Análise da influência de fraturas, da precipitação e da produção de poços no pH e na condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul

Pedro Antonio Roehe REGINATO¹, Amanda SANFERARI², Gustavo Barbosa ATHAYDE³, Taison Anderson BORTOLIN⁴, Marcos Imério LEÃO¹, Franciéle SCHWANCK¹ & Márcio André KLEIN⁵

¹ Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil (pedro.reginato@ufrgs.br; imerio@iph.ufrgs.br; franschwanck@gmail.com).

² Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (amanda.sanferari@ufrgs.br).

³ Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná. Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, 1139/1140. Jardim das Américas. CEP 81530-000, Curitiba, PR, Brasil (gustavo.athayde@ufpr.br).

⁴ Instituto de Saneamento Ambiental, Universidade de Caxias do Sul. Rua Francisco Getúlio Vargas, Petrópolis, CEP 95070-560, Caxias do Sul, RS, Brasil (tabortol@ucs.br).

⁵ Superintendência de Hidrogeologia, Companhia Riograndense de Saneamento. Av. Antônio de Carvalho, 2667. Jardim Carvalho. CEP 91430-001, Porto Alegre, RS, Brasil (marcio.klein@corsan.com.br).

Resumo. As características físico-químicas e bacteriológicas da água subterrânea são influenciadas por diferentes fatores. Esse estudo analisa os dados de pH e condutividade elétrica (CE), que foram monitorados em 15 poços de produção durante 15 meses no aquífero fraturado na cidade de Carlos Barbosa (RS). Esses parâmetros foram correlacionados com: (i) a ocorrência de fraturas ao longo do perfil do poço; (ii) quantidades de precipitação diárias e mensais; (iii) os volumes extraídos de água subterrânea. Os resultados indicaram a ocorrência de variações mensais nos valores de pH e CE, cujas variações foram entre 6 e 6,8 e 116,5 e 259,7 uS/cm respectivamente. Também foi observada uma correlação entre os parâmetros mencionados e algumas características da fratura (profundidade e quantidade de fraturas interceptadas). A análise dos dados pluviométricos e dos volumes extraídos não revelou correlação direta com os parâmetros monitorados. As águas subterrâneas dessa região apresentam variações mensais nos valores de pH e EC, o que parece ser influenciado pelos processos hidroquímicos que ocorrem durante a trajetória da infiltração ao longo do manto intemperizado e nas fraturas.

Palavras-chave. monitoramento, variações de pH e CE, fraturas, SASG.

Abstract. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FRACTURES, THE RAINFALL AND THE WELLS PRODUCTION IN THE PH AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY (EC) OF THE GROUNDWATER OF THE SERRA GERAL AQUIFER SYSTEM (SGAS), IN THE NORTHEASTERN REGION OF THE RIO GRANDE DO SUL STATE. The physical-chemical and bacteriological characteristics of groundwater are influenced by different factors. This study analyses pH and EC data, which were monitored in 15 production wells during 15 months in the fractured aquifer within the Carlos Barbosa city (RS). These parameters were correlated with: (i) the occurrence of fractures along the well profile; (ii) daily and monthly precipitation amounts; (iii) the extracted groundwater volumes. The results indicated the occurrence of monthly variations in the pH and EC values, whose variations were between 6 and 6.8 and 116.5 and 259.7 uS/cm respectively. A correlation was also observed between the mentioned parameters and some fracture features (depth of interception and amount of intercepted fractures). The analysis of the rainfall data and extracted volumes revealed no direct correlation to the monitored parameters. The groundwater in this region shows monthly variations in the pH and EC values, which seems to be influenced by the hydrochemistry processes that occur during the infiltration path along the weathered mantle and in fractures.

Keywords. monitoring, pH and CE variations, fractures, SASG.

1 Introdução

As características físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas são influenciadas por diferentes fatores como: tipo de aquífero, litologia, condições de fluxo, tempo de residência, ocorrência de processos biogeoquímicos, existência de misturas de água entre aquíferos, precipitação, composição da água da chuva e processos de recarga. Além disso, a água subterrânea poderá apresentar variações sazonais e temporais (Mestrinho, 2008). No estudo realizado por Azevedo *et al.* (2014) foi identificado que os tipos de solos têm relação com o grau de mineralização das águas subterrâneas, bem como as variações do pH têm influência no comportamento do carbonato de cálcio (processos de solubilização e precipitação).

A forma de ocorrência das precipitações numa região (intensidade, quantidade, distribuição) pode ter influência nos processos de recarga e na composição da água subterrânea. No estudo realizado por Marques *et al.* (2008), foi observado que as variações dos níveis de água provocados pela recarga têm reflexo nos valores de pH, condutividade elétrica (CE) e resíduo seco.

