

## **A PRESENÇA DO ARSÊNIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA CIDADE OURO PRETO (MG) BRASIL**

JOSÉ AUGUSTO COSTA GONÇALVES - Dep. de Geologia – Universidade Federal de Ouro Preto -  
Ouro Preto-MG / Brasil - [costa@degeo.ufop.br](mailto:costa@degeo.ufop.br) -  
JORGE CARVALHO DE LENA - Departamento de Química – Universidade Federal de Ouro Preto –  
Ouro Preto-MG / Brasil –  
JOSÉ FERNANDO PAIVA - Departamento de Química / Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro  
Preto-MG / Brasil –  
HERMÍNIO A. NALINI JR - Dep. de Geologia / UFOP – Ouro Preto / MG / Brasil –  
JANICE CARDOSO PEREIRA - CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais / Belo Horizonte-MG

### **INTRODUÇÃO**

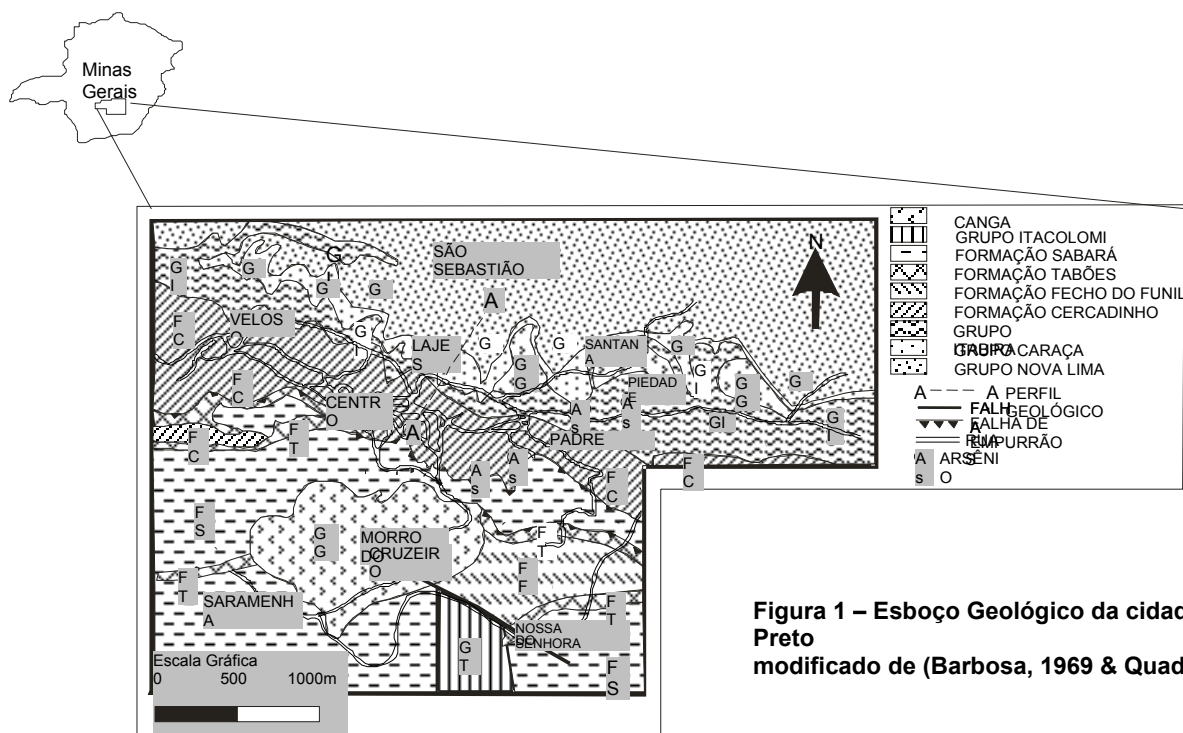
Muitos compostos de As estão presentes no meio ambiente e em sistemas biológicos. O As é encontrado na constituição de uma longa lista de minerais, em que os sulfetos, arsenetos e sulfoarsenetos são os mais comuns. Em águas naturais, o As ocorre em compostos inorgânicos e orgânicos. Em solução, os compostos inorgânicos encontrados nas águas em condições de Eh alto a moderado são  $H_3AsO_4$ ,  $H_2AsO_4^-$ ,  $HAsO_4^{2-}$ ,  $AsO_4^{3-}$  e em condições redutoras o  $H_3AsO_3$ , onde o As se apresenta nos estados de oxidação 3+ e 5+ (Thornton & Farago, 1997). O As é um elemento tóxico e carcinogênico. A toxidez do As depende das espécies químicas presentes. A via mais comum de exposição humana ao As é o consumo de água contaminada.

Os limites de concentração de As para águas potáveis, seriam no máximo de  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$  sugeridos pela WHO (1993), entretanto estes limites foram reduzidos em 1994, também pela WHO para  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ , em decorrência de novos estudos.

