

ANÁLISE COMPARATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NO AQUIFERO BAURU EM MATO GROSSO DO SUL E EM SÃO PAULO

Denise Agüena Uechi^{1}; Sandra Garcia Gabas²; Giancarlo Lastoria³*

Resumo – O desenvolvimento econômico com consequente uso e ocupação desordenada do solo acentuam o nível de vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos. Os metais pesados, por serem de difícil remediação e não serem biodegradáveis se tornam contaminantes de grande preocupação ao atingirem os aquíferos, pois em elevadas concentrações trazem riscos à saúde e ao meio ambiente. Objetivou-se comparar as concentrações dos metais cobre, cromo, ferro, manganês e zinco presentes no Sistema Aquífero Bauru nos Estados do Mato Grosso do Sul e de São Paulo. Verificou-se que Mato Grosso do Sul possui concentrações superiores as de São Paulo para o cobre, ferro, manganês e zinco em relação aos valores analisados. Embora o período estudado seja restrito para conclusões, este estudo verificou que áreas pertencentes a um mesmo sistema aquífero podem apresentar características hidroquímicas distintas, como verificado entre os dois Estados.

Palavras-Chave – Metais pesados, Aquífero Livre, Contaminação.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN FREATIC AQUIFER IN MATO GROSSO DO SUL AND IN SÃO PAULO STATES

Abstract – Economic development with consequent use and land cover can accentuate groundwater vulnerability. Heavy metals are contaminants of great concern in aquifers, due to their toxicity at certain concentration and difficult remediation. This study aimed the analysis of copper, chromium, iron, manganese and zinc concentrations present in Bauru Aquifer System in the State of Mato Grosso do Sul and in the State of São Paulo. It was verified that Mato Grosso do Sul has higher concentrations than those of São Paulo for copper, iron, manganese and zinc in relation to the values analyzed. Although the studied period is restricted to conclusions, this study even verified areas belonging to the same aquifer system can present distinct hydrochemical characteristics, as verified between the two States.

Keywords – Heavy metals, Freatic Aquifer, Contamination.

¹ Doutoranda em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP: 79070-900, Campo Grande - MS, e-mail: denise_uechi@hotmail.com

² Doutora em Engenharia Civil pela Escola Politécnica - USP. Professora Adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS. E-mail: sandra.gabas@ufms.br

³ Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professor Titular da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS. E-mail: g.lastoria@ufms.br

INTRODUÇÃO

O aumento da industrialização, urbanização e demográfico tem gerado problemas na exploração das águas subterrâneas que muitas vezes desenfreada e sem controle acaba colocando em risco a saúde da própria população e do meio ambiente.

A contaminação de aquíferos por metais pesados é um problema mundial por serem de difícil remediação e não serem biodegradáveis (Bailey, 1999). São elementos de grande preocupação, pois em elevadas concentrações podem provocar efeitos tóxicos sobre organismos vivos podendo até ocasionar a morte (WHO, 2011).

Os metais pesados ocorrem naturalmente como parte de muitos minerais primários e secundários em todos os tipos de rochas presentes na crosta terrestre e podem se tornar móveis em solos, lixiviando e ficando solubilizados nas águas subterrâneas por processos naturais ou por mudança no pH do meio (Hashim *et al.*, 2011). No entanto, a água subterrânea também pode ser contaminada pela infiltração do chorume, esgoto, rejeitos de minas, eliminação de resíduos líquidos, lagoas de resíduos industriais ou de derrames industriais e vazamentos. O tipo e a concentração de metais disponibilizados irão depender das condições específicas do local (Evanko e Dzombak, 1997).

Mato Grosso do Sul (MS) e São Paulo (SP) são potenciais economias agrícolas do Brasil, tendo em comum extensas culturas de cana-de-açúcar, soja, milho, silvicultura e pastagens, o que torna indispensável o uso de fertilizantes e agroquímicos para o controle de pragas. Geralmente, os fertilizantes minerais contêm traços de impurezas — entre as quais se destaca a presença de metais pesados, como o cobre (Cu) e o zinco (Zn) (Otero *et al.*, 2005) —, sendo que alguns metais também fazem parte efetivamente dos seus compostos ativos (Tanji e Valoppi, 1989; Lalah *et al.*, 2009).