Alterações sazonais na composição da água da chuva podem acarretar influências nas características físico-químicas das águas subterrâneas. Backes (2007) identificou valores de pH entre 4,83 e 6,4 e CE entre 19,88 a 49,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a água da chuva na região de São Francisco de Paula (RS). No estudo realizado em Passo Fundo (RS) por Cunha *et al.* (2009) foi identificado que o pH apresentou um valor médio de 5,9 e variações sazonais (mais ácido nas estações da primavera e verão e menos ácidos nas estações do outono e inverno). Já Hageman & Gastaldini (2016), em estudo realizado na região de Santa Maria, identificaram variações na composição da água da chuva (pH entre 4,5 e 7,0 e CE entre 6 e 194 mS/cm) cujas causas foram relacionadas com a forma de ocorrência e intensidade da precipitação.

Diversos estudos desenvolvidos com o objetivo de avaliar a ocorrência de variações

sazonais na composição da água subterrânea já foram realizados. Por exemplo, Udom *et al.* (2013) identificaram um declínio na concentração de vários parâmetros, das estações secas para as úmidas. Souza *et al.* (2009) destacam que nas estações chuvosas foram observadas menores concentrações para diferentes parâmetros, enquanto nas estações de seca foram identificadas maiores concentrações. Para os parâmetros pH e CE houve uma redução nos períodos secos. Em outro estudo, Grott *et al.* (2018), encontraram valores menores de pH para períodos secos, bem como variações significativas para turbidez, cloretos, manganês e nitrato entre os períodos secos e chuvosos. Em Freddo Filho (2018) foram identificadas variações no pH nos períodos secos e chuvosos, sendo que para a CE os valores das médias foram semelhantes entre os períodos.

No que se refere ao regime de extração, poços de abastecimento público tendem a ser operados de forma ininterrupta e contínua. Assim, a exploração associada à sazonalidade da precipitação e da recarga podem ter influência na composição da água subterrânea. Isso foi observado por Marion *et al.* (2007) que identificaram a existência de variações sazonais para os parâmetros de temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), pH, oxigênio dissolvido e alcalinidade num poço tubular utilizado para abastecimento do campus universitário da UFSM (Santa Maria - RS).

Os estudos apresentados corroboram a ocorrência de variações sazonais na composição da água subterrânea, sendo que para identificação dessas alterações se faz necessário o monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos da água subterrânea. Nesse estudo são apresentados os resultados da análise da influência das fraturas interceptadas pelos poços (profundidade e quantidade de entradas de água), da precipitação e da produção de poços no comportamento dos parâmetros pH e CE. Esses parâmetros foram monitorados durante 15 meses, em 15 poços tubulares que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

2 Área, materiais e métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo está situada no Município de Carlos Barbosa (região nordeste do estado do Rio Grande do Sul), onde estão localizados os 15 poços tubulares, que são utilizados pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) para abastecimento da cidade (Fig. 1).

2.2 Caracterização hidrogeológica

O arcabouço hidrogeológico da área é representado pelo Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), caracterizado pela ocorrência de aquíferos fraturados associados às estruturas tectônicas (fraturas e falhas), de resfriamento das rochas (diáclases e zonas vesiculares a amigdalóides) e de contato entre derrames (Reginato, 2003; Reginato *et al.* 2012; Reginato *et al.* 2015).

O manto de alteração existente sobre as rochas vulcânicas tem um papel importante nos processos de recarga dos aquíferos fraturados, bem como pode apresentar a ocorrência de um aquífero granular livre nas regiões onde os solos possuem maior porosidade e permeabilidade. Segundo Bortolin (2018) a recarga é controlada pelas condições de armazenamento do solo e das rochas. Assim, dependendo das características do solo e da presença de fraturas nas rochas, haverá uma recarga diferenciada, podendo ser mais rápida ou mais lenta e ter maior ou menor relação com a precipitação.

Conforme Dutra *et al.* (2016), a água subterrânea é o único recurso utilizado no abastecimento no município de Carlos Barbosa, sendo que a exploração dos poços ocorre muitas vezes acima das condições definidas nos projetos de bombeamento (maiores vazão, volumes e tempo de bombeamento). Essa exploração acima dos limites projetados pode ter reflexo na diminuição da quantidade de água produzida pelos poços, bem como na sua qualidade.

De acordo com o estudo desenvolvido por Bortolin *et al.* (2016), as águas do SASG no município apresentam baixa mineralização e

tempo de residência e são classificadas como bicarbonatadas cálcicas magnesianas. Além disso, os autores identificaram que poços com entradas de água mais rasas (menores que 30 m de profundidade) apresentavam águas pouco mineralizadas, enquanto poços com entradas mais profundas (maiores que 50 m) apresentavam uma concentração maior de íons, tais como cálcio, bicarbonatos e sódio.

