



Avaliação da Contaminação Ambiental por Arsênio e Estudo Epidemiológico da Exposição Humana em Paracatu-MG - Brasil

Zuleica Carmen Castilhos ¹
Eduardo Mello De Capitani ²
Iracina Maura de Jesus ³
Edison Dausacker Bidone ⁴
William Zamboni de Mello ⁵
Marcelo de Oliveira Lima ⁶
Kleber Raimundo Freitas Faial ⁷
Lidiane Raquel Verola Mataveli ⁸
Luciana Juncioni de Arauz ⁹
Lilian Irene Dias da Silva ¹⁰
Aldo Pacheco Ferreira ¹¹
Renata Souza Távora ¹²
Frédéric Mertens ¹³

RESUMO

Apresentamos um estudo interdisciplinar onde condições ambientais, sociais e de saúde são integradas para avaliar o risco de exposição ao arsênio na população de Paracatu, devido à exploração da maior mina de ouro a céu aberto do Brasil. O estudo possui três fases: avaliação da contaminação ambiental;

¹ Doutorado em Geociências (Geoquímica) pela Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil. Tecnologista no Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, Brasil. zcastilhos@cetem.gov.br

² Doutorado em Saúde Coletiva pela Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Brasil. Professor na Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Brasil. capitani@fcm.unicamp.br

³ Doutorado em Saúde Coletiva pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. Pesquisadora no Instituto Evandro Chagas, IEC, Brasil. iracinajesus@iec.pa.gov.br

⁴ Doutorado pelo Institut National Polytechnique de Lorraine - Nancy - France, INPL, França. Professor na Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil. ebidone@yahoo.com.br

⁵ Doutorado em Earth Sciences (Geochemical Systems) pela University of New Hampshire, UNH, Estados Unidos. Professor na Universidade Federal Fluminense, UFF, Brasil. wzamboni@id.uff.br

⁶ Doutorado em Química pela Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. Pesquisador no Instituto Evandro Chagas, IEC, Brasil. marcelolima@iec.pa.gov.br

⁷ Doutorado em Química pela Universidade Federal do Pará, UFPA, Brasil. Pesquisador no Instituto Evandro Chagas, IEC, Brasil. kleberfaial@iec.pa.gov.br

⁸ Doutorado em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Brasil, com período sanduíche em Centre National de la Recherche Scientifique. Pesquisadora no Instituto Adolfo Lutz, IAL, Brasil. lidianemataveli@gmail.com

⁹ Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas-USP, FCF-USP, Brasil. Pesquisadora no Instituto Adolfo Lutz, IAL, Brasil. ljarauz@ial.sp.gov.br

¹⁰ Doutorado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. Especialista de Laboratório no Centro Tecnológico de Soluções Sustentáveis, CTSS, Brasil. lidias@cetem.gov.br

¹¹ Doutorado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil. Tecnologista em Saúde Pública na Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Brasil. aldopachecoferreira@gmail.com

¹² Doutorado em andamento em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília, UnB, Brasil. Mestrado em Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Desenvolvimento Sustentável, CDS/UNB, Brasil. renata.tavora@gmail.com

¹³ Doutorado em Sciences de l'Environnement pela Université du Québec à Montréal, UQAM, Canadá. Doutorado em Ciências pela Université Libre de Bruxelles, ULB, Bélgica. Professor na Universidade de Brasília, UnB, Brasil. mertens.br@gmail.com

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

estudo epidemiológico de exposição ambiental humana; exame dos fatores associados aos comportamentos para reduzir o risco de exposição. As águas de consumo humano na área urbana não estão contaminadas com arsênio. Os teores de arsênio em urina indicam exposição mais alta em bairros próximos à mina, em concordância com os dados sobre material particulado atmosférico. A taxa de mortalidade por câncer não se mostrou superior aos controles. As redes sociais e relações de gênero são chave na adoção de comportamentos preventivos. Recomenda-se o estabelecimento de um Programa de Vigilância da exposição ao arsênio, com envolvimento do SUS, ao nível municipal, estadual e federal.

Palavras-Chave: Arsênio, Mineração de ouro, Saúde ambiental, Paracatu.

A preocupação com a contaminação ambiental por arsênio (As) e seus riscos para a saúde pública em Paracatu-MG resulta principalmente: 1) da presença da maior mina de ouro a céu aberto do Brasil, no “Morro do Ouro”, na porção norte da área urbana do município, distante poucos metros de residências; 2) da associação do ouro com minerais de As; 3) do processamento de grandes volumes de rochas, uma vez que o minério exibe um teor de ouro de 0,4 g/tonelada e uma mineralogia na qual este teor aumenta com o crescimento do teor de minerais sulfetados (principalmente arsenopirita) e, 4) de denúncias apresentadas ao longo dos últimos anos, em jornais locais e em sites da internet, de possível exposição humana excessiva ao As em Paracatu.

Paracatu é uma cidade histórica, situada no noroeste de Minas Gerais, a 230 km de Brasília, com uma economia fortemente baseada na agricultura de grãos e no setor mineral (ouro, zinco, chumbo e calcário). Com cerca de 85.000 habitantes, mostrou taxa anual de crescimento populacional de 1,7% e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,760 (IBGE 2010; Prefeitura Municipal de Paracatu 2012).

A mineração de ouro em pequena escala faz parte da história de Paracatu, enquanto a atividade industrial de ouro foi iniciada em 1977. No “Morro do Ouro”, de 1987 a 2006 foi explotado o ouro oxidado, quando a atividade também sobre o minério de ouro sulfetado foi estabelecida. Processando cerca de 55 megatoneladas (Mt), foram produzidas 15 toneladas de ouro em 2013. O conteúdo de sulfetos é, em média, de 3 a 4%, sendo a arsenopirita, a pirita e a pirrotita as formas mineralógicas mais comuns do As, e também a galena, esfalerita e calcopirita, que são sulfetos não arsenicais. A mina opera 24h por dia, ocupa 25.986 hectares (ha) e seu fechamento está previsto para 2030 (Sims 2014). A estrutura física inclui a mina a céu aberto, duas plantas de beneficiamento com

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

capacidade nominal de 61 Mt, duas bacias de contenção de rejeitos e infraestrutura relacionada (Henderson 2006).

Em 2010, a Prefeitura Municipal de Paracatu-MG solicitou ao Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações - MCTIC, um estudo para quantificar a exposição humana ambiental ao As. O CETEM, para responder a esta solicitação, reuniu um grupo interdisciplinar de pesquisadores de seis instituições públicas: Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF); Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS/UnB; Instituto Evandro Chagas (SVS/MS); Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (FIOCRUZ); Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). No decorrer do estudo, o Instituto Adolfo Lutz, da Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo, foi também integrado à equipe.

Este estudo buscou gerar um conhecimento interdisciplinar por meio da integração dos resultados dos diversos componentes da pesquisa (Weihs & Mertens 2013), no intuito de alcançar uma compreensão mais completa das diversas dimensões da exposição ao As em Paracatu. Partiu-se da hipótese de que a população de Paracatu estaria exposta a altos teores de As e que esta exposição ambiental crônica, diária e por longo tempo, teria como consequência elevados teores de As no organismo e elevado número de mortes por câncer (principalmente de pulmão, fígado e bexiga) decorrente desta específica exposição, quando comparado com outros municípios e/ou regiões.

REVISÃO DA LITERATURA

O As é um contaminante ambiental encontrado no ar, águas e alimentos, e as fontes de contaminação são tanto naturais quanto antropogênicas. É encontrado principalmente em rochas ricas em minérios metálicos não-ferrosos como cobre, chumbo e ouro, e emitido por vulcões. Altos teores de As em águas, oriundos da lixiviação do As de rochas e solos, têm sido encontrados em áreas formadas durante o período pré-Andes e pré-Montanhas Rochosas, sendo esta a razão dos problemas de contaminação por As nos Estados do Oregon e Alaska nos Estados Unidos da América (EUA), em diversas regiões na Argentina e no Chile. Em geral, nesses locais, e também em Bangladesh e na Índia, os teores de As em águas de consumo humano, naturalmente contaminadas, são de 100 a 1000 $\mu\text{g L}^{-1}$ ou ainda maiores. Grande parte dos estudos sobre toxicidade de As trata da exposição ambiental via oral, pela água de consumo humano naturalmente contaminada com As inorgânico em alta concentração (Ravenscroft et al. 2009).