Em Mato Grosso, com economia potencialmente agrícola, Viana (2006) detectou contaminações por metais pesados em área de agrossilvicultura, dentre as quais se destacam o cromo (Cr) e o zinco (Zn), que são alguns dos produtos da decomposição de agrocorretivos e agrotóxicos. Ferro (Fe), manganês (Mn) e alumínio (Al) foram detectados nas águas do Sistema Aquífero Bauru (SAB) localizadas sob área de fertirrigação com vinhaça em usina sucroalcooleira no centro-oeste da região de São Paulo (Hassuda *et al.*, 1990).

Extensas áreas de pastagens geralmente atraem muitos frigoríficos e curtumes que se instalam próximos aos seus centros fornecedores. No Mato Grosso do Sul, Freitas (2006) verificou a presença de cromo (Cr) nos efluentes de três curtumes instalados na região.

Cabe ressaltar que o MS ainda não possui sistema de monitoramento de águas subterrâneas até o momento, ao contrário de SP, que possui uma Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas desde 1990 e valores de referência de qualidade (VRQ) – valores de cada parâmetro que representam a qualidade natural (background) das águas subterrâneas (Brasil, 2008) – definidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (Tabela 1), de forma a orientar ações de prevenção e controle de contaminação das águas subterrâneas, dos seus aquíferos (São Paulo, 2013).

Considerando as principais fontes da economia dos dois Estados, este estudo optou por comparar as concentrações dos metais cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nas águas subterrâneas do SAB no MS e em SP.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo abrangeu as águas subterrâneas do SAB, aquífero livre e poroso, vulnerável à contaminação, compreendidas nos Estados de MS e de SP.

