

XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

AVALIAÇÃO DA CIRCULAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM AQUÍFEROS FRATURADOS COM BASE NA INTERPRETAÇÃO DAS ENTRADAS DE ÁGUA E ESTRUTURAS DAS ROCHAS VULCÂNICAS NA REGIÃO DE CARLOS BARBOSA (RS).

Pedro Antonio Roehe Reginato¹; Taison Anderson Bortolin²; Marcos Imério Leão¹; Flávia Avila Dias³;
Tuane de Oliveira Dutra⁴; Rosana Alves Paim⁴

Resumo – Neste trabalho é apresentada uma avaliação da circulação da água subterrânea em aquíferos fraturados (Sistema Aquífero Serra Geral) com base na interpretação de dados geológicos, hidrogeológicos e de entradas de água identificadas em poços tubulares. A área de estudo está localizada no Município de Carlos Barbosa, no estado do Rio Grande do Sul. Na região há ocorrência de rochas vulcânicas ácidas (5 derrames) e básicas (2 derrames) que apresentam estruturas tectônicas (fraturas) e de resfriamento (disjunções). Os poços que captam água desses aquíferos possuem, na sua maioria, profundidades inferiores a 150 m, nível estático menor que 10 m, capacidades específicas e vazões baixas. Em geral, os poços apresentam até 3 entradas de água que estão localizadas em profundidades inferiores a 100 m e estão associadas as rochas vulcânicas ácidas. Os dados evidenciam que a circulação da água subterrânea é condicionada pelas estruturas e pela litologia e ocorre com mais facilidade em profundidades inferiores a 100m.

Abstract – In this paper a review of the circulation of groundwater in fractured aquifers (Serra Geral Aquifer System) based on interpretation of geological, hydrological data and water intakes identified in wells is presented. The study area is located in the city of Carlos Barbosa, in the state of Rio Grande do Sul. The area is the occurrence of acid volcanic rocks (5 flows) and basic (2 flows) that present tectonic structures (fractures) and cooling (disjunctions). The wells that capture water from these aquifers have, mostly depths less than 150 m, less than 10 m static level, specific capacity and low flow rates. In general, wells have up to 3 entrance of water that are located in depths less than 100 m are associated with the acidic volcanic rocks. The data show that the movement of groundwater is conditioned by the structure and the lithology and occurs more easily at depths less than 100 m.

Palavras-Chave – entradas de água, aquíferos fraturados, circulação de água

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Departamento de Hidromecânica e Hidrologia (DHH). Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970. Porto Alegre, RS. Fone: (51) 33086416. e-mail: pedro.reginato@ufrgs.br; imerio@iph.ufrgs.br

² Universidade de Caxias do Sul. Instituto de Saneamento Ambiental. Av. Francisco Getúlio Vargas, 1130, 95070-560. Caxias do Sul. Fone (54)32182509; e-mail: tabortol@ucs.br

³ Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Departamento de Projetos e Distribuição (DEPDIS). Rua Caldas Junior, 120 – 18 andar. Fone: 51-3215-5600 ramal 4548. e-mail: diasfla@gmail.com

⁴ Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH – UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970. Porto Alegre, RS. Fone: (51) 33086416. e-mail: tuanehidrica@gmail.com; rosana.a.paim@gmail.com;

1 - INTRODUÇÃO

Na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul há ocorrência de aquíferos fraturados que estão associados às rochas vulcânicas ácidas e básicas da Formação Serra Geral. Esses aquíferos são captados por poços tubulares sendo que a água subterrânea é utilizada para diferentes fins (abastecimento público e doméstico, indústrias, atividades agropecuárias, entre outros).

De acordo com Machado e Freitas (2005) e Viero e Silva (2010), os aquíferos fraturados presentes na região de estudo fazem parte do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e estão associados às rochas vulcânicas ácidas (riolitos, riodacitos) e básicas (basaltos). São aquíferos anisotrópicos que possuem capacidades específicas baixas (inferiores a $0,5\text{m}^3/\text{h/m}$). Nas áreas onde o grau de faturamento é mais desenvolvido, as vazões e as capacidades específicas podem ser maiores, mas em geral, são inferiores a $2\text{m}^3/\text{h/m}$.

Segundo Reginato (2003) e Reginato et. al. (2010) os aquíferos fraturados do SASG são condicionados pela ocorrência de estruturas tectônicas (sistemas de fraturas e falhas) e, secundariamente, pelas estruturas presentes nos derrames de rochas vulcânicas ácidas e básicas. Como as rochas vulcânicas podem ser ácidas (riodacitos) ou básicas (basaltos), formam derrames que possuem espessuras e estruturas de resfriamento diferentes que podem ser cortados por estruturas tectônicas, à circulação da água subterrânea vai estar condicionada a ocorrência dessas características e fatores.

Dessa forma, o estudo de circulação de água em aquíferos fraturados deve envolver a caracterização das entradas de água presentes em poços tubulares, pois com isso será possível identificar e caracterizar os diferentes tipos de entradas (quantidade, profundidade de ocorrência, tipo de litologia que estão associadas) e entender melhor a forma como ocorre a circulação da água subterrânea.

Em função disso, neste trabalho estão sendo apresentados os resultados da avaliação e caracterização das entradas de água, identificadas em poços tubulares que captam água do SASG, no município de Carlos Barbosa. Este estudo faz parte do Projeto HIDROFRAT (“Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados”), desenvolvido pela USP, UFRGS, UNB, UFES, financiado pela FINEP (CT-HIDRO 01/2010), apoiado pela CORSAN e que tem como objetivo principal, avaliar a circulação da água e de contaminantes em aquíferos fraturados.

