



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

Coordenação de Processos Minerais – COPM

Funcate – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais

RELATÓRIO FINAL- AMBIENTAL

**“AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR ARSENIO
EM PARACATU-MG”**

Dezembro de 2018

VERSÃO 1

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO GERAL - MCTI/CETEM

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

Λ **Coordenação Geral**

CETEM

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

- Aline Lessa – Bolsista PIBIC de Engenharia Ambiental
 - Λ Participante da equipe de Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição ao arsênio;
- Gabriela Felix - Bolsista PIBIC de Engenharia Ambiental
 - Λ Participante da equipe de Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição ao arsênio;
- Yasmini Dopico - Bolsista PIBIC de Engenharia Ambiental
 - Λ Participante da equipe de Avaliação de Risco à Saúde Humana por exposição ao arsênio;
- Danielle Gomes – Secretária: Graduanda de Serviço Social
 - Λ 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
 - Λ 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.
 - Λ Avaliação de especiação de arsênio em águas subterrâneas e comportamento biogeoquímico do arsênio;
- William Zamboni de Mello – PhD – Especialista em Geoquímica Ambiental
 - Λ Avaliação de teores de arsênio em material particulado na atmosfera.
- Maria Carla Barreto- MSc- Geógrafa/ Doutorando da Geoquímica Ambiental
 - Λ 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
 - Λ 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

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

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.

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.

Este Relatório Parcial apresenta os principais resultados da avaliação dos níveis ambientais de arsênio em distintos compartimentos ambientais e foi utilizado como subsídio para traçar a estratégia do estudo epidemiológico.

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. Considerando-se o Plano de Ação estabelecido pela equipe técnica, foram desenhadas as estratégias de ação dos estudos ambientais e executadas as consequentes atividades, aqui brevemente descritas:

- 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.

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 São 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 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).

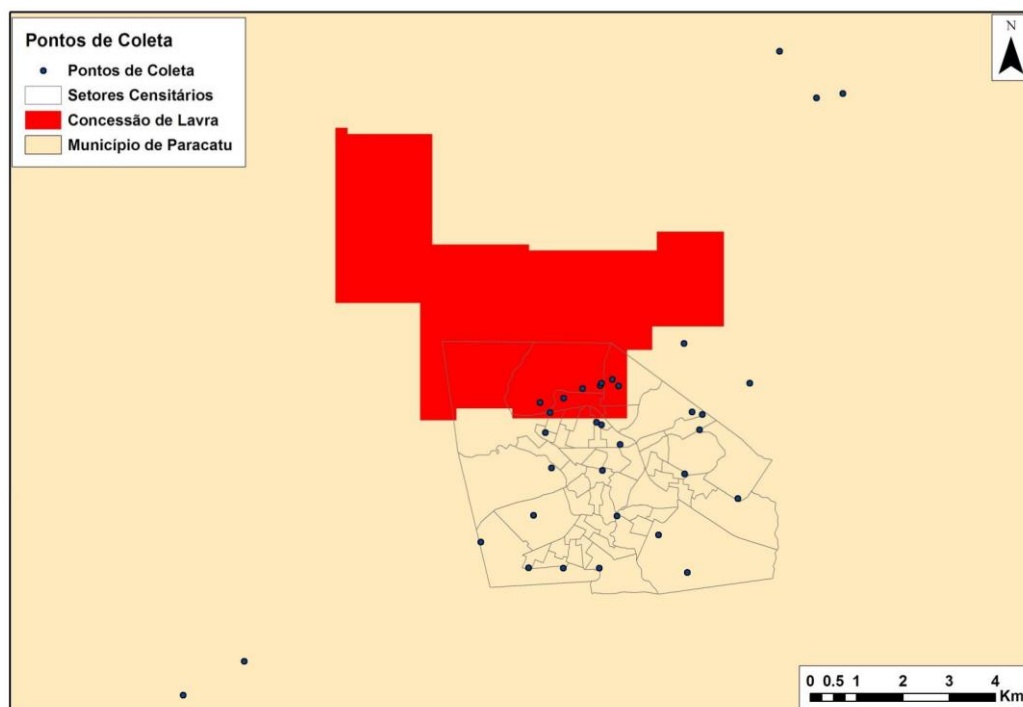
	AMOSTRA	DATA	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS	
AGUAS DE CONSUMO HUMANO	1	29/11/2011	DOW	S17°12'00,3"	W46°50'41,4"
	2	29/11/2011	DOW	S17°12'07,0"	W46°50'36,8"
	3	29/11/2011	MONSANTO	S17°11'55,5"	W46°50'41,0"
	4	29/11/2011	COOPERVAP/SEDE	S17°12'55,7"	W46°52'16,0"
	5	29/11/2011	COOPERVAP/GRÃOS	S17°14'15,3"	W46°50'56,0"
	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 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	-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)

