IV-125 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BAMBUÍ NO NORTE DE MINAS GERAIS

Maria do Carmo Fonte Boa Souza[(1)]
Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Analista ambiental do IGAM.
Sílvia Corrêa Oliveira[(2)]
Engenheira Eletricista pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFMG). Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da UFMG.
Maricene Menezes de Oliveira Mattos Paixão[(3)]
Geóloga pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em: Geotecnia pela Universidade de Brasília (UnB), Geotecnia Ambiental pela UFMG e Gerenciamento de Recursos Hídricos pelo Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. Analista ambiental do IGAM.
Maria Goretti Haussmann[(4)]
Geóloga pela Johann Wolfgang Goethe Universität/Frankfurt-Alemanha. Especialista em Gestão Ambiental pela UTRAMIG. Analista ambiental do IGAM.

Endereço[(1)]**:** Rodovia Prefeito Américo Gianetti, 4143 - Bairro Serra Verde - Belo Horizonte - MG - CEP: 31630-900 - Brasil - Tel: +55 (31) 3915-1562 - e-mail: maria.fonte@meioambiente.mg.gov.br; [(2)]silvia@desa.ufmg.br.

RESUMO

A escassez de água em regiões semiáridas torna os recursos hídricos subterrâneos uma importante alternativa de abastecimento, particularmente quando a demanda por este recurso hídrico é elevada, e viabiliza a implantação de planos regionais de desenvolvimento econômico. Este é o caso do sistema aquífero Bambuí, na região do médio São Francisco em Minas Gerais, que apresenta relativa limitação de disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, associada a pressões crescentes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade das águas subterrâneas deste sistema nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH SF10 – Sub-bacia do rio Verde Grande e SF6 – Sub-bacia dos rios Jequitaí e Pacuí, com ênfase nos possíveis usos destas águas. A partir de monitoramento executado no período entre 2005 e 2011 na região, em cerca de 50 poços profundos, em média, e a partir da análise de 74 parâmetros físico-químicos, avaliou-se a adequação das águas nos poços monitorados, quanto aos diferentes usos. Em relação ao total de poços monitorados no período, as águas subterrâneas na região estudada foram inadequadas para fins de consumo humano em 82% deles, sendo que 64% dos poços tiveram águas inadequadas por aspectos organolépticos, exclusivamente. Para outros usos foram: 75% dos poços apresentaram amostras de águas inadequadas para fins de recreação, 32% para fins de irrigação e 23% para fins de dessedentação, em pelo menos uma campanha no decorrer do monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: Norte de Minas Gerais, Aquífero Bambuí, Qualidade, Águas Subterrâneas, Sub-bacias.

INTRODUÇÃO

Em vista da crescente escassez de água que vem atingindo grande parte da população mundial, os recursos hídricos subterrâneos têm se tornado uma importante alternativa de abastecimento e permitem a implantação de planos de desenvolvimento econômico. No Brasil, o uso das águas subterrâneas para abastecimento doméstico, industrial e agropecuário tem aumentado, especialmente em locais com escassez ou intermitência das águas superficiais. Nas regiões metropolitanas, observa-se um crescimento vertiginoso do uso destas águas, por possibilitarem maior regularidade de vazões e menor custo aos usuários (SILVA *et al.*, 2010). Além disso, o uso dos aquíferos constitui uma importante alternativa diante da tendência de aumento dos custos de tratamento das águas superficiais (MARTINS, 2007).

Os aquíferos são mais protegidos da contaminação do que as águas superficiais, em função das baixas velocidades de infiltração e dos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem na zona não saturada do solo. Porém, ao contrário do que ocorre com as águas de superfície, caso ocorra contaminação, as baixas velocidades de fluxo tendem a retardar a recuperação da qualidade. A autodepuração muito lenta, associada à remediação complexa, morosa e de custos relativamente altos ou mesmo inviáveis, torna a prevenção das contaminações destas águas especialmente importante (MMA, 2007).

A qualidade das águas subterrâneas é dependente do conjunto de atividades antrópicas, bem como de fatores naturais, e de suas variações no tempo e no espaço. Com relação aos processos naturais que influenciam a qualidade das águas subterrâneas destacam-se: condições climáticas, composição das rochas – variação geoquímica do solo, interfluxos com águas de superfície e condições de renovação das águas – recarga, dentre outras condições hidrológicas. Em áreas de ocorrência de rochas calcárias podem ser observados problemas localizados de elevada dureza e sólidos totais dissolvidos, com restrição de usos, em alguns casos (ZOBY, 2008).

O monitoramento de águas subterrâneas na mesorregião do Norte de Minas, inserida na bacia do médio São Francisco, é executado desde 2005, visando, dentre outros, conhecer as características físico-químicas da água, por meio da amostragem e interpretação estatística, e tem sido realizado pelo IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, no âmbito do Projeto Codevasf. Como as alterações na qualidade das águas subterrâneas ocorrem lentamente, as mesmas somente são identificáveis por meio de monitoramento sistemático, bem elaborado e de longo prazo. Identificar e mensurar alterações, tanto de qualidade, quanto de quantidade no recurso hídrico subterrâneo é essencial para uma gestão adequada do mesmo, visando à proteção e à otimização do uso de suas águas.

