

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (SISTEMA AQUIFERO GUARANI – SAG), BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO, RS, BRASIL

Adilson Ben da Costa^{1*}, Roberta Cristina Kaufmann¹, Marco Antonio Fontoura Hansen², Alcido Kirst¹, Eduardo Alexis Lobo¹

¹ Laboratório de Limnologia da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC / Rio Grande do Sul, Brasil;

² Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA / Rio Grande do Sul, Brasil.

*E-mail: adilson@unisc.br

Recebido em 22 de janeiro de 2010

Aceito em 23 de maio de 2010

RESUMO

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a qualidade das águas subterrâneas em áreas de preservação permanente (Sistema Aquífero Guarani – SAG) da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, RS, Brasil, através de variáveis físicas, químicas e microbiológicas, tendo como base a resolução nº 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Nove pontos de coleta foram distribuídos ao longo da bacia, nos quais as águas subterrâneas foram classificadas quanto aos íons de maior ocorrência quantitativa através do diagrama de Piper. Os resultados indicaram que a maioria dos poços avaliados enquadraram-se na Classe 4 de usos da água, correspondendo a águas de usos menos restritivos. Entretanto, deve-se considerar que os aquíferos se apresentam em diferentes contextos geológicos, e que possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas, com variações hidrogeoquímicas, sendo necessário que as suas classes de qualidade sejam pautadas nessas especificidades, como se observou no diagrama de Piper, onde as amostras P1, P2, P3, P5 e P9 classificaram-se como bicarbonatadas cálcicas, as águas dos pontos P4, P6, P7 como bicarbonatadas sódicas e P8 se classificou como sulfatada. Verificou-se que a qualidade das águas de poços com profundidade inferior a 6 m está mais vulnerável devido a alterações antrópicas em função da concentração de nitrato, coliformes totais e termotolerantes, enquanto que a qualidade das águas de poços mais profundos depende basicamente de suas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas naturais, em função das variáveis sulfato e sódio. Contudo, também apresentaram contaminação por atividade antrópica, principalmente pela variável nitrato.

Palavras-chaves: Qualidade da água subterrânea; Sistema Aquífero Guarani (SAG); Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, com 50 mil km³ de água doce armazenada em uma área total de 1,2 milhão de km² distribuída em oito estados brasileiros e outros três países (Uruguai, Paraguai e Argentina) [1-2].

Além de conter a maior parte das reservas subterrâneas, o Brasil também conta com muitas áreas de recarga, responsáveis pelo reabastecimento deste aquífero (Figura 1) o que aumenta ainda mais a responsabilidade brasileira em evitar a contaminação deste aquífero. Esta responsabilidade se estende também aos estados, em especial aos estados do Rio Grande do Sul e do Mato Grosso do Sul, que juntos respondem por mais de 54% da área brasileira do aquífero [1].

Apesar disto, e da recomendação de que as zonas de recarga de um aquífero sejam consideradas áreas de proteção permanente, ou cultivadas sob sistemas de produção agroecológicas, com baixo aporte de insumos, tem-se constatado que as culturas de cana-de-açúcar, soja e milho representam as principais atividades responsáveis pelos

casos de contaminação do SAG em território brasileiro [3-6].

Esta realidade não é diferente no Vale do Rio Pardo, na região central do Estado do Rio Grande do Sul, onde apesar da ausência de estudos sistemáticos referentes à contaminação da água subterrânea por agrotóxicos e fertilizantes, as zonas de recarga situam-se junto às nascentes dos rios Pardo e Pardinho, regiões de intensa atividade agrícola destacando-se as culturas de fumo e milho.

Uma dimensão da atividade agrícola nesta região pode ser dada ao se observar que 84,4% das demandas hídricas superficiais (não há informação sobre demandas subterrâneas) destinam-se à irrigação, 10,4% para o abastecimento humano, 4,8% para a dessedentação animal (pecuária) e 0,4% para o uso industrial [7].

Neste contexto, este estudo teve por objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas nesta bacia, através de variáveis físicas, químicas e microbiológicas, permitindo assim discutir a questão da vulnerabilidade e proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

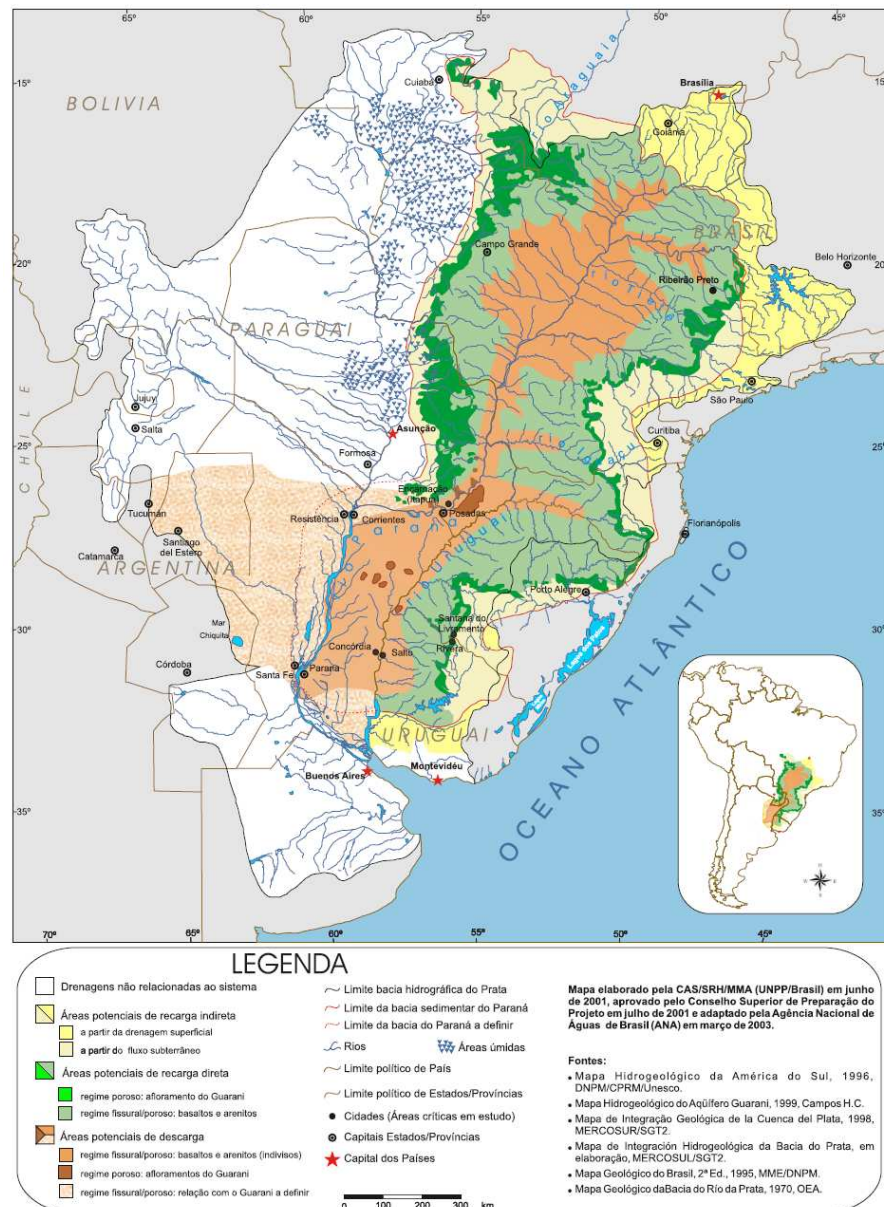


Figura 1. Mapa esquemático do Sistema Aquífero Guarani.