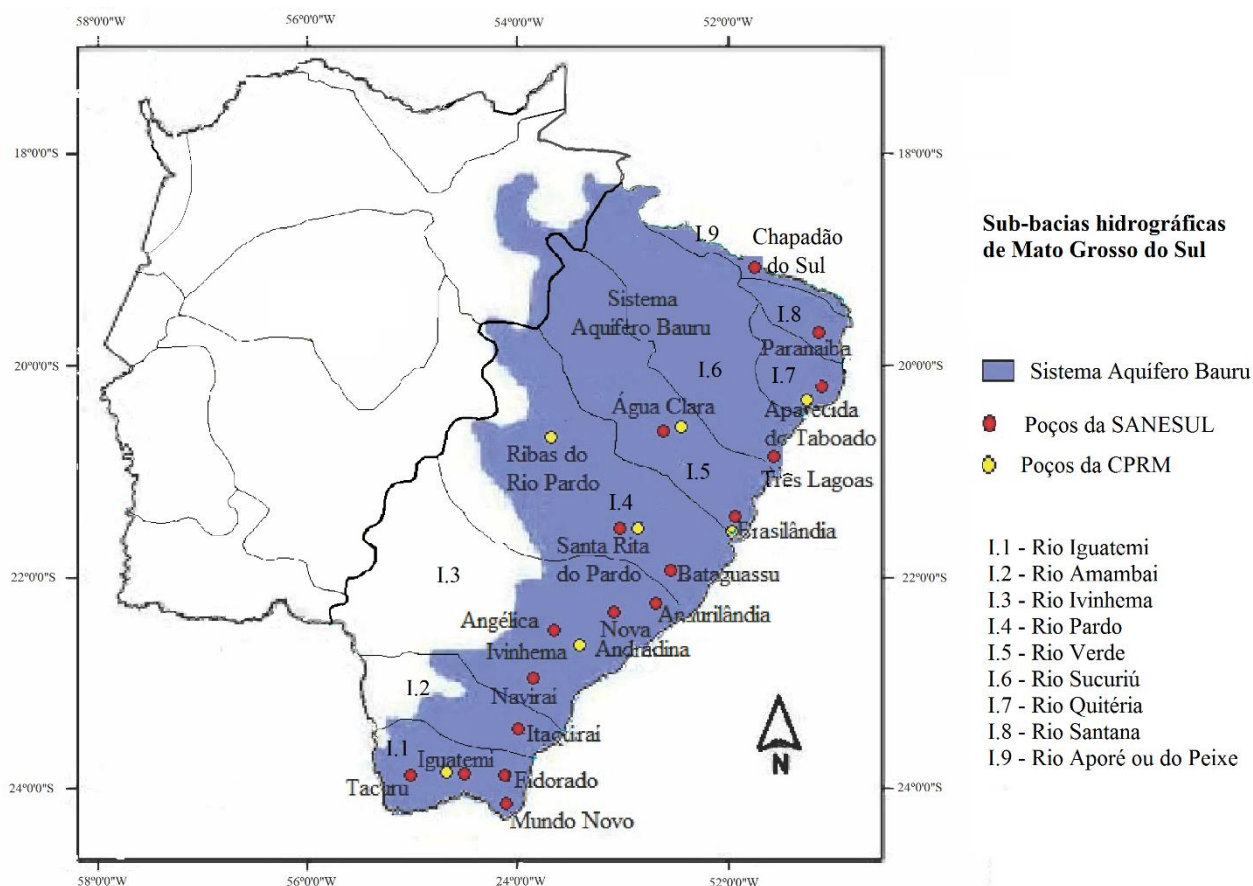


Figura 1 – Mapa das sub-bacias hidrográficas e poços da SANESUL e CPRM no Sistema Aquífero Bauru no Mato Grosso do Sul. Adaptado de Mato Grosso do Sul (2011).

O SAB no MS aflora em cerca de 37% do seu território (Mato Grosso do Sul, 2010), de área total de 357.145,532 km² (IBGE, 2010), na porção centro-oriental estendendo-se desde o limite das ocorrências dos basaltos da Formação Serra Geral, na região centro-sul, até o rio Paraná (CPRM, 2012).

O SAB em SP aflora em cerca de 40% do seu território (São Paulo, 2013) de área total de 248.221,996 km² do Estado (IBGE, 2010), abrangendo a região noroeste, com espessura média saturada de 75 metros, atingindo até 300 metros na região do Planalto Residual de Marília, estando sobreposta aos basaltos da Formação Serra Geral (São Paulo, 2013).

O SAB é composto por rochas sedimentares de idade cretácea superior, o Grupo Caiuá, e por rochas sedimentares de idade neocretácea, mais jovem e que está sobreposta ao Caiuá, o Grupo Bauru. O Grupo Bauru-Caiuá compõe o último episódio significativo de deposição sobre a Bacia Sedimentar do Paraná e está sobreposta as rochas basálticas da Formação Serra Geral (CPRM et al., 2006).

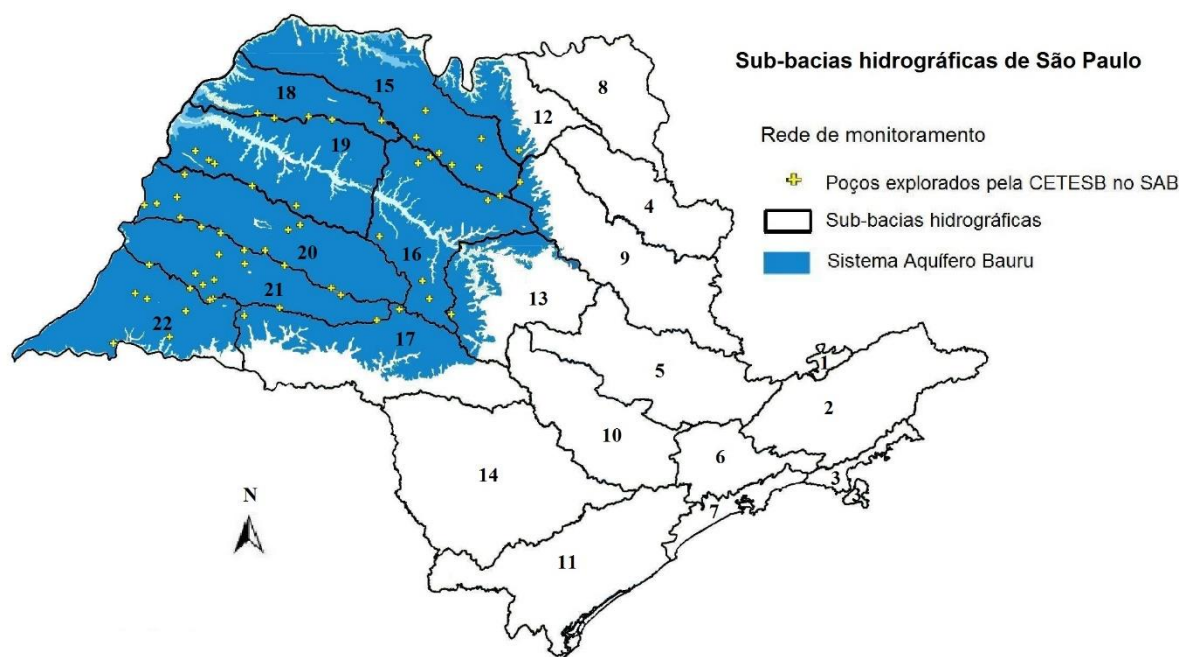


Figura 2 – Mapa das sub-bacias e poços de monitoramento da CETESB do Sistema Aquífero Bauru. Adaptado de São Paulo (2013).