A região monitorada apresenta clima semiárido com chuvas escassas (precipitação acumulada inferior a 900 mm/ano) e altas temperaturas (média anual de 24 ºC), sendo suscetível à seca (BRASIL, 2005; IBGE, 2010). Caracteriza-se por duas estações bem definidas, em termos de precipitações: chuvosa (de outubro a abril) e seca (de maio a setembro). Esta região está nos domínios do Planalto do São Francisco, Depressão Sanfranciscana e Cristas de Unaí. A litologia é embasada pelas rochas da Formação Urucuia, Mata da Corda, Areado e do Grupo Bambuí, de idade neoproterozóica (CAMPOS & DARDENNE, 1997; ANA & IGAM, 2006; SILVA & ROSA, 2009). Em função da presença de rochas calcárias, o aquífero Bambuí pode ser dividido, em: fraturado, fraturado-cárstico e cárstico, sendo que o carste representa 32% da área total deste sistema aquífero e o fraturado-cárstico corresponde a 49% do total (ZOBY *et al*., 2004; ANA, 2005). A utilização da água subterrânea concentra-se, em Minas Gerais, na bacia do rio Verde Grande e na bacia do rio Riachão (afluente do Pacuí) e em alguns municípios das microrregiões administrativas de Unaí e Montes Claros, sendo utilizada principalmente para o consumo humano, seguida da irrigação e da dessedentação animal (CPRM, 2009).

A escassez de água na região associada à elevada demanda por recursos hídricos subterrâneos torna especialmente importante o conhecimento da qualidade das águas e sua adequação em relação aos usos potenciais e efetivos. Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar a qualidade físico-química das águas do aquífero Bambuí nas sub-bacias do rio Verde Grande (SF10) e dos rios Jequitaí e Pacuí (SF6).

METODOLOGIA

Os métodos usados neste estudo incluíram levantamentos de campo e análises laboratoriais. Os ensaios de campo englobam amostragem de água subterrânea para análise laboratorial e as seguintes análises in loco: temperatura, Eh, pH, STD e condutividade elétrica – CE. Foram analisados 74 parâmetros físico-químicos, dentre os quais: alcalinidade, dureza, turbidez, cor, fenóis, NO_3, Ca, Mg, Na, K, HCO_3, S, SO_4, Cl, P, Si, Al, As, Fe, F, Ba, B, Cu, Cr, Cd, Li, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Si, Sr, Zn, sólidos dissolvidos. Foram feitas análises também, em duas campanhas, de 16 agrotóxicos. As análises físico-químicas, efetuadas pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Exceções foram: cloretos totais (USGS, 1985); sólidos totais dissolvidos - STD (ABNT, 1989-a); fenóis (ABNT, 1989-b), DQO (ABNT, 1988-a); e nitrogênio amoniacal total (ABNT, 1988-b). As amostragens foram feitas em poços distribuídos na área de estudo, abrangendo as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH - SF10 (Sub-bacia do rio Verde Grande) e SF6 (Sub-bacia dos rios Jequitaí e Pacuí), tendo sido executadas em 13 campanhas semestrais, de 2005 a 2011.

O número de poços e a configuração da rede de monitoramento variaram no decorrer do monitoramento, sendo que atualmente (Fase III) são 61 poços tubulares profundos, sendo 19 localizados na SF6 e 42 na SF10. A análise de variação geográfica foi feita para a fase III, em vista de ser a atual configuração da rede de monitoramento. Já para a análise de variação temporal dos parâmetros, optou-se por comparar as fases I e III, em função das mesmas apresentarem pontos de monitoramento com abrangência territorial mais semelhante, em períodos bem distintos. A Tabela 1 resume o monitoramento executado. Ressalta-se que não houve poços de monitoramento em comum entre as fases I e II.

Tabela 1: Resumo das principais características do monitoramento na área de estudo.

Período			Abrangência territorial da rede		Nº de pontos	Densidade da rede (nº de poços/1.000km^2)	Pontos em comum com a fase atual
Fase	Campanha	Semestre/Ano	Sub-Bacias	Área e municípios			
I	1	1º /2005	Rio Verde Grande, Jequitaí e Pacuí	~ 35.130 km^2	40	1,1	PP001; SP001; CE001; CJ002; JR001; SL001; LP001; BC001; JQ001; EN001; JF001 (11 pontos em comum)
	2	2º /2005			40		
	3	2º /2005		23 municípios	39		
	4	1º /2006			40		
II	5	2º /2007	Rio Verde Grande	~ 5.000 km^2	43	8,4	JB003; JB007; JB008; VD013; VD014; VD021; VD003; VD001; VZ001; VZ006 (10 pontos em comum)
	6	1º /2008			43		
	7	2º /2008		3 municípios	41		
	8	1º /2009			41		
	9	2º /2009			41		
III	10	1º /2010	Rio Verde Grande, Jequitaí e Pacuí	~ 39.000 km^2	45	1,3	
	11	2º /2010			45		
	12	1º /2011		25 municípios	59		
	13	2º /2011			58		

O tratamento dos dados incluiu a organização do banco de dados, a estatística descritiva, uma comparação das medianas das concentrações dos pontos em 12 seções sequenciais de montante para jusante no sentido do fluxo predominante do aquífero e uma comparação das medianas e percentis 75 das concentrações de todos os pontos de monitoramento nas fases I e III do monitoramento. Foram aplicados, aos resultados de alguns parâmetros, testes não paramétricos - Kruskal-Wallis, seguidos dos testes de comparações múltiplas, para se verificar a existência de similaridades ou diferenças significativas entre as águas da rede de monitoramento. Foram utilizados, no tratamento dos dados, os softwares Excel 2010 e Statistica 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a delimitação da área estudada que totaliza, aproximadamente, 52.000 km^2 e corresponde a 35,5% da área de afloramento do sistema aquífero Bambuí.

Considerando a qualidade das águas subterrâneas, observam-se, de modo geral, amplas variações nos valores dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas na área de estudo. A CE, por exemplo, variou de 10 a 8.774 µS/cm. Outros parâmetros que apresentaram amplitudes consideráveis foram: dureza total, com 1.253 mg/L; STD, 2.163 mg/L; turbidez, 476,9 NTU; cloreto, 800,8 mg/L e cálcio, que variou em 341,1 mg/L.

A composição físico-química das águas subterrâneas nas sub-bacias é resumida na Tabela 2, para os principais parâmetros físico-químicos selecionados.