Fonte: <http://www.sg-guarani.org>

2. FUNDAMENTOS EM HIDROGEOLOGIA SUBTERRÂNEA

Os recursos hídricos devem apresentar características físicas e químicas adequadas para sua utilização pelos diversos organismos, ou seja, a disponibilidade de água significa que ela está presente não somente em quantidade adequada em uma dada região, mas também que sua qualidade deve ser satisfatória para suprir as necessidades de um determinado conjunto de seres vivos [8-9].

O conceito de qualidade da água é função das condições naturais (escoamento superficial e infiltração no solo), do uso e da ocupação do solo (despejos domésticos ou industriais, e aplicação de defensivos agrícolas no solo) em

bacias hidrográficas. Os componentes que alteram o grau de pureza da água são retratados pelas suas características físicas, químicas e biológicas, que são traduzidas como parâmetros de qualidade da água. Os parâmetros físicos incluem cor, turbidez, sabor, odor e temperatura. Nos químicos incluem-se pH, alcalinidade, ferro, manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, entre outros. Ficando nos parâmetros biológicos as algas e os microorganismos patogênicos [10].

As concentrações de elementos ou substâncias presentes nas águas subterrâneas são extremamente dependentes do tipo de rocha, solo e/ou estruturas a que estão subordinadas e do tempo de residência da água no aquífero [11]. Deste modo, a concentração de um determinado parâmetro químico da água subterrânea de uma região pode ser naturalmente, superior ao de outras regiões.

Este conceito é conhecido como valor de background de uma determinada água para um determinado elemento em uma determinada região.

De maneira geral, devido à ação filtradora lenta, através das camadas permeáveis, as águas subterrâneas deveriam apresentar baixos teores de cor, turbidez e isenção de bactérias encontradas em águas superficiais, a não ser que sejam atingidas por alguma fonte poluidora [12].

As regiões onde ocorre a infiltração são denominadas zonas de recarga, sendo responsável pela formação e pelo reabastecimento do aquífero. Em geral, toda área onde há sedimentos arenosos pode ser considerada área de recarga, pois esses sedimentos possuem porosidade e permeabilidade, propriedades responsáveis pela infiltração. Após formar as zonas saturadas e, conseqüentemente, os aquíferos, a água subterrânea movimenta-se em um fluxo lento, das regiões mais elevadas para as regiões mais baixas. Em função desse movimento, a água subterrânea pode chegar à superfície originando as zonas de descarga, podem se citar as fontes (“olhos de água”), as áreas de nascentes e zonas de banhados, entre outras [12].

A hidrogeologia é a ciência que se ocupa do estudo da água quanto a sua quantidade, distribuição, composição química e movimento no âmbito da ocorrência subterrânea, ou seja, é a ciência que estuda as águas subterrâneas (aquíferos), seu movimento, ocorrência, propriedades, interações com o meio físico e biológico, bem como os impactos de origem antropogênica (como poluição, contaminação e superexploração) [13].

O limite entre as zonas não saturadas e saturadas é comumente chamado de lençol freático. Quando se perfurar um poço raso, o nível da água observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto, o qual é chamado de nível freático, nível d’água ou nível potenciométrico [14].

A água presente nas zonas saturadas é denominada água subterrânea, e as camadas que contem essas zonas são chamadas de aquíferos. Assim, aquíferos são quaisquer formações geológicas (sedimentos ou rochas) e que apresentam porosidade, permeabilidade e capacidade para armazenar e transmitir água [12].

Os aquíferos comportam-se conforme a sua litologia e estrutura geológica que os contenham ou conforme a natureza das pressões hidrostáticas e em alguns casos a litostática exercidas sobre a água subterrânea. A classificação litológica de aquíferos leva em consideração sua natureza geológica, visto que a Bacia do Rio Pardo, RS, Brasil, engloba todas as condições descritas em literatura, desta forma se pode ter [11, 13, 15]:

a) Aquíferos porosos: onde a água fica armazenada e circula nos poros vazios entre os grãos sedimentados, em geral permitem o armazenamento de grandes quantidades de água gerando boas vazões, entretanto os aquíferos porosos, em especial os arenitos e materiais não consolidados, são mais vulneráveis a contaminação superficial, quando a rocha aquífero aflora na superfície ou quando está muito próxima a esta, e subterrânea devido a sua facilidade de transmissão;

b) Aquíferos fissurais: estes aquíferos estão condicionados a existência de fraturas e/ou falhas em rochas

que possuem pouca ou nenhuma porosidade, como as ígneas e metamórficas, espaço necessário para que água possa circular pelas fissuras. Em geral, possuem vazões inferiores aos aquíferos porosos, por dependerem da interconexão entre as fraturas em superfície e de uma densidade de fraturas para garantir o suprimento de água para todo o sistema;

c) Aquíferos cársticos: são formados em rochas carbonáticas (calcários, dolomitos). Constituem um tipo de aquífero fraturado por dissolução, havendo a necessidade de um fluxo dinâmico da água para que entre em contato com a rocha e dissolva o carbonato propiciando a formação de dutos. A qualidade deste tipo de aquífero depende do diâmetro dos dutos, da interconexão entre eles e da quantidade de água existente.

Pode haver ainda aquíferos mistos, com características de mais de um tipo de aquífero.

Quanto a localização e estrutura, os aquíferos costumam ser classificados como:

a) Livres (ou freáticos): em geral localizam-se mais próximos a superfície, a água assume pressão igual à atmosfera;

b) Confinados: apresentam uma camada confinante onde a água é submetida a uma pressão superior a da atmosfera, podendo apresentar artesianismo, ou seja, quando nos poços tubulares profundos a água jorra sem a necessidade de equipamento para bombeamento;

c) Semi-confinados: quando ocorrem situações intermediárias entre as duas anteriores.

3. METODOLOGIA

Localização e delimitação cartográfica dos pontos de amostragem

Para a identificação dos pontos de amostragem a serem utilizados neste estudo foram realizadas expedições, no período de março a maio de 2009, em toda a área da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Nesta oportunidade foi informado aos proprietários dos poços os objetivos deste estudo e solicitada a autorização para coleta mensal de amostra de água. Entre os critérios utilizados para localização das estações de amostragem, foi considerada a necessidade de que estes locais fossem distribuídos em diferentes contextos geológicos da região, possibilitando assim a compreensão do comportamento qualitativo destas águas em cada situação.

