DOI: 10.5418/RA2017.1321.0009

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRANEOS NA REGIONAL DE SAÚDE DE CORNÉLIO PROCÓPIO (PR)

GROUNDWATER RESOURCES CHARACTERIZATIONIN THE HEALTH REGIONAL OF CORNÉLIO PROCÓPIO (PR)

CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE RECURSOS DE AGUA EN SUBTERRÁNEO El SALUD REGIONAL CORNELIO PROCOPIO (PR)

Tatiana Fernanda Mendes

Doutoranda em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina. UEL - Rod. Celso Garcia Cid, Km 380, s/n – Campus Universitário – Londrina, Paraná, Brasil. CEP: 86057-970. E.mail: tati_fmendes@yahoo.com.br

José Paulo Peccinini Pinese

Doutor em Geociências pela Universidade de São Paulo. Docente do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina e bolsista Produtividade em Pesquisa da Fundação Araucária do Estado do Paraná na área de Geociências. UEL - Rod. Celso Garcia Cid, Km 380, s/n – Campus Universitário – Londrina, Paraná, Brasil. CEP: 86057-970. E.mail: pinese@uel.br

André Celligoi

Doutor em Geociências pela Universidade de São Paulo. Docente do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina. UEL - Rod. Celso Garcia Cid, Km 380, s/n – Campus Universitário – Londrina, Paraná, Brasil. CEP: 86057-970. E.mail: celligoi@uel.br

Maria Josefa Santos Yabe

Pós-doutora em Química Analítica pela Universidade de Barcelona. Docente do Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina. UEL - Rod. Celso Garcia Cid, Km 380, s/n – Campus Universitário – Londrina, Paraná, Brasil. CEP: 86057-970. E.mail: mjyabe@gmail.com

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os riscos ambientais para a saúde humana, através da caracterização da qualidade das águas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), nos municípios pertencentes a Regional de Saúde de Cornélio Procópio (RSCP). As amostras coletadas das águas do SASG foram analisadas pelas técnicas da Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado, Espectrometria de Absorção Atômica e fotometria de chama. As águas do SASG em alguns poços apresentaram valores de pH, Ferro e Selênio, acima do valor máximo permitido (VMP) pela legislação brasileira.Os elementos químicos Arsênio e Chumbo apresentaram valores próximos do VMP. A maioria dos resultados hidrogeoquímicos das águas do SASG, estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação para consumo humano. Contudo, mesmo o restante dos elementos apresentando concentrações baixas, há que se considerar o tempo de exposição, e a condição da saúde das pessoas expostas.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Serra Geral. Qualidade da água. Norte do Paraná.

ABSTRACT

The aim of this paper was verified the environmental risk for the human health, through the characterization of the water quality of the Serra Geral aquifer's (SASG), in the municipalities of the Health Regional of CornélioProcópio (RSCP). The groundwater samples, collected in field work, were analyzed by the Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry techniques, by the Atomic Absorption Spectrophotometry and by the flame photometry. Some groundwater samples presented (pH), (Fe) and (Se) values, more that the permitted by the Brazilian legislation. The (As) and (Pb) elements presented values that are next of the maximum permitted by the Brazilian legislation. In general, the hydrogeochemical results are inside of the limit permitted by the Brazilian legislation. However, even the rest of the elements with low concentrations should be considered for the exposure time and health condition of exposed persons.

Keywords: Serra Geral Aquifer System. Water quality.Paraná State's North.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fueevaluar los riesgos ambientales para la salud humana, a través de la caracterización de la calidad del agua del Sistema Acuífero SerraGeral (SASG), en los municipios pertenecientes a la Regional de Salud de Cornelio (RSCP). Las muestras recogidas de las aguas SGAS se analizaron mediante las técnicas de Espectrometría de Masas con Fuente Plasma Acoplado Inductivamente, Espectrometría de Absorción Atómica y fotometría de llama. Las aguasde SASGen algunos pozos mostró pH, Hierro y Selenio, por encima del valor máximo permitido (VMP) por la ley brasileña. Los elementos químicos Arsénico y Plomo valores cercanos de VMP. La mayoría de los resultados hidrogeoquímicos de aguas SGAS, están dentro de los estándares establecidos por la ley para el consumo humano. Sin embargo el resto de los elementos que presentan bajas concentraciones, es necesario tener en cuenta el tiempo de exposición y el estado de salud de las personas expuestas.

Palavras clave: Sistema Acuífero Serra Geral. Calidaddel agua. Norte de Paraná.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

INTRODUÇÃO

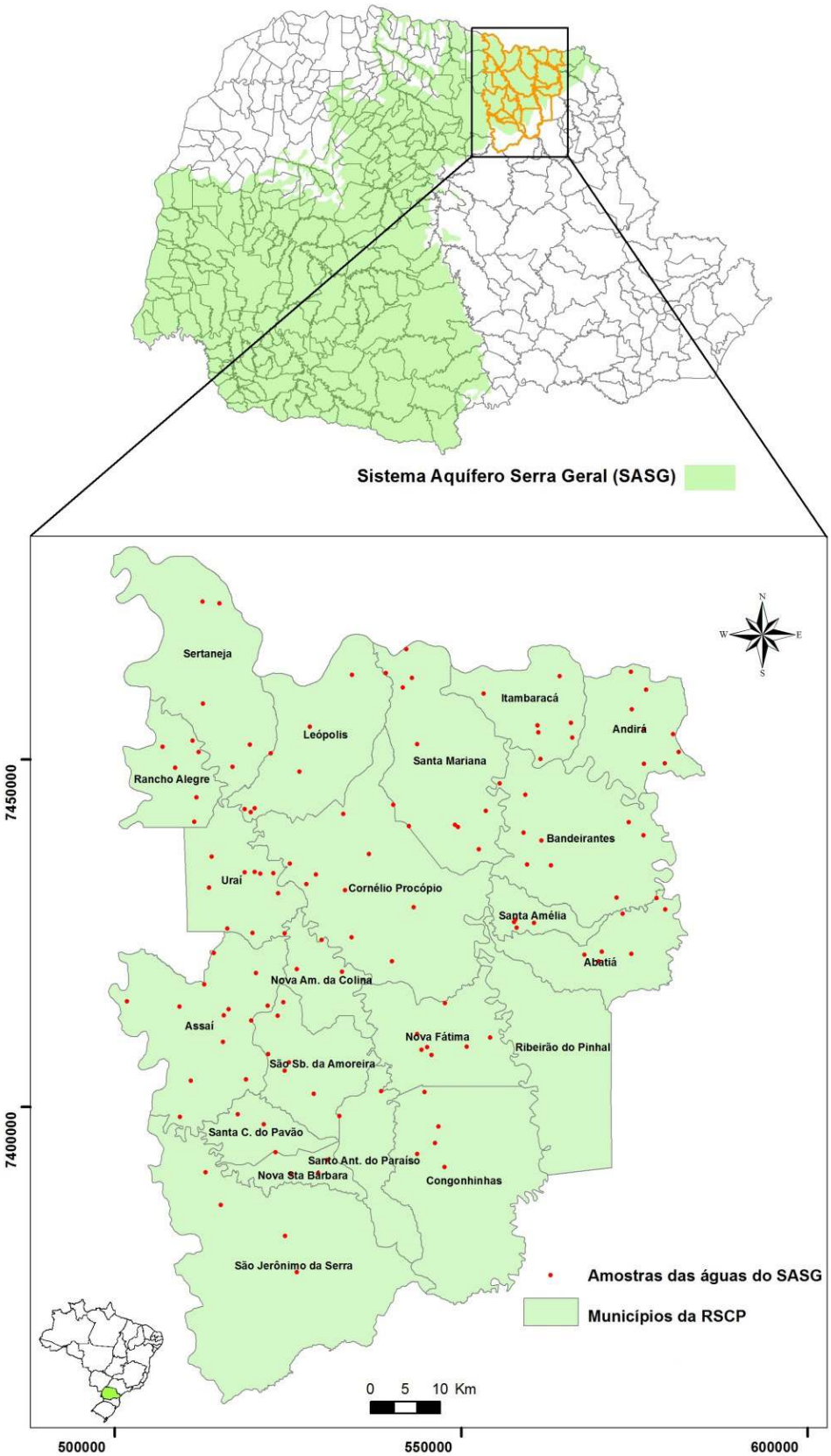
Na região Norte do Paraná têm-se constatado ocorrências de anomalias hidrogeoquímicas, as quais podem repercutir na saúde humana e animal (MINEROPAR, 2001; MENDES, 2012; ARAÚJO & PINESE, 2013). Muitos municípios dessa região utilizam águas subterrâneas para o abastecimento da população, fato esse preocupante, pois estudos anteriores em escala regional demonstram uma anomalia hidrogeoquímica multielementar, onde se inclui, por exemplo, a do flúor, que podem influenciar a quantidade deste elemento nos alimentos e nas águas que a população ingere, gerando doenças na população, tais como as que Pineseet al. (2001) e Licht et al. (1997) relataram, onde se imprime uma forte ocorrência de fluorose dentária na população da região.

As águas superficiais e subterrâneas representam o mais importante meio de conexão entre a geoquímica das rochas, o solo e a fisiologia humana. Há de se considerar que os impactos ambientais na saúde coletiva nem sempre são causados por alterações antrópicas e/ou tecnogenéticas, muitas vezes são originados de características naturais do meio (geogenéticas), como os casos de anomalias geoquímicas de determinados elementos químicos. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar os riscos ambientais para a saúde humana, através da caracterização da qualidade das águas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) nos municípios pertencentes a Regional de Saúde de Cornélio Procópio (RSCP). Embora haja três aquíferos na região, foi analisado o SASG, por ser o de maior utilização.

A 18ª Regional de Saúde, área de estudo, tem como sede o município de Cornélio Procópio. É formada por 21 municípios, que tem como principal fonte de abastecimento de água para consumo, as águas do SASG (Figura 1). Com relação ao consumo de água subterrânea, identificou-se que 62% dos municípios (78.691 habitantes) utilizam-se somente águas do SASG para abastecimento. Cerca de 28,5% utilizam-se de águas do SASG juntamente com águas superficiais (104.094 habitantes), enquanto 9,5% utilizam-se de águas do SASG e do Aquífero Guarani (52.794 habitantes).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 1: Localização dos municípios da RSCP e das amostras de águas coletadas no Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná.



Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

A Regional de Saúde de Cornélio Procópio (RSCP) possui uma população total de 235.579 habitantes, com uma densidade demográfica de 35,6 hab/Km², ocupando uma área de 6612,266 Km².

A RSCP é umas das 22 regionais de saúde do Estado do Paraná. Estas regionais constituem a instância administrativa intermediária da Secretaria de Estado da Saúde/ Instituto de Saúde do Estado do Paraná -SESA/ISEP.

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS E GEOLÓGICOS

A Formação Serra Geral, abrange a maior parte da área de estudo, predominando de acordo com Leinzet al. (1966; 1968) e Melfi et al. (1988) "um conjunto de basaltos toleíticos e, subordinadamente, um conjunto de derrames de riolitos, dacitos e riodacitos" (apud PINESE, 2002); esses últimos, segundo a Mineropar (1989), quando associados às ocorrências de basaltos pórfiros, formam uma subunidade estratigráfica denominada de Membro Nova Prata. Porém Melfi (1988), Pinese (1989; 2002), Piccirilloet al (1990), entre outros autores, classificam essa subunidade como "Ácidas Tipo Chapecó". Esses conjuntos de derrames basálticos são intercalados com arenitos, possuindo as mesmas características da formação Botucatu, associando-se a eles corpos intrusivos, constituindo-se, especialmente, de diques e sills (PINESE, 2002).

Conforme Pineseet al. (2000, p. 21) o vulcanismo basáltico da Formação Serra Geral é um dos maiores do mundo e recobre quase toda a sequência sedimentar da Bacia do Paraná. No norte do Paraná, segundo Celligoi (1993, p. 65), a maioria das rochas vulcânicas e intrusivas são formadas, em relação aos seus piroxênios, por augita e pigeonita, e, em relação aos feldspatos, por plagioclásios.

Embora haja três aquíferos na região de estudo, o Aquífero Freático, o Aquífero Guarani e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), este último é o de maior abrangência e utilização, como antecipado anteriormente. O SASG está instalado nas rochas basálticas da Formação Serra Geral, ficando o modo de ocorrência da água subterrânea restrito às zonas de descontinuidade física das rochas (CELLIGOI, 1993, p. 24). Neste aquífero a água é armazenada e conduzida por diacláses, fissuras e regiões onde o basalto possui uma estrutura amigdaloidal (PINESE et al., 2000, p. 28). O SASG "pelas suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas" (CELLIGOI, 1993, p. 24). Para servir-se dessa água é preciso a perfuração de poços, que variam de 80 a 200m de profundidade, podendo chegar a atingir vazões acima de 30m³/hora (PINESE et al., 2000, p. 28).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As amostras de águas do SASG foram coletadas no mês de agosto e início de setembro de 2011, portanto em um período com índices pluviométricos menores. No total foram coletadas 129 amostras de águas do SASG (Figura 1).

Por meio de um medidor multiparâmetro obtiveram-se os parâmetros físico-químicos da água *in situ*: pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais dissolvidos.

As amostras foram analisadas através do uso do ICP-MS – Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado para análise de elementos traços e metais pesados e da Espectrometria de Absorção Atômica, baseadas no Standard Methods for theExaminationofWaterandWastewater (APHA, 2005).

O elemento Ferro (Fe) foi analisado pela técnica de Espectrometria de Absorção Atômica. Os elementos Sódio e Potássio foram analisados pela técnica de fotometria de chama.

Os elementos Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Estrôncio, Ferro, Manganês, Níquel, Selênio, Titânio e Zinco foram analisados pelo ICP-MS, que é uma técnica robusta para a análise multielementar. Segundo Oliveira (2006) no modo de operação quantitativo, a precisão e a exatidão obtidas são comparáveis àquelas fornecidas por outras técnicas analíticas monoelementares.

Os elementos Cádmio e Potássio não foram determinados em várias amostras de águas do SASG, devido às concentrações estarem abaixo do limite de detecção dos equipamentos utilizados, não podendo, desta forma, ocorrer a espacialização destes elementos.

RESULTADOS

Os parâmetros físico-químicos são importantes no diagnóstico da qualidade das águas. A temperatura influencia uma grande parte de outros parâmetros físicos da água como densidade, condutividade elétrica, e solubilidade dos gases (BENETTI & BIDONE, 2004, p. 859). A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2ºC) e independe da temperatura atmosférica. Em profundidade, depende do grau geotérmico, que é o aumento de 1ºC a cada 30 m, em média (SANTOS, 1997, p. 87).

A temperatura da água do SASG apresentou uma média de 24,1ºC, com um mínimo de 17,3ºC e um máximo de 27,5ºC, e um desvio padrão de 1,9 ºC. Os intervalos de classe de maior frequência estão entre 22 e 26 ºC (Figura 2). A figura 34 apresenta a variação

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

da temperatura da água do SASG na área de estudo. Os maiores valores de temperatura foram encontrados nos poços 5, 6, 8, 9, 25, 40, 46, 47, 53, 55, 95 e 127. Os poços 99 e 28, ambos, localizados na área rural, foram os que apresentaram as menores temperaturas, 17,3 e 18,5ºC, respectivamente.

O pH expressa a atividade de íons hidrogênio em solução. Varia de 1 a 14, sendo neutro com o valor 7, ácido com valores abaixo de 7 e básico com valores acima de 7. A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5 (SANTOS, 1997, p. 90).

O pH é uma variável dos ambientes hídricos que exerce grande controle sobre a solubilidade de metais. Muitos metais são solúveis apenas sob condições ácidas, como por exemplo, o Fe, Mn, Co, Ni e Pb (LICHT, 1998, p. 35).

A biodisponibilidade dos cátions, como Al, Cd, Pb e Hg, é maior em águas ácidas que em águas básicas. O pH ácido favorece, além da dissolução dos minerais, a manutenção em solução de íons simples, mais facilmente absorvíveis pelos organismos que os complexos iônicos. Ao contrário dos cátions, os metais em forma aniônica são mais disponibilizados em meio básico (CORTECCI, 2003, p. 12).

A Portaria MS nº 2.914/2011 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

O pH da água do SASG apresentou uma média de 8,9, com um mínimo de 6,3, um máximo de 11,1 e um desvio padrão de 0,9. Entre os intervalos de 8 e 10 encontram-se a maior frequência de ocorrência de pH (Figura 3). Observou-se que o valor de pH de alguns poços estão acima do valor recomendado pela Portaria MS nº 2.914/2011 (6 a 9,5), destacando-se os poços 33, 34, 41, 44, 47, 113, 122 e 128, sendo este último o poço que apresentou o mais alto valor de pH, que foi de 11,1, ou seja, alcalino. Estes altos valores de pH encontrados apresentam valores anormalmente acima da média da área de estudo. Todos estes poços com altos valores de pH estão localizados em áreas de intensa atividade agrícola. Os valores de pH mais baixos encontrados foram nos poços 13, 15, 70, 74, 90, 91, 98, 99, 100, 101 e 118, com destaque para o poço 100, que apresentou o menor valor encontrado (Figura 3).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 2: Mapa da temperatura das águas do SASG na RSCP.

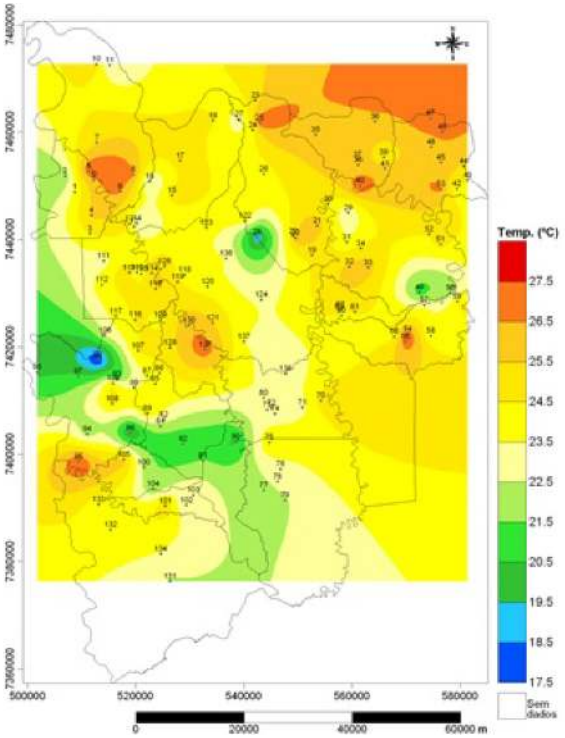
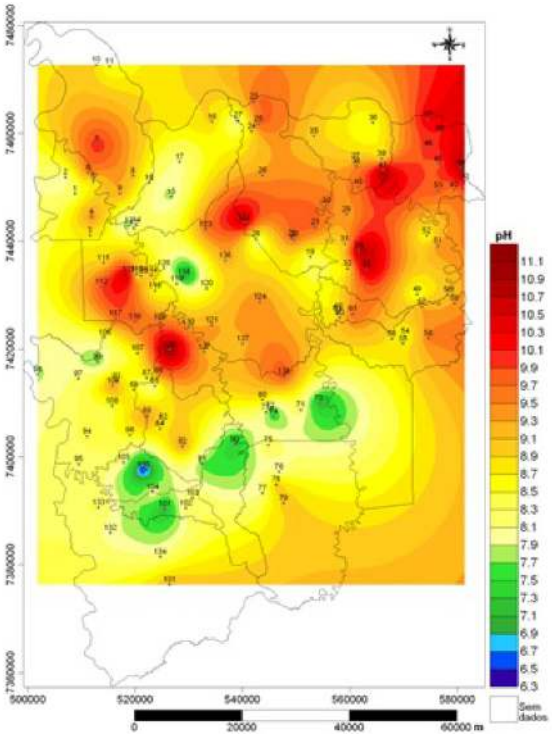


Figura 3: Mapa do pH das águas do SASG na RSCP.



