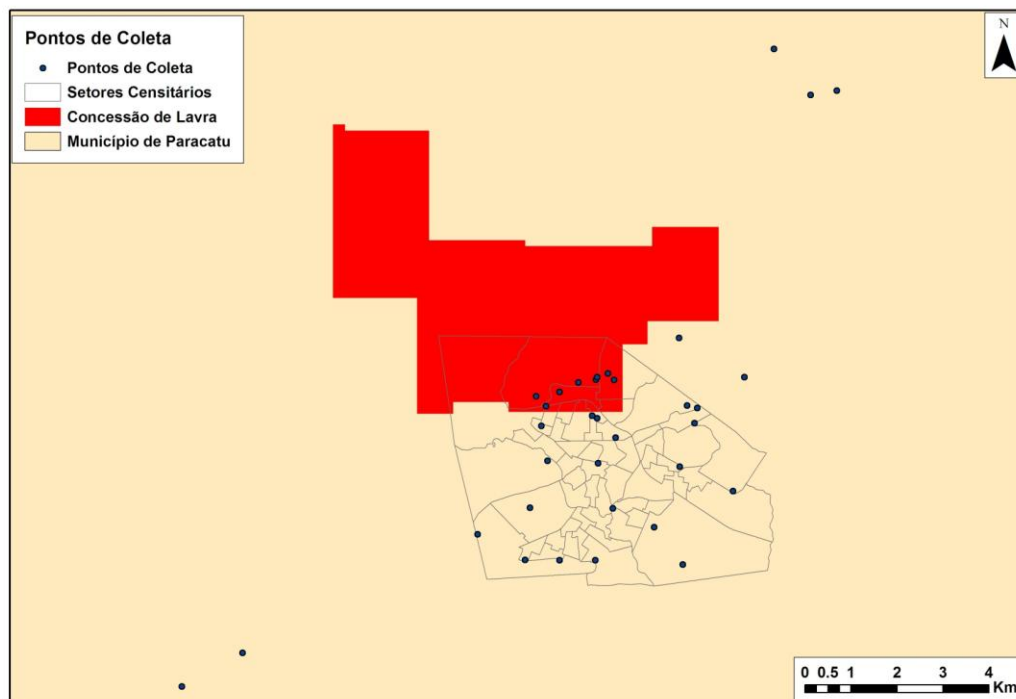
| | AMOSTRA | DATA | LOCALIZAÇÃO | COORDENADAS | | |
|-------------------------|------------------------|------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| AGUAS DE CONSUMO HUMANO | 1 | 29/11/2011 | DOW | S17°12'00,3" | W46°50'41,4" | |
| | 2 | 29/11/2011 | DOW | S17°12'07,0" | W46°50'36,8" | |
| | 3 | 29/11/2011 | MONSANTO | S17°11'55,5" | W46°50,41,0" | |
| | 4 | 29/11/2011 | COOPERVAP/SEDE | S17°12'55,7" | W46°52'16,0" | |
| | 5 | 29/11/2011 | COOPERVAP/GRÃOS | S17°14'15,3" | W46°50'56,0" | |
| | 6 | 29/11/2011 | COOPERVAP/USINA | S17°14'26,6" | W46°50'49,0" | |
| | 9 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 10 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 11 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 12 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 13 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 14 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 15 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 16 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | 17 | 30/11/2011 | COPASA | | | |
| | POÇOS DE MONITORAMENTO | 7 | 12/01/2011 | KINROSS | S17°08' 6,0" | W46°50'59,7" |
| | | 8 | 12/01/2011 | KINROSS | S17°11'34,2" | W46°53'40,7" |
| 18 | | 13/12/2011 | VOTORANTIM | S17°30'526" | W046°49'725 | |
| 19 | | 13/12/2011 | VOTORANTIM | S17°30'827" | W046°49'586 | |
| 20 | | 13/12/2011 | VOTORANTIM | S17°30'871" | W046°49'873 | |
| 21 | | 13/12/2011 | VOTORANTIM | S17°31'048" | W046°49'305 | |
| 22 | | 14/12/2011 | VOTORANTIM | S17°29'400" | W046°48'726 | |
| 23 | | 14/12/2011 | VOTORANTIM | S17°29'720" | W046°49'183 | |
| 24 | | 15/12/2011 | VOTORANTIM | S17°29'588" | W046°49'669 | |
| 25 | | 15/12/2011 | VOTORANTIM | S17°30'210" | W046°49'509 | |

- Os poços da COPASA estão sem coordenadas porque foram coletados na recepção das águas subterrâneas na Estação de Tratamento.

A quantificação das concentrações de As em amostras de águas, solos e sedimentos foi realizada em ICP-MS, sendo o limite de detecção de 0,5 µg/L para águas e 0,5 mg/Kg para solos e sedimentos. A precisão mínima das análises de As é de 90% e a acuracidade mínima, utilizando amostras certificadas, é de 95%.

A Figura 1 mostra um mapa com a localização dos pontos de amostragem de águas de consumo humano realizada neste estudo.

Figura 1. Mapa com a localização dos pontos de amostragem de águas de consumo humano realizada neste estudo



a.2. Águas superficiais, sedimentos e solos

Foram realizadas duas campanhas de amostragem de águas superficiais, sedimentos e solos. A amostragem realizada em Outubro de 2010 incluiu a coleta de águas superficiais (n=23), solos (n=17) e sedimentos fluviais (n=17) em 23 estações de coleta, localizadas em três sub-bacias do rio Paracatu: do Córrego Rico, do rio Ribeirão Entre-Ribeiros e do rio Escuro. A coleta abrangeu sub-bacias do rio Paracatu sob influência direta e/ou indireta de atividades antropogênicas (de mineração, impactos de despejos de esgoto doméstico, ou ambos) e sem ou pouca atividades (sub-bacia considerada como controle). A amostragem realizada em Setembro de 2011 incluiu amostragem de águas superficiais (n=18), solos (n=10) e sedimentos fluviais (n=15) em 17 estações de coleta, nas mesmas três sub-bacias do rio Paracatu, visando a complementação da primeira campanha, ampliando e consolidando a amostragem ambiental

A Tabela 3 apresenta a localização geográfica de todas as estações de coleta os mapas das Figuras 2 e 3 mostram a localização cartográfica dos pontos de coleta e nas Figuras 4, 5 e 6 apresenta-se de forma esquemática, o posicionamento das estações de amostragem ao longo das três sub-bacias enfocadas

Tabela 3 –Localização geográfica, descrição das estações de coleta e inventário de amostragem de águas superficiais (A), sedimentos (SD) e solos (SL).

| Amostra | Sub-bacia | Córrego | Coordenadas | | Coletas | | | Descrição | |
|---------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|-----------------------------------|--|--|
| | | | Latitude | Longitude | Á | SD | SL | | |
| X | Rico | Espalha | -17.22079 | 46.95077 | X | X | | Área sem impacto de mineração; próximo à nascente do córrego | |
| X1 | | | -17.22586 | -46.90711 | X | | | Área sem impacto da mineração; próximo à cidade | |
| 2 | | Rico | Rico | -17,21047000 | -46,89061000 | X | X | X | Imediatamente à jusante da área da mineração de ouro/Kinross |
| 1 | | | | -17,22494000 | -46,88066000 | X | X | X | Sob a ponte próxima ao SESC/Paracatu. |
| 14 | | | | -17,23167000 | -46,87236000 | X | | | Córrego Rico à montante da contribuição do Córrego Pobre |
| 15 | | | | -17,22972000 | -46,87576000 | X | | X | Sob ponte, Córrego Rico. |
| 13 | | | | -17,23181000 | -46,87110000 | X | X | X | Córrego Rico à jusante da contribuição do Córrego Pobre. |
| 9 | | | | -17,30433000 | -46,77095000 | X | X | X | Sob Ponte na BR – 040 - sentido Belo Horizonte. |
| 8 | | | | -17,40291000 | -46,53893000 | X | X | X | Córrego Rico sob ponte. |
| 5 | | | | -17,41436000 | -46,52701000 | X | X | X | Foz do Córrego Rico no Rio Paracatu. |
| 10 | | Pobre | -17,21516000 | -46,85888000 | X | X | X | Próximo às nascentes do Córrego Pobre | |
| 12 | | | -17,22646000 | -46,87221000 | X | | | Córrego Pobre canalizado, em perímetro urbano | |
| 06 | Rio Paracatu | | -17,41250000 | -46,52928000 | X | X | - | A montante da contribuição do Córrego Rico. | |
| 07 | | | 17,41543000 | 46,52518000 | X | X | - | À jusante da contribuição do Córrego Rico. | |
| Y1 | Ribeirão entre Ribeiros | Neto | -17,19850 | -46,8243 | X | X | X | a montante da foz com o rio Santo Antônio; área de antigo garimpo de ouro | |
| Y | | | -17,14397 | -46,82473 | X | X | X | Próximo à foz com o Santo Antônio | |
| 3 | | Sto. Antônio | -17,14098000 | -46,83941000 | X | X | X | à jusante da barragem de rejeitos da mineração de ouro/ Kinross. | |
| 20 | | | -17,13772000 | -46,82555000 | X | X | | à jusante do Rio Neto/S. Domingos e à montante do Rio Sta Rita | |
| 16 | | São Pedro | -17,11487000 | -46,77425000 | X | X | X | Rio São Pedro à montante do rio Santa Rita. | |
| 17 | | | -17,11679000 | -46,77204000 | X | X | X | Rio São Pedro à jusante do rio Santa Rita. | |
| 18 | | Sta. Rita | -17,11738000 | -46,77230000 | X | X | | Rio Santa Rita | |
| Y2 | | | -17,11264 | -46,84853 | X | X | X | Santa Rita à montante da entrada do Santo Antônio | |
| 19 | | | -17,13603000 | -46,82159000 | X | X | X | Rio Santa Rita à jusante do rio Santo Antonio | |
| 21 | | | -17,13618000 | -46,82388000 | X | | | Barragem do Rio Santa Rita | |
| Y3 | | -17,12000 | -46,76575 | X | X | X | Estação hidrológica da Votorantim | | |
| 22 | Escuro | Sta. Isabel | -17,36456000 | -46,85425000 | X | | X | à montante do Rio Escurinho. Área de captação de águas para o município. | |
| 24 | | Traíra | -17,49077000 | -46,81638000 | X | X | X | à jusante da mineração de zinco e chumbo/Votorantim (Morro Agudo). | |
| 23 | | Escurinho | -17,42770000 | -46,82976000 | X | | X | à jusante do Rio Santa Isabel | |
| 25 | | | -17,47742000 | -46,79919000 | X | | X | à jusante do Rio Sta Isabel e à jusante do Rio Traíra (área de captação de água pela Votorantim) | |

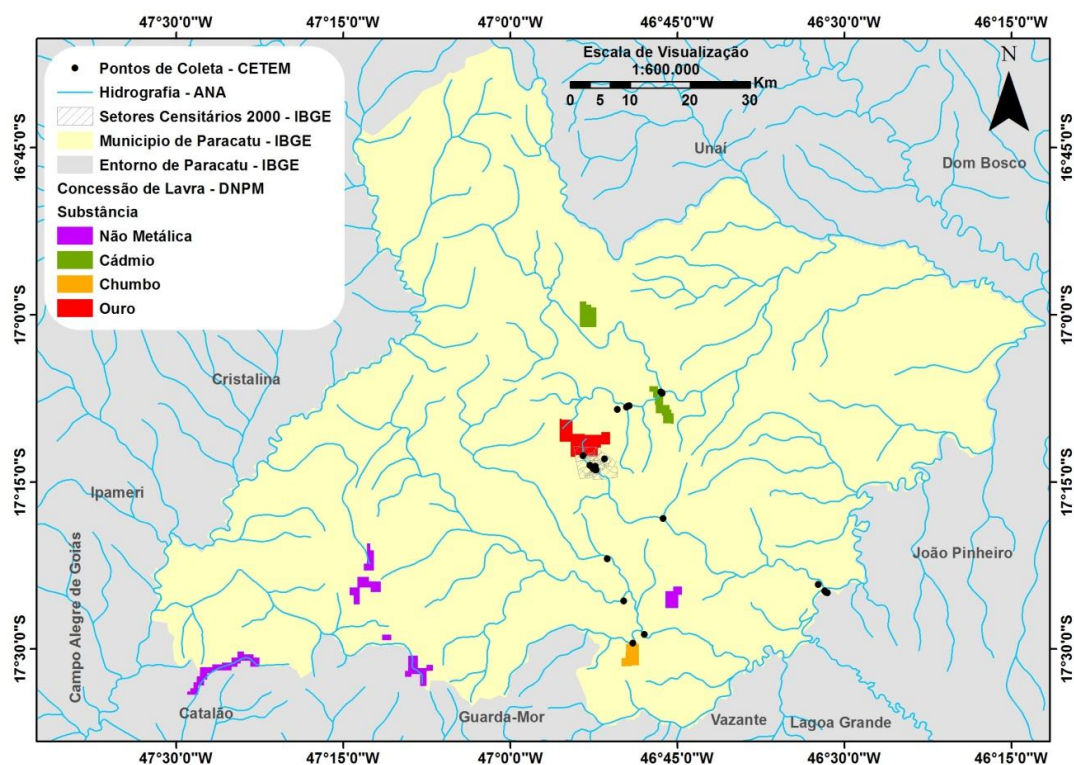


Figura 2: Localização cartográfica das estações de coleta de águas, sedimentos de corrente e solos em Paracatu (MG): visão panorâmica.

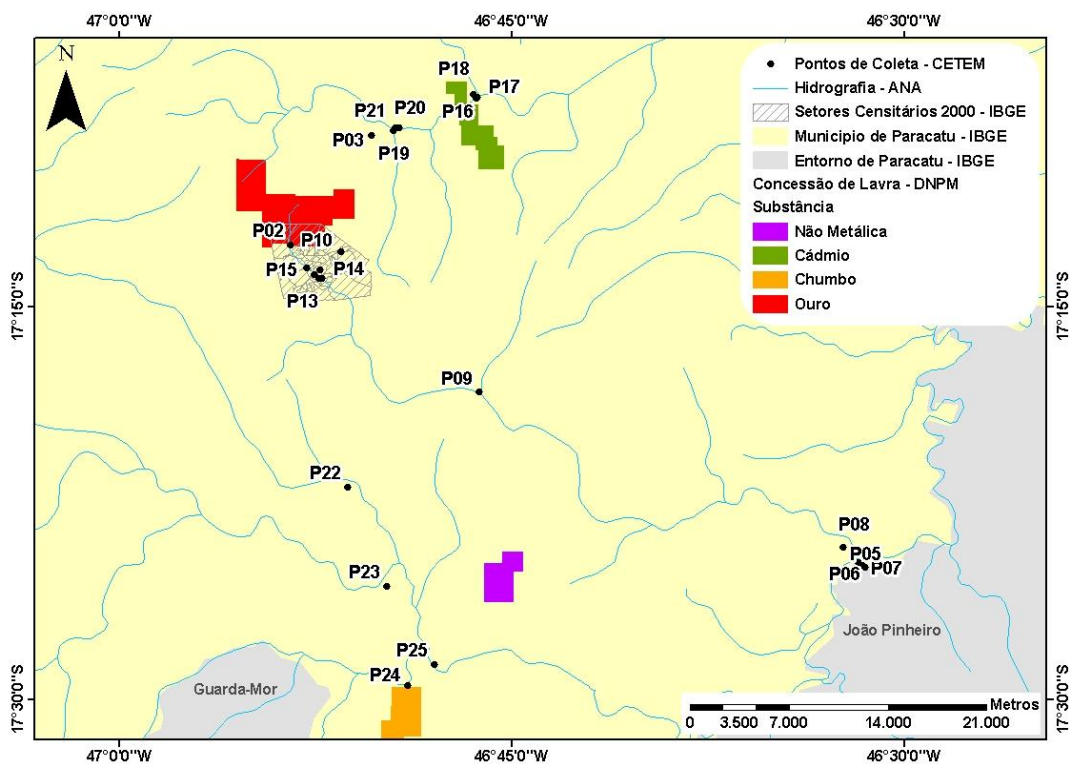


Figura 3: Detalhamento da distribuição espacial dos pontos de coleta em Paracatu (MG).

Figura 4. Posicionamento esquemático das estações de amostragem ao longo das sub-bacias consideradas como Controle neste estudo.

CONTROLE

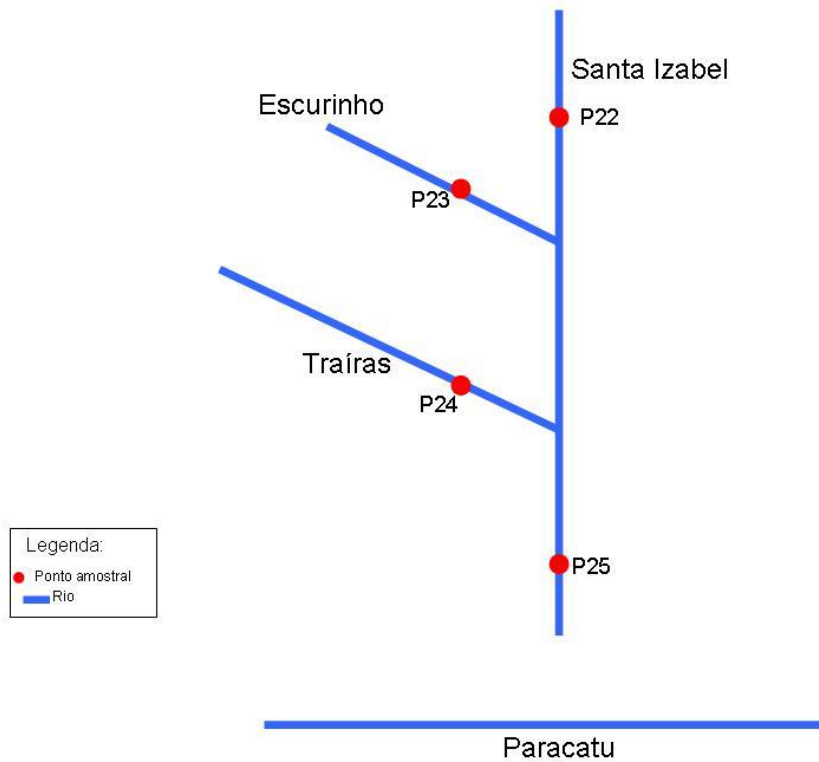


Figura 5. Posicionamento esquemático das estações de amostragem ao longo da bacia do Rio Rico no eixo hidrográfico da mineração de ouro e a área urbana da cidade de Paracatu.