Desta forma, foram selecionadas oito estações de amostragem, identificados como P1, P2, P3 e assim sucessivamente até P8 (Tabela 1). Entretanto, após a primeira campanha de coleta, por solicitação do proprietário não foram mais coletadas amostras no poço P8, e desta forma um nono (P9) poço foi selecionado em substituição ao P8.

A distribuição das estações na bacia hidrográfica do Rio Pardo permitiu localizar os poços nos diferentes contextos geológicos da região, sendo o ponto P1 na unidade geoquímica Caxias, P2 e P3 na unidade geoquímica

Gramado, P4, P8 e P9 em depósitos aluvionares e, P5, P6 e P7 em formação Santa Maria, como pode ser observado na Figura 2. A confecção do mapa de localização cartográfica das estações de amostragem foi realizada com auxílio do Laboratório de Geoprocessamento da UNISC, com base em cartas produzidas no levantamento dos recursos naturais desenvolvido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 1986 [16].

Tabela 1. Localização das estações de amostragem da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, RS.

Código	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
P 1	Barros Cassal	29°09'32,7"	52°39'19,3"	397
P 2	Sinimbu	29°29'58,3"	52°30'55,2"	113
P 3	Sinimbu	29°29'58,3"	52°33'13,7"	103
P 4	Santa Cruz do Sul	29°38'27,7"	52°27'47,1"	52
P 5	Vale do Sol	29°41'35,8"	52°38'05,7"	45
P 6	Vera Cruz	29°47'58,9"	52°30'24,4"	46
P 7	Vera Cruz	29°54'00,9"	52°29'57,0"	65
P 8	Rio Pardo	29°56'29,6"	52°23'08,5"	19
P 9	Rio Pardo	29°56'29,3"	52°23'05,6"	21

Coleta e análise das amostras de água subterrânea

Ao todo foram realizadas cinco campanhas de coleta, que ocorreram nos meses de julho, agosto, setembro, outubro e dezembro de 2009. Sendo que, por impossibilidade de acesso, o ponto P8 foi substituído pelo ponto P9 após a primeira campanha de coleta.

Na avaliação da qualidade da água foram considerados as seguintes variáveis: alcalinidade de

bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos e total, alumínio, cálcio, cloro residual livre, coliformes termotolerantes, coliformes totais, condutividade elétrica, ferro, fluoreto, magnésio, manganês, matéria orgânica, nitrato, nitrogênio amoniacal, pH, potássio, salinidade, sódio, sulfato, sólidos totais dissolvidos e turbidez. As técnicas utilizadas na coleta das amostras e para as determinações físicas, químicas e microbiológicas encontram-se descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [17].

Na avaliação da qualidade da água foi utilizada a resolução n° 396 do CONAMA [18]. A Tabela 2 apresenta os usos indicados em cada classe, proposta pela referida resolução, e na Tabela 3 são apresentados os valores limites (VMP – Valor Máximo Permitido) para os usos preponderantes. Na classificação química quanto à concentração de íons de maior ocorrência quantitativa foi utilizado o diagrama de Piper utilizando o software Qualigraf [19]. Além disto, as amostras foram classificadas quanto a salinidade em função da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD).

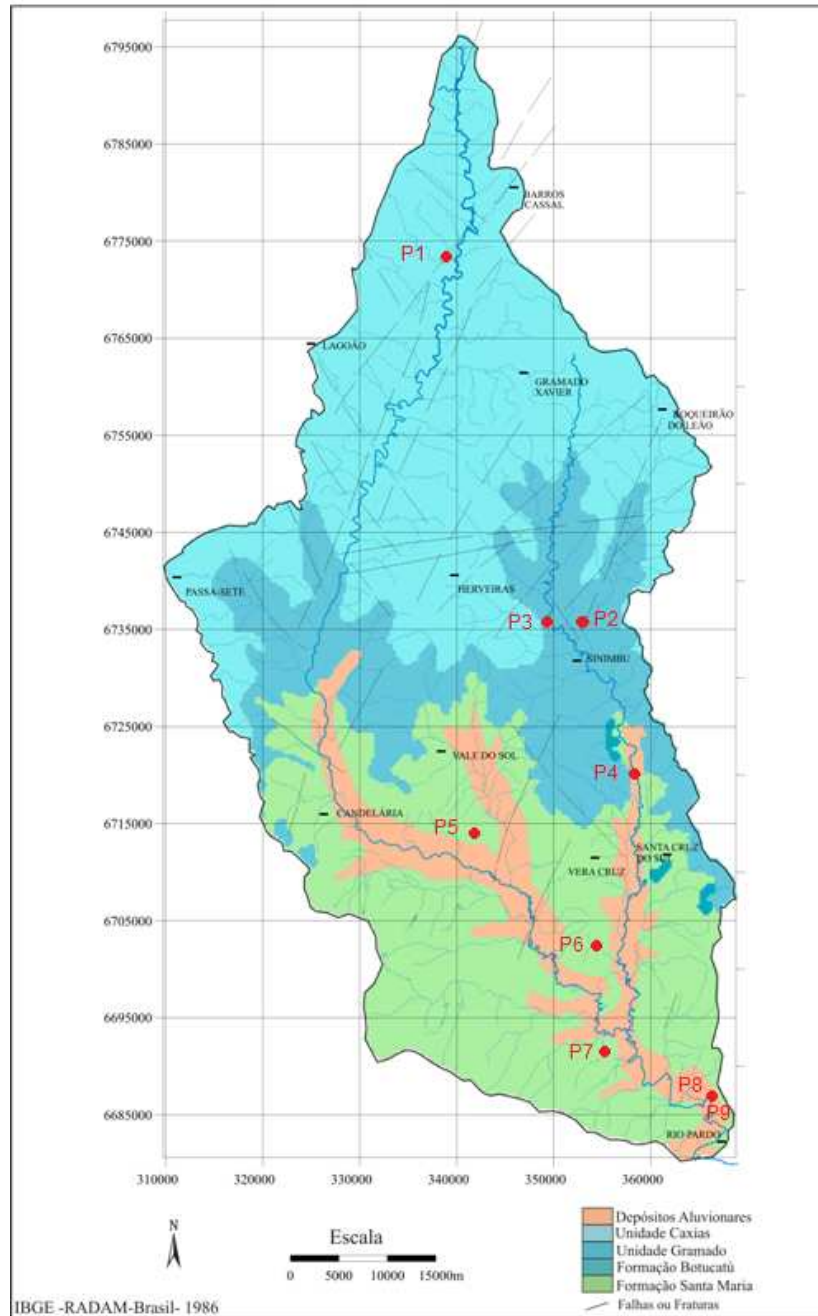


Figura 2. Localização geológica das estações de amostragem da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, RS.