2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Carlos Barbosa, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul e nas Bacias Hidrográficas Taquari-Antas e Cai. O município está

localizado a 676 m acima do nível do mar, sendo a altitude da sede de 618 m e as coordenadas geográficas de 29°18' de latitude sul e 51°30' de longitude oeste.

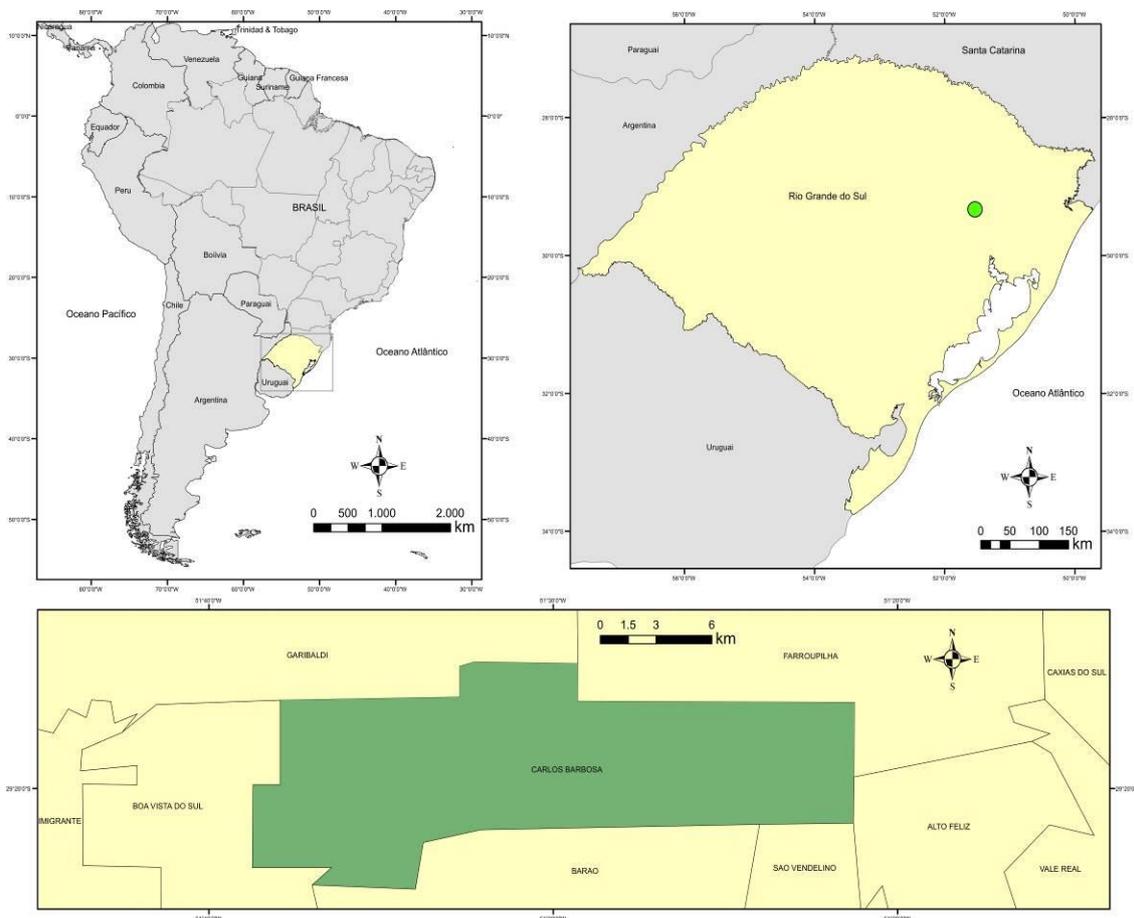


Figura 1 – Localização da Área de Estudo (Fonte: Bortolin, 2014).

3 – METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho foram realizadas as atividades relacionadas com o levantamento de dados geológicos e hidrogeológicos existentes, inventário e cadastramento de poços tubulares, seleção de poços, avaliação geológica e hidrogeológica da área de estudo e caracterização das entradas de água presentes nos poços tubulares.

O inventário e cadastro de poços tubulares foram realizados inicialmente, através do levantamento de informações existentes nos bancos de dados do SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas da CPRM) e da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento). Posteriormente foram realizadas campanhas de campo com o objetivo de efetuar o cadastro dos poços tubulares e obter outras informações que não estavam disponíveis nos bancos de dados consultados.

A seleção dos poços foi realizada tendo como critério a existência do perfil geológico-constructivo do poço tubular. Dessa forma, poços que não tinham essa informação disponível ou que

apresentavam descrições simplificadas ou duvidosas foram descartados. Os dados geológicos (litologias e estruturas das rochas disponíveis nos perfis) e hidrogeológicos (profundidade do poço, nível estático, entradas de água e vazão) foram organizados em uma planilha Excel.

A avaliação geológica foi realizada com base na interpretação de dados disponíveis nos perfis construtivos dos poços tubulares e nos dados obtidos com o levantamento de campo. O trabalho de campo foi realizado ao longo de perfis, onde foram descritas os diferentes tipos de rochas e estruturas presentes nos afloramentos identificados nesses perfis.

A descrição hidrogeológica da área foi feita com base na interpretação dos dados obtidos com o inventário, cadastramento e seleção dos poços. Para isso foram avaliados dados dos poços como profundidade, nível estático, entradas de água e vazão.

