

# CONDICIONANTES GEOLÓGICOS DOS AQUÍFEROS FRATURADOS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL E SUA RELAÇÃO COM A LOCAÇÃO DE POÇOS TUBULARES.

Pedro Antônio Roehé Reginato<sup>1</sup>; Adelir José Strieder<sup>2</sup>

## Resumo

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a relação existente entre os diferentes condicionantes dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral e a locação de poços tubulares. A área de estudo localiza-se na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul e em parte da bacia hidrográfica Taquari-Antas. Nessa região os condicionantes geológicos e hidrogeológicos identificados estão relacionados com o sistema estrutural (fraturas e zonas de fraturas), relevo, litologias (tipos de rochas e estruturas primárias), e solos. Desses, o sistema estrutural e o relevo são os de maior importância, visto que a ocorrência de aquíferos depende dos mesmos. Dessa forma, a locação de poços tubulares deve levar em consideração a existência de fraturas e zonas de fraturas, a tipologia e orientação dessas estruturas, bem como o grau de dissecação do relevo.

## Abstract

This paper aims has for objective to present the existent relationship among the different contingents of the fractured aquifers of the Formation Serra Geral and the location of tubular wells. The study area is located in the northeast area of the state of Rio Grande do Sul and partly of the basin hidrográfica Taquari-Antas. In that area the geological and hidrogeological contingents identified are related with the structural system (fractures and fractures zones), relief, lithology (types of rocks and primary structures), and soils. You gave the structural system and the healthy relief the one of larger importance, because the aquifers occurrence depends on the same. In that way, the location of tubular wells should take into account the existence of fractures and areas of fractures, the typology and orientation of those structures, as well as the degree of dissection of the relief.

**Palavras-Chave** – condicionantes de aquíferos fraturados, locação de poços tubulares.

---

<sup>1</sup> Universidade de Caxias do Sul (UCS), Departamento de Ciências Biológicas (DCBI/CCBS), Setor de Geociências (MUCS). Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130. Caxias do Sul, CEP95070-560. Tel/FAX. 54-32182100. e-mail: [parregin@ucs.br](mailto:parregin@ucs.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharia (EE), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN). Av. Osvaldo Aranha, 99 sala 502B. Porto Alegre/RS. CEP90035-190. e-mail: [adelir@ufrgs.br](mailto:adelir@ufrgs.br)

## **1 – INTRODUÇÃO**

A região nordeste do estado do Rio Grande do Sul consiste numa das áreas de maior desenvolvimento do estado, caracterizada por um elevado grau de urbanização, densidade demográfica de 40ha/km<sup>2</sup> e taxas de crescimento populacionais altas. As principais atividades econômicas estão associadas ao setor industrial (pólo metal-mecânico do estado) e ao setor agropecuário (Leite; Haase, 1999).

Em função dessas características, a utilização da água subterrânea nos diferentes setores passa a ser cada vez mais importante, visto que os recursos hídricos superficiais em algumas áreas são escassos e em outras estão no limite de capacidade de produção. A importância dessa utilização é melhor evidenciada quando analisamos a quantidade de municípios que dependem dos recursos hídricos subterrâneos para abastecimento da população (caso de Flores da Cunha, Nova Roma, Nova Pádua, Monte Belo do Sul, entre outros). Além disso, se levarmos em conta o abastecimento das comunidades rurais veremos que quase todas são abastecidas por esses recursos (através de poços tubulares, fontes ou poços cacimbas). Além disso, a região possui alto índice de crescimento industrial o que acarreta numa maior utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Em função dessa crescente necessidade de utilização da água subterrânea há um aumento significativo da perfuração de poços tubulares na região. Essa perfuração é realizada em diferentes locais, definidas por variadas técnicas de prospecção (geológica, geofísica e empírica). Nem sempre há sucesso nas perfurações sendo que, em algumas regiões, o índice de poços nulos é elevado.

Este trabalho tem por objetivo promover uma análise dos diferentes condicionantes geológicos e hidrogeológicos dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral e suas relações com a existência de água subterrânea, propiciando com isso uma melhoria nos processos de locação.