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

O As possui diversas formas químicas, mas o As inorgânico é considerado a forma mais tóxica deste elemento. O As foi classificado como cancerígeno humano (Grupo I) pela Agência Internacional para Pesquisas sobre Câncer (IARC, em inglês *International Agency for Research on Cancer*) e pela Agência Ambiental Norte-Americana (em inglês *U.S. Environmental Protection Agency*) (Grupo A) (IARC 2012; U.S. EPA 2012), o que significa que o nível de incerteza associado a esta classificação é baixo. Uma grande variedade de efeitos adversos à saúde, incluindo câncer em órgãos internos como pulmão, fígado, bexiga e rim (IARC 2012) e de pele, além de efeitos cardiovasculares e neurológicos, têm sido atribuídos à exposição crônica ao As, principalmente por via oral através da ingestão de águas.

Excesso de incidência de câncer de pele, pulmão, fígado, rins e bexiga tem sido observado em populações moradoras de regiões como Antofagasta, no Chile, na Província de Córdoba, na Argentina, Bangladesh e Bengala Ocidental, na Índia e Taiwan, secundário à ingestão de águas de beber com concentrações de As acima de $50 \mu\text{g L}^{-1}$ (Smith et al. 2000; ATSDR 2007; Ravenscroft et al. 2009; IARC 2012).

Estudos relacionados à exposição via inalação do As presente em material particulado atmosférico focalizam predominantemente na exposição ocupacional (em trabalhadores de fundição de Zn, Cu e de Pb e refinarias, principalmente) (IARC 2012). Smith et al. (2009), baseados em dados de trabalhadores expostos por via inalatória ao As em fundição de cobre, encontraram incremento de câncer de pulmão na população por via inalatória relacionado a teores de As na urina da ordem de $100 \mu\text{g L}^{-1}$; e que o As inorgânico tem similar potência de causar câncer nos pulmões independentemente da via de exposição, se oral ou inalatória. Entretanto, outros estudos consideram o câncer de pulmão como efeito crítico da exposição ao As via inalação (European Commission 2001).

Em termos gerais, em situações de exposição não-ocupacional a inalação contribui com menos de 1% da dose total de As a que a população está ambientalmente exposta. Estudos que relacionam a exposição ambiental por inalação predominantemente consideram que as fundições, principalmente de Zn, Pb e Cu são fontes de emissão de pequenas partículas ($> 1 \mu\text{m}$) enriquecidas com As para o ambiente externo à indústria (ATSDR 2007; Maud & Rumsby 2008).

Alimentos também podem ser importantes fontes de As. Teores de As em peixes de águas salgadas podem ser bastante elevados, mas trata-se de As orgânico, de reconhecida baixa toxicidade e de fonte natural marinha, enquanto por outro lado não são esperados elevados teores de As em peixes de água doce (Prohaska & Stinger 2005). O consumo de arroz cultivado em solo e água

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

contaminados com As tem sido indicado como importante fonte de exposição humana, bem como alguns sucos industrializados de frutas. Entretanto, a capacidade de absorção de As por outras plantas, exceto o arroz, é ainda assunto de debate (Williams et al. 2014).

O As inorgânico contido nas águas de beber ou em material em suspensão no ar é, em geral, bem absorvido pelo organismo humano. Nem todas as formas químicas de As inorgânico, porém, passam para a circulação sanguínea após a ingestão ou inalação, como os sulfatos e sulfetos, que não são praticamente absorvidos. Após a absorção, o As se distribui pelo corpo facilmente, e passando pelo fígado é metabolizado, apesar de que ainda tem sido discutido o papel do metabolismo na detoxificação ou toxicificação do As. Em termos gerais, o metabolismo do As no organismo humano envolve a metilação, ou seja, a transformação do As inorgânico em moléculas orgânicas, menos tóxicas (ácido monometilarsênico-MMA e ácido dimetilarsênico-DMA) que são então excretadas pelos rins (Hughes 2002; De Capitani 2011). Ainda, uma parte do que foi absorvido vai agir nos tecidos sem transformação, e outra parte é excretada na urina, também sem biotransformação (Sakuma et al. 2003).

O tempo de meia vida do As no organismo humano (período de tempo necessário para a concentração inicial diminuir 50%) é de apenas algumas horas (~10 h) e sua excreção é predominantemente (70%) por via urinária, mas também se liga à queratina presente no cabelo e em unhas. Para avaliar o grau de exposição das pessoas, seja ocupacional ou ambiental, utiliza-se a dosagem de As em líquidos e tecidos biológicos. A análise de As nas matrizes urina e sangue avalia níveis de exposição aguda (dias) enquanto que a análise de As em cabelo avalia exposição crônica (6 meses a 1 ano) (Lauwerys & Hoet 1993; De Capitani 2011). As matrizes mais utilizadas para avaliação da exposição ocupacional e/ou ambiental ao As são a urina e o cabelo, por serem procedimentos não invasivos, enquanto o sangue tem se mostrado uma matriz com baixa associação à exposição ambiental (Smith & Steinmaus 2000; Lauwerys & Hoet 2001; Sakuma et al. 2003).

O padrão característico de mudança na pigmentação da pele causada por As (hiperpigmentação, hipopigmentação, ou ambas) é provavelmente o indicador e diagnóstico clínico mais sensível, e mais precoce, de exposição crônica (muitos anos) ao As (Tondel et al. 1999; Mazumder 2000; Ahsan et al. 2006). Outra alteração da pele, bastante característica de arsenicismo crônico, como a doença é conhecida, é a hiperqueratose palmar (das mãos) e plantar (dos pés), ou seja, o engrossamento da epiderme na forma de extensas pápulas e verrugas (Mazumder 2000).

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

MÉTODOS

Esta pesquisa interdisciplinar foi conduzida por uma equipe organizada em coordenações de subáreas do conhecimento, sendo os autores deste artigo os seus coordenadores. Inicialmente, cada coordenação elaborou revisão bibliográfica, cujos achados foram apresentados e discutidos em uma série de seminários técnicos, dos quais resultou um Plano de Ação. O Plano de Ação foi concebido a partir dos termos de referência teórica e metodológica adotados pela equipe, com atividades a serem realizadas em três fases: 1) avaliação da contaminação ambiental, que subsidiou o desenho do estudo epidemiológico; 2) estudo epidemiológico para avaliação de exposição humana ao As; e, 3) o estudo sobre o papel das fontes de informação e das redes sociais nos comportamentos para diminuir a exposição da população.

PLANO DE AÇÃO E ETAPAS REALIZADAS

O Plano de Ação foi estabelecido considerando-se que os achados sobre a contaminação ambiental (1ª. Etapa) por As indicariam potenciais fontes de exposição ambiental humana, servindo como subsídio para o desenho do estudo epidemiológico destinado a medir os níveis da exposição ambiental humana e identificar agravos à saúde (2ª. Etapa). Também foi realizado um estudo para identificar e caracterizar as fontes de informação sobre o As consideradas as mais confiáveis pela população (3ª. Etapa), para permitir o planejamento mais eficiente de campanhas de difusão dos principais resultados ambientais e epidemiológicos.