A caracterização das entradas de água e sua relação com as litologias e estruturas das rochas vulcânicas foi feita com base na interpretação dos dados obtidos nos perfis e dos dados geológicos levantados em campo. A caracterização envolveu a identificação do número, profundidade e tipo de rocha que está associada a entrada de água.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Geologia da Área de Estudo

Na região de estudo há ocorrência de rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas da Formação Serra Geral (Roisenberg e Viero, 2002). Conforme CPRM (2010) na área há ocorrência de duas unidades vulcânicas denominadas de Gramado e Palmas-Caxias. A unidade Palmas-Caxias é caracterizada por rochas ácidas do tipo riolitos e riodacitos de coloração cinza que estão dispostos em derrames que tem espessuras médias de 50 metros. Esses derrames possuem uma zona basal maciça (presença de vitrófiros), uma ampla zona com disjunção horizontal ou tabular e por uma zona de topo vesicular a amigdalóide. Já a unidade Gramado é marcada pela presença de basaltos e andesibasaltos, de coloração cinza escura, castanha e marrom que formam derrames com espessuras inferiores a 30 metros. As estruturas presentes nesses derrames estão associadas a zonas maciças localizadas na base, disjunção horizontal de pequena espessura e disjunção vertical mais desenvolvida na zona central do derrame e, no topo, zonas vesiculares a amigdalóides. Entre os diferentes tipos de derrames podem ser encontradas camadas de brechas vulcânicas.

Os dados obtidos com o levantamento geológico de campo e com a interpretação dos perfis geológico-construtivos dos poços permitiram identificar que na região há ocorrência de basaltos do tipo Gramado e riodacitos ou riolitos da unidade Palmas-Caxias (Figura 2). A análise das rochas e estruturas proporcionou a identificação da ocorrência de sete tipos de derrames vulcânicos, sendo dois básicos e cinco ácidos (Tabela 1).

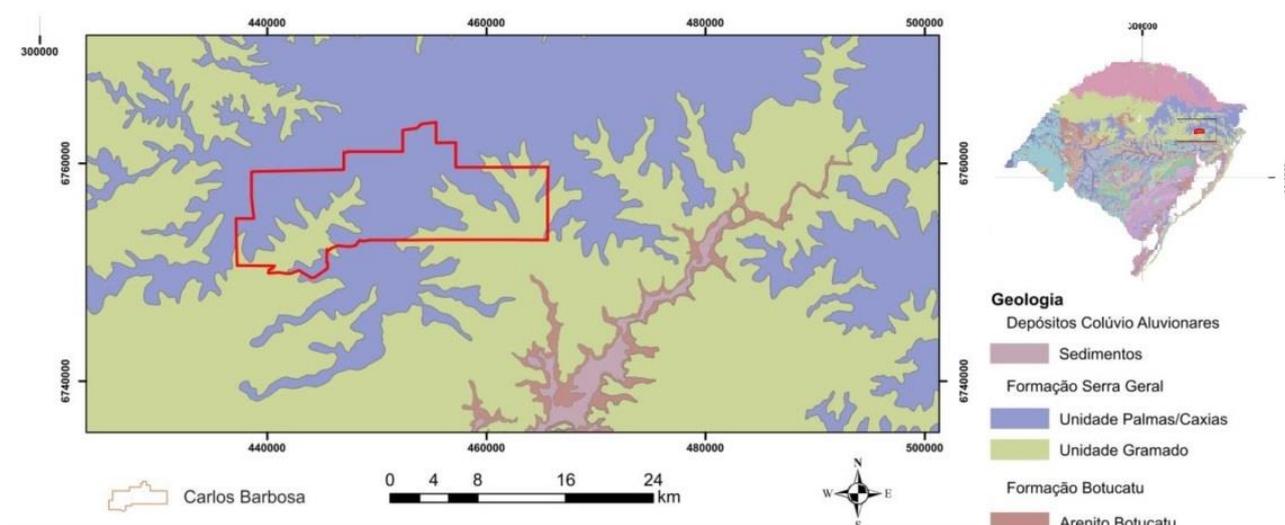


Figura 2 – Mapa Geológico da Área de Estudo (Fonte: adaptado de CPRM, 2010).

Tabela 1 – Tipos de Rochas Vulcânicas e Derrames Identificados na Área. (Fonte: Bortolin, 2014).

Altitude (Aproximada)	Rocha	Derrame
> 698	Riodacito	Derrame Ácido 5
649 a 698	Riolito / Dacito	Derrame Ácido 4
620 a 649	Riodacito	Derrame Ácido 3
561 a 620	Riodacito	Derrame Ácido 2
500 a 561	Riolito	Derrame Ácido 1
445 a 500	Basalto	Derrame Básico 2
até 445	Basalto	Derrame Básico 1

Com base na análise dos perfis pode-se observar que os derrames possuem espessuras diferentes, sendo que os básicos ocorrem abaixo dos 500 metros de altitude e os ácidos acima desse limite. Além disso, observa-se nesses perfis que os poços tubulares na sua maioria, captam água de aquíferos fraturados associados aos derrames ácidos.

No levantamento de campo foi possível identificar a ocorrência de circulação de água em diferentes pontos dos derrames. Em geral, no contato de derrames básicos onde há ocorrência de brechas vulcânicas, há evidências de circulação de água. Já nos derrames ácidos a circulação está associada, em geral, a disjunção horizontal e a zonas de brechas.(Figura 3).