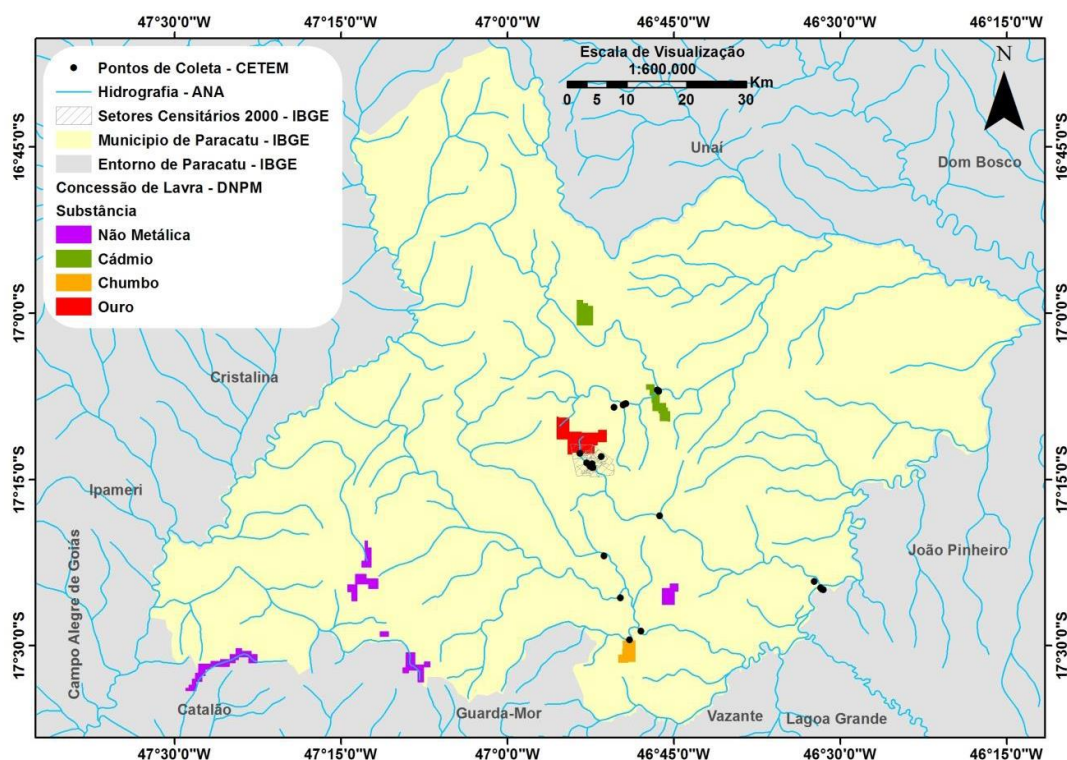


Figura 2: Localização cartográfica das estações de coleta de águas, sedimentos de corrente e solos em Paracatu (MG): visão panorâmica.

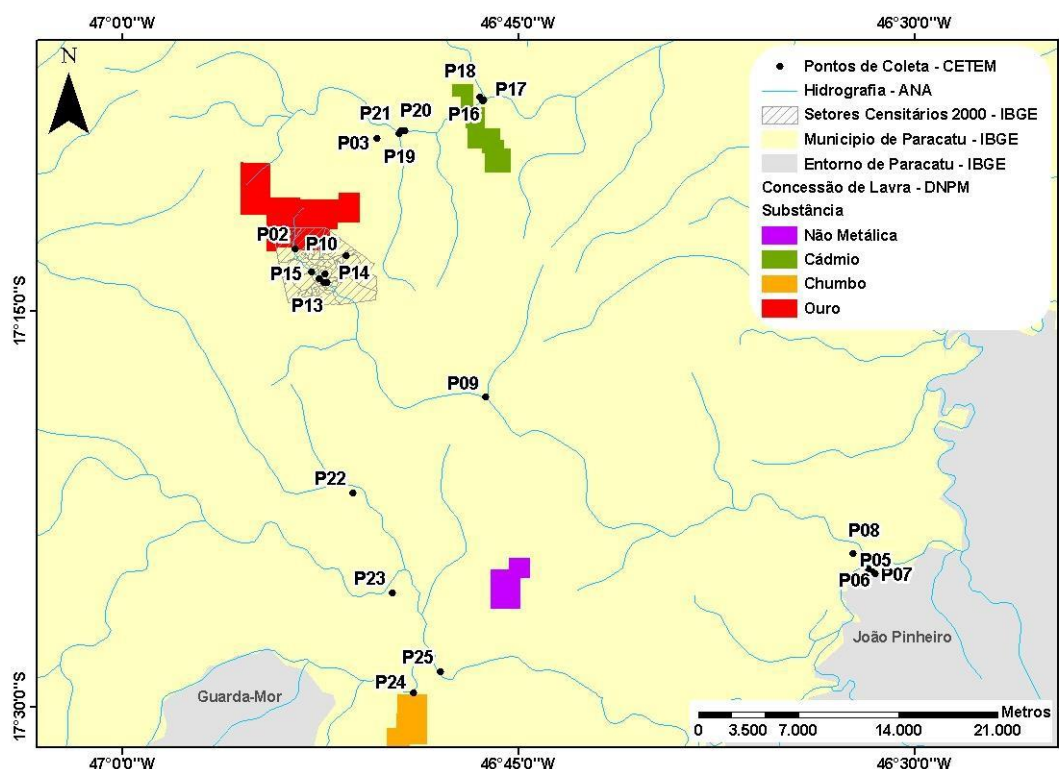


Figura 3: Detalhamento da distribuição espacial dos pontos de coleta em Paracatu (MG).

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

CONTROLE

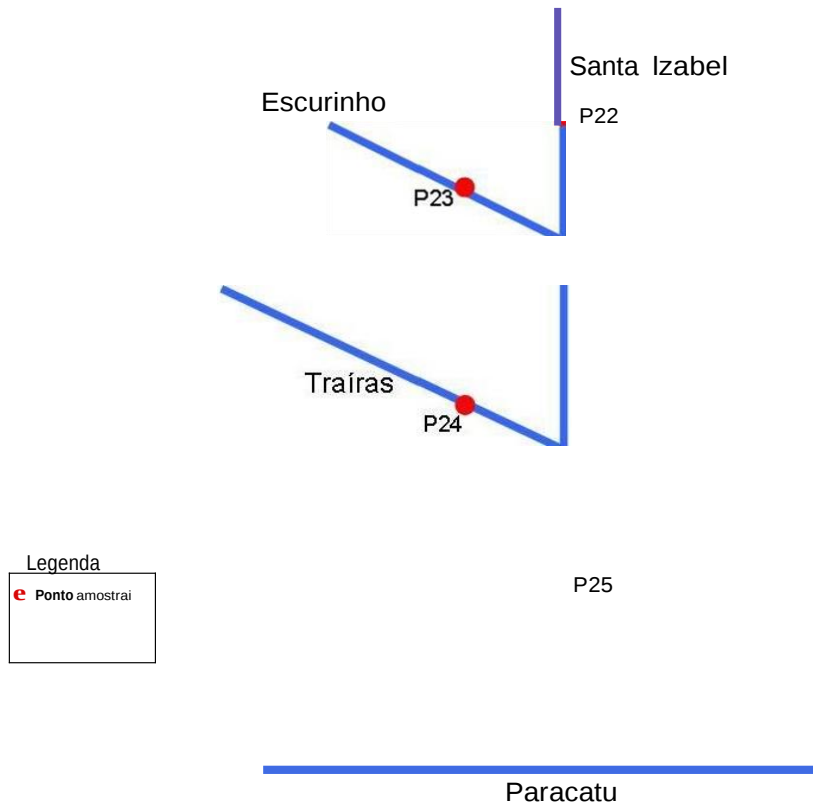


Figura 5. Posicionamento esquemático das estações de amostragem ao longo da bacia do Rio Rico no eixo hidrográfico da mineração de ouro e a área urbana da cidade de Paracatu.