1ª. ETAPA – AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR AS

Esta fase incluiu a quantificação de As na principal via de exposição humana, e para a maior parte da população de Paracatu: as águas de abastecimento doméstico para consumo humano, na área urbana. A caracterização de níveis de As em material particulado atmosférico, outra via de exposição de potencial importância, foi priorizada na sequência dos estudos. Outros compartimentos ambientais também foram avaliados, como as águas superficiais, águas subterrâneas, sedimentos de fundo e solos, nas três sub-bacias hidrográficas do Rio Paracatu.

a) As em águas de abastecimento público para consumo humano

No município de Paracatu há três sub-bacias hidrográficas do Rio Paracatu: Sub-bacia do Córrego Rico, Sub-bacia Ribeirão entre Ribeiros e Sub-bacia do Rio Escuro. O abastecimento público doméstico do município utiliza águas superficiais da Sub-bacia do Rio Escuro, situada na área rural, ao

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

sul do município (distante cerca de 40 km da área sob influência direta da mineração de ouro) e conta com complementação, em períodos de estiagem, de águas subterrâneas de poços artesianos distribuídos pelo município. A amostragem de águas de consumo humano, referenciadas ao cadastro técnico da COPASA, que atende 97% da população urbana, abrangeu desde a captação de águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, a água tratada, após armazenamento, na distribuição e águas de torneiras em residências, sobretudo naquelas localizadas no “fim de linha” do sistema de distribuição, totalizando 49 pontos de amostragem. As análises de As total em águas foram realizadas nos laboratórios ACME e Labáguas da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), ambos utilizando Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS), que é uma técnica de análise multielementar simultânea, que se baseia na alta capacidade do argônio se ionizar, formando e mantendo o plasma estável, com altas temperaturas (8.000 a 10.000 K) e alta densidade eletrônica, capaz de ionizar e determinar a maioria dos elementos da Tabela Periódica, com limites de detecção (LD) muito inferiores aos da maioria das técnicas convencionais.

b) As no material particulado atmosférico

As amostras de filtros contendo material particulado (MP) atmosférico são referentes a oito estações de amostragem existentes no município. A localização geográfica e a denominação das estações estão indicadas na Figura 1. As estações, distribuídas no município, foram instaladas e são gerenciadas pela mineradora de ouro, que opera no local. Todas as estações possuem amostradores de partículas totais em suspensão (PTS), sendo que a estação Arena possui também um amostrador de partículas inaláveis (MP10). O PTS é constituído de partículas em suspensão na atmosfera de diâmetro aerodinâmico inferior a 100 µm e o MP10 de partículas de diâmetro inferior a 10 µm. Ressalta-se que não há no município amostradores de MP atmosférico para a determinação da qualidade do ar gerenciados pela Prefeitura Municipal ou por qualquer outra instituição, governamental ou não, além da empresa mineradora de ouro.

As concentrações de As foram determinadas nos filtros de fibra de vidro, oriundos de coleta contínua de 24 horas, realizadas uma vez por mês, nas oito estações de amostragem, no período de maio de 2011 a junho de 2012, de cada uma das oito estações de amostragem. Esta ampla amostragem, de abrangência anual, é necessária em função das variações normais de velocidade e direção de ventos e regime de chuvas.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Figura 1. Imagem com a localização geográfica dos amostradores de material particulado atmosférico existentes no município de Paracatu.



Fonte: Google Earth.

Legenda: Estações de amostragem em torno da mineradora. 1. Alto da Colina; 2. COPASA; 3. DER; 4. União; 5. São Domingos; 6. Arena; 7. Barragem e 8. Lagoa de Santo Antônio.

Para a determinação de As, uma fita de 1”x8” (2,54 cm x 20,32 cm) de cada filtro foi inserida em um tubo de polipropileno de 50 ml e extraído ultrassonicamente (70°C, 3h) com 10 ml de uma mistura de HCl (16,75%) e HNO₃ (5,55%). A solução resultante, após resfriada, foi completada a 20 ml com água ultrapura. Os passos posteriores foram centrifugação e filtração através de membrana de Nylon de 0,45 µm e análise (em duplicata) por espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) (U.S. EPA 1999). Para confirmar a eficiência do método foi utilizado um material de referência certificado (MRC), “Urban particulate matter” NIST 1648a, adicionado a uma tira de filtro branco, com recuperação de 90%, e uma outra tira de filtro branco foi fortificada com solução padrão de As (1µg mL⁻¹), com recuperação de 86%. A eficiência de recuperação considerada pela EPA para esse método é na faixa de 80 a 120% para filtro branco. O limite de detecção (LD) foi de 7,5 µg L⁻¹ (em solução) e 0,64 ng m⁻³ (no ar). As concentrações de As no branco dos filtros ficaram abaixo do LD (da Silva et al. 2014).

Análise estatística envolveu os cálculos de médias dos teores de As em MP, valores mínimo e máximo, desvios padrões e comparação dos teores de arsênio em MP entre as estações de amostragem.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Os métodos utilizados foram ANOVA e teste de comparação múltipla de Tuckey, com o emprego do Software Prisma, O erro máximo admitido foi de 5% ($p < 0,05$).

c) *Estudos ambientais complementares*

Análises de As em solo, sedimento, água e em material em suspensão no ar foram realizadas nos laboratórios do CETEM por ICP-OES, pelo laboratório ACME *Analytical Lab* por ICP-MS e pelo Laboratório do Curso de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental da UFF, utilizando ICP-OES. Parte das análises de As em águas superficiais e subterrâneas foi realizada no Labáguas da PUC-RJ, utilizando ICP-MS. Detalhes de amostragem e quantificação podem ser encontrados em Bidone et al. (2016).

2ª. *ETAPA – ESTUDO EPIDEMIOLÓGICO DA EXPOSIÇÃO HUMANA AO AS E EFEITOS ASSOCIADOS*

A segunda etapa relaciona-se ao estudo epidemiológico e dos indicadores biológicos de exposição (As em urina, sangue e cabelo) e de efeitos, pela investigação de casos de dermatoses e dermatologias referidas nos Programas de Saúde da Família (PSF) em Paracatu, bem como das taxas de mortalidade por câncer. Tais atividades foram realizadas após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética, registrado no CONEP/CAE (04328912.0.0000.0019).

a) *Estudo epidemiológico da exposição humana ao As*

O estudo epidemiológico seguiu a metodologia seccional, com amostragem de conveniência utilizando critérios de inclusão e exclusão. Dados preliminares disponíveis da 1ª Etapa do estudo mostraram baixas concentrações de arsênio na água potável de Paracatu. Como os efeitos à saúde secundários à exposição ambiental ao arsênio ocorrem após longos períodos de exposição e de latência (tempo entre o início da exposição e o diagnóstico dos efeitos), a população de moradores elegível para o estudo se limitou àqueles com mais de 20 anos de residência e com 40 anos ou mais de idade, visando potencializar a chance de detecção de efeitos. Assim, foram estudados os residentes em bairros localizados bem próximos às atividades da mineração de ouro, atendidos pelo PSF de Amoreiras (Amoreiras II, Esplanada, Nossa Senhora Aparecida e Alto da Colina), e de bairro distante da mineração de ouro, Paracatuzinho, atendido pelo PSF de mesmo nome, considerado área de referência.

Foram coletadas a primeira urina da manhã, sangue e cabelo. Todas as informações obtidas nas fichas epidemiológicas foram digitalizadas no banco de dados deste estudo. A quantificação de As em urina foi realizada no Instituto Adolfo Lutz, utilizando técnica de ICP-MS. As amostras foram

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

analisadas em duplicata, utilizando-se curva de adição padrão com concentrações de As no intervalo de 1 a 5 $\mu\text{g L}^{-1}$. A linearidade da curva analítica foi verificada no intervalo utilizado, sendo homocedástica, com valor C de Cochran de 0,6129. A interferência poliatômica na determinação do As, principalmente proveniente do composto ArCl, foi corrigida matematicamente (Creed et al. 1994) utilizando-se equação de correção recomendada pela U.S. EPA. Os valores para limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) foram calculados de acordo com o DOC-CGCRE-008 (INMETRO 2017) e os valores encontrados foram de 0,95 e 3,15 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente. Para todas as curvas foram fortificadas duas amostras e calculada a porcentagem de recuperação das mesmas para verificar a exatidão do método. As recuperações variaram entre 93,7 a 101,8%. As amostras de sangue e cabelo para a determinação de As estão ainda sob análise nos laboratórios especializados do Instituto Evandro Chagas/SVS/MS.