## **2 - LOCALIZAÇÃO**

A área abrangida nesse trabalho está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, compreende parte da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas e envolve a área de onze municípios (Veranópolis, Cotiporã, Bento Gonçalves, Farroupilha, Caxias do Sul, Flores da Cunha, São Marcos, Nova Pádua, Nova Roma do Sul, Monte Belo do Sul e Antônio Prado – Figura 1).

## **3 – GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA REGIONAL**

Na área de estudo há a ocorrência de uma seqüência de rochas vulcânicas pertencentes a Formação Serra Geral. As principais litologias são representadas por basaltos toleíticos, andesitos, riolitos, dacitos e dacitos (Radam/Brasil, 1986; Roisenberg, 1990).

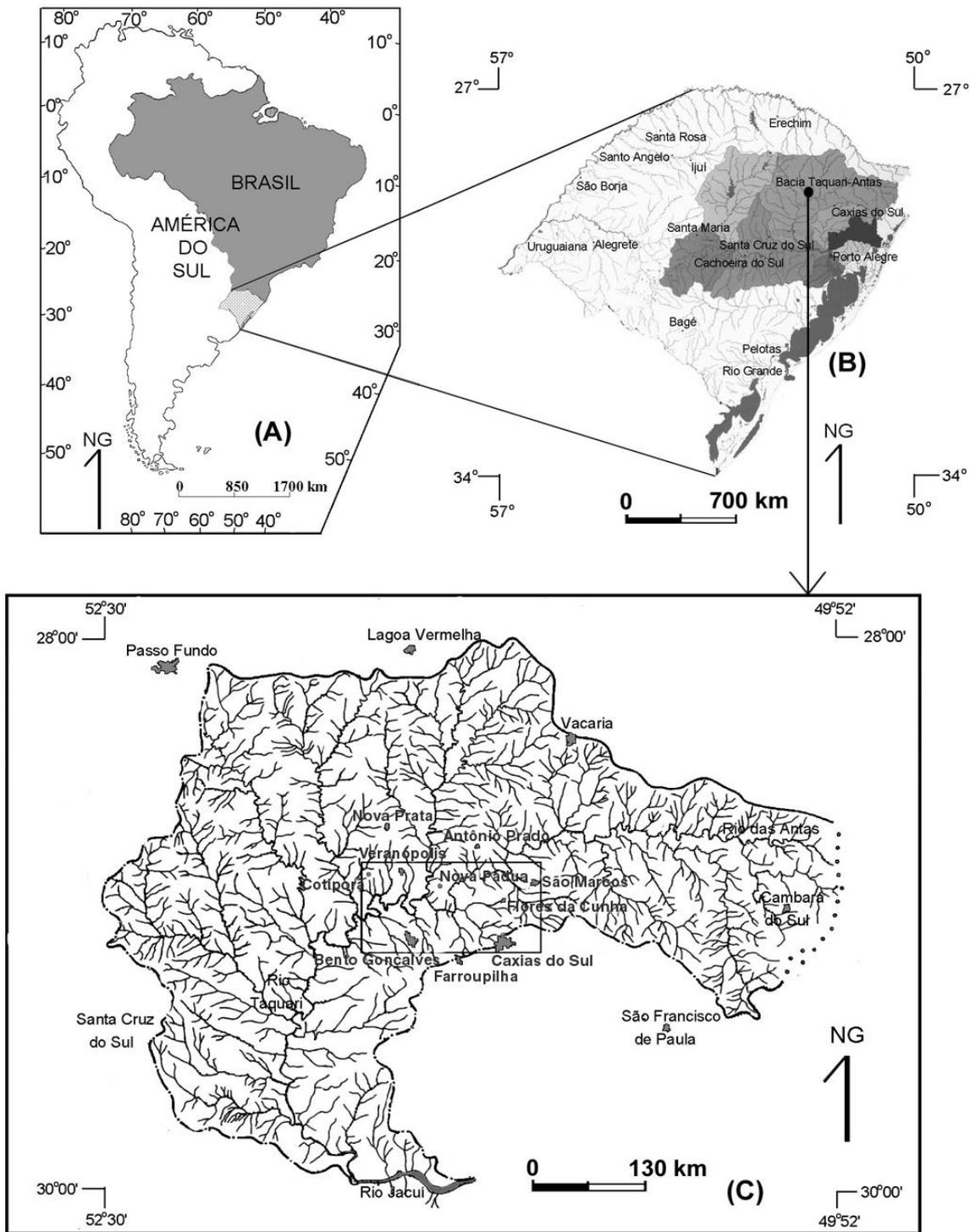


Figura 1 – Localização da área de estudo e relação com a bacia hidrográfica Taquari-Antas

Conforme levantamento realizado pela CPRM (1998), há duas seqüências principais de litologias na área de estudo: basaltos do tipo Gramado e vulcânicas ácidas do tipo Palmas/Caxias.

A Formação Serra Geral, na região de estudo, foi condicionada por um forte controle tectônico marcado pela presença de falhas e fraturas com direções preferências N70-75E, N35-40E

e N20-30W (Magna, 1997). Esse controle é observado pela disposição da rede de drenagem que ocorre encaixada nos principais lineamentos estruturais.

Com relação à hidrogeologia, a área de estudo está inserida na província hidrogeológica denominada de “Província Basáltica” (Hausman, 1995). Conforme Lisboa (1993, 1996) a área está localizada na unidade morfotectônica denominada de Fachada Atlântica e nas unidades hidrogeológicas denominadas de Ácidas Aplainadas e Ácidas Dissecadas. A primeira unidade é caracterizada por rochas ígneas vulcânicas ácidas associadas a um relevo pouco dissecado e a um manto de alteração de espessura média. Os lineamentos são de médio a pequeno porte com orientação preferencial para nordeste. Essa unidade possui um bom potencial com relação à presença de aquíferos. A segunda unidade apresenta um relevo com grau de dissecção forte, solos com pequena espessura e lineamentos de pequeno a médio porte, o que a torna uma área com baixo potencial de ocorrência de aquíferos.

