

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

GABRIEL HENRIQUE BESSAS DA SILVEIRA

**Avaliação de contaminação por Arsênio em sedimentos de corrente da bacia do alto Rio  
das Velhas - MG**

São Paulo

2024

**Avaliação de contaminação por Arsênio em sedimentos de corrente da bacia do alto Rio das Velhas - MG**

**Versão Corrigida**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Mônica Stuermer

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

### Catálogo na Publicação

Silveira, Gabriel

Avaliação de contaminação por Arsênio em sedimentos de corrente da bacia do alto Rio das Velhas - MG / G. Silveira -- São Paulo, 2024.  
50 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Contaminação (Indicadores) 2. Arsênio (Contaminação)  
3.Sedimentos (Contaminação) 4.Bacia do Alto Rio das Velhas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre batalharam para garantir que eu e meus irmãos tivéssemos acesso a educação de qualidade, e, desde o início, foram guias para que eu me tornasse o que sou.

Agradeço a minha parceira Letícia Machado me apoiar em minhas decisões e sempre me dar o suporte necessário.

Agradeço aos meus colegas de pós-graduação, pois tornaram essa jornada muito mais prazerosa e enriquecedora.

Agradeço aos tutores, mestres, doutores e professores por compartilharem suas experiências e conhecimentos para comigo e a turma, possibilitando nosso crescimento como profissional e como pessoal, nos capacitando e permitindo aplicar, de maneira mais detalhada e técnica, nossos aprendizados.

Agradecimento especial ao PhD e colega Raphael de Vicq Ferreira da Costa por ser essa pessoa fenomenal, paciente e muito sábia, que sugeriu o estudo, auxiliou em seu desenvolvimento e, gentilmente, disponibilizou dados de suas pesquisas para que esse trabalho se concretizasse.

## RESUMO

SILVEIRA, Gabriel Henrique Bessas da. Avaliação de contaminação por Arsênio em sedimentos de corrente da bacia do alto Rio das Velhas - MG. 2024. 50 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Neste estudo foi avaliada a contaminação de sedimentos de corrente por arsênio (As) ao longo da bacia do alto Rio das Velhas, além da análise da relação entre as concentrações anômalas deste elemento com o uso e ocupação do solo e os litotipos presentes na área. Para tal avaliação, consideraram-se os resultados obtidos através dos cálculos do Fator de Enriquecimento (FE), a comparação dos resultados com o background geoquímico, os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº454/2012, e uma análise espacial destes dados. Os resultados apontaram elevado enriquecimento em arsênio presente nos sedimentos dos municípios inseridos na bacia, com destaque para Ouro Preto, Itabirito, Nova Lima, Rio Acima, Raposos, Caeté e Sabará. Além disso, verificou-se que apesar da contribuição geogênica, a contaminação por arsênio está intimamente ligada a atividades antrópicas, principalmente a mineração, o despejo de resíduos domésticos e industriais sem devido tratamento, agricultura e histórico de mineração de ouro nos cursos hídricos. Ainda que a avaliação de contaminação por elementos como o As, ao longo da bacia do alto Rio das Velhas, seja alvo de vários autores da comunidade científica, verifica-se pouca mobilização para solução dessa situação. Dessa forma, se torna necessário um planejamento, execução e monitoramento de medidas de intervenção para remediação da área estudada, através de técnicas eficazes e baratas, devido à complexidade dessas ações. A participação de comitês e agências ambientais junto a atuação de órgãos e governos municipais e estadual, e superficiários é uma opção a ser avaliada.

Palavras-chave: Contaminação (Indicadores). Arsênio (Contaminação). Sedimentos (Contaminação). Bacia do alto Rio das Velhas.

## ABSTRACT

SILVEIRA, Gabriel Henrique Bessas da. Assessment of Arsenic contamination in stream sediments from the upper Rio das Velhas basin - MG. 2024. 50 p. Monograph (MBA in Contaminated Area Management, Sustainable Urban Development and Brownfields Revitalization) – Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 2024.

This study assessed the contamination of stream sediments by arsenic (As) along the upper Rio das Velhas basin, as well as the analysis of the relationship between anomalous concentrations of this element with land use and occupation and lithotypes present in the area. For this evaluation, the results obtained through calculations of the Enrichment Factor (EF), comparison of the results with the geochemical background, the limits recommended by CONAMA Resolution No. 454/2012, and a spatial analysis of these data were considered. The results indicated high arsenic enrichment in sediments of municipalities within the basin, with emphasis on Ouro Preto, Itabirito, Nova Lima, Rio Acima, Raposos, Caeté, and Sabará. Furthermore, it was found that despite geogenic contribution, arsenic contamination is closely linked to anthropogenic activities, mainly mining, discharge of domestic and industrial waste without proper treatment, agriculture, and historical gold mining in watercourses. Although the assessment of contamination by elements such as As along the upper Rio das Velhas basin is the focus of various authors in the scientific community, there is little mobilization to solve this situation. Thus, planning, execution, and monitoring of intervention measures for remediation of the studied area become necessary through effective and inexpensive techniques, due to the complexity of these actions. The participation of committees and environmental agencies alongside the involvement of municipal and state governments and landowners is an option to be considered.

Keywords: Contamination Indicators. Arsenic Contamination. Sediment Contamination. Upper Rio das Velhas Basin.

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
<b>3.JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>11</b>
<b>4.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
<b>5.ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>14</b>
5.1 GEOLOGIA .....	<b>15</b>
5.2 GEOMORFOLOGIA .....	<b>17</b>
5.3 HIDROGRAFIA .....	<b>18</b>
<b>6.MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
6.1 FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE) .....	<b>21</b>
6.2 RESOLUÇÃO CONAMA Nº 454/2012 .....	<b>22</b>
<b>7.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
7.1 OURO PRETO .....	<b>23</b>
7.2 ITABIRITO .....	<b>26</b>
7.3 RIO ACIMA .....	<b>28</b>
7.4 NOVA LIMA .....	<b>30</b>
7.5 RAPOSOS .....	<b>32</b>
7.6 CAETÉ .....	<b>34</b>
7.7 SABARÁ .....	<b>36</b>
7.8 SANTA LUZIA .....	<b>38</b>
<b>8.CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o estado de Minas Gerais conta com uma rede de monitoramento de seus corpos hídricos desde 1977, a qual é coordenada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) desde 2001, objetivando o levantamento, conhecimento e divulgação das situações de qualidade das águas superficiais estaduais, além da proposição de planejamento e controle de utilização dessas águas (NONATO *et al.*, 2007).

Na região central do estado de Minas Gerais encontra-se a bacia do Rio das Velhas, abrangendo uma área de aproximadamente 27.867 km<sup>2</sup>, com um curso principal que se estende por cerca de 761 km. O Rio das Velhas tem sua nascente no Parque Natural Municipal das Andorinhas, localizado no município de Ouro Preto. Ao longo de sua trajetória, ele percorre 51 municípios antes de desaguar no Rio São Francisco, em Barra do Guaicuí, situada no distrito de Várzea da Palma. Essa bacia hidrográfica é subdividida em áreas administrativas distintas, compreendendo os trechos alto, médio e baixo (COBRAPE<sup>1</sup>, 2001 *apud* LOPES *et al.*, 2011, p. 04).

De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, o Alto Rio das Velhas compreende, total ou parcialmente, os municípios de Ouro Preto, Itabirito, Rio Acima, Nova Lima, Belo Horizonte, Contagem, Raposos, Sabará, Caeté e Santa Luzia. Nas últimas décadas, com o acentuado aumento demográfico verificado nesses municípios, os impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas têm provocado grandes alterações no ecossistema aquático, principalmente em áreas urbanas com grande concentração populacional. Comumente, nessas regiões, os cursos hídricos são alterados, recebendo esgotos industriais e domésticos sem tratamento, escoamento superficial oriundo de centros urbanos, bem como sedimentos e resíduos domésticos, industriais e até agrícolas (SCHEPP; CUMMINS<sup>2</sup>, 1997 *apud* MORENO; CALLISTO, 2004, p. 02).

Como resultado dessa urbanização ao longo das bacias hidrográficas, têm-se uma série de impactos ambientais negativos, incluindo modificações nos padrões de qualidade da água e sedimentos de corrente, contaminação por metais pesados, erosão, alteração das características

---

<sup>1</sup> COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS - COBRAPE. Projeto marca d'água - Relatórios Preliminares- Bacia do Rio das Velhas – Brasília, 2001.

<sup>2</sup> SHEPP, D. L.; CUMMINS, J. D. Restoration in an urban watershed: Anacostia River of Maryland and the district of Columbia. In: WILLIAMS, J. E.; WOOD, C.A.; DOMBECK, M. P. (Ed.). Watershed restoration: principles and practices. Bethesda: American Fisheries Society, 1997. p. 297-317.

bioquímicas das águas e sedimentos, além de efeitos de bioacumulação, geoacumulação e biomagnificação de metais pesados (POMPEU *et al.*, 2004; CALLISTO, 2004).

A presença de arsênio no Quadrilátero Ferrífero (QF), especificamente na bacia do Alto Rio das Velhas, já é conhecida, uma vez que a região tem o ouro como uma das principais commodities exploradas. Uma vez que a mineralização aurífera se encontra comumente associada a minerais que contêm arsênio, é recorrente a visualização de As nestes ambientes, seja por origem geogênica, seja por laterização e posterior desagregação de sulfetos oxidados, potencial drenagem ácida de mina, deposição de poeiras contaminadas oriundas de área de mineração, garimpos, dentre outras possibilidades de disponibilização deste elemento (SANTANA FILHO, 2005; REZENDE, 2009; SANTOS *et al.*, 2015).

O As é um semi-metal disseminado no ambiente por meio de fontes naturais, como partículas atmosféricas e atividade vulcânica, e por ações humanas, incluindo processos como mineração de metais não ferrosos, fundição, aplicação de agrotóxicos, queima de carvão e madeira, bem como incineração de resíduos. Embora o arsênio em sua forma pura seja insolúvel em água, é importante observar que muitos compostos de arsênio possuem solubilidade, o que aumenta o risco de contaminação de águas subterrâneas. Essa contaminação pode ocorrer devido à dissolução de rochas e minérios ricos em arsênio, bem como pela presença de efluentes industriais, como resíduos de mineração (CETESB, 2017).

Devido à sua propensão a interagir com materiais pouco solúveis, como a maioria dos compostos de arsênio e outros elementos-traço tóxicos e à sua natureza de equilíbrio físico e químico com as águas superficiais, os sedimentos de fundo, também referidos como sedimentos de corrente, desempenham um papel de significativa relevância no contexto ambiental (DE CARVALHO FILHO *et al.*, 2003; SOUSA, *et al.*, 2023).

Com o intuito de mensurar alguns dos impactos negativos citados, com foco nos sedimentos de corrente, será avaliado o fator de enriquecimento (FE), o cumprimento dos limites estabelecidos pela legislação vigente, além da análise espacial dos resultados de concentração de arsênio (As), o qual está entre os elementos mais nocivos à saúde humana.

A avaliação da distribuição espacial de concentração de arsênio ao longo da bacia do Alto Rio das Velhas possibilita maior nitidez na visualização de focos de concentração deste elemento. Além disso, o fator de enriquecimento possibilita uma diferenciação do arsênio de origem antropogênica e daquele natural (BUAT-MENARD *et al.*, 1979).

## **2. OBJETIVOS**

Avaliar a contaminação por arsênio em sedimentos de corrente da bacia do Alto Rio das Velhas abrangendo os municípios de Caeté, Itabirito, Nova Lima, Ouro Preto, Raposos, Rio Acima, Sabará e Santa Luzia, localizados em Minas Gerais (MG).

Referente aos objetivos específicos, tem-se:

- Analisar a distribuição do As no sedimento de corrente ao longo da bacia do Alto Rio das Velhas;
- Avaliar o enriquecimento de arsênio através da obtenção do FE;
- Comparar os níveis de As em sedimentos com os critérios legais de qualidade ambiental.

### 3. JUSTIFICATIVA

De forma geral, o arsênio em sua forma inorgânica é encontrado em praticamente todos os compartimentos ambientais e notavelmente mais tóxico que sua forma orgânica. Este elemento é conhecido como carcinogênico humano, apresentando a inalação, ingestão de solo e de água como principais vias de exposição, sendo a última a mais importante e comum (ATSDR, 2007)

Conforme aponta Gardenal (2002), municípios que são banhados pela bacia do Rio das Velhas, como Ouro Preto e Nova Lima, apresentam elevadas concentrações do elemento, tanto nos cursos hídricos, quanto nos sistemas de abastecimento, apontando contaminação em decorrência de atividades antrópicas, principalmente, a mineração aurífera.

Entende-se que os sedimentos de corrente permitem tanto a adsorção quanto a disponibilização de contaminantes aptos a interferir agressivamente na biota aquática e na qualidade da água, por conta de suas características geoquímicas. Dessa forma, a sua análise auxilia na identificação de anomalias metálicas e possíveis fontes de contaminação (MINELLA; MERTEN<sup>3</sup>, 2006 *apud* SILVA *et al.*, 2008, p. 27).

---

<sup>3</sup> MINELLA, Jean Paolo Gomes; MERTEN, Gustavo Henrique. Aplicação das Características Químicas e Física dos sedimentos na Modelagem dos Processos de Emissão de Sedimentos em bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2006.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Durante esta fase, concentrou-se na análise de artigos, trabalhos, teses, dissertações e relatórios relacionados ao mapeamento geológico, geoquímico e estudos ambientais de sedimentos de corrente que abrangem a área da bacia do Alto Rio das Velhas como um todo. Para a investigação primária de geologia regional e local do QF, além de sua estratigrafia, foram utilizados estudos de Costa, 2015 e Uhlein & Noce, 2012, os quais compilam de maneira sucinta a geologia regional e local presente na área de estudo, além de pontuar possíveis contribuições geoquímicas advindas dos litotipos mais comuns, presentes na região.

A obtenção dos dados de geomorfologia e climatologia utilizados, se deu, principalmente, através do estudo de Cherem (2008), que desenvolveu uma análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas e disponibilizou informações importantes acerca da geomorfologia existente na região. Junto a essas informações, estudos referentes a bacia do alto Rio das Velhas foram consultados, como por exemplo os trabalhos de Nonato *et al.* (2007), Callisto (2004), Lopes *et al.* (2011), IGAM (2022), Santos *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2008).