No município de Ouro Preto, o abastecimento público domiciliar, bem como as fontes e chafarizes existentes nas ruas e praças, é feito através da captação de água superficial, de nascentes e também de águas subterrâneas provenientes de poços tubulares e de antigas minas de ouro. A possibilidade da ocorrência de contaminação dessas águas por As, em função das litotipos constituintes dos aquíferos, as tornaria impróprias para o consumo humano.

### **CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA ESTUDADA**

A área em estudo, está inserida regionalmente na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero. O Quadrilátero Ferrífero, compreende uma área de  $7.200 \text{ Km}^2$ , localizada na porção centro-sul do estado de Minas Gerais. Devido à existência de grandes jazidas, principalmente de ferro, ouro, manganês, e pelas características especiais dos aspectos geológicos, desde o século XVIII, diversos estudos geológicos são desenvolvidos nesta região.



**Figura 1 – Esboço Geológico da cidade de Ouro Preto**  
**modificado de (Barbosa, 1969 & Quade, 1982)**

O clima de Ouro Preto, de acordo com Rodrigues (1966), adotando a classificação internacional de KOPPEN, é do tipo Cwb (tropical de altitude), ou seja, mesotérmico úmido, com inverno seco e verão brando. Segundo o Instituto de Geociências Aplicadas (IGA, 1995), que analisou os dados das precipitações pluviométricas correspondentes ao período de 1914 a 1990, fornecidos pelo 5º Distrito de Meteorologia, a média anual das precipitações atmosféricas é 1723,6 mm. O período das chuvas se estende de outubro a março e concentra 89,6% da precipitação anual. O período de abril a setembro recebe apenas 10,4% da precipitação.

## **HIDROGEOLOGIA - OS SISTEMAS AQUÍFEROS**

A constituição geológica onde está inserida a cidade de Ouro Preto, (Figura 1), compreende um conjunto de rochas metassedimentares e metavulcânicas pertencentes aos Supergrupos Minas e Rio das Velhas, possibilitando num primeiro momento, a identificação da predominante presença de aquíferos do meio fissural. O auto grau de compactação e foliação dessas rochas, as tornam de baixa permeabilidade primária, caracterizando-as pela ausência ou presença muito reduzida de espaços vazios na rocha. Nesse aquífero, a água se encontra em espaços representados por fissuras ou fraturas, juntas ou ainda falhas.

Contudo algumas litologias apresentam boa porosidade, podendo funcionar como aquíferos granulares ou granular-fissural, em decorrência da grande densidade de superfícies de fraturas, aliadas a ação dos processos de intemperismo e lixiviação das rochas. Apesar disso, estes aquíferos ainda

mantém a heterogeneidade e anisotropia como características fundamentais dos meios fissurais, (IGA, 1995).

Além dos aspectos relacionados à permeabilidade, os sistemas aquíferos foram agrupados e individualizados, considerando o ambiente geológico da área de estudo, em função do caráter litológico predominante (Quadro 1).

Foram identificando três categorias de sistemas aquíferos: um meio granular, caracterizado por mantos de alteração e coberturas detríticas indiferenciadas, um meio granular-fissurado, constituído pelas rochas itabiríticas e um meio fissural, representado pelas rochas xistosas e quartzíticas.

**Quadro 1 – Os sistemas aquíferos, litologias predominantes e unidades geológicas associadas (Modificado de IGA, 1995)**

| Sistemas Aquíferos  | Litologia Predominante e Unidades Geológicas   |
|---|--|
| Meio Granular   |  |
| Aquíferos em Manto de alteração e Coberturas detríticas indiferenciadas | Saprólitos, colúvios, areias finas, capas lateríticas e formações de canga.  |
| Meio Granular – Fissurado   |  |
| Aquífero Itabirítico  | Itabirito e itabirito dolomítico da Formação Cauê / Filito dolomítico e formações ferríferas dolomíticas da Formação Gandarela   |
| Meio Fissurado  |  |
| Aquífero Xistoso  | Xisto, clorita-filito e xisto, quartzo-clorita e quartzo-clorita-sericita xisto do Grupo Nova Lima / Filito dolomítico, filito e siltito da Formação Fecho do Funil / Mica e clorita-xisto, quartzito da Formação Sabará |
| Aquífero Quartzítico  | Quartzito, quartzito ferruginoso, filito da Formação Cercadinho / Quartzito conglomerático do Grupo Itacolomi  |

## MATERIAIS E MÉTODOS

Dentre as várias captações de água subterrânea e superficial utilizadas pela população da cidade Ouro Preto, foram selecionados 17 pontos de amostragem (P.A.), para estudo. As amostras de água natural subterrânea e superficial (Tabela 1) foram coletadas ao longo do ano de 2003, em seis campanhas de amostragem (C.A.), nos meses de janeiro, março, maio, julho, setembro e novembro. Em cada ponto de coleta foram medidos *in situ* o pH, Eh, temperatura, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica.