Para Athayde *et al.* (2017) os tipos hidroquímicos (bicarbonatadas cálcicas, cálcio sódicas e cálcio sódicas magnesianas) existentes no município apresentam relação direta com a tipologia e características dos distintos derrames.

Segundo Hajjar (2016) foram encontradas maiores concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do município em poços localizados nas áreas mais antigas da zona urbana. Além disso, o autor identificou uma relação entre a precipitação e as concentrações de nitrato, caracterizada por uma diminuição das medianas nos períodos de maior ocorrência de chuvas.

2.3 Materiais e métodos

A realização desse estudo envolveu o desenvolvimento de diversas atividades (Fig. 2) que estiveram associadas a diferentes etapas (caracterização de poços tubulares, monitoramento dos parâmetros pH e CE, avaliação da produção dos poços tubulares e da precipitação), sendo que toda a aquisição de dados foi sucedida pela montagem de um banco de dados específico.

A etapa de caracterização dos poços tubulares envolveu a obtenção de dados dos 15 poços tubulares e foi realizada por meio da consulta aos relatórios da CORSAN. Estes se referem à localização do poço (coordenadas UTM), ao perfil geológico e construtivo, ao nível estático, à vazão e ao volume explotado (definido no projeto de bombeamento).

Com base no perfil geológico e construtivo foram obtidos os dados sobre a quantidade e profundidade das fraturas existentes em cada um dos poços. Este estudo considerou que a entrada de água (E.A.) identificada nos perfis geológicos corresponde à ocorrência de fraturas.

O monitoramento dos parâmetros foi

Figura 1. Localização da Área de Estudo e dos Poços Monitorados.
Figure 1. Location of Study Area and Monitored Wells.

Figura 2. Fluxograma das atividades desenvolvidas.
Figure 2. Flowchart of the activities developed.

realizado semanalmente durante 15 meses (entre abril de 2015 e julho de 2016) nos 15 poços tubulares. Em alguns períodos houve falhas no monitoramento pontuais devido a problemas logísticos, mas que não afetaram a qualidade dos bancos de dados gerados.

Em cada poço as amostras de água foram coletadas na torneira localizada no cavalete (estrutura montada após a saída da tubulação edutora da bomba). As análises dos parâmetros pH e CE foram feitas com o uso da sonda multiparâmetro EUREKA, modelo Manta 2 (medição do pH entre 0 a 14, com resolução de 0,01 e precisão de 0,1; medição de CE entre 0 e 275 mS/cm, com resolução de quatro dígitos e precisão de 1%).

Os dados de produção dos poços consistiram de volumes mensais explorados e foram obtidos dos relatórios de controle de produção dos poços da CORSAN.

Os dados de precipitação foram obtidos da Estação Meteorológica da Embrapa Uva e Vinho, localizada no município de Bento Gonçalves (RS), situada a 17 km do município de Carlos Barbosa. Para os efeitos deste estudo, os dados diários de precipitação, foram convertidos em totais mensais acumulados.

A interpretação dos dados foi feita a partir dos bancos de dados gerados nesse estudo associadas a análises estatísticas descritivas univariadas (valor máximo e mínimo, média, mediana e desvio padrão).

A avaliação da influência dos diferentes fatores nas variações de pH e CE foi realizada com base na análise de correlação entre parâmetros.

3 Resultados e discussões

3.1 Análise dos dados de poços tubulares

Os principais dados dos poços tubulares são apresentados na tabela 1. Observou-se que os poços apresentam diferentes profundidades (entre 40 e 216 m), bem como vazões variáveis entre 10 e 50 m³/h. Os volumes projetados para exploração são também variáveis, pois dependem da vazão e do tempo de bombeamento projetado de cada poço. A variabilidade nos resultados de vazões é típica de aquíferos fraturados,

pois depende das condições geológicas, do grau de fraturamento existente na região onde foi perfurado o poço, bem como do projeto construtivo do mesmo.

Com relação às entradas de água, observa-se que 33,33% dos poços interceptaram uma fratura; 46,67% duas fraturas e 20% três fraturas, sendo que as mesmas estão localizadas em diferentes intervalos de profundidade (em 8,5 m a mais rasa e 159 m a mais profunda). A quantidade e a profundidade de localização das fraturas têm importância nos processos de circulação de água em aquíferos fraturados.

3.2 Análise do monitoramento dos parâmetros pH e CE

Os resultados obtidos com o monitoramento semanal dos parâmetros pH e CE são apresentados na tabela 2.