Tabela 2. Classificação das águas subterrâneas segundo o CONAMA [18].

Classe	Classificação e destino das águas subterrâneas
Especial	Preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.
Classe 1	Águas subterrâneas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido as suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 2	Águas subterrâneas sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante devido as suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 3	Águas subterrâneas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais.
Classe 4	Águas subterrâneas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo (como recreação de contato secundário).
Classe 5	Águas subterrâneas que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas as atividades que não tem requisitos de qualidade para uso.

Tabela 3. Parâmetros e seus respectivos limites para os usos considerados preponderantes.

Parâmetros	Limite para os usos preponderantes da água	Ref.
Alcalinidade bicarbonatos	250 mg L ⁻¹	[20]
Alcalinidade carbonatos	120 mg L ⁻¹	[20]
Alcalinidade hidróxidos	ausente	[20]
Alumínio	0,2 mg L ⁻¹	[21]
Cálcio	NE	
Cloro residual livre	0,2 - 2 mg L ⁻¹	[21]
Coliformes termotolerantes	ausência em 100 mL	[21]
Coliformes totais	ausência em 100 mL	[21]
Condutividade elétrica	NE	
Ferro	0,3 mg L ⁻¹	[21]
Fluoreto	0,6 - 0,9 mg L ⁻¹	[22]
Magnésio	NE	
Manganês	0,1 mg L ⁻¹	[21]
Matéria orgânica	NE	
Nitrato	10 mg L ⁻¹	[21]
Nitrogênio amoniacal (amônia)	1,5 mg L ⁻¹	[21]
pH	6,0 - 9,5	[21]
Potássio	NE	
Salinidade	NE	
Sódio	200 mg L ⁻¹	[21]
Sulfato	250 mg L ⁻¹	[21]
SDT- Sólidos totais dissolvidos	1000 mg L ⁻¹	[21]
Turbidez	5 uT	[21]

NE – Limite Não Estabelecido nas normas técnicas consultadas [20, 21, 22].

4. RESULTADOS

A água subterrânea existente na região em estudo é originada basicamente da água de precipitação, a qual se infiltra no solo, preenchendo os poros existentes nas camadas de sedimentos, formando assim as zonas saturadas, ou aquíferos, onde se localizam as águas subterrâneas. Deve-

se salientar que o movimento da água subterrânea pode variar bastante, sendo que a mesma está localizada em diferentes tipos de aquíferos.

Os resultados das determinações físicas, químicas e microbiológicas nos meses de julho a dezembro de 2009 estão apresentados nas tabelas 4-8. Nestas tabelas está definida também a classe de enquadramento das estações amostrais segundo o CONAMA [18].

De forma geral, os resultados indicaram que os pontos de coleta apresentam uma alta variabilidade espacial e temporal da estrutura ambiental, destacando-se a Classe 4 de usos da água [18], que corresponde as águas de má qualidade, basicamente em função das variáveis coliformes totais, coliformes termotolerantes, nitrato e turbidez (figuras 3, 4 e 5).

Particularmente quanto aos resultados para coliformes termotolerantes, as estações de amostragem de poços rasos, com profundidade inferior a 6 m (P1, P2, P4, P5 e P6), enquadraram-se na Classe 4 nos meses de julho a dezembro. Destaca-se que resolução n° 396 do CONAMA define que a ausência de coliformes numa amostra corresponde ao limite para diferenciar a Classe 4 das demais classes. Da mesma forma, as estações de amostragem de poços profundos (> 6 m) (P3 e P9) enquadraram-se na Classe 4, com exceção dos pontos P7 e P8, que apresentaram ausência de coliformes.

Os valores obtidos para nitrato nas amostras indicaram uma alta variabilidade espacial e temporal, como pode ser observado na Figura 4. Nos meses de julho e agosto a maioria dos pontos de amostragem apresentaram valores superiores ao limite para os usos preponderantes da água (10 mg L⁻¹). Estes valores tornaram-se significativamente inferiores nos meses seguintes, os quais se caracterizaram como extremamente chuvosos nesta região. A turbidez das amostras foi outra característica preocupante, especialmente no ponto P4 onde valores de até 121 uT foram obtidos, enquanto o limite para os usos preponderantes da água é de 5 uT.

Na classificação dos poços em função da salinidade, verificou-se que apenas o poço P8 fornece água salgada, e os demais (89,9%) fornecem água classificada como doce.

O diagrama de Piper [19] permitiu, também, evidenciar esta distinção entre as estações amostrais, classificando os pontos P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P9 como de água bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e apenas o ponto P8, como sulfatada, evidenciando a existência de

diferentes variações químicas para água subterrânea analisada, como se observa na Figura 6.

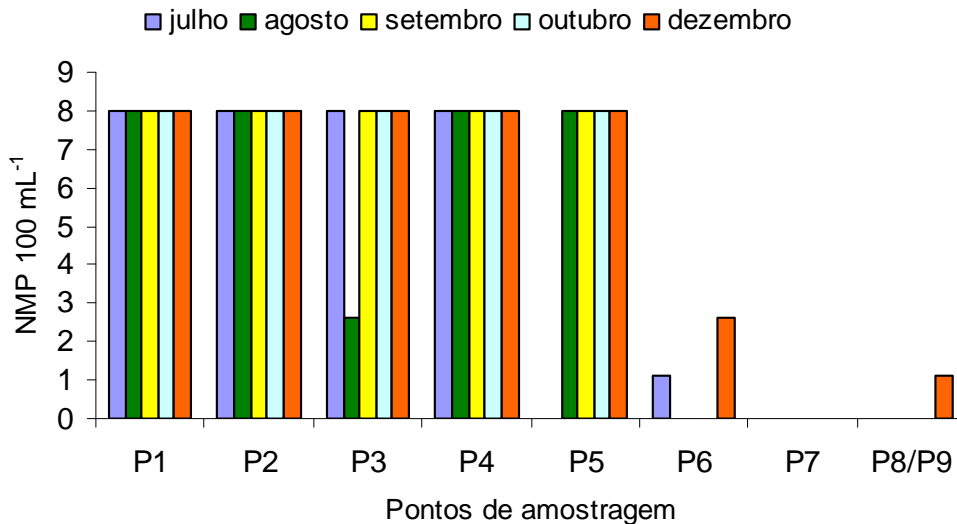


Figura 3. Resultados de coliformes termotolerantes na água dos pontos de amostragem no período de julho a dezembro de 2009.