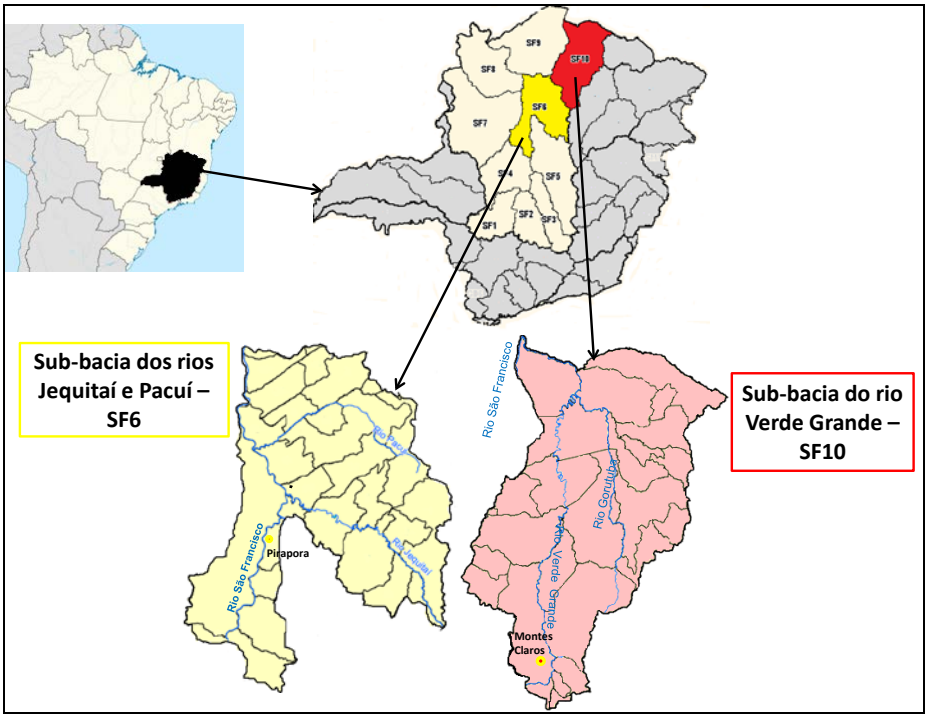

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (Fonte: Adaptado de CBH Jequitaí e Pacuí, 2010 e de ANA, 2011).

Tabela 2: Resumo da estatística descritiva da composição das águas subterrâneas na área de estudo.

Variável	Mediana	Mínimo	Máximo	% *Outliers*	Média	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
Temperatura (C)	26,6	22,6	32,7	2	26,6	1,5	0,6	1,5
pH	7,0	5,1	8,6	2	7,1	0,5	0,2	0,6
STD (mg/L)	443,8	6,7	2169	5	520,1	360	2	5,8
Eh (mV)	80	-155	736	3	89,7	112,7	2,1	9,5
Dureza total (mg/L)	227,0	8,0	1.261,0	1	292,4	207,9	1,8	4,6
Turbidez (NTU)	1,1	0,1	477,0	16	8,6	34,1	8,4	89,3
Al (mg/L)	0,12	0,1	19,8	8,4	0,26	1,12	14,0	225,6
As (mg/L)	0	0	0,029	14	0,0003	0,0017	13,4	196
Ca (mg/L)	114,1	0,4	373,6	2	109,5	67,4	1,1	2,2
Cu (mg/L)	0	0	0,2	38	0,004	0,013	16,1	297
Fenóis (mg/L)	0,0005	0,0005	0,01	35	0,001	0,0009	5,2	41,2
Fe (mg/L)	0	0	2,3	40	0,1	0,2	9,2	107,6
F (mg/L)	0,3	0,1	6,3	13	0,4	0,7	4,7	27,5
HCO_3 (mg/L)	283,5	7,4	438,1	1	265,6	91,3	-0,6	-0,2
K (mg/L)	1,8	0,5	28,2	6	2,5	3,0	5,1	30,4
Mg (mg/L)	8,7	0,5	62,2	11	12,5	11,7	2,0	3,9
Mn (mg/L)	0	0	5,5	20	0,1	0,3	17,5	361,9
Na (mg/L)	17,3	0,6	322,0	9	32,5	40,2	3,0	12,4
Ni (mg/L)	0,002	0,002	0,021	11	0,002	0,001	10,6	145,5
SO_4 total (mg/L)	12,3	0,5	796,0	13	31,3	71,5	6,2	50,3
Cl (mg/L)	23,7	0,2	801,0	12	61,9	116,1	3,8	16,0
NO_3 (mg/L)	0,4	0	41,9	11	1,6	3,2	5,8	55,4
Pb (mg/L)	0,0025	0,0025	0,4810	25	0,005	0,024	17,8	339,4
P total (mg/L)	0	0	2,3	13	0	0,1	13,3	221,6
RAS $(meq/L)^{1/2}$	0,48	0	10,0	10	1,0	1,6	3,7	15,1
Se (mg/L)	0	0	0,0131	5	0,0006	0,0014	7,2	56,3
Si (mg/L)	10,6	0,5	31,5	3	11,4	4,6	1,3	2,6
Zn (mg/L)	0,1	0,01	7,24	7	0,2	0,5	9,1	111,5

No aquífero Bambuí, apesar das consideráveis amplitudes observadas para os parâmetros físico-químicos analisados, há predominância de águas muito duras (> 300 mg/L de $CaCO_3$) e duras ($CaCO_3$ total entre 150 e 300 mg/L), neutras a levemente alcalinas (pH entre 6,5 e 8,5) e com salinidade tolerável (CE < 1500 µS/cm), conforme mostrado na Figura 2.