Em SP, a litoestratigrafia que compõe o SAB é melhor definida e caracterizada, destacando-se a proposta de Fernandes (1998) com divisão em dois grupos – Caiuá (Formações Rio Paraná, Goio-Êrê e Santo Anastácio) e Bauru (Formações Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Uberaba). Em MS, há uma discrepância entre diversos pesquisadores na caracterização dos aspectos litológico, estratigráfico, ambiental e/ou tectônico, inclusive na divisão das Formações que compõem o Grupo Bauru-Caiuá. Não havendo estudos estratigráficos, adota-se a geologia de Mato Grosso do Sul proposta pela CPRM et al. (2006) que considerou os Grupo Bauru (Formações Marília e Vale do Rio do Peixe) e Grupo Caiuá Indiviso (Formações Santo Anastácio e Caiuá).

Para a análise comparativa foram obtidos do SAB no MS, os resultados de 2009 a 2013 das concentrações dos metais em estudo de 39 poços em operação da Empresa de Saneamento Básico de Mato Grosso do Sul – SANESUL, que captam água em maior proporção e/ou somente do SAB, distribuídos em toda a extensão da área em estudo, a partir do banco de dados da empresa, adicionados aos resultados de 2012 e 2013 dos sete poços monitorados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, na região (Figura 1). Estes foram comparados aos valores das concentrações de metais de 75 poços da CETESB, que explotam o SAB em SP do período de 2010 a 2012, obtidos no Relatório de Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2010-2012, publicado e disponibilizado no site da CETESB (Figura 2).

Os dados das concentrações dos metais estudados por sub-bacias hidrográficas no Estado de São Paulo e no Estado do Mato Grosso do Sul foram sintetizados por metais/ano da CESTESB e SANESUL e CPRM, e comparados aos dados sintetizados por metal dos poços da CPRM no MS.

A comparação do teor dos metais foi realizada a partir de análise estatística básica (mínimo, máximo, mediana e 3º quartil), com ênfase no 3º quartil nas análises sintetizadas por ano para cada estado. Buscou-se maior relevância na avaliação de valores dos metais a partir do 3º quartil, devido

a maior amplitude e a distribuição normal dos resultados obtidos. Esse método de avaliação tem sido utilizado pela CETESB desde 2001 para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas de São Paulo.

Além disso, o estudo comparou os resultados dos dois Estados em relação aos valores de intervenção (VI), que são valores orientadores para águas subterrâneas, indicam as concentrações máximas de certos parâmetros acima das quais existe potencial de risco à saúde humana em um cenário genérico (Tabela 1). Tais valores se limitam aos valores máximos permitidos para consumo humano definidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 de 2011 (São Paulo, 2013). Os resultados de SP também observaram os VRQ definidos pela CETESB.

Tabela 1 – Valores de Referência de Qualidade e Valores de Intervenção das águas subterrâneas (São Paulo, 2012).

Parâmetro	Valor de Referência de Qualidade (mg/L)	Valor de Intervenção (mg/L)
Cobre Total	<0,01	2
Cromo Total	0,04	0,05
Ferro Total	0,04	0,3
Manganês Total	<0,005	0,1
Zinco Total	0,03	1,050*

* Valor máximo permitido (VMP) para consumo humano definido na Resolução CONAMA nº 420/09.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisadas as concentrações de Cu, Cr, Fe, Mn e Zn dos poços que exploram águas do SAB e que são explorados pela CETESB em SP, e pela SANESUL e CPRM no MS, conforme mostra Tabela 2.