Os aquíferos existentes nessa província hidrogeológica e, conseqüentemente, na Formação Serra Geral são denominados de livres ou freáticos e fraturados (Reginato, 2003; Reginato; Strieder, 2004, 2005). O aquífero livre está localizado no manto de alteração existente sobre as rochas vulcânicas e possui como principais condicionantes os seguintes fatores: solo (tipo e espessura), relevo, litologia (tipo e estruturação primária) e clima. As águas subterrâneas desse aquífero são captadas por meio de poços escavados (poços cacimba) ou através de fontes (bastante comuns na região em função da topografia). Essas águas são utilizadas para abastecimento público, doméstico e no desenvolvimento de atividades agropecuárias, nas zonas rurais. O aquífero fraturado está localizado nas rochas vulcânicas sendo seus condicionantes as estruturas tectônicas, a litologia e estruturação primária, o relevo e o solo (tipo e espessura). Esse aquífero é caracterizado por uma forte anisotropia, responsável por vazões variáveis e por capacidades específicas, em geral baixas. A forma de captação das águas subterrâneas ocorre por meio de poços tubulares.

#### **4 – CONDICIONANTES DOS AQUÍFEROS FRATURADOS**

Os fatores condicionantes da hidrogeologia de aquíferos fraturados (qualitativa e quantitativamente) estão relacionados com fatores exógenos e endógenos (Costa, 1965, 1986). Os fatores exógenos são as características climáticas da região, a hidrografia, o relevo, a vegetação e os solos. Os fatores endógenos estão representados pela litologia e pelo sistema estrutural predominante nas rochas.

Conforme Reginato (2003) os condicionantes dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral estão representados pelo padrão estrutural, pelo relevo, pela litologia (tipo de rocha e estruturação primária) e pelo solo (tipo e espessura). Dessa forma na locação de poços tubulares

deve-se realizar um levantamento desses condicionantes para que as chances de ocorrência de água subterrânea sejam maiores.