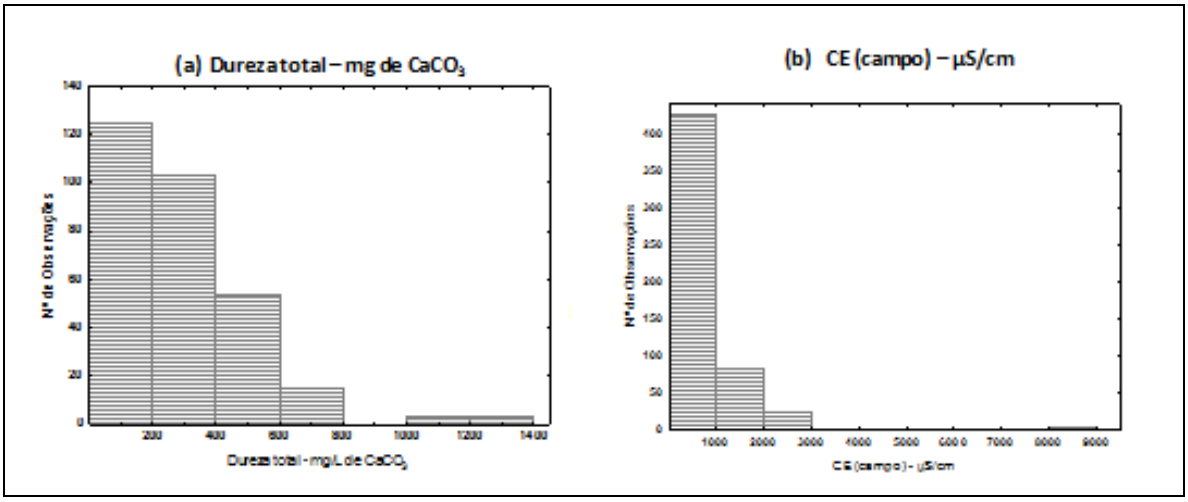

Figura 2: Histogramas para (a) dureza total e (b) CE (campo), considerando as amostras obtidas em todos os pontos e no período entre 2005 e 2011.

Exemplos de variações temporais são mostrados na Figura 3. Em relação às variações temporais e sem considerar cada ponto individualmente, mas o conjunto dos poços de monitoramento da área de estudo, alguns parâmetros apresentaram tendência à diminuição do percentil 75% entre as campanhas de 2005-2006 (Fase I) e as campanhas de 2010-2011 (Fase III), de modo geral. Este é o caso de: Al, K^+, NO_3^- e Zn. Outros parâmetros tiveram comportamento oposto na área de estudo como um todo, tendendo ao aumento das concentrações ao longo do monitoramento, como é o caso de: Ca^{2+} dissolvido, CE, Cl^-, dureza, F^- e Fe. Já a alcalinidade, cor, P total, pH, Si, STD, SO_4^{2-} e temperatura não apresentaram tendência clara de variação.

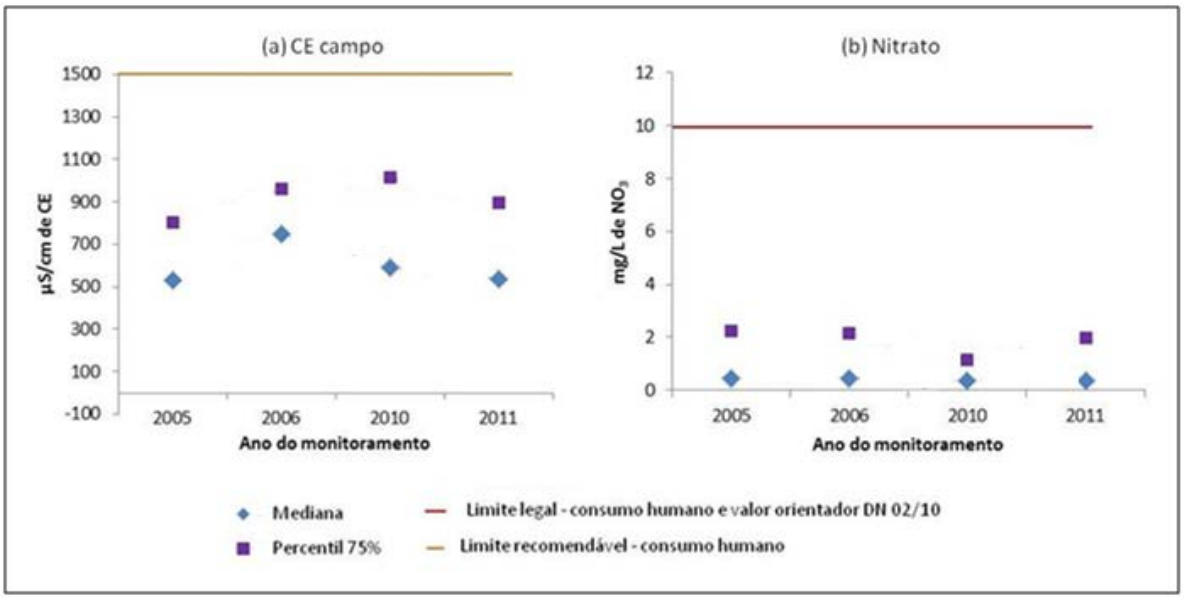

Figura 3: Gráficos mostrando os valores de percentil 75 e medianas em cada ano de monitoramento das Fases I e III para os parâmetros (a) CE e (b) nitrato.

Observam-se variações espaciais na qualidade das águas subterrâneas na área de estudo (fase III/configuração atual da rede de monitoramento), conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.