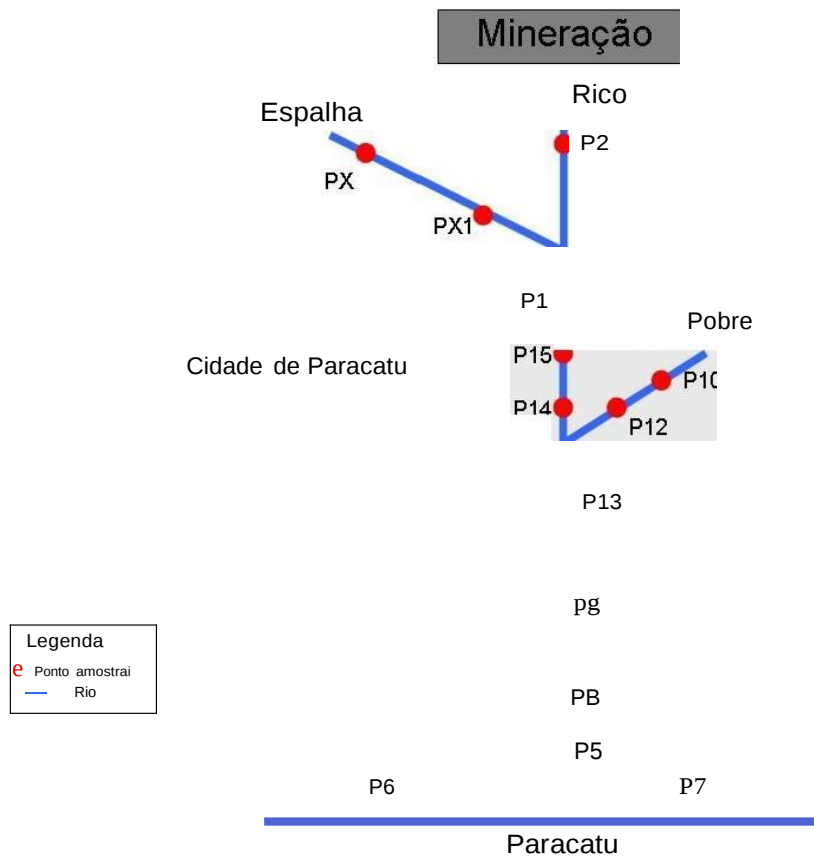
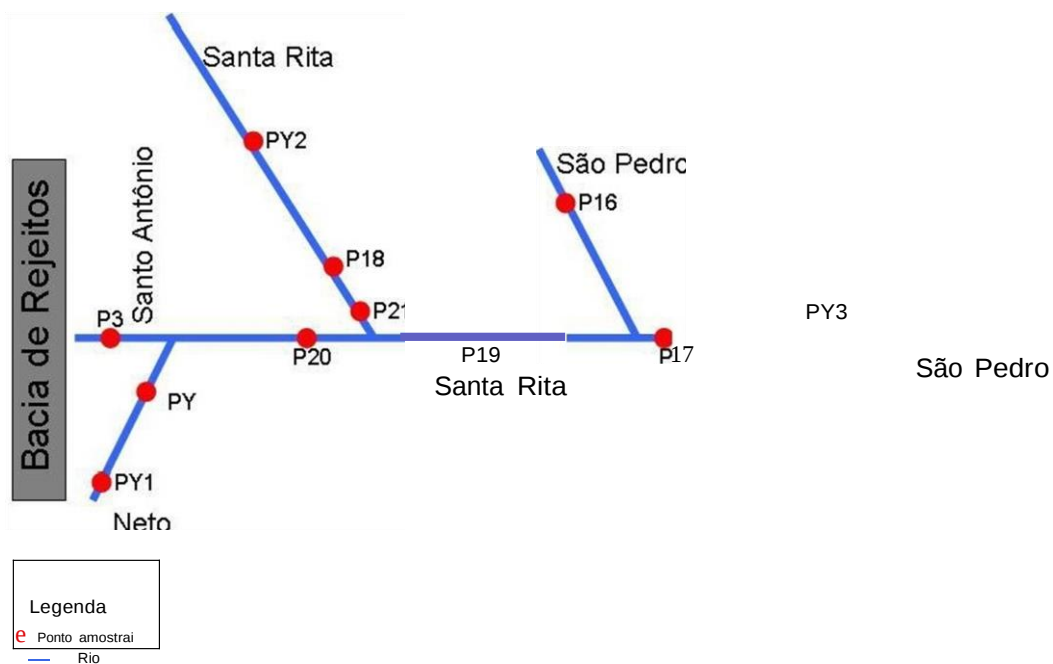


Figura 6. Posicionamento esquemático das estações de amostragem ao longo das sub-bacias do eixo hidrográfico de saída da Bacia de Rejeito.



A coleta das amostras de águas fluviais foi realizada com o auxílio de uma garrafa do tipo Van Dorn. Em campo, as amostras foram coletadas em recipientes plásticos previamente lavados com sabão do tipo Extran (10%). Após a lavagem, esses recipientes foram colocados em banho de HCl 1N, por 24 horas (USEPA, 1998), sendo depois lavados com água destilada e secos em estufa a 50°C. Na coleta, os frascos foram previamente rinsados 3 vezes com a água do local. Imediatamente após a coleta da amostra em campo, os recipientes foram armazenados em gelo. Posteriormente, as amostras, sob refrigeração, foram enviadas ao Laboratório do CETEM no Rio de Janeiro. Em laboratório, as amostras de águas foram filtradas em 0,45 µm, o filtrado foi acidificado com ácido nítrico ultrapuro até $\text{pH} < 2$ e então, as amostras foram despachadas para a determinação de As em laboratório comercial. Os filtros serão utilizados para análise de As no material particulado e encontram-se nos laboratórios do CETEM.