O método de análise de especiação de As utilizado, foi por voltametria de onda quadrada, (Gonçalves *et al.*, 2004). Os experimentos voltamétricos foram realizados em um polarógrafo Metrohm, modelo 757 VA Computrace, dotado de um eletrodo de trabalho de gota pendente de mercúrio, um eletrodo de referência Ag/AgCl/KCl 3 mol.L<sup>-1</sup> e um eletrodo auxiliar de platina.

## RESULTADOS

Dos 17 pontos estudados (Tabela 1), em 13 não foi encontrada a presença de As. Entretanto, em 4 localidades, o As(V) foi detectado em concentrações que variaram entre 9 a 224  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Do total de amostras de água analisadas, os valores das concentrações de As de 75% das amostras, estavam acima dos valores compatíveis ao consumo humano, que é de 10  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de As (FUNASA, 2001). Em todas as amostras de água estudadas, não foi detectado a presença do As(III), espécie mais tóxica de As. As amostras de água que apresentaram concentrações de As impróprias para o consumo humano, foram encontradas nos pontos de amostragem P.A. 14 (Mina do Chiquinho), PA 15 (Chafariz – Rua do Barão), PA 16 (Piedade-Tassara) e P.A. 17 (Biquinha da Rua Santa Rita – Mina Velha).

Os sistemas aquíferos existentes, contribuem de forma relevante na solubilização e liberação do As para o ambiente. Tanto os filitos e quartzitos ferruginosos, rochas da Formação Cercadinho (aquífero fissural), como principalmente os itabiritos e itabiritos dolomíticos, Formação Cauê, filitos dolomíticos e formações ferríferas dolomíticas da Formação Gandarela, rochas xistosas (aquífero granular-fissural), apresentam boas condições de porosidade e permeabilidade, densa malha de fraturas, micro-fraturas e planos de foliação. Nessas formações, onde se localizam os pontos em que ocorrem As em águas subterrâneas, são observados, as presenças de minerais sulfetados oxidados e minerais secundários, expostos superficialmente.

A oxidação dos corpos minerais sulfetados, tem início com a redução do aporte de águas no fim do período chuvoso, estendendo-se por todo o período seco, podendo produzir considerável quantidade de sais solúveis. Essas condições ocorrem inicialmente e principalmente nas áreas de recarga da águas subterrâneas e encostas, onde os processos intempéricos na zona não saturada, rica em  $\text{O}_2$  livre, provocam a oxidação dos minerais sulfetados, como principalmente a arsenopirita. A reação de oxidação da arsenopirita, segundo Plumlee (1999) é :  $\text{FeAsS} + 3.25\text{O}_2 + 1.5\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{HAsO}_4^{2-} + \text{SO}_4^{2-}$ .

**Tabela 1 - Composição química das amostras de água subterrânea**

| P.A.14 | Mina do Chiquinho - Tipo de Captação: Antiga mina de ouro           |       |       |       |       |        |      |
|--------|---|-------|-------|-------|-------|--------|------|
|        | pH  | Temp. | STD   | CE    | Eh    | As III | As V |
| C.A. 1 | 7,43  | 19,7  | 14,12 | 21,38 | 0,175 | < 5    | 27,0 |
| C.A. 2 | 6,62  | 19,0  | 16,38 | 25,15 | 0,211 | < 5    | 14,8 |
| C.A. 3 | 6,57  | 17,5  | 17,39 | 25,99 | 0,266 | < 5    | < 5  |
| C.A. 4 | 6,37  | 18,3  | 16,63 | 25,90 | 0,176 | < 5    | < 5  |
| C.A. 5 | 6,30  | 20,0  | 16,50 | 25,35 | 0,161 | < 5    | < 5  |
| C.A. 6 | 6,59  | 20,6  | 15,13 | 22,63 | 0,165 | < 5    | < 5  |
| P.A.15 | Chafariz da Rua do Barão-30 (Vicentão) - Tipo de Captação: Nascente |       |       |       |       |        |      |
|        | pH  | Temp. | STD   | CE    | Eh    | As III | As V |
| C.A. 1 | 7,16  | 19,6  | 54,21 | 80,85 | 0,177 | < 5    | 71,0 |
| C.A. 2 | 6,24  | 19,4  | 48,24 | 73,33 | 0,275 | < 5    | 62,9 |
| C.A. 3 | 6,28  | 18,6  | 48,23 | 71,49 | 0,247 | < 5    | 48,0 |
| C.A. 4 | 6,67  | 18,2  | 49,03 | 75,45 | 0,113 | < 5    | 25,0 |
| C.A. 5 | 7,92  | 19,5  | 49,25 | 74,65 | 0,690 | < 5    | 25,0 |
| C.A. 6 | 7,31  | 20,7  | 49,95 | 73,90 | 0,143 | < 5    | 26,5 |