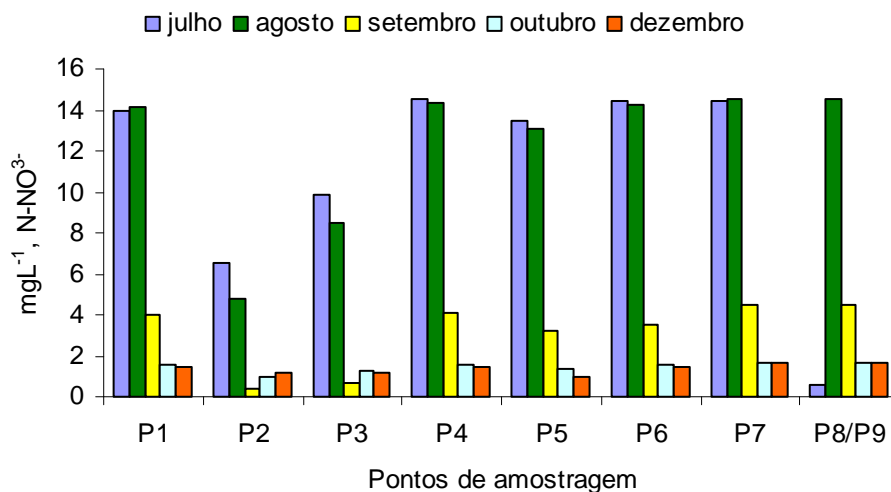


Figura 4. Resultados de nitrato na água dos pontos de amostragem no período de julho a dezembro de 2009.

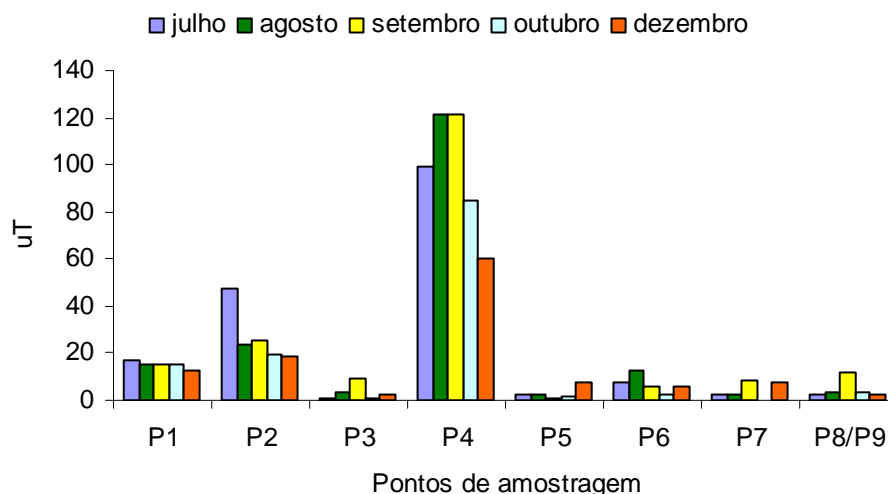


Figura 5. Resultados de turbidez na água dos pontos de amostragem no período de julho a dezembro de 2009.

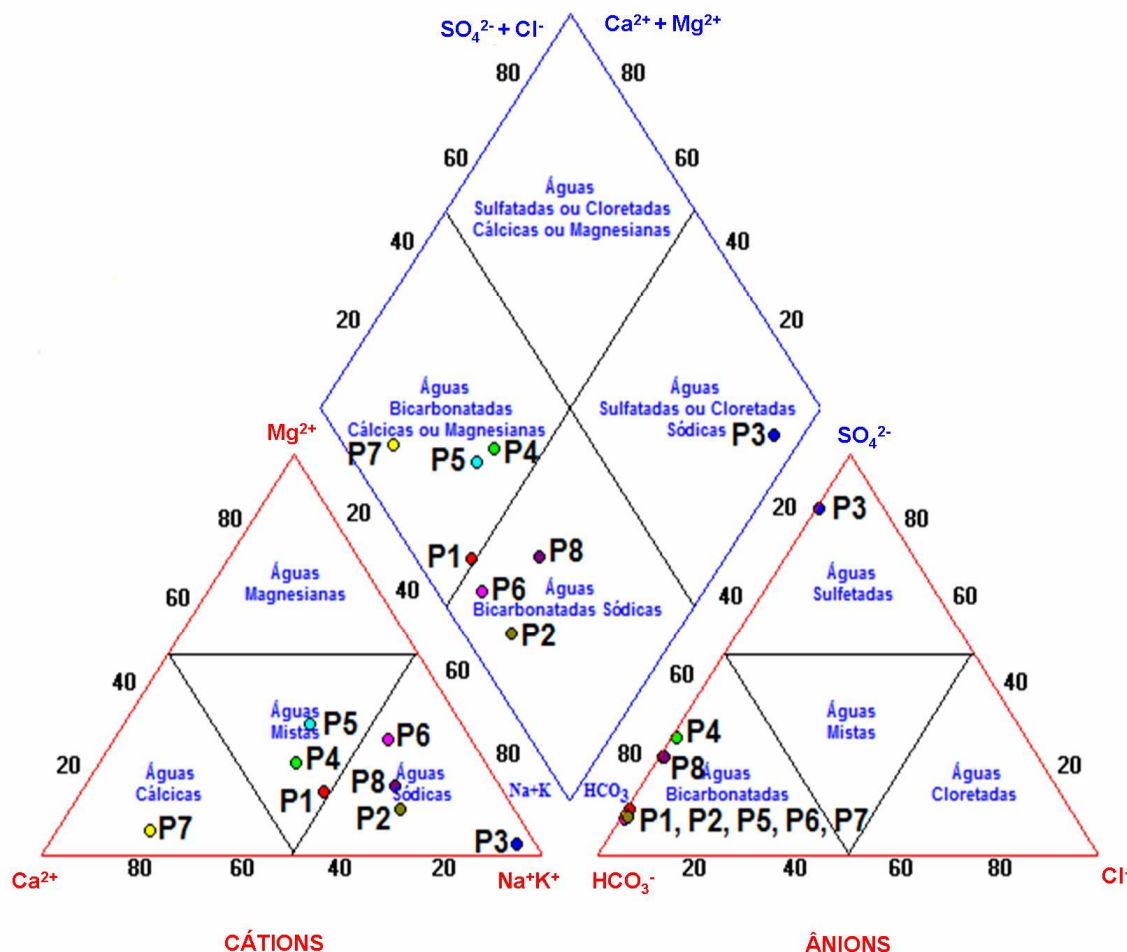


Figura 6. Classificação das águas dos pontos de amostragem segundo o Diagrama de Piper.