#### 4.1 – Padrão Estrutural

O sistema estrutural consiste no principal condicionante geológico da ocorrência de aquíferos fraturados. A sua caracterização foi realizada com base no levantamento e análise de dados obtidos em campo e na interpretação de lineamentos extraídos de fotografias aéreas (Reginato, 2003, Reginato; Strieder 2001, 2005).

Pela análise dos dados de campo, observou-se que o sistema estrutural é caracterizado por estruturas identificadas como fraturas, zonas de fraturas, veios e diques. A orientação geral das fraturas é para o quadrante NE, sendo as direções preferenciais representadas pelos rumos N70 – 80E e N80 – 90E e, as secundárias pelas orientações N20 – 30W e N80 - 90W, evidenciando a presença de um sistema ortogonal. As fraturas que apresentam preenchimento têm orientações N70 – 80E, N00 – 10E, N10 – 20W, N60 – 90W. As zonas de fraturas possuem direções preferências marcadas pelos rumos N70 – 90E, N00 – 10E e N70 – 90W. Já os diques possuem orientação variada entre N20 – 70E.

Pela análise cinemática, evidenciou-se a presença de um forte controle tectônico, marcado pela atuação de dois campos tensionais principais (o primeiro campo tensional tem direção de compressão  $\sigma_1$  horizontal de orientação 082° e uma direção de tração  $\sigma_3$  horizontal de orientação 352°; o segundo campo possui orientação de compressão  $\sigma_1$  igual a 174° e uma direção de tração igual a 264°). Para ambos os campos as fraturas paralelas e sub-paralelas à direção de compressão são denominadas de trativas, enquanto as outras são definidas como oblíquas. Nesse caso, as fraturas trativas, em geral, apresentam preenchimento, enquanto que as oblíquas podem ou não.

A análise dos lineamentos obtidos da interpretação de fotografias aéreas permitiu a identificação de 4154 estruturas separadas em quatro grupos principais (N-S; NE; NW e E-W). A análise estatística desses grupos mostra que há variações significativas na distribuição, orientação e comprimento de lineamentos para diferentes regiões, sendo que as estruturas nordeste predominam sobre as noroestes.

Analisando-se essa caracterização, observa-se que na área de estudo há uma grande quantidade de estruturas que apresentam comportamentos variados e que podem ou não estar associadas a aquíferos fraturados. Dessa forma para a locação de poços tubulares além da identificação de estruturas é necessário que sejam feitas análises geométricas, cinemáticas e dinâmicas visando a caracterização das estruturas identificadas e a definição da provável estrutura condicionadora dos aquíferos fraturados.

## 4.2 – Relevo

O relevo corresponde ao segundo condicionante em importância dos aquíferos fraturados, pois áreas que apresentam fortes graus de dissecação são, em geral, regiões de descarga.

A análise desse condicionante foi realizada com base na interpretação dos graus de dissecação do relevo em cartas topográficas, em escala 1:50.000 do Serviço Geográfico do Exército e pelo modelo digital de elevação elaborado para a região (Figura 2).