Os valores de pH anormalmente altos verificados nas águas do SASG nos municípios da RSCP estão acima dos valores encontrados em águas do aquífero Serra Geral em outras regiões do Paraná, como por exemplo, nos trabalhos de Celligoi (1993) e BuchmannFilho (2002). Nas águas superficiais, segundo Licht (2001, p. 117), no Terceiro Planalto Paranaense, as regiões de pH alcalino são oriundas do processo de calagem (adição de calcário magnesiano em pó), promovido pela agricultura, visando a neutralização da acidez do solo e a imobilização do alumínio trocável. Segundo Rosa Filho et al. (1987), as águas do SASG que apresentam pH acima de 8, teriam uma mistura com as águas de aquíferos subjacentes, principalmente do aquífero Guarani (apud BUCHMANN FILHO, 2002, p. 6).

Os sólidos totais dissolvidos representam o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume, isto é, a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil (SANTOS, 1997, p. 90). Segundo Rosa Filho et al (2011) os teores de sólidos totais dissolvidos, nas águas do aquífero Serra Geral, no Estado do Paraná, estão entre 100 e 150 mg/L.

A Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabeleceu o valor padrão de aceitação para consumo humano em 1000 mg/L de STD na água potável. A Resolução 396 de 2008 do CONAMA também estabeleceu como valor máximo permitido (VMP) nas águas subterrâneas, para consumo humano, 1000 mg/L de STD.

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

Os valores de sólidos totais dissolvidos das águas do SASG apresentaram uma média de 120,5 mg/L, com um mínimo de 14 mg/L, um máximo de 275 mg/L e um desvio padrão de 57,9 mg/L. Entre os intervalos de 50 e 200 mg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de STD (Figura 4). Portanto, nenhum dos poços apresentou valores de STD acima do VMP estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do MS e pela Resolução 396/2008 do CONAMA.

Os valores mais altos de STD encontrados, acima da média, foram nos poços 56, 59, 62, 63, 93, 110, 111, 112, 123, 127, 128, 135, com destaque para o poço 112, que apresentou o mais alto valor de STD verificado nas águas do SASG. Os valores de STD mais baixos verificados, ocorreram nos poços 90, 101, 102, 131, 132 e 134, sendo este último, o poço que apresentou o menor valor, que foi de 14 mg/L (Figura 38). Os valores de sólidos totais dissolvidos apresentaram uma significativa correlação com os valores de sódio e titânio na área de estudo (Figuras 19 e 20).

A quantidade de oxigênio dissolvido (OD) na água é um índice expressivo de sua qualidade. A sua concentração diminui com o aumento da temperatura (BENETTI & BIDONE, 2004, p. 859). O oxigênio pode estar dissolvido em pequena quantidade na água subterrânea e sua concentração é função da temperatura, pressão e do total de sais dissolvidos na água (SANTOS, 1997, p. 95).

Os valores de OD das águas do SASG apresentaram uma média de 14,7 mg/L, com um mínimo de 4,7 mg/L, um máximo de 50 mg/L e um desvio padrão de 6,6 mg/L. Entre os intervalos de 5 e 25 mg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de oxigênio dissolvido (Figura 5). Os valores mais altos de OD, que estão acima da média, ocorreram nos poços 110 e 135, ambos com o valor de 50 mg/L. Os valores mais baixos de OD foram verificados nos poços 95 e 116 (Figura 5).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 4: Mapa dos STD nas águas do SASG na RSCP.

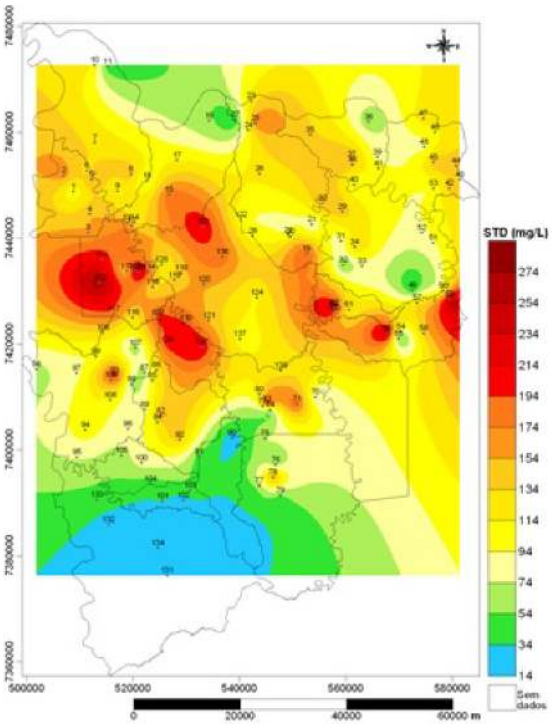
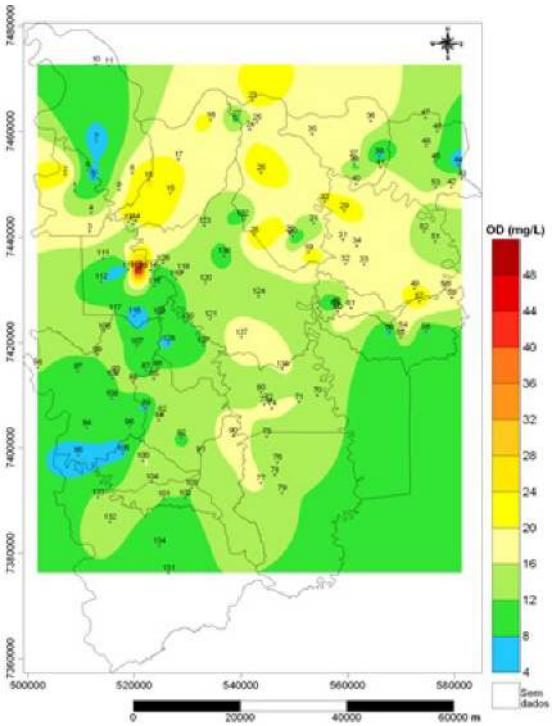


Figura 5: Mapa do OD nas águas do SASG na RSCP.

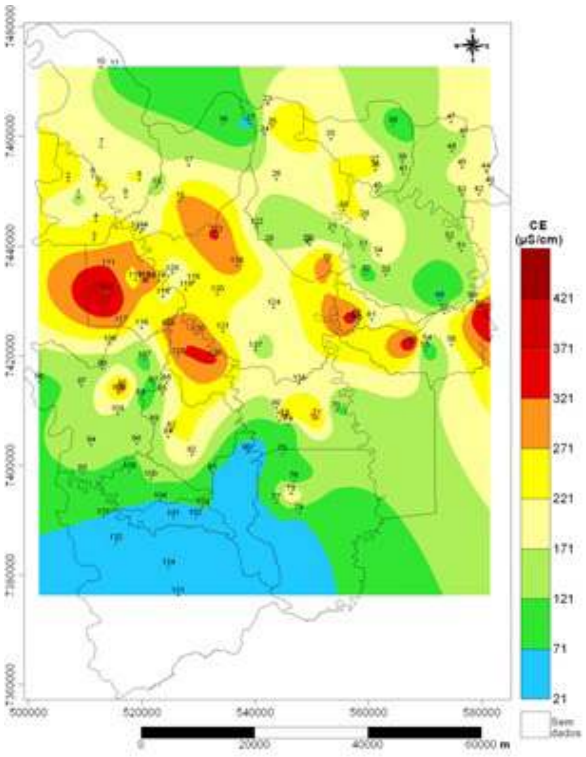


A condutividade eletrolítica da água é a medida da concentração de todos os solutos ionizados, ou seja, o total de cátions e ânions. Portanto, ela pode ser vista como um indicador da pureza, ou da carga solúvel das águas (MINEROPAR, 2001).

Os valores de CE das águas do SASG apresentaram uma média de 186 µS/cm, com um mínimo de 21 µS/cm, um máximo de 431 µS/cm e um desvio padrão de 87,3 µS/cm. Entre os intervalos de 50 e 300 µS/cm encontram-se a maior frequência de ocorrência de condutividade elétrica (Figura 6). Os valores mais altos de CE, que estão acima da média, ocorreram nos poços 56, 59, 62, 63, 93, 112, 123 e 127, com destaque para o poço 112 que apresentou o maior valor encontrado de CE. Os valores mais baixos de condutividade elétrica foram verificados nos poços 90, 102 e 134, sendo este último, o poço que apresentou o menor valor de CE (Figura 6).

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

Figura 6: Mapa da condutividade elétrica nas águas do SASG na RSCP.



Os valores hidrogeoquímicos encontrados foram confrontados com a Resolução doCONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº- 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, para a verificação de possíveis anomalias hidrogeoquímicas, procurando discriminar, de forma preliminar, as de origem natural do meio (geogenéticas) das causadas por alterações antrópicas e/ou tecnogenéticas.

Conforme Mineropar (2001) "nas rochas, o alumínio está presente nos minerais silicatados combinado com metais alcalinos, alcalino-terrosos e ferro", e apresenta-se em concentrações variadas nas rochas: 8,3% nos gabros, 7,3% nos granitos e 9,1% nas mica-xistos. Seu transporte e distribuição no ambiente depende da constituição química e das características do ambiente local (WHO, 1997).

As concentrações de alumínio dissolvidos em águas subterrâneas e em águas superficiais variam com o pH e o conteúdo de ácido húmico da água. Altas concentrações de alumínio em água natural ocorrem apenas quando o pH é < 5 (SANTOS, 2003). A um pH> 5,5, ocorre naturalmente compostos de alumínio predominantemente em uma forma não dissolvida, tais como gipsita, Al (OH) 3, ou como silicatos de alumínio, exceto na presença de quantidades elevadas de material orgânico ou ácido fúlvico, que se liga com o alumínio e pode causar um aumento das concentrações de alumínio dissolvido em rios e lagos (SANTOS, 2003).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Os teores de Alumínio das águas do SASG apresentaram uma média de 4,1 µg/L, com um mínimo de 1,2 µg/L, um máximo de 28 µg/L e um desvio padrão de 3,5 µg/L. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre 0 e 5 µg/L (Figura 7). Portanto, os valores encontrados de Al não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 200 µg/L.