No que tange os estudos ambientais de arsênio e sua ocorrência em águas superficiais e sedimentos, foram verificados estudos de De Carvalho Filho *et al.* (2003), Costa (2015), CETESB (2017), e Callisto (2004), os quais fornecerem uma visão de como tratar a temática acerca da contaminação por arsênio em sedimentos de corrente, além das formas de aplicar e interpretar o fator de enriquecimento (FE), o qual teve sua metodologia de aplicação e toda a teoria obtidos de Buat-Menard *et al.* (1979) e de Sutherland (2000).

Além disso, toda a gama de dados de concentração de arsênio em sedimentos de corrente distribuídos na bacia do Alto Rio das Velhas foram arduamente levantados por Costa (2015) e gentilmente fornecidos pelo mesmo autor. Costa (2015), em sua tese de doutorado, utilizou de bases cartográficas e procedimentos em software de geoprocessamento para definir 541 trechos para coleta de sedimentos de corrente, dos quais foram disponibilizados dados de apenas 157. Foi utilizada uma draga Ekman-Birge para coleta das amostras, as quais foram posteriormente tratadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, e submetidas à leitura no Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) para análise dos teores de diversos elementos.

Ainda em relação ao estudo de Costa (2015), houve o cálculo dos valores de background geoquímico do Quadrilátero Ferrífero (QF), o qual, a partir da obtenção dos valores de elementos traço de área isentas de interferência antrópica, aplicou-se a mesclagem de 3 metodologias: 3º quartil, mediana + 2x MAD, média + 2x desvio padrão (Reimann *et al.*, 2005); boxplot UIF (Bounessah e Atkin, 2003, Panno *et al.*, 2010 e Carranza, 2009) e ainda análise fractal (Bai *et al.*, 2010). Costa (2015) optou por mesclar os três métodos para garantir maior precisão nos resultados obtidos e maior representatividade em toda a área de abrangência. Os métodos são explicados de maneira mais detalhada em seu estudo.

## 5. ÁREA DE ESTUDO

A área foco deste estudo é a bacia hidrográfica do alto Rio das Velhas, a qual drena águas do centro do estado de MG. Conforme citado anteriormente, essa bacia compreende, total ou parcialmente, os municípios de Ouro Preto, Itabirito, Rio Acima, Nova Lima, Belo Horizonte, Contagem, Raposos, Sabará, Caeté e Santa Luzia (Figura 1). A cidade de Belo Horizonte foi desconsiderada neste estudo e no levantamento de dados executado por Costa (2015) uma vez que a grande parte dos trechos estimados para coleta se encontram canalizados e cimentados, e/ou recebem muita influência antrópica.

Uma vez localizada no QF, verifica-se que a economia da região é sustentada principalmente por atividades relacionadas ao turismo e à mineração, com uma notável presença da indústria, onde se destaca a siderurgia e a metalurgia. A agricultura desempenha um papel secundário devido às condições topográficas e pedológicas desfavoráveis ao cultivo, agravadas pela concentração de terrenos na posse de grandes mineradoras. Essa região é uma das mais importantes províncias minerais produtivas do país, abrigando operações expressivas de extração de ferro, além de extensas reservas de ouro, bauxita, calcário, manganês, caulim, argila, entre outros minerais (COSTA, 2015).

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do Rio das Velhas e seus trechos.

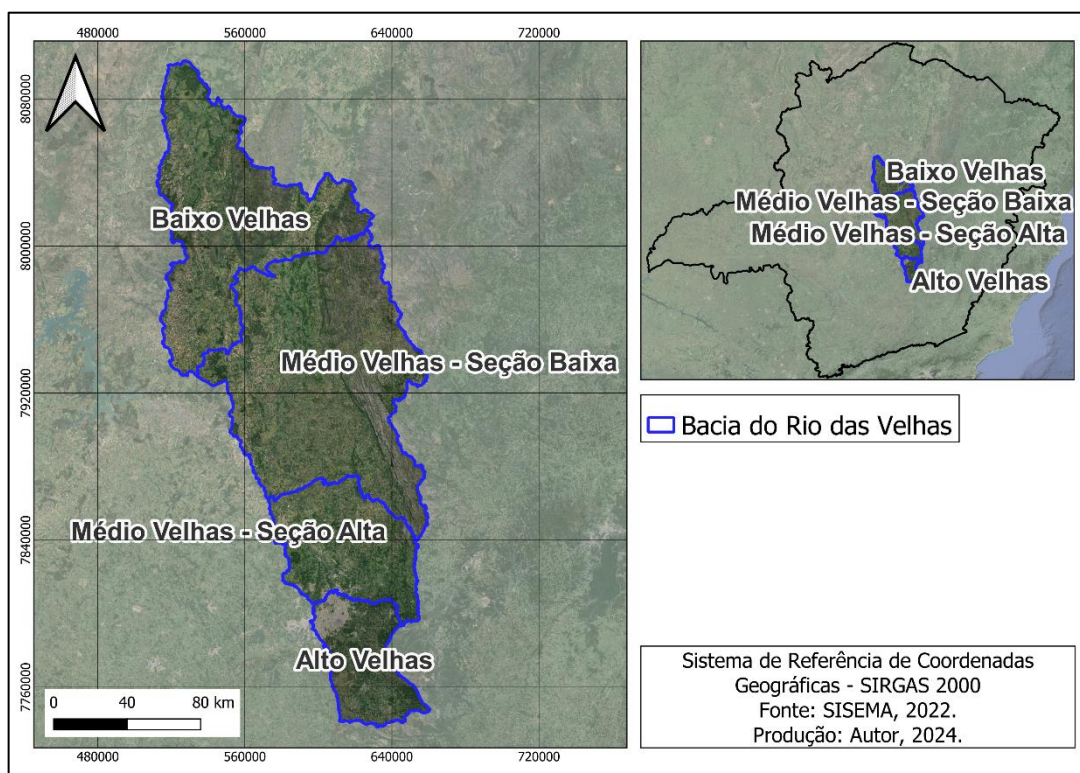
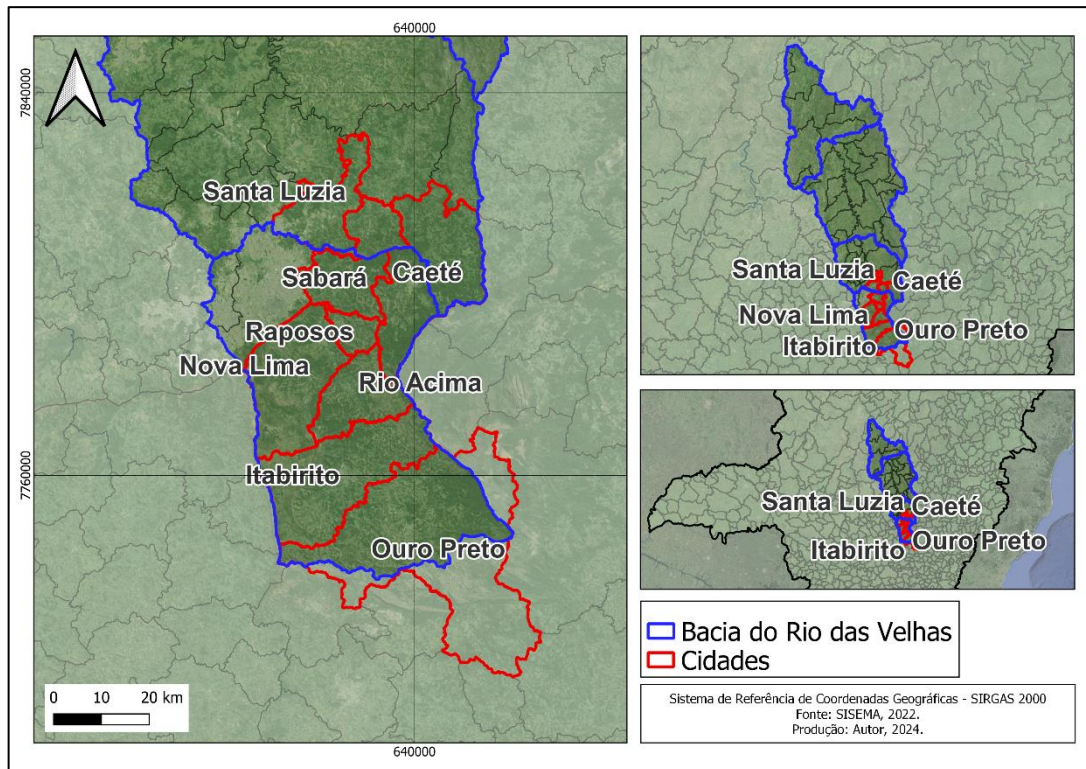


Figura 2 – Mapa de localização das cidades focos do estudo no contexto da Bacia do Rio das Velhas.



## 5.1 GEOLOGIA

De acordo com Uhlein & Noce (2012), a geologia regional é definida por três unidades geológicas principais, da base para o topo: os complexos granito-gnáissicos (arqueano), com rochas gnáissicas, migmatíticas, granitoides, por vezes rochas básicas, como diabásios e gabros; o Supergrupo Rio das Velhas (3,0 a 2,5 bilhões de anos atrás), o qual se destacam os *greenstone belts*, os quais hospedam as principais jazidas de ouro de Minas Gerais (Dorr, 1969; Inda *et al.*, 1984; Schorscher, 1992); o Supergrupo Minas (2,5 a 2,0 bilhões de anos) com sequências metassedimentares supracrustais relacionadas ao proterozóico inferior, médio e superior, como quartzitos, filitos, formações ferríferas bandadas (FFB); e o grupo Itacolomi, com rochas metapelíticas supracrustais que capeiam o Supergrupo Minas, como quartzitos, filitos e metaconglomerados.

Os complexos granito-gnáissicos metamórficos Bação, Belo Horizonte, Bonfim, Caeté, Santa Bárbara e Santa Rita são identificados como o embasamento cristalino, com idade mesoarqueana. A constituição desses complexos é dada por rochas gnáissicas metamorizadas de composição tonalítica a granítica, e ocorrência de granitos, granodioritos, anfibolitos e intrusões máficas e ultramáficas (TEIXEIRA *et al.*, 2000).

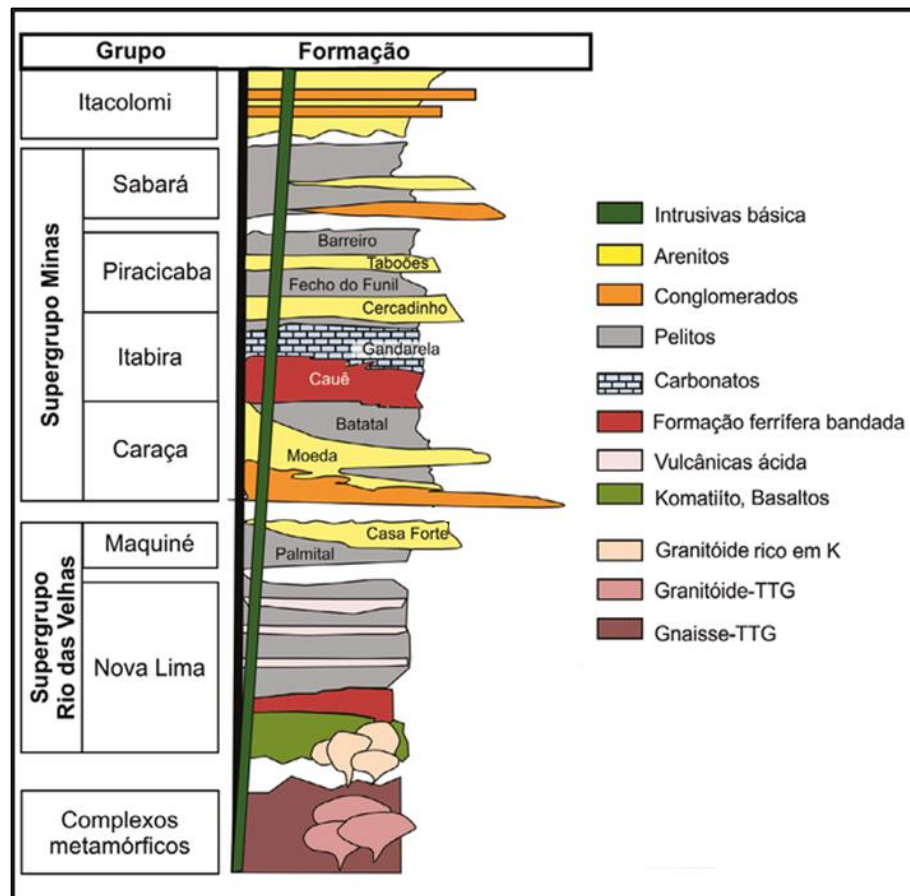
O Supergrupo Rio das Velhas é constituído principalmente por basalto e rochas sedimentares, químicas e clásticas. As rochas vulcânicas e sedimentares que o compõem foram submetidas a processos metamórficos, e foram transformados em diversos tipos de xistos. O Grupo Nova Lima é a unidade basal, composta por rochas vulcanossedimentares metamorfizadas como exemplo, metaperidotitos, serpentinitos, enstatitos, basaltos, formações ferríferas bandadas (FFB), sedimentos químicos sílico-carbonáticos e quartzitos. Já o Grupo Maquiné é a unidade de topo do Supergrupo Rio das Velhas, constituídos por quartzitos, metaconglomerados e filitos (UHLEIN; NOCE, 2012).

Ainda, Uhlein & Noce (2012) subdividem o Supergrupo Minas em Grupo Caraça (unidade clástica de base), Grupo Itabira (unidade química intermediária) e Grupo Piracicaba (unidade clástica de topo). No Grupo Caraça, verifica-se a ocorrência de quartzitos intercalados com filitos e níveis conglomeráticos (Formação Moeda, basal), e filitos sericíticos, carbonosos ou ferruginosos (Formação Batatal, de topo). O Grupo Itabira é composto por FFB (Formação Cauê, basal), mármore dolomíticos, itabiritos e filitos (Formação Gandarela, no topo). Já o Grupo Piracicaba é constituído por intercalações de quartzitos e filitos (Formação Cercadinho, basal), filitos quartzosos, dolomíticos e lentes de dolomito (Formação Fecho do Funil, intermediária), ortoquartzitos (Formação Taboões), e filitos grafitosos (Formação Barreiro, de topo). O Grupo Sabará é a unidade de topo do Supergrupo Minas, e é constituído por cloritaxistos, filitos, metagrauvas, metatufos, metaconglomerados e quartzitos.