Devido às atividades antrópicas comprometerem significativamente os aquíferos da região, apresenta-se a seguir as fontes potenciais de contaminação identificadas durante o desenvolvimento deste estudo:

a) Perfuração de poços sem a elaboração de projetos construtivos com anotação de responsabilidade técnica por

profissionais habilitados (Geólogos ou Engenheiros de Minas), e sem a adoção de normas técnicas ou registro do poço junto aos órgãos competentes. A inadequada construção, sem vedação sanitária, de poços rasos (P1, P2, P4, P5 e P6) pode torná-los fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas pela conexão direta

que eles proporcionam entre a superfície e as porções mais rasas do aquífero com as partes mais profundas. A questão do adequado fechamento de poços abandonados e desativados também é fundamental para a proteção dos aquíferos.

b) O uso de insumos agrícolas, como agrotóxicos (inseticidas, herbicidas, pesticidas e fungicidas, entre outros) e fertilizantes tem grande potencial de contaminação difusa. Entre as diversas origens propostas para a ocorrência de elevadas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas está também o uso indiscriminado de fertilizantes. Valores elevados desta variável foram observados nos meses de julho e agosto (P1, P4, P5, P6, P7 e P9), meses em que houve menor volume de chuvas.

Na sua forma natural, as principais restrições ao consumo, identificadas neste estudo foram:

a) Problemas localizados de elevada dureza e/ou sólidos totais dissolvidos nas regiões de ocorrência de rochas calcárias, como, por exemplo, no ponto P5 localizado na Formação Santa Maria. Este efeito está associado à dissolução promovida pela água subterrânea nestas rochas.

b) Elevados valores de sólidos totais dissolvidos nas porções mais profundas dos aquíferos, especialmente nas partes confinadas das bacias sedimentares, como é o caso do P8, localizado em sistema de depósitos aluvionares.

Devido às condições de circulação lenta, a água subterrânea vai se enriquecendo em sais minerais em profundidade.

c) Ocorrência natural nas rochas de minerais cuja dissolução, localmente, gera águas com concentrações acima do padrão de potabilidade. É o caso do ferro e do alumínio nos pontos P1, P2 e P4, este fato também pode ocasionar um aumento na turbidez, visto que no caso do excesso de ferro pode produzir uma cor amarelada à água. As concentrações de ferro não apresentam risco à saúde humana, mas podem provocar problemas como sabor metálico e incrustação em poços. Diversos estudos realizados no Estado do Rio Grande do Sul [23-24] têm mostrado também elevados valores de íons fluoreto nas águas subterrâneas, nesta pesquisa observou-se excesso deste mineral apenas no ponto denominado P8 (ponto amostrado apenas no mês de julho de 2009).

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicaram que a qualidade das águas dos poços com profundidade inferior a 6 metros apresentam-se, de fato, mais vulneráveis devido a alterações antrópicas, condição evidenciada a partir das variáveis coliformes totais, coliformes termotolerantes, nitrato e turbidez, cujas concentrações impossibilitam a utilização destas águas para usos preponderantes (consumo humano, dessedentação animal e irrigação). As elevadas concentrações de turbidez ocorreram basicamente pelo excesso de chuvas ocorrido no período de setembro a dezembro de 2009, fator também significativo na alteração da variável nitrato, diminuindo sua concentração neste período por efeito da diluição. Entretanto, as elevadas

concentrações de ferro e alumínio seriam características naturais de dissolução de rochas.

Já a qualidade das águas de poços profundos depende basicamente de suas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas naturais, em função das variáveis: salinidade, sódio e sulfato. Contudo, estas águas também apresentaram contaminação por atividades antrópicas, basicamente em função das elevadas concentrações de nitrato, nos meses de julho e agosto de 2009 nos pontos P1, P4, P5, P6, P7 e P9, e coliformes termotolerantes, P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P9.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio/CT-Hidro - nº 27/2008, e ao Fundo de Apoio a Pesquisa (FAP) da Universidade de Santa Cruz do Sul.

GROUNDWATER QUALITY EVALUATION OF PERMANENT PRESERVATION AREAS (GUARANI AQUIFER SYSTEM - GAS), RIO PARDO HYDROGRAPHICAL BASIN, RS, BRAZIL

ABSTRACT - *The aim of this research was to evaluate the quality of groundwater in areas of permanent preservation (Guarani Aquifer System – GAS) in the Rio Pardo Hydrographical Basin, RS, Brazil, using physical, chemical and microbiological variables, based on resolution no. 396/2008 of the National Council on the Environment - CONAMA. Nine sampling points were distributed throughout the basin, where groundwater was classified as the major ions through the Piper diagram. The results indicated that most of the wells evaluated were classified in Class 4, accounting for water uses less restrictive. However, it should be considered that the aquifers are characterize by different geological conditions, having intrinsic physical, chemical and biological variables with hydrogeochemical variations, requiring that their quality levels are often based on these characteristics, as noted in diagram Piper, where the samples P1, P2, P3, P5 and P9 were classified as calcium bicarbonate, the waters of the points P4, P6, P7 as sodium bicarbonate and P8 as sulfated. It was found that the quality of water from wells with depths less than 6 m are becoming more vulnerable due to anthropogenic activities, as showing by the concentration of nitrate, total and thermotolerant coliforms, while the quality of water from deeper wells basically depends on their hydrogeological and hydrogeochemical characteristics based on the concentration of sodium and sulfate variables. However, they also showed contamination by human activities, mainly by the nitrate variable.*

7. REFERÊNCIAS

[1] RIBEIRO, W. C. Estud. av., Dez 2008, vol.22, n 64, p 227-238.



[2] BORGHETTI, N. B.; BORGGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. Curitiba: Ed. Roberto Marinho, 2004.

[3] DANTAS, A. B.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; BALLEJO, R. R.; DI BERNARDO, L. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2009, vol.14, n.3, pp. 373-380. ISSN 1413-4152.

[4] GOMES, M.A.P.F.; SPADOTTO, C.; LANCHOTTE, V.L. Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 11, p. 65-76, jan./dez., 2001.

[5] PESSOA, M.C.P.Y.; SCRAMIN, S; CHAIM, A. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007.

[6] COUTINHO, C.A.F.B. et al. Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 15, p. 65-72, jan./dez. 2005.

[7] ECOPLAN Engenharia. Consolidação do Conhecimento Sobre os Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardinho e Elaboração do Programa de Ações da Sub-Bacia do Rio Pardinho. Porto Alegre, 2005.

[8] REBOUÇAS et al. (org.). 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

[9] BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2005. 318p.

[10] SPERLING, M. V. 2005. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 452p.

[11] FREITAS, A. L. S. Brasília, Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1997. 75p.

[12] SCHÄFER, A.; LANZER, R.; PEREIRA, R. (Org.). Caxias do Sul: EDUCS, 2009. 367 p.

[13] SRU/MMA (Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano - Ministério do Meio Ambiente). Brasília, 2007. p. 40.

[14] IRITANI, M. A.; EZAKI, S. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2008. 104p.

[15] GONÇALES, V. G.; GIAMPÁ, C. E. Q. (Ed.). São Paulo: Signus, 2006. 502 p.

[16] IBGE. Projeto Radam Brasil: levantamento de recursos naturais (Folha SH-22 Porto Alegre). Rio de Janeiro, v. 33,1986.