Os sedimentos fluviais de corrente foram preferencialmente coletados nas áreas de baixa energia (remanso) das drenagens, conforme indica a literatura especializada. A amostragem contemplou os primeiros 20cm do pacote sedimentar. Em campo, esses materiais foram acomodados em sacos plásticos, rotulados e posteriormente enviados ao Laboratório do CETEM no Rio de Janeiro (RJ). Os solos, fora da influência da área de inundação dos rios, foram coletados com o auxílio de um trado. A amostragem abrangeu os primeiros 10cm do perfil, após a remoção cuidadosa de vegetais e de outros detritos maiores, sendo coletado com material plástico. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, rotulados e despachadas ao Laboratório do CETEM.

Em laboratório, as amostras de solos e sedimentos foram secas à temperatura ambiente e depois desagregadas com o auxílio de gral e pistilo de porcelana. Após esta etapa, foram fracionadas utilizando peneiras de nylon de 1,7mm (10#) e 0,075mm (200#). Para a realização do peneiramento foi utilizado o agitador vibratório orbital ROTAP, marca PRODUTEST. Dessa forma foram geradas duas frações granulométricas, além da amostra in natura ($< 1,7\text{mm}$): 1,7mm-0,075mm (fração arenosa) e $<0,075\text{mm}$ (fração predominantemente silto-argilosa). A quantidade das referidas frações foram pesadas, visando a caracterização granulométrica.

As águas de abastecimento foram coletadas utilizando-se os mesmos tipos de frascos e de lavagem previamente descritos. As amostras de água foram coletadas após escorrer por 2 a 3 minutos, para desprezar a água residente na canalização. As torneiras foram previamente limpas com álcool 70 e os frascos, rinsados 3 vezes com a água a ser coletada. Imediatamente após a coleta da amostra em campo, os recipientes foram armazenados em gelo. Nas instalações laboratoriais da COPASA, as amostras foram acidificadas com ácido nítrico ultrapuro a $\text{pH} < 2$ e despachadas para determinação de As em laboratório comercial. Cinco pontos de amostragem foram coletados em triplicata e

analisados em três diferentes laboratórios.

A determinação de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos, temperatura e potencial de oxido-redução em amostras de água foi realizada em campo utilizando uma Multi Sonda, marca HANNA modelo Hi 9828. As análises de pH dos solos e sedimentos foram efetuadas por meio de eletrodo combinado imerso em uma suspensão solo:líquido na proporção 1:2,5 (água), conforme EMBRAPA (1997).

A quantificação das concentrações de As em amostras de água envolveu a utilização de 50mL de amostra, sendo a leitura realizada em ICP-MS (Modelo 42 IC-MS, Marca Perkin Elmer MS). O limite de detecção do método é de 0,5 µg/L.

A determinação do As em solos e sedimentos fluviais foi realizada na amostra in natura (< 1,7mm) e na fração silto-argilosa (<0,075mm).

O método empregado para análises de As nas frações in natura e silto-argilosa envolveu a solubilização de 5g de amostra pulverizada em água régia (3HCl:1HNO₃), sendo a determinação analítica efetuada por ICP-MS (Modelo 42 IC-MS, Marca Perkin Elmer MS). O limite de detecção do método é de 0,5 mg/kg.

a.3. Ensaio 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 Minerais 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).

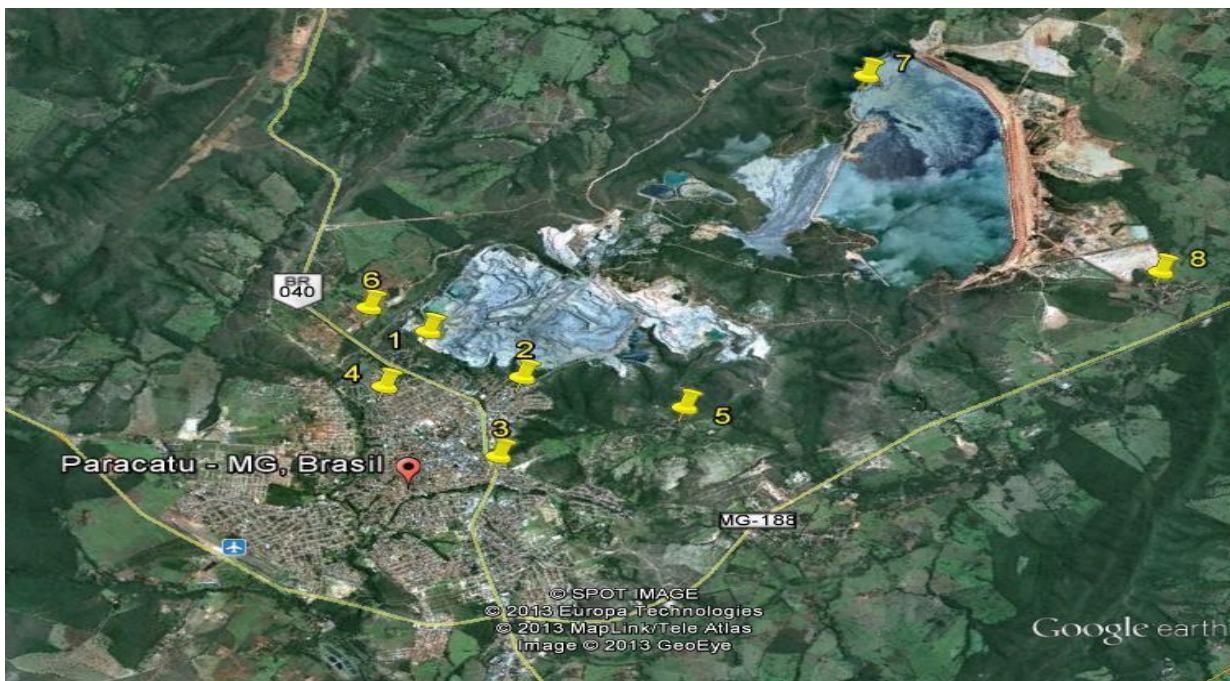


Figura 7. Localização das estações de amostragem cujos filtros dos amostradores de PTS e MP10 foram utilizados para determinação de As no material particulado atmosférico no município de Paracatu (MG).

RESULTADOS

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	($\mu\text{g/L}$)
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	<0,1 / <0,1
	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 admtido 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.