Análise estatística envolveu os cálculos de frequência de distribuição, médias, medianas, quartis, valores mínimo e máximo e desvios padrões dos teores de As em urina. Considerando a distribuição não normal dos dados, o teste não-paramétrico de Mann-Whitney foi realizado, com o emprego do Software Epiinfo 7.0, para comparar os teores de arsênio em urina entre moradores de bairros próximos e afastado da mineração de ouro em Paracatu e os valores referenciais observados na cidade de São Paulo. Também foi realizada a comparação entre a cidade de São Paulo e o conjunto da população amostrada em Paracatu. O erro máximo admitido foi de 5% ($p < 0,05$).

b) Avaliação da taxa de mortalidade por câncer

As taxas de mortalidade foram obtidas e calculadas através dos dados do DATASUS (2018), por tipo de câncer e localidades. Foram selecionados os tipos de câncer que têm alguma ligação conhecida com o histórico de exposição ambiental e/ou ocupacional ao As (pele, pulmão, fígado e bexiga). As taxas de mortalidade referentes a Paracatu foram comparadas então com as taxas anuais destes tipos de câncer no Brasil como um todo, com as das 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 que apresentam pirâmide populacional similar entre si e com Paracatu. As taxas foram expressas em número de casos por 100.000 habitantes.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

c) *Triagem de possíveis casos de arsenicose dermatológica*

Num processo de triagem de casos suspeitos, a partir das fichas diárias individuais de atendimento dos PSFs de Paracatu, e de informações do Hospital da Mulher, foram organizados os dados sobre dermatopatias 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 contatados e convidados a comparecer ao PSF em data informada, quando foram examinados pela equipe médica desse projeto com o objetivo único de identificar afecções dermatológicas que tivessem aderência aos critérios diagnósticos dermatológicos oriundos da exposição ao As inorgânico (Mazumder et al. 1999; Mazumder, 2000; Das & Sengupta 2008).

3ª. *ETAPA – MAPEAMENTO DE FONTES DE INFORMAÇÃO SOBRE AS*

Na terceira etapa, foi realizada uma pesquisa para apoiar campanhas de informação sobre As, com os objetivos de (i) identificar os canais de comunicação que a população utiliza para obter informações sobre o As; (ii) avaliar os níveis de confiabilidade associados a cada um destes canais; (iii) compreender as possíveis relações entre o uso destes canais de comunicação, o conhecimento sobre os efeitos potenciais do As sobre a saúde humana e os comportamentos preventivos para reduzir os riscos de exposição. Os dados sobre fontes de informação, confiabilidade destas fontes, conhecimentos sobre As e comportamentos preventivos, foram coletados por meio da aplicação de um questionário semiestruturado, aplicado a 460 participantes (294 mulheres e 166 homens) dos bairros de Amoreiras e de Paracatuzinho, atendidos pelos seus respectivos PSFs. As fontes de informação estudadas incluem os canais de comunicação de massa, como a televisão, o rádio, a imprensa e a internet, mas também a comunicação interpessoal sobre o tema do As com amigos, parentes e vizinhos. As análises foram desagregadas por gênero seguindo a abordagem de Mertens et al. (2005). Os métodos, que incluem análise das distribuições de frequência do uso das fontes de informação sobre As entre homens e mulheres e regressões logísticas múltiplas para avaliar as possíveis relações entre o uso destas fontes, o conhecimento sobre As e os comportamentos visando reduzir os riscos de exposição, estão detalhados em Mertens et al. (2017).

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

RESULTADOS

1ª. ETAPA

a) *As em Águas de Abastecimento Público para Consumo Humano*

Das 49 amostras de água de consumo humano coletadas, somente duas resultaram em teores de As acima de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ (limite de detecção do método analítico utilizado); uma com $0,6 \mu\text{g L}^{-1}$ e outra com $1,8 \mu\text{g L}^{-1}$, na entrada do sistema de tratamento. Na saída do sistema de tratamento para a distribuição no município, os teores de As mostraram-se abaixo de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$, sendo tais resultados de acordo com dados de monitoramento semestral da COPASA. Adicionalmente, foram amostradas e analisadas águas de poços na área rural do município, os quais abastecem comunidades rurais (Arraial Lagoa de Santo Antônio, Poço de São Sebastião e Povoado de São Domingos). Os teores de As resultaram abaixo de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ (Bidone et al 2016).

Portanto, todas as amostras de água de consumo humano mostraram teores de As abaixo do VMP (Valor Máximo Permitido) de $10 \mu\text{g L}^{-1}$, definido pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde (este valor é adotado também por diversos países, sendo que em alguns países, em áreas com enriquecimento natural de As, são aceitos até $50 \mu\text{g L}^{-1}$). Os resultados se mostraram inclusive abaixo do limite de detecção de $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$. Pela metodologia de avaliação de riscos à saúde humana, a nível de rastreamento (U.S. EPA 1989) os teores abaixo do LD são assumidos como a metade daquele valor. Assim, os teores de As em águas de consumo humano em Paracatu resultaram próximos de $0,2 \mu\text{g L}^{-1}$, teores relacionados a risco de casos de câncer dentro de faixa aceitável de 1 para cada 100.000 pessoas expostas.

Os resultados dos teores de As em águas de consumo humano foram encaminhados para a COPASA e entregues nas residências e nas empresas amostradas, com um laudo explicativo de interpretação do resultado.

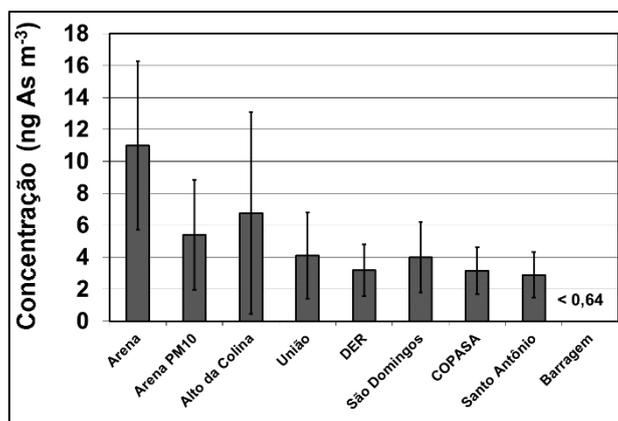
b) *As no material particulado atmosférico*

Teores de As no material particulado atmosférico apresentaram-se dentro da faixa esperada para áreas urbanas, porém mais elevados em áreas próximas à mineração de ouro. A concentração média (\pm desvio padrão) de As nas partículas totais em suspensão (PTS) na atmosfera, calculada para o período de amostragem (maio de 2011 a junho de 2012), foi de $5,3 \pm 4,6 \text{ ng m}^{-3}$ ($n = 112$), com valor mínimo inferior a $0,64 \text{ ng m}^{-3}$ (limite de detecção) e máximo de $18,8 \text{ ng m}^{-3}$.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Conforme mostrado no Gráfico 1, no período estudado, as estações com maiores concentrações médias de As são Arena (inclusive MP10) e Alto da Colina, que se localizam na direção predominante do vento da região e estão mais próximas da área de mineração de ouro. Com base no teste de comparação múltipla de Tukey ($p < 0,05$), a concentração média de As na estação Arena difere significativamente das demais, exceto da estação Alto da Colina. Significativamente diferentes são também as médias das estações Alto da Colina e Barragem. A concentração média (\pm desvio padrão) de As no MP10 da estação Arena foi de $5,4 \pm 3,4 \text{ ng m}^{-3}$ ($n = 14$), com valor mínimo inferior a $0,64 \text{ ng m}^{-3}$ e máximo de $12,4 \text{ ng m}^{-3}$. Portanto, com base nos dados da única estação com amostrador de PTS e MP10, em média, a concentração de As no MP10 correspondeu a aproximadamente 50% da concentração de As no PTS.

Gráfico 1. Concentrações médias (barras) e desvios padrões (linhas) de As ($n=14$ por estação) associados às partículas totais em suspensão (PTS), e no material particulado inalável (MP10) para a estação Arena, relativas ao período de maio de 2011 a junho de 2012, nas oito estações de amostragem de qualidade do ar localizadas no município de Paracatu.



Fonte: Os Autores.

2ª. ETAPA

a) *Estudo epidemiológico da exposição humana ao As*

Conforme o critério de inclusão, a faixa etária da população do estudo variou de 40 a 97 anos. Os teores de As em urina da população amostrada em Paracatu-MG são mostrados na Tabela 1.

Os teores de As total em urina da população da cidade de São Paulo são bastante próximos aos observados em Paracatuzinho. A comparação entre os resultados das duas populações não mostra diferença estatisticamente significativa ($p = 0,56$) para a mesma faixa etária nem se comparados à população total de SP ($p = 0,70$). Desta forma, assemelha-se às características da população amostrada

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

em Paracatuzinho e os teores de As são equivalentes. No entanto, quando comparamos os resultados da população atendida pelo PSF de Amoreiras com os dados de São Paulo, há diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$) para a mesma faixa etária bem como para a população total de SP ($p < 0,00005$). Estes resultados indicam que a exposição nos bairros atendidos pelo PSF de Amoreiras é maior do que no bairro de Paracatuzinho e na cidade de São Paulo.