Os valores médios de pH indicam que todos os poços possuem águas levemente ácidas a neutras, com valores entre 6 e 6,8, fato também comprovado quando se observa os resultados de mediana (entre 5,99 e 6,84). No entanto, ao avaliar os valores máximos e mínimos, observa-se uma variação entre águas um pouco mais ácidas (valores entre 5,5 e 6), neutras e levemente básicas (entre 7 e 7,8).

Para o parâmetro CE, observa-se que os valores médios estiveram situados entre 116,5 e 259,7 μ S/cm, variação essa também acompanhada pela mediana (entre 118 e 262,4 μ S/cm). Com base nos valores máximos e mínimos da CE, pode-se identificar águas com baixo grau de mineralização (<100 μ S/cm) e águas um pouco mais mineralizadas (>200 μ S/cm).

Para avaliar a correlação entre os dois parâmetros foi gerado o gráfico da figura 3 com os valores mensais das médias de pH e CE. Embora tenha sido obtido um valor de R² médio baixo, é possível identificar uma relação, sendo que os poços com menores valores de pH também apresentaram menores valores de CE.

Os resultados obtidos indicam que as águas subterrâneas dessa região são, em geral, levemente ácidas e com baixo grau de mineralização, bem como apresentam variações

Tabela 1. Dados Hidrogeológicos e de Produção dos Poços Tubulares.
 Table 1. Hydrogeological and Production Data of Tubular Wells.

Código do Poço	Profundidade Final (m)	NE (m)	Fraturas-Entradas de Água-Profundidade (m)	Vazão (m³/h)*	Volume Explotado (m³/dia) / (m³/mês)
CBA02	74,8	30,3	15,5 e 52,7	13,6	(163,2) / (4896)
CBA03A	163,6	22,23	159	45	(720) / (21600)
CBA05	216	6,25	40	12	(192) / (5760)
CBA06	40	3,54	37	16	(192) / (5760)
CBA09	71,5	0,79	19, 23,5 e 53,5	30	(540) / (16200)
CBA10	90	1,86	8,5 e 16	32	(512) / (15360)
CBA11	98	1,28	14 e 22	30	(480) / (14400)
CBA12	86	10,27	21 e 61	20	(240) / (7200)
CBA16	114	1,36	53,35 a 59,20	15	(270) / (8100)
CBA17	141,5	0,15	101	24	(240) / (7200)
CBA18	150	2,54	56 e 80	13	(156) / (4680)
CBA19	122	2,44	34,38 e 112	50	(700) / (21000)
CBA20	140	0,13	74	20	(240) / (7200)
CBA26A	150	5,78	34 e 70	10	(100) / (3000)
CBA34	180	6,99	48,60,71	15	(210) / (6300)
Dados Estatísticos					
Mínimo	40	0,13	8,5	10	(100)/(3000)
Máximo	216	30,3	159	50	(720)/(21600)
Média	122,49	6,39	51,19	23,04	(330,35)/(9910,4)
Mediana	122	2,54	50,35	20	(240)/(7200)
Des.Pad.	46,80	8,69	33,64	12,15	(203,56)/(6106,77)

Tabela 2. Dados estatísticos dos parâmetros pH e CE dos poços monitorados.
 Table 2. Statistical data of the pH and EC parameters of the monitored wells.

Poço	pH					CE				
	Média	DP	Mediana	Máx.	Mín.	Média	DP	Mediana	Máx.	Mín.
CBA02	6,41	0,17	6,43	6,82	5,92	180,34	14,61	183,5	214	115
CBA03	6,81	0,24	6,84	7,49	6,17	259,70	17,67	262,4	296	230
CBA05	6,54	0,17	6,56	6,79	6,06	166,32	10,34	168	194	140,2
CBA06	6,67	0,21	6,71	7,17	6,14	181,90	12,31	185,2	211	155,6
CBA09	6,20	0,17	6,19	6,69	5,53	152,73	10,94	153	179,8	126,7
CBA10	6,00	0,11	5,99	6,37	5,82	122,94	9,99	126,3	146,2	98,1
CBA11	6,27	0,14	6,29	6,55	5,82	136,83	10,52	139,45	167,1	114
CBA12	6,17	0,20	6,17	6,91	5,75	122,80	13,85	124	149	89,9
CBA16	6,66	0,27	6,70	7,80	5,96	157,92	12,51	158,5	190,4	130
CBA17	6,64	0,21	6,67	7,13	6,03	190,06	11,08	190,9	222	164
CBA18	6,57	0,22	6,60	7,09	5,91	157,8	10,09	158,4	193	139
CBA19	6,49	0,20	6,53	7,02	5,80	153,47	9,98	154,1	185,5	130,2
CBA20	6,61	0,21	6,64	7,31	6,04	158,51	12,34	161	189,7	99,5
CBA26	6,47	0,22	6,5	7,07	5,82	116,15	9,08	118	136,1	97
CBA34	6,41	0,17	6,43	6,82	5,92	180,34	14,61	183,5	214	115

Figura 3. Distribuição de valores mensais de pH e CE.
Figure 3. Distribution of monthly values of pH and EC.

mensais dos valores de pH e CE. Essas variações são observadas quando analisados os valores máximos e mínimos e o desvio-padrão para a série semanal de dados de cada poço. Além disso, observa-se que, dependendo do poço as variações podem ser mais ou menos significativas.