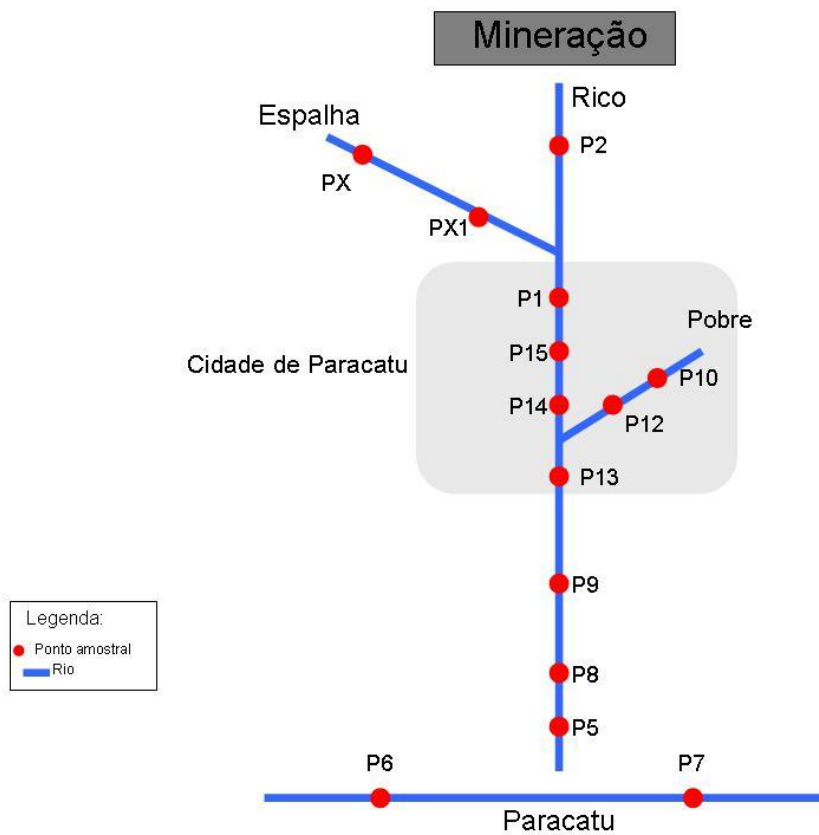
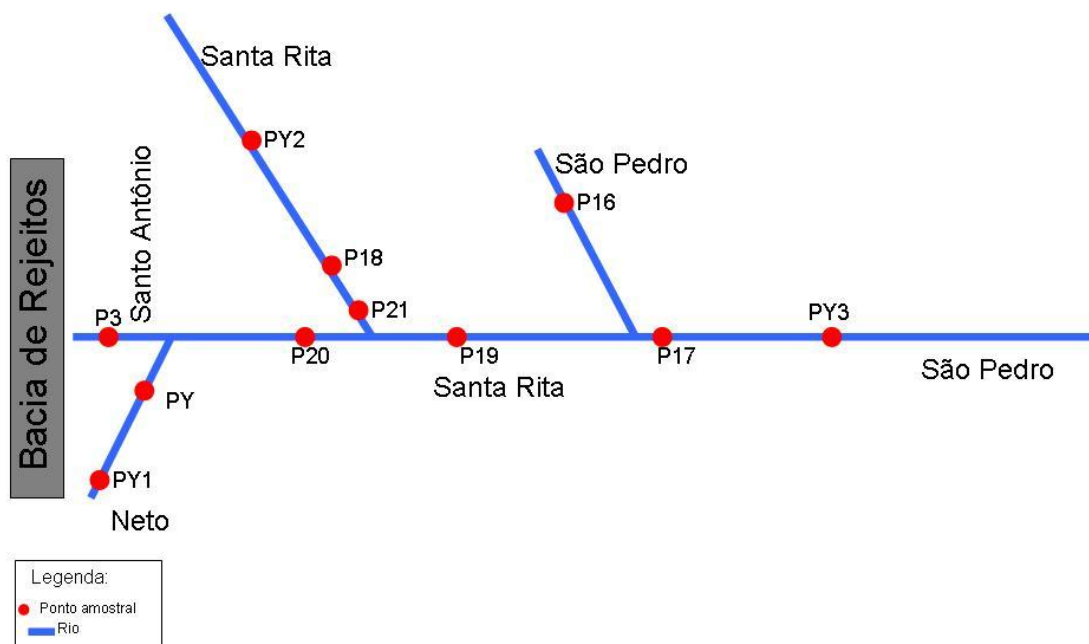


Figura 6. Posicionamento esquemático das estações de amostragem ao longo das sub-bacias do eixo hidrográfico de saída da Bacia de Rejeito.



a.3. Ensaios ecotoxicológicos em águas superficiais e solos

Amostras de águas superficiais e de solos foram submetidos a ensaios ecotoxicológicos, visando estimar a fração biodisponível do As, bem como seus efeitos tóxicos à biota aquática e terrestre, respectivamente. Para a avaliação da ecotoxicidade das águas superficiais foi escolhido o teste com *Daphnia similis*, conforme indicado pela legislação brasileira. Para a avaliação da ecotoxicidade dos solos foi utilizado o ensaio agudo, com invertebrado *Eisenia andrei*, tendo sido observado os parâmetros de letalidade, perda de massa e bioacumulação de arsênio.

a.4. Amostragem de filtros de material particulado (MP) na atmosfera

As amostras de filtros contendo partículas totais em suspensão (PTS) coletadas da atmosfera são referentes às 8 estações de coleta existentes no município, sendo que uma delas - estação Arena - possui dois coletores, um de PTS e um outro de MP10 (partículas inaláveis). O PTS é constituído de partículas em suspensão na atmosfera de diâmetro inferior a 100 µm (micrometros) e MP10 de partículas de diâmetro inferior a 10 µm. As concentrações de arsênio (As) foram analisadas em filtros oriundos de coleta contínua de 24 horas. As análises foram realizadas em filtros que representam uma coleta de 24 h por mês, englobando o período de maio de 2011 a junho de 2012, de cada uma das 8 estações de amostragem. A Tabela 4 fornece o nome das estações de amostragem utilizadas para determinação de As no MP atmosférico, o tipo de amostrador(es) de MP nela instalado e as coordenadas geográficas de suas localizações. A estação Amoreiras possui amostradores automáticos cujos filtros são inadequados à determinação de As no MP coletado. A Figura 7 mostra a distribuição espacial das estações de monitoramento no município.

Tabela 4 – Tipo de amostrador e localização das estações de amostragem utilizadas para determinação de As no material particulado atmosférico em Paracatu (MG).

| LOCAL | AMOSTRADOR | Coordenadas | |
|---------------------------------|---------------|-------------|-------------|
| | | E | N |
| 1- ALTO DA COLINA | PTS | 299332,000 | 8096560 |
| 2- COPASA | PTS | 300650,313 | 8096702,615 |
| 3- DER | PTS | 301309,338 | 8095542,753 |
| 4- UNIÃO | PTS | 299558,869 | 8095548,609 |
| 5- SÃO DOMINGOS | PTS | 302391,054 | 8097558,705 |
| 6- ARENA | PTS | 298553,000 | 8096404,000 |
| | MP10 | | |
| 7- BARRAGEM | PTS | 300317,000 | 8103144 |
| 8- LAGOA SANTO ANTÔNIO | PTS | 305096,000 | 8102926 |
| AMOREIRAS (Estação automática)* | PM10 e PM 2,5 | 300719,000 | 8096800,000 |

PTS: partículas totais em suspensão; MP10: partículas inaláveis; *Estação com amostrador automático e tipo de filtro inadequado à determinação de As no material particulado pelas metodologias utilizadas no presente trabalho.

Os filtros utilizados são de fibra de vidro e coletados em equipamentos já disponíveis no município de Paracatu. O As foi analisado no MP atmosférico no Laboratório de Análises Mineraias do CETEM, conforme metodologia da agência ambiental norte-americana (*United States Environmental Protection Agency – USEPA*) baseada no “*Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air*” – *Compendium Method IO-3.1*. Primeiramente, o método foi validado para a análise de As presente no MP atmosférico amostrado com filtros de fibra de vidro, através de testes de adição e recuperação com solução padrão de As e adição de material de referência certificado (MRC), adaptado do método da Agência de Proteção Ambiental americana (US EPA).

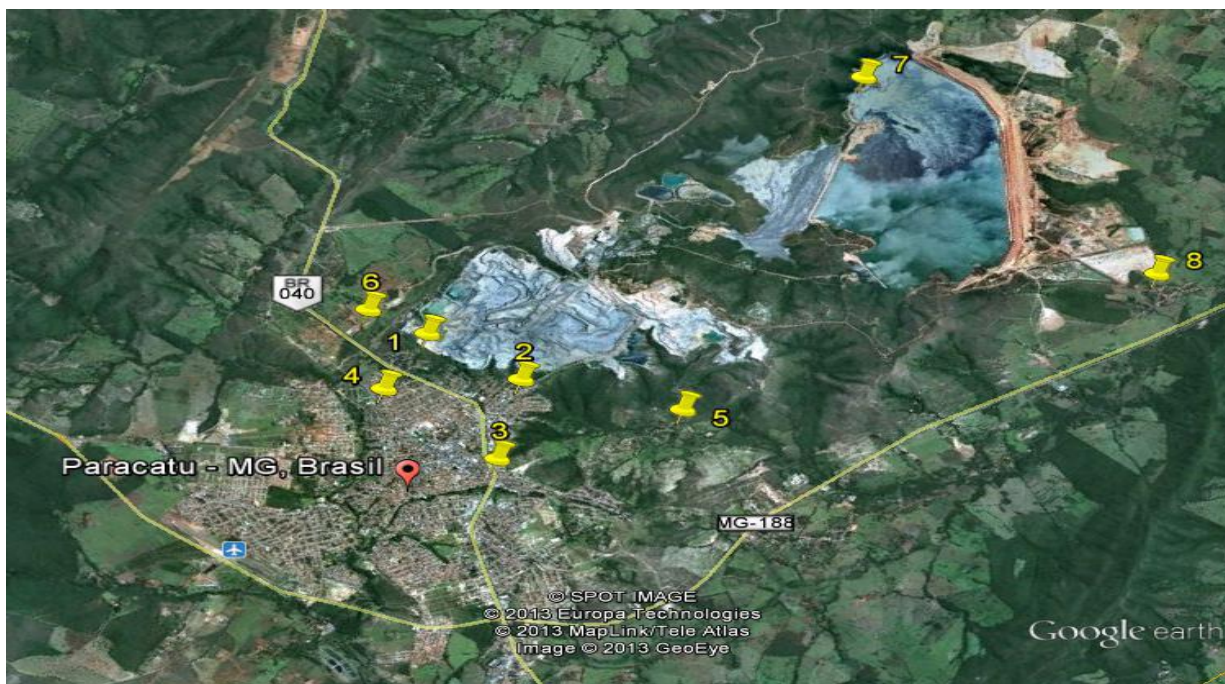


Figura 7. Localização das estações de amostragem cujos filtros dos amostradores de PTS e MP10 foram utilizados para determinação de As no material particulado atmosférico no município de Paracatu (MG).

a.5. Avaliação de riscos à saúde humana

Dados de arsênio em águas superficiais, solos e sedimentos das três sub-bacias estudadas (Córrego Rico, Ribeirão-Entre-Ribeiros e Escuro) foram integrados aos dados de arsênio no material atmosférico na avaliação da exposição ambiental.

As concentrações de arsênio em águas de beber estão não apenas abaixo do limite de qualidade preconizado pela Legislação Brasileira e de vários países, seguindo a recomendação da OMS ($10\mu\text{g/L}$), mas também abaixo do limite de detecção ($<0.5\mu\text{g/L}$), exceto para uma amostra ($1.6\mu\text{g/L}$). Desta forma, a ingestão de águas de consumo humano não foi considerada uma via de exposição importante para a população de Paracatu e, no presente modelo, a expressão “ingestão de águas” está relacionada à ingestão acidental durante o banho de recreação (natação).

A avaliação de risco à saúde humana foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela USEPA (1989) e sugerida pelo CONAMA 420 (2009). Esta metodologia é composta por 4 estágios: 1) Elaboração de um modelo conceitual qualitativa a respeito da transferência do arsênio entre compartimentos ambientais (multimeios), vias de

exposição e potenciais receptores: adultos e crianças; 2) Avaliação da exposição crônica (magnitude, frequência e duração da exposição) para os receptores e vias de exposição selecionadas previamente. Esta fase foi conduzida em dois estágios: primeiramente, a concentração da exposição foi estimada para algumas matrizes, enquanto para outras, os teores foram quantificados (solos, águas superficiais, águas de consumo humano e material particulado da atmosfera) e foram calculadas as doses diárias de exposição potencial; 3) Avaliação da toxicidade: há suficiente evidência para efeitos cancerígenos do arsênio (Grupo A) e portanto, é fornecido uma unidade de risco (a qual depende da via de exposição e está relacionada à probabilidade de desenvolvimento de câncer como resultado desta específica exposição) e a dose de referência (RfD) para os efeitos não cancerígenos do arsênio e; 4) Caracterização de riscos, que permite integrar os resultados da avaliação da exposição e da avaliação da toxicidade de forma qualitativa e quantitativamente.

b) Estudo epidemiológico

b.1. Análise de taxas de mortalidade por alguns tipos de câncer em Paracatu

Para esta avaliação foram selecionados a) os tipos de câncer que tem alguma ligação conhecida com o histórico de exposição ambiental e/ou ocupacional ao As; b) as taxas anuais destes tipos de câncer no Brasil, nas regiões Sudeste (onde encontra-se politicamente inserido o Estado de Minas Gerais) e Centro-Oeste (pela localização geográfica de Paracatu; próxima do Planalto Central); o Estado de Minas Gerais e alguns municípios mineiros, com e sem atividades de mineração, incluindo mineração de ouro; e padronização das taxas para 100.000 habitantes.

Os dados analisados são oriundos do Sistema Único de Saúde, anuais e relativos ao período de 2000 a 2010. Serão mostradas e discutidas as taxas referentes aos anos de 2000 e 2010, por se tratarem de períodos com dados de censo populacional.

b.2. Estudo piloto da morbidade dermatológica

A partir das fichas diárias individuais dos PSFs de Paracatu e de informações do Hospital da Mulher, foram organizados os dados sobre dermatologias referidas nos PSFs e parte da equipe técnica deste projeto consolidou os dados anuais de 2011 e 2012, identificando pacientes com problemas dermatológicos crônicos. Os pacientes foram contactados e convidados para comparecerem ao PSF em data informada, quando foram examinados pela equipe médica deste projeto com o objetivo único de identificar afecções dermatológicas que tivessem aderência aos reconhecidos problemas dermatológicos oriundos da exposição ao arsênio inorgânico.

b.3 . Estratégias para o Estudo de Exposição Ambiental

O estudo seguiu a metodologia seccional, com amostragem de conveniência. Nesta metodologia, a amostragem foi realizada na população urbana, por ser mais significativa numericamente, pois mais de 80% da população do município é urbana. As análises de arsênio para avaliação de exposição (biomarcadores de exposição) são realizadas em cabelo para avaliação de exposição a longo prazo (6 a 12 meses) e em urina e em sangue, para avaliação de exposição ambiental recente (poucos dias).

O critério de inclusão no estudo foi desenhado considerando-se os resultados da caracterização da contaminação ambiental por arsênio, que indicaram potenciais baixas doses de As. Assim, os possíveis efeitos seriam esperados após longo período de exposição ambiental (mais de 20 anos de exposição; longo período de exposição associado a longo período de latência);

- a) Portanto, o critério de inclusão adotado no estudo epidemiológico contempla: ser morador de Paracatu há mais de 20 anos, tendo 40 anos ou mais de idade (para atender as condições de longo período de exposição associado a longo período de latência);
- b) Ainda, para atender ao critério de inclusão para maior ou menor proximidade da mineração de ouro, foram selecionados bairros localizados próximo às atividades da mineração de ouro e bairros distantes, como controle.
- c) Após a definição dos bairros de interesse do estudo, conforme a maior ou menor proximidade das áreas de mineração de ouro, e da identificação dos Postos de

Saúde da Família que os atendia, foram selecionados os PSFs de Amoreiras e de Paracatuzinho, servido, este, como controle ou de referência;

- d) Os bairros mais próximos da mineração de ouro, atendidos pelo PSF de Amoreiras são: Amoreiras II, Esplanada, Nossa Senhora Aparecida e Alto da Colina. O bairro Paracatuzinho, distante da mineração de ouro, é atendido pelo PSF Paracatuzinho;
- e) Os efeitos mais precoces e de reconhecida ligação com a exposição a As são os agravos dermatológicos, os quais tem características relativamente distintas de outras afecções. Assim, dados sobre estas afecções foram inventariadas nos Postos de Saúde de Família, com ênfase nos PSFs de Paracatuzinho e de Amoreiras e da Clínica da Mulher (onde há especialidade de dermatologia);

A partir da consolidação das Fichas A dos PSFs, foi conhecido que o número de moradores atendidos pelos 12 PSFs de Paracatu é de cerca de 40.000 moradores. Destes, 4.000 são atendidos pelos PSFs de Amoreiras e de Paracatuzinho. Como o critério de inclusão no estudo exige idade acima dos 40 anos, foi calculado, a partir das Fichas A, que o número de moradores nestas condições atinge em torno de 1.500 em cada um dos PSF.

Os 12 agentes de saúde dos dois PSFs elaboraram fichas especialmente desenhadas para o projeto, com os dados dos moradores com mais de 40 anos em cada uma de suas microrregiões, num total de 12 microrregiões.

A partir destas informações foram planejadas as diversas etapas do estudo epidemiológico, incluindo:

- a) Treinamento das agentes de saúde e de estudantes do ensino superior para que apresentassem os objetivos do projeto à população, convidando para participarem do estudo;
- b) Treinamento das agentes de saúde para coleta de tecido capilar, apresentação e aplicação do questionário epidemiológico;
- c) Treinamento de alunos de ensino superior para orientarem a população na coleta de urina para análises de arsênio e para análises de creatinina;
- d) Diversas reuniões com as agentes de saúde para sanar dúvidas;

- e) Contratação de pessoal qualificado para acompanhamento e orientação na coleta de sangue nos PSFs;
- f) Instruções para a adequada descontaminação dos frascos de coletas de urina para análises de arsênio;
- g) Montagem de logística de campo e de estrutura física nos dois PSFs para coleta de sangue e acondicionamento de amostras de sangue e de urina;
- h) Aprovação do projeto no Comitê de Ética;
- i) A coleta de amostras biológicas iniciou em novembro de 2012 e finalizou em maio de 2013;
- j) Transporte adequado de amostras biológicas dos PSFs de Paracatu ate os laboratórios analíticos do Instituto Evandro Chagas;
- k) Digitação de todas as informações constantes no questionário epidemiológico para uma base de banco de dados informatizado.
- l) Em maio de 2012 foi oferecido aos agentes de saúde um curso de capacitação (certificado expedido pelo CETEM) e aos alunos da equipe da TECSOMA (certificado expedido pela TECSOMA). O curso de capacitação versou principalmente sobre a toxicologia do arsênio, exposições ambientais e metodologias de coleta de amostras biológicas.
- m) A partir de um programa de esclarecimento sobre o projeto, por meio de carta endereçada individualmente aos moradores pré-selecionados, os mesmos foram convidados a participar do projeto;
- n) Estimou-se que cerca de 40 a 50% da população que atende aos critérios de inclusão (tenham mais de 40 anos e morem há mais de 20 em Paracatu) participariam ativamente do projeto, o que resultaria em cerca de 1.500 moradores participantes, idealmente divididos nos dois PSFs. Cada morador, gerando idealmente 3 amostras biológicas (cabelos, sangue e urina) e como as análises de arsênio são realizadas em triplicatas, foi estimado em cerca de 13.500 resultados analíticos em matrizes biológicas.