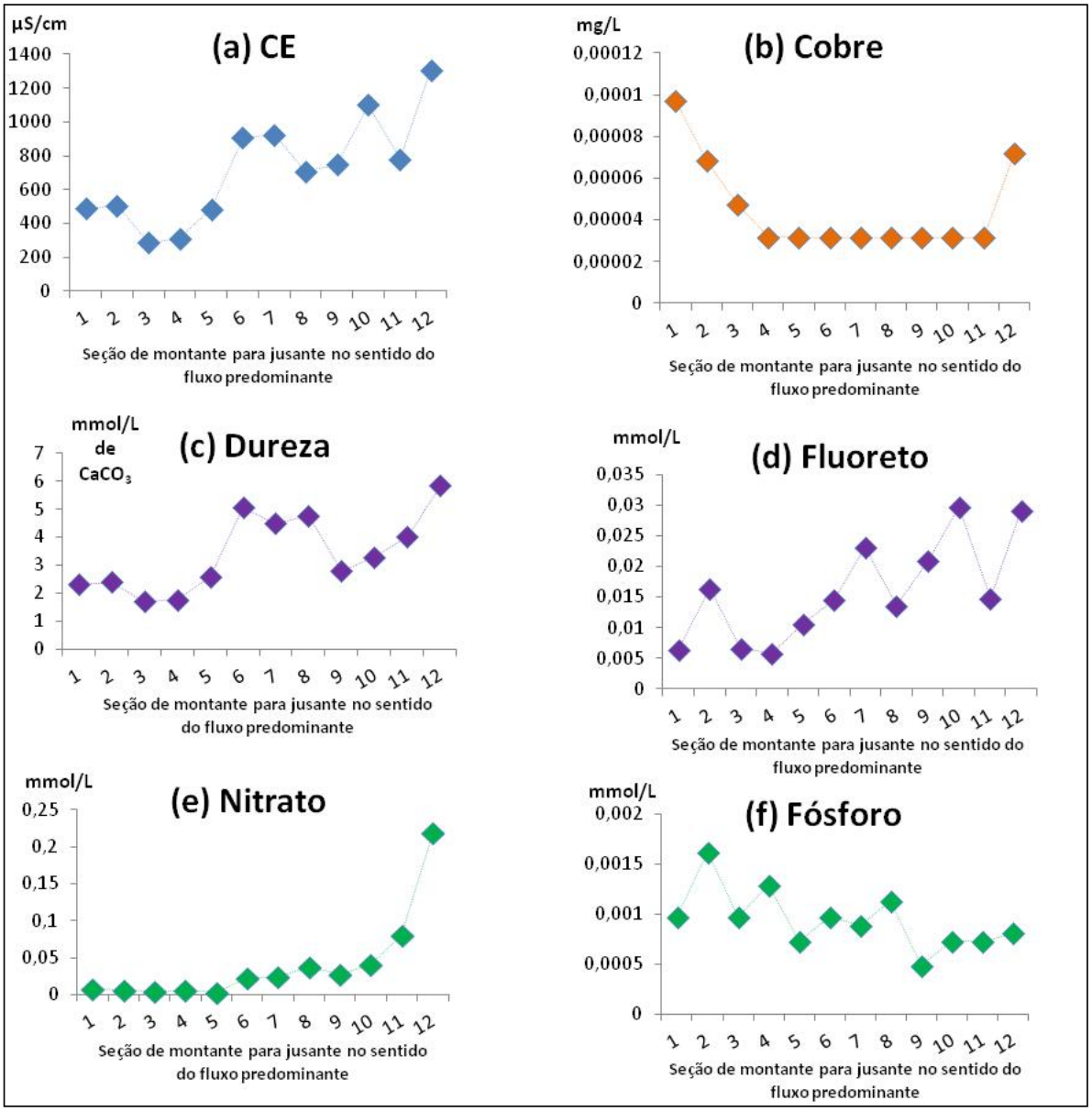

Figura 4: Distribuição espacial dos resultados (medianas) dos parâmetros físicos e químicos monitorados em seções hidroquímicas mostrando a evolução nas águas subterrâneas ao longo da linha de escoamento do fluxo predominante.

Observa-se que os parâmetros CE e dureza apresentam padrão semelhante de aumento gradual das concentrações no sentido do escoamento das águas subterrâneas. O fluoreto e o nitrato também apresentaram tendência a aumentar suas concentrações molares de montante para jusante na área de estudo. Ao contrário, o fósforo total apresentou tendência de redução ao longo da linha do fluxo dominante. Para os demais não foi possível identificar uma tendência no decorrer do fluxo das águas subterrâneas na área de estudo, a exemplo do cobre.

Os aumentos observados para os parâmetros CE e dureza podem ser explicados pela dissolução gradual da rocha no decorrer da trajetória das águas e o consequente aumento da salinidade, dos sólidos dissolvidos e das concentrações iônicas, particularmente de cálcio, magnésio, bicarbonatos e sulfatos.

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis e de comparações múltiplas para o sulfato total evidenciam (p-valores < 0,05) que há diferenças significativas entre as águas dos diferentes poços de monitoramento, ao nível de confiança de 95%. O mesmo ocorre para a maior parte dos parâmetros, cujas concentrações nas águas variaram na área de estudo. No caso do sulfato total, o poço FS004 (na UPGRH SF10, no município de

Francisco Sá) destaca-se pelas elevadas concentrações do parâmetro em comparação com as águas dos demais poços de monitoramento (Figura 5).