Com o levantamento geológico de campo foi possível identificar que os derrames de rochas vulcânicas são cortados, em diferentes direções, por estruturas do tipo fraturas. Essas estruturas são verticais a sub-verticais, sendo que as principais estão orientadas para o quadrante NW (N00-10W) e NE (N60-80E). As fraturas que apresentaram evidencias de circulação de água possuíam

orientações NW (N00-10W) e NE (N70-85E). Já as fraturas que apresentaram preenchimento (zeolitas e carbonatos) possuíam orientações para NE (N50-60E; N10-15E) e para NW (N30-40W).



Figura 3 – Circulação de Água em Derrames Básicos (Imagem da Esquerda) e Ácidos (Imagem da Direita).

As fraturas que não apresentam preenchimento e que cortam os derrames, acabam conectando-se as estruturas primárias dos derrames e aos planos que podem ser gerados entre os contatos de derrames, favorecendo uma maior circulação e armazenamento de água subterrânea. Isso já foi observado por Reginato et. al. 2006 em áreas próximas ao município de Carlos Barbosa (região nordeste do Rio Grande do Sul, onde há ocorrência de rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas-Caxias).

4.2 – Hidrogeologia da Área de Estudo

Na área do município há ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral, sendo que os aquíferos estão associados às estruturas tectônicas (fraturas) e de resfriamento (disjunções) presentes nas rochas vulcânicas ácidas e básicas.

Ao todo foram identificados 137 poços tubulares na região, sendo que 76 possuíam dados de nível estático, 57 de capacidade específica, 74 de vazão e 53 poços continham informações sobre a quantidade e a profundidade das entradas de água (Tabela 2 e Figura 4). Os poços identificados captam água de quatro derrames de rochas ácidas e dois de rochas básicas. Na figura 5 são apresentadas seções geológicas com a distribuição dos derrames e de alguns poços, evidenciando que dependendo da localização do poço e de sua profundidade, o mesmo pode captar água subterrânea, através de entradas de água localizadas em diferentes derrames de rochas vulcânicas ácidas e básicas.

Tabela 2 – Dados dos Poços Tubulares Identificados na Área de Estudo.

Código	Profundidade	NE	Capacidade específica	Vazão	Entrada de água	Derrame
CBA02	74,8	30,3		13,655	15,5 e 52,7	Ácidas
CBA03A	163,65	22,2	0,594	45	21,26 e 159 (25 a 35)	Ácidas e Básicas
CBA04A	162	44,8	0,89	35	158	Ácidas e Básicas
CBA05A	216	6,25	0,29	12	40	Ácidas e Básicas
CBA06	40	3,54		16	37	Ácidas
CBA09	71,5	0,79		22	19 e 23,5 e 53,5	Ácidas
CBA10	90	1,86		32,15	8,5 e 16 (14,34 a 22,99)	Ácidas
CBA11	98	1,28		20	14 e 22 (14,25 a 21,25)	Ácidas
CBA12	86	10,2		20	5,21,61 (13,73 a 20,23)	Ácidas
CBA16	114	1,36	0,568	25	(53,35 a 59,20)	Ácidas
CBA17	141,5	0,15	3,051	24	3 e 101	Ácidas e Básicas
CBA18	150	2,54	0,1061	9	56 e 80	Ácidas e Básicas
CBA19	122	2,44	0,4697	50	34,38,112	Ácidas e Básicas
CBA20	140	0,13	0,201	20	74	Ácidas e Básicas
CBA34	180	6,99	0,19	12	48,60,71	Ácidas e Básicas
CBA05	57	0,8	0,734	12,86	5,13,19	Ácidas
CBA14	168	6,82		2,47	28	Ácidas e Básicas
CBA15	181	1,58		4,26	18,5	Ácidas e Básicas
CBA21	96	6,9	0,39	30	50,75,84	Ácidas e Básicas
CBA22	124	1,62	0,195	20	30,78,112	Ácidas
CBA22A	126	6,21	0,35	12	66, 78	Ácidas
CBA33	174	22,7	0,916	25	52	Ácidas
CBA22B	132				28	Ácidas
CBA37	120	29,8		9,32	34-40, 50-53, 68-70, 106-108	Ácidas
IJ286	150	6,09	0,172	11	34, 70	Ácidas e Básicas
IJ301	201	61,0	0,132	3,01	4,5,65,85,143,5	Básicas
G15 CB1	80	29,5		3,4	68,5	Ácidas
G690 CB7	123	15,1		4,58	17,5, 34, 100	Ácidas
IR732	96	27	1,67	8,1	70	Ácidas
IR734	76	43	0,448	5,4	50	Ácidas
IR734	60	11,4	0,441	9,5	50	Ácidas
IR673	85	25	0,63	15,75	33,4	Ácidas e Básicas
IR677	120				63,66,72	Ácidas e Básicas
IR688	80	7	0,348	8	18,26,47,74	Básicas
IR695	117				3,10,52	Básicas
IR701	76	1	1,867	16,8	8,16,75	Ácidas
IR646	133	4,62	0,607	14,4	25,70,92,105	Ácidas
IR648	150				29,42,81,111	Ácidas e Básicas
IR649	200				27,69,135,167	Ácidas e Básicas
IR651	100	0,5	2,017	23,3	24,3 e 37,6	Ácidas
IR652	100	4,56	1,479	17,6	16,72,80,88	Ácidas
IR654	150	75	1,905	9,279	94	Ácidas
IR655	123	42	0,25	12	112	Ácidas
IR663	108	2	0,521	15,87	51,95	Ácidas
IR664	200	0,68	0,12	8,6	40 a 44 e 50 a 54	Ácidas e Básicas
IR710	40	7	1,667	30	34	Básicas
IR715	200				28,48,90	Básicas
IR716	85	69	1,333	4	8 e 82	Básicas
IR718	90	30	0,5	10	45 e 60	Ácidas
IR723	128	36		1,62	32,47,69 e 85,9	Ácidas
IR726	130	4	0,023	1,5	25 e 55	Ácidas e Básicas
IR727	120	7	0,11	8	68, 90 e 98	Ácidas e Básicas
IR665	150	3,3	0,497	30,46	31 e 85	Ácidas e Básicas