| P.A.16  | Piedade-Tassara - Tipo de Captação: Antiga mina de ouro                         |       |       |        |       |        |       |
|---|---|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
|   | pH  | Temp. | STD   | CE     | Eh    | As III | As V  |
| C.A. 1  | 7,21  | 18,7  | 46,70 | 69,50  | 0,198 | < 5    | 29,0  |
| C.A. 2  | 6,65  | 18,6  | 48,43 | 73,55  | 0,266 | < 5    | 22,8  |
| C.A. 3  | 6,61  | 18,4  | 47,15 | 69,83  | 0,295 | < 5    | < 5   |
| C.A. 4  | 6,55  | 18,1  | 49,22 | 75,75  | 0,192 | < 5    | < 5   |
| C.A. 5  | 6,53  | 19,0  | 42,87 | 64,88  | 0,178 | < 5    | 15,2  |
| C.A. 6  | 6,73  | 20,4  | 41,47 | 61,13  | 0,186 | < 5    | 9,0   |
|   |   |       |       |        |       |        |       |
| P.A.17  | Biquinha da rua Santa Rita (Mina Velha) - Tipo de Captação: Antiga Mina de ouro |       |       |        |       |        |       |
|   | pH  | Temp. | STD   | CE     | Eh    | As III | As V  |
| C.A. 1  | 7,00  | 19,2  | 90,74 | 135,70 | 0,198 | < 5    | 224,0 |
| C.A. 2  | 6,92  | 19,2  | 82,05 | 125,00 | 0,273 | < 5    | 125,9 |
| C.A. 3  | 6,42  | 18,6  | 82,88 | 123,01 | 0,310 | < 5    | 68,0  |
| C.A. 4  | 5,93  | 18,4  | 82,00 | 126,50 | 0,186 | < 5    | 17,0  |
| C.A. 5  | 6,56  | 18,6  | 80,90 | 122,70 | 0,166 | < 5    | < 5   |
| C.A. 6  | 6,87  | 19,1  | 85,94 | 127,10 | 0,172 | < 5    | 27,0  |
| P.A. - Ponto de Amostragem / C.A. - Campanha de Amostragem / L.Q. - Limite de Quantificação do AsIII e AsV (5µg/L <sup>-1</sup> ) |   |       |       |        |       |        |       |

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Thornton, I.; Farago, M. (1997). The geochemistry of arsenic. In: C.O. Abernathy; R.L. Calderon; W. R. Chappell (Ed.) Arsenic Exposure and health effects, New York, Chapman & Hall, 1 – 16.
- WHO (World Health Organization, 1993), Guidelines for drinking water quality. Revision of the 1984 guidelines. Final task group meeting. Geneva, 188.
- Plumlee, G. S. (1999). The environmental geology of mineral deposits. In: G. S. Plumlee, M. J. Logsdon, (Ed.) The environmental geochemistry of mineral deposits, Part A: Processes, techniques, and health issues. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, v. 6A, 71 – 116.
- Quade, H.W. Mapa Geológico da Região de Ouro Preto – Escala 1:10.000. Universidade Federal de Ouro Preto, S/Data.
- Gonçalves, J.A .C.; Paiva, J. F.; Teófilo, R. F.; Lena, J.C.; Nalini JR, H.A . (2004). Determinação das espécies de arsênio em águas naturais utilizando voltametria de onda quadrada. IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém, Pará. *Anais...*, 304 – 305.
- Barbosa, A . L. M. (1969). Geologic map of the Ouro Preto, Mariana, Antonio Pereira e São Bartolomeu quadrangles, Minas Gerais, Brazil. Washington, DNPM/USGS, U.S. Geological Survey Professional Paper, 641. Plates 7,8,9,10.
- Alkmim, F. F., Marshak, S. (1989). Proterozoic extension/contraction tectonics of the southern São Francisco Craton and adjacent regions Minas Gerais, Brazil. A kinematic model relating Quadrilátero Ferrífero, São Francisco Basin and Cordilheira do Espinhaço. *Tectonics* 8 (3): 555 – 571.
- Instituto de Geociências Aplicadas (IGA, 1995). Desenvolvimento Ambiental de Ouro Preto – Microbacia do Ribeirão do Funil.
- Rodrigues, D.M.S. (1966). Condições Climáticas de Minas Gerais. *Boletim Mineiro de Geografia – Ano VII, nº 12*. Belo Horizonte.
- Funasa – 2001. Portaria nº 1469/2000, de 29 de dezembro de 2000 : aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001. 32 p.