Os teores de arsênio total em matrizes biológicas humanas foram analisados no Laboratório de Análises de Metais do Instituto Evandro Chagas. Para a quantificação de arsênio em urina utilizou-se ICP óptico com Geração de Hidreto e as análises de

arsênio nas matrizes sangue e cabelo foram realizadas por Espectrofotometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite e com corretor de “background” Zeeman.

A Figura 8 mostra o mapa da localização dos bairros atendidos pelo PSF de Amoreiras e PSF Paracatuzinho está mostrado abaixo.

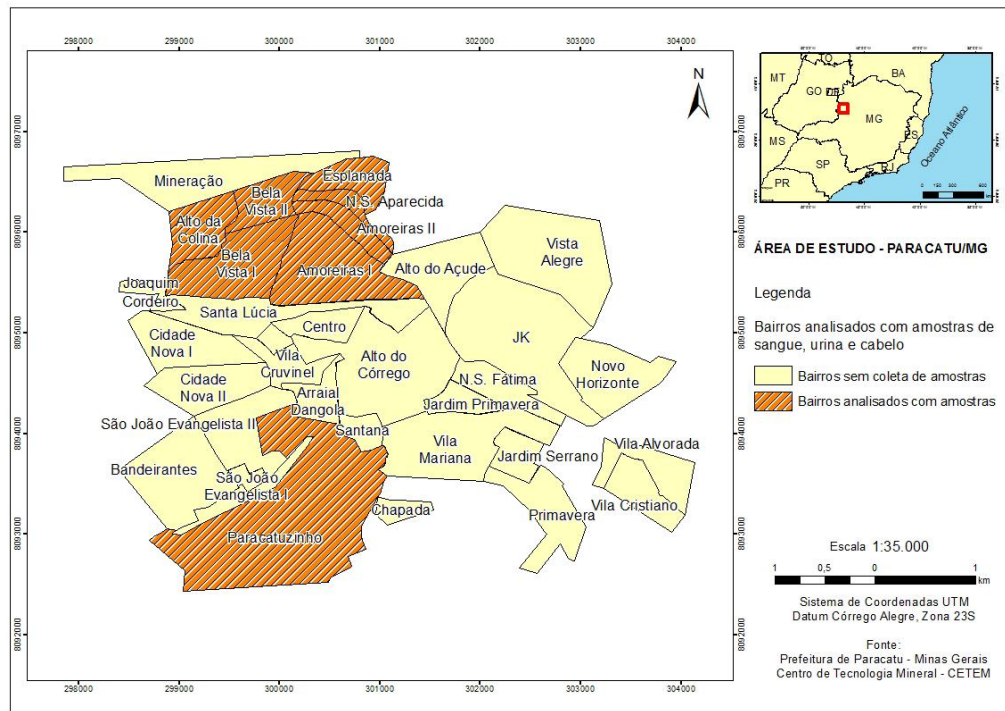


Figura 8. Mapa com a localização dos bairros atendidos pelos PSF de Amoreiras e de Paracatuzinho.

c) Análise de redes sociais como estratégia para a comunicação dos resultados do projeto

Para uma comunicação eficiente de resultados de pesquisas sobre avaliação da contaminação ambiental e do estudo epidemiológico para a sociedade em geral, tem sido fortemente recomendado que um sub-projeto de comunicação de riscos seja sempre desenvolvido paralelamente às atividades científicas. Para tanto, é importante obter um diagnóstico sobre quais informações sobre os contaminantes em questão estão disponíveis para a população e quais os mais eficientes canais de difusão (George et al., 2013). Assim, no caso da presente pesquisa em Paracatu, é importante conhecer quais informações sobre arsênio estão disponíveis para a população e os melhores canais de difusão (George et al., 2013) dos resultados técnicos obtidos. Portanto, o objetivo deste item no projeto foi analisar o nível de conhecimento e preocupação da população de

Paracatu com a problemática do arsênio bem como identificar as fontes de informação e o nível de credibilidade destas fontes junto à população. Os resultados destas análises serão utilizados no desenvolvimento de estratégias para promover a difusão da informação (Mertens et al., 2012) dos resultados técnicos obtidos da avaliação da contaminação ambiental por arsênio e estudo epidemiológico da exposição ambiental humana e na implementação de intervenções visando sempre à redução da exposição ambiental humana.

Os dados foram coletados pessoalmente em entrevistas guiadas por questionário estruturado, nos bairros-foco do estudo epidemiológico e já mencionados. Participaram das entrevistas 251 moradores de bairros atendidos pelo PSF de Amoreiras e 214 moradores do bairro Paracatuzinho, totalizando 465 moradores. Um questionário especialmente formulado para esta fase foi utilizado visando obter informações sobre: a) o conhecimento dos moradores sobre as potenciais fontes ambientais do arsênio, sua toxicidade e efeitos à saúde; b) as principais fontes de informação por meio das quais a população tem acesso a dados sobre arsênio; c) o nível de confiança da população em cada um destes veículos de informação sobre a temática do arsênio e d) tamanho e composição da rede pessoal de discussão sobre a temática do arsênio.

RESULTADOS

Os resultados mostrados estão dispostos de forma a contemplar, primeiramente, os dados ambientais obtidos na primeira fase e, em seguida, os dados epidemiológicos, obtidos na segunda fase do projeto.

a) Avaliação da contaminação ambiental por arsênio

a.1 Águas de Abastecimento

As águas de abastecimento foram coletadas seguindo o cadastro técnico fornecido pela COPASA, os poços administrados pela PMP e residências situadas, sobretudo, em zonas de fim da rede de abastecimento. Em Paracatu, segundo informação da COPASA e da PMP, aproximadamente 97% da população urbana é atendida pelo sistema de abastecimento da COPASA.

A Tabela 6 apresenta o inventário das amostras coletadas e os teores de As ($\mu\text{g/L}$) em águas de abastecimento.

Somente duas das amostras ficaram acima do limite de detecção do método analítico utilizado ($0,5 \mu\text{g/L}$), uma com $0,6 \mu\text{g/L}$ e outra com $1,8 \mu\text{g/L}$. Todas ficaram abaixo do VMP (Valor Máximo Permitido) de $10 \mu\text{g/L}$ para As, definido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Tabela 6 – Teores de As ($\mu\text{g/L}$) em amostras de águas de abastecimento em Paracatu.

| Ponto | Localização | Descrição* | Característica | As ($\mu\text{g/L}$) |
|-------|--------------------------|---|---|------------------------|
| 1 | S 17.26550 W46.95534 | Captação do Ribeirão Santa Izabel | Água bruta fluvial | <0,5 |
| 2 | S 17.25891 W46.94344 | ETA Ribeirão Sta Izabel | Água bruta fluvial | <0,5 |
| 3 | S 17.25891 W46.94344 | ETA Ribeirão Sta Izabel | Água tratada | <0,5 |
| 4 | S 17.23577 W46.89739 | Reservatório Paracatuzinho, recebe água tratada da ETA Sta Izabel | Água tratada | <0,5 |
| 5 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 10* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/0,36/0,38 |
| 6 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 02* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/0,15/0,16 |
| 7 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 06* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/0,23/0,24 |
| 8 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 08* | Água bruta de poços artesianos | 0,5/0,47/0,48 |
| 9 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 07* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/0,34/0,35 |
| 10 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 06* | Água bruta de poços artesianos | 1,8/1,55/1,63 |
| 11 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana E 04* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/<0,1/<0,1 |
| 12 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 12* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/<0,1/<0,1 |
| 13 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana C 02* | Água bruta de poços artesianos | <0,5/<0,1/<0,1 |
| 14 | S 17.23069 W 46.87097 | ETA Santana | Água tratada de poços artesianos | 0,6 |
| 15 | S 17.23435 W 46.86286 | RAP Vila Mariana | Água tratada vinda exclusivamente da ETA de Santana | 0,5 |
| 16 | S 17.22257 W 46.85784 | REL JK | Água tratada vinda principalmente da ETA Santa Izabel | <0,5 |
| 21 | S 17.20552 W 46.87423 | RAP Amoreira 2 | Água tratada vinda principalmente da ETA Santa Izabel | <0,5 |

*análises realizadas em três amostras distintas, em dois laboratórios.

Tabela 6. Cont.

| Residências | | | As (µg/L) |
|-------------|------------------------------------|-----------------------|-----------|
| 17 | Avenida Eduardo Ferreira de Araujo | Bairro Vista Alegre | <0,5 |
| 18 | Rua Antonia Neto Siqueira | Bairro Vista Alegre | <0,5 |
| 19 | Rua Severiano Silva Neiva | Bairro Alto do Açude | <0,5 |
| 20 | Rua Vicente Lopes Costa | Bairro Alto do Açude | <0,5 |
| 22 | Rua Cristal | Bairro Esplanada | <0,5 |
| 23 | Rua Amélia da Silva Neiva | Bairro Esplanada | <0,5 |
| 24 | Rua Prata | Bairro Amoreiras 2 | <0,5 |
| 25 | Rua Esmeralda | Bairro Amoreiras 2 | <0,5 |
| 26 | Rua 6 | Bairro Bela Vista 2 | <0,5 |
| 27 | Rua Elisabeth | Bairro Alta Colina | <0,5 |
| 28 | Rua João Macedo | Bairro Bela Vista | <0,5 |
| 29 | Rua Francisco Melo | Bairro Bela Vista | <0,5 |
| 30 | Rua Pedro Araújo Caldas | Bairro Cidade Nova | <0,5 |
| 31 | Rua João Paulo II | Bairro Bom Pastor | <0,5 |
| 32 | Rua Perimetro | Bairro Paracatuzinho | <0,5 |
| 33 | Rua Ricardo Adjoto | Bairro Paracatuzinho | <0,5 |
| 34 | Rua Benedito Oliveira Melo | Bairro Paracatuzinho | <0,5 |
| 35 | Rua Jacaranda | Bairro Primavera | 0,5 |
| 36 | Rua Belmiro Araujo Neves | Bairro Novo Horizonte | <0,5 |
| 44 | Avenida Olegario Maciel | Centro | <0,5 |
| 46 | Rua Bento Pereira Mundim | Centro | <0,5 |

| Águas de Poços na área rural | | As (µg/L) |
|------------------------------|---|-----------|
| 38 | Água Bruta sem tratamento, oriunda do poço da Fazenda Marinho | <0,5 |
| 39 | Água clorada de 8 em 8 dias_ sistema de pastilhas; Reservatório do Poço da Lagoa de Santo Antonio | <0,5 |
| 41 | Água bruta sem cloração, coletada na casa ao lado do reservatório | <0,5 |
| 42 | Água de poço com cloração de 8 em 8 dias_ Rua da Igreja | <0,5 |

a.1.1. Águas Subterrâneas

Outras amostras de águas subterrâneas, de consumo humano e de poços de monitoramento também foram analisadas para teores de arsênio. As águas subterrâneas foram coletadas após autorização concedida pelos proprietários, sendo que os resultados obtidos para as águas oriundas dos poços administrados pela Copasa estão também mostrados no item anterior (águas de consumo humano). Os poços em atividade foram amostrados nas saídas de torneiras e/ou dos reservatórios. Na Tabela 7 estão mostrados

os teores de As quantificados em duas amostras de cada poço, coletadas em duas diferentes oportunidades.

Os poços de monitoramento, relativos aos amostrados na área de propriedade das mineradoras Kinross e Votorantim foram amostrados com coletores de baixo fluxo.

Tabela 7 – Teores de As ($\mu\text{g/L}$) em amostras de águas subterrâneas em Paracatu.

| | AMOSTRA | LOCALIZAÇÃO | Teores de Arsenio ($\mu\text{g/L}$) |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| AGUAS DE CONSUMO HUMANO | 1 | DOW | <0,1 / <0,1 |
| | 2 | DOW | <0,1 / <0,1 |
| | 3 | MONSANTO | <0,1 / <0,1 |
| | 4 | COOPERVAP/SEDE | <0,1 / <0,1 |
| | 5 | COOPERVAP/GRÃOS | <0,1 / <0,1 |
| | 6 | COOPERVAP/USINA | <0,1 / <0,1 |
| | C10 | COPASA | 0,36 / 0,38 |
| | E02 | COPASA | 0,15 / 0,16 |
| | C06 | COPASA | 0,24 / 0,24 |
| | C08 | COPASA | 0,47 / 0,48 |
| | E07 | COPASA | 0,34 / 0,38 |
| | E06 | COPASA | 1,55 / 1,63 |
| | E04 | COPASA | <0,1 / <0,1 |
| | C12 | COPASA | <0,1 / <0,1 |
| | C02 | COPASA | <0,1 / <0,1 |
| | POÇOS DE MONITORAMENTO | PM-B-03-35-30 /A JUSANTE BARRAGEM | KINROSS |
| PM-M-07-56-31/MINA | | KINROSS | <0,1 / <0,1 |
| PM-MA-01 | | VOTORANTIM | <0,1 |
| PM-MA-10 | | VOTORANTIM | <0,1 |
| PM-MA-07 | | VOTORANTIM | <0,1 |
| PZ-INA-06 | | VOTORANTIM | 0,29 |
| PZ-INA-08 | | VOTORANTIM | <0,1 |
| PZ-INA-04 | | VOTORANTIM | <0,1 |
| PZ-INA-09 | | VOTORANTIM | 0,96 |
| PZ-INA-02 | | VOTORANTIM | 0,35 |

Os teores observados de As estão abaixo do limite admitido pela legislação brasileira. No caso dos poços da PM-B-03-35-30 e PM-M-07-56-31, os teores de As nesta campanha estão de acordo com os observados em monitoramento pela empresa durante um amplo período de monitoramento, conforme dados dos relatórios enviados à

Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Paracatu, os quais foram disponibilizados para conhecimento da equipe técnica deste projeto.

a.2. Situação Amostral Sazonal

A escolha da estação seca para amostragem de águas superficiais deve-se ao fato de que, nestas condições, as águas fluviais refletem diretamente a qualidade do lençol freático e a sua interação com os solos, assim como com cargas poluentes, sem a interferência de processos de diluição e o incremento de material particulado devido ao “runoff” das águas pluviais (neste estudo, a composição em As do material particulado em suspensão é avaliada através da composição dos sedimentos fluviais). Nos meses de Setembro e de Outubro, como indica a Figura 9 (normal climatológica para a cidade de Paracatu) e a Figura 10 (Balanço Hídrico em Paracatu), a pluviosidade começa a aumentar, mas o nível da água nos rios permanece baixo em consequência da estiagem dos meses anteriores.

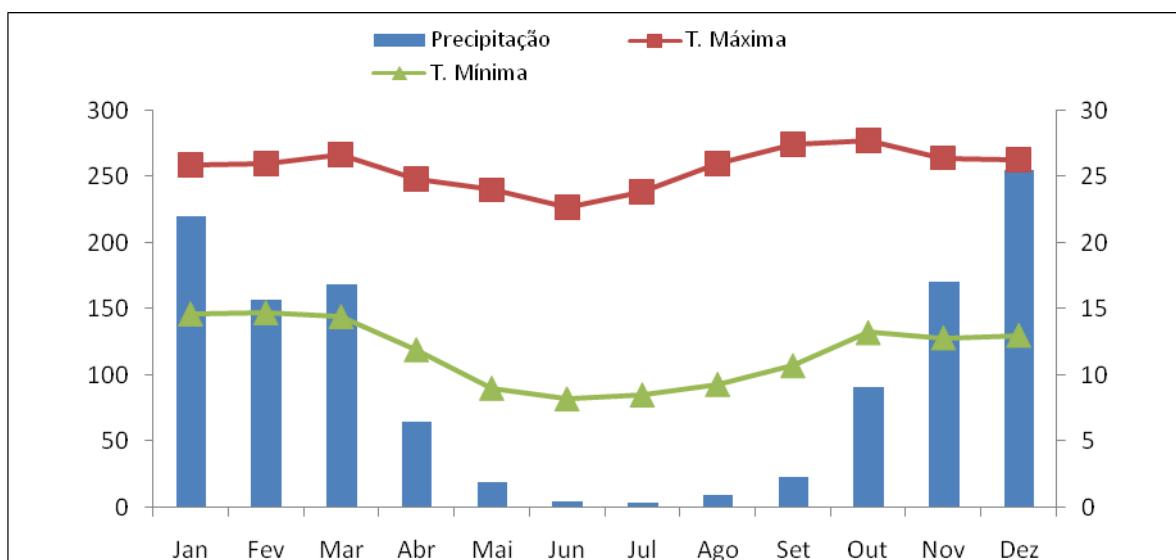


Figura 9: Normal climatológica para a cidade de Paracatu (MG). Dados de 1973 a 2011 (INMET).