[17] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 21. ed. Washington, 2005.

[18] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Publicada no Diário Oficial da União nº 66, de 7 de abril de 2008.

[19] FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Qualigraf. Disponível em: <http://www.funceme.br/dehid/index.htm>.

[20] SÃO PAULO. Decreto Estadual 12.486 de 20 de outubro de 1978. Norma Técnica Alimentar No 60 (NTA-60)

[21] BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. Diário oficial nº 59 de 26 de março de 2004.

[22] RIO GRANDE DO SUL. Portaria nº 10, de 16 de agosto de 1999 da Secretaria Estadual da Saúde, do estado do Rio Grande do Sul. Diário oficial do Estado do Rio Grande do Sul de 27 de agosto de 1999.

[23] LOBO, E. A.; COSTA, A. B.; KIRST, A. 1º CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Fortaleza, 2000. ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM.

[24] COSTA, A.B.; LOBO, E.A.; KIRST, A.; SOARES, J.; GOETTEMS, C.H. 13º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Cuiabá, 2004. CD-ROM.

Tabela 4. Resultados das determinações físicas, químicas e microbiológicas nas amostras coletadas em julho de 2009.

Parâmetros	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Alc. bicarbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	17,60	53,70	123,10	79,60	138,00	7,40	11,10	117,60
Alc. carbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	16,70	<0,1	<0,1	13,00
Alc. hidróxidos	mg L ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. total	mg L ⁻¹	17,60	53,70	123,00	79,60	154,70	7,40	11,10	130,60
Alumínio	mg L ⁻¹	1,49	6,30	0,09	12,60	0,05	0,15	0,01	0,10
Cálcio	mg L ⁻¹	5,10	4,10	19,80	5,60	66,80	3,20	4,20	30,70
C. termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	ausente	1,10	ausente	ausente
C. totais	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	1,10	8,00	ausente	ausente
Cloro residual livre	mg L ⁻¹ (Cl ₂)	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cond. elétrica	µS cm ⁻¹	101	116	259	300	361	161	107	3500
Ferro	mg L ⁻¹	0,67	2,40	0,12	4,30	0,03	0,02	0,02	0,05
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,70	0,08	0,15	0,49	0,70	0,40	0,40	1,60
Magnésio	mg L ⁻¹	2,90	4,30	7,90	10,10	3,90	2,50	1,80	10,00
Manganês	mg L ⁻¹	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04
Matéria orgânica	mg L ⁻¹	0,02	2,0	2,0	2,0	2,00	2,0	2,0	2,0
Nitrato	mg L ⁻¹ (N-NO ₃ ⁻)	14,00	6,50	9,90	14,50	13,50	14,40	14,40	0,60
Nitr. amoniacal	mg L ⁻¹ (N-NH ₃)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
pH	-	5,89	7,73	7,32	7,10	7,94	3,95	5,92	7,72
Potássio	mg L ⁻¹	0,90	0,50	0,40	9,30	2,10	0,50	3,30	3,00
Salinidade	mg L ⁻¹	8,50	10,30	29,00	23,40	31,60	8,40	8,80	436,00
STD	mg L ⁻¹	73	84	187	217	261	116	77	2537
Sódio	mg L ⁻¹	4,40	4,60	26,50	10,60	13,80	9,20	9,10	853,10
Sulfato	mg L ⁻¹	7,10	16,30	13,50	6,60	14,80	2,30	<1,00	951,80
Turbidez	uT	17,30	47,4	0,72	99,40	2,64	7,29	2,76	2,78
Classe [18]	-	4	4	4	4	3	4	3	4

Tabela 5. Resultados das determinações físicas, químicas e microbiológicas nas amostras coletadas em agosto de 2009.

Parâmetros	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9
Alc. bicarbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	17,10	48,80	89,10	78,10	141,50	8,50	7,30	7,30
Alc. carbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	7,30	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. hidróxidos	mg L ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. total	mg L ⁻¹	17,10	48,80	89,10	78,10	148,80	8,50	7,30	7,30
Alumínio	mg L ⁻¹	0,80	1,30	0,01	0,70	0,17	0,30	0,06	0,20
Cálcio	mg L ⁻¹	4,80	5,30	10,90	4,10	54,60	2,60	2,70	3,60
C. termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	2,60	8,00	8,00	ausente	ausente	ausente
C. totais	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	4,60	8,00	8,00	ausente	ausente	ausente
Cloro residual livre	mg L ⁻¹ (Cl ₂)	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cond. elétrica	µS cm ⁻¹	91,40	115,70	325,00	208,00	364,00	82,50	100,70	117,90
Ferro	mg L ⁻¹	0,31	0,87	0,04	8,00	0,02	0,23	0,02	0,02
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,02	0,07	0,45	0,11	0,09	0,03	0,04	0,20
Magnésio	mg L ⁻¹	2,60	4,70	5,80	7,60	3,90	1,90	1,90	3,10
Manganês	mg L ⁻¹	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05
Matéria orgânica	mg L ⁻¹	2,00	2,20	2,00	9,00	2,00	7,40	2,0	2,00
Nitrato	mg L ⁻¹ (N-NO ₃ ⁻)	14,10	4,80	8,50	14,30	13,10	14,20	14,50	14,50
Nitr. amoniacal	mg L ⁻¹ (N-NH ₃)	<0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	<0,50	0,50
pH	-	6,05	7,68	7,60	7,42	8,12	5,45	5,80	5,30
Potássio	mg L ⁻¹	0,90	0,50	41,60	10,90	1,90	0,40	3,50	4,80
Salinidade	mg L ⁻¹	47,40	61,20	172,00	133,00	235,00	49,00	59,00	69,00
STD	mg L ⁻¹	4,50	4,80	0,02	150,80	13,90	7,80	8,40	6,80
Sódio	mg L ⁻¹	5,14	11,40	23,70	1,00	16,70	5,70	<1,00	1,20
Sulfato	mg L ⁻¹	66,26	83,88	235,62	150,80	263,90	59,81	73,00	85,48
Turbidez	uT	15,30	23,90	3,50	121,00	2,43	12,80	2,42	3,33
Classe [18]	-	4	4	4	4	3	4	3	4

Tabela 6. Resultados das determinações físicas, químicas e microbiológicas nas amostras coletadas em setembro de 2009.