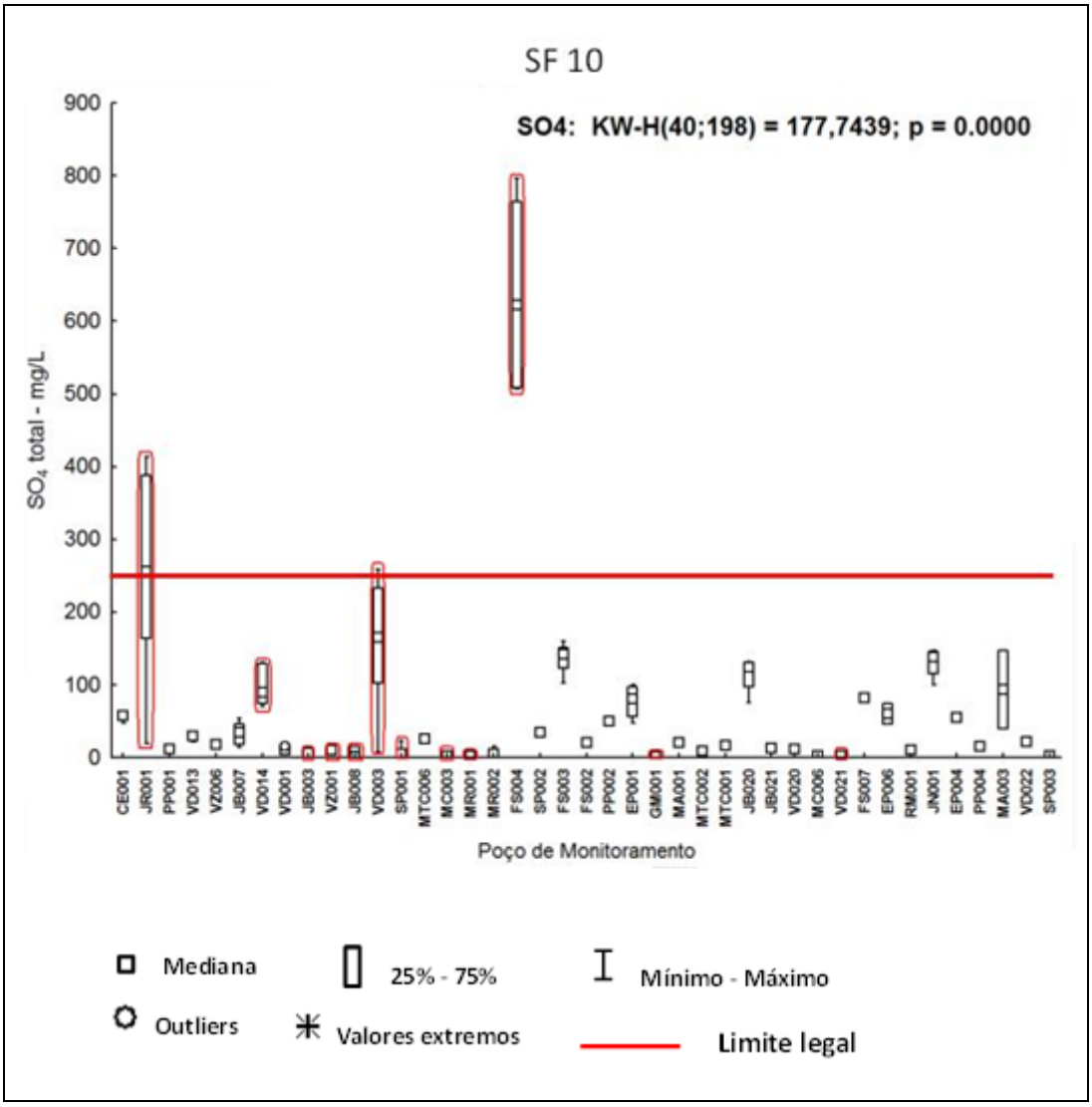

Figura 5: Gráficos box-plot para o parâmetro sulfato total, por poços, na sub-bacias SF10, p-valor do teste de Kruskal-Wallis correspondente e respectivos resultados dos testes de comparações múltiplas (os poços de monitoramento destacados – circulados em vermelho – são aqueles cujas águas apresentaram diferenças significativas, ao nível de confiança de 95%, em relação às águas de outros poços especificados nos testes).

A disponibilidade das águas subterrâneas e sua adequação para diferentes usos estão intrinsecamente associadas. Os resultados dos parâmetros físicos- químicos de águas no interior do aquífero foram comparados com os padrões da Portaria MS nº 2914/2011, bem como da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Com relação ao total de medições no decorrer de todo o período de monitoramento, a distribuição das mesmas quanto ao atendimento aos padrões legais para fins de consumo humano é apresentada na Figura 6 (a). Já considerando os poços de monitoramento, o percentual de atendimento aos padrões é consideravelmente menor, conforme mostrado na Figura 6 (b), uma vez que se considera que um poço em que tenha sido excedido o limite legal em uma única campanha seja inadequado.