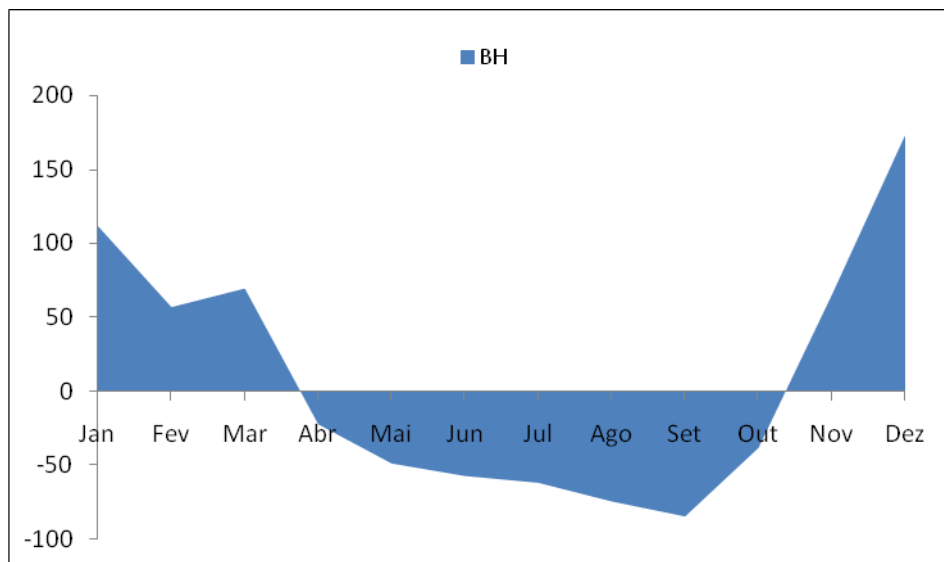


Figura 10. Balanço Hídrico em Paracatu (MG).

a.2. Concentrações de As em Águas e Sedimentos Fluviais e Solos

A determinação do As em solos e sedimentos fluviais foi realizada na amostra total (considerada como sendo a fração < 1,7mm), conforme definido pela legislação, e na fração silto-argilosa (< 0,075mm) por esta apresentar um maior potencial de retenção de contaminantes em uma forma biodisponível (ou seja, adsorvida na superfície das partículas).

Os teores de As obtidos nas águas correspondem, *grosso modo*, à sua fração dissolvida, filtrada em 0,45 µm, ou seja, trata-se de fração de maior potencial de biodisponibilidade. Deve-se ressaltar que a legislação considera a análise da água bruta não filtrada. Via de regra, o material particulado em suspensão é quem apresenta as maiores concentrações de contaminantes; no caso presente, tendo em vista que a amostragem foi realizada em época de seca, os teores de material em suspensão foram baixos (valores inferiores a 10 mg/L), com isso observou-se que a concentração de As na água bruta foi superior apenas a, aproximadamente, 15% do que a da água filtrada. Neste relatório, são considerados os dados da água filtrada a qual representa maior risco.

Os teores de As em águas superficiais, solos e sedimentos são mostrados na Tabela 5.

Os níveis de contaminação por As e os parâmetros físico-químicos aferidos em águas fluviais foram avaliados através da comparação com os valores orientadores propostos pela Resolução 357 do CONAMA (2005) para águas classe 2 e o recomendado pela Portaria 518 do Ministério da Saúde, por CETESB (2005) e também pelo COPAM/MG, que é de 10 µg/L. Na Tabela 7 estão mostrados em vermelho os teores acima de 10 µg/L. Na tabela estão também indicados os teores máximos permitidos para os usos das águas para a irrigação e dessedentação animal.

Para As em solos, a Resolução 420 do CONAMA (2009) estabelece um valor de 15 mg/kg como “prevenção ambiental” e de 35 mg/kg como “intervenção agrícola”. Na Tabela estão mostrados em vermelho os teores acima de 35 mg/kg.

Para qualidade de sedimentos, utilizou-se o disposto para sedimentos de águas doces na Resolução 344 do CONAMA (2004), que estabelece diretrizes gerais para avaliação de sedimentos a serem dragados; no caso presente, foram considerados os teores de As de 17 mg/kg, isto é, nível 2 ou de alta probabilidade de efeitos tóxicos à biota em águas doces. Os valores acima deste limiar são mostrados em vermelho na Tabela.

Tabela 7 – Teores totais de As em amostras de águas e sedimentos fluviais e solos superficiais. Solos e sedimentos (<1,7mm).

| Amostra | Sub-bacia | Córrego | As total | | | |
|---------|-------------------------|--------------|-------------------------|-------------------|----------------------|--------|
| | | | Água (µg/L) | Sedimento (mg/kg) | Solo (mg/kg) | |
| X | Rico | Espalha | <0,5 | 11,8 | -- | |
| X1 | | | <0,5 | -- | -- | |
| 2 | | Rico | Rico | 23,6 | 4297,2 | 1752,9 |
| 1 | | | | DI | 2977,8 | 193,5 |
| 14 | | | | 23,2 | DI | DI |
| 15 | | | | 12,0 | DI | 631,7 |
| 13 | | | | 19,1 | 2868,0 | 527,0 |
| 9 | | | | 40,1 | 569,5 | 443,4 |
| 8 | | | | 6,8 | 298,9 | 141,8 |
| 5 | | | | 7,1 | 291,8 | 5,4 |
| 10 | | | | Pobre | Pobre | <0,5 |
| 12 | | 11,9 | DI | | | DI |
| 06 | | Rio Paracatu | | <0,5 | DI | DI |
| 07 | | Rio Paracatu | | <0,5 | DI | DI |
| Y1 | Ribeirão entre Ribeiros | Neto | 29,1 | 1638,2 | 7,8 | |
| Y | | | 22,1 | 31 | 1131,5 | |
| 3 | | Sto. Antônio | 5,0 | 159 | 81,5 | |
| 20 | | | 18,9 | 3216,8 | 467,3 | |
| 16 | | São Pedro | <0,5 | 3,0 | 12,7 | |
| 17 | | | 0,6 | 832,3 | 98,7 | |
| 18 | | Sta. Rita | 19,1 | 1168,1 | DI | |
| Y2 | | | 1,5 | 1349,1 | 39,2 | |
| 19 | | | 13,5 | 2874,0 | 13,0 | |
| 21 | | | 5,2 | DI | DI | |
| Y3 | 2,7 | 203,5 | 86,6 | | | |
| 22 | Escuro | Sta. Isabel | <0,5 | 12,8 | 16,3 | |
| 24 | | Traíra | 0,7 | 105,7 | 19,3 | |
| 23 | | Ecurinho | <0,5 | DI | 3,6 | |
| 25 | | | 0,8 | 3,8 | 7,5 | |
| CONAMA | | | 10 (consumo humano) | 17 | 35 (uso agrícola) | |
| | | | 33 (animal e irrigação) | | 55 (uso residencial) | |
| | | | 150 (uso industrial) | | | |

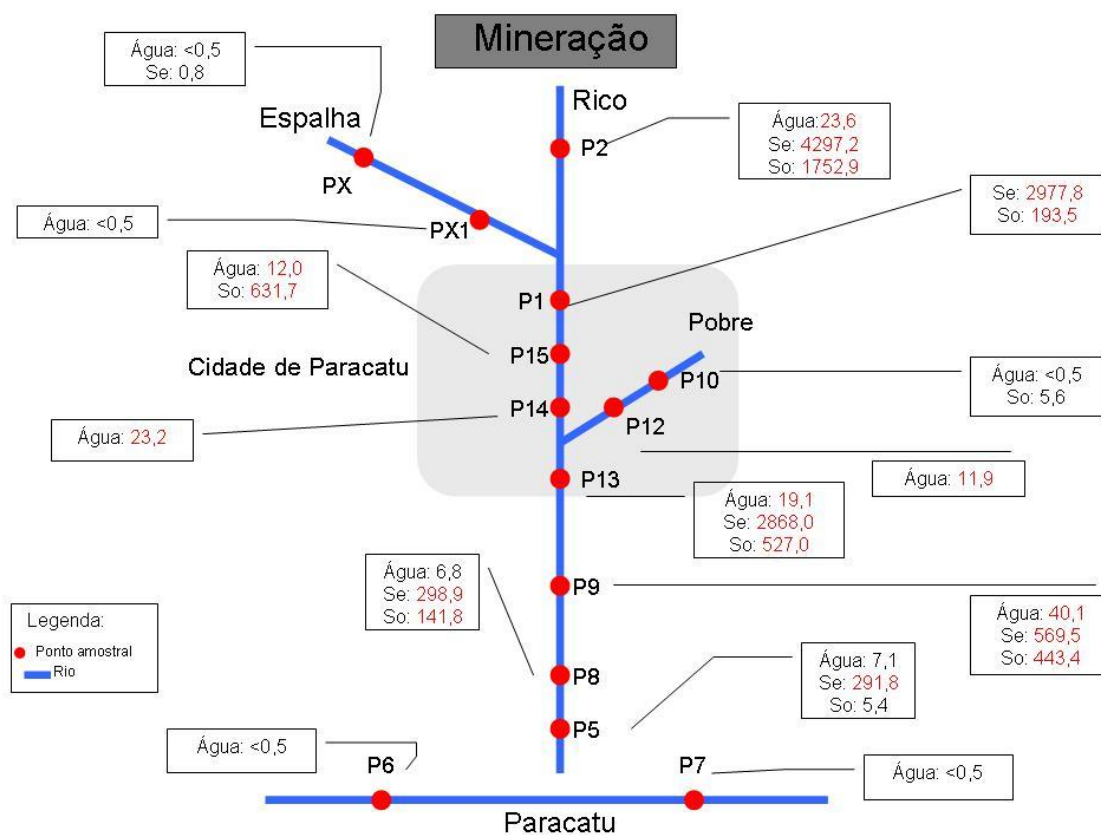
Em vermelho: Acima de 10 µg/L, valor orientador para águas classe 2 (CONAMA 357/2005) e da Portaria 518 do MS; 33 µg/L para águas classe 3 para usos de dessedentação animal e irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Acima de 35 mg/kg, valor de intervenção agrícola (CONAMA, 420/2009) e acima de 17mg/kg, valor orientador pela CONAMA 344/2004 representando alta probabilidade de efeitos tóxicos à biota. DI – dado indisponível.

Limites referidos à águas superficiais Classe 2: “aos limiares de concentração para águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aqüicultura e à atividade de pesca”.

Águas Fluviais

a) **Córrego Rico:** eixo hidrográfico da mineração de ouro e da área urbana da cidade de Paracatu.

Figura 11 - Concentrações de As em águas, sedimentos (Se) e solos (So) ao longo do eixo hidrográfico da mineração de ouro e da área urbana da cidade de Paracatu.



Nesta sub-bacia são observados elevados valores de concentração de As formando, *grosso modo*, um gradiente decrescente de montante a jusante. As amostras Px e Px1, coletadas no setor montante do córrego Espalha, controle utilizado nesta sub-bacia, apresentam teores inferiores ao limite de detecção de 0,5 µg/L. A preservação deste córrego torna-se essencial para a mitigação da qualidade das águas do córrego Rico na área urbana de Paracatu; este aspecto torna-se mais importante quando se considera avanços no saneamento da cidade. O mesmo ocorre com a estação P10 no setor montante do córrego Pobre. Das áreas periurbanas, representadas pelos Pontos 02

(imediatamente à jusante da área da mineração de ouro/Kinross) até o Ponto 09 (à jusante da área urbana de Paracatu) os teores incrementam sob influência das áreas urbanas. Os teores na área urbana são superiores ao valor orientador estabelecido pelo CONAMA 357/2005 (10 µg/L). A partir de P9, o gradiente de As nas águas decresce, mostrando aparentemente uma atenuação com valores inferiores ao valor orientador, até o Rio Paracatu, onde se observa teores inferiores ao limite de detecção de 0,5 µg/L. P9 (valor máximo observado neste estudo) coincide com o PT 005 de monitoramentos realizados pelo IGAM. Os Quadros 1a e 1b mostram os resultados da série histórica dos resultados de As em águas superficiais do Córrego Rico no PT 005.

Quadro 1a- Teores de As (µg/L) em águas superficiais no PT 005-Córrego Rico (coincidente com o P9 do presente estudo), em monitoramento do IGAM, entre 1997 e 2004.

| Data de coleta | As |
|----------------|-------|
| 30/10/1997 | 0,30 |
| 03/02/1998 | 37,90 |
| 04/08/1998 | 11,50 |
| 13/07/1999 | 1,30 |
| 15/02/2000 | 45,70 |
| 22/08/2000 | 17,6 |
| 02/03/2001 | 26,9 |
| 27/08/2001 | 16,8 |
| 04/03/2002 | 34,8 |
| 20/08/2002 | 2,1 |
| 05/03/2003 | <0,3* |
| 26/08/2003 | 17,6 |
| 16/03/2004 | 22,0 |
| 31/08/2004 | 33,6 |
| Média | 20,6 |
| Desvio padrão | 14,7 |
| N | 13 |

*dado excluído para cálculo da média e do desvio padrão

Quadro 1b- Teores de As ($\mu\text{g/L}$) em águas superficiais no PT 005-Córrego Rico (coincidente com o P9 do presente estudo), em monitoramento do IGAM, valores médios de 2008 a 2011.

| Ano de coleta | As – valor médio anual |
|---------------------|------------------------|
| 2008 | 14,7 |
| 2009 | 18,6 |
| 2010 | 28,7 |
| 2011 | 25,8 |
| Média (2008 a 2011) | 21,9 |
| Desvio padrão | 6,4 |

Os resultados de amostragens de 1997 a 2004 resultam em média e desvio padrão de $20,6 \mu\text{g/L} \pm 14,7$. Os valores médios do período 2008 a 2011 mantêm a situação observada no período anterior, isto é, com teores médios acima do valor orientador estabelecido pelo CONAMA 357/2005 ($10 \mu\text{g/L}$).

Segundo o relatório de monitoramento da Evolução da Qualidade das Águas nos Córregos Rico e Rapadura elaborado pela KINROSS: “Atualmente, a concentração média de As no córrego Rico, a montante da BR-040 (ponto 17B), está na faixa de $30 \mu\text{g/L}$ ”. A partir deste mesmo relatório, pode-se observar que dados analíticos de As, a partir de amostras coletadas na mesma situação amostral deste estudo (setembro-outubro, em 2009 e 2010), estão entre, aproximadamente, 10 e $30 \mu\text{g/L}$.

Ainda, segundo compilação dos Relatórios de Monitoramento Ambiental na Mina Morro do Ouro, enviados à SEMEA no ano de 2010, os dados de monitoramento de teores de As em águas referente ao ponto 17 C, localizado à jusante da Mina do Ouro no Córrego Rico e descrito como “Córrego Rico localizado no trecho urbano de Paracatu. Este ponto representa a qualidade da água do córrego em um ponto receptor da confluência das águas provenientes do Córrego Rico, Córrego dos Macacos e do Córrego Espalha. O ponto está localizado à jusante da Mina Morro do ouro em direção a comunidade. Local impactado pelas atividades de garimpo do passado e do presente” estão mostrados no Quadro 2. A média de As total no período foi de $8,94 \mu\text{g/L}$, com

variação de 9,63 µg/L (n=16). A média dos teores de As dissolvidos resultaram em de 3,62µg/L ±2,44 µg/L (n=10).

Quadro 2 - Teores de As (µg/L) em águas superficiais do Córrego Rico, Ponto 17C, em monitoramento da Kinross para as datas abaixo, relativas ao ano de 2010 e 2011.

| Data de coleta | Total | Dissolvido |
|----------------|-------|------------|
| 01/2010 | 8,0 | 3,4 |
| 02/2010 | 34,3 | <0,1* |
| 03/2010 | 13,0 | 8,8 |
| 07/2010 | 3,5 | 2,5 |
| 08/2010 | 28,0 | 2,6 |
| 09/2010 | 2,0 | <0,1* |
| 10/2010 | 1,4 | 1,0 |
| 11/2010 | 3,5 | 3,0 |
| 12/2010 | 9,0 | 2,0 |
| 01/2011 | 7,0 | 1,3 |
| 02/2011 | 3,9 | 6,0 |
| 03/2011 | 9,2 | 5,6 |
| 04/2011 | 2,6 | <0,1* |
| 05/2011 | 4,1 | <0,1* |
| 06/2011 | 4,6 | <0,1* |
| Média | 8,94 | 3,62 |
| Desvio padrão | 9,63 | 2,44 |
| N | 16 | 10 |

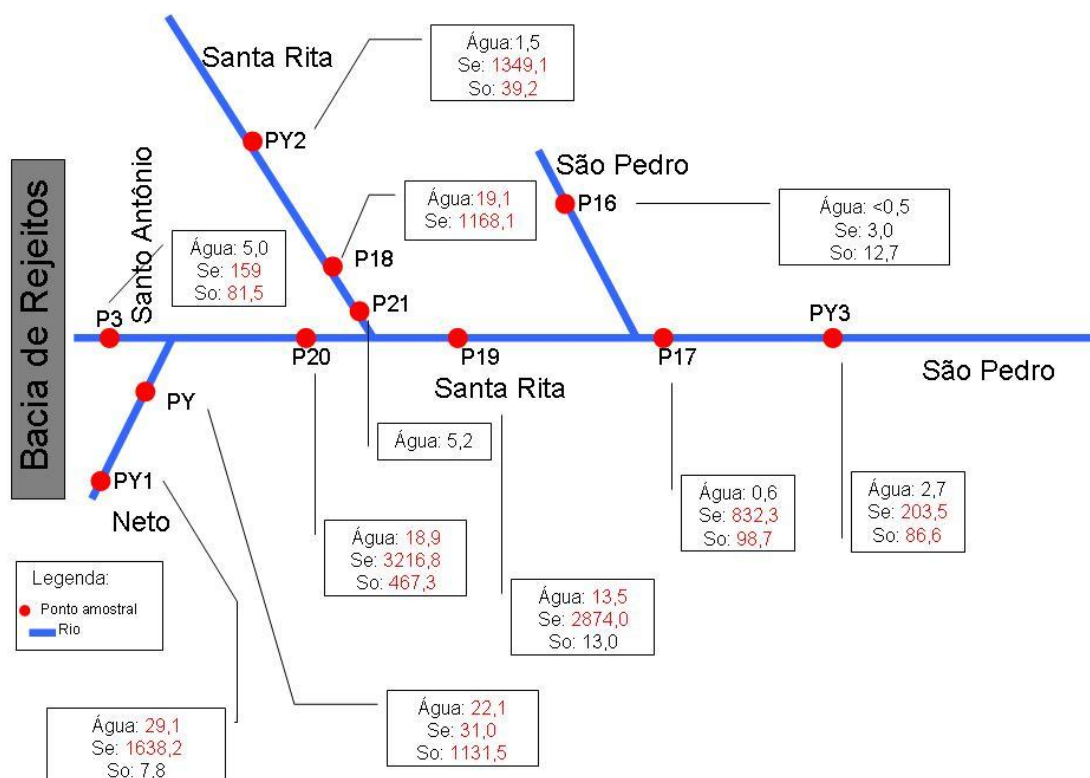
*dados excluídos para cálculo da média e do desvio padrão

b) Ribeirão Entre Ribeiros: eixo hidrográfico de saída da Bacia de Rejeito

Nesta sub-bacia foram amostrados os córregos Santo Antônio, Santa Rita e São Pedro, bem como o córrego Neto/S. Domingos. O Ponto 03, no córrego Santo Antônio, à jusante da barragem de rejeitos da mineração de ouro Kinross, apresentou concentração de 5 µg/L, inferior ao valor orientador estabelecido pelo CONAMA

357/2005 (10 µg/L). Um maior valor foi observado no Ponto 20 (18,9 µg/L), à jusante da confluência dos córregos Santo Antônio e Neto/S. Domingos. Este incremento deve-se, aparentemente, à cargas contaminadas com As a partir do córrego Neto/S. Domingos, PY1 e PY com 29,1 µg/L e 22,1 µg/L, respectivamente.