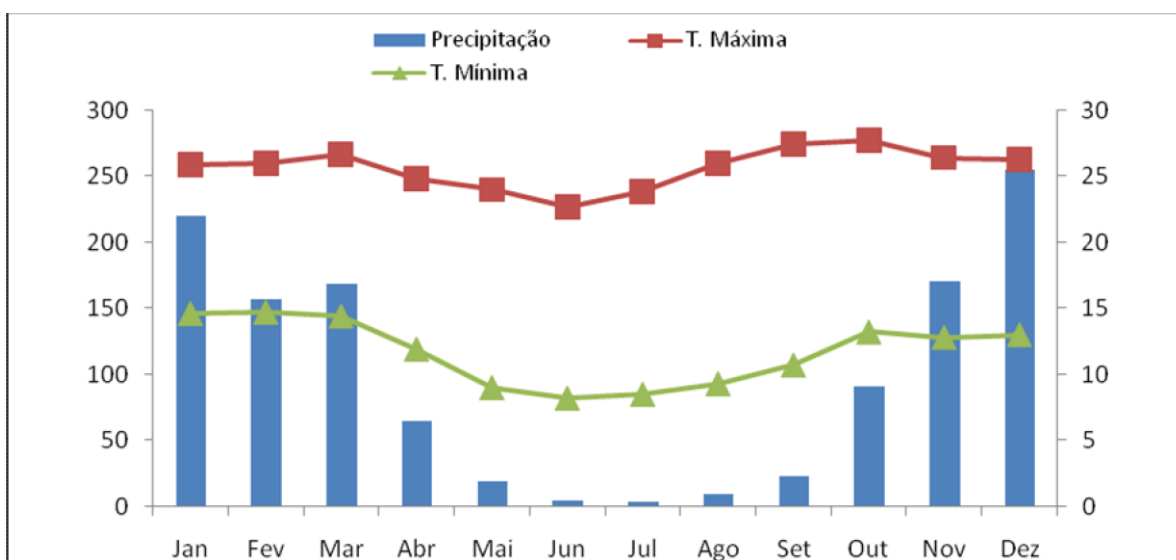


Figura 9: Normal climatológica para a cidade de Paracatu (MG). Dados de 1973 a 2011 (INMET).

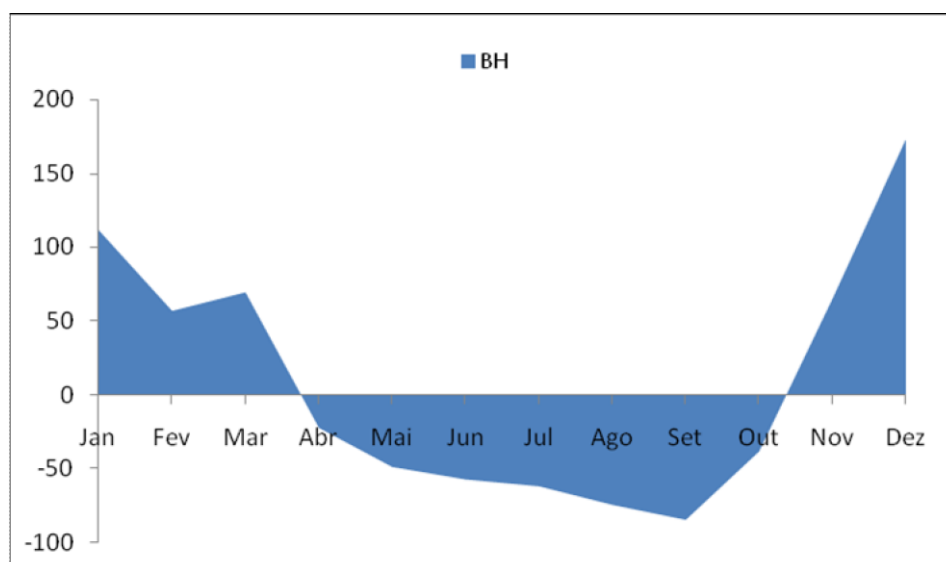


Figura 10. Balanço Hídrico em Paracatu (MG).

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 $< 1,7\text{mm}$), conforme definido pela legislação, e na fração silto-argilosa ($< 0,075\text{mm}$) 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 $0,45\ \mu\text{m}$, 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 $10\ \text{mg/L}$), 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).

superficiais: solos e sedimentos (<1,7 mm)						
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	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	<0,5	DI	5,6	
12			11,9	DI	DI	
06		Rio Paracatu		<0,5	DI	DI
07				<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		Escurinho	<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)	

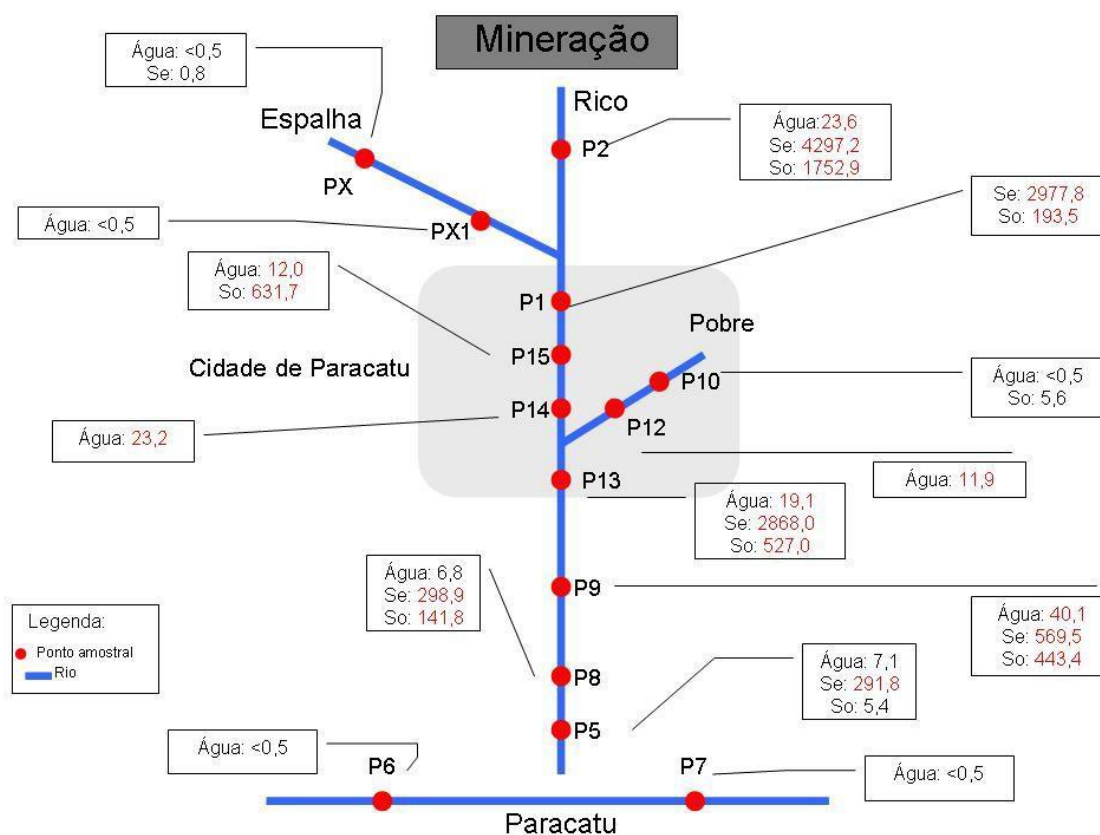
Em vermelho: Acima de 10 µg/L, valor orientador para águas classe 2 (CONAMA 357/2005) e da Portaria 518 do MS; 33 µg/L para águas classe 3 para usos de dessedentação animal e irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Acima de 35 mg/kg, valor de intervenção agrícola (CONAMA, 420/2009) 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 $\pm$ 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