Observando-se os terceiros quartis, as concentrações de cobre encontram-se dentro do Valor máximo permitido (VMP) para o consumo humano (2,00 mg/L) nos dois Estados. A sua concentração aumenta em 230% de 2010 para 2011 em SP apresentando valores superiores ao VRQ estabelecido para o cobre no SAB do Estado, que é menor que 0,01 mg/L, mas essa variação não é significativa para iniciar processo de investigação de possível contaminação antrópica, pois há a diminuição do teor de cobre nestes mesmos pontos em 500% em 2012, estando todos dentro do padrão de background local. Em MS, o teor de cobre, nos poços da SANESUL, sofreram uma redução em 500% de 2009 a 2010, mantendo-se constante até 2013. Os poços da CPRM não sofreram variações. Comparando-se os valores de cobre total entre os dois Estados percebe-se que sua concentração no MS, em termos de qualidade natural do SAB, é pelo menos seis vezes superior ao de SP.

Em geral, os poços não apresentaram concentrações acima do VMP de 0,05 mg/L, no Estado de SP, mas atentando-se aos valores máximos, nota-se a ocorrência de poços com valor superior ao VMP e conseqüentemente ao VRQ do Estado. Isso indica que atividades antrópicas pontuais podem estar atingindo as águas subterrâneas do SAB com cromo, apesar de que estudos realizados por Bertolo *et al.* (2011a) e Bertolo *et al.* (2011b) verificaram que há ocorrência de cromo acima do VMP nas águas subterrâneas na região oeste do Estado, nas imediações do município de Urânia, entretanto foi detectado que a origem é natural. O teor de cromo tendeu a aumentar em SP de 2010 a 2012. No MS, os poços monitorados pela CPRM tenderam a aumentar a concentração de Cr em 600% de 2012 a 2013. Já os poços da SANESUL sofreram um aumento de 2009 a 2010 de 171%, mantendo-se constante até 2012 e reduzindo em 2013. Comparando-se os valores de cromo total entre os dois Estados percebe-se que, em geral, sua concentração em MS é pelo menos uma vez e meia inferior ao background do Estado de SP.

Tabela 2 – Concentrações cobre, cromo, ferro manganês e zinco total por ano no SAB, em poços explorados pela CETESB em São Paulo e por poços explorados pela SANESUL e monitorados pela CPRM no Mato Grosso do Sul (3º quartil, em mg/L).

		COBRE			CROMO			FERRO			MANGANÊS			ZINCO		
		SP - CETESB	MS - SANESUL	MS - CPRM	SP - CETESB	MS - SANESUL	MS - CPRM	SP - CETESB	MS - SANESUL	MS - CPRM	SP - CETESB	MS - SANESUL	MS - CPRM	SP - CETESB	MS - SANESUL	MS - CPRM
2009	Mínimo	-	0,010	-	-	0,010	-	-	0,010	-	-	0,060	-	-	0,010	-
	Máximo	-	0,150	-	-	0,100	-	-	0,800	-	-	0,130	-	-	0,270	-
	Me diana	-	0,040	-	-	0,010	-	-	0,105	-	-	0,060	-	-	0,060	-
	3º quartil	-	0,070	-	-	0,013	-	-	0,125	-	-	0,060	-	-	0,080	-
2010	Mínimo	0,005	0,010	-	0,003	0,010	-	0,020	0,030	-	0,020	0,060	-	0,020	0,010	-
	Máximo	0,038	0,070	-	0,081	0,050	-	0,192	0,250	-	0,030	0,170	-	0,840	0,390	-
	Me diana	0,005	0,025	-	0,017	0,030	-	0,020	0,080	-	0,020	0,060	-	0,020	0,060	-
	3º quartil	0,006	0,030	-	0,028	0,030	-	0,020	0,115	-	0,020	0,060	-	0,020	0,090	-
2011	Mínimo	0,005	0,010	-	0,002	0,010	-	0,010	0,050	-	0,020	0,060	-	0,011	0,010	-
	Máximo	0,054	0,850	-	0,076	0,050	-	4,720	0,800	-	0,030	0,140	-	0,440	0,920	-
	Me diana	0,005	0,030	-	0,015	0,020	-	0,020	0,080	-	0,020	0,060	-	0,020	0,065	-
	3º quartil	0,020	0,040	-	0,029	0,030	-	0,020	0,110	-	0,020	0,060	-	0,039	0,100	-
2012	Mínimo	0,005	0,010	0,002	0,003	0,010	0,002	0,005	0,011	0,018	0,003	0,006	0,004	0,003	0,010	0,003
	Máximo	0,066	0,110	0,025	0,094	0,050	0,002	0,061	17,000	0,036	0,023	0,222	0,293	0,490	0,340	0,014
	Me diana	0,005	0,040	0,002	0,018	0,020	0,002	0,005	0,110	0,025	0,003	0,018	0,018	0,017	0,070	0,005
	3º quartil	0,005	0,040	0,002	0,031	0,030	0,002	0,008	0,120	0,027	0,003	0,060	0,025	0,046	0,140	0,006
2013	Mínimo	-	0,020	0,002	-	0,010	0,011	-	0,080	0,037	-	0,006	0,012	-	0,040	0,005
	Máximo	-	0,320	0,002	-	0,050	0,014	-	1,430	0,049	-	0,194	0,355	-	1,800	0,005
	Me diana	-	0,040	0,002	-	0,010	0,012	-	0,150	0,041	-	0,028	0,017	-	0,160	0,005
	3º quartil	-	0,045	0,002	-	0,020	0,014	-	0,220	0,044	-	0,043	0,021	-	0,250	0,005