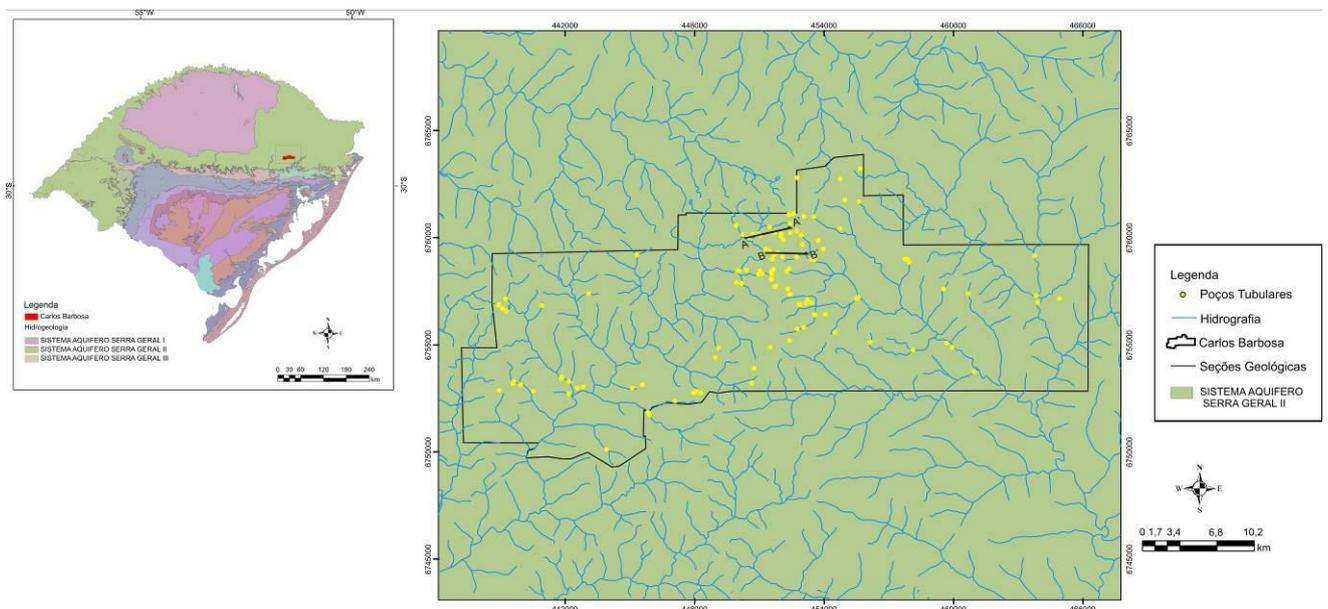


Figura 4 – Mapa de Localização dos Poços Tubulares Identificados na Área do Município (Fonte: Bortolin, 2014).