Esses resultados estão de acordo com o encontrado por Bortolin (2014), que identificou a ocorrência de águas ácidas (pH entre 4,89 a 6,67), com baixa concentração de sólidos totais dissolvidos (STD entre 70,5 e 131,5 mg/l) e condutividade elétrica (CE entre 72 e 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Para o autor, a explicação dessas características estaria relacionada à profundidade das fraturas, que propiciam fluxos diferenciados de água, tendo reflexo no tempo de residência e na sua mineralização.

Além disso, se os resultados da CE forem comparados com as classes de condutividade definidas por Freitas *et al.* (2016) para as águas do SASG, observa-se que a maioria dos poços estão associados às classes 3 (CE entre 117,35 a 221,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e 4 (CE entre 10,21 a 117,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Para esses autores, as variações de CE do grupo C3 estão relacionadas a misturas de água de diferentes linhas de fluxo ou tempos de residência, enquanto as do grupo C4 indicam a ocorrência de águas mais jovens, que recarregam

o aquífero por meio da infiltração pelo manto de alteração das rochas vulcânicas.

3.3 Análise das fraturas (entradas de água), precipitação e produção dos poços com as variações de pH e CE

Visando identificar a existência de uma correlação entre as fraturas, precipitação e produção dos poços com as variações dos valores de pH e CE (Tab. 2) foram feitas diferentes análises.

3.3.1 Fraturas (Entradas de Água -E.A.)

A avaliação das fraturas foi realizada com base na profundidade e nas quantidades de ocorrência das entradas de águas nos poços (Fig. 4 e 5).

Analisando os gráficos da figura 4 pode-se evidenciar que o parâmetro CE tem maior correlação com a profundidade de ocorrência das fraturas, ou seja, poços que possuem E.A. mais profundas apresentam valores mais elevados de CE. Para o parâmetro pH, essa correlação também é evidenciada, sendo que há uma maior variação de valores de pH para os poços com entradas de água menos profundas.

Quanto aos gráficos da figura 5, pode-se

Figura 4. Relação entre os parâmetros pH (A) e CE (B) com a profundidade das fraturas (Entradas de Água - E.A.).
 Figure 4. Relationship between pH (A) and EC (B) parameters with the depth of fractures (water inlets - E.A.)

Figura 5. Relação entre os parâmetros pH (A) e CE (B) com a número de fraturas (entradas de água - E.A.), identificadas em cada poço.
 Figure 5. Relationship between pH (A) and EC (B) parameters with the number of fractures (water inlets - E.A.) identified in each well.

avaliar que dependendo do número de fraturas presentes em cada poço, haverá maiores ou menores variações dos parâmetros pH e CE. Para o caso do pH, observa-se que os poços que possuem apenas uma E.A. apresentam valores de pH mais elevados e mais próximos um do outro, enquanto os com maior quantidade de entradas apresentam maiores diferenças de pH. No caso da CE, observa-se que para o intervalo de 150 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ há ocorrência de poços com uma, duas ou três fraturas, sendo que aqueles com menor valor de CE apresentam duas. Isso pode ser explicado pelo fato de que os poços com uma fratura são os que tem a entrada localizada numa maior profundidade. Já, os poços contendo duas fraturas podem ter as mesmas localizadas em menores profundidades (exemplo: CBA10

e CBA11) ou em intervalos distintos (exemplo: CBA16 e CBA18).

Esses resultados são esperados visto que, a princípio, a circulação da água subterrânea ocorre de forma diferenciada, dependendo da quantidade e da profundidade de localização das estruturas. Essa circulação mais profunda pode estar associada a um maior tempo de residência, proporcionando assim, um aumento da CE. No caso do parâmetro pH, as variações também podem ser provocadas por mineralizações existentes nas fraturas, o que poderia explicar a ocorrência de maiores variações do pH observadas nos poços que apresentaram fraturas menos profundas e maior quantidade de E.A.

3.3.2 Precipitação

Os dados estatísticos da precipitação ocorrida durante o período monitorado são apresentados na tabela 3.