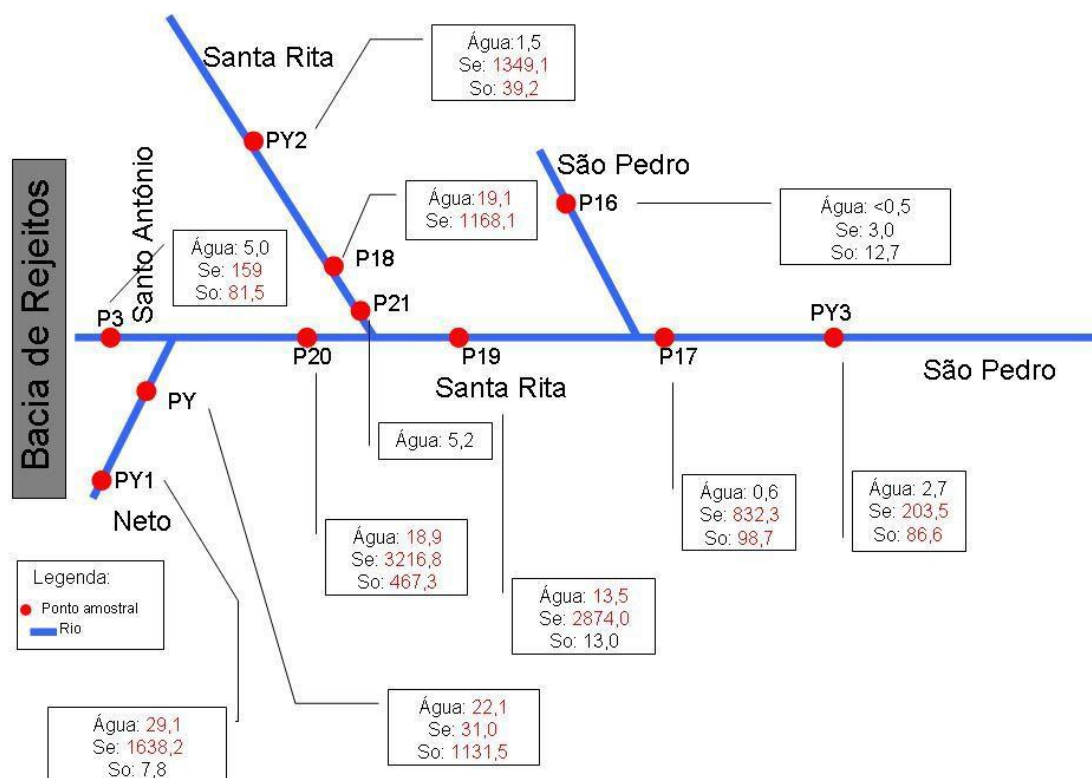
*dados excluídos para cálculo da média e do desvio padrão

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.

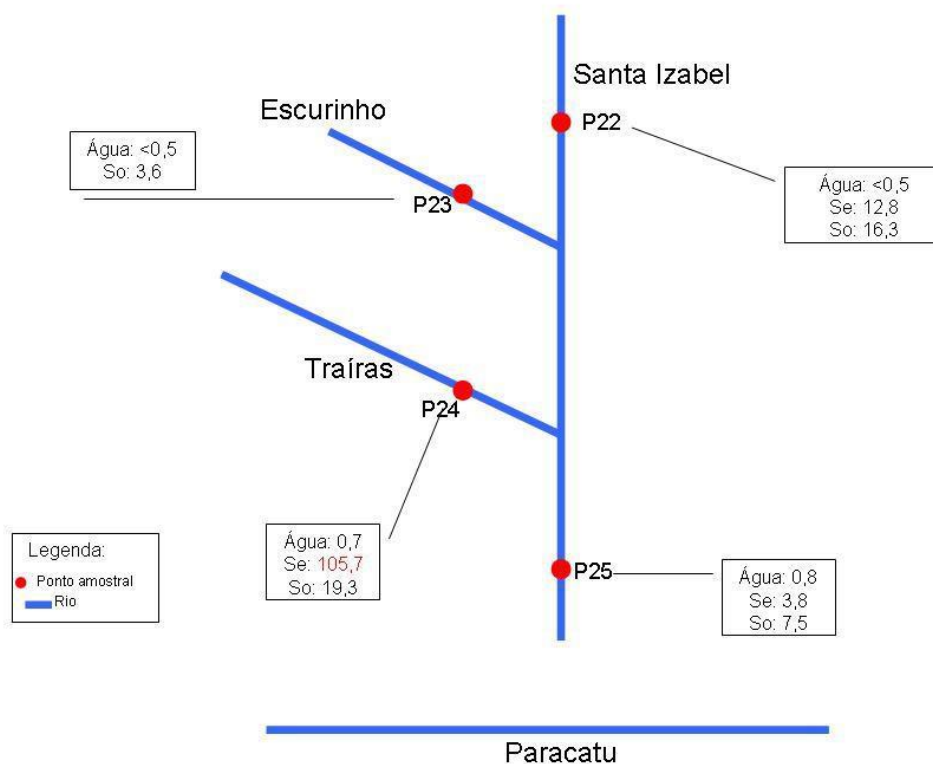
Quadro 3 - Teores de As (µg/L) em águas superficiais do Rio Santo Antonio, Ponto COPAM 14, em monitoramento da Kinross para as datas abaixo, relativas ao ano de 2010 e 2011.