Tabela 1. Teores de As em urina ($\mu\text{g L}^{-1}$) de moradores adultos (> 40 anos) atendidos pelos PSFs de Amoreiras e de Paracatuzinho e valores de referência para As total.

| | Paracatu-MG | | | Valores de Referência | | |
|--|-------------|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------|------------------|
| | Amoreiras | Paracatuzinho | Total | São Paulo (capital)* | EUA** | |
| Níveis de As Urinário ($\mu\text{g L}^{-1}$) | N= 404 | N= 345 | N=749 (>40anos) | N=249 (41 a 69 anos) | N= 1.198 (6 a 69 anos) | N= 2.504 |
| Média Aritmética (Desvio Padrão) | 17,4 (15,2) | 14,1 (11,4) | 15,9 (13,56) | 14,78 (11,67) | 15,57 (10,02) | - |
| Mediana | 13,6 | 11,4 | 13,2 | 13,98 | 13,96 | 6,09 |
| Min-Max | <LQ-178,2 | <LQ-108,7 | <LQ-178,2 | 0,50-83,20 | 0,50-115,68 | - |
| Média geométrica | 14,2 | 12,4 | 13,0 | - | - | 6,85 (5,85-8,02) |

Fonte: Os Autores.

*Valor de Referência oriundo de resultados de estudo realizado em São Paulo/SP em 2011 (dados ainda não publicados); ** CDC (*National Health and Nutrition Examination Survey*, anos 2011-2012); LQ=limite de quantificação: $3 \mu\text{g L}^{-1}$.

Os teores médios (média geométrica) de As total em urina na população dos EUA nos anos de 2011 e 2012 foi de $6,85 \mu\text{g L}^{-1}$ ($n = 2.504$) (Caldwell et al. 2009); e nos anos de 2007-2008, o teor médio de As em urina foi de $7,49 \mu\text{g L}^{-1}$ ($n = 2605$) (NCHS 2012). Os teores médios observados em urina de moradores de Paracatu são superiores aos teores médios de As total em urina na população dos EUA.

Em linhas gerais, as características demográficas da população estudada ($n=749$) destacaram a participação de 62,6% mulheres (469) e 37,4% homens (280), com média de idade de 56,6 anos (40-97 anos). Os participantes residiam no endereço atual em média há 25,9 anos. Aposentados representaram 29,1% (218) e donas de casa 20,9% (157). Em termos de escolaridade 25,7% (193) eram analfabetos ou alfabetizados, 48,3% (362) possuíam ensino fundamental, 17,6% (132) ensino médio e 3,6% (27) ensino superior. O nível de escolaridade não foi informado por 4,6% (35) dos participantes. Quanto ao estado civil, 51,4% (386) eram casados; 10,9% (82) amasiados, 0,7% (6), divorciados, 18,5% (139) solteiros e 17,2% (129) viúvos. O estado civil não foi informado por 0,9% (7) dos participantes. Quanto à renda mensal dos participantes, 8,6% (55) informaram renda inferior a 622 reais, que constituía o salário

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

mínimo da época; 70,9% (455) possuíam renda de um a dois salários mínimos, 20,6% (132) três ou mais salários mínimos. Não informaram a renda 14,3 (107) dos participantes. 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 As em águas de abastecimento público para verificação de exposição da grande maioria da população de Paracatu.

b) *Avaliação da taxa de mortalidade por câncer*

Tabela 2. Taxas de Mortalidade por Câncer (Ca) por 100.000 habitantes em Paracatu e em municípios com pirâmide populacional semelhante, Minas Gerais, regiões Centro-Oeste e Sudeste e Brasil como um todo (Censo 2000 e 2010).

| Ano | Município ou região | Paracatu | Nova Lima* | Três Corações | Itajubá | Minas Gerais | Região Centro-Oeste | Região Sudeste | Brasil |
|------|---------------------|----------|------------|---------------|---------|--------------|---------------------|----------------|-------------|
| 2000 | População | 75.216 | 64.387 | 65.291 | 84.135 | 17.891.494 | 11.636.728 | 72.412.411 | 169.799.170 |
| | Ca pulmão - C34 | 3,98 | 9,31 | 6,12 | 15,45 | 6,47 | 7,05 | 17,51 | 12,40 |
| | Ca fígado - C22 | 2,65 | 6,21 | 3,06 | 8,31 | 2,66 | NC | NC | 2,96 |
| | Ca bexiga - C67 | 2,65 | 3,10 | - | 2,37 | 0,98 | NC | NC | 1,18 |
| | Ca pele - C44 | - | - | - | 3,56 | 0,38 | NC | NC | 0,48 |
| 2010 | População | 85.447 | 81.162 | 72.765 | 90.658 | 19.597.330 | 14.050.340 | 80.353.724 | 190.732.694 |
| | Ca pulmão - C34 | 10,50 | 19,70 | 12,4 | 11,03 | 9,52 | 12,50 | 16,00 | 14,06 |
| | Ca fígado - C22 | 3,51 | 6,16 | 1,37 | 6,60 | 3,52 | NC | NC | 4,04 |
| | Ca bexiga - C67 | 1,17 | - | 1,37 | 1,10 | 1,58 | NC | NC | 1,66 |
| | Ca pele - C44 | - | - | - | 1,10 | 0,63 | NC | NC | 0,79 |

Fonte: DATASUS (2018).

Ca = Câncer; C número = código do tipo de câncer pela Classificação Internacional de Doenças versão 10(CID 10); * Município sede de mineração de ouro subterrânea; NC: não calculado.

Os dados analisados são relativos ao período de 2000 e 2010, escolhidos para observar a tendência das taxas de mortalidade utilizando resultados de censo populacional e estão mostrados na Tabela 2. As taxas de mortalidade por câncer de fígado, pulmão, pele e bexiga em moradores de Paracatu, em 2000 e em 2010 não se mostraram maiores em Paracatu do que nas localidades referência. Ressaltamos que, com relação ao câncer de pele, os dados de mortalidade não são os mais sensíveis

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

para avaliação da prevalência desse tipo de doença, pois, exceto pelo tipo melanoma, a mortalidade dos outros tipos de câncer de pele é sempre bastante baixa.

c) *Triagem de possíveis casos de arsenicose dermatológica*

Trinta (30) pacientes oriundos da área atendida pelo PSF Amoreiras e 14 pacientes do PSF Paracatuzinho foram clinicamente examinados e não se evidenciou nenhum caso suspeito que preenchesse os critérios diagnósticos propostos pela literatura especializada.

3ª. ETAPA

d) *Estudos sobre as fontes de informação sobre o As da população de Paracatu*

Os resultados desta etapa do trabalho estão detalhados em Mertens et al. (2017). Tanto para os homens quanto para as mulheres, as redes de comunicação interpessoais, com amigos, parentes e vizinhos, foram usadas com maior frequência e foram consideradas mais confiáveis que os canais de comunicação de massa para obter informações sobre As. As discussões sobre temas relacionados ao As foram mais frequentes entre pessoas do mesmo gênero e foram associadas a um maior nível de conhecimento sobre os efeitos do As sobre a saúde humana. Os modelos de regressão logística múltipla, que foram usados para identificar as variáveis associadas à adoção de comportamentos visando reduzir os riscos de exposição revelaram diferenças marcadas entre homens e mulheres. Conversar sobre As com outras mulheres foi associado à adoção para os dois gêneros. Pelo contrário, os homens que discutiram sobre o As com outros homens possuem uma probabilidade menor de adotar comportamentos preventivos. Enfim, as mulheres, mas não os homens, que possuem um maior conhecimento sobre As tem maior probabilidade de adotar medidas preventivas para reduzir o risco de exposição.

DISCUSSÃO

As águas do sistema de abastecimento doméstico de Paracatu não mostraram contaminação por As, estando de acordo com legislação pertinente e abaixo do limite para riscos aceitáveis. Sendo assim, não representam via de exposição importante para a população.

Os resultados mostram tendência a maiores teores de As no material particulado atmosférico 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. O período seco, com menor precipitação e maior velocidade média do vento, correspondeu ao período com maiores concentrações de As na atmosfera

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

(de Mello et al. 2014). Há também a influência de rajadas, possivelmente incrementando a dispersão de poeiras. A concentração média de As se encontra dentro do esperado - 5 a 7 ng m⁻³ (Maggs & Moorcroft 2000) para áreas urbanas europeias e bem abaixo do esperado para áreas urbanas norte-americanas (20 a 100 ng m⁻³).