Por fim, principalmente ao sul do município de Ouro Preto são encontrados quartzitos, filitos e metaconglomerados, rochas que compõem o Grupo Itacolomi, e que são cortados localmente por diques de rochas básicas, capeando o Supergrupo Minas (UHLEIN; NOCE, 2012).

A Figura 3 apresenta a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero relacionando as unidades citadas.

Figura 3- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Modificado de Dorr (1969), Alkmim e Marshak (1998), e Farina *et al.*, (2016). Destaque para a coluna litoestratigráfica esquemática da Formação Moeda - (m1) membro 1; (m2) membro 2; (m3) membro 3. Fonte: Modificada de Madeira *et al.*, 2019.

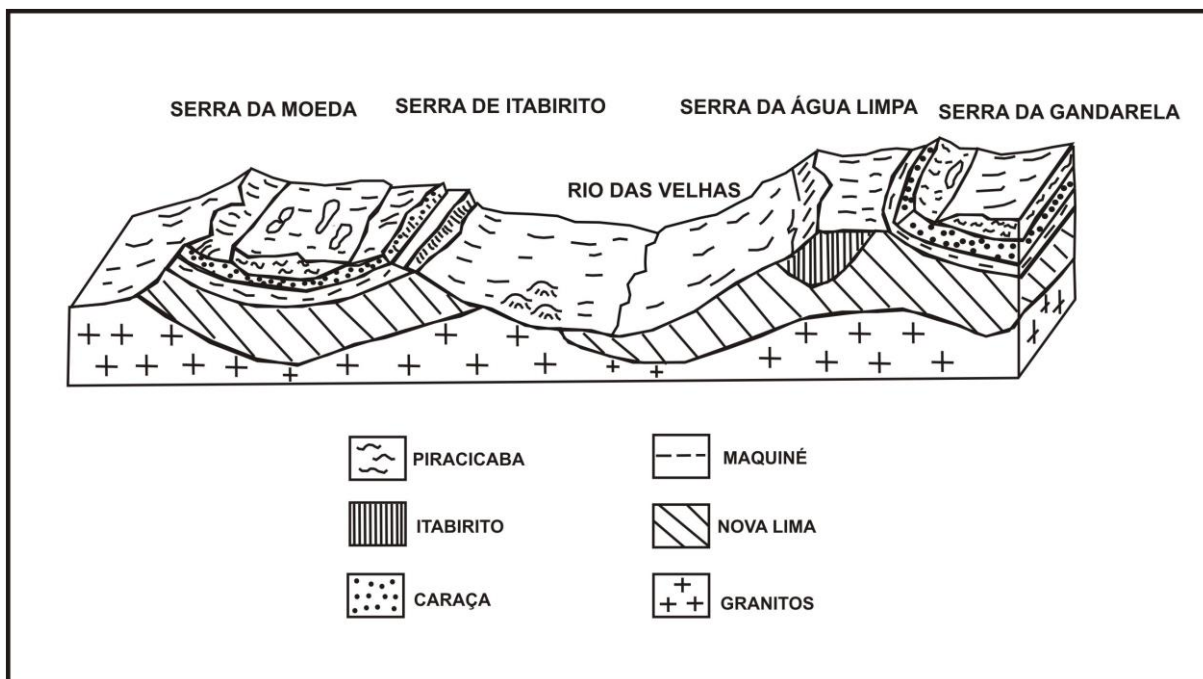


## 5.2 GEOMORFOLOGIA

Atualmente, as partes mais baixas da bacia, situadas entre 700 e 800 metros de altitude, são predominantemente compostas por colinas formadas sobre rochas arqueanas altamente suscetíveis à fragmentação. Por outro lado, as regiões mais elevadas do relevo da bacia, apresentando cristas escarpadas que ultrapassam 1.200 metros, alcançando até 1.700 metros, correspondem às bases dos sinclinais e são constituídas por quartzitos e itabiritos do Supergrupo Minas, que são sequências menos propensas à fragmentação. Esses litotipos desempenham um papel crucial na sustentação das terras médias, localizadas entre 1.000 e 1.100 metros de altitude, situadas no interior dos sinclinais e compostas por rochas mais suscetíveis à fragmentação. Portanto, pode-se observar que a bacia do alto Rio das Velhas é caracterizada por três níveis de resistência ao intemperismo: rochas frágeis (rochas carbonáticas); rochas de

resistência intermediária (xistos, filitos e granitos-gnaisse); e rochas resistentes (cangas, itabiritos e quartzitos) (SALGADO *et al.*, 2008).

Figura 4 - Corte longitudinal W-E do Quadrilátero Ferrífero, representando seu relevo e unidades litoestratigráficas. Fonte: Barbosa e Rodrigues<sup>4</sup> (1967) *apud* Chereim (2008, p. 55).



A bacia do alto Rio das Velhas é cercada por complexos serranos de terrenos elevados, sendo eles a Serra da Moeda e Serra de Itabirito a oeste, a Serra do Ouro Branco ao sul, a Serra da Água Limpa e a Serra do Gandarela a leste, e a Serra do Curral ao norte. De forma geral são desenvolvidos neossolos litólicos nessas serras. Nas terras médias, devido às características litológicas e ao contexto geográfico, predominam os cambissolos. Por sua vez, as terras baixas são predominantemente compostas por latossolos. Segundo a descrição de Santos (2008), as terras baixas consistem em colinas alongadas na direção E-W, correspondendo à orientação predominante dos dobramentos do Supergrupo Rio das Velhas e separadas pelos afluentes do Rio das Velhas. O clima na bacia é classificado como tropical semiúmido de altitude, caracterizado por verões úmidos e moderadamente quentes, contrastando com invernos secos e amenos.

### 5.3 HIDROGRAFIA

No que se refere a hidrografia, verifica-se que o alto rio das Velhas é a principal porção do rio das Velhas localizada no QF, e engloba os municípios de Ouro Preto, Itabirito, Nova Lima,

<sup>4</sup> BARBOSA G. V. & RODRIGUES D. M. S. Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte, IGC/UFMG. 1967. 130p.

Raposos, Rio Acima, Belo Horizonte, Sabará e Contagem. Essa porção é notadamente marcada por uma considerável pressão ambiental sobre o curso hídrico, onde é descarregado um significativo volume de efluentes com elevadas concentrações de sólidos em suspensão e diversas espécies metálicas, oriundos, principalmente, da atividade minerária (PEREIRA *et al.*, 2007).

## **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

Com o propósito de entender o comportamento dos sistemas fluviais em diferentes contextos climáticos, Costa (2015) conduziu duas campanhas de coleta de sedimentos de corrente nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas, especificamente nos meses de março e julho de 2015 (COSTA, 2015).

Conforme aponta Costa (2015), aproximadamente 2 kg da camada superficial do leito foram coletados em 157 pontos distintos ao longo das margens dos cursos d'água. As amostras de sedimentos foram analisadas no Laboratório de Geoquímica Ambiental do Departamento de Geologia da UFOP, em Ouro Preto, Minas Gerais, utilizando a técnica de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), por meio do equipamento da marca Spectro, modelo Ciros.

Para avaliar possíveis contribuições antrópicas, foi adotado o valor de 17,55 e 45200 mg/Kg como valor de referência (background regional) para o Arsênio e para o Alumínio, respectivamente, conforme proposto por Costa (2015). A escolha por utilizar esses valores de referência se deu em razão das características específicas da unidade geológica da região do QF e pela inexistência de normas ou valores de referência adaptados às condições geológicas locais para avaliar a qualidade dos sedimentos de corrente no Brasil. Essencialmente, os valores de referência naturais são entendidos como uma medida para distinguir entre a concentração natural de um elemento e a concentração influenciada por atividades antrópicas (MATSCHULLAT *et al.*, 2000). Contudo, será avaliada, além da superação de valores orientadores legislativos, de valores de referência, e classes do fator de enriquecimento, a ocupação predominante dos trechos amostrados, a fim de garantir mais precisão nas interpretações.

Conforme exposto anteriormente, como forma de auxiliar no diagnóstico de contaminação da área estudada, foi utilizado o fator de enriquecimento (FE). Os cálculos de fator de enriquecimento também serão aplicados aos resultados que forem iguais ao limite de

quantificação (LQ) da técnica de ICP-OES (1,63 mg/Kg), tendo em vista que esse cálculo leva em consideração um elemento balizador e, por isso, mesmo concentrações iguais a LQ podem gerar diferentes classificações diante dos resultados de FE.

## 6.1 FATOR DE ENRIQUECIMENTO (FE)

O fator de enriquecimento (FE) é um índice utilizado para avaliar o enriquecimento de um elemento, utilizando outro elemento considerado mais estável e imóvel no ambiente como balizador. Buat-Menard (1979) foi quem propôs a utilização desse fator com o intuito de avaliar o enriquecimento antrópico de determinados elementos. Sua determinação é realizada através da Equação 1:

$$FE = \left( \frac{[Me]_{am}/[Al]_{am}}{[Me]_{bg}/[Al]_{bg}} \right) \quad (2)$$

Em que:

$[Me]_{am}$  = concentração do metal na amostra dos sedimentos;

$[Al]_{am}$  = concentração do alumínio na amostra de sedimentos;

$[Me]_{bg}$  = background ou concentração natural do metal na área de estudo.

$[Al]_{bg}$  = concentração de background média do alumínio para a bacia do Rio da Velhas.

Conforme aponta Sutherland (2000) e outros pesquisadores, elementos como Sc, Fe, Al, Mn, Ti, Y e Li são comumente utilizados como normalizadores no cálculo do fator de enriquecimento, pois atendem uma série de características desejáveis para um elemento normalizador. Neste estudo, o Al foi utilizado como balizador por ser um elemento químico de pouca mobilidade no solo e fracamente associado às atividades humanas.

Sutherland (2000) também sugere cinco classificações para o enriquecimento calculado:

Tabela 1 – Classificação do Fator de Enriquecimento (Sutherland, 2000).

Classes do FE	Qualidade dos sedimentos
< 2	Deficiência de enriquecimento
Entre 2 e 5	Enriquecimento moderado
Entre 5 e 20	Enriquecimento significativo
Entre 20 e 40	Enriquecimento muito alto
> 40	Enriquecimento extremamente alto

## 6.2 RESOLUÇÃO CONAMA Nº 454/2012

A resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 454, de 01 de novembro de 2012, estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Apesar de não ser uma legislação direcionada especificamente para os sedimentos, assume-se que o material dragado no leito de cursos hídricos se trata de sedimentos. E, uma vez que essa legislação também estabelece níveis de qualidade para a caracterização química deste material, ela é amplamente utilizada para comparação dos valores orientadores que estabelece, com os resultados obtidos em análises químicas de sedimentos. Esses valores orientadores são classificados em dois níveis:

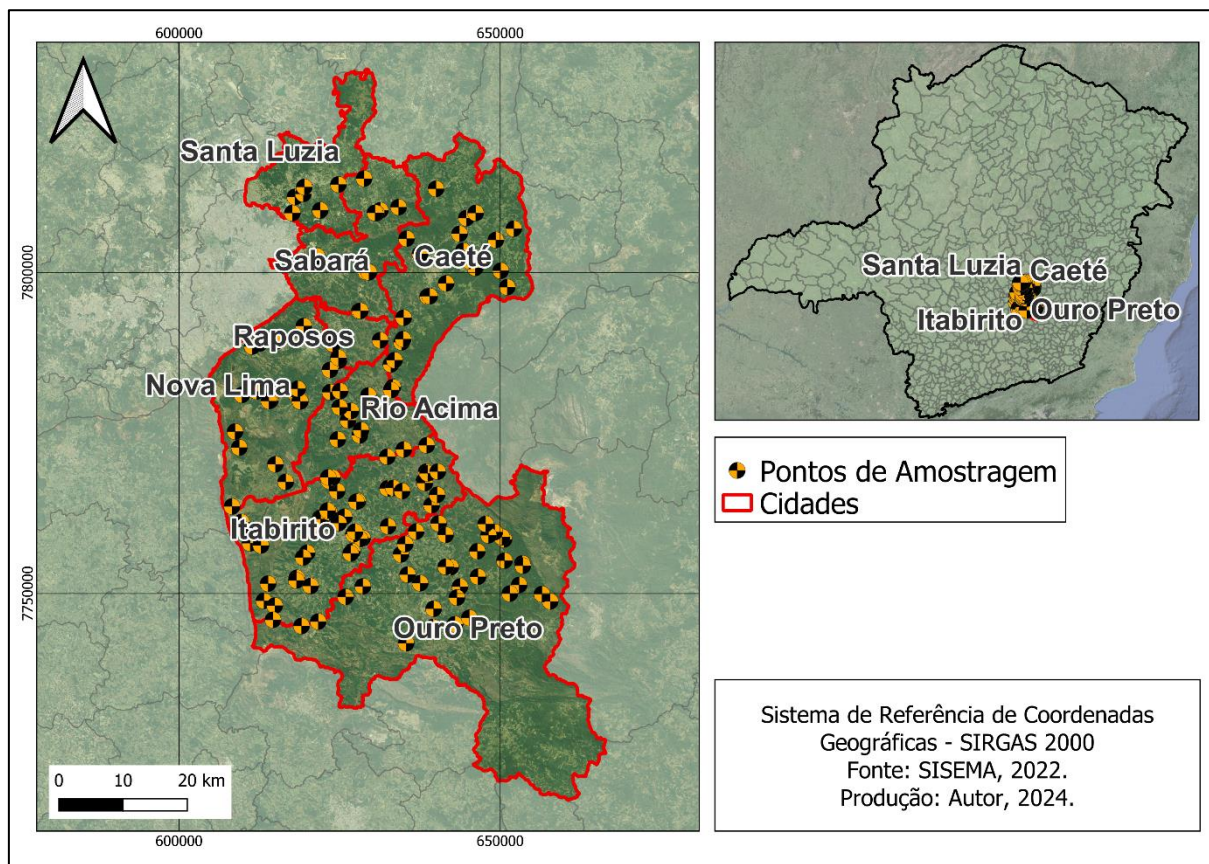
- Nível 1 – limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota;
- Nível 2 – limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Dessa forma, os valores estabelecidos para arsênio em água doce são de 5,9 e 17 mg/Kg, para o Nível 1 e Nível 2, respectivamente.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa da Figura 5 mostra a localização dos pontos em que Costa (2015) executou as amostragens e obteve os resultados de As e Al utilizados neste estudo, bem como as cidades abrangidas. Ressalta-se que a grande maioria dos pontos de amostragem estão localizados no trecho Alto da Bacia do Rio das Velhas, com exceção de 11 pontos em Caeté, 5 pontos em Sabará e 7 pontos em Santa Luzia os quais estão localizados no trecho Médio da Bacia do Rio das Velhas. Isso ocorreu pelo fato de parte dessas cidades mencionadas acima estarem localizadas no trecho Alto da Bacia do Rio das Velhas, e parte localizada no trecho Médio da Bacia do Rio das Velhas.