Figura 11 - Concentrações de As em águas, sedimentos (Se) e solos (So) ao longo do eixo hidrográfico de saída da Bacia de Rejeito.



Segundo o relatório da KINROSS (“Evolução da Qualidade das Águas nos Córregos Rico e Rapadura elaborado pela KINROSS”) supracitado, o córrego Neto/S. Domingos tem por afluente o córrego Rapadura o qual, juntamente com o córrego Rico, foi diretamente afetado no passado por atividades de garimpo de ouro, e vem sendo monitorado (assim como o córrego Rico) como parte do programa de controle ambiental das atividades da KINROSS, por se encontrar na área de influência do empreendimento. O relatório apresenta gráfico em que um teor médio de As em 2010 se encontra na faixa de 30 a 40µg/L (Nota: retirado do gráfico visualmente).

Os Pontos 18 e 19, do presente trabalho, à jusante do Ponto 20 no córrego Santa Rita também apresentam teores elevados (19,1 µg/L e 13,5 µg/L, respectivamente), bem

acima do seu controle PY2 (1,5 µg/L). Sugere-se que o P21 (5,6 µg/L) seja melhor investigado por se tratar de saída de área alagada/banhado ou barragem abandonada. O rio São Pedro (P16, P17 e PY3, respectivamente: < 0,5 µg/L, 0,6 µg/L e 2,7 µg/L) aparentemente dilui a contaminação proveniente de montante antes de chegar ao rio Paracatu.

Segundo a compilação dos Relatórios de Monitoramento Ambiental na Mina Morro do Ouro, enviados à SEMEA no ano de 2010, os dados de monitoramento de teores de As em águas referentes ao Ponto COPAM 14, descrito como: “Córrego Santo Antônio, localizado no limite de propriedade da RPM. Este ponto recebe o efluente final da RPM, proveniente dos drenos de fundação da barragem de rejeitos, após passagem por sistema de tratamento passivo em terras úmidas (wetlands). Está a cerca de 800m do maciço da barragem de rejeitos”, estão mostrados no Quadro 3. Na grande maioria das amostras, os teores de As total estão abaixo do limite de detecção do método analítico, ou seja, abaixo de 0,1 µg/L, tendo apenas uma medida de 4,7 µg/L. Para teores de As dissolvido, todas as amostras estão abaixo de 0,1 µg/L.

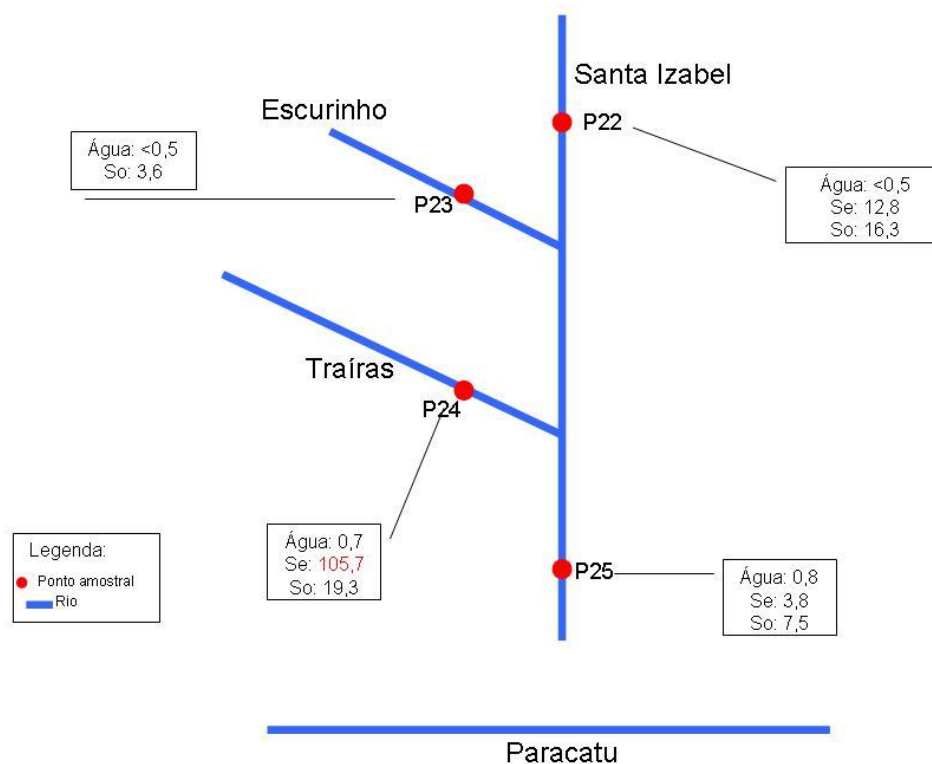
Quadro 3 - Teores de As (µg/L) em águas superficiais do Rio Santo Antonio, Ponto COPAM 14, em monitoramento da Kinross para as datas abaixo, relativas ao ano de 2010 e 2011.

| Data de coleta | Total | Dissolvido |
|----------------|-------|------------|
| 01/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 02/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 03/2010 | 4,7 | <0,1 |
| 07/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 08/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 09/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 10/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 12/2010 | <0,1 | <0,1 |
| 02/2011 | <0,1 | <0,1 |
| 03/2011 | <0,1 | <0,1 |
| 05/2011 | <0,1 | <0,1 |
| 06/2011 | <0,1 | <0,1 |

c) **Rio Escuro:** sub-bacia considerada como controle neste estudo.

Figura 12 - Concentrações de As em águas, sedimentos (Se) e solos (So) ao longo do eixo hidrográfico da sub-bacia considerada como controle neste estudo.

CONTROLE



Nesta sub-bacia encontra-se o principal ponto de captação de água da COPASA, o córrego Santa Isabel. Aparentemente, é uma sub-bacia que poderia servir de referência e/ou controle para estudos de contaminação de As, já que todos os pontos coletados mostraram concentrações de As inferiores ou muito próximos ao limite de detecção do método analítico utilizado (0,5 µg/L), ou seja, pelo menos 20 vezes abaixo do padrão de qualidade estabelecido pela legislação (10 µg/L).

Parâmetros Analisados nas Águas

A Tabela 8 apresenta os demais parâmetros analisados nas águas.

A determinação do pH em amostras de águas fluviais indicou valores que abrangem a faixa de neutralidade (6,0 – 8) e que estão dentro da faixa recomendada pelo CONAMA 357. Este dado é importante porque alguns metais tóxicos podem ter sua biodisponibilização incrementada para a coluna d'água sob condições ácidas.

A condutividade elétrica apontou valores entre 7 e 432 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os menores valores estão relacionados às estações definidas como controle. Os maiores valores, observados na sub-bacia do córrego Rico e nos córregos amostrados na sub-bacia do Ribeirão Entre Ribeiros, podem estar relacionados, respectivamente: (i) aos efluentes domésticos da área urbana de Paracatu, e (ii) à influência da barragem de rejeitos acrescida das cargas do eixo córrego Neto/S. Domingos (esta influência deverá ser analisada em detalhe na sequência dos estudos). Condutividade Elétrica e TDS são parâmetros intimamente associados. Os dados da Tabela 8 mostram um mesmo padrão de distribuição.

As concentrações de sólidos dissolvidos totais (TDS) estão em conformidade com o valor estipulado pela Resolução CONAMA 357/2005 (500 mg/L).

A quantificação do oxigênio dissolvido (OD) apresentou valores entre 0,5 e 9,86 mg/L. Pouco mais de 20% desses valores não estão em conformidade com a concentração mínima de 5 mg/L, estabelecida pelo CONAMA, indicando a ocorrência de ambientes degradados. Todos situados na sub-bacia do córrego Rico devido à influência de efluentes domésticos. O potencial de oxi-redução (ORP) mostra pontos de características redutoras (negativos ou muito baixos) associados ao OD, reforçando o provável papel dos efluentes domésticos não tratados.

Tabela 8. Parâmetros analisados nas águas fluviais.

| Amostra | Sub-bacia | Córrego | pH | OD (mg/L) | Cond. Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) | TDS (mg/L) | ORP | |
|---------------|-------------------------|--------------|-------------|-----------|--|------------|----------|--------|
| X | Rico | Espalha | 6 | 6 | 7 | 4 | 33,4 | |
| X1 | | | 6 | 6,39 | 11 | 25 | 31,9 | |
| 2 | | Rico | 6,5 | 6,52 | 79,5 | 39,5 | 21,79 | |
| 1 | | | 6,67 | 5,22 | 63 | 32 | 3,00 | |
| 14 | | | 6,90 | 0,97 | 116 | 58 | -46,60 | |
| 15 | | | 6,82 | 0,50 | 97 | 49 | -1,90 | |
| 13 | | | 7,0 | 4,13 | 129 | 64,5 | -8 | |
| 9 | | | 7,6 | 5,83 | 240 | 120 | 99,1 | |
| 8 | | | 7,6 | 5,79 | 218 | 109 | 108,2 | |
| 5 | | | 7,56 | 5,69 | 169 | 85 | 81,30 | |
| 10 | | | Pobre | 7,79 | 4,40 | 301 | 151 | 145,00 |
| 12 | | 7,56 | | 4,41 | 330 | 165 | 50,20 | |
| 06 | | Rio Paracatu | | 7,63 | 7,19 | 77 | 38 | 56,40 |
| 07 | | Rio Paracatu | | 7,65 | 7,08 | 77 | 39 | 107,90 |
| Y1 | Ribeirão entre Ribeiros | Neto | 7,7 | 5,72 | 246 | 123 | 71,2 | |
| Y | | | 8,1 | 6,4 | 318 | 159 | 56,6 | |
| 3 | | Sto. Antônio | 7,9 | 6,16 | 432 | 216 | 104,9 | |
| 20 | | | 8,0 | 5,66 | 357 | 179 | 104,95 | |
| 16 | | São Pedro | 7,83 | 6,44 | 251 | 126 | 64,70 | |
| 17 | | | 7,82 | 6,56 | 252 | 126 | 47,60 | |
| 18 | | Sta. Rita | 7,77 | 6,77 | 340 | 170 | 99,90 | |
| Y2 | | | 7,8 | 4,94 | 167 | 83 | 60,9 | |
| 19 | | | 7,71 | 6,11 | 253 | 127 | -13,40 | |
| 21 | | | 7,57 | 5,40 | 220 | 112 | 131,30 | |
| Y3 | | | 7,73 | 62,2 | 265 | 132 | 55,3 | |
| 22 | | Escuro | Sta. Isabel | 6,4 | 7,39 | 18,9 | 9 | 85,7 |
| 24 | | | Traíra | 6,8 | 6,96 | 29,5 | 14 | 70,75 |
| 23 | | | Escurinho | 6,9 | 8,12 | 14 | 7 | 93,25 |
| 25 | 7,36 | | | 7,38 | 48 | 24 | 83,00 | |
| CONAMA | Valor orientador | | 6-9 | 5 | - | 500 | - | |

Em
vermelho:
valor não
conforme
do padrão
pela
Resolução
CONAMA
357.

Sedimentos Fluviais e Solos

Sedimentos Fluviais

A Tabela 7 mostra que mais de 85% das amostras estão acima dos valores sugeridos para As em sedimentos - de 17 mg/kg, valor orientador pela CONAMA 344/2004. Os maiores teores estão espacialmente relacionados nos pontos localizados: (i) no córrego Rico, imediatamente à jusante das atividades de mineração da empresa Kinross; e (ii) no córrego Santo Antônio de jusante da sua confluência com o córrego São Domingos até mais a jusante no córrego Santa Rita.

A determinação do pH indicou valores entre 5,4 e 6,9. Tais valores são fracamente ácidos, mesmo assim, podem contribuir para a mobilização do As no ambiente.

Solos

A determinação do As total mostrou que praticamente todas as amostras que apresentam não conformidade em relação ao limite orientadores estipulado pela Resolução CONAMA 420/2009 - 35 mg/kg, valor de intervenção agrícola – encontram-se na sub-bacia do córrego Rico.

A determinação do pH indica valores entre 4,4 e 7,3. A maior parte dos valores ocorre na faixa da neutralidade, pouco favorável à mobilidade de As no ambiente. Entretanto, é importante notar que os solos são ligeiramente mais ácidos do que os sedimentos, uma vez que os primeiros sofreram processos seletivos mais intensos.

Aspectos Complementares

Dois aspectos relativos às concentrações de As observadas nos sedimentos fluviais e solos merecem ser ressaltados:

- (i) Via de regra, os sedimentos mostraram maiores teores de As que os solos.
- (ii) Os resultados apresentados referem-se a análise de amostra total < 1,7mm (conforme determinado pela legislação). Tanto para os sedimentos quanto para os solos, as concentrações de As nesta fração são no geral maiores do que aquelas da fração silto argilosa (aqui considerada < 0,075mm).

(iii) A fração fina representa menos de 10% da granulometria em, aproximadamente, 65% das amostras de sedimentos; e menos de 20% da granulometria de todas as amostras de solos.

(iv) Entretanto, apesar da baixa participação na granulometria de sedimentos e solos, a fração fina apresenta concentrações de As no geral similares ou até poucas vezes menor do que na amostra total no caso dos solos; e, no caso dos sedimentos de similares até uma ordem de grandeza menor que na amostra total.

(v) Estas observações indicaram a necessidade de se conhecer melhor a distribuição do As nas amostras de solos e sedimentos, através de estudos utilizando extratores seletivos, análise mineralógica de detalhe (DRX) e a utilização de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Estas análises complementares já foram iniciadas e estão em andamento, fazendo parte de uma das teses de doutorado.

(vi) Este esforço adicional se justifica porque as partículas finas tem maior capacidade de adsorção de contaminantes na sua superfície (quanto menor a partícula maior a superfície específica e maior a quantidade de contaminantes que podem aderir) em uma forma de maior disponibilidade (por estarem mais fracamente presas/ligadas a partícula) para as águas e organismos vivos. Além disso, a composição da mineralogia da fração fina pode ser diferente a das frações mais grosseiras de sedimentos e solos.

a.3 Ensaios ecotoxicológicos em águas e solos

Os resultados do teste agudo com *D. similis* não mostrou efeitos tóxicos com as amostras de águas superficiais testadas, sendo que os teores de As variaram de <0,5 a 40,1 µg/L (Tabela 9) .

Tabela 9. Resultado do teste agudo de imobilidade de *Daphia similis* com águas superficiais.

| Pontos amostrados (Conc. As) | Réplicas | | | | | | | | Total de fêmeas imóveis | % de fêmeas imóveis | Toxicidade |
|---------------------------------|----------|---|---|---|-----|---|---|---|-------------------------|---------------------|------------|
| | 24h | | | | 48h | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| Controle | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Não toxico |
| Pt 02 (23,6µg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Não toxico |
| Pt 03 (5,0µg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | Não toxico |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|------------|
| Pt 09 (40,1 µg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Não toxico |
| Pt 20 (18,9 µg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Não toxico |
| Pt 22 (<0,5 µg/L) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Não toxico |
| Pt Y (22,1 µg/L) | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 20 | Não toxico |

Os resultados de teores de As em minhocas expostas a amostras de solo coletadas no PT 22, situado as margens do Rio Santa Izabel- bacia do Rio Escuro-, resultam em valor próximo do obtido em minhocas expostas ao solo controle, 1,6 e 2,1mg/kg, respectivamente Já, os teores de As em minhocas expostas ao solo do PT 02, oriundo da bacia do Córrego Rico, atingem cerca de 35 vezes os teores do controle e do PT 22 (Tabela 10). Isto indica claramente que há disponibilização de As para a biota terrestre e que, provavelmente, o transporte para o interior dos tecidos e/ou adsorção externa deve ser limitada pelo próprio organismo. Ou seja, o FBC não é linear, indicando que há uma saturação na absorção do As. Mesmo assim, com a oferta de As há acúmulo. Por outro lado, em ensaio agudo não foi possível verificar efeitos nocivos aos invertebrados, conforme mostrado na Tabela 11. A proposta é agora, testar em modelos crônicos (reprodução, etc).

Tabela 10. Fator de bioconcentração de As em minhocas expostas a solos de Paracatu.

| Amostra | As Solo (mg/kg) | As Minhoca (mg/kg) | Fator de bioconcentração |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Controle | 0,8 | 1,6 | 2 |
| PT 22 | 16 | 2,1 | 0,13 |
| PT 02 | 1752,9 | 69 | 0,04 |

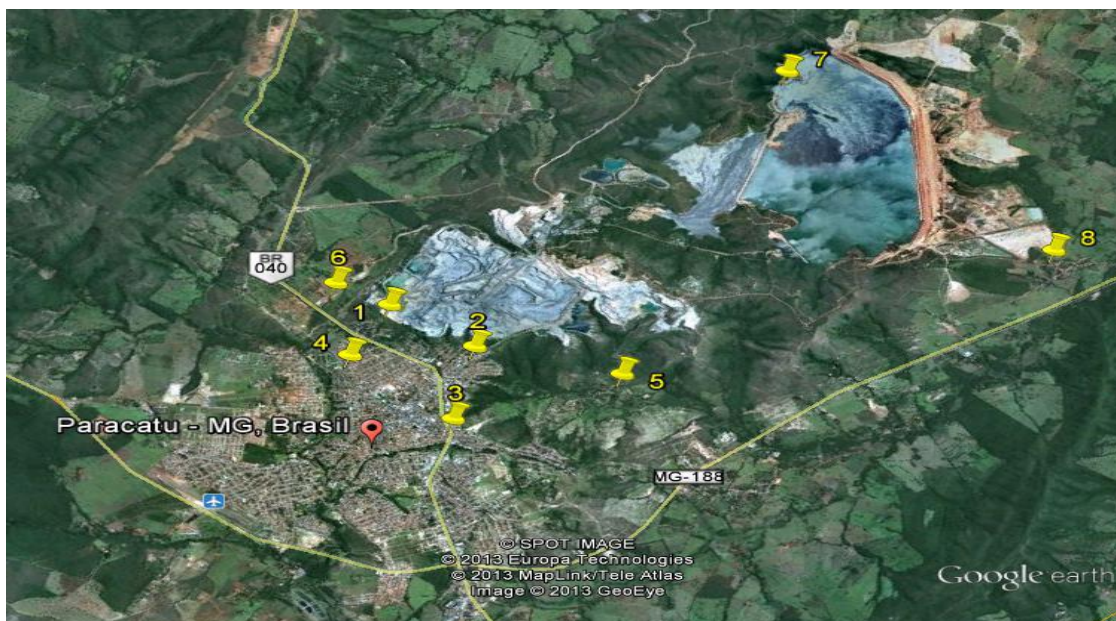
Tabela 11. Ensaio ecotoxicológico com invertebrados expostos a solos de Paracatu.

| Amostras | No. Minhocas | | Peso (mg) | | % Perda de Peso |
|----------|--------------|-------|-------------|-------------|-----------------|
| | Início | Final | Início | Final | |
| Controle | 50 | 50 | 4,09 ± 0,31 | 3,42 ± 0,25 | 16,2 ± 1,64 |
| Pt 02 | 50 | 50 | 4,11 ± 0,22 | 3,36 ± 0,18 | 18 ± 4,74 |
| Pt 22 | 50 | 49 | 4,15 ± 0,31 | 3,38 ± 0,18 | 18,2 ± 6,22 |

a.4 Material Particulado Atmosférico

Os filtros contendo partículas totais em suspensão (PTS) da atmosfera, oriundos dos amostradores disponíveis no município de Paracatu foram analisados quantitativamente para arsênio (As). A localização geográfica das estações de amostragem é mostrada na Figura 12 . Os números nela indicados correspondem às seguintes estações: 1- Alto da Colina; 2- COPASA, 3- DER, 4- União, 5- São Domingos, 6- Arena, 7- Barragem e 8- Lagoa de Santo Antônio.