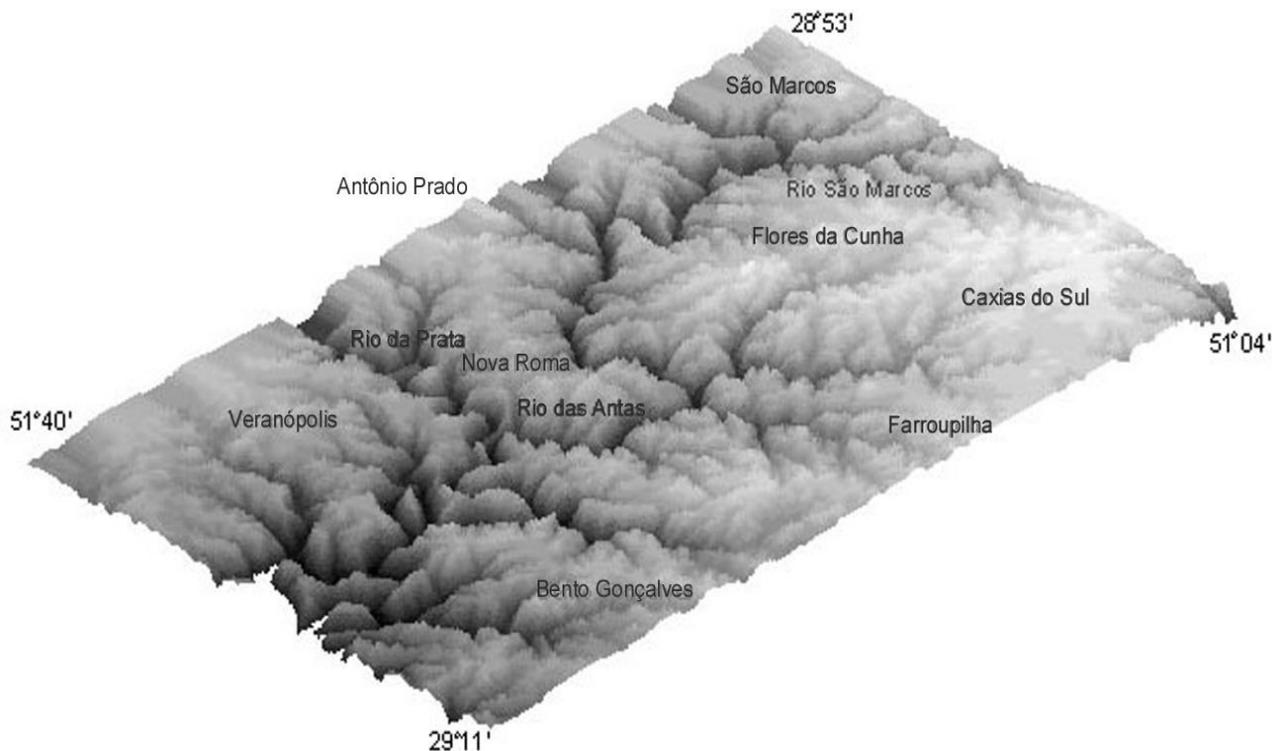


Figura 2 – Modelo Digital de Elevação da região de estudo.

Na análise desses produtos pode-se identificar a existência de três grandes regiões que apresentam graus de dissecação médios a fortes. A primeira região corresponde a calha do Rio das Antas, que apresenta uma orientação preferencial para leste-oeste e um amplo vale na forma de “V” (larguras de 1000 m e desníveis médios de 450 m), com vertentes retilíneas e íngremes, convexas-côncavas e terraços escalonados. A segunda região está associada ao vale do Rio da Prata, que apresenta uma orientação preferencial norte-sul com larguras inferiores a 800 metros e desníveis médios de 400 metros. A terceira região corresponde ao vale do Rio São Marcos que apresenta o menor grau de dissecação. Além disso observou-se áreas com baixos graus de dissecação, representadas pelas regiões de Caxias do Sul (alto topográfico) e Farroupilha.

Com base nessa caracterização, observa-se que as áreas que apresentam relevos com graus de dissecação médios a altos são áreas menos favoráveis para a ocorrência de água subterrânea, pois há uma tendência de serem regiões de descarga, caracterizadas pela formação de fontes.

### 4.3 – Litologia

A litologia corresponde ao terceiro condicionante dos aquíferos fraturados, visto que dependendo do tipo de rocha e de sua estruturação primária haverá maior ou menor chance de ocorrência de água subterrânea. A caracterização desse fator foi realizada com base no mapeamento geológico de campo e por meio da fotointerpretação.

Segundo Reginato (2003) a região é caracterizada por uma seqüência de rochas vulcânicas ácidas e básicas dispostas em nove derrames principais (Figuras 3 e 4). As rochas básicas são representadas por basaltos e constituem seis derrames de lavas principais (a estruturação primária consiste de zonas maciças, de disjunção vertical e por zonas vesiculares a amigdalóides intercaladas por brechas vulcânicas). Já as rochas ácidas são caracterizadas pela presença de riodacitos, dacitos, riolitos e vidros vulcânicos e formam três derrames principais (a estruturação primária é marcada por zonas basais, de disjunção horizontal, zonas vesiculares a amigdalóides e de brechas vulcânicas).