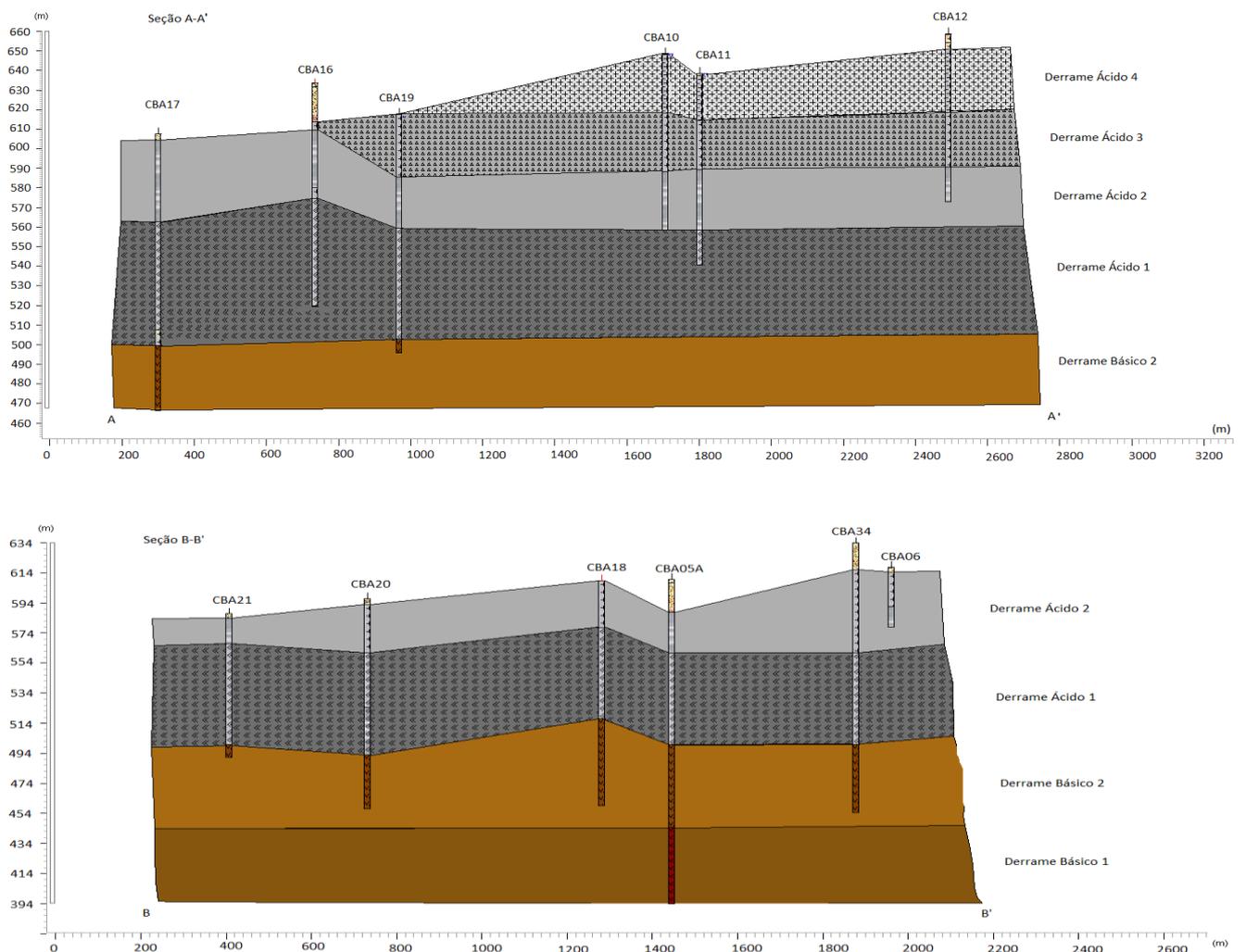


Figura 5 – Seções Geológicas Representativas das Distribuições dos Derrames de Rochas Ácidas e Básicas e Sua Relação Com Poços Tubulares (Fonte: Bortolin, 2014).

A análise dos dados hidrogeológicos e construtivos dos poços permitiu avaliar características e parâmetros como: profundidade dos poços, nível estático, capacidade específica e vazão (Figura 6).

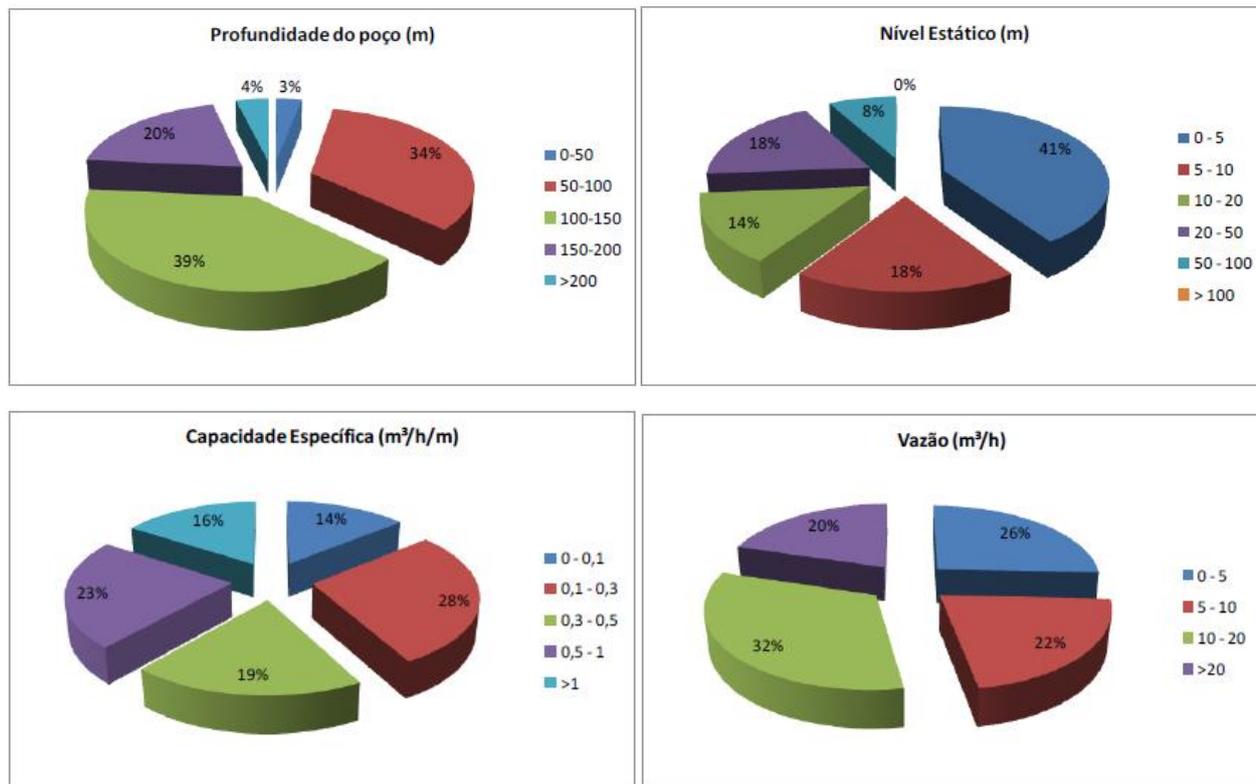


Figura 6 – Gráficos da Profundidade dos Poços, Nível Estático, Capacidade Específica e Vazão (Fonte: Bortolin, 2014).