O arsênio pode existir em quatro estados de oxidação: arsenato (+5), arsenito (+3), arsina (-3) e o metal (0). Raramente ocorre na forma livre, geralmente encontra-se ligado ao enxofre, oxigênio e ferro. É usualmente encontrado em minérios de ouro, prata, cobalto, níquel, chumbo, cobre e antimônio. O mineral mais comum é a arsenopirita (FeAsS). Além dos processos biológicos , o comportamento químico do As é influenciado pelo pH e potencial redox da água, além dos processos de absorção e de dessorção em sedimentos e argilas (SAKUMA et al., 2003, p. 207, 211).

Nas águas naturais, o As é encontrado principalmente sob a forma de arsenitos e arsenatos, dependendo das condições do pH e do Eh. O arsênio não é enriquecido nas rochas ígneas ácidas ou básicas. Em rochas sedimentares, o As se concentra nas argilas e nos óxidos hidratados de manganês, sulfetos e fosfatos. Os teores médios de As nos folhelhos (13 ppm) são maiores que os dos arenitos (< 5 ppm), e dos carbonatos (MINEROPAR, 2005, p. 103).

Os teores de Arsênio das águas do SASG apresentaram uma média de 0,3 µg/L, com um mínimo de 0,03 µg/L, um máximo de 4,5 µg/L e um desvio padrão de 0,5 µg/L. O intervalo de classe de maior frequência situa-se entre 0 e 5 µg/L (Figura 8). Os valores encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 10 µg/L. Nos poços 47, 59, 61, 75, 95 e 127, localizados em áreas agrícolas, foram verificados teores de Arsênio acima da média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 127, que apresentou o mais alto teor de As encontrado nas águas do SASG (4,5 µg/L). Este poço está localizado na área rural, com o uso do solo voltado para a agricultura e pequenas manchas de pastagens.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 7: Mapa geoquímico do Alumínio (µg/L).

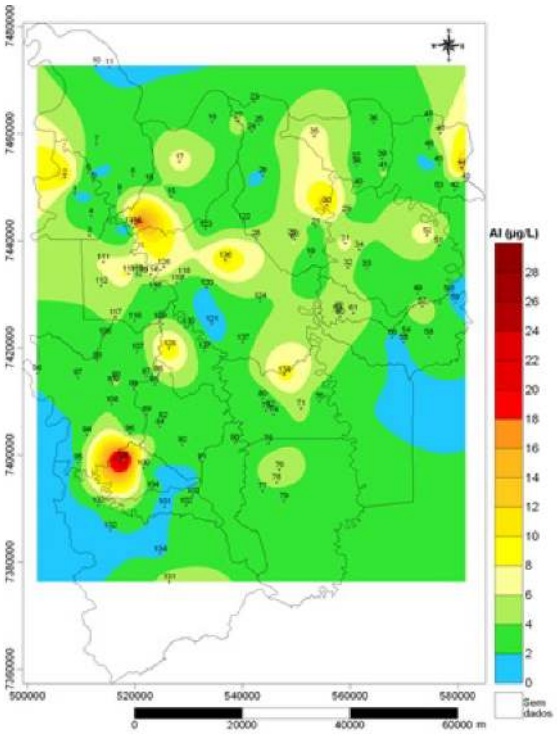
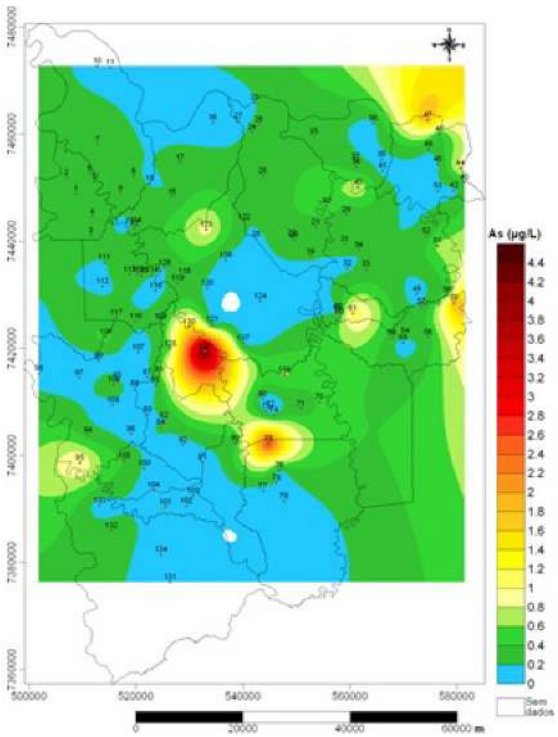


Figura 8: Mapa geoquímico do Arsênio (µg/L).



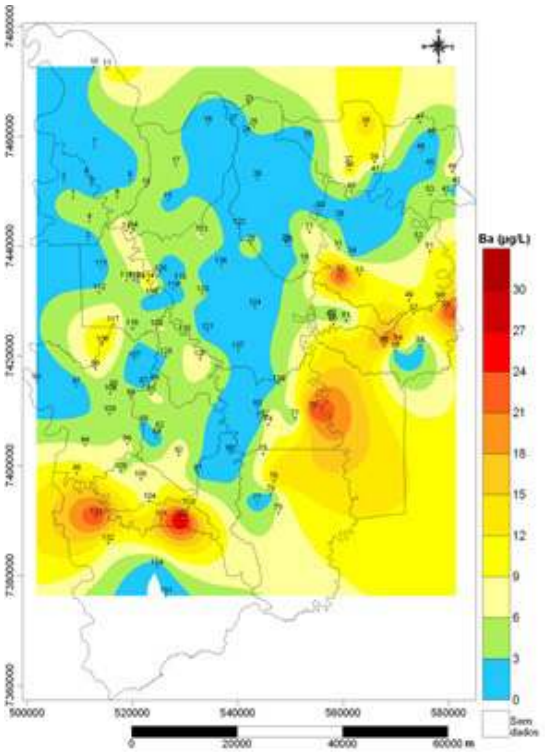
Os teores de Bário das águas do SASG apresentaram uma média de 5,8 µg/L, com um mínimo de 0,046 µg/L, um máximo de 30,5 µg/L e um desvio padrão de 6,1 µg/L. Entre os intervalos de 0 e 10 µg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de Bário. Portanto, os valores encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 700 µg/L. Na maior parte dos poços não foram detectados teores de Cd (Figura 9). Durante os processos ígneos o Ba ocorre principalmente nos silicatos de potássio, especialmente em micas e feldspatos, substituindo o K+. As concentrações de bário tendem a ser maiores nos feldspatos do que nas micas (MINEROPAR, 2001, p. 10). Com exceção do sulfato de bário, a solubilidade em água dos sais de bário aumenta com a diminuição do pH (WHO, 1990).

Na maior parte dos poços não foram detectados teores de Cádmio nas águas do SASG. Os teores de Cádmio encontrados apresentaram uma média de 0,2 µg/L, com um mínimo de 0,001 µg/L, um máximo de 1,7 µg/L e um desvio padrão de 0,2 µg/L. Portanto, os valores encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 5 µg/L. O Cd não é encontrado na natureza em seu estado puro, está associado principalmente a sulfitos em minérios de zinco, como a esfalerita (ZnS), chumbo e cobre (CHASIN & CARDOSO,

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

2003, p. 264). O cádmio pode entrar na corrente sanguínea ao ser absorvido pelo estômago ou intestinos após a ingestão de água ou alimentos, ou através do ar por absorção pelos pulmões. Uma vez absorvido pelo organismo, o cádmio é fortemente retido. Assim, mesmo pequenas dosagens podem constituir elevados teores no organismo, caso essa ingestão perdure por longos períodos (ATSDR, 1999 apud MINEROPAR, 2005, p. 127). Nos poços 4, 71, 80 e 91 ocorreram os maiores teores de Cádmio, quando comparados com a média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 80, que apresentou o mais alto teor de Cd verificado (1,7 µg/L). Estes altos teores de Cd podem estar associados com o uso de fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura da região, uma vez que altos teores de Cd não estão relacionados com a geologia da área em questão.

Figura 9: Mapa geoquímico do Bário (µg/L).



Os teores de Chumbo das águas do SASG apresentaram uma média de 0,24 µg/L, com um mínimo de 0,09 µg/L, um máximo de 8,4 µg/L e um desvio padrão de 0,7 µg/L. Entre o intervalo de 0 e 1 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de Chumbo. Os valores encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 10 µg/L. Nos poços 52 e 93 foram verificados os maiores teores de chumbo (Figura 10), quando comparados

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

com a média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 52 que apresentou um valor de Pb muito próximo do VMP (8,4 µg/L), o que serve de alerta futuramente, pois, tem efeito cumulativo e, pode causar, principalmente, doenças que afetam o sistema circulatório, neoplasias, transtornos mentais e comportamentais e doenças do sistema nervoso. O chumbo é depositado na água proveniente da atmosfera ou da lixiviação do solo, de fontes naturais ou antropogênicas. O movimento do chumbo do solo para águas profundas por lixiviação é muito lento na maioria das condições naturais, exceto para situações de elevada acidez (PAOLIELO & DE CAPITANI, 2003, p. 364, 365). As rochas ígneas ácidas são mais enriquecidas em chumbo que as básicas (MINEROPAR, 2001, p. 18).

Os teores de cobalto das águas do SASG apresentaram uma média de 0,043 µg/L, com um mínimo de 0,0003 µg/L, um máximo de 0,8 µg/L e um desvio padrão de 0,08 µg/L. Entre o intervalo de 0 e 0,1 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de cobalto. Não há um VMP estabelecido pela Portaria 518/2004 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, em águas subterrâneas para o Co. Nos poços 117 e 133 foram verificados teores de cobalto acima da média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 117, que apresentou a maior concentração de Co verificada nas águas do SASG (0,8 µg/L) [Figura 11]. Este poço está localizado na área rural, com o predomínio de pastagens em suas proximidades. Segundo Licht (2001, p. 117) a presença de Co nas águas superficiais no Terceiro Planalto Paranaense é coerente com as rochas ígneas de filiação básica da Bacia do Paraná. O Co em elevadas concentrações é tóxico e carcinogênico. A exposição a altas quantidades de cobalto pode resultar em efeitos nos pulmões, coração, dermatites, danos no fígado e nos rins.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 10: Mapa geoquímico do Chumbo (µg/L).