Figura 5 – Mapa com a localização dos pontos de coleta de sedimentos de corrente, de acordo com Costa (2015).



### 7.1 OURO PRETO

A nascente do Rio das Velhas, localizada no Parque Natural Municipal das Andorinhas, e a Floresta Estadual do Uaimií, estão localizadas na cidade de Ouro Preto. Nesta cidade, foram disponibilizados e avaliados os resultados de 34 amostras de sedimento de corrente. De forma geral, as concentrações de As nessa cidade variaram entre 1,63 (LQ – Limite de Quantificação) e 374,10 mg/Kg. A tabela do **APÊNDICE A** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 2 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Ouro Preto.

Classificação FE	Ouro Preto
Deficiência de enriquecimento	19
Enriquecimento moderado	10
Enriquecimento significativo	2
Enriquecimento muito alto	3
Enriquecimento extremamente alto	-

Tabela 3 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Ouro Preto.

CONAMA 454/2012	Ouro Preto
Água Doce - Nível 1	2
Água Doce - Nível 2	15

Considerando o valor de *background* (17,55 mg/Kg) para arsênio definido por Costa (2015), verificou-se que 15 amostras extrapolaram tal valor, sendo que essas mesmas 15 amostras também violaram o Nível 2 (17 mg/Kg) preconizado pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Além disso, 2 amostras estão acima apenas do valor de Nível 1 (5,9 mg/Kg) definido pela mesma legislação citada. Em relação ao FE, verifica-se que 10 amostras foram classificadas como “Enriquecimento moderado”, 2 amostras classificadas como “Enriquecimento significativo”, 3 amostras como “Enriquecimento muito alto”, e as demais foram classificadas com “Deficiência em enriquecimento”.

Contudo, as amostras OP23 e OP30, apesar de classificadas como “Enriquecimento muito alto”, estão localizadas na Floresta Estadual Uaimií, sem interferência antrópica, o que aponta enriquecimento geogênico em arsênio. A amostra OP31, classificada como “Enriquecimento significativo”, e a amostra OP32, classificada como “Enriquecimento Moderado”, também estão localizadas na Floresta Estadual Uaimií, por isso, apesar da classificação fornecida pelo FE, os valores obtidos de arsênio não são considerados antropogênicos. As demais amostras com enriquecimento moderado, enriquecimento significativo ou enriquecimento muito alto em arsênio, são impactadas por atividades antrópicas como mineração, habitação rural, agricultura e atividades relacionadas a áreas urbanas, dessa forma, os valores e classificações observados são de origem antropogênica.

Figura 6 – Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Ouro Preto. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).

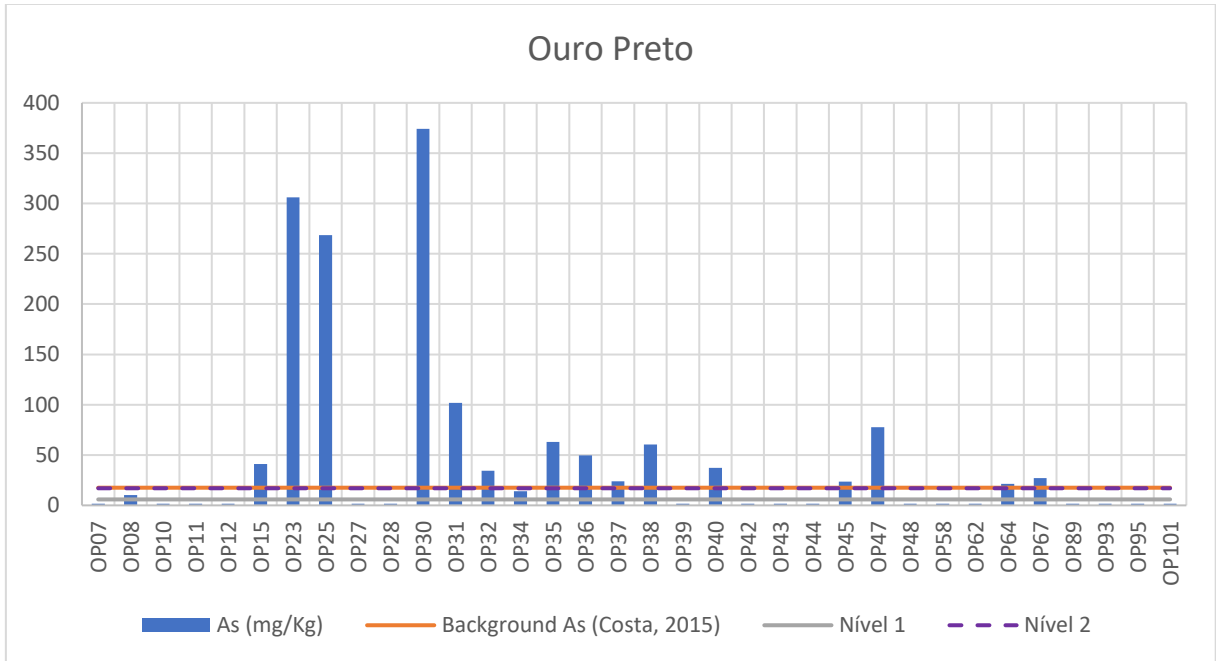
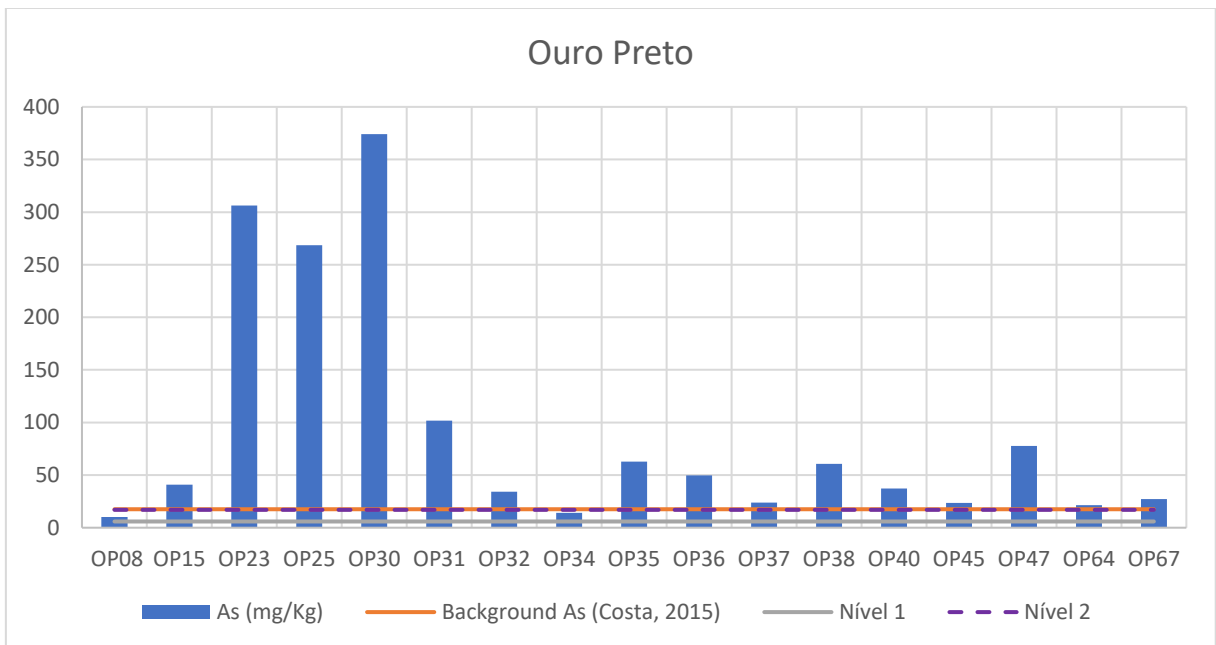


Figura 7 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Ouro Preto, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



## 7.2 ITABIRITO

O trecho do Rio das Velhas localizado dentro da cidade de Itabirito é fortemente marcado pelo aporte de sedimentos e esgoto sem tratamento oriundos de atividades minerárias e agropecuárias. Nesta cidade, foram disponibilizados os resultados de 48 pontos diferentes amostrados ao longo da bacia do Rio das Velhas, e como resultado, obteve-se concentrações de As variando entre 1,63 e 407,40 mg/Kg. A tabela do **APÊNDICE B** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 4– Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Itabirito.

Classificação FE	Itabirito
Deficiência de enriquecimento	38
Enriquecimento moderado	4
Enriquecimento significativo	5
Enriquecimento muito alto	1
Enriquecimento extremamente alto	-

Tabela 5 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Itabirito.

CONAMA 454/2012	Itabirito
Água Doce - Nível 1	10
Água Doce - Nível 2	8

Quando comparadas as concentrações obtidas na amostragem, com o valor de *background* (17,55 mg/Kg) para arsênio definido por Costa (2015), observa-se que 8 amostras estão acima deste valor, sendo que essas mesmas 8 amostras também ultrapassam o valor de Nível 2 definido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Além disso, 10 amostras estão acima apenas do valor de Nível 1 definido pela mesma resolução. Quando visualizados as classificações dessas amostras em relação ao FE, tem-se 4 amostras classificadas como “Enriquecimento moderado”, 5 amostras como “Enriquecimento significativo”, 1 amostra como “Enriquecimento muito alto”, e as demais amostras como “Deficiência de enriquecimento”.

As amostras ITA12, ITA15, ITA24, e ITA44 são as únicas que estão localizadas em áreas em que o uso e ocupação do solo é caracterizado como floresta, dessa forma, o enriquecimento significativo observado na ITA15 e ITA44 são de origem natural. As demais amostras com

enriquecimento moderado, enriquecimento significativo ou enriquecimento muito alto em arsênio, têm o uso e ocupação do solo mapeado como mineração, habitação rural, agricultura, áreas com histórico de garimpo e atividades relacionadas a áreas urbanas, dessa forma, os valores e classificações observados são de origem antropogênica.

Figura 8 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Itabirito. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).

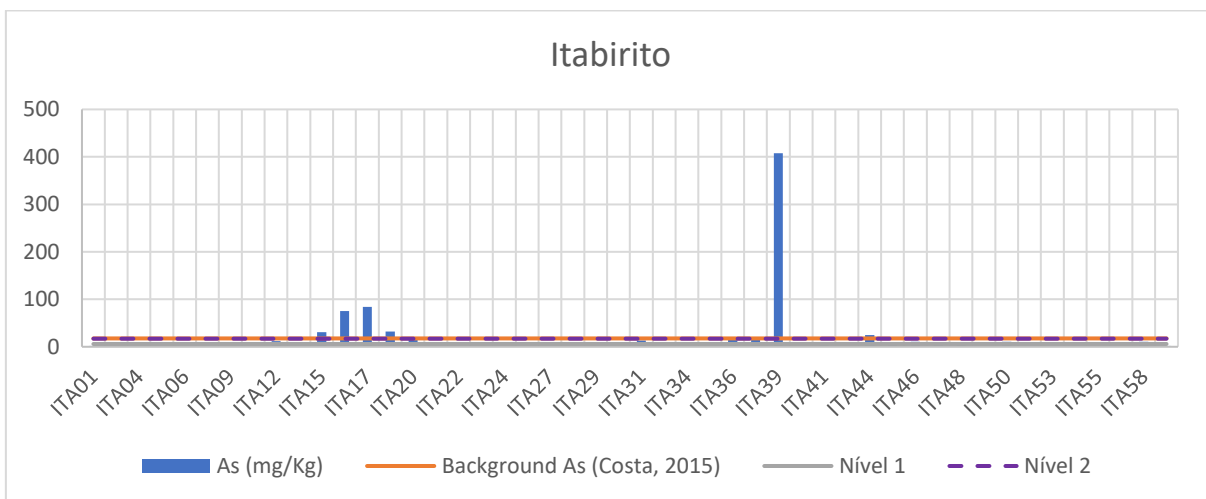
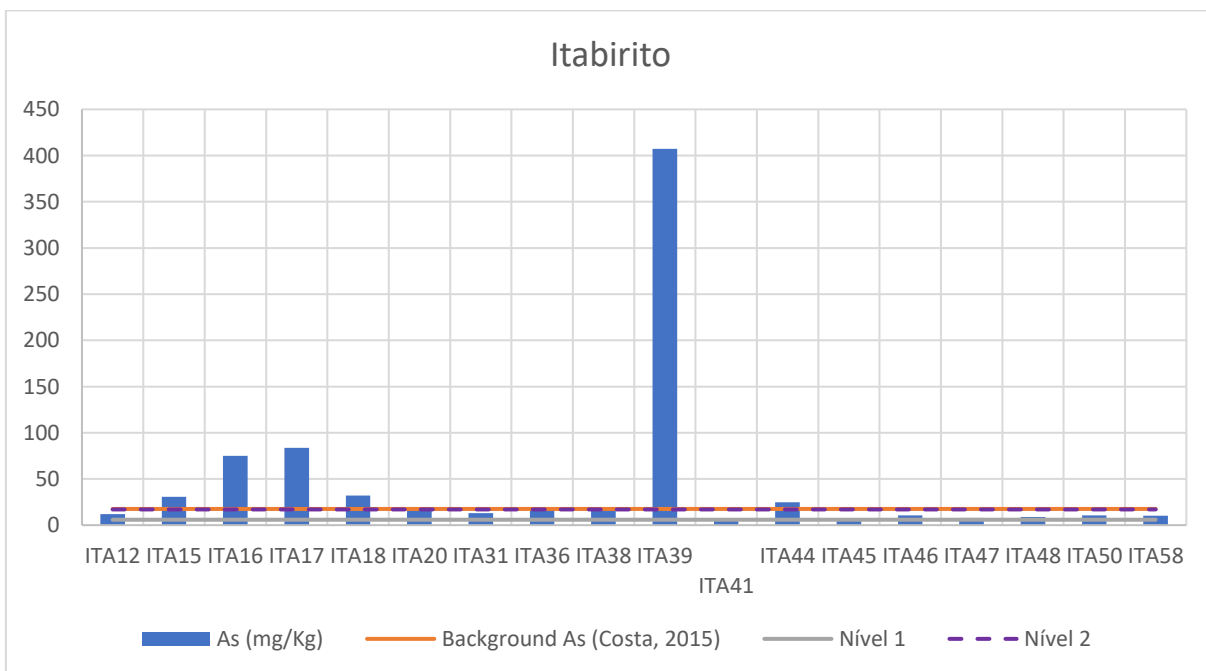


Figura 9 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Itabirito, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



### 7.3 RIO ACIMA

O município de Rio Acima integra um grupo de municípios que têm seu território completamente inserido na bacia do Alto Rio das Velhas, onde está localizada a estação Bela Fama, da Copasa, que abastece 2,4 milhões de pessoas na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Nesta cidade, foram disponibilizados e avaliados os resultados de 11 pontos amostrais no trecho do Rio das Velhas localizado em Rio Acima, sendo que tais resultados apontaram concentrações de As variando entre 1,63 e 47,79 mg/Kg. A tabela do **APÊNDICE C** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 6 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Rio Acima.