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 (µS.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			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).

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.

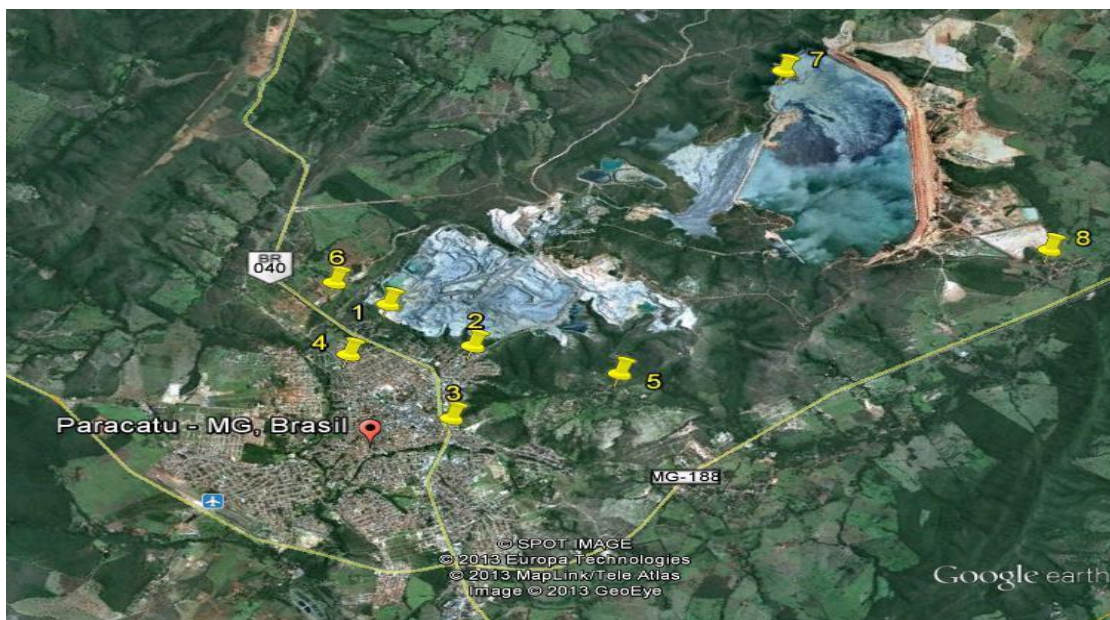
Amostras	No. Minhocas		Peso (mg)		% Perda de Peso
	Início	Final	Início	Final	
Controle	50	50	4,09 ± 0,31	3,42 ± 0,25	16,2 ± 1,64
Pt 02	50	50	4,11 ± 0,22	3,36 ± 0,18	18 ± 4,74
Pt 22	50	49	4,15 ± 0,31	3,38 ± 0,18	18,2 ± 6,22

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.

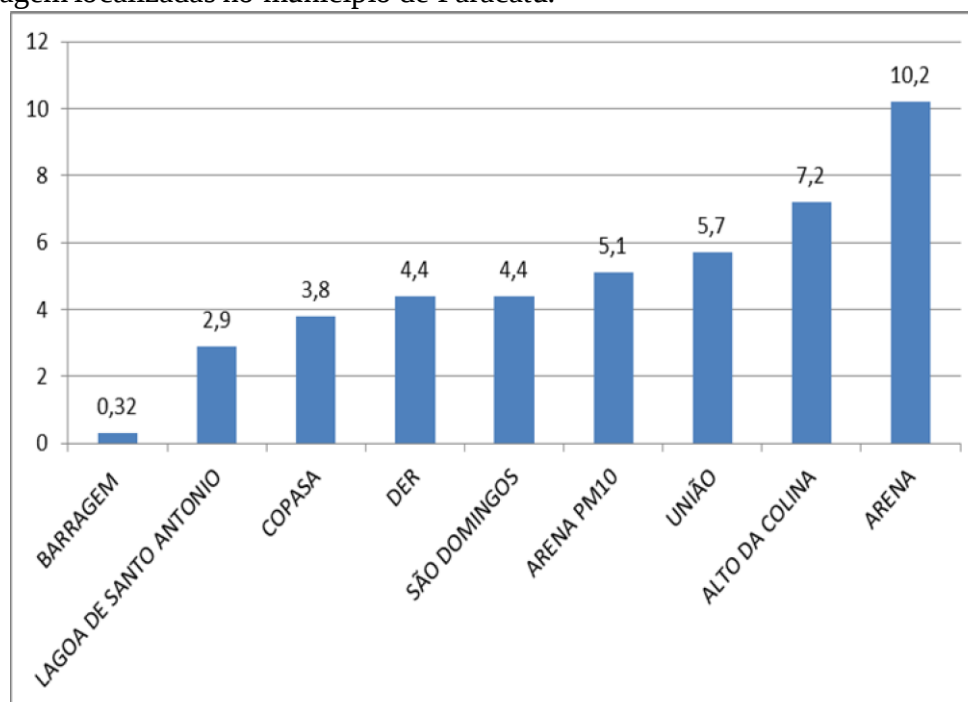
Figura 12. Imagem com a localização geográfica dos amostradores de material particulado atmosférico existentes no município de Paracatu.