Observa-se que a precipitação média ocorrida durante o período monitorado foi de 168,81 mm, com valor máximo de 281,5 mm e mínimo de 6,4 mm. Embora exista uma diferença significativa entre os valores máximos e mínimos, observa-se que na maior parte dos meses (80%), houve uma precipitação mensal acumulada de

mais de 100 mm. Além disso, pode-se identificar que os períodos com menores valores de precipitação (<100 mm) ocorreram nos meses de agosto de 2015, maio e junho de 2016 e estiveram localizados entre períodos de precipitação mais elevada. Por outro lado, os meses em que ocorreram a precipitações acima de 200 mm foram junho, julho, setembro e outubro de 2015, bem como em março e abril de 2016.

Para avaliar a influência da precipitação nos valores de pH e CE foram gerados os gráficos apresentados na figura 6.

Tabela 3. Dados estatísticos da precipitação.

Table 3. Statistical rainfall data.

Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
6,4	281,5	168,81	195,6	81

Figura 6. Gráficos de correlação: A) entre a precipitação acumulada no mês com os valores médios do pH; B) entre a precipitação acumulada no mês com os valores médios de CE.

Figure 6. Correlation graphs: A) between the accumulated rainfall in the month and the average values of pH; B) between the accumulated rainfall in the month and the average values of EC.

Os gráficos demonstram que cada poço tem um comportamento diferente, apresentando variações mensais nos parâmetros pH e CE. Além disto, mostram que não há uma relação direta entre as precipitações e os valores de pH e CE. No entanto, para o parâmetro pH observa-se que entre os períodos 8, 9 e 10 de monitoramento mensal, houve uma redução do valor desse parâmetro em todos os poços. Esses períodos estão localizados entre meses onde ocorreram grandes volumes de precipitação (períodos 6 e 7 e períodos 11 e 12). Para o parâmetro CE, também há ocorrência de variações sendo que um comportamento mais geral é possível de observar a partir do mês 8, caracterizado por uma diminuição dos valores que se prolonga até o mês 10, marcada pelos menores valores de CE. Uma possível explicação para esse comportamento pode estar relacionada à ausência de um período prolongado de baixas precipitações, visto que na região, durante o período monitorado, em mais de 80% dos meses houve uma precipitação acumulada superior a 100 mm. Assim, a recarga pode ter sido mais efetiva ao longo da maioria dos meses, por isso não foi possível identificar uma correlação direta entre as precipitações e as variações dos parâmetros pH e CE.

Além disso, as oscilações nos valores dos dois parâmetros observadas em cada poço podem ser influenciadas pelos processos de infiltração no manto de alteração e circulação da água pelas fraturas que formam os aquíferos. O estudo realizado por Bortolin (2018) já demonstrou que a recarga do SASG inicia com o processo de infiltração da água e depende das condições de armazenamento do solo e do grau de fraturamento das rochas. Assim, a resposta da recarga em relação a precipitação vai ocorrer de forma diferenciada (mais rápida ou mais lenta) e isso poderia ter reflexo na composição da água subterrânea.

Assim, no caso da infiltração, a água da chuva passa pelo manto de alteração existente sobre as rochas vulcânicas até chegar nas fraturas. Então, dependendo das características físicas e da espessura do manto, a infiltração vai

ocorrer de maneira diferente podendo ter reflexo nos valores dos dois parâmetros. Já a circulação da água nos aquíferos fraturados vai acontecer dependendo das características estruturais do aquífero, o que também pode ter reflexo nos valores de pH e CE. Isso já foi observado nos trabalhos de Freitas *et al.* (2016) e Bortolin (2014).

3.3.3 Relação com a produção dos poços

Os dados mensais dos volumes explotados, bem como da análise estatística, são apresentados na figura 7 e tabela 4.

Na figura 7 é possível visualizar que cada poço apresenta variações mensais nos volumes, visto que a exploração ocorre para atender a demanda do abastecimento no município. Com base nos dados apresentados na tabela 4 e na comparação das médias dos volumes explotados com os volumes projetados, pode-se identificar que 66,67% poços tiveram uma exploração inferior à projetada. Entretanto, se analisarmos os valores máximos, observa-se que 73,33% dos poços tiveram o registro de um valor máximo superior ao volume mensal projetado. Esse comportamento de variações na exploração foi identificado e analisado por Dutra (2016).

Visando avaliar a influência da exploração nos parâmetros pH e CE foram gerados os gráficos que são apresentados na figura 8.

Analisando-se os gráficos, observa-se que também não há uma correlação direta entre os volumes explotados e as variações das médias dos parâmetros pH e CE. No entanto, entre o quinto e o décimo primeiro mês há um aumento progressivo dos volumes explotados (com o pico máximo registrado no oitavo mês), sendo que nos períodos seguintes (11 a 15) ocorrem menores oscilações mensais com o retorno do aumento da exploração no último mês monitorado. Esse comportamento poderia explicar as tendências de diminuições observadas, na maioria dos poços, nos parâmetros pH (entre o quarto e nono mês de monitoramento) e CE (entre o quarto e décimo mês de monitoramento).