O ferro manteve-se dentro dos padrões organolépticos de potabilidade nos dois Estados (0,30 mg/L), mas observando o valor máximo em 2011, verificou-se que um ponto em SP apresentou valor extremamente superior à norma, cerca de 1700% acima, mas que no ano seguinte, houve redução do seu teor, dentro dos limites organolépticos de potabilidade. Não há como alegar que houve contaminação antrópica pontual sem estudos em detalhe no local. Os poços da SANESUL e da CPRM tenderam a aumentar sua concentração de 2012 a 2013 em 83% e 63% respectivamente, e os da CETESB tenderam a diminuir de 2011 a 2012, em 300%. Comparando-se os valores de ferro total entre os dois Estados percebe-se que, em geral, sua concentração em MS é duas vezes e meia superior ao background do Estado de SP.

O manganês manteve-se dentro dos limites organolépticos de potabilidade (0,10 mg/L), seja em SP ou no MS. Observando o terceiro quartil, houve uma redução do teor de manganês nos poços da CETESB de 2011 a 2012, em 760%. Em MS, houve redução de cerca de 200% de 2012 a 2013 nos poços da SANESUL e da CPRM. Comparando-se os valores de manganês total entre os dois Estados percebe-se que, em geral, sua concentração no MS é até dez vezes superior ao background do Estado de SP.

O zinco, apesar de estar dentro dos limites organolépticos de potabilidade (1,05 mg/L) em ambos os Estados, houve um aumento de sua concentração com taxa inferior a 100% nos anos analisados consecutivamente, em São Paulo e nos poços da SANESUL. Os poços da CPRM sofreram uma redução de cerca de 220% entre os anos de 2012 e 2013, no teor de zinco de suas águas. Comparando-se os valores de zinco entre os dois Estados percebe-se que, em geral, sua concentração no MS é uma vez superior ao background e aos valores analisados do Estado de SP.

Em geral, nota-se que as concentrações de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas possuem proporções extremamente inferiores em relação às águas superficiais, devido à melhor qualidade e menor vulnerabilidade, entretanto, a menor variação hidroquímica pode significar um aumento ou redução percentual muito expressivo, da ordem de grandeza de até 10^3 .

Verificou-se que o MS possui concentrações superiores as de SP para os metais analisados, com exceção do cromo, decorrentes da variação do uso e ocupação do solo e variações faciológicas entre os dois Estados.

CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) é uma importante fonte de abastecimento de água nos Estados de São Paulo e de Mato Grosso do Sul. Em ambos os estados, possuem extensas áreas de afloramento, 40% da área total de São Paulo e 37% de Mato Grosso do Sul. Trata-se, portanto, de um aquífero livre naturalmente mais vulnerável à contaminação por atividades antrópicas.

As áreas de afloramento do SAB estão ocupadas principalmente com culturas de cana-de-açúcar e pastagens no Estado de São Paulo e com pastagens e cultura de eucalipto em Mato Grosso do Sul. Tais atividades, associadas a outras mais pontuais, como os curtumes, podem estar associadas a fontes de metais pesados em aquíferos livres.