Considerando o valor referencial de exposição crônica de 15 ng m⁻³ (OEHHA 2014), não é esperado o aparecimento de doenças não cancerígenas por exposição via inalação de As na população de Paracatu. Entretanto, recomenda-se monitoramento regular e continuado nas áreas do Alto da Colina e Arena, que apresentaram máximos acima do valor referencial.

Para efeitos cancerígenos, os teores médios referenciais de concentração de As, empregados em avaliação de riscos ambientais à saúde humana, via inalação, para riscos considerados aceitáveis variam de 0,2 ng m⁻³ (U.S. EPA 1989; U.S. EPA 1997) e 0,6 ng m⁻³ (European Commission 2001) a 2 ng m⁻³ e 6 ng m⁻³ para riscos de 1:1.000.000 ou 1:100.000, respectivamente. Considerando-se o valor referencial de 6 ng m⁻³ no MP10, associado ao risco de 1:100.000 pessoas expostas, adotado como recomendável pela União Europeia, valores superiores ocorreram no MP10 da Estação Arena (única com amostrador de MP10) e que tal fato deve ser considerado como indicativo da necessidade de monitoramento sistemático. Ressalta-se a existência de amostradores de PM10 em uma única estação, indicando a necessidade não apenas de implantar tais amostradores nas outras estações, mas de monitorar, sistematicamente, os teores de As no PM10 e até em partículas menores.

Frente ao fato da contaminação ambiental em Paracatu ter indicado baixa a média de exposição crônica ambiental, os possíveis efeitos adversos seriam esperados após longos períodos de exposição ambiental. Considerando-se a tendência a maiores teores de As em material particulado atmosférico próximo à mineração, foram selecionados para o estudo epidemiológico de exposição humana bairros próximos e um bairro distante da mineração de ouro, este como controle. A ideia foi de estudar uma população “sensibilizada” pela exposição ambiental a baixas doses de As, ou seja, com idade e tempo de moradia potencialmente suficientes para apresentar os efeitos da exposição crônica aos baixos teores de As ambiental. Colocado de outra forma: se essa condição de baixa exposição estiver provocando níveis elevados de As em urina, sangue e cabelo, ou provocando efeitos adversos detectáveis clinicamente, essas alterações estarão presentes nesse grupo populacional por terem maior tempo de exposição e idade necessária ao aparecimento das doenças relacionadas ao As.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Há uma gama de valores referenciais de As em amostras biológicas humanas. Valores de referência são derivados estatisticamente e se referem à margem superior de exposição para um dado poluente em uma dada população a um determinado momento. Eles podem ser usados como um critério para classificar os teores medidos em indivíduos ou grupos populacionais como sendo “elevados” ou “não elevados” (Schulz et al. 2009).

A *US National Academy of Sciences* indica que teores de As em urina variam, mas que pode ser considerado como base mundial a faixa entre 1-5 $\mu\text{g L}^{-1}$ (para a soma de inorgânico, MMA e DMA; ou seja, excluindo-se teores de As de formas químicas orgânicas não relacionadas a efeitos tóxicos e existentes principalmente em peixes marinhos) em populações onde a exposição é considerada basal por diversas vias de exposição (NAS 2013).

Em pessoas não expostas ocupacionalmente, a soma das concentrações de As inorgânico, MMA e DMA usualmente será menor do que $10\mu\text{g g}^{-1}$ de creatinina, mas pode variar entre 5-20 $\mu\text{g L}^{-1}$ (WHO 2001).

As concentrações de As inorgânico e metabólitos metilados na urina encontradas na população em geral estão em torno de 10 $\mu\text{g L}^{-1}$ em países europeus e para a população dos EUA e acima de 50 $\mu\text{g L}^{-1}$ em população japonesa (Foà et al. 1984; Caldwell et al. 2009). Ainda, um valor de referência de 15 $\mu\text{g L}^{-1}$ foi reportado para crianças na Alemanha (Schulz et al. 2009).

A *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR) considera que indivíduos não expostos mostram teores de As total em urina abaixo de 100 $\mu\text{g L}^{-1}$, valor para o qual está associado aparecimento de câncer de pulmão em população humana (Smith et al. 2000). Minoia et al. (1990), trabalhando com 540 pessoas saudáveis identificou teor médio de As total em urina de $16,7 \pm 1,9 \mu\text{g L}^{-1}$ (N = 540) com faixa de variação entre 1- 64,5 $\mu\text{g L}^{-1}$, e sugerem que 64,5 $\mu\text{g L}^{-1}$ seja considerado um limite superior para anomalias metabólicas, sendo os valores de referência para efeitos atóxicos a faixa de 2,3 a 31,1 $\mu\text{g L}^{-1}$ enquanto que a faixa de > 31,1 a 64,5 $\mu\text{g L}^{-1}$ corresponderia à incerteza quanto aos efeitos. Goullé et al. (2005) trabalhando com população não exposta, obtiveram teores médios de As total em urina de 19 $\mu\text{g L}^{-1}$ (2,3 -161 $\mu\text{g L}^{-1}$).

Os teores de As total em urina da população amostrada evidenciam ampla variação na população, com média semelhante à obtida para a população urbana de São Paulo, SP, e indicam baixa a média exposição corrente da população humana ao As.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

É importante considerar que estudos de especiação de arsênio em urina mostram que os maiores teores observados na população dos EUA (NCHS 2012) estão relacionados com a exposição ao arsênio orgânico (arsenobetaína e arsenocolina, não tóxicas), principalmente a partir do consumo de peixes marinhos e frutos do mar, que claramente não faz parte da dieta da população estudada em Paracatu. Assim, neste caso, é possível que o total de arsênio medido na urina da população estudada em Paracatu esteja relacionado unicamente ao arsênio inorgânico e a seus metabólitos orgânicos, MMA e DMA (estes, considerados tóxicos). Portanto, é essencial conhecer melhor a forma química do arsênio presente nos maiores teores de arsênio em urina e, para tanto, é necessário realizar a especiação de arsênio em urina.

As taxas de mortalidade por câncer de fígado, pulmão, pele e bexiga em moradores de Paracatu, avaliada por análise de dados disponíveis no DATASUS (2018), uma vez que não existem registros específicos de câncer na região, mantiveram, em 2010, a tendência observada em 2000, e não mostram maior número de casos dessas doenças em Paracatu do que nas localidades referências. Ressaltamos que, com relação ao câncer de pele, os dados de mortalidade não são os mais sensíveis para avaliação da prevalência desse tipo de doença, pois, exceto pelo tipo melanoma, a mortalidade dos outros tipos de câncer de pele é sempre bastante baixa.

Tendo em vista que as alterações dermatológicas não cancerígenas: hiperqueratose palmar e plantar, hiperpigmentações e leucodermias são as afecções clínicas características diagnosticadas com maior precocidade em pessoas expostas cronicamente ao As, buscou-se identificar a existência de dermatopatias crônicas que pudessem apresentar características compatíveis com esse quadro dermatológico. Porém, não se evidenciou nenhum caso suspeito que preenchesse os critérios diagnósticos propostos pela literatura especializada.

