

## **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**

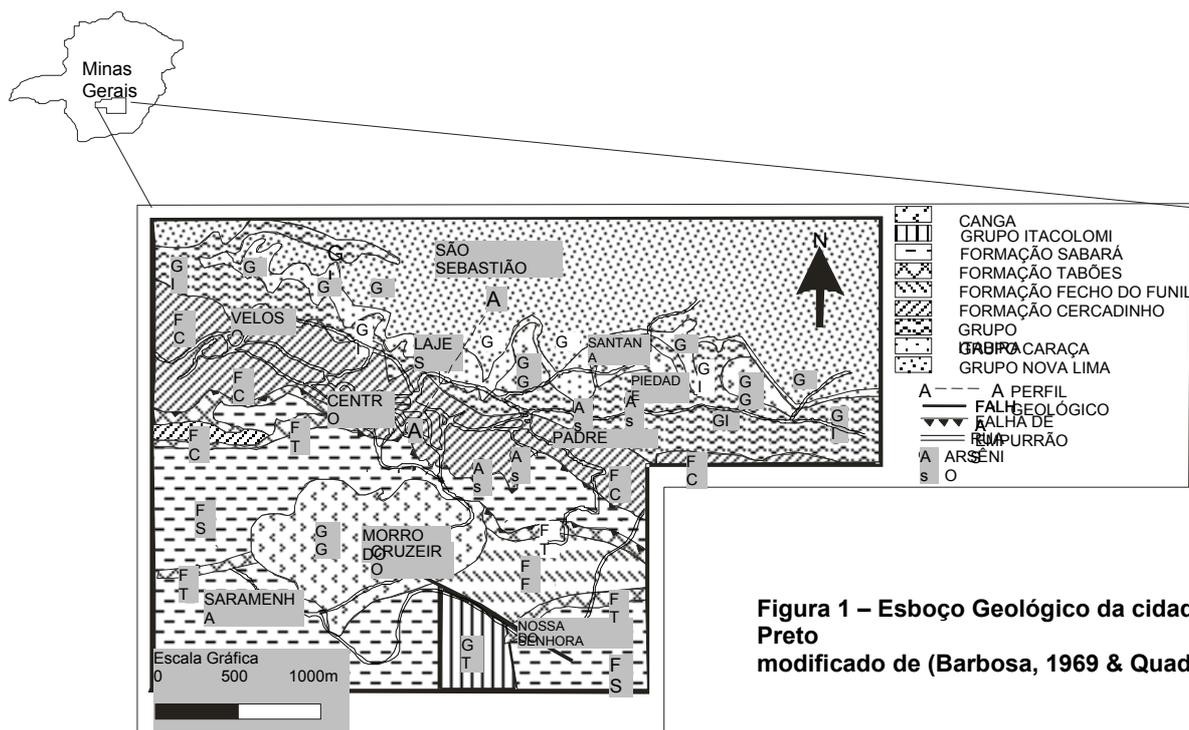
Muitos compostos de As estão presentes no meio ambiente e em sistemas biológicos. O As é encontrado na constituição de uma longa lista de minerais, em que os sulfetos, arsenetos e sulfoarsenetos são os mais comuns. Em águas naturais, o As ocorre em compostos inorgânicos e orgânicos. Em solução, os compostos 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 silito 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.