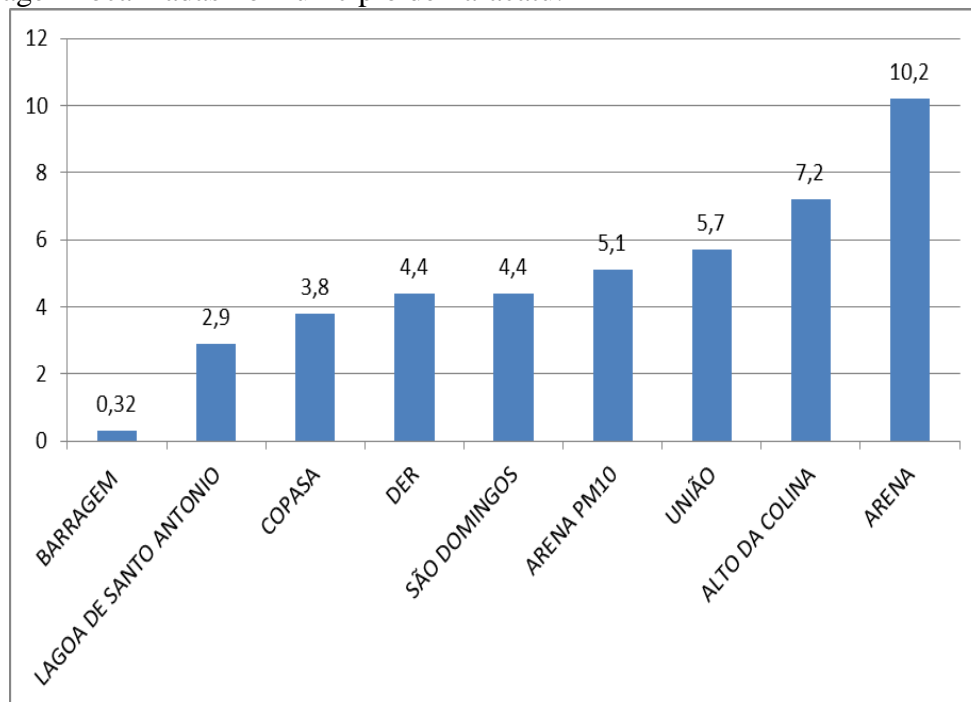
Figura 12. Imagem com a localização geográfica dos amostradores de material particulado atmosférico existentes no município de Paracatu.



Teores de arsênio no material particulado atmosférico

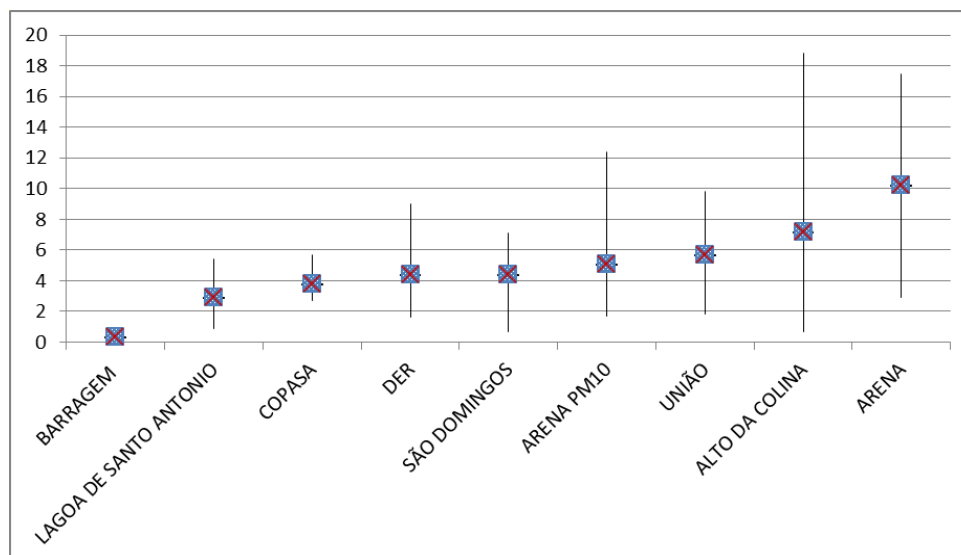
Os resultados das análises de As (ng/m^3 ; massa de As por volume de ar) no PTS e no MP10, expressos como média aritmética anual, oriundos de uma amostragem por mês durante 12 meses, são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1. Concentrações médias de arsênio (ng/m^3) no material particulado atmosférico*, relativas ao período de maio de 2011 a junho de 2012, nas 8 estações de amostragem localizadas no município de Paracatu.



*Nas partículas totais em suspensão (PTS) para as 8 estações e nas partículas inaláveis (MP10) para a estação Arena.

Gráfico 2. Concentrações mínimas, médias e máximas de arsênio (ng/m^3) no material particulado atmosférico*, relativas ao período de maio de 2011 a junho de 2012, nas 8 estações de amostragem localizadas no município de Paracatu.



Os resultados mostram as maiores concentrações de As nos filtros das estações Arena (tanto nas PTS quanto no MP10), Alto da Colina e União, indicando valores mais elevados nas estações próximas e situadas a sudoeste (SW) da área da mineração de ouro. Se a origem das partículas que contribuem para a maior concentração de As no

MP atmosférico destas 3 estações é a área de mineração, outro fator, além da fonte, responsável pelos valores mais elevados nestas estações é a direção predominante dos ventos em Paracatu, que é a de nordeste (NE). A velocidade média mensal dos ventos em Paracatu é baixa, varia de 2,8 a 4,4 m/s. Ocasionais rajadas de vento ocorrem e são responsáveis por acentuar a ressuspensão de partículas do solo e dispersão de poeiras.

Desta forma, os resultados indicam que a população humana residente (ou em potencial) em áreas próximas às estações Arena, Alto da Colina e União estão potencialmente sujeitas a maior exposição do que a população moradora nas demais áreas amostradas.

Entretanto, deve-se ressaltar que as análises das relações entre as concentrações de As e os parâmetros meteorológicos devem e estão sendo aprofundadas em dissertação de mestrado a ser defendida em fevereiro de 2014. A exposição dos solos devido ao desmatamento e atividade de mineração representam as fontes do MP mineral em suspensão na atmosfera. As condições meteorológicas e climatológicas tais como a velocidade e direção dos ventos e distribuição sazonal das chuvas são os principais fatores atmosféricos de controle das concentrações de MP na atmosfera. Os ventos atuam na ressuspensão e dispersão atmosférica de partículas do solo, a frequência e volume de chuva precipitada é determinante no controle da umidade dos solos, e a chuva em si contribui para a transferência de MP da atmosfera para a superfície do solos. Para tanto, estão sendo analisados os parâmetros meteorológicos como dados de precipitação, vento (velocidade e direção), temperatura e umidade relativa do ar, obtidos em Estação Meteorológica do Modelo Plataforma de Coleta de Dados (PCD), para o período correspondente ao estudo, e sua série histórica. Esta estação se localiza na sede urbana de Paracatu e é administrada pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). É interessante notar (Gráficos 3 e 4) que as maiores velocidades médias do vento acontecem entre 15 e 18 horas, visto que as rajadas também acontecem nesta faixa de horário (ampliada para até as 21 h) atingindo média de 14m/s (conforme mostrado nos gráficos abaixo), que engloba o horário de detonações na frente de lavra da mineradora, possivelmente incrementando a dispersão das poeiras oriundas das detonações.

Gráfico 3. Velocidade média horária do vento no município de Paracatu, no período de 2004 a 2012.

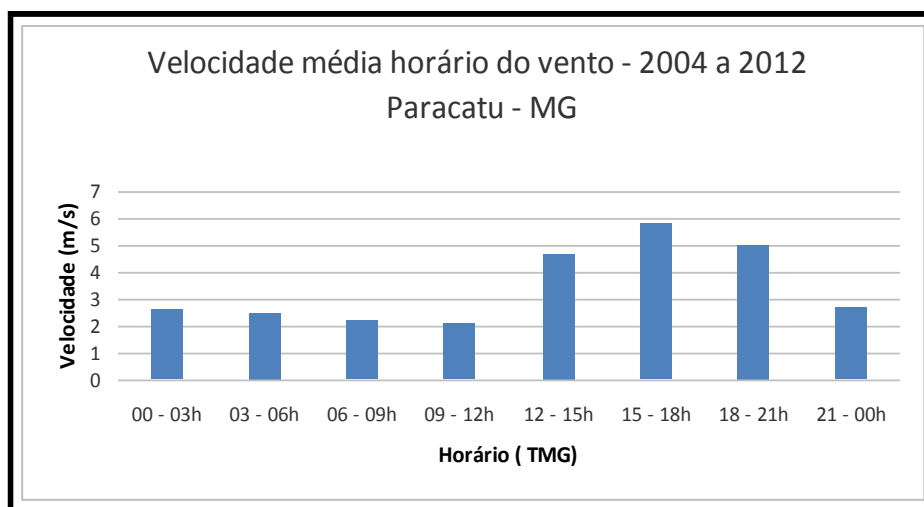
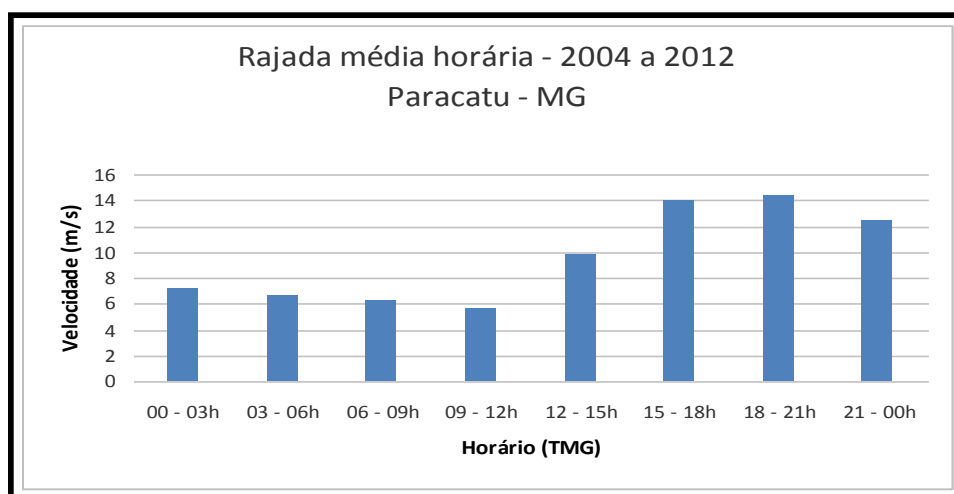


Gráfico 3. Velocidade média de ventos em eventos de rajadas no município de Paracatu no período de 2004 a 2012.



Considera-se que em áreas rurais as concentrações médias de As variem de 1 a 4 ng/m^3 enquanto que em áreas urbanas, variem de 5 a 7 ng/m^3 (medidas realizadas no Reino Unido). Nos Estados Unidos, estima-se que as concentrações de As variem de 1 a 5 ng/m^3 em áreas remotas/rurais e de 20 a 100 ng/m^3 em áreas urbanas (ATSDR, 2007).

Entretanto, em metodologias de avaliação de riscos ambientais à saúde humana por exposição ao As na atmosfera, via inalação, para efeitos cancerígenos, os teores médios referenciais de concentração de As para riscos considerados aceitáveis variam de 0,2 ng/m^3 (USEPA) e 0,6 ng/m^3 (União Européia) a 2 ng/m^3 e 6 ng/m^3 para riscos de 1:1.000.000 (10^{-6}) ou 1:100.000 (10^{-5}) expostos, respectivamente.

Para efeitos não cancerígenos, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana regional da Califórnia (California Environmental Protection Agency-CalEPA) estabeleceu como nível de referência para inalação crônica 30 ng/m³ a concentração de arsênio na atmosfera. Este limite é uma concentração abaixo da qual não se espera o aparecimento de efeitos tóxicos não cancerígenos na população humana.

Ainda, os teores de As no MP10 são considerados mais perigosos, uma vez que as menores partículas podem atingir as estruturas mais profundas do sistema respiratório e assim, deve-se considerar que os teores de As no MP 10 da Estação Arenas mostra teores de arsênio que podem ser importantes. Tais informações indicam a necessidade de amostradores de MP 10 no Alto da Colina e que as áreas sob influência dos amostradores com os maiores teores podem estar mais expostas do que as demais no município.

Estes resultados foram considerados na formulação da estratégia epidemiológica adotada no presente estudo, que considerou como um dos critérios de inclusão, ser morador em área com maior ou menor proximidade da mineração de ouro.

A avaliação de riscos deve considerar todas as vias de exposição importantes, integrando as exposições ambientais para estimativa de riscos à saúde humana e os resultados estão mostrados no item abaixo.

a.5 Avaliação de riscos à saúde humana

A Figura 13 mostra o modelo conceitual desenvolvido para o presente estudo.

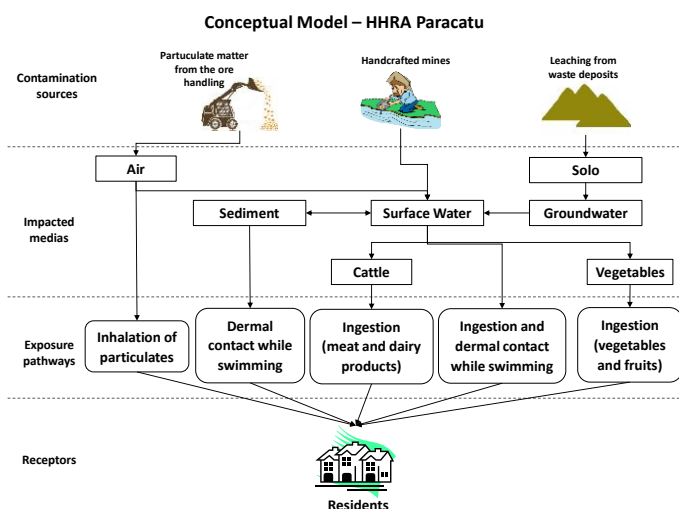


Figura 13. Modelo conceitual da exposição humana ao arsênio em Paracatu-MG

Para adultos, o quociente de perigo, que relaciona a exposição ambiental aos efeitos não cancerígenos de contaminantes ambientais considerando todas as vias de exposição selecionadas e a dose de referência via oral para arsênio ($RfD = 3E-4$ mg/kg/dia) resultou menor do que a unidade, significando a não presença de ameaça à saúde pública (Gráfico 5). Considerando-se os riscos de efeitos cancerígenos em adultos por exposição ambiental ao arsênio (relacionando-se as doses estimadas ao potencial de câncer, via oral, $1,5E0$ por (mg/kg)/dia), os resultados indicam riscos acima do aceitável, de $1E-5$ (Gráfico 6).

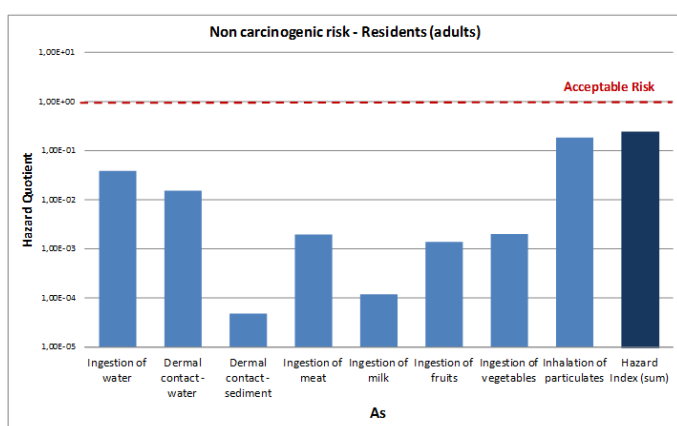


Gráfico 5. Perigo de efeitos não cancerígenos em adultos.

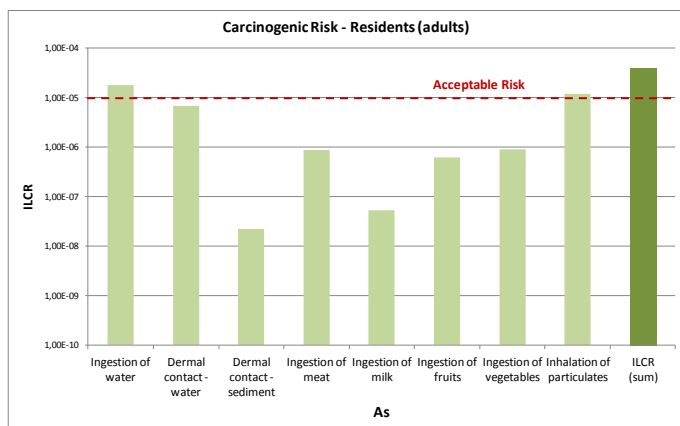


Gráfico 6. Risco de efeitos cancerígenos em adultos.

Para crianças, o quociente de perigo, relacionado a efeitos não cancerígenos do arsênio, de cada uma das vias consideradas, resultou também menor do que 1, mas a integração delas resultou em valor acima de 1, significando potencial problema à saúde humana por exposição ambiental (Gráfico 7). A estimativa de riscos para efeitos cancerígenos resultou acima de 1×10^{-5} (para a ingestão acidental de águas durante natação e inalação de partículas atmosféricas), resultando em riscos inaceitáveis (Gráfico 8).