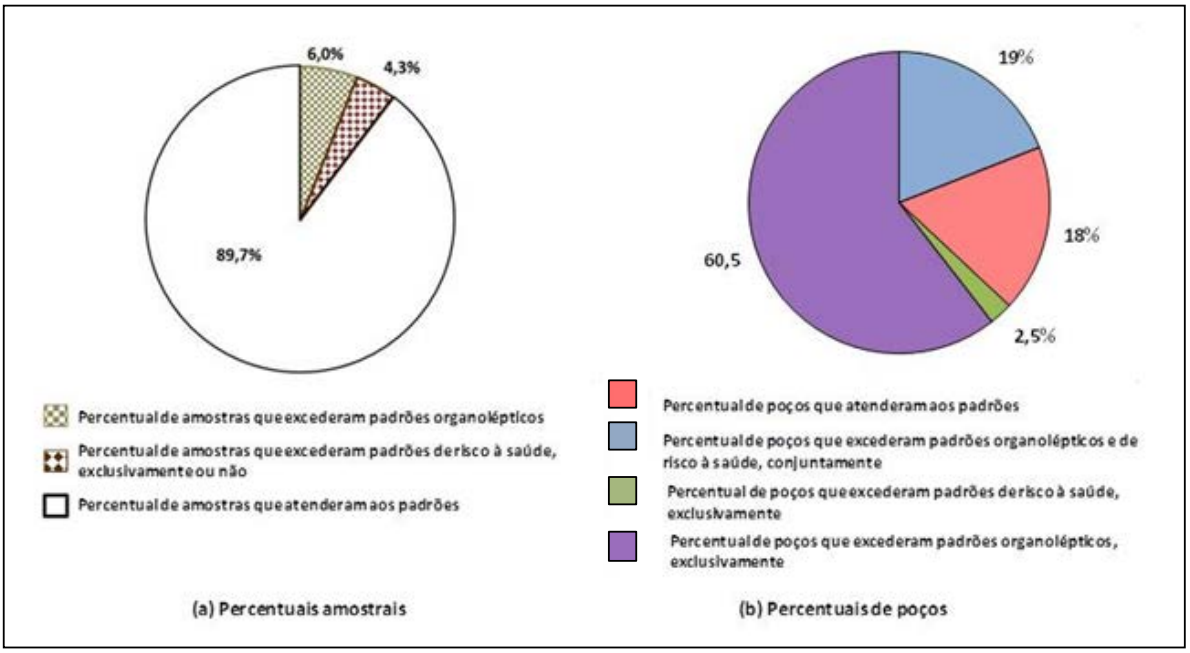

Figura 6: Distribuição percentual do atendimento aos padrões legais das águas subterrâneas no período 2005-2011 para fins de consumo humano, na área de estudo, em relação a: (a) número total de medições e (b) número total de poços de monitoramento.

Com relação à Figura 6(b), observa-se que, em relação aos poços monitorados, 82% (105 poços) apresentaram águas inadequadas para consumo humano, ao menos em uma campanha no decorrer do monitoramento – 2005 a 2011. Os poços cujas águas se apresentaram inadequadas para fins de consumo humano, em função de excederem padrões relacionados a riscos à saúde, são mostrados na Figura 7.

Os poços localizados no município de Matias Cardoso, Jaíba e região foram os que mais excederam o limite de fluoreto para consumo humano, ou seja, 1,5 mg/L. Se forem considerados os padrões organolépticos, exclusivamente, o percentual total de poços com águas impróprias para consumo humano foi de 65% do total, sendo que os parâmetros desta natureza que mais excederam os limites legais foram: ferro (56% dos poços), alumínio (47,6%), turbidez (42%), cor (40%), manganês (23%) e dureza (16%).

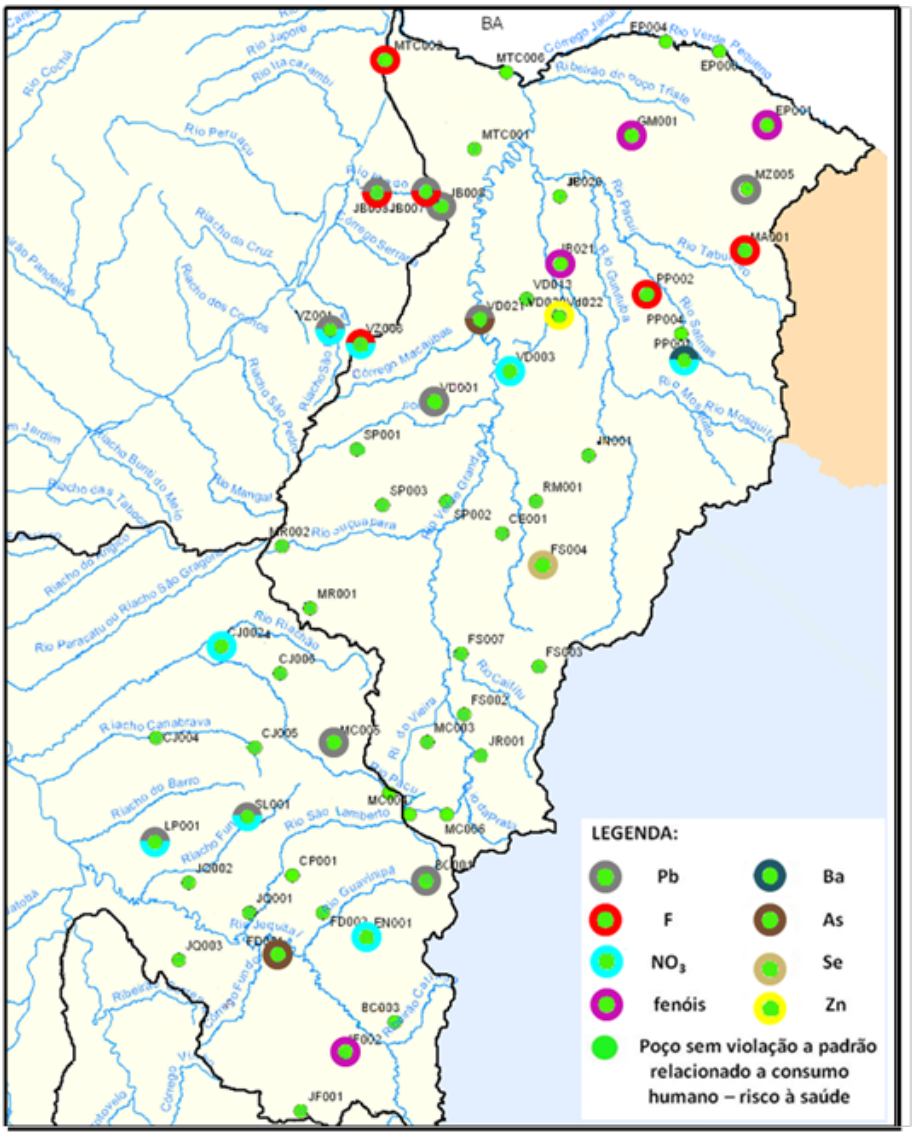

Figura 7: Distribuição geográfica dos poços cujas águas subterrâneas apresentaram-se, em pelo menos uma campanha, inadequadas para fins de consumo humano em função de excederem padrões relacionados a riscos à saúde, para a Fase III (2010-2011) do monitoramento (relativa à configuração atual da rede de monitoramento).

Para fins de recreação, 2,1% do total de medições resultaram em águas inadequadas; e 75% dos poços (93 pontos) apresentaram águas inadequadas para este fim, em ao menos uma campanha do monitoramento. Dentre estes, 52% (68 poços) excederam limites para ferro, alumínio e manganês, isolados e conjuntamente. Os fenóis foram ultrapassados em 18 poços, o nitrato foi ultrapassado em 12 poços, o chumbo foi excedido em dois poços e o selênio em um poço.