Classificação FE	Rio Acima
Deficiência de enriquecimento	6
Enriquecimento moderado	4
Enriquecimento significativo	1
Enriquecimento muito alto	-
Enriquecimento extremamente alto	-

Tabela 7 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Rio Acima.

CONAMA 454/2012	Rio Acima
Água Doce - Nível 1	4
Água Doce - Nível 2	3

Quando comparadas as concentrações obtidas na amostragem, com o valor de *background* (17,55 mg/Kg) para arsênio definido por Costa (2015), observa-se que 3 amostras estão acima deste valor, sendo que elas também ultrapassam o valor de Nível 2 definido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Ademais, 4 amostras estão acima apenas do valor de Nível 1 definido pela mesma resolução. Quando visualizadas as classificações de todo o universo amostral em relação ao FE, tem-se 4 amostras classificadas como “Enriquecimento moderado”, 1 amostra como “Enriquecimento significativo” e as demais classificadas como “Deficiência de enriquecimento”.

As amostras RAC01 e RAC12 são as únicas que estão localizadas em áreas em que o uso e ocupação do solo é caracterizado como floresta, considerado sem impacto antrópico. As demais

amostras com enriquecimento moderado e enriquecimento significativo em arsênio têm o uso e ocupação do solo mapeado como pastagem, atividade de carvoaria, habitação rural, agricultura, áreas com histórico de garimpo e atividades relacionadas a áreas urbanas, dessa forma, os valores e classificações observados acusam uma origem antropogênica.

Figura 10 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Rio Acima. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).

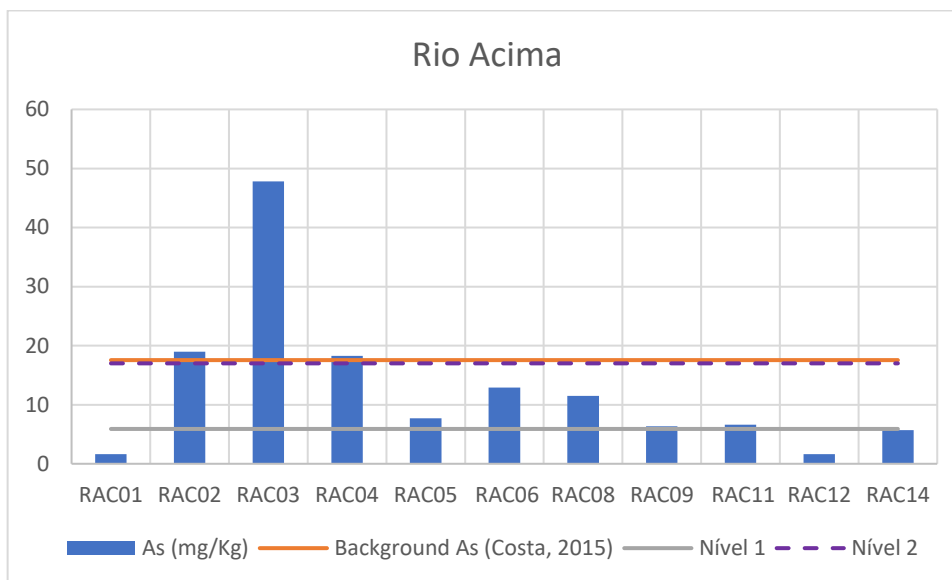
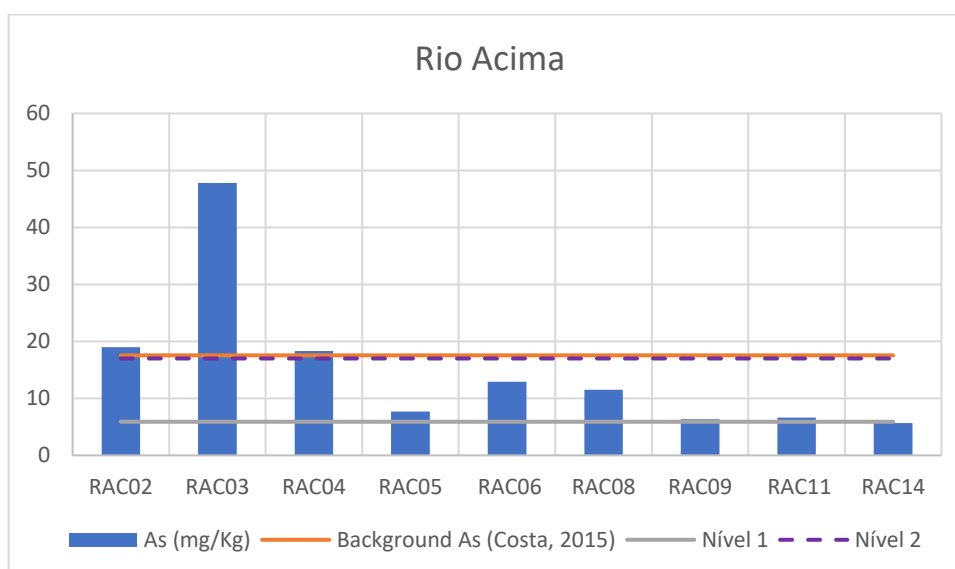


Figura 11 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Rio Acima, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



#### 7.4 NOVA LIMA

Nova Lima também é uma cidade que tem todo o seu território inserido na bacia do alto Rio das Velhas, onde foram disponibilizados os resultados de 22 pontos diferentes. Como resultado, obteve-se valor mínimo de 1,63 mg/Kg e máximo de 43,02 mg/Kg para arsênio. A tabela do **APÊNDICE D** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 8 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Nova Lima.

Classificação FE	Nova Lima
Deficiência de enriquecimento	9
Enriquecimento moderado	9
Enriquecimento significativo	4
Enriquecimento muito alto	-
Enriquecimento extremamente alto	-

Tabela 9 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Nova Lima.

CONAMA 454/2012	Nova Lima
Água Doce - Nível 1	3
Água Doce - Nível 2	11

Metade das amostras (11 amostras) apresentaram valor superior ao *background* definido por Costa (2015), além disso, 11 amostras extrapolaram o valor de Nível 2 definido pela Resolução CONAMA nº 454/2012, e 3 amostras violaram apenas o valor de Nível 1 definido pela mesma resolução. Quando visualizadas as classificações em relação ao FE, tem-se 9 amostras classificadas como “Enriquecimento moderado”, 4 amostras como “Enriquecimento significativo”, e as demais classificadas como “Deficiência de enriquecimento”.

Todas as amostras localizadas em áreas em que o uso e ocupação do solo é caracterizado como floresta, apresentam um outro uso do solo associado, que aponta que a área foi submetida a um impacto antrópico, como histórico de garimpo, habitação rural ou mineração. Além disso, as demais amostras com enriquecimento moderado e enriquecimento significativo em arsênio, têm o uso e ocupação do solo mapeado como mineração, habitação rural, agricultura, áreas com histórico de garimpo e atividades relacionadas a áreas urbanas, dessa forma, os valores e classificações observados acusam uma origem antropogênica.

Figura 12 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Nova Lima. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).

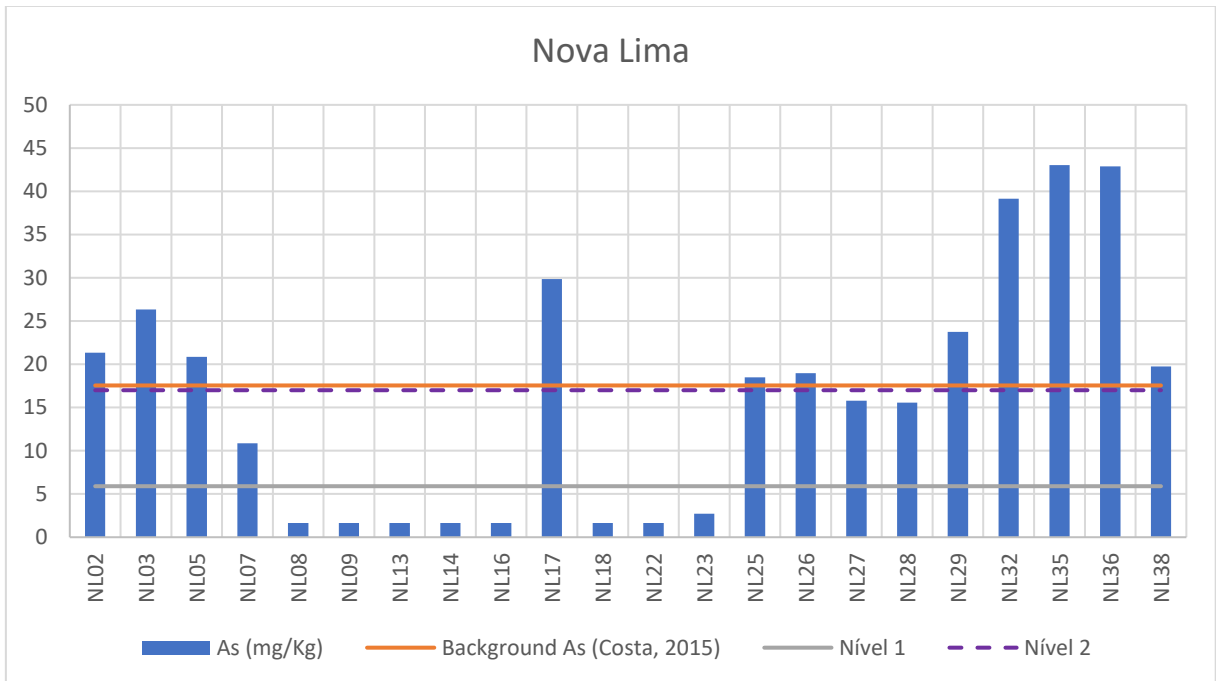
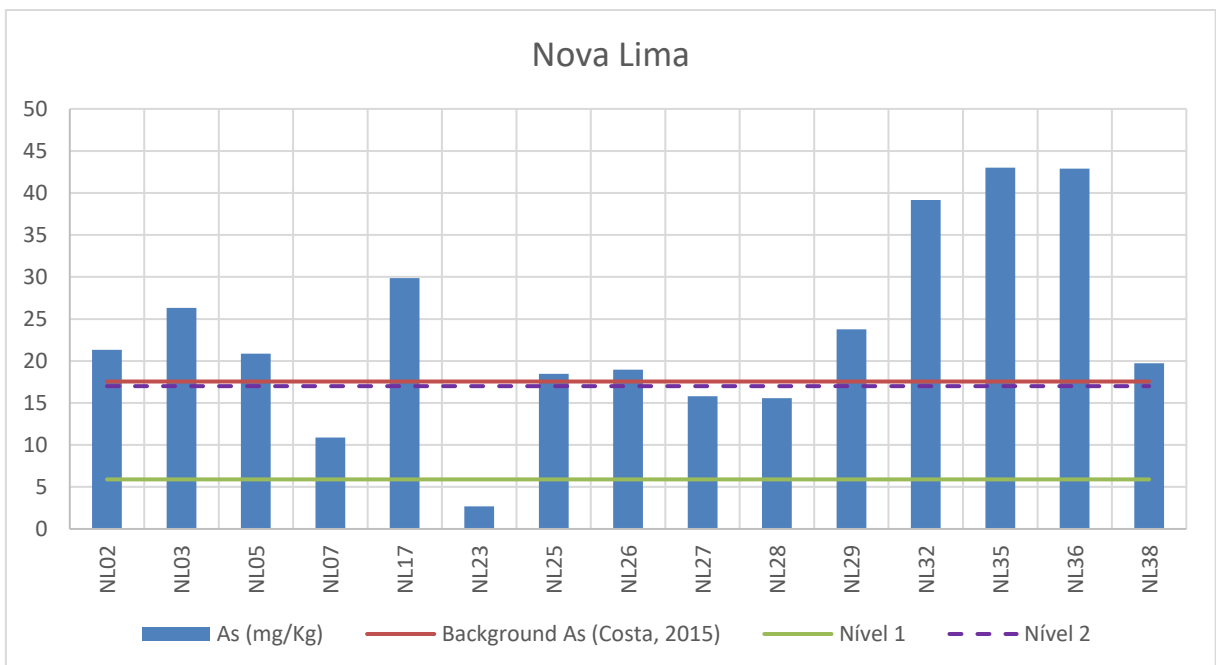


Figura 13 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Nova Lima, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



## 7.5 RAPOSOS

Na cidade de Raposos, além da má gestão do recurso hídrico resultar em maior vulnerabilidade a alagamentos e deslizamentos, o Rio das Velhas também recebe elevado aporte de esgoto doméstico sem tratamento. Ressalta-se que Costa (2015) efetuou a coleta de sedimentos de corrente em um maior número de locais, contudo, para esse estudo, só foram disponibilizados os resultados de 3 pontos coletados nesta cidade, os quais se apresentaram relativamente elevados, com valores de 38,05 mg/Kg (RAP01), 24,33 mg/Kg (RAP02) e 37,66 mg/Kg (RAP03). A tabela do **APÊNDICE E** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 10 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Raposos.