Os resultados mostraram que a exposição ambiental ao arsênio não representa perigo potencial de efeitos não cancerígenos em adultos, mas as crianças podem estar sob risco. Para efeitos cancerígenos, crianças e adultos estão sob riscos. As vias que mais contribuem para os riscos são a ingestão de águas durante o banho recreativo e inalação de partículas.

Entretanto, é preciso ressaltar que a metodologia de avaliação de riscos utiliza abordagens extremamente conservadoras, obedecendo ao princípio da precaução e visando identificar áreas onde não há riscos e áreas onde estudos ambientais e epidemiológicos detalhados devem ser realizados. Desta forma, os resultados indicam a necessidade da realização do estudo epidemiológico e de exposição humana, que trará esclarecimentos às incertezas associadas aos modelos estatísticos nos quais se baseia a avaliação de riscos à saúde humana por exposição ambiental. Os resultados do estudo epidemiológico e de avaliação da exposição ambiental estão mostrados abaixo.

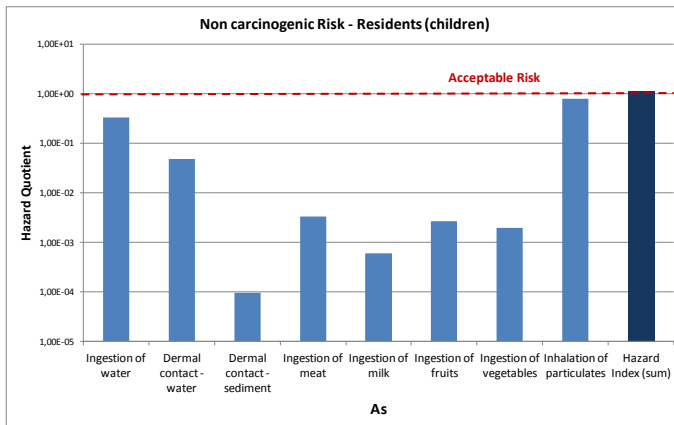


Gráfico 7. Índice de Perigo de efeitos não cancerígenos em crianças.

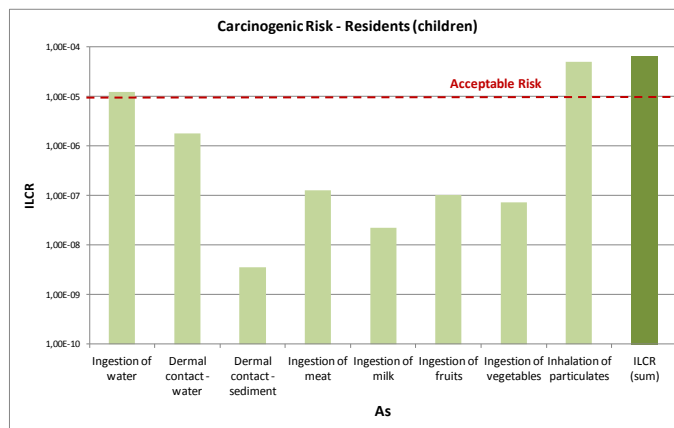


Gráfico 8. Risco de efeitos cancerígenos em crianças.

b) Estudo epidemiológico da exposição ambiental ao arsênio em população humana de Paracatu

b.1 Análise de taxas de mortalidade por alguns tipos de câncer em Paracatu

Para este item foram selecionados tipos de câncer com indicação, na literatura, de associação a exposição ambiental e ocupacional ao arsênio, principalmente por via oral, por ingestão de águas contaminadas e/ou por inalação, respectivamente, sendo: pele, pulmão, bexiga e fígado. A Tabela 12 mostra as taxas de mortalidade por câncer por 100.000 habitantes em Paracatu, em comparação ao Brasil, a região Sudeste, à região Centro-Oeste e aos municípios mineiros minerador de Nova Lima e não mineradores de Três Corações e Itajubá.

Tabela 12. Taxas de Mortalidade por Câncer por 100.000 hab

| Localidade | | 2000 | 2010 |
|----------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Minas Gerais | população | 17.891.494 | 19.597.330 |
| | C22 - Fígado | 2,66 | 3,52 |
| | C34 - Pulmão | 6,47 | 9,52 |
| | C44 - Pele | 0,38 | 0,63 |
| | C67-Bexiga | 0,98 | 1,58 |
| Sudeste | população | 72.412.411 | 80.353.724 |
| | Pulmão | 17,51 | 16,00 |
| Centro-Oeste | população | 11.636.728 | 14.05.340 |
| | Pulmão | 7,05 | 12,50 |
| Brasil | População | 169.799.170 | 190.732.694 |
| | Fígado | 2,96 | 4,04 |
| | Pulmão | 12,40 | 14,06 |
| | Pele | 0,48 | 0,79 |
| | Bexiga | 1,18 | 1,66 |
| Paracatu | População | 75.216 | 85.447 |
| | Fígado | 2,65 | 3,51 |
| | Pulmão | 3,98 | 10,50 |
| | Pele | - | - |
| | Bexiga | 2,65 | 1,17 |
| Nova Lima | População | 64.387 | 81.162 |
| | Fígado | 6,21 | 6,16 |
| | Pulmão | 9,31 | 19,70 |
| | Pele | - | - |
| | Bexiga | 3,10 | - |
| Três Corações | População | 65.291 | 72.765 |
| | Fígado | 3,06 | 1,37 |
| | Pulmão | 6,12 | 12,4 |
| | Pele | - | - |
| | Bexiga | - | 1,37 |
| Itajubá | População | 84.135 | 90.658 |
| | Fígado | 8,31 | 6,60 |
| | Pulmão | 15,45 | 11,03 |
| | Pele | 3,56 | 1,10 |
| | Bexiga | 2,37 | 1,10 |

As taxas de mortalidade por câncer de fígado, pulmão, pele e bexiga em moradores de Paracatu, em 2000 e em 2010 (assim como em cada ano dentro deste período) não mostram diferenças que indiquem maior número de casos em Paracatu.

b.2 Análise do Banco de Dados de Tratamento Fora do Domicílio

O banco de dados de tratamento fora de domicílio com foco nos dados oncológicos, gerenciado pela Secretaria Municipal de Saúde de Paracatu relaciona informações de 1992 a 2012 (outubro) e mostra que o total de casos de câncer neste período de dez anos, é de 488 casos, resultando em uma frequência anual de 48,8 casos.

A análise do banco de dados, de 1992 a 2010, indicou que 52,7% de todos os casos registrados são de cabeça e pescoço (11,3%), colo de útero (11,5%), mama (18,9%) e próstata (11,0%), e que os demais não atingem mais do que 10% de frequência.

Analisados em função da idade, a partir dos 40 anos ocorrem cerca de 70% dos casos de câncer. Entretanto, a frequência de câncer entre jovens não deve ser desconsiderada mas analisada com maior detalhamento. Ainda, de 1992 a 2010, há registro de 34 casos de câncer de pele e 18 de pulmão.

Parte dos registros de saúde municipais em todo o Brasil mostram inconsistências, incluindo as observadas no presente banco de dados. Há inconsistências como a falta de confirmação de diagnóstico, informação de óbito e outras e, segundo a SMS, o período de 2007 a 2012 é o de maior controle sistemático do sistema de banco de dados e, portanto, o mais credível e confiável. Assim, neste período de seis (6) anos, estão contabilizados 339 casos de oncologia em tratamento fora do domicílio, resultando em uma média de 56 casos por ano. As mesmas análises foram realizadas considerando este período. Entretanto, para comparação com outro município, com mesma estrutura de banco de dados, de similar porte e localização geográfica, neste caso, Unai, a iniciativa não se mostrou prática, uma vez que os dados disponíveis em Unai não contemplam todos os registros (apenas 2012), tem ainda muitas deficiências, comprometendo a comparação proposta.

b.3. Estudo piloto da morbidade dermatológica

A pesquisa sobre dermatopatias foi realizada utilizando dados organizados dos Postos do Programa de Saúde da Família (PSF) de Paracatu e do Hospital da Mulher, com foco nos moradores de bairros atendidos pelo PSF Amoreiras e PSF Paracatuzinho. Pacientes adultos com qualquer tipo de dermatopatia crônica foram convidados a participar do estudo e ser avaliados conjuntamente por 2 médicos das instituições que compõem a equipe técnica do presente projeto de pesquisa. A abordagem diagnóstica foi baseada na peculiar característica das possíveis dermatopatias relacionadas à exposição crônica ao arsênio descritas na literatura especializada (Guha Mazumder 2000), como consta do Quadro 4.

| Quadro 4. Lesões dermatológicas associadas à exposição crônica a arsênio | |
|---|--|
| Alterações clínicas | Observações |
| 1. Hiperqueratoses | Espessamentos como “calos”, ou verrugas grosseiras, nas regiões palmares das mãos e plantares dos pés |
| 2. Melanoses | Lesões escuras, em manchas de tamanhos variados. Tipo especial dessas lesões são as chamadas pigmentação de gotas de chuva (raindrops), no tronco e membros. |
| 3. Leucomelanoses | Associação de lesões ou manchas escuras com claras lado a lado (pigmentação e despigmentação) |
| 4. Carcinoma <i>in situ</i> (doença de Bowen) | Em geral se apresentam como múltiplas lesões |
| 5. Carcinoma basocelular | Em geral múltiplos |
| 6. Carcinoma espinocelular | Em geral múltiplos e em áreas não expostas ao sol |

Trinta (30) pacientes oriundos da área atendida pelo PSF Amoreiras e 14 pacientes do PSF Paracatuzinho e foram minuciosamente examinados. Nenhuma lesão suspeita de associação à exposição crônica ao arsênio foi encontrada. A Tabela 13 mostra os principais diagnósticos dermatológicos.

Tabela 13. Diagnóstico dermatológico apresentado em pacientes do PSFs Amoreiras e PSF Paracatu.

| Diagnóstico | Amoreiras | Paracatu |
|-----------------------------------|------------|------------|
| Dermatite alérgica | 13 (43.3%) | 2 (14.2%) |
| Dermatite fúngica | 5 (16.6%) | 4 (28.4%) |
| Lesão verrugosa | 1 (3.3%) | 0 |
| Lesão discrômica | 10 (33.3%) | 4 (28.4%)* |
| Hiperqueratose | 1 (3.3%) | 1 (7.1%) |
| Carcinomas (provável diagnóstico) | 2 (6.6%) | 0 |
| Psoríase | 1 (3.3%) | 1 (7.1%) |
| Nenhuma dermatose no exame | 6 (20.0%) | 3 (21.4%) |

* $p=0,51$ (teste do chi quadrado corrigido por Fisher); n.s.=não significante

As lesões discrômicas que poderiam estar, eventualmente, relacionadas à exposição crônica ao As, não mostraram diferença de prevalência estatisticamente significativa entre as duas áreas de estudo ($p=0,51$), além de não apresentarem as características clínicas próprias ao efeito da exposição ao As. Os dois casos de hiperqueratose diagnosticados nas duas áreas estavam ambos relacionados a excesso de atrito.

b.4 Resultados de teores de arsênio em sangue, urina e cabelo de moradores de Paracatu

O estudo seguiu a metodologia seccional, com amostragem de conveniência utilizando critérios de inclusão e exclusão.

Uma carta aberta à população foi distribuída nos diversos bairros incluídos no estudo. Foram contactados, pessoalmente, 2.274 moradores de Paracatu que atendiam aos critérios de inclusão. 878 moradores aceitaram o convite para participar deste estudo, assinaram o termo de esclarecimento e responderam o questionário epidemiológico (487 habitantes são atendidos pelo PSF Amoreiras e 391, atendidos pelo PSF Paracatu). Destes, 797 forneceram tecido capilar para análises de arsênio. Foram coletadas 787 amostras de urina para análise de arsênio e igual número para análises de creatinina e 851 amostras de sangue.

Conforme o critério de inclusão, a faixa etária da população do estudo varia de 40 a 97 anos. A maior parte destes moradores tem baixo índice de estudo, com até o ensino fundamental.

A grande maioria da população do estudo não consome frutos do mar, o que pode ser assumido para a população geral de Paracatu. Mais de 90% da população do estudo é abastecida pelo sistema de águas da COPASA, sendo apenas uma pequena parcela (<10%) consumidora de água de poço. Estes resultados reforçam a estratégia utilizada para avaliação dos teores de arsênio em águas de abastecimento público para verificação de exposição da grande maioria da população de Paracatu.

A maior parte do arsênio absorvido pelos pulmões ou sistema gastrointestinal é excretado pela urina, dentro de 1 a 2 dias. Por esta razão, medidas de arsênio urinário são os melhores indicadores de exposição recente ao arsênio. Assim, análises de arsênio em urina (poucos dias) e em sangue (horas) são utilizadas para avaliação de exposição ambiental recente (poucos dias), enquanto que as análises de arsênio em cabelos são utilizadas para avaliação de exposição a longo prazo (6 a 12 meses). Conseqüentemente, a quantificação de arsênio foi realizada nas três matrizes biológicas.

As concentrações de arsênio em sangue, urina e em cabelo na população amostrada em Paracatu e valores de referência são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Teores de arsênio em sangue ($\mu\text{g/L}$) e urina ($\mu\text{g/gC}$ e $\mu\text{g/L}$) e em cabelos ($\mu\text{g/g}$) em moradores adultos atendidos pelos PSF de Amoreiras e de Paracatuzinho e valores de referência

| <i>Níveis de Arsênio</i> | <i>Amoreiras</i> | <i>Paracatuzinho</i> | <i>p</i> | <i>Valores de Referência</i> | |
|--|------------------|----------------------|----------|------------------------------|-------------------|
| <i>Urinário As $\mu\text{g/gC}$</i> | <i>N= 439</i> | <i>N= 339</i> | | | |
| Média (DP) | 3,55 (3,46) | 2,15 (2,72) | <0.0001 | | |
| Mediana | 2,46 | 1,40 | | | |
| Min-Max | 0,06-26,6 | 0,02-27,15 | | | |
| <i>Urinário As $\mu\text{g/L}$</i> | <i>N= 439</i> | <i>N= 347</i> | | <i>N= 1.339</i> | <i>N= 2605</i> |
| Media (DP) | 3,31 (2,14) | 1,95 (2,05) | <0.0001 | 4.04 (2.01) * | - |
| Mediana | 2,91 | 1,39 | | - | 7,49 (6,9-8,12)** |
| Min-Max | 0,10-9,89 | 0,05-14,4 | | 0.7-30.3 | - |
| <i>Sangue As $\mu\text{g/L}$</i> | <i>N= 478</i> | <i>N=373</i> | | | |
| Media (DP) | 7,12 (2,98) | 7,26 (2,53) | 0.39 | - | |
| Mediana | 6,97 | 7,01 | | - | |
| Min-Max | 0,57-14,9 | 1,1-22,03 | | - | |
| <i>Cabelo As $\mu\text{g/g}$</i> | <i>N= 423</i> | <i>N=374</i> | | | |
| Media (DP) | 0,14 (0,7) | 0,14 (0,9) | n.s | - | |
| Mediana | 0,12 | 0,11 | | - | |
| Min-Max | 0,03-0,43 | 0,01-0,66 | | - | |

*Valor de Referência oriundo de resultados parciais de estudo realizado em São Paulo, SP em 2011 (dados ainda não publicados);

** CDC (National Health and Nutrition Examination Survey, anos 2007-2008; média geométrica)

Os teores médios (media geométrica) de arsênio total em urina na população norte-americana nos anos de 2003 e 2004 foi de 7,70 $\mu\text{g/L}$ ($n=2.557$) (Caldwell et al., 2009); e, segundo o National Health and Nutrition Examination Survey- NHANES, CDC , 2012, nos anos de 2005-2006 foi de 8,65 $\mu\text{g/L}$ ($n=2.576$) e nos anos de 2007-2008, o teor médio de arsênio em urina foi de 7,49 $\mu\text{g/L}$ ($n=2605$).

Em recente estudo foi definido que teores entre 1 e 5 $\mu\text{g/L}$ de arsênio em urina representam teores basais (“background”) de exposição. Estes teores foram gerados a partir de estudos epidemiológicos e dos valores obtidos no National Health and Nutrition Examination Survey, dos quais foram excluídas populações que consomem substancial quantidade de peixes (para eliminar a grande contribuição da arsenobetaina e outros arsenicais oriundos de frutos do mar nas medidas de arsênio total urinário presente na NHANES), ainda que não necessariamente, não representem riscos à saúde humana (NAS 2013).

Pode-se dizer, portanto, que os teores médios de arsênio em urina na população amostrada de Paracatu estão abaixo dos teores médios obtidos na população norte-americana e que os teores máximos obtidos na amostragem em Paracatu são próximos da mediana (14,9) obtida para 75% da população norte-americana (CDC, 2012). Adicionalmente, considerando-se os teores entre 1 e 5 $\mu\text{g/L}$ de arsênio em urina que representam teores basais (“background”) de exposição, mais adequados para a comparação, uma vez que os teores de arsênio urinário na população estudada em Paracatu provavelmente não tem contribuição de arsenobetaina (uma vez que tal população não tem por hábito o consumo de frutos do mar), os resultados indicam baixa exposição ambiental ao arsênio.

Há uma tendência a maiores teores de arsênio em urina na população atendida pelo PSF de Amoreiras do que a atendida pelo PSF de Paracatuzinho, e que está de acordo com os maiores teores de arsênio na atmosfera medidos nas regiões mais próximas da mineração de ouro, indicando maior exposição ambiental via inalação em área próxima à mineração de ouro.

Teores típicos de arsênio em sangue de indivíduos não expostos são $<1 \mu\text{g/L}$ (ATSDR, 2007), variando até 5 $\mu\text{g/L}$ (Santos, E., 2002). As concentrações de arsênio em cabelo de indivíduos não expostos são iguais ou $<1\text{ppm}$ (ou 1 $\mu\text{g/g}$).

Os teores médios (mediana) de As em sangue e cabelo da população da comunidade de Eslobão, Santana-Amapá, em estudo coordenado pelo Instituto Evandro Chagas resultaram em 5,5 µg/L (n=1.337) e 0,22 µg/g (n=512), respectivamente. Tal estudo conclui que os teores observados se encontram dentro de faixas de normalidade referidas na literatura (1 a 5 µg/L e 1 a 2 µg/g, para arsênio em sangue e em cabelo, respectivamente) (Santos, et al., 2002).