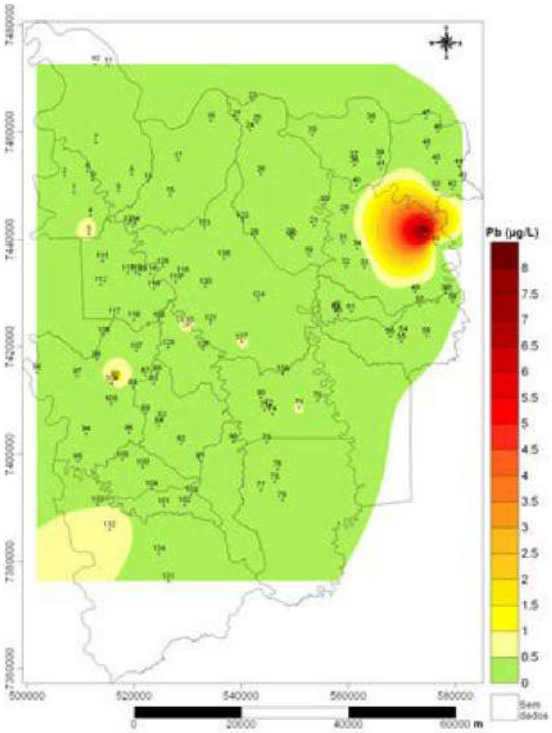
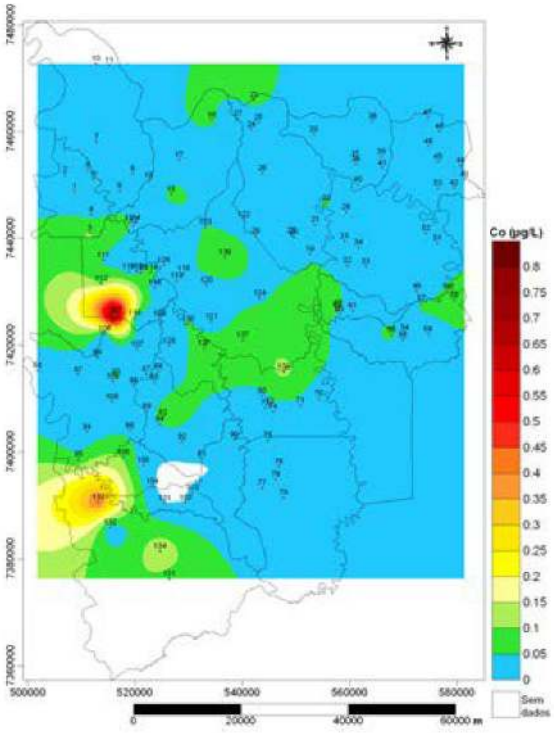


Figura 11: Mapa geoquímico do Cobalto (µg/L).



Os teores de Cobre das águas do SASG apresentaram uma média de 2µg/L, com um mínimo de 0,04 µg/L, um máximo de 21 µg/L e um desvio padrão de 3,3 µg/L. Entre o intervalo de 0 e 2 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de cobre. Os valores de Cu encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 2000 µg/L. Os teores mais altos, que estão acima da média encontrada nas águas do SASG, foram verificados nos poços 7, 13, 38, 42, 84, 85, 90, 96, 97 e 132, com destaque para o poço 13 que apresentou a maior concentração de Cu verificado nas águas do SASG (21 µg/L) [Figura 12]. O poço 13 está localizado na área rural, com o uso do solo voltado para agricultura, em suas proximidades. Segundo Licht (2001, p. 117) a presença de Cu nas águas superficiais no Terceiro Planalto Paranaense é coerente com as rochas ígneas de filiação básica da Bacia do Paraná. Lembrando que, por este poço estar em uma área com intensa atividade agrícola, pode estar associado também com o uso de fungicidas.

Os teores de Cromo das águas do SASG apresentaram uma média de 1,4 µg/L, com um mínimo de 1 µg/L, um máximo de 3,1 µg/L e um desvio padrão de 0,46. Entre o intervalo de 1 e 1,5 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de Cromo. Os valores de Cr encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 50 µg/L. Os maiores teores encontrados de Cromo foram nos poços 6, 48, 49, 75, 87, 104, 105 e 134, teores estes acima da média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 104 que apresentou a maior concentração de Cr verificada nas águas do SASG (3,1 µg/L), localizado na área rural (Figura 13). O cromo (III) em fase aquosa ocorre como partícula sólida adsorvida a materiais argilosos, orgânicos ou a óxido de ferro. Nas rochas, a presença do cromo se relaciona com os minerais máficos. O excesso de Cromo pode causar, principalmente, doenças que afetam os sistemas digestivo, respiratório e neoplasias.

Figura 12: Mapa geoquímico do Cobre (µg/L).

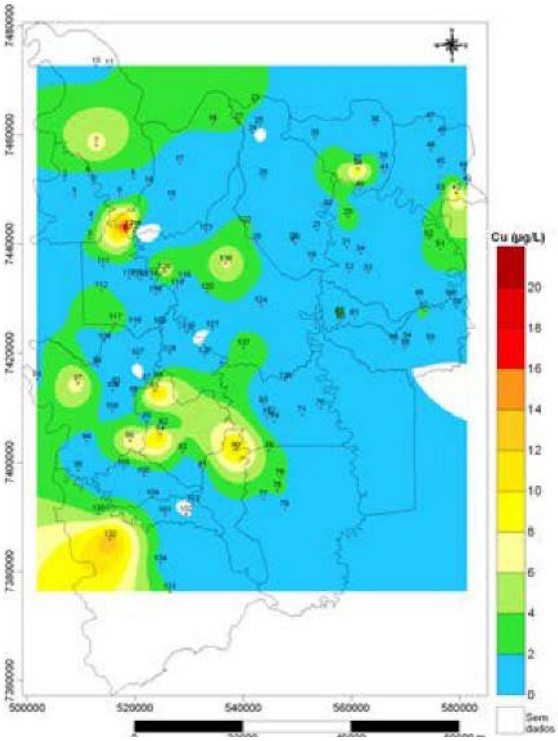
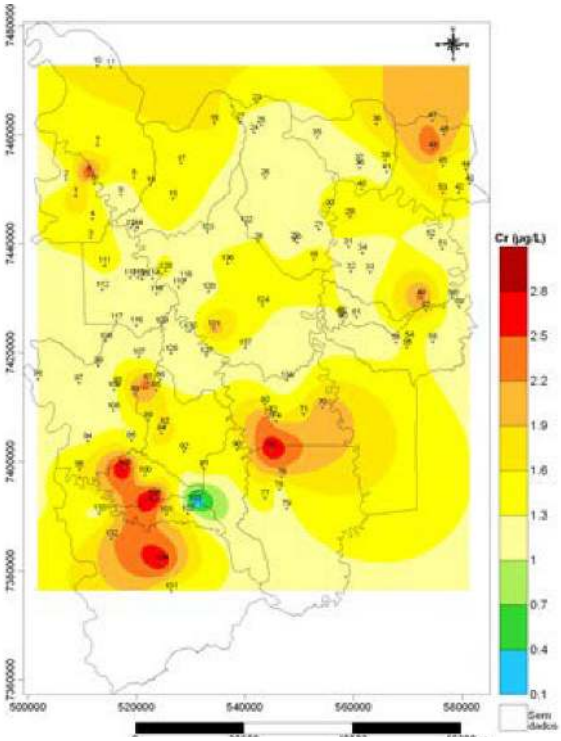


Figura 13: Mapa geoquímico do Cromo (µg/L).



Os teores de Estrôncio das águas do SASG apresentaram uma média de 56 µg/L, com um mínimo de 4,2 µg/L, um máximo de 206 µg/L e um desvio padrão de 42 µg/L. Entre os intervalos de 0 e 120 µg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de Estrôncio. Não há um VMP estabelecido pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, em águas subterrâneas para o Co. Os maiores teores de Estrôncio ocorreram nos poços 13, 23, 42, 51, 53, 54, 70, 73, 78, 82, 86, 92, 93, 94, 108 e 117, valores estes acima da média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 51 que apresentou o mais alto valor verificado nas águas do SASG (206 µg/L), localizado na área rural (Figura 14). Tem sido observados casos de leucemia em pessoas expostas a quantidades relativamente altas

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

de estrôncio, assim como câncer nos ossos, no nariz, no sangue, nos pulmões e na pele tem sido observado em animais de laboratório (MINEROPAR, 2005, p. 191).

Os teores de Ferro das águas do SASG apresentaram uma média de 1,1 mg/L, com um mínimo de 0,04 mg/L, um máximo de 2,3 mg/L e um desvio padrão de 0,6 mg/L. Entre os intervalos de 0,6 e 2,0 mg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de ferro (Figura 15).Portanto, os valores médios de Fe estão acima do VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 0,3 mg/L. Desta forma, a maioria dos poços apresentaram valores acima do permitido. Os maiores teores de Ferro ocorreram nos poços 3, 8, 22, 25, 41, 59, 62, 72, 92, 93, 110, 112, 117, 123, 124, 129, 131 e 136, quando comparados com a média encontrada nas águas do SASG, destacando o poço 117, que apresentou o maior valor encontrado de Fe nas águas do SASG (2,3 mg/L), localizado na área rural (Figura 15). Estes altos teores de Fe verificados nas águas do SASG podem estar relacionados à geologia da região, que é formada por rochas basálticas da Formação Serra Geral, constituídas essencialmente por plagioclásios e piroxênios. Estes últimos têm o ferro como principal constituinte. O revestimento de poços tubulares pode também ter incrementado os valores obtidos. O ferro é essencial para os processos fisiológicos de todos os seres vivos. O ferro em excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos, diabetes e parece contribuir para carcinogênese.

Figura 14: Mapa geoquímico do Estrôncio (µg/L).