Classificação FE	Raposos
Deficiência de enriquecimento	-
Enriquecimento moderado	-
Enriquecimento significativo	3
Enriquecimento muito alto	-
Enriquecimento extremamente alto	-

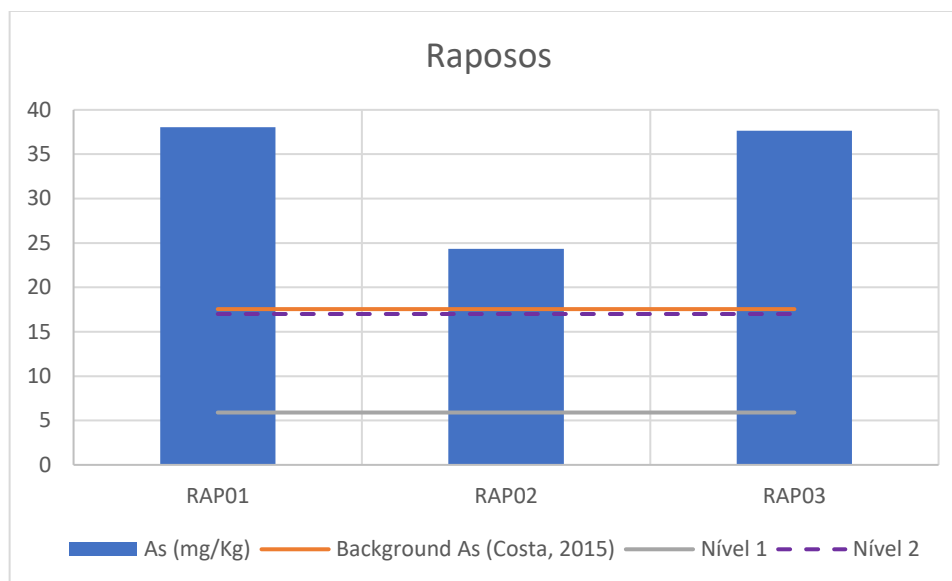
Tabela 11 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Raposos.

CONAMA 454/2012	Raposos
Água Doce - Nível 1	0
Água Doce - Nível 2	3

Todas as amostras excederam o valor de *background* definido por Costa (2015) e extrapolaram o Nível 2 definido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Em relação às classificações definidas pelo FE, todas as amostras foram enquadradas como “Enriquecimento significativo”.

Apesar da amostra RAP02 estar localizada em uma área em que o uso e ocupação do solo é caracterizado como floresta, verifica-se um histórico de garimpo ilegal que aponta que a área foi submetida a um impacto antrópico. Além disso, as demais amostras com enriquecimento significativo em arsênio, têm o uso e ocupação do solo mapeado como habitação rural, o que indica que os valores e classificações observados acusam uma origem antropogênica.

Figura 14 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Raposos. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



## 7.6 CAETÉ

O trecho do Rio das Velhas que corta a cidade de Caeté é afetado por lançamento de esgotos e efluentes industriais, principalmente, ao longo do Córrego Caeté e Ribeirão Juca. Na região de Caeté foram disponibilizados os resultados de 22 pontos diferentes de sedimentos de corrente, os quais variaram entre o Limite de Quantificação para arsênio, no valor de 1,63 mg/Kg, e o valor máximo de 325 mg/Kg. A tabela do **APÊNDICE F** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 12 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Caeté.

Classificação FE	Caeté
Deficiência de enriquecimento	14
Enriquecimento moderado	1
Enriquecimento significativo	2
Enriquecimento muito alto	2
Enriquecimento extremamente alto	3

Tabela 13 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Caeté.

CONAMA 454/2012	Caeté
Água Doce - Nível 1	-
Água Doce - Nível 2	8

Todas as amostras que apresentaram valores maior que o LQ (8 amostras) foram superiores ao *background* definido por Costa (2015), e acima do valor de Nível 2 definido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Nenhuma amostra violou apenas o valor de Nível 1 definido pela mesma resolução. Quando visualizadas as classificações em relação ao FE, tem-se 1 amostra classificada como “Enriquecimento moderado”, 2 amostras como “Enriquecimento significativo”, 2 amostras como “Enriquecimento muito alto”, 3 amostras como “Enriquecimento extremamente alto” e as demais classificadas como “Deficiência de enriquecimento”.

Todas as amostras localizadas em áreas em que o uso e ocupação do solo é caracterizado como floresta, apresentam um outro uso do solo associado, que aponta que a área foi submetida a um impacto antrópico, como histórico de garimpo, habitação rural, pastagem ou mineração, com

exceção da amostra CAE23 que é a única inteiramente inserida em um contexto natural. Além disso, as demais amostras com enriquecimento moderado, enriquecimento significativo, enriquecimento muito alto e enriquecimento extremamente alto em arsênio, têm o uso e ocupação do solo mapeado como mineração, habitação rural, agricultura, pastagem, áreas com histórico de garimpo e atividades relacionadas a áreas urbanas, dessa forma, os valores e classificações observados acusam uma origem antropogênica.

Figura 15 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Caeté. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).

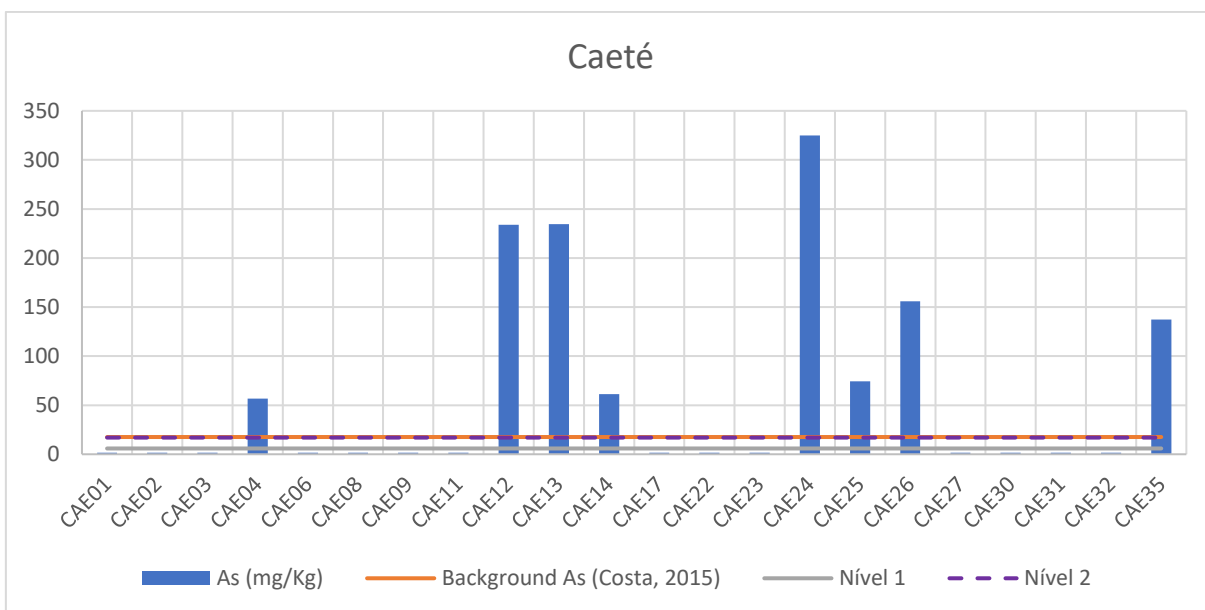
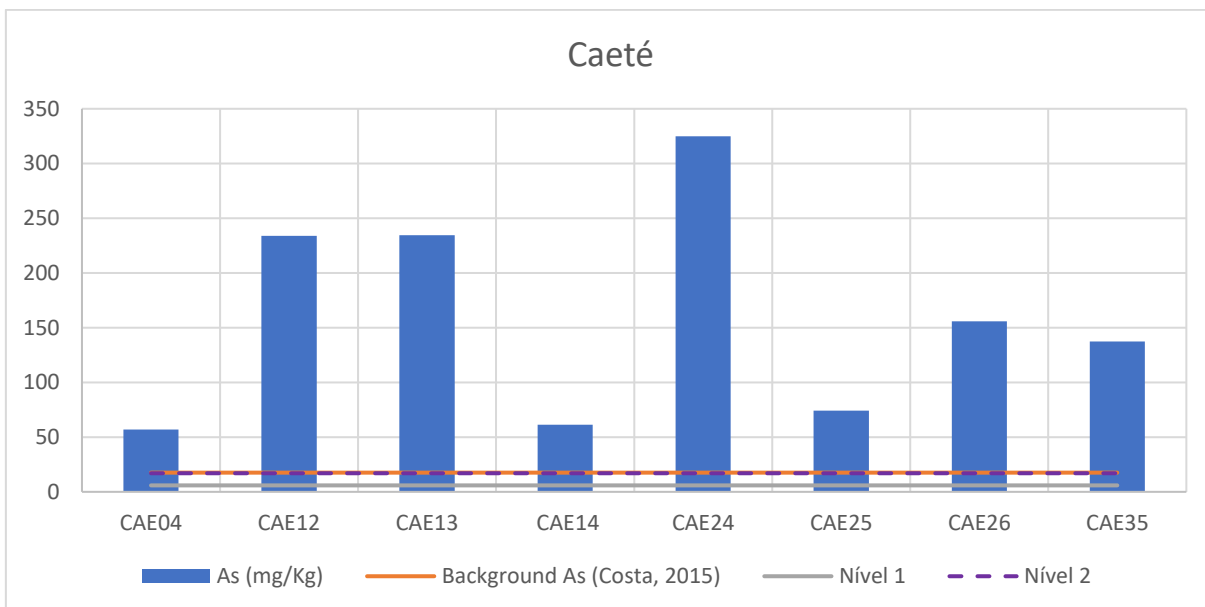


Figura 16 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Caeté, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



## 7.7 SABARÁ

Na região de Sabará, foram disponibilizados os resultados de sedimentos de corrente em 10 pontos de coleta ao longo do ribeirão Sabará, ribeirão Gaia, córrego Monjolo e o rio das Velhas. Apenas 3 amostras (33% do universo amostral) foram quantificadas para arsênio na análise, sendo elas as amostras SAB01 (38,44 mg/Kg), SAB10 (112,40 mg/Kg) e SAB11 (24,33 mg/Kg), dessa forma, as demais amostras tiveram resultado igual ao LQ (1,63 mg/Kg). A tabela do **APÊNDICE G** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 14 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Sabará.

Classificação FE	Sabará
Deficiência de enriquecimento	7
Enriquecimento moderado	1
Enriquecimento significativo	2
Enriquecimento muito alto	-
Enriquecimento extremamente alto	-

Tabela 15 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Sabará.

CONAMA 454/2012	Sabará
Água Doce - Nível 1	-
Água Doce - Nível 2	3

Todas as 3 amostras que apresentaram valores maior que o LQ (SAB01, SAB10 e SAB11) foram superiores ao *background* definido por Costa (2015), e superiores ao valor de Nível 2 definido pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Nenhuma amostra violou apenas o valor de Nível 1 definido pela mesma resolução. Quando visualizadas as classificações em relação ao FE, tem-se 1 amostra classificada como “Enriquecimento moderado”, 2 amostras como “Enriquecimento significativo”, e as demais classificadas como “Deficiência de enriquecimento”.

As amostras SAB10 e SAB11, que estão localizadas em áreas em que o uso e ocupação do solo é caracterizado como floresta, apresentam outro uso do solo associado, sendo ele o histórico de garimpo (comum para ambos) e a habitação rural (presente apenas na SAB11), que aponta que

a área foi submetida a um impacto antrópico. Além disso, as demais amostras com enriquecimento moderado e enriquecimento significativo em arsênio, têm o uso e ocupação do solo mapeado como habitação rural, áreas com histórico de garimpo e atividades relacionadas a áreas urbanas, dessa forma, os valores e classificações observados acusam uma origem antropogênica.

Figura 17 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Sabará. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).

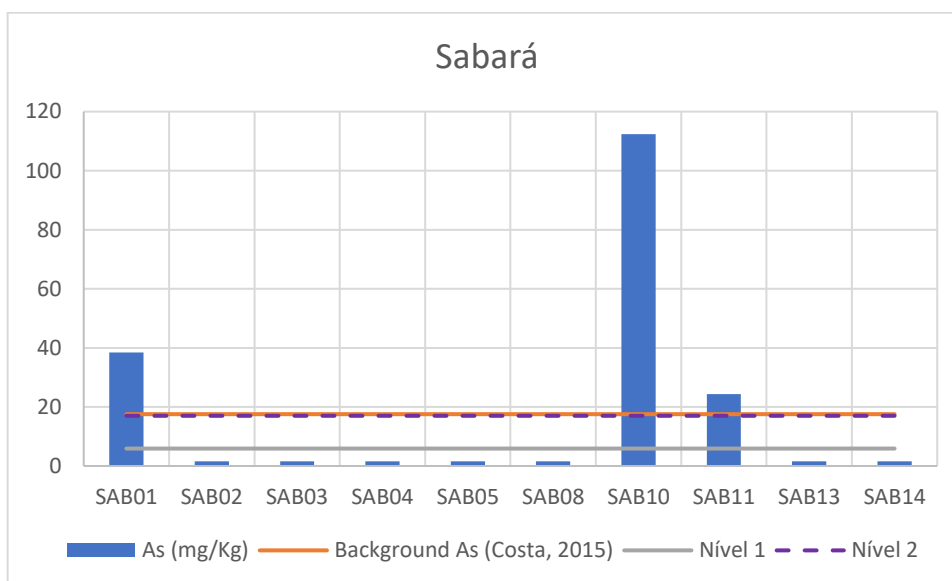
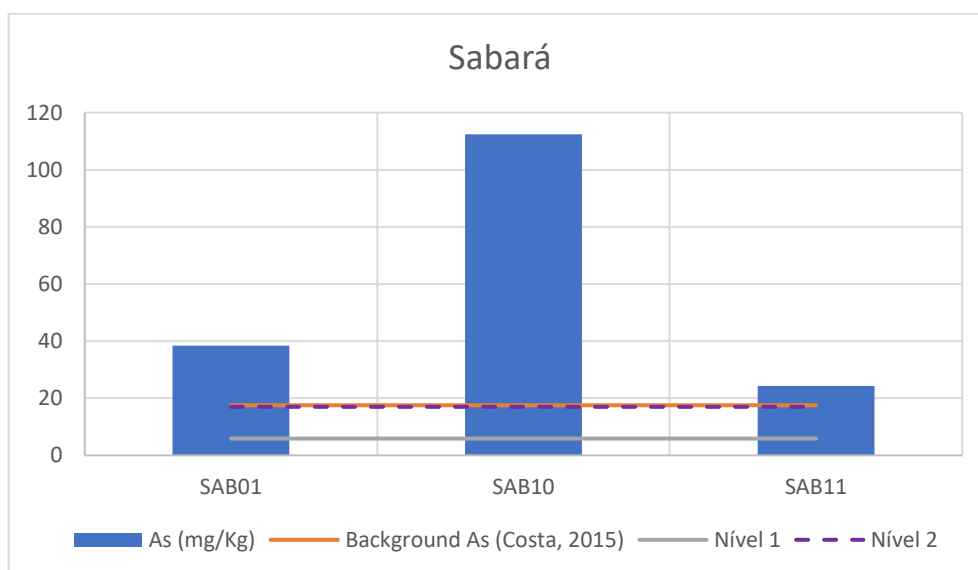


Figura 18 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Sabará, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



## 7.8 SANTA LUZIA

O município de Santa Luzia é banhado e cortado pelo Rio das Velhas e seus 10 afluentes em sua porção territorial, contudo, apenas 4% de seu território está inserido no alto Rio das Velhas. Costa (2015) disponibilizou resultados de amostragem de sedimentos de corrente em 7 locais diferentes, os quais todos apresentaram resultado de arsênio igual ao Limite de Quantificação, ou seja, 1,63mg/Kg. Dessa forma, não houve nenhuma violação aos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 454/2012, e todos os resultados encontrados estão inferiores ao valor de background estabelecido por Costa (2015). A tabela do **APÊNDICE H** reúne os resultados de Arsênio (em mg/Kg), além do Fator de Enriquecimento (FE) calculado, e o mapeamento do uso e ocupação do solo de cada ponto amostral.