A principal fonte de informação sobre As é a comunicação interpessoal com amigos, parentes e vizinhos. As discussões sobre temas relacionados ao As foram mais frequentes entre pessoas do mesmo gênero e foram associadas a um maior nível de conhecimento sobre os efeitos do As sobre a saúde humana. Este resultado indica que podem existir um canal de difusão que veicula informações sobre o As preferencialmente entre as mulheres, e um outro entre os homens. Canais de comunicação diferenciados de acordo com o gênero foram identificados em outros estudos sobre redes de comunicação e prevenção em saúde, no caso da exposição ao mercúrio (Mertens et al. 2012) e da doença de Chagas (Triana et al. 2016). Os resultados indicam também que campanhas de informação

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

sobre o tema do As ganharão em eficácia se forem adaptadas de acordo com o perfil de comunicação diferenciado entre homens e mulheres. As relações de comunicação interpessoais sobre o As foram também reconhecidas como as fontes de informação mais confiáveis sobre o tema. Este resultado é compatível com as conclusões de uma pesquisa sobre segurança alimentar em comunidade ribeirinha da Amazônia que demonstrou o papel das relações sociais, ancoradas em reciprocidade e confiança, na adoção de comportamentos alimentares saudáveis (Mertens et al 2015). As análises permitem também concluir que campanhas de promoção da saúde, visando aumentar o nível de informação e a adoção de comportamentos saudáveis, devem não apenas utilizar canais de comunicação que alcançam amplos públicos, mas também aproveitar as redes de comunicação interpessoal, em que as pessoas costumam confiar mais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este é o primeiro estudo integrado de meio ambiente e saúde humana avaliando a potencial exposição humana ambiental ao As no município de Paracatu. Esta abordagem integradora permitiu formular e apresentar ao Poder Público um conjunto de recomendações para a proteção do meio ambiente e da saúde pública no município. A hipótese deste trabalho, de que a população urbana de Paracatu estivesse exposta a altas concentrações ambientais de arsênio e apresentando morbidade e mortalidade específicas relacionadas a essas concentrações, não foi confirmada. As águas de consumo humano distribuídas pela área urbana do município (bem como de poços de abastecimento doméstico em áreas rurais amostradas) não estão contaminadas com As. Os teores de As em urina da população amostrada indicam de baixa a média exposição corrente da população humana ao As. A exposição ambiental humana é mais alta em bairros próximos à mineração de ouro do que em bairro afastado, em concordância com os dados ambientais obtidos de As em material particulado atmosférico, indicando claramente a maior exposição de pessoas moradoras próximo à área da mineração de ouro. A taxa de mortalidade por câncer (principalmente de pulmão, fígado e bexiga) não mostrou maior número do que os outros municípios com mesmas características demográficas e/ou estado de Minas Gerais e outras regiões.

Ressalta-se que os resultados deste estudo devem ser considerados como um retrato atual da exposição ambiental da população urbana de Paracatu, devendo ser considerados como referência de níveis de contaminação ambiental e de exposição humana no município para acompanhamento e monitoramento ambiental e humano ao longo prazo. É preciso destacar, também, que o conhecimento

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

sobre a toxicologia crônica do As está em franco e constante desenvolvimento e incremento (NAS 2013).

A integração dos componentes ambiental, de saúde e de comunicação no processo de investigação permitiu uma construção interdisciplinar de recomendações ao Poder Público para a proteção do meio ambiente e da saúde humana no município. É prioritário o estabelecimento de um Programa de Vigilância da exposição ao As na população de Paracatu, com envolvimento do SUS ao nível municipal, estadual e federal. É também importante que haja incremento do conhecimento científico sobre o comportamento do As no contexto ambiental de Paracatu, com estudo específico de exposição em subpopulações de maior risco, como as crianças e mulheres grávidas, estudo de especiação de arsênio em urina e investigação de fontes que contribuam para a exposição, como a alimentação.

Outras recomendações incluem: 1) a comunicação sistemática e permanente com a população para seu conhecimento e acompanhamento sobre os teores de As (e/ou outros contaminantes) no ambiente e em indicadores biológicos de exposição humana; 2) o conhecimento e acompanhamento dos teores de As em trabalhadores da mineração de ouro pelo sistema público de saúde; 3) estudos ambientais na área a jusante das barragens de contenção de rejeitos, para o estabelecimento dos teores atuais de contaminantes nos compartimentos de águas superficiais, águas subterrâneas, solos e sedimentos, abordando as áreas onde se encontram populações Quilombolas; 4) avaliação da potencial exposição ao As e a outros contaminantes, de moradores (adultos e principalmente crianças, as quais têm o hábito de ingerir solos, incrementando a exposição ambiental) de comunidades que consomem águas superficiais (e/ou subterrâneas) das bacias hidrográficas do Córrego Rico e do Ribeirão Entre-Ribeiros; 5) continuidade ao monitoramento de teores de metais em águas de abastecimento doméstico (superficiais e subterrâneas) no município, incluindo os poços pertencentes ao sistema alternativo de abastecimento doméstico; 6) acompanhamento dos teores de As no material particulado total, MP_{2,5} e MP₁₀ nas estações de monitoramento (Alto da Colina, Arena e em áreas de empreendimento imobiliário na direção predominante dos ventos e próximo à mineração de ouro) e, 7) a ampliação dos estudos para avaliação da contaminação por As, outros metais e cianeto, em solos agrícolas, água de irrigação e plantas, sobretudo nas áreas jusantes às bacias de contenção de rejeitos, em áreas da bacia hidrográfica do Ribeirão Entre-Ribeiros e outras de interesse da população de Paracatu.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Finalmente, sugere-se fortemente que se apoiem iniciativas para preparar a população para o processo de decisão sobre os planos de fechamento da mineração de ouro, que acontecerá em 2030.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos homens e mulheres de Paracatu, que aceitaram nosso convite para participar de todas as etapas desta pesquisa. Um agradecimento especial aos integrantes do grupo de pesquisa transdisciplinar, pelas valiosas contribuições ao estudo integrado e à equipe de campo do município, pelo entusiasmo e compromisso.

REFERÊNCIAS

Ahsan H, Chen Y, Parvez F, Zablotska L, Argos M, Hussain I et al. 2006. Arsenic exposure from drinking water and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh: baseline results from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study. *American J Epidemiol*, 163(12):1138-1148.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) 2007. *Toxicological Profile for Arsenic*. United States Department of Health and Human Services (US-HHS), Washington, 559 pp.

Bidone E, Castilhos Z, Cesar R, Santos MC, Sierpe R, Ferreira M 2016. Hydrogeochemistry of arsenic pollution in watersheds influenced by gold mining activities in Paracatu (Minas Gerais State, Brazil). *Environ Sci Pol Res*, 23(9):8546-8559.

Caldwell KL, Jones RL, Verdon CP, Jarrett JM, Caudill SP, Osterloh JD 2009. Levels of urinary total and speciated arsenic in the US population: National Health and Nutrition Examination Survey 2003–2004. *J Expo Sci Env Epidemiol*, 19(1):59-68.

Creed JT, Brockhoff CA, Martin TD 1994. *Method 2008 - Revision 5.4. Environmental Monitoring Systems Lab*. EMMC Version, USEPA/ORD, 57 pp.

da Silva LID, Silva LDN, Carneiro MC, Monteiro MIC, Castilhos ZC, de Mello WZ, Matos JA 2014. Arsenic determination in atmospheric particulate matter from Paracatu-Brazil by ICP-OES. In: MI Litter et al. (eds.). *One Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin America (1914–2014) As 2014. Proceedings of V International Congress of Arsenic in the Environment – As*. Series Editors: J. Bundschuh and P. Bhattacharya, CRC Press/Taylor and Francis Group, London, UK, p. 209-211.

Das NK, Sengupta SR 2008. Arsenicosis: diagnosis and treatment. *Indian Journal of Dermatology, Venereology, and Leprology*, 74(6):571-581.

DATASUS 2018. Informações de Saúde: Mortalidade. Sistema de Informações sobre Mortalidade, Ministério da Saúde. [Acesso 24 de abr de 2018]. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/obt10uf.def>.

De Capitani EM 2011. Arsenic toxicology - A review. In: E Deschamps, J Matschullat (eds.). *Arsenic: natural and anthropogenic*. CRC Press, Boca Raton, p. 27-37.

Avaliação da Contaminação Ambiental por Arsênio e Estudo Epidemiológico da Exposição Humana em Paracatu-MG - Brasil

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

De Mello WZ, Matos JA, Castilhos ZC, da Silva LID, Carneiro MC, Monteiro MIC 2014. Arsenic in atmospheric particulate matter in Paracatu-MG, Brazil. In: MI Litter et al (eds.). One Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin America (1914–2014) As 2014. *Proceedings of V International Congress of Arsenic in the Environment – As*. Series Editors: J. Bundschuh and P. Bhattacharya, CRC Press/Taylor and Francis Group, London, UK, p. 116-118.

European Commission 2001. *Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position Paper*. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.

Foà V, Colombi A, Maroni M, Buratti M, Calzaferri G 1984. The speciation of the chemical forms of arsenic in the biological monitoring of exposure to inorganic arsenic. *Sci total environ*, 34(3):241-259.

Goullé JP, Mahieu L, Castermant J, Neveu N, Bonneau L, Lainé G et al. 2005. Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair: reference values. *Forensic Sci Int*, 153(1): 39-44.