Foram comparadas as concentrações de Cu, Cr, Fe, Mn e Zn nas águas subterrâneas do Aquífero Bauru, entre MS e SP e verificou-se que MS possui concentrações superiores às de São Paulo para o cobre, ferro, manganês e zinco. Tais diferenças podem ser naturais devido a variações faciológicas do depósito ou decorrentes a interações com o uso da terra.

Embora o período estudado seja restrito para conclusões, é importante que esse comparativo sirva para verificar as tendências dos metais no SAB e avaliar suas causas e providenciar medidas de controle e proteção desses poços de abastecimento, em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- BAILEY, S.E.; OLIN, T.J.; BRICKA, R.M.; ADRIAN, D.D. (1999) A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research* 33 (11), pp. 2469-2479.
- BERTOLO, R.; BOUROTTE, C.; MARCOLAN, L.; OLIVEIRA, S.; HIRATA, R. (2011a) Anomalous content of chromium in a Cretaceous sandstone aquifer of the Bauru Basin, state of São Paulo, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 31 (1), pp.69-80.
- BERTOLO, R.; BOUROTTE, C.; HIRATA, R.; MARCOLAN, L.; SRACEK, O. (2011b) Geochemistry of Natural Chromium Occurrence in a Sandstone Aquifer in Bauru Basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry* 26 (8), p.1353-63.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. (2008) *Resolução nº 396, de 07 de abril de 2008*: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília.
- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS – CPRM; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE; INSTITUTO GEOLÓGICO – IG; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA – IPT. (2006) *Mapa geológico do Estado de Mato Grosso do Sul* (escala 1:1.000.000). São Paulo: CPRM/DAEE/IG/IPT
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. (2012) *Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná*. Belo Horizonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil (Volume 14).



ABRH

Associação Brasileira de
Recursos Hídricos

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

EVANKO, C.R.; DZOMBAK, D.A. (1997) *Remediation of Metals-contaminated Soils and Groundwater*. Pittsburg: Groundwater Remediation Technologies Analysis Center. (Technology Evaluation Report, TE-97e01).

FERNANDES, L.A. (1998) *Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru* (Ks, Brasil). 215p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

FREITAS, T.C.M. de. (2006) *O Cromo na Indústria de Curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: Aspectos Ecológicos*. Campo Grande. 136p. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) - Programa Multi-institucional de Pós-Graduação em Ciências da Saúde – Rede Centro-Oeste, convênio Universidade de Brasília, Universidade Federal de Goiás e Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

HASHIM, M.A.; MUKHOPADHYAY, S.; SAHU, J.M.; SENGUPTA, B. (2011) Remediation Technologies for Heavy Metal Contaminated Groundwater (Review). *Journal of Environmental Management* 92 (10), pp.2355-88.

HASSUDA, S.; REBOUÇAS, A.C.; CUNHA, R.C.A. (1990) Aspectos Qualitativos da Infiltração da Vinhaça de Cana no Aquífero Bauru. *Revista IG* 11 (2), pp. 5-20.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010) Censo Demográfico 2010 – Estados. Brasília. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/estadosat/> . Acesso em 28 jul. 2012

LALAH, J.O.; NJOGU, S.N.; WANDIGA, S.O. (2009) The Effects of Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} and Zn^{2+} Ions on Pesticide Adsorption and Mobility in a Tropical Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 83(3), pp. 352-358.

MATO GROSSO DO SUL (2010) Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia. Instituto de Meio Ambiente - SEMAC. *Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande: Editora UEMS.

MATO GROSSO DO SUL (2011) Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia - SEMAC. Instituto de Meio Ambiente. *Caderno Geoambiental das Regiões de Planejamento do MS*. Campo Grande.

SÃO PAULO (2012) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. *Ficha de Informação Toxicológica - Zinco*. São Paulo: CETESB.

OTERO, N.; VITORIA, L.; SOLER, A.; CANALS, A. (2005) Fertiliser characterisation: Major, trace and rare earth elements. *Applied Geochemistry* 20, pp. 1473-1488.

SÃO PAULO (2013) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. *Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2010-2012*. São Paulo: CETESB (Série Relatórios).

VIANA, V.M.F.C. (2006) *Estudo Hidrogeoquímico das Veredas do Rio do Formoso no Município de Buritizeiro, Minas Gerais*. Belo Horizonte, 107p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

TANJI, K.; VALOPPI, L. (1989) Groundwater contamination by trace elements. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 26, pp.229-74.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. (2011) *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed. Geneva: WHO.