Tabela 16 – Classificação de acordo com o FE das amostras coletadas em Santa Luzia.

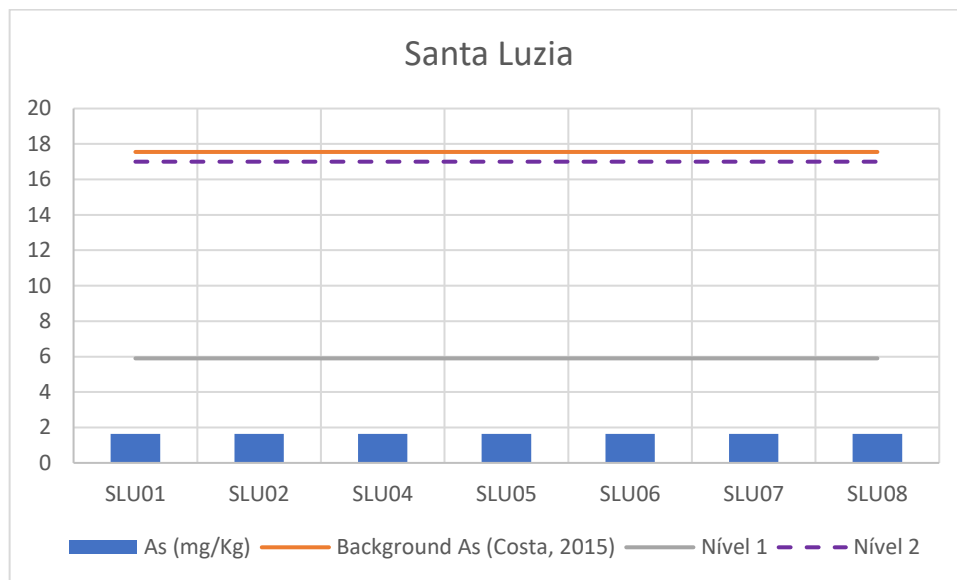
Classificação FE	Santa Luzia
Deficiência de enriquecimento	7
Enriquecimento moderado	-
Enriquecimento significativo	-
Enriquecimento muito alto	-
Enriquecimento extremamente alto	-

Tabela 17 – Número de violações aos VORs definidos pela Resolução CONAMA 454/2012, para as amostras coletadas em Santa Luzia.

CONAMA 454/2012	Santa Luzia
Água Doce - Nível 1	-
Água Doce - Nível 2	-

Em relação às classificações definidas pelo FE, todas as amostras apresentaram enquadramento em “Deficiência de enriquecimento”, ainda que o mapeamento de uso e ocupação do solo aponte que todas as áreas são afetadas por atividades antrópicas, sendo elas atividades relacionadas a áreas urbanas, habitação rural e agricultura.

Figura 19 - Gráfico de concentração de As em sedimentos coletados em Santa Luzia, sem valores iguais ao LQ. *Background* estabelecido por Costa (2015) no valor de 17,55 mg/Kg; Nível 1 (5,9 mg/Kg); Nível 2 (17,0 mg/Kg).



## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No âmbito desta pesquisa, foi viável examinar a distribuição espacial do arsênio nos sedimentos fluviais da Bacia do Alto Rio das Velhas. A utilização do *background* geoquímico, junto a avaliação do uso e ocupação do solo, como suporte nas análises ambientais, possibilitou a detecção de valores anômalos e a identificação de processos potencialmente poluidores que atuam na área investigada.

A avaliação da qualidade dos sedimentos de corrente, mediante a comparação dos resultados disponibilizados com o valor de referência regional, e a utilização do Fator de Enriquecimento como indicador de qualidade de sedimentos, apresentou consistência e correlação entre si. Pontos que apresentaram resultados que extrapolaram o *background* geoquímico definido para arsênio, apontaram uma tendência de enriquecimento ao ser calculado o FE, e a análise do uso e ocupação do solo no local foi crucial para compreender a origem natural ou não deste elemento naquele ponto.

Destaca-se que das 157 amostras de sedimentos de corrente utilizadas neste estudo, 73 (46,5%) apresentaram valores maior do que o Limite de Quantificação, sendo que aproximadamente 70% dessas amostras com concentrações acima do LQ ultrapassaram o valor de *background* geoquímico de arsênio. A grande maioria desses sedimentos foram coletados em cursos hídricos que drenam sobre rochas que compõem o Grupo Nova Lima, como carbonato-quartzo xisto e sericita xisto, principalmente nos municípios de Ouro Preto, Itabirito, Rio Acima, Raposos, Nova Lima, Sabará e Caeté, os quais possuem histórico marcado por atividades intensas de mineração de ouro e urbanização.

Com exceção de 4 amostras coletadas no município de Ouro Preto (OP23, OP30, OP31, OP32, OP34), e de 2 amostras coletadas no município de Itabirito (ITA15 e ITA44), os enriquecimentos identificados e enquadrados em classes pelo cálculo do FE (Fator de Enriquecimento), indicam de maneira geral a presença de poluição nos sedimentos, atribuindo-a predominantemente a fontes antrópicas. A análise acerca do uso e ocupação do solo da área de coleta das 6 amostras citadas, localizadas em Ouro Preto e Itabirito, acusam a disponibilidade natural do arsênio. Ou seja, apesar de apresentarem concentrações que extrapolam os valores de *background*, e os valores de Nível 2 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012, além de serem identificados como um enriquecimento significativo ou muito alto em arsênio, entende-se que, nestes pontos, a origem deste elemento é geogênica.

Ainda assim, destaca-se que as cidades de Ouro Preto, Itabirito, Rio Acima, Nova Lima, Raposos, Caeté e Sabará apresentaram vários pontos com enriquecimento em arsênio variando entre moderado e extremamente alto, com ocorrências de valores superiores aos VOR definidos pela legislação vigente e ao background geoquímico. Apenas o município de Santa Luzia que, nos resultados disponibilizados para este estudo, não apontou enriquecimento considerável, nem valores superiores ao *background* geoquímico ou legislações avaliadas.

A maioria dos pontos com enriquecimento considerável, e com ocorrências de valores superiores aos VOR definidos pela legislação vigente e ao *background* geoquímico, estão localizados em cursos hídricos que drenam sobre rochas do Supergrupo Rio das Velhas, majoritariamente, do Grupo Nova Lima, já citadas anteriormente. Contudo, apesar da reconhecida contribuição geológica na disponibilidade deste elemento na região, as avaliações das classificações de FE obtidas, junto ao mapeamento de uso e ocupação do solo desses locais de coleta, sustentam a influência da atividade antrópica na disponibilidade de arsênio. Os principais fatores identificados com potencial de contaminar os sedimentos, através da disponibilização e enriquecimento de arsênio, são as atividades minerárias passada e atual, o descarte inadequado de efluentes domésticos sem tratamento adequado, os resíduos industriais, domésticos e agrícolas.

Conforme identificado pela análise espacial executada na região estudada, e corroborado por Vicq *et al.* (2023) e Costa (2015), grande parte das anomalias associadas ao arsênio foram identificadas em áreas rurais e periféricas, comumente ocupadas por pessoas de baixa renda e baixo nível educacional, muitas vezes sem conhecimento dos riscos a que está sujeita.

Nesse contexto, este estudo reforça a necessidade de monitoramento da qualidade dos sedimentos ao longo da bacia do Alto Rio das Velhas, além de servir como um documento norteador para o planejamento de possíveis abordagens de remediação, uma vez que aponta os locais com maior enriquecimento em arsênio antropogênico ao longo da região estudada.

É notável o alto grau de complexidade e burocracia que os órgãos públicos enfrentarão no que tange o planejamento de medidas de intervenção, mapeamento em maior nível de detalhe dos riscos, sugestão de plano de intervenção até sua execução e monitoramento, dado o elevado número de municípios e dos diversos tipos de superficiários envolvidos nesta problemática. Contudo, sugere-se a mobilização em conjunto de órgãos como o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), a Secretaria de Estado de

Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD-MG) e as respectivas prefeituras de cada município, na busca de um acordo que garanta o cumprimento dessas etapas de estudos, planejamento, e a elaboração, execução e monitoramento de um plano de intervenção para a remediação das áreas mais críticas. Técnicas de fitorremediação de solos contaminados por arsênio utilizando espécies de braquiária, samambaias, e algumas leguminosas como mucuna preta, feijão de porco e crotalária, podem ser soluções baratas e eficazes, conforme apontam autores como Araújo *et al.*, (2010), Oliveira (2012) e Melo *et al.*, (2015), uma vez que sejam verificadas as devidas adequações para o atingimento de resultados satisfatórios. Além disso, parcerias como do CBH Rio das Velhas e da Agência de Bacia Hidrográfica Peixe Vivo podem ser consideradas para a intermediação entre população, prefeituras, governo estadual e empresas envolvidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATSDR, AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Toxicological Profile for Arsenic. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Public Health Service. Atlanta, GA: ATSDR, 2007. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2-p.pdf>>. 2007
- ARAÚJO, A. S. A., GUILHERME, L. R. G., LOPES, G., & CAMPOS, M. L. (2011). Fitorremediação de solos contaminados com arsênio (As) utilizando braquiária. *Ciência E Agrotecnologia*, 35(1), 84–91. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000100010>. 2011.
- BAI, J.; PORWAL, A.; HART, C.; FORD, A.; Yu, L. (2010). Mapping geochemical singularity using multifractal analysis: Application to anomaly definition on stream sediments data from Funin Sheet, Yunnan, China. *Journal of Geochemical Exploration*. 104. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2009.09.002>. 2010.
- BOUNESSAH, M & ATKIN, B.P. (2003). An application of exploratory data analysis (EDA) as a robust non-parametric technique for geochemical mapping in a semi-arid climate. *Applied Geochemistry*. 18. 1185-1195. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00247-0](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00247-0). 2003.
- BUAT-MENARD P., CHESSELET, R. (1979) Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *EarthPlanet Sc Lett* 42:399–411. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6086-6>. 1979.
- CARRANZA, E. J. M. 2009. Geochemical Anomaly and Mineral Prospectivity Mapping in GIS. Handbook of exploration and environmental geochemistry. Vol. 11. Elsevier publications. Budapeste. Hungria. 310 p. ISBN 978-0-444-51325-0. 2009.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Ficha de Informação Toxicológica – Arsênio. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. São Paulo, 2017.
- CHEREM, L.F.S., MAGALHÃES JÚNIOR, A.P., & FARIA, S.D. Análise E Compartimentação Morfométrica da Bacia Hidrográfica do alto Rio Das Velhas – Região Central De Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12(1). <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i1.214>. 2011.
- COSTA, R. de V.F. da. Mapeamento geoquímico e estabelecimento de valores de referência (background) de sedimentos fluviais do Quadrilátero Ferrífero. 2015. 185 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Disponível em : <<http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/5737>>. 2015.
- DA SILVA, F.L. *et al.* Qualidade dos sedimentos do rio Monjolinho: índice de geoacumulação. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v. 4, n. 1, p. 79-87, 2016.
- DE CARVALHO FILHO, C.A. *et al.* Avaliação Da Qualidade De Sedimentos Fluviais Da Região De Descoberto-Mg, E Definição De Valores Orientadores Para Verificação De Contaminação Mercurial A Partir Da Aplicação Do Índice De Geoacumulação-Igeo. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1-20, ISSN 2318-0358. 2003.
- GRESENS, R.L. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical geology*, v. 2, p. 47-65. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(67\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0009-2541(67)90004-6). 1967.

HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, v. 14, n. 8, p. 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8). 1980.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Bases cartográficas digitais. Belo Horizonte, MG: IGAM, 2022. Disponível em: [http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=90&Itemid=147](http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=147)

LOPES, F.W.A.; MAGALHÃES JR, A. P. Avaliação da qualidade das águas para recreação de contato primário na Bacia Do Alto Rio Das Velhas, MG. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 6, n. 11, 2010.

MADEIRA, M. de R. *et al.* Caracterização faciológica e evolução sedimentar da Formação Moeda (Supergrupo Minas) na porção noroeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, São Paulo, v. 19, n. 13, p. 129-148, set. 2019. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GUSPSC/article/view/13425>>. 2019.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. (2000). Geochemical background - Can we calculate it?. *Environmental Geology*. 39. 990-1000. <https://doi.org/10.1007/s002549900084>. 2000.