Henderson RD 2006. *Paracatu Mine Technical Report, Paracatu, Minas Gerais State, Brazil*. NI 43-101 Technical Report.

Hughes MF 2002. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicol Lett*, 133(1):1-16.

IARC (International Agency for Research on Cancer) 2012. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, 100(PT C.): 527 pp.

IBGE 2010. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>.

INMETRO 2017. *DOC-CGCRE-008. Orientação sobre validação de métodos analíticos. Documento de caráter orientativo*. Revisão 06 - Nov 17. Coordenação Geral de Acreditação, 30 pp.

Lauwerys RR, Hoet P 1993. *Industrial chemical exposure: guidelines for biological monitoring*. Lewis Publishers, Boca Raton.

Lauwerys RR, Hoet P 2001 *Industrial chemical exposure: guidelines for biological monitoring*. CRC Press.

Maggs R, Moorcroft AS 2000. *Review of Arsenic in Ambient Air in the UK*. Department of Environment, Transport and the Regions, Scottish Executive, The National Assembly of Wales, Stationery Office, London, 51 pp.

Maud J, Rumsby P 2008. *A review of the toxicity of arsenic in air*. Science Report – SC020104/SR4.

Mazumder DG, De BK, Santra A, Dasgupta J, Ghosh N, Roy BK et al. 1999. Chronic arsenic toxicity: epidemiology, natural history and treatment. In: WR Cappell, CO Abernathy, RL Calderon (eds). *Arsenic Exposure and Health Effects*. Elsevier, Amsterdam, p. 335-347.

Mazumder DNG 2000. *Diagnosis and treatment of chronic arsenic poisoning*. United Nations synthesis report on arsenic in drinking water - Revised Draft. World Health Organization, Geneva.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Mertens F, Fillion M, Saint-Charles J, Mongeau P, Távora R, Passos CJS, Mergler D 2015. The role of strong-tie social networks in mediating food security of fish resources by a traditional riverine community in the Brazilian Amazon. *Ecology and Society*, 20:18.

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. *Soc Sci Med*, 75:643-650

Mertens F, Saint-Charles J, Mergler D, Passos CJ, Lucotte M 2005. A network approach for analyzing and promoting equity in participatory Ecohealth research. *EcoHealth*, 2:113-126.

Mertens F, Távora R, Nakano EY, Castilhos ZC 2017. Information sources, awareness and preventive health behaviors in a population at risk of Arsenic exposure: The role of gender and social networks. *PLOS ONE*, 12(10): e0186130.

Minoia C, Sabbioni E, Apostoli P, Pietra R, Pozzoli L, Gallorini M, Nicolau G, Alessio L, Capodaglio L 1990. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. I. A Study of 46 Elements in urine, blood and serum of Italian subjects. *Science of the Total Environment*, 95:89-105

NAS (National Academy of Science) 2013. *Critical aspects of EPA's IRIS assessment of inorganic arsenic: interim report*. National Academies Press, Washington (DC), 128p.

NCHS (National Center for Health Statistics) 2012. *National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES), 2008-2009*. Center for Diseases Control-CDC.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) 2014. *TSD for noncancer RELs*. December 2008 updated July 2014. Appendix D. Individual Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Level Summaries. 694p.

Prefeitura Municipal de Paracatu 2012. História. [Acesso 08 de jul de 2012]. Disponível em: http://www.paracatu.mg.gov.br/index.php?m=layout_paginas_4.php&paginas_id=1.

Prohaska T, Stingeder G 2005. Speciation of Arsenic. Speciation of Arsenic. In: R Cornelis et al. (eds.). *Handbook of Elemental Speciation II*. Species in the Environment, Food, Medicine and Occupational Health. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England, p. 69-93.

Ravenscroft P, Brammer H, Richards KS 2009. Arsenic pollution: a global synthesis. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K./Malden, MA, 588 pp.

Sakuma AM, De Capitani EM, Tiglea PA 2003. Arsênio. In: FA Azevedo, AAM Chasin. *Metais: gerenciamento da toxicidade*. Atheneu, São Paulo, p. 203-238.

Schulz C, Angerer J, Ewers U, Heudorf U, Wilhelm M, Human Biomonitoring Commission of the German Federal Environment Agency 2009. Revised and new reference values for environmental pollutants in urine or blood of children in Germany derived from the German environmental survey on children 2003-2006 (GerES IV). *International journal of hygiene and environmental health*, 212(6): 637-647.

Avaliação da Contaminação Ambiental por Arsênio e Estudo Epidemiológico da Exposição Humana em Paracatu-MG - Brasil

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Sims J 2014. *Kinross Gold Corporation, Paracatu Project Brazil*. National Instrument 43-101. Technical Report.

Smith AH, Ercumen A, Yuan Y, Steinmaus CM 2009. Increased lung cancer risks are similar whether arsenic is ingested or inhaled. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 19(4): 343-348.

Smith AH, Lingas EO, Rahman M 2000. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bull World Health Organ*, 78(9): 1093-1103.

Smith AH, Steinmaus CM 2000. Arsenic in urine and drinking water. *Environ Health Perspect*, 108(11): A494.

Tondel M, Rahman M, Magnuson A, Chowdhury IA, Faruquee MH, Ahmad SA 1999. The relationship of arsenic levels in drinking water and the prevalence rate of skin lesions in Bangladesh. *Environ Health Perspect*, 107(9): 727-729.

Triana DRR, Mertens F, Zúniga CV, Mendoza Y, Nakano EY, Monroy MC 2016. The Role of Gender in Chagas Disease Prevention and Control in Honduras: An Analysis of Communication and Collaboration Networks. *EcoHealth*, 13: 535-548

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 1989. *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)*. Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A). Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. EPA/540/1-89/002. Disponível em: http://www.epa.gov/swerrims/riskassessment/ragsa/pdf/rags-vol1-pta_complete.pdf.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 1997. *Expert Panel on Arsenic Carcinogenicity: Review and Workshop, Technical Report prepared by Eastern Research Group, under contract to EPA*. Washington, DC, 100 pp.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 1999. *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.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2012. *Recommendations for Default Value for Relative Bioavailability of Arsenic in Soil*. US EPA/OSWER 9200.1-113/2012.

Weihls M, Mertens F 2013. Os desafios da geração do conhecimento em saúde ambiental: uma perspectiva ecossistêmica. *Ciencia & Saúde Coletiva*, 18:1501-1510.

WHO (World Health Organization) 2001. Environmental health criteria 224: arsenic and arsenic compounds. World Health Organization, Geneva, 512 pp.

Williams PN, Meharg A, Zhang H 2014. *Arsenic in Rice: Capturing Microscale Biogeochemical Heterogeneity in Paddy Soils*. Abstract n. 2717. Aeolian Research, v. 14.

Zuleica Carmen Castilhos; Eduardo Mello De Capitani; Iracina Maura de Jesus; Edison Dausacker Bidone; William Zamboni de Mello; Marcelo de Oliveira Lima; Kleber Raimundo Freitas Faial; Lidiane Raquel Verola Mataveli; Luciana Juncioni de Arauz; Lilian Irene Dias da Silva; Aldo Pacheco Ferreira; Renata Souza Távora; Frédéric Mertens

Arsenic Environmental Contamination Assessment and Epidemiological Study of Human Exposure in Paracatu-MG - Brazil

ABSTRACT

We present an interdisciplinary study where environmental, social and health conditions are integrated to evaluate the risk of exposure to arsenic in the population of Paracatu, due to the exploitation of the largest open pit gold mine in Brazil. The study had three phases: evaluation of environmental contamination; assessment of human environmental exposure; investigation of factors associated with behavior to reduce the risk of exposure. Water for human consumption in the urban area is not contaminated with arsenic. The levels of arsenic in urine indicate higher exposure in neighborhoods near the mine, in agreement with data on atmospheric particulate matter. The cancer mortality rate was not higher than the controls. Social networks and gender relations are key in the adoption of preventive behaviors. It is recommended the establishment of an Arsenic Exposure Surveillance Program, with the involvement of the Brazilian Universal Health Care System, “SUS”, at the municipal, state and federal levels.

Keywords: Arsenic; Gold Mining; Environmental Health; Paracatu.

Submissão: 08/05/2018
Aceite: 01/07/2019