Figura 7. Volume mensal explorado em cada poço.
Figure 7. Monthly volume explored in each well.

Tabela 4. Dados estatísticos dos volumes explorados em cada poço.
Table 4. Statistical data of the volumes explored in each well.

Poço	VP (m³/mês)	Média	DP	Mediana	Máximo	Mínimo
CBA02	4896	5403,467	157,16	5444	11376	5155
CBA03	21600	20648	893,32	20784	22078	19114
CBA05	5760	5233,267	499,39	5006	5964	4526
CBA06	5760	4974,333	1183,77	4530	6642	3175
CBA09	16200	8268,333	591,55	8128	9476	7449
CBA10	15360	7590,077	1947,20	6074	10244	5457
CBA11	14400	8918,722	2771,57	8428	15066	6657
CBA12	7200	4366,267	1824,29	5213	6692	2248
CBA16	8100	6891,933	1149,42	7309	8607	4029
CBA17	7200	7737,875	1612,67	7352,5	10125	5634
CBA18	4680	7810,733	1072,54	7949	8742	4283
CBA19	21000	15325,06	2231,38	15404	19760	12000
CBA20	7200	7539,467	1337,07	7907	9866	5239
CBA26A	3000	3935,267	203,41	3890	4341	3680
CBA34	6300	5536,375	1636,90	5505,5	7651	1820

VP - volume projetado para exploração (ver tabela 1).

Figura 8. Gráficos de correlação: A) entre os volumes mensais acumulados de todos os poços com as médias das variações mensais de pH; B) entre os volumes mensais acumulados de todos os poços com as médias das variações mensais de CE.

Figure 8. Graphs of correlation: A) between the accumulated monthly volumes of all wells with the averages of the monthly variations of the pH; B) between the accumulated monthly volumes of all wells with the averages of the monthly variations of the EC.

4 Conclusões

As águas subterrâneas do SASG na região de estudo apresentaram valores médios de pH entre 6 e 6,8, bem como CE entre 116,5 e 259,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo águas levemente ácidas a neutras com baixo grau de mineralização. Os dados mensais de monitoramento dos parâmetros pH e CE indicam a ocorrência de variações que podem ser influenciadas por diferentes fatores.

Os resultados demonstraram uma relação entre a profundidade e quantidade de fraturas com os valores de pH e CE. Em geral, poços que possuem fraturas mais profundas tendem a apresentar valores mais elevados para esses dois parâmetros. A quantidade de fraturas também tem influência, sendo que os poços com mais

de uma fratura, tendem a apresentar maiores variações nos parâmetros, principalmente no pH.

No caso da precipitação não se observa, uma relação direta entre a quantidade de chuva com as alterações dos parâmetros pH e CE, visto que as variações identificadas em cada poço são diferentes. Uma alteração geral ocorreu nos períodos 8, 9 e 10 para o pH e CE, marcada por uma redução nos valores desses parâmetros.

Na análise dos volumes mensais explorados também não se evidencia uma relação direta com as variações dos parâmetros de pH e CE. No entanto, ao se avaliar a exploração mensal total do conjunto de poços, há uma tendência de correlação entre aumento da exploração com a diminuição dos valores de pH e CE para alguns dos períodos monitorados.

Assim, as variações dos valores de pH e CE podem ser explicadas pelos processos de circulação de água pelo manto de alteração e pelas fraturas que formam os aquíferos da região, sendo afetadas em menor proporção pelos volumes de água da chuva precipitados e que são explotados dos poços.

Os resultados também demonstram a importância de manter-se um monitoramento contínuo da água subterrânea, pois a mesma pode apresentar variações nas suas propriedades físico-químicas. O monitoramento do parâmetro pH é realizado pela companhia de abastecimento, mas sugere-se que o parâmetro CE também seja monitorado. Como ele está associado ao grau de mineralização da água, a identificação de aumentos significativos acima das oscilações naturais já observados, poderiam indicar alterações na qualidade da água subterrânea.

Por fim, para um maior entendimento dos processos responsáveis pelas alterações de parâmetros físico-químicos da água sugere-se que sejam realizados estudos de monitoramento da água subterrânea, da água da chuva, bem como das variações naturais dos níveis de água.

Agradecimentos. Os autores agradecem a FINEP pelo financiamento do projeto HIDROFRAT e a CORSAN pela disponibilização de dados dos poços e autorização para realização do monitoramento.

Referências

Athayde, C.V.M., Athayde, G.B., Reginato, P.A.R. & Leão, M.I. 2017. Assinaturas Hidroquímicas dos Derrames Ácidos Localizados em Carlos Barbosa – RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 10., 2017. Curitiba. *Anais...* Curitiba, SBG.