Teores de arsênio no material particulado atmosférico

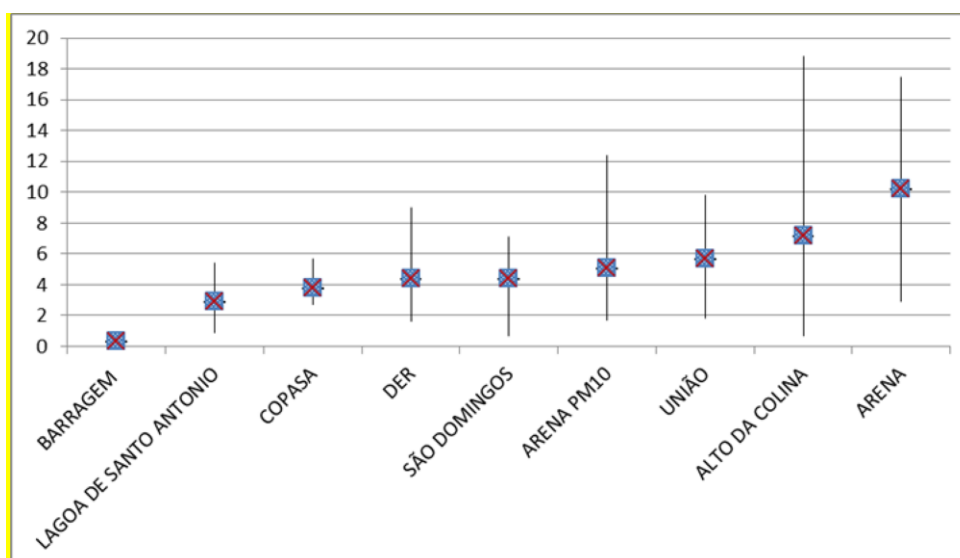
Os resultados das análises de As (ng/m^3 ; massa de As por volume de ar) no PTS e no MP10, expressos como média aritmética anual, oriundos de uma amostragem por mês durante 12 meses, são apresentados no Gráfico 1.

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.

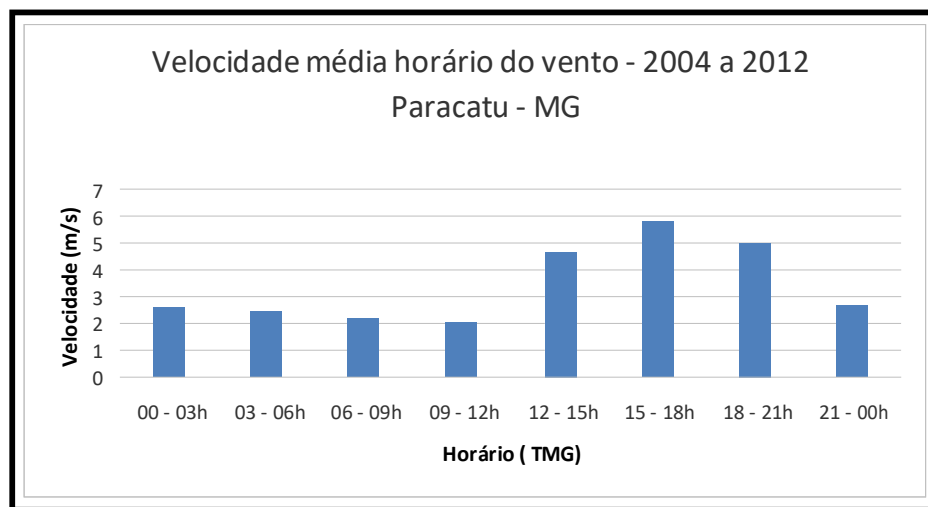
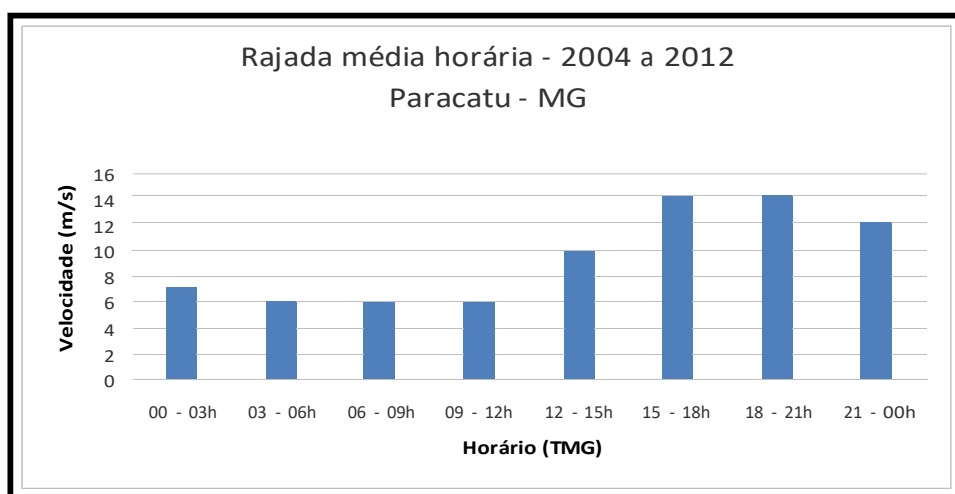


Gráfico 3. Velocidade média de ventos em eventos de rajadas no município de Paracatu no período de 2004 a 2012.



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.

CONCLUSOES

Os resultados obtidos indicam que:

(i) 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;

(ii) 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;

(iii) 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;

(iv) 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

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

(vi) 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;

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

(viii) 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.

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

(x) 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;

(xi) 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;

(xii) 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;

(xiii) 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 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.

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).

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ASTDR, 2007. Toxicological profile for Arsenic. Agosto 2007; 500p.
- Brasil. Ministério da Saúde -Portaria 518 do Ministério da Saúde. Qualidade de água. Disponível em: <[HTTP://www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria51804.pdf](http://www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria51804.pdf)>.
- 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-Basicas/21-Poluentes>>. Acesso em 8 jul. 2012.
- CONAMA. Resolução nº 420. December, 2009.
- CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). 2004. Resolução 344. Disponível em: <<http://www.ibrapam.com.br/leis/344%202004%20Dragagem.pdf>>. Acessado em: Março/2011.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Resolução 357. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acessado em: Março/2011.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2009. Resolução 420. Disponível em: <www.iusnatura.com.br/News34/news03_arquivos/CONAMA_420_09.pdf>. Acessado em: Março/2011.
- 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.
- 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. 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.