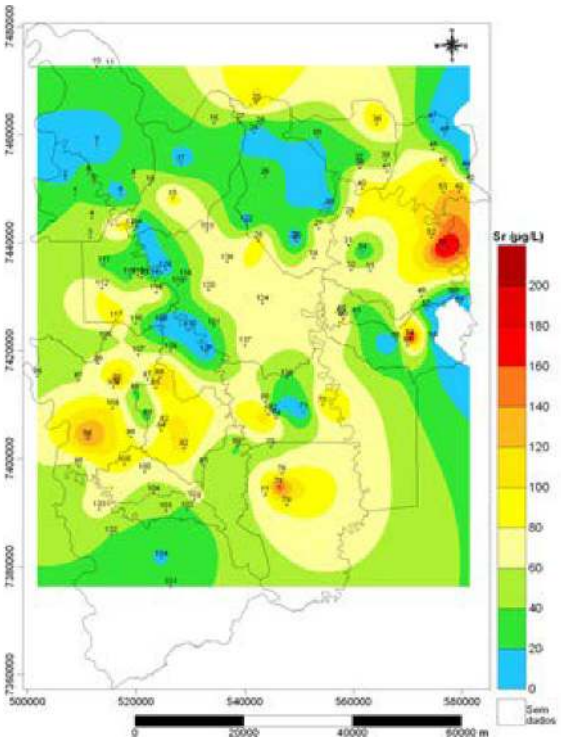
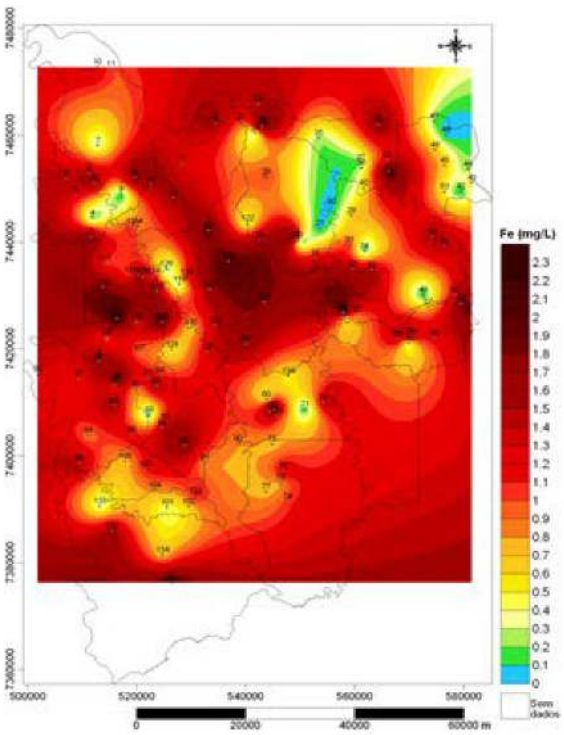


Figura 15: Mapa geoquímico do Ferro (mg/L).



Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Os teores de Manganês das águas do SASG apresentaram uma média de 2µg/L, com um mínimo de 0,1 µg/L, um máximo de 28,2 µg/L e um desvio padrão de 4,3 µg/L. Entre o intervalo de 0 e 5 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de Manganês. Os valores de Mn encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 100 µg/L. Os maiores teores de Manganês ocorreram nos poços 3, 13, 50, 57, 59, 105, 112, 119, 127, 130, 131 quando comparados com a média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 13 que apresentou o maior valor de Mn verificado nas águas do SASG (28,2 µg/L), localizado na área rural (Figura 16). Como observado anteriormente, o poço 13 apresentou também o maior teor de cobre encontrado nas águas do SASG. Segundo Licht (2001, p. 117) a presença de Mn nas águas superficiais no Terceiro Planalto Paranaense é coerente com as rochas ígneas de filiação básica da Bacia do Paraná. Existe uma forte correlação entre o Mn e o Fe (ferroso) na maioria das rochas ígneas, com razões Fe/Mn situando-se na faixa 0,015 - 0,02 (MINEROPAR, 2001, p. 40). O manganês promove o crescimento, o desenvolvimento e as funções celulares. O excesso de manganês parece contribuir para casos de oclusões coronárias e em artrite reumatoide.

Os teores de Níquel das águas do SASG apresentaram uma média de 0,64 µg/L, com um mínimo de 0,21 µg/L, um máximo de 2,9 µg/L e um desvio padrão de 0,4 µg/L. Entre os intervalos de 0 e 1 µg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de Níquel. Os valores de Ni encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 20 µg/L. Os maiores teores de Níquel ocorreram nos poços 13, 61, 103, 112, e 117, quando comparados com a média encontrada nas águas do SASG, com destaque para o poço 103 que apresentou a maior concentração de Ni verificada nas águas do SASG (2,9 µg/L) [Figura 17]. Há uma forte similaridade entre a distribuição de Ni, Co e Fe na crosta terrestre. É fortemente enriquecido nas rochas ultrabásicas e básicas (150 ppm) comparativamente às ácidas (< 1ppm) [(MINEROPAR, 2001, p. 46]. O níquel é um elemento-traço essencial e ligado ao controle do crescimento (SILVA et al., 2006, p. 9). A carcinogenicidade do níquel e seus compostos foi verificada em trabalhadores expostos e em animais de experimentação. Outros efeitos associados a exposição ao níquel são a embriotoxidade e a teratogenicidade em animais (OLIVEIRA, 2003, p. 136,137).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 16: Mapa geoquímico do Manganês (µg/L).

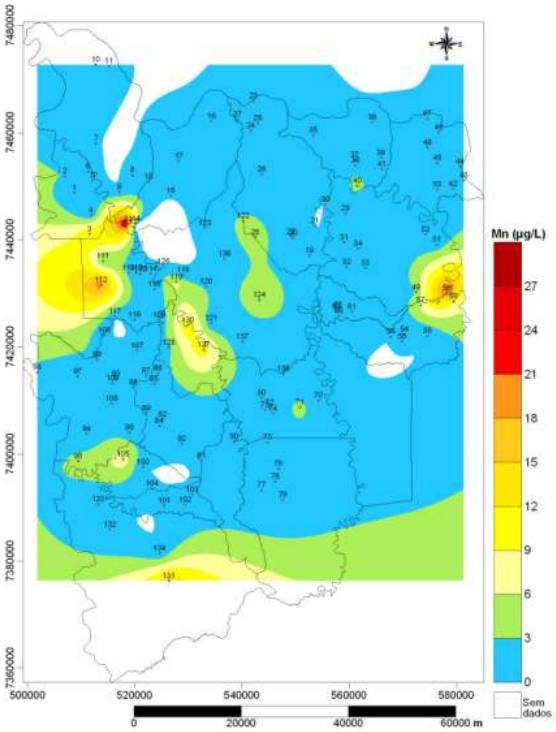
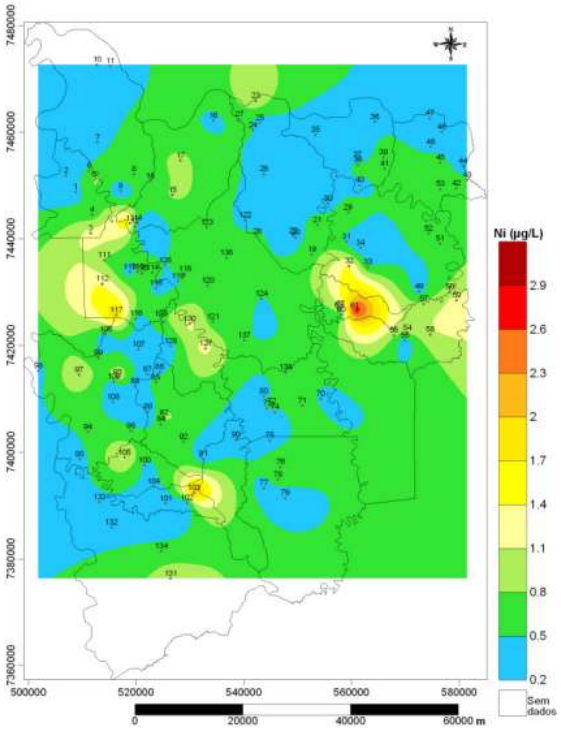


Figura 17: Mapa geoquímico do Níquel (µg/L).



Os teores de Selênio das águas do SASG apresentaram uma média de 3µg/L, com um mínimo de 0,26 µg/L, um máximo de 94 µg/L e um desvio padrão de 8,8 µg/L. Entre o intervalo de 0 e 10 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de Selênio. Alguns poços apresentaram valores acima do VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 10 µg/L (Figura 18). Os maiores teores de Selênio ocorreram nos poços 47, 85, 86, 109, 123 e 129, quando comparados com a média encontrada nas águas do SASG, destacando que o poço 123, localizado na área rural, foi o que apresentou a maior concentração de Se verificada nas águas do SASG (94 µg/L), valor este nove vezes acima do permitido, podendo causar problemas na saúde da população que utiliza esta água para abastecimento (Figura 18). O selênio é considerado elemento essencial para o homem, contudo a exposição a altos teores de Se podem causar efeitos adversos à saúde. Exposições via oral de curto período com altas concentrações de Se podem causar náusea, vômitos e diarreia (MINEROPAR, 2005, p. 333).

Os teores de Sódio das águas do SASG apresentaram uma média de 9,3 mg/L, com um mínimo de 0,7 mg/L, um máximo de 27 mg/L e um desvio padrão de 6,1 mg/L (Figura 19). Entre os intervalos de 0 e 15 mg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de Sódio. Os valores de Na encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 200 mg/L. O sódio é um elemento essencial, com papel importante na manutenção do equilíbrio hidrossalino do organismo humano. Os sais de sódio, quando não são ingeridos em quantidades excessivas, não são prejudiciais a saúde. Contudo, pessoas hipertensas devem fazer uma dieta balanceada de sais, visto que a ingestão elevada de sódio pode aumentar a pressão sanguínea (MINEROPAR, 2001, p. 54). Seus minerais fontes em rochas ígneas são essencialmente os feldspatos, plagioclásios, feldspatóides, anfibólios e piroxênios (SANTOS, 1997, p. 90).

Figura 18: Mapa geoquímico do Selênio (µg/L).