As concentrações de arsênio em sangue não diferem entre as áreas estudadas em Paracatu e estão, em média, acima dos teores encontrados em população não exposta. Esta matriz, diferentemente da urina, não é frequentemente utilizada em monitoramentos em função das dificuldades logísticas e por esta razão, mostra limitações nas comparações. Estes resultados, entretanto, merecem aprofundamento e serão objeto de diferentes análises durante a execução de uma das teses de doutorado ainda em andamento.

Os resultados de concentração de arsênio em cabelos da população amostrada em Paracatu não mostram diferenças significativas entre as duas áreas estudadas, se encontram abaixo de 1 ppm, estando, portanto, dentro da faixa de normalidade referidas na literatura.

Os resultados de concentração de arsênio obtidos nas três matrizes biológicas indicam baixo nível de exposição da população amostrada em Paracatu, em consonância com as estimativas obtidas pelas resultados analíticos das matrizes ambientais.

Em resposta ao Ofício –GAB.OF. 181/2012, no qual a Prefeitura de Paracatu solicitou “acesso a informações sobre os teores de arsênio em urina e/ou em outras matrizes, bem como exames clínicos ou biológicos que sirvam de monitoramento de exposição ocupacional ao arsênio, em trabalhadores da empresa Kinross”, a empresa Kinross enviou, em Ofício DMA 139/2012, um gráfico com as concentrações de arsênio em urina (µg/g de creatinina) de funcionários alocados em áreas com potencial exposição ao arsênio. Embora seja difícil de se obter o valor exato da concentração de arsênio pela forma gráfica em que se encontram os dados, pode-se dizer que grande parte dos trabalhadores mostram teores de arsênio em urina acima de 5 (µg/g de creatinina), sendo que muitos estão próximos a 10 (µg/g de creatinina); um próximo a 15 (µg/g de creatinina), um acima de 20 (µg/g de creatinina), dois acima de 25 (µg/g de creatinina) e um acima de 30 (µg/g de creatinina). Os limites de exposição ocupacional ao arsênio,

estabelecidos pela Portaria 3214 são teores de arsênio em urina, em $\mu\text{g/g}$ de creatinina: Índice Biológico Máximo Permitido (é o valor máximo do indicador biológico para o qual se supõem que a maioria das pessoas ocupacionalmente expostas não corre risco de dano à saúde. A ultrapassagem deste valor significa exposição excessiva) de $50 \mu\text{g/gC}$ e indica o Valor de Referência de Normalidade-VR (valor possível de ser encontrado em populações não expostas ocupacionalmente) de $10\mu\text{g/gC}$. Tais concentrações de arsênio em urina, incluindo o VR são maiores do que a média obtida por exposição ambiental em moradores de Paracatu. Assim, uma vez que os trabalhadores da mineração de ouro também são moradores de Paracatu, recomendamos que a Secretaria Municipal de Saúde tenha acesso aos monitoramentos periódicos de exposição dos trabalhadores com o objetivo de acompanhar as condições gerais de saúde daqueles que mostrem concentrações de arsênio em urina acima da média da população geral. Este acompanhamento poderá significar a geração de conhecimentos sobre a toxicologia do arsênio, trazendo inestimável contribuição aos conhecimentos científicos e de gestão da saúde no município.

c) Resultados da análise de rede sociais para estratégia de comunicação dos resultados à população de Paracatu

Em nossa amostragem houve uma ampla percentagem de moradores dos bairros atendidos pelo PSF de Amoreiras que tem preocupação com os potenciais efeitos à saúde humana por exposição ao arsênio (67%), enquanto que em Paracatuzinho, menos da metade dos entrevistados mostraram tal preocupação (49,3%). A respeito das fontes de informação, 8,4%, 17,9%, 19,9% e 18,3% das pessoas que foram entrevistadas nos bairros atendidos pelo PSF Amoreiras e 6,1%, 11,2%, 15,0%, 18,2% em Paracatuzinho recebem informações sobre a temática do As por meio da internet, jornais, televisão e rádio, respectivamente. A fonte de informação considerada mais confiável pela população foi a internet (71,4%) em Amoreiras e a televisão (87,5%) em Paracatuzinho.

Além disso, o mapeamento das redes pessoais de discussão sobre a temática do arsênio no meio ambiente e os aspectos associados à exposição humana e à saúde revelaram que uma importante percentagem de indivíduos (38,6%) em Amoreiras e 17,3% em Paracatuzinho, costumam conversar sobre estes temas com outras pessoas, incluindo membros da família, amigos, vizinhos e colegas de trabalho, membros de associações e

agentes de saúde. As relações interpessoais foram consideradas as de maior credibilidade nos bairros atendidos pelo PSF de Amoreiras (92,8%), onde os moradores mostram maior preocupação com os possíveis efeitos tóxicos à saúde humana associados à exposição ambiental ao arsênio.

Baseados nestes resultados, sugere-se consolidar uma plataforma na internet para apresentar os objetivos, metodologias e resultados da pesquisa e desenhar campanhas veiculadas na TV para apresentar os principais resultados do projeto. Análises das redes pessoais serão utilizadas para a formulação da estratégia de comunicação dos resultados científicos e deverá envolver distintos setores da sociedade. Seminários, palestras e material didático deverá ser elaborado em interação com a população, o que certamente trará melhores perspectivas de abordagem do tema. O aumento da difusão das informações é considerado como o primeiro passo para promover mudanças de comportamento visando o decréscimo de exposição e risco ambiental (Valente & Davis, 1999). As estratégias serão desenvolvidas junto à Prefeitura Municipal, representantes do poder público e à população de Paracatu.

Atividades complementares em andamento

As atividades complementares se relacionam à entrega individual dos resultados obtidos para a população de Paracatu que aceitou ao convite e fez parte deste projeto e à execução da estratégia de comunicação para o retorno dos resultados desta pesquisa para toda a população de Paracatu. Estas atividades serão realizadas durante os próximos 6 meses e será entregue um relatório das atividades, conclusões e recomendações até agosto de 2014.

Será consolidado e entregue à Prefeitura Municipal, um relatório técnico sobre as concentrações de outros metais, além de arsênio, quantificados em amostras de águas superficiais, solos e sedimentos amostrados em Paracatu, como contribuição para o conhecimento das características ambientais do município. Este relatório será apresentado à Prefeitura em abril de 2014.

Outras atividades complementares estão relacionadas à entrega à Prefeitura de todos os documentos científico produzidos no âmbito deste projeto de pesquisa, à medida que

sejam defendidas as dissertações, teses e publicadas as contribuições científicas em revistas especializadas.

CONCLUSOES

Os resultados obtidos indicam que:

(i) os teores médios de arsênio em urina da população amostrada em Paracatu (tanto nas áreas atendidas pelo PSF de Amoreiras quanto o bairro de Paracatuzinho, atendido pelo PSF Paracatuzinho) resultaram entre 1 e 5 $\mu\text{g/L}$ de arsênio, faixa de teores considerada basal de exposição; estão também abaixo dos teores médios encontrados na população norte americana (7,49 $\mu\text{g/L}$) e próximo dos teores observados em população brasileira urbana sem histórico de exposição ao arsênio, do Estado de São Paulo (4,00 $\mu\text{g/L}$). Tais resultados indicam baixa exposição ambiental da população de Paracatu ao arsênio;

(ii) As concentrações de arsênio em sangue não diferem entre as áreas estudadas em Paracatu e estão, em média, acima dos teores encontrados em população não exposta, que é menor do que 1 $\mu\text{g/L}$, sendo este biomarcador pouco utilizado;

(iii) Os resultados de concentração de arsênio em cabelos da população amostrada em Paracatu não mostram diferenças significativas entre as duas áreas estudadas, e encontram-se abaixo de 1 ppm, estando, portanto, dentro da faixa de normalidade referidas na literatura.

(iv) os exames clínicos de pacientes com histórico de problemas dermatológicos crônicos não detectaram casos de problemas pele reconhecidamente causados pela exposição crônica ao arsênio;

(v) As águas do sistema de abastecimento de Paracatu não mostram contaminação por As e assim, não representam via de exposição importante, estando de acordo com legislação pertinente e com os dados de monitoramento da COPASA;

(vi) a concentração média de As média calculada para o período de amostragem (maio de 2011 a junho de 2012) é de 5,7 ng/m³, com valores máximo de 18,8 ng/m³ e mínimo de 0,7 ng/m³;

(vii) as estações com maiores valores médios de concentração de As no período estudado são as Estações Alto da Colina, Arena (inclusive PM 10) e União, que se localizam na direção predominante do vento da região e estão mais próximas da área de mineração de ouro;

(viii) A concentração média de As no MP10 da Estação Arenas é de 5,1 ng/m³, com valores máximos 12,4 ng/m³ e mínimo de 1,7 ng/m³

(ix) O período seco, com menor precipitação e maior velocidade média do vento correspondeu ao período com maiores concentrações de As na atmosfera;

(x) A faixa de horário com maior velocidade dos ventos e rajadas está compreendida entre 15 e 21 horas, possivelmente incrementando a dispersão de poeiras produzidas pelas detonações da frente de lavra da mineração de ouro que ocorre dentro deste período;

(xi) Em média, a concentração de As no MP10 correspondeu a aproximadamente 30% da concentração no PTS

(xii) A concentração média de As se encontra dentro do esperado (5 a 7 ng m⁻³; Maggs, 2000) para áreas urbanas europeias e bem abaixo do esperado para áreas urbanas norte-americanas (20 a 100 ng m⁻³); mas acima do recomendado para a proteção da saúde humana considerando risco de efeitos cancerígenos de 1 caso para cada 100.000 pessoas expostas.

(xiii) É importante acompanhar os teores de As em MP10 e em MP 2,5.

(xiv) Os solos, sedimentos e águas fluviais das sub-bacias hidrográficas do córrego Rico e Ribeirão Entre Ribeiros (as quais se encontram na área de influência direta da mineração de ouro), via de regra, apresentam-se em não conformidade com as referências de qualidade definidas pelas Resoluções do CONAMA;

(xv) A qualidade e quantidade de águas da bacia do Córrego Rico melhoram ao receber contribuição de águas em quantidade e de boa qualidade do rio Espalha;

(xvi) A sub-bacia do rio Escuro (sub-bacia considerada como controle neste estudo), aonde se encontra a principal captação de águas de abastecimento de Paracatu (córrego Santa Isabel) apresenta boa qualidade das águas, em conformidade com a legislação;

(xvii) Os resultados de teores de As em minhocas indicam claramente que há disponibilização de As para a biota terrestre. Em ensaio agudo não foi possível verificar efeitos nocivos aos invertebrados, o que indica ausência de risco ecológico para a espécie testada. Entretanto, esta é uma linha de pesquisas a ser investigada.

CONCLUSÃO FINAL E RECOMENDAÇÕES

As concentrações de arsênio nas principais vias de exposição ambiental humana (águas de abastecimento doméstico e em material particulado na atmosfera) podem ser consideradas baixas. Os resultados mostram tendência a maiores teores de arsênio na atmosfera próximo à área da mineração de ouro e a favor da direção predominante dos ventos, ou seja, a partir da mineração de ouro em direção à área urbana.

Os resultados ambientais em geral indicaram baixa exposição humana ao arsênio e foram corroborados pelos resultados das concentrações de arsênio nas matrizes biológicas de sangue, urina e cabelo, revelando teores menores ou iguais a níveis considerados referenciais de normalidade ou até de populações não expostas, em vários países.

O estudo epidemiológico indicou que a população não mostra taxas de mortalidade por tipos de câncer com associação à exposição ao arsênio acima do observado para diversas cidades brasileiras, regiões e no país nem casos de dermatopatias referidas à exposição ao arsênio.

Os resultados do presente projeto devem ser considerados como retrato atual da exposição ambiental da população urbana de Paracatu e referência de níveis de contaminação ambiental e de exposição humana no município, que deverá desenvolver sistemas de monitoramento para o acompanhamento periódico destes níveis a longo prazo.

Deve-se considerar que o fechamento da mina Morro do Ouro está prevista para 2040, mas que ainda restará a área lavrada, a industrial e as bacias de contenção de rejeitos. É fundamental a comunicação sistemática e permanente e com a população para seu conhecimento e acompanhamento sobre os teores de arsênio (e/ou outros contaminantes) nas áreas de propriedades da mineradora de ouro, em áreas adjacentes e de influencia direta e em áreas de influência indireta, como fundamento para a discussão sobre os planos de fechamento da mina.

5. RECOMENDAÇÕES AO PODER PÚBLICO MUNICIPAL DE PARACATU

As atividades a curto prazo incluem o acesso à Secretaria Municipal de Saúde dos monitoramentos periódicos de exposição ao arsênio de trabalhadores da empresa de mineração de ouro com o objetivo de acompanhar as condições gerais de saúde daqueles que mostrem concentrações de arsênio em urina acima da média da população geral. Este acompanhamento poderá significar a geração de conhecimentos sobre a toxicologia do arsênio, trazendo inestimável contribuição aos conhecimentos científicos e de gestão da saúde no município. Outras atividades incluem: o apoio à conservação da bacia hidrográfica do rio Espalha, essencial para a manutenção da quantidade e melhoria da qualidade de águas na bacia do Córrego Rico; a avaliação dos tipos e da frequência de câncer na população jovem de Paracatu; o monitoramento de teores de arsênio em MP10 e em MP2,5 pelo menos nas estações de monitoramento Alto da Colina, Arena e União; a instalação de amostradores de qualidade de ar (total, MP10 e MP 2,5) para avaliação dos teores de metais com foco em chumbo, em área habitada próxima à mineração de chumbo e zinco; a quantificação dos teores de arsênio e caracterização do material sólido presente nas bacias de decantação de rejeitos da mineração do ouro, buscando avaliar a potencial dispersão atmosférica deste material, o comportamento de concentração de arsênio em área de alagamento e secagem

alternadas e cíclicas e a biodisponibilidade potencial do arsênio nestes materiais, como dados fundamentais para a discussão técnica sobre a qualidade ambiental resultante e fechamento da mina.

Ainda, é importante a continuidade do monitoramento de teores de metais em águas de abastecimento doméstico (superficiais e subterrâneas) no município e incremento na rede monitorada para incluir os poços pertencentes ao sistema alternativo de abastecimento doméstico sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Paracatu; a continuidade do monitoramento de concentração de metais em águas, sedimentos e solos nas bacias do Córrego Rico, Ribeirão Entre-Ribeiros e Escuro (com inclusão da medida de vazão fluvial) e o detalhamento em bacias hidrográficas com atividades agrícolas visando conhecer os teores de metais, incluindo arsênio, em produtos agropecuários locais, em especial vegetais, frutas e arroz (incluindo as sementes).

Sugere-se um estudo piloto de exposição ambiental ao arsênio em crianças, com interesse científico por efeitos sob baixas doses ambientais.

Para tanto recomenda-se ao Poder Público Municipal de Paracatu, a criação de um sistema de vigilância de saúde ambiental voltado para a avaliação da contaminação ambiental, avaliação de riscos e da exposição humana a metais (e/ou a outros poluentes de importância nas atividades antropogênicas/econômicas), em especial, mas não limitado, ao arsênio e ao chumbo, em Paracatu. Tais ações requerem o fortalecimento e a capacitação continuada, sobretudo do corpo técnico das Secretarias Municipais de Meio Ambiente e de Saúde, e incluem a aquisição de equipamentos e treinamento sob supervisão de instituição de capacidade técnica reconhecida. Sugere-se que pesquisas de avaliação da contaminação ambiental e de riscos associados à saúde humana e ao meio ambiente sejam contínuas e incentivadas em Paracatu, uma vez que o presente estudo deve ser considerado como uma referência, um marco zero na geração, organização e integração sistemática de dados sobre a exposição ambiental humana ao arsênio em Paracatu. Ressalta-se que a mudança nas características do minério de ouro explorado nos últimos anos (de oxidado para sulfetado) pode gerar impactos nos teores de arsênio atuais. Em um município que tem a mineração e a agropecuária como importantes atividades econômicas, o monitoramento ambiental não pode ser episódico, mas sistemático e abrangente. Para tanto, é fundamental o incremento da capacitação e do número de profissionais locais nestas áreas do conhecimento, o que pode ser realizado com o apoio das instituições de ensino e pesquisa existentes no município, em

cooperação técnica com centros consolidados de pesquisas interdisciplinares no Brasil e no exterior.

Igualmente importantes são as ações para permanente comunicação de qualidade com a população e o desenvolvimento de estudos sobre temas que incluem a avaliação dos impactos ambientais, econômicos e sociais das atividades econômicas, incluindo a mineração, e suas implicações sobre o desenvolvimento sustentável do território.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ASTDR, 2007. Toxicological profile for Arsenic. Agosto 2007; 500p.
- Caldwell, K.; Jones, R\$, Verdon, C; Jarret, J., Caudill, S; Osterloh, J. Levels of urinary total and speciated arsenic in the US population: National Health and Nutrition Examination Survey 2003-2004 Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology (2009), 19, 59-68
- CAL EPA- California Environmental Protection Agency. Arsenic in the environment., 2012
- CETESB. Qualidade do Ar: Poluentes. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-Básicas/21-Poluentes>>. Acesso em 8 jul. 2012.
- CONAMA. Resolução nº 420. December, 2009.
- George CM et al. 2013 Approaches to Increase As Awareness in Bangladesh An Evaluation of an As Education Program. Health Education & Behavior 40: 331-338.
- Mertens, F., Saint-Charles, J. & Mergler, D. 2012. Social communication network analysis of the role of participatory research in the adoption of new fish consumption behaviors. Social Science and Medecine 75: 643-650.
- National Research Council of the National Academies (2013). Critical aspects of EPA's IRIS assessment of inorganic arsenic. Interim report.
- National Health and Nutrition Examination Survey, 2008-2009
- PREFEITURA Municipal de Paracatu. História. Disponível em: <http://www.paracatu.mg.gov.br/index.php?m=layout_paginas_4.php&paginas_id=1>. Acesso em: 8 jul. 2012.
- Pillai A, Sunita G, Gupta VK. A new system for the spectrophotometric determination of arsenic in environmental and biological samples. Analytica Chimica Acta 2000; 408: 111-5.
- USEPA. Sampling Chemical Speciation of Arsenic in Water and Tissue by Hydride Generation Quartz Furnace Atomic Absorption Spectrometry – Method 1632. Office of Science and Technology Eng. and Analysis Division, Washington, DC, 1998.
- U.S. Environmental Protection Agency. Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air – Compendium Method IO-3.1: Selection, Preparation and extraction of Filter Material. Cincinnati, Ohio, 1999.
- USEPA/RAGS: Human Health Evaluation: Part A. 1989.
- Santos, E. 2002. Resultados do estudo de saúde humana realizado na Comunidade do Esbolão, Santana-Amapá.
- Valente, T.W., & Davis, R.L. 1999. Accelerating the diffusion of innovations using opinion leaders. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science* 566: 55-67.