Parâmetros	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9
Alc. bicarbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	17,10	46,40	83,00	78,10	135,40	9,80	7,30	7,30
Alc. carbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	9,80	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. hidróxidos	mg L ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. total	mg L ⁻¹	17,10	46,40	83,00	78,10	145,20	9,80	7,30	7,30
Alumínio	mg L ⁻¹	0,60	2,00	0,30	16,00	0,01	0,01	0,01	0,07
Cálcio	mg L ⁻¹	4,50	5,20	7,60	4,80	53,00	3,00	3,80	3,90
C. termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	ausente	ausente	ausente
C. totais	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	ausente	2,60
Cloro residual livre	mg L ⁻¹ (Cl ₂)	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cond. elétrica	µS cm ⁻¹	93,90	112,40	164,80	229,00	362,00	73,10	106,40	121,90
Ferro	mg L ⁻¹	0,85	1,30	0,32	11,00	0,02	0,06	0,02	0,08
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,05	0,08	0,25	0,12	0,11	0,04	0,05	0,10
Magnésio	mg L ⁻¹	2,60	4,80	4,60	9,60	3,80	1,60	1,90	3,60
Manganês	mg L ⁻¹	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Matéria orgânica	mg L ⁻¹	2,00	2,00	2,00	8,90	2,00	2,00	2,00	2,00
Nitrato	mg L ⁻¹ (N-NO ₃ ⁻)	4,00	0,40	0,70	4,10	3,20	3,50	4,50	4,50
Nitr. amoniacal	mg L ⁻¹ (N-NH ₃)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
pH	-	5,63	7,48	6,80	7,04	7,73	5,00	5,80	6,17
Potássio	mg L ⁻¹	1,20	0,50	0,20	12,00	1,70	0,20	3,00	4,60
Salinidade	mg L ⁻¹	59,60	74,60	116,80	158,60	251,90	44,90	65,00	82,30
STD	mg L ⁻¹	3,90	4,20	8,70	8,90	12,40	6,00	7,70	6,50
Sódio	mg L ⁻¹	7,60	10,20	2,40	3,20	16,30	6,00	1,00	5,00
Sulfato	mg L ⁻¹	68,10	81,50	119,50	166,03	262,50	53,00	77,14	88,40
Turbidez	uT	15,20	25,20	9,15	121,00	0,93	5,82	8,25	11,60
Classe [18]	-	4	4	4	4	4	2	1	2

Tabela 7. Resultados das determinações físicas, químicas e microbiológicas nas amostras coletadas outubro de 2009.

Parâmetros	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9
Alc. bicarbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	23,70	50,60	117,70	90,20	145,20	10,50	8,80	7,70
Alc. carbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. hidróxidos	mg L ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. total	mg L ⁻¹	23,70	50,60	117,70	90,20	145,20	10,50	8,80	7,70
Alumínio	mg L ⁻¹	0,60	1,55	<0,01	11,30	0,01	0,01	0,01	0,01
Cálcio	mg L ⁻¹	4,60	5,40	12,20	4,60	30,00	2,20	3,10	4,30
C. termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	ausente	ausente	ausente
C. totais	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	ausente	2,60
Cloro residual livre	mg L ⁻¹ (Cl ₂)	0,05	0,07	<0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	<0,05
Cond. elétrica	µS cm ⁻¹	82,80	122,50	256,00	227,00	356,00	75,30	98,50	144,80
Ferro	mg L ⁻¹	0,42	0,84	0,03	7,60	0,02	0,02	0,02	0,02
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,03	0,08	0,41	0,11	0,10	0,04	0,07	0,08
Magnésio	mg L ⁻¹	2,10	4,70	8,00	7,30	3,60	1,70	1,70	4,20
Manganês	mg L ⁻¹	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,06
Matéria orgânica	mg L ⁻¹	2,00	2,00	2,00	8,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Nitrato	mg L ⁻¹ (N-NO ₃ ⁻)	1,60	1,00	1,30	1,60	1,40	1,60	1,70	1,70
Nitr. amoniacal	mg L ⁻¹ (N-NH ₃)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
pH	-	6,22	7,49	6,88	7,15	7,90	6,30	6,36	6,40
Potássio	mg L ⁻¹	1,00	0,60	0,30	12,50	1,80	0,10	3,30	5,40
Salinidade	mg L ⁻¹	54,10	79,10	167,20	147,80	226,70	46,50	63,30	95,70
STD	mg L ⁻¹	3,80	5,10	13,40	9,40	13,10	6,90	8,30	7,80
Sódio	mg L ⁻¹	4,40	7,80	2,80	1,00	14,90	2,70	1,00	1,00
Sulfato	mg L ⁻¹	60,00	88,80	185,60	164,58	258,00	53,00	71,40	104,50
Turbidez	uT	15,40	19,80	1,26	84,60	1,63	2,92	0,04	3,15
Classe [18]	-	4	4	4	4	4	1	1	1

Tabela 8. Resultados das determinações físicas, químicas e microbiológicas nas amostras coletadas em dezembro de 2009.

Parâmetros	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P9
Alc. bicarbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	22,40	52,00	110,70	112,20	63,80	16,80	8,20	7,10
Alc. carbonatos	mg L ⁻¹ (CaCO ₃)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. hidróxidos	mg L ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alc. total	mg L ⁻¹	22,40	52,00	110,70	112,20	63,80	16,80	8,20	7,10
Alumínio	mg L ⁻¹	1,20	2,00	0,15	10,40	0,20	0,36	0,23	0,34
Cálcio	mg L ⁻¹	2,70	2,60	1,50	4,40	3,60	3,40	1,10	4,10
C. termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	2,60	ausente	1,10
C. totais	NMP 100 mL ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	ausente	8,00
Cloro residual livre	mg L ⁻¹ (Cl ₂)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cond. elétrica	µS cm ⁻¹	84,80	125,50	237,00	272,00	182,10	79,10	106,70	157,60
Ferro	mg L ⁻¹	0,53	0,87	0,05	5,10	0,07	0,06	0,02	0,07
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,09	0,09	0,42	0,18	0,09	0,05	0,08	0,08
Magnésio	mg L ⁻¹	1,80	3,50	7,00	10,00	2,40	1,20	0,98	4,60
Manganês	mg L ⁻¹	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,03	0,17
Matéria orgânica	mg L ⁻¹	2,00	2,00	2,00	11,30	4,00	2,00	2,00	2,00
Nitrato	mg L ⁻¹ (N-NO ₃ ⁻)	1,50	1,20	1,20	1,50	1,00	1,50	1,70	1,70
Nitr. amoniacal	mg L ⁻¹ (N-NH ₃)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
pH	-	7,90	6,93	8,13	0,05	0,05	6,60	6,87	6,75
Potássio	mg L ⁻¹	1,00	0,50	0,30	13,70	2,10	0,60	3,50	5,80
Salinidade	mg L ⁻¹	77,40	110,00	207,90	245,80	144,30	68,90	96,10	141,40
STD	mg L ⁻¹	3,80	4,70	11,40	11,20	8,60	6,30	7,80	8,30
Sódio	mg L ⁻¹	2,40	5,60	1,00	1,00	6,10	3,00	<1,00	1,00
Sulfato	mg L ⁻¹	61,50	91,00	172,00	197,20	132,00	57,30	77,40	113,80
Turbidez	uT	13,10	18,40	2,17	60,20	7,60	5,90	8,03	2,19
Classe [18]	-	4	4	4	4	4	4	2	4