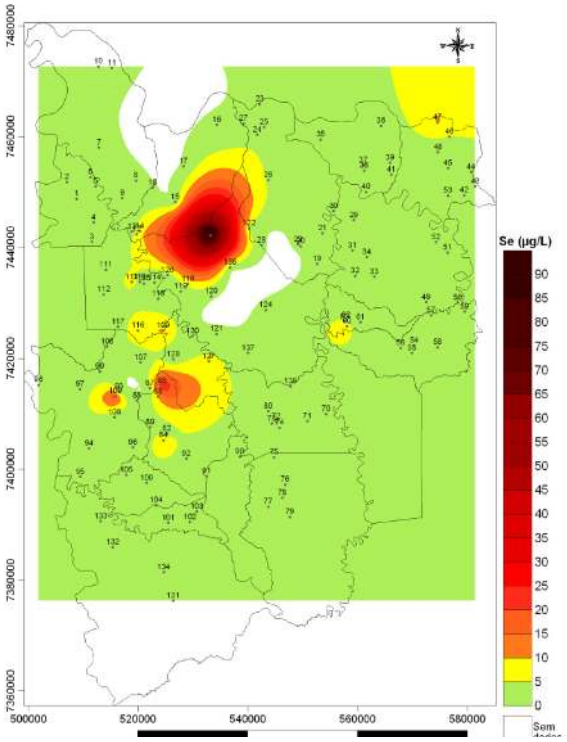
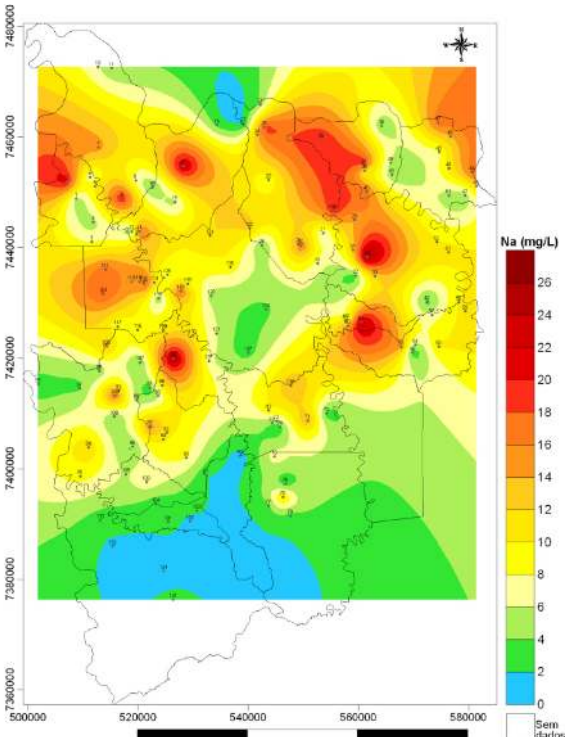


Figura 19: Mapa geoquímico do Sódio (mg/L).



Os teores de Titânio das águas do SASG apresentaram uma média de 4,0 µg/L, com um mínimo de 2,2 µg/L, um máximo de 5,1 µg/L e um desvio padrão de 0,6 µg/L. Entre os intervalos de 3,0 e 5,0 µg/L encontram-se a maior frequência de ocorrência de Titânio (Figura 20). Não há um VMP de Ti nas águas subterrâneas determinado pela legislação brasileira. Nas rochas, está presente na forma de esfeno, ilmenita e rutilo e nos minerais máficos, onde pode substituir o Fe e o Al. Micas, anfibólios e piroxênios podem conter titânio. Rochas máficas contêm mais titânio do que as félsicas (MINEROPAR, 2005, p. 369). O titânio não é tóxico, mas é suspeito de ser carcinogênico. Não tem papel biológico conhecido.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Os teores de Zinco das águas do SASG apresentaram uma média de 26,5 µg/L, com um mínimo de 1,1 µg/L, um máximo de 231 µg/L e um desvio padrão de 43 µg/L. Entre o intervalo de 0 e 20 µg/L encontra-se a maior frequência de ocorrência de Zinco (Figura 21). Os valores de Zn encontrados não ultrapassaram o VMP determinado pela Portaria 2.914/2011 e pela Resolução 396/2008 do CONAMA, para consumo humano, que é de 5000 µg/L. Nas rochas básicas, o principal portador de Zn é a magnetita, enquanto que a biotita é o mais importante nos granitos (MINEROPAR, 2001, p. 60). O nível de zinco dissolvido na água pode aumentar à medida que a acidez da água aumenta (SILVA, 2003). O zinco protege o fígado de danos químicos, e é necessário para integridade do sistema imunológico e a regulação do crescimento. No homem, a deficiência não sistemática de zinco pode provocar distúrbios comportamentais, gastrintestinais, perda de cabelo, irritações cutâneas, anemia e inapetência. A alta ingestão de zinco, que ocorrem devido ao inadequado uso de suplementos de zinco, pode interferir com metabolismo do cobre e esgotar o corpo de cobre. A exposição crônica a excesso de zinco pode reduzir a função imunológica e o colesterol HDL (COMBS JÚNIOR, 2005, p. 165). Grandes doses ingeridas oralmente por um curto período de tempo podem causar convulsões estomacais, vômitos e náusea (MINEROPAR, 2005, p. 394).

Figura 20: Mapa geoquímico do Titânio (µg/L).

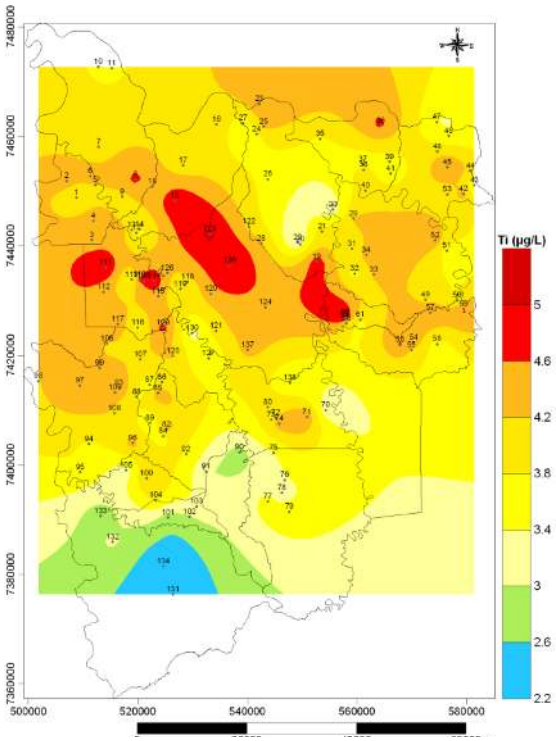
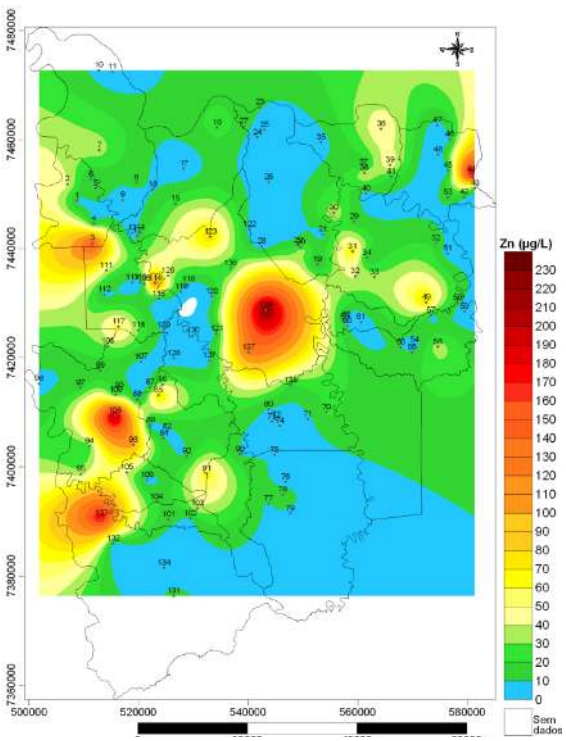


Figura 21: Mapa geoquímico do Zinco (µg/L).



Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Na maior parte dos poços não foram detectados teores de potássio. Os teores de potássio encontrados nas águas do SASG apresentaram uma média de 0,06 mg/L, com um mínimo de 0,02 mg/L, um máximo de 0,24 mg/L e um desvio padrão de 0,06 mg/L. Tanto a Portaria 2.914/2011, quanto a Resolução 396 de 2008 do CONAMA não estabeleceram um VMP nas águas subterrâneas de potássio. Está presente principalmente nos feldspatos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Nas águas subterrâneas, ocorre em pequenas quantidades ou está ausente, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, de seus sais serem muito utilizados pelos vegetais (SANTOS, 1997, p. 91). O excesso de potássio (hipercalemia) pode provocar aperto no peito, náuseas e vômitos, diarreia, falta de ar e insuficiência cardíaca.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da caracterização da qualidade das águas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), pode-se observar variações na distribuição dos elementos químicos na RSCP, apresentando locais com teores de determinados elementos acima do convencional para a região e outros acima do permitido pela legislação.

A maioria dos poços apresentaram valores de Ferro acima do permitido pela legislação, que é de 0,3 mg/L pelo CONAMA/2008 e BRASIL/2011, nas águas do SASG nos municípios da RSCP. A ingestão contínua de ferro em excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos, diabetes e parece contribuir para carcinogênese. Alguns poços apresentaram valores de Selênio acima do permitido pela legislação, que é de 10 µg/L pelo CONAMA/2008 e BRASIL/2011, nas águas do SASG nos municípios de Andirá, São Sebastião da Amoreira, Assaí, Cornélio Procópio e Uraí. A ingestão de altas concentrações de selênio pode trazer efeitos adversos à saúde, como náusea, vômitos e diarreia.