Analisando os gráficos apresentados na Figura 6 observa-se que os poços apresentam profundidades variadas. Na maioria dos casos, os poços apresentam profundidades entre 50 e 150 m. São poucos os poços com profundidades superiores a 150 m. Isso poderia evidenciar que o intervalo entre 50 e 150 metros corresponde ao intervalo onde as estruturas (fraturas e disjunções) apresentam-se mais abertas, favorecendo a circulação e armazenamento da água subterrânea. Esse fato já foi observado por Giardin (1997) que considera a profundidade de 120 metros como a ideal para poços perfurados em aquíferos fraturados. Já para Hausman (1995) a circulação de água nas rochas vulcânicas ocorre mais facilmente até as profundidades de 140 metros, sendo que acima de 300 metros há uma dificuldade muito grande de circulação, pois as estruturas podem estar fechadas em função da pressão do maciço rochoso.

Com relação ao nível estático observa-se que os poços apresentam níveis de água localizados em diferentes profundidades, sendo que a maioria está localizada em profundidades inferiores a 10 metros (59%). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato que um poço pode apresentar mais de uma entrada de água que podem estar localizadas em diferentes profundidades. Em função disso, a pressão passa a ser maior proporcionando uma elevação do nível estático.

Com relação aos parâmetros hidrogeológicos observa-se que as capacidades específicas são inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ (61%) e as vazões dos poços são variáveis, sendo que a maioria é menor que $20 \text{ m}^3/\text{h}$ (80%).

4.3 – Caracterização das Entradas de Água e Avaliação da Circulação

A caracterização das entradas de água envolveu a determinação do número de entradas de água identificadas nos poços tubulares, a profundidade de ocorrência das entradas de água e a relação entre as entradas com os derrames e as litologias vulcânicas. Na figura 7 são apresentados os gráficos com a representação dos parâmetros analisados.

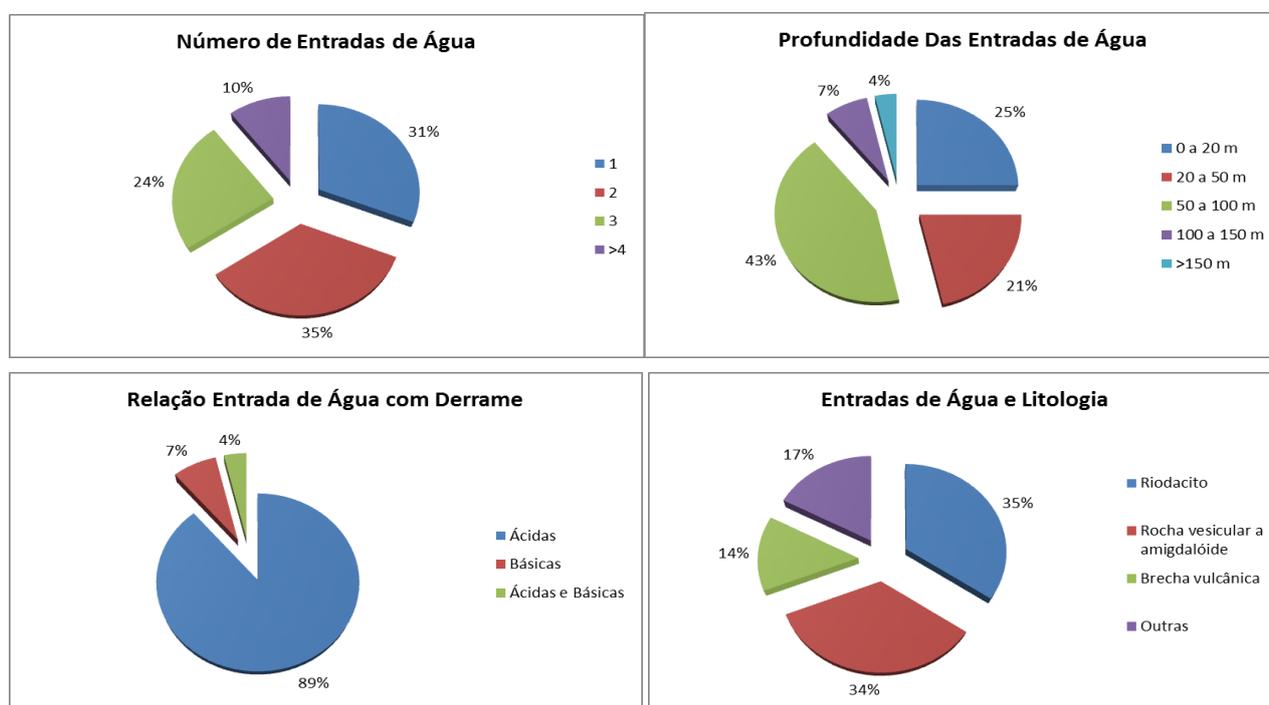


Figura 7 – Número, Profundidade e Relação das Entradas de Água com os Derrames e a Litologia.