Com relação ao total de medições, somente 0,8% das águas subterrâneas do sistema aquífero Bambuí são inadequadas para fins de irrigação, de acordo com a Legislação. Em relação ao total de poços monitorados no período de 2005 a 2011, 40 (32%) deles tiveram águas inapropriadas para a irrigação, em pelo menos uma campanha do período avaliado. Dentre estes, os poços que excederam limite legal para um parâmetro individual foram, respectivamente: 13 poços (16%) para manganês; seis poços (7%) para fluoreto; quatro poços (5%) para ferro; dois poços (2,5%) para zinco; um poço (1,2%) para cloreto. Sete poços excederam limites de mais de um parâmetro, a saber: 5 poços (%) de ferro e manganês, conjuntamente; e dois poços excederam concentrações de fluoreto e manganês. Outros cinco poços excederam, individualmente, limites de mais de um parâmetro, a saber: alumínio e ferro; cobre e manganês; fluoreto e boro; fluoreto e zinco; e fluoreto, alumínio, ferro e manganês.

Quanto ao uso para dessedentação animal no período de monitoramento, apenas 0,8% do total de medições resultou em águas inadequadas para este fim. Em relação ao total de poços monitorados, verificou-se que 23% deles apresentaram águas inadequadas para a dessedentação, em alguma campanha do monitoramento. Dentre estes, 23 poços (18,5% do total de poços) apresentaram águas que excederam o limite para manganês; nove poços (7,3% do total de pontos) excederam limite para fenóis; oito poços (6,5% do total de pontos) excederam limite para ambos, fenóis e manganês. Outros cinco poços (0,8% do total de pontos) excederam, cada um, limites de mais de um parâmetro, a saber: chumbo e manganês; chumbo, manganês e fenóis; fenóis e fluoreto; alumínio e manganês; e fluoreto, alumínio e manganês.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A grande variabilidade na hidroquímica na área estudada do sistema aquífero Bambuí é característica de ambientes fissurado-cársticos e cársticos, podendo ser explicada pela característica litoestratigráfica do sistema que confere ao mesmo um comportamento hidráulico variável, bem como diferentes interações água-rocha, que resultam em elevada anisotropia. Esta conclusão é corroborada pela tendência de aumento gradual nas concentrações da CE, da dureza e dos STD, no sentido predominante do fluxo das águas subterrâneas do aquífero na área de estudo.

As águas do aquífero são, predominantemente, muito duras e duras, neutras a levemente alcalinas e apresentam salinidade tolerável. Localizadamente, todavia, alguns poços apresentam CE limitante para a irrigação. Observam-se variações espaciais e temporais na qualidade das águas subterrâneas da região estudada.

De modo geral e em relação ao total de poços monitorados no período de 2005 a 2011, verificou-se que as águas subterrâneas na região podem ser consideradas inadequadas para fins de consumo humano, ao considerar-se que 82% dos poços de monitoramento da área estudada apresentaram violação de padrões legais. Todavia, 65% dos poços apresentaram-se inadequados exclusivamente em função de parâmetros organolépticos, a maioria em função de concentrações elevadas de ferro, alumínio e manganês. Quanto à dessedentação animal, 23% dos poços apresentaram águas inadequadas para este fim. Já para a irrigação foram 32% dos poços considerados inadequados. Observa-se concentração de fluoreto na porção noroeste da área estudada, nos municípios de Matias Cardoso, Jaíba e arredores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) por terem disponibilizados os dados e viabilizado essa pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. Agência Nacional das Águas. *Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2005. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/ planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2012.
2. ANA. Agência Nacional das Águas; IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Estudo de caracterização dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais*: primeira etapa do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Belo Horizonte: Projeto PROÁGUA / Semiárido, 2006. 177p. Relatório.
3. BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. *Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro*. Brasília: MI-SDR, 35 p., 2005.
4. CAMPOS, José Eloi Guimarães; Dardenne, Marcel Auguste. Estratigrafia e sedimentação da bacia sanfranciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, Brasília, v. 27, n. 3, p. 269-282, Set. 1997.
5. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: proposta técnica. Belo Horizonte: CPRM, 2009. 85p. Relatório.

6. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/entorno/. Acesso em: 23 jul. 2012.
7. MARTINS, Maria Rita Vieira. *Regulação econômica no setor das águas*: *Promoção da concorrência e sustentabilidade tarifária*. Orientador: Doutor Adelino Manuel Guimarães Fortunato. 2007. 290 f. Tese (Doutorado em Teoria Econômica e Economia Internacional) – Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.
8. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido*. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano, 2007. Disponível em: < http: / /www. aesas.com.br/Server/src/arquivos/mídia/documento.pdf> Acesso em: 3 abr. 2012. Relatório.
9. SILVA, Fernandha Batista da; Coutinho, Arthur Paiva; Montenegro, Suzana Maria Gico Lima; Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira; Antonino, Antônio Celso Dantas Antonino; da Silva, Simone Rosa. Análise crítica e comparativa dos sistemas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos nos estados de Pernambuco, Ceará e São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, *16* e ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, *17*. 2010. 20 p. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/asubterraneas/article/ viewFile/23088/15203>. Acesso em: abr. 2012.
10. ZOBY, José Luiz Gomes; Matos, Bolivar Antunes; Conejo, João Gilberto Lotufo. Disponibilidade de águas subterrâneas na bacia do rio São Francisco. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, *13*., 2004, Cuiabá, MT, *Anais*..., São Paulo: Revista Águas Subterrâneas - ABAS, 2004. p. 1-21.
11. ZOBY, José Luiz Gomes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15, 2008, Natal. *Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. São Paulo: ABAS, 2008. Disponível em: < http: / / ojs.c3sl.ufpr.br/ ojs2/index.php/ asubterraneas/article/view/23802> Acesso em: mar. 2012.