Os elementos químicos Arsênio e Chumbo apresentaram valores próximos do valor máximo permitido pela legislação vigente, que é de 10 µg/L para ambos, o que serve de alerta futuro para os municípios de Nova América da Colina, Andirá, Abatiá, Santa Amélia, Assaí, Nova Fátima, no caso do As, e nos municípios de Bandeirantes e Assaí com relação ao Pb. A toxicidade do Arsênio depende das concentrações de compostos solúveis deste elemento. O envenenamento por arsênio pode causar conjuntivite, melanose, despigmentação e queratose (feridas). São também relacionados ao As tumores na bexiga, fígado, pulmões e rins. A ingestão de As na forma inorgânica em altas quantidades pode resultar em morte.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Níveis mais baixos de arsênio podem ocasionar náusea e vômitos, redução na produção de células vermelhas e brancas do sangue, anormalidades no ritmo cardíaco, danos no sistema vascular e sensações de formigamento nas mãos e nos pés (MINEROPAR, 2005, p. 104). O arsênio pode também exercer efeitos crônicos sobre o sistema nervoso central do homem (WHO, 2001). Já o Chumbo, que tem efeito cumulativo, pode causar, principalmente, doenças que afetam o sistema circulatório, neoplasias, transtornos mentais e comportamentais e doenças do sistema nervoso.

A maioria dos resultados físico-químicos e hidrogeoquímicos das águas do SASG na RSCP estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para consumo humano. Contudo, mesmo o restante dos elementos apresentando concentrações baixas, há que se considerar o tempo de exposição, a capacidade de assimilação, a presença de outros metais, a idade e o estado corpóreo das pessoas expostas.

Com relação à origem dos teores anômalos dos elementos químicos encontrados nas águas do SASG na RSCP, pode-se dizer, de forma preliminar, que alguns teores anômalos são provenientes de características naturais do meio e outros de ações antrópicas, ou, ainda, as duas causas em conjunto. Como identificado no caso do Ferro. Com estes resultados sobre os teores anômalos de determinados elementos químicos, pode-se propor o monitoramento do SASG, a curto e a longo prazo, orientando a vigilância sanitária de cada município, bem como aos responsáveis pelos poços que abastecem a população da RSCP.

REFERÊNCIAS

1. APHA. – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 21ª edição, 2005.
2. ARAÚJO, Paulo Rogério de; PINESE, José Paulo Peccinini. Anomalias na distribuição geográfica dos dados de saúde da bacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia, zona norte do munícipo de Londrina/PR. Anomaliesdansladistributiongéographiquedesdonnées de santédubassinhydrographique de Ribeirão Lindóia, zone nord de lamunicipalité de Londrina/PRAnomalies in geographicdistributionofhealth data of Ribeirão Lindóia basin, norhtern zone of Londrina city. Confins (Paris), p. 1-8174-18, 2013.
3. BENETTI, Antonio; BIDONE, Francisco. O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2004.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 2914. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. De 12 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br>. Acesso em: 25 out. 2015.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

5. BUCHMANN FILHO, Antonio C. et. al. Aspectos da química da água subterrânea da Formação Serra Geral no âmbito da bacia hidrográfica do rio Piquiri – PR. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2002. Anais... Florianópolis: ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2002. Cd-rom.

6. CELLIGOI, André. Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina – PR. 1993. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

7. CHASIN, Alice A. da M.; CARDOSO, Luisa M. N. Cádmio. In: AZEVEDO, Fausto A. de; CHASIN, Alice A. da M. (Ed.). Metais: gerenciamento da toxidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

8. CHOUDHURI, A. Geoquímica pra Graduação. Campinas, SP: Ed. da UNICAMP, 1997.

9. CONAMA - Resolução 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes - *DOU.* Diário Oficial da União. Seção 1. N° 53, 18 de março de 2005.

10. CONAMA - Resolução 396. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União. Seção 1. N° 66, 7 de abril de 2008.

11. COMBS JÚNIOR, Gerald F. GeologicalImpactsonNutrition. In: SELINUS, Olle; ALLOWAY, Brian J.; CENTENO, José A.; FINKELMAN, Robert B.; FUGE, Ron; LINDH, Ulf; SMEDLEY, Pauline (editores). Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health. USA: ElsevierAcademic Press, 2005.

12. CORTECCI, Gianni. Geologia e Saúde. Bologna: Universitàdegli Studi di Bologna – DipartimentodiScienzedella Terra e Geologico – Ambientale. Tradução Wilson Scarpelli. São Paulo, 2003. Disponível em: <www.cprm.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2016.

13. LICHT, Otavio A. B.; PIEKARZ, O.G.; SILVA, J.C.F.C.; LOPES JR., IDIO.Levantamento Geoquímico Multielementar de Baixa Densidade no Estado do Paraná. A Terra em Revista, n.3, p.34-46, 1997.

14. LICHT, Otavio A. B. A Geoquímica Multielementar na Gestão Ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, 2001, 236p.

15. MARTINS JR, José C. G.; PINESE, J.P.P. Meio ambiente e saúdecoletiva: abordagensemgeologia médica. In: CARVALHO, Márcia S. Geografia, meio ambiente e desenvolvimento. Londrina: a Autora, 2003.

16. MENDES, Tatiana F. A distribuição espacial das mortalidades no contexto da Geografia da Saúde e a hidrogeoquímica do Aquífero Serra Geral, na Regional de Saúde de CornélioProcópio (PR). Dissertação (MestradoemGeografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2012.

17. MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. Gelological and magmatic aspects of the Paraná Basin - an introduction. In: The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and geophysical aspects. PICCIRILLO, E. M. & MELFI, A. J. (Eds), São Paulo, IAG-USP, 1988, p.1-13.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

18. MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR. Atlas Geoquímico do Estado do Paraná. Curitiba, 80p. 2001.

19. MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR. Geoquímica de solo – Horizonte B: Relatório final de projeto. Curitiba: Mineropar, 2005.

20. MINISTÉRIO DA SAÚDE - PORTARIA 518. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. De 25 março de 2005.

21. Disponível em: <http://www.agrolab.com.br/portaria%20518_04>.pdf>. Acesso em: 15 agos. 2016.

22. OLIVEIRA, Adriana P. de. Determinação de Cu, Zn e Se em soro humano por ICP-MS. Revista Analytica, nº25, out/nov, 2006, p.76-83. Disponível em: <www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/25.art05.pdf>. Acesso em 05 maio 2016.

23. OLIVEIRA, Janaína P. de. Níquel. In: AZEVEDO, Fausto A. de; CHASIN, Alice A. da M. (Ed.). Metais: gerenciamento da toxidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

24. PAOLIELO, Mônica M. B.; DE CAPITANI, Eduardo M. De. Chumbo. In: AZEVEDO, Fausto A. de; CHASIN, Alice A. da M. (Ed.). Metais: gerenciamento da toxidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

25. PICCIRILLO, E. M.; BELLIENI, G.; CAVAZZINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; PETRINI, R.; MELFI, A. J.; PINESE, José P. P.; ZANTEDESCHI, P.; DE MIN, A. Lower Cretaceous tholeiitic dyke swarms from the Ponta Grossa Arch (SE-Brazil): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with the Paraná flood volcanics. ChemicalGeology, 1990, v.89:19-48.

26. PINESE, José P.P.; ALVES, J. C.; LICHT, Otavio A. B. Anomalias Hidrogeoquímicas no Município de Itambaracá (PR): Resultados Preliminares. Congresso Brasileiro de Geoquímica, 8; Boletim de Resumos, Curitiba. P. 88 2001.

27. PINESE, José P. P. Síntese Geológica da Bacia do Tibagi. In: MEDRI, Moacyr E., et al. A Bacia do Rio Tibagi.Londrina: 2002.

28. PINESE, José Paulo Peccinini ; ALVES, J. C. ; LICHT, Otávio Augusto Boni ; Pires, E. O. ; MARAFON, E. Características Naturais da Água de Abastecimento Público da Porção Extremo Norte do Estado do Paraná, Brasil.. In: XLI Congresso Brasileiro Geologia: A Geologia e o Homem, 2002, João Pessoa-PB. Anais... João Pessoa: Brasileira de Geologia-Núcleo Nordeste, 2002. v. 1. p. 249-250.

29. PINESE, José P. P; STIPP, N.F; OLIVEIRA, J. A geologia e os recursos minerais no curso inferior da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi-PR. In: STIPP, N.F. (org). Sociedade, Natureza e Meio Ambiente no Norte do Paraná: a porção inferior da Bacia hidrográfica do rio Tibagi-PR. Londrina: Ed. da UEL, 2000.

30. PINESE, José P. P. Caracterização Petrológica e Geoquímica dos diques do Arco de Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

31. ROSA FILHO, Ernani F. da et al. Aquíferos do Estado do Paraná. Curitiba: Edição do autor, 2011.

32. SAKUMA, Alice et al. Arsênio. In: AZEVEDO, Fausto A. de; CHASIN, Alice A. da M. (Ed.). Metais: gerenciamento da toxidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

33. SANTOS, Almany C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, João (Coord.). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

34. SANTOS, Claudia R. dos. Alumínio. In: AZEVEDO, Fausto A. de; CHASIN, Alice A. da M. (Ed.). Metais: gerenciamento da toxidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

35. SILVA, Erasmo S. da. Zinco. In: AZEVEDO, Fausto A. de; CHASIN, Alice A. da M. (Ed.). Metais: gerenciamento da toxidade. São Paulo: Atheneu, 2003.

36. SILVA, Cássio. R. da et al. Geologia Médica. In: SILVA, C. R. da et al (Ed.). Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM, 2006, p. 9.

37. WHO.World Health Organization.Barium.Environmental Health Criteria - 107. Geneva: WHO, 1990. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc107.htm>. Acesso em: 09 jun. 2016.

38. WHO. World Health Organization. Arsenic. Geneva, Environmental Health Criteria - 224: Arsenicandcompounds. Geneva: WHO, 2001. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm>. Acesso em: 09 jun. 2016.

39. WHO. World Health Organization. Aluminium. Environmental Health Criteria – 194. Geneva: WHO, 1997. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm>. Acesso em: 09 jun. 2016.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela concessão de bolsa por um período de doze meses para a realização desse projeto, bem como, ao financiamento desta pesquisa através do Convênio CNPq/Fundação Araucária: 61.0088/06-8 e Convênio Fundação Araucária/UEL: 063/08.

ARTIGO RECEBIDO EM FEVEREIRO DE 2017
ARTIGO APROVADO EM JUNHO DE 2017