Azevedo, J.H.de, Campos, J.E.G. & Boaventura, G.R. 2014. Influência dos fatores geológicos e hidrogeológicos na estabilidade química das águas freáticas no sul do estado de Tocantins. *Geociências*, 33(1): 73-88.

Backes, A. 2007. Precipitação Pluviométrica e Concentração de Nutrientes Minerais na Água da Chuva na Região da Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul,

Brasil. *Pesquisas, Botânica*, 58(1): 331-346.

Cunha, G.R., Santi, A., Dalmago, G.A., Pires, J.L.F. & Pasinato, A. 2009. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(4): 339-346.

Bortolin, T.A., Reginato, P.A.R., Leão, M.I. & Schneider, V.E. 2016. Relação entre Padrões Hidroquímicos e as Profundidades de Fraturas com Entradas de Águas em Rochas Vulcânicas Ácidas da Formação Serra Geral. *Revista Águas Subterrâneas*, 30(1): 99-118.

Bortolin, T.A. 2014. *Padrões Hidroquímicos e Isotópicos do Sistema Aquífero Serra Geral, no Município de Carlos Barbosa, Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 119p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Bortolin, T.A. 2018. *Estudo da Recarga do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas*. Porto Alegre. 220p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dutra, T.O. 2016. *Avaliação da Expotação de Poços Tubulares, no Sistema Aquífero Serra Geral, por Sistema de Monitoramento Automatizado*. Porto Alegre, 129p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Dutra, T.O., Reginato, P.A.R., Leão, M.I., Athayde, G.B. & Paim, R.A. 2016. Implantação e Uso de um Sistema de Monitoramento Automatizado para Avaliação da Produção de Poços em Região de Ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral. *Revista Águas Subterrâneas*, 30(3): 455-474.

Freddo Filho, V.J. 2018. *Qualidade das Águas Subterrâneas Rasas do Aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides, Pará*. Pará, 113f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Instituto de Geociências, Universidade Federal

- do Pará.
- Freitas, M.A., Roisenberg, A. & Andriotti, J.L.S. 2016. Análise Exploratória de Dados da Condutividade Elétrica nas Águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Revista Águas Subterrâneas*, 30(10): 1-17.
- Grott, S.L., Façanha, E.B., Furtado, R.N., Cunha, H.F.A. & Cunha, A.C.da. 2018. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23(4): 645-654.
- Hageman, S.E. & Gastaldini, M.C.C. 2016. Variação da Qualidade da Água da Chuva com a Precipitação: aplicação a cidade de Santa Maria-RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)*, 21(3): 525-536.
- Hajjar, K.L.E. 2016. *Estudo sobre a Ocorrência de Nitrato nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, Área Urbana do Município de Carlos Barbosa – RS*. Porto Alegre, 59p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Marion, F.A., Capoane, V. & Silvério da Silva, J.L.C. 2007. Avaliação da qualidade da água subterrânea em poço no campus da UFSM, Santa Maria – RS. *Ciência e Natura*, 19(1): 97-109.
- Marques, E.D., Tubbs, D. & Silva-Filho, E.V. 2008. Influência das Variações do Nível Freático na Química da Água Subterrânea, Aquífero Piranema – Bacia de Sepetiba, RJ. *Geochimica Brasiliensis* 22(3): 213-228.
- Mestrinho, S.S.P. 2008. Geoquímica das Águas Subterrâneas. In: Feitosa, F.A.C. et al. (Ed.) *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 3 ed. p.359-379.
- Reginato, P.A.R. 2003. *Integração de Dados para Prospeção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)*. Porto Alegre, 254p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Reginato, P.A.R., Ahlert, S., Gilioli, K.C. & Cemin, G. 2012. Caracterização Hidrogeológica e hidroquímica do aquífero livre localizado no manto de alteração da Formação Serra Geral, na bacia hidrográfica Taquari-Antas, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Ambiente & Água*, 7 (2): 143-162.
- Reginato, P.A.R., Leão, M.I., Bortolin, T.A., Dutra, T.Ode, Athayde, G.B. & Athayde, C.V.de M. Circulação da água subterrânea nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves, Anais...SBGE.
- Souza, R.B.Cde., Oliveira, L.M. de, Dias, N. da S., Carvalho, J.W.C.de & Gurgel, M.T. 2009. Variação sazonal das águas subterrâneas utilizadas para irrigação na microrregião de Tibau, RN. *Revista Caatinga*, 22 (4): 206-213.
- Udom, G.J., Nwznkwoala, H.O. & Jephthah, H.A. 2013. Seasonal variations in groundwater chemistry in parts of Yenagoa, Bayelsa State, Nigéria. *International Journal of Innovative Environmenta Studies Research*, 1(2): 40-54.