Em geral, os poços tubulares possuem até 3 entradas de água (90%), mas podem apresentar um maior número dependendo da profundidade do poço e da quantidade de derrames que o mesmo atravessa. A localização das entradas de água, na sua maioria está relacionada com o intervalo de profundidade de 20 a 100 m (64%). No entanto, observa-se que alguns poços apresentam entradas localizadas a profundidades inferiores a 20 m (25%) e outros superiores a 100 m (11%). Isso evidencia que até 100 metros de profundidade há uma tendência maior de encontrar estruturas (fraturas e disjunções) abertas. Como os poços cortam mais de um derrame, os mesmos poderão interceptar mais de uma estrutura.

Analisando-se a relação das entradas de água com os derrames e as litologias observa-se que na maior parte dos casos as entradas de água estão relacionadas a diferentes derrames de rochas vulcânicas ácidas (89%). Poucos poços apresentam entradas localizadas nos derrames de rochas básicas (7%). No caso das litologias, observa-se que as entradas estão associadas a Riodacitos (35%), rochas ácidas vesiculares a amigdaloides (34%) e brechas vulcânicas (14%).

A análise conjunta dos dados permitiu avaliar que a circulação da água subterrânea é condicionada pelas estruturas tectônicas (fraturas), pelas estruturas de resfriamento das rochas vulcânicas (disjunções) e pelas litologias. Quando há ocorrência de fraturas que cortam diferentes derrames, há conexão entre as estruturas tectônicas e de resfriamento, favorecendo a circulação e o armazenamento da água subterrânea. Dessa forma, como os poços tubulares apresentam diferentes profundidades, interceptando diferentes derrames e estruturas, os mesmos podem apresentar mais de uma entrada de água. Além disso, observa-se que a circulação de água ocorre mais facilmente em profundidades inferiores a 100 m, visto que em profundidades maiores, em função da pressão do maciço rochoso, as estruturas apresentam menores aberturas ou estão fechadas. Por fim, observa-se que os níveis de disjunção horizontal dos riodacitos, as zonas vesiculares das rochas vulcânicas ácidas e básicas, bem como as zonas de ocorrência de brechas vulcânicas têm influência na circulação de água subterrânea.

5 – CONCLUSÕES

Na região envolvida pelo município de Carlos Barbosa a água subterrânea está associada a aquíferos fraturados que fazem parte do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). A ocorrência e circulação da água subterrânea é condicionada pela existência de estruturas tectônicas (fraturas), estruturas de resfriamento das rochas vulcânicas (disjunções e estrutura vesicular), contato entre derrames e litologia (brechas e rochas vulcânicas vesiculares).

Na área de estudo há ocorrência de cinco derrames de rochas vulcânicas ácidas (riodacitos, riolitos) que ocorrem sobrepostos a dois derrames de rochas vulcânicas básicas (basaltos). Nesses derrames há ocorrência de estruturas de resfriamento do tipo: maciças, disjunção horizontal, vertical e vesicular a amigdalóide. Além disso, os derrames podem ser cortados por estruturas tectônicas (fraturas) que estão conectadas com as estruturas de resfriamento.

Os poços tubulares identificados na região, na sua maioria, apresentam profundidades inferiores a 150 metros, nível estático menor que 10 metros, capacidades específicas e vazões baixas. Dependendo da localização do poço e da sua profundidade, os mesmos cortam diferentes derrames ácidos e básicos e apresentam mais de uma entrada de água, que estará localizada em diferentes níveis de profundidade.

Em geral os poços tubulares apresentam até 3 entradas de água, que estão localizadas em profundidades inferiores a 100 m, estão associadas a diferentes derrames de rochas ácidas e a rochas do tipo riodacito, rochas vesiculares a amigdaloides e brechas vulcânicas.

Esses dados evidenciam que a circulação da água subterrânea nos aquíferos fraturados da região ocorre com mais facilidade pelas estruturas tectônicas e de resfriamento, em profundidades inferiores a 100 metros. Nesses níveis, em função de uma pressão menor do maciço, as estruturas permanecem abertas facilitando a circulação e o armazenamento da água subterrânea.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTOLIN, 2014. Padrões Hidroquímicos e Isotópicos do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Carlos Barbosa, Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. IPH/UFGRS. Porto Alegre, 2014. 119 pg.

CPRM, 2010. Mapeamento geológico integrado da bacia hidrográfica do Guaíba: carta geológica: Folha SH.22-V-D – Caxias do Sul. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Porto Alegre (Brasil). 1 mapa color. Escala 1:250.000. Material cartográfico.

GIARDIN, A., 1997. Hidrogeologia das Rochas Fraturadas. DNPM/ABAS. Florianópolis. Apostila. 43p.

HAUSMAN, A., 1995. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS. Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia, Série Mapas. Nº 2. P-1-127.

MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. de., 2005. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre. CPRM. 65p. il. mapa.

REGINATO, P.A.R., 2003. Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS). 2003. 254p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais (UFRGS), Porto Alegre.

REGINATO, P.A.R.; FINOTTI, A. R.; MICHELON, C., 2006. Relação entre Estruturas Primárias e a Locação de Poços Tubulares: Análise Preliminar. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006. Curitiba. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

REGINATO, P.A.R.; AHLERT, S.; GILIOLI, K.C., 2010. Hidrodinâmica de Diferentes Aquíferos Fraturados Associados à Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*. São Luís, MA. Agosto, Cd-Room.

ROISENBERG, A.; VIERO, A.P. 2002. O Vulcanismo Mesozoico da Bacia do Paraná no Rio

Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L.F. (Edit.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. Porto Alegre, 2000. 444p. il.- Edição Revista.

VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da (Orgs.), 2010. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2010. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil - PGB. Levantamento da Geodiversidade.