MELO, R. F., DIAS, L. E., & ASSIS, I. R. (2015). Potencial de Espécies de Leguminosas para Recuperação de Solo Contaminado por Arsênio (Legumes Species Potential for Contaminated Soil Recovery for Arsenic). *Revista Brasileira De Geografia Física*, 8(3), 938–949. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150044>. 2015.

MORENO, P.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água ao longo da bacia do Rio das Velhas (MG). *Bioindicadores de qualidade da água*. Jaguariúna: Embrapa, p. 95-116, 2004.

MÜLLER, G. 1969. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *Geojournal*, v. 2, n. 3, p. 108-118. 1969.

NASCIMENTO, L.P.; REIS, D.; ROESER, H.; SANTIAGO, A. Avaliação geoquímica de metais em sistemas fluviais afetados por atividades antrópicas no Quadrilátero Ferrífero. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 23. 767-778. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018165852>. 2018.

NONATO, E.A. *et al.* Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do Rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, p. 797-804, 2007.

OLIVEIRA, L. M. de. Potencial de samambaias para fitorremediação de arsênio. 2012. 104 p. Tese (Doutorado em Recursos Ambientais e Uso da Terra). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/357>. 2012.

PANNO, S. V.; BERG, R. C.; KELLY, W. L. 2010. Geologic influences on water and stream sediments quality. In *Geology of Illinois*, D Kolata (ed.). Illinois State Geological Survey. P. 337-350. ISBN: 9780615417394. 2010.

PEREIRA, H.S., GUIMARÃES SILVA, A.K., NALINI JR. H.A., PACHECO SILVA E., DE LENA J.C. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. *Química Nova*, Vol. 30, nº 5, 1249-1255. 2007.

POMPEU, P. S., ALVES, C. B. M., CALLISTO, M. The Effects of Urbanization on Biodiversity and Water Quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. American Fisheries Society Symposium. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702010000100016>. 2005.

REIMANN, C.; FILZMOSE, P.; GARRETT, R. (2005). Background and threshold: Critical comparison of methods of determination. The Science of the total environment. 346. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.023>. 2005.

REZENDE, P. S. Avaliação da Distribuição e Mobilidade de Elementos Traço em Sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Belo Horizonte, 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. <http://hdl.handle.net/1843/BIRC-86EL5Y>. 2009.

SALGADO, A. A. R., VARAJÃO, C. A. C., COLIN, F., BRAUCHER, R., VARAJÃO, A. F. D. C., JÚNIOR, H. A. N., CHEREM, L. F. S., MARRENT, B. R., & BRINDUSA, C. B. Estimativa das Taxas de Erosão das Terras Altas da Alta Bacia do Rio Das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: Implicações para A Evolução Do Relevô. (2008) Revista Brasileira De Geomorfologia, 8(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i2.89>. 2008.

SANTANA FILHO, S. Distribuição de arsênio e oxidação de materiais sulfetados de áreas de mineração de ouro no Estado de Minas Gerais. 2005. 177 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/10969>. 2005.

SANTOS, G.B. Geomorfologia fluvial no Alto Vale do Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG: paleoníveis deposicionais e dinâmica erosiva e deposicional atual. 2008. 130p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, I. M. da. Comparação dos índices de qualidade da água e usos do fator contaminação e índice de geoacumulação para os sedimentos da microbacia do arroio João Corrêa, São Leopoldo, RS, Brasil. 2008.

SOUSA, R., FERNANDES, K., MILANI, J. L., FREITAS-REIS, I., OLIVEIRA, W., AFONSO, A. (2023). Química Ambiental/Environmental Chemistry. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12425.52320>. 2023.

SUTHERLAND, R.A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology 39 (6) (2000), 611-627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>. 2000.

TEIXEIRA W., SABATÉ P., BARBOSA J., NOCE C.M., CARNEIRO M.A. 2000. Archean and paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton. In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos, D.A. (Ed.) International Geological Congress, Rio de Janeiro, 31, Tectonic evolution of South America, p. 101- 137. 2000.

UHLEIN A. & NOCE C.M. 2012. Quadrilátero Ferrífero. In: HASUI Y., CARNEIRO C.D.R., ALMEIDA F.F.M., BARTORELLI A. (eds). Geologia do Brasil. São Paulo: Beca, 228 – 229. 2012.

VICQ, R.; LEITE, M.G.P.; LEÃO, L.P.; NALLINI JÚNIOR, H.A.; VALENTE, T. Geochemical Mapping and Reference Values of Potentially Toxic Elements in a Contaminated Mining Region: Upper Velhas River Basin Stream Sediments, Iron Quadrangle, Brazil. Minerals, 13, 1545. <https://doi.org/10.3390/min13121545>. 2023.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Ouro Preto.**

Sample	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
OP07	1,63	0,606306	Habitação Rural
OP08	10,15332	3,736231	Área urbana/Mineração
OP10	1,63	0,071212	Habitação Rural
OP11	1,63	0,465417	Habitação Rural/Áreaal Desativado
OP12	1,63	0,219963	Habitação Rural
OP15	40,94	4,489904	Área urbana/Agricultura
OP23	306,2	31,91621	Floresta (Uaimí)
OP25	268,6	31,43449	Habitação Rural
OP27	1,63	0,093461	Floresta
OP28	1,63	0,094833	Floresta
OP30	374,1	23,24305	Floresta (Uaimí)
OP31	101,7	6,103561	Floresta (Uaimí)
OP32	34,32	4,068448	Floresta (Uaimí)
OP34	14,16	1,222973	Mineração
OP35	62,9	8,336705	Mineração
OP36	49,7	3,749664	Mineração
OP37	23,8	3,979541	Mineração
OP38	60,6	4,491502	Mineração
OP39	1,63	2,371787	Habitação Rural
OP40	37,22	2,826896	Habitação Rural
OP42	1,63	0,081578	Habitação Rural
OP43	1,63	0,083397	Floresta/Habitação Rural
OP44	1,63	0,105333	Floresta/Habitação Rural
OP45	23,58	1,62973	Habitação Rural/Agricultura
OP47	77,8	2,546304	Habitação Rural/Agricultura
OP48	1,63	0,10937	Floresta/Habitação Rural
OP58	1,63	0,090167	Área Urbana
OP62	1,63	0,095526	Área Urbana
OP64	21,36	1,110044	Área Urbana
OP67	27,09	1,682184	Área Urbana
OP89	1,63	2,048835	Habitação Rural
OP93	1,63	1,541139	Habitação Rural/Rodovia
OP95	1,63	0,097166	Habitação Rural
OP101	1,63	0,98614	Habitação Rural/Eucaliptal

**APÊNDICE B – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Itabirito.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
ITA01	1,63	0,773694	Habitação Rural/Mineração
ITA02	1,63	0,234254	Habitação Rural/Agricultura
ITA04	1,63	0,209998	Habitação Rural/Mineração
ITA05	1,63	0,332362	Habitação Rural
ITA06	1,63	0,479231	Habitação Rural
ITA08	1,63	0,290946	Floresta/Habitação Rural
ITA09	1,63	0,250631	Habitação Rural
ITA10	1,63	0,580484	Habitação Rural
ITA12	11,85152	3,893488	Floresta/Habitação Rural/Histórico de Garimpo
ITA14	1,63	0,295722	Floresta
ITA15	30,56	6,61739	Floresta
ITA16	75	3,876739	Habitação Rural
ITA17	83,7	6,084198	Habitação Rural
ITA18	31,88	5,860592	Habitação Rural
ITA20	17,75276	7,552435	Floresta/Habitação Rural
ITA21	1,63	0,507441	Floresta/Habitação Rural
ITA22	1,63	0,461986	Habitação Rural/Agricultura
ITA23	1,63	0,548336	Habitação Rural/Agricultura
ITA24	1,63	0,502221	Floresta
ITA25	1,63	0,079607	Área urbana
ITA27	1,63	0,10101	Habitação Rural/Agricultura
ITA28	1,63	0,22569	Habitação Rural
ITA29	1,63	0,135404	Área urbana
ITA30	1,63	0,122385	Área urbana
ITA31	12,97	0,880031	Área urbana
ITA33	1,63	0,207445	Área urbana
ITA34	1,63	0,098964	Área urbana
ITA35	1,63	0,141354	Área urbana
ITA36	16,39	0,514999	Área urbana
ITA38	17,64	1,834961	Área urbana
ITA39	407,4	30,18666	Área urbana
ITA40	1,63	0,430394	Floresta/Habitação Rural
ITA41	7,13	1,372957	Floresta/Histórico de Garimpo
ITA42	1,63	0,747918	Floresta/Habitação Rural
ITA44	24,71	7,922391	Floresta
ITA45	6,83	1,725251	Mineração
ITA46	10,67424	4,627469	Mineração
ITA47	7,84	2,255323	Mineração
ITA48	8,71	1,398977	Mineração
ITA49	1,63	0,093319	Mineração
ITA50	10,72	0,983309	Mineração
ITA52	1,63	0,249677	Habitação Rural
ITA53	1,63	0,233342	Habitação Rural

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
ITA54	1,63	0,081045	Habitação Rural/Agricultura
ITA55	1,63	0,106677	Habitação Rural/Agricultura
ITA56	1,63	0,126421	Habitação Rural
ITA58	10,23	1,259012	Habitação Rural
ITA59	1,63	0,245889	Habitação Rural

**APÊNDICE C – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Rio Acima.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
RAC01	1,63	0,585912	Floresta
RAC02	19	2,741427	Área Urbana/Histórico de Garimpo Ilegal
RAC03	47,79	12,17559	Habitação Rural
RAC04	18,29	3,737375	Habitação Rural
RAC05	7,71	1,650906	Atividade de carvoaria
RAC06	12,9	2,906985	Área Urbana
RAC08	11,52	3,622237	Área Urbana
RAC09	6,34	1,513314	Floresta/Pastagem
RAC11	6,62	1,660479	Habitação Rural/Agricultura
RAC12	1,63	0,317746	Floresta
RAC14	5,69	1,824752	Habitação Rural/Agricultura

**APÊNDICE D – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Nova Lima.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
NL02	21,32196	3,451086	Floresta/Histórico de Garimpo
NL03	26,31937	6,054819	Floresta/Histórico de Garimpo
NL05	20,85	3,824181	Área urbana
NL07	10,87	2,482546	Área urbana
NL08	1,63	0,275301	Mineração
NL09	1,63	0,220429	Habitação Rural/Agricultura
NL13	1,63	0,156949	Habitação Rural
NL14	1,63	0,363091	Habitação Rural
NL16	1,63	0,086167	Floresta/Habitação Rural
NL17	29,86	3,454359	Floresta/Habitação Rural
NL18	1,63	0,22944	Floresta/Habitação Rural/Mineração
NL22	1,63	0,899328	Habitação Rural
NL23	2,707	0,621158	Habitação Rural
NL25	18,48372	4,957773	Habitação Rural/Agricultura
NL26	18,95447	6,253697	Habitação Rural/Agricultura
NL27	15,79631	1,604533	Habitação Rural/Agricultura

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
NL28	15,58122	3,086387	Habitação Rural/Agricultura
NL29	23,76257	2,66815	Habitação Rural/Agricultura
NL32	39,15105	4,924713	Floresta/Mineração
NL35	43,01755	14,94836	Área urbana
NL36	42,9031	9,197625	Área urbana
NL38	19,73843	2,788613	Área urbana

**APÊNDICE E – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Raposos.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
RAP01	38,05	9,216376	Habitação Rural
RAP02	24,32921	5,380297	Floresta/Histórico de Garimpo
RAP03	37,66	12,91866	Habitação Rural

**APÊNDICE F – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Caeté.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
CAE01	1,63	0,200337	Habitação Rural/Agricultura
CAE02	1,63	0,051792	Habitação Rural/Agricultura
CAE03	1,63	0,1377	Habitação Rural/Agricultura
CAE04	56,8	3,811478	Habitação Rural
CAE06	1,63	0,186846	Floresta/Habitação Rural
CAE08	1,63	0,058696	Floresta/Habitação Rural
CAE09	1,63	0,073379	Habitação Rural/Agricultura
CAE11	1,63	0,073586	Habitação Rural/Agricultura
CAE12	233,8	69,629	Habitação Rural
CAE13	234,4	58,42982	Habitação Rural
CAE14	61,3	9,100649	Habitação Rural/Agricultura
CAE17	1,63	0,273741	Habitação Rural/Agricultura
CAE22	1,63	0,110963	Habitação Rural/Agricultura
CAE23	1,63	0,168259	Floresta
CAE24	325	90,6964	Floresta/Mineração
CAE25	74,3	9,101524	Floresta/Mineração
CAE26	155,951	23,6343	Habitação Rural/Agricultura
CAE27	1,63	0,101114	Floresta/Pastagem
CAE30	1,63	0,091411	Floresta/Habitação Rural
CAE31	1,63	0,110116	Floresta/Habitação Rural
CAE32	1,63	0,089046	Habitação Rural/Agricultura
CAE35	137,3	35,54644	Floresta/Histórico de Garimpo

**APÊNDICE G – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Sabará.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
SAB01	38,44	6,965116	Habitação Rural
SAB02	1,63	0,927134	Habitação Rural
SAB03	1,63	0,541825	Habitação Rural
SAB04	1,63	0,519948	Habitação Rural
SAB05	1,63	1,09154	Habitação Rural
SAB08	1,63	0,073716	Habitação Rural
SAB10	112,4	8,994999	Floresta/Histórico de Garimpo
SAB11	24,33	3,566413	Floresta/Histórico de Garimpo/Habitação Rural
SAB13	1,63	0,270111	Área Urbana
SAB14	1,63	0,134278	Área Urbana

**APÊNDICE H – Compilado de valores de concentração obtidos para As em sedimentos de corrente, o valor calculado para FE e o mapeamento de uso e ocupação de solo para cada amostra coletada em Santa Luzia.**

Amostra	As (mg/Kg)	FE	Uso e Ocupação
SLU01	1,63	0,081765	Área Urbana
SLU02	1,63	0,087425	Área Urbana
SLU04	1,63	0,077782	Habitação Rural/Agricultura
SLU05	1,63	0,090004	Área Urbana
SLU06	1,63	0,092507	Área Urbana
SLU07	1,63	0,110064	Área Urbana
SLU08	1,63	0,088122	Área Urbana