A relação existente entre o condicionante litologia e a ocorrência de aquíferos fraturados está associada principalmente as estruturas primárias do que com o tipo litológico. Nesse caso, observa-se que rochas que apresentam zonas vesiculares a amigdalóides tendem a apresentar chance de ocorrência de água subterrânea. Isso ocorre, pois essas zonas, quando fortemente intemperizadas podem apresentar aberturas e conexões que facilitam a circulação de água.

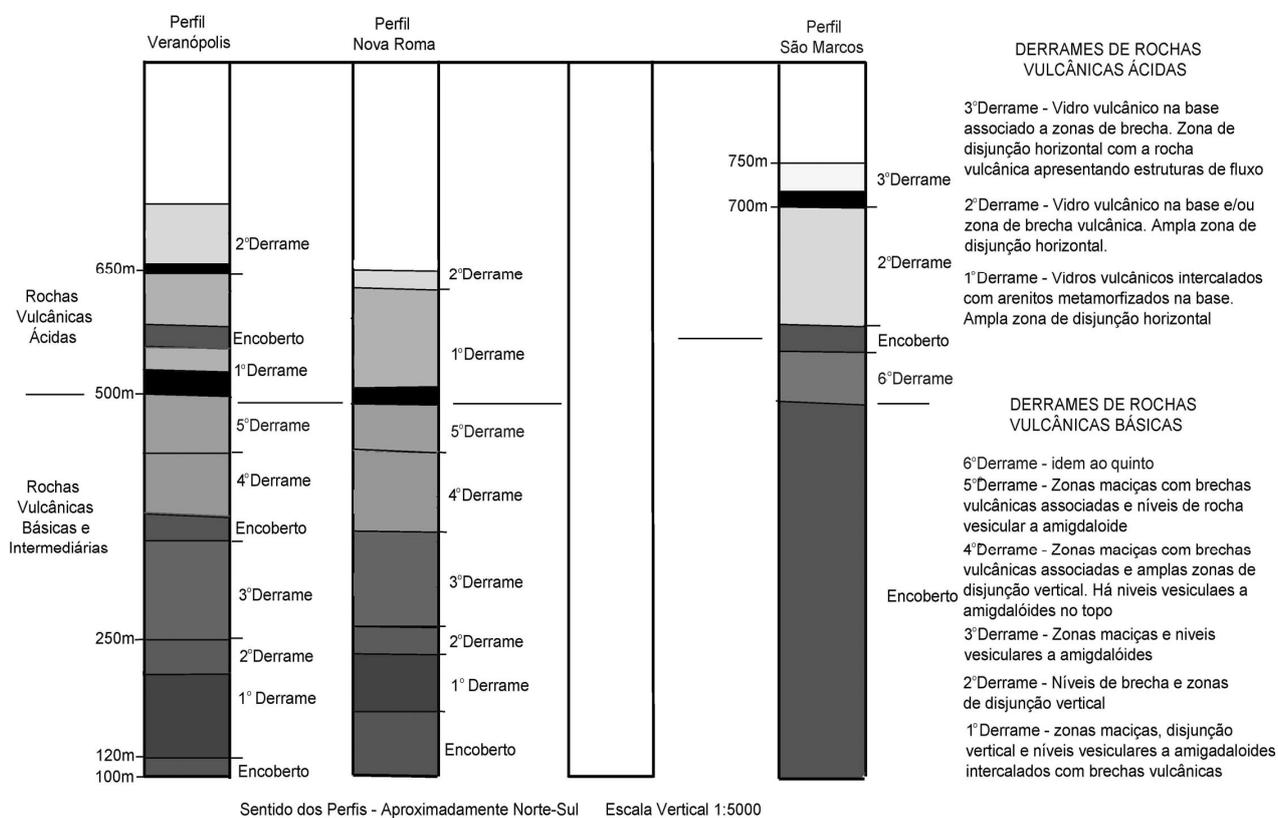


Figura 3 – Representação da estratigrafia das seqüências vulcânicas na área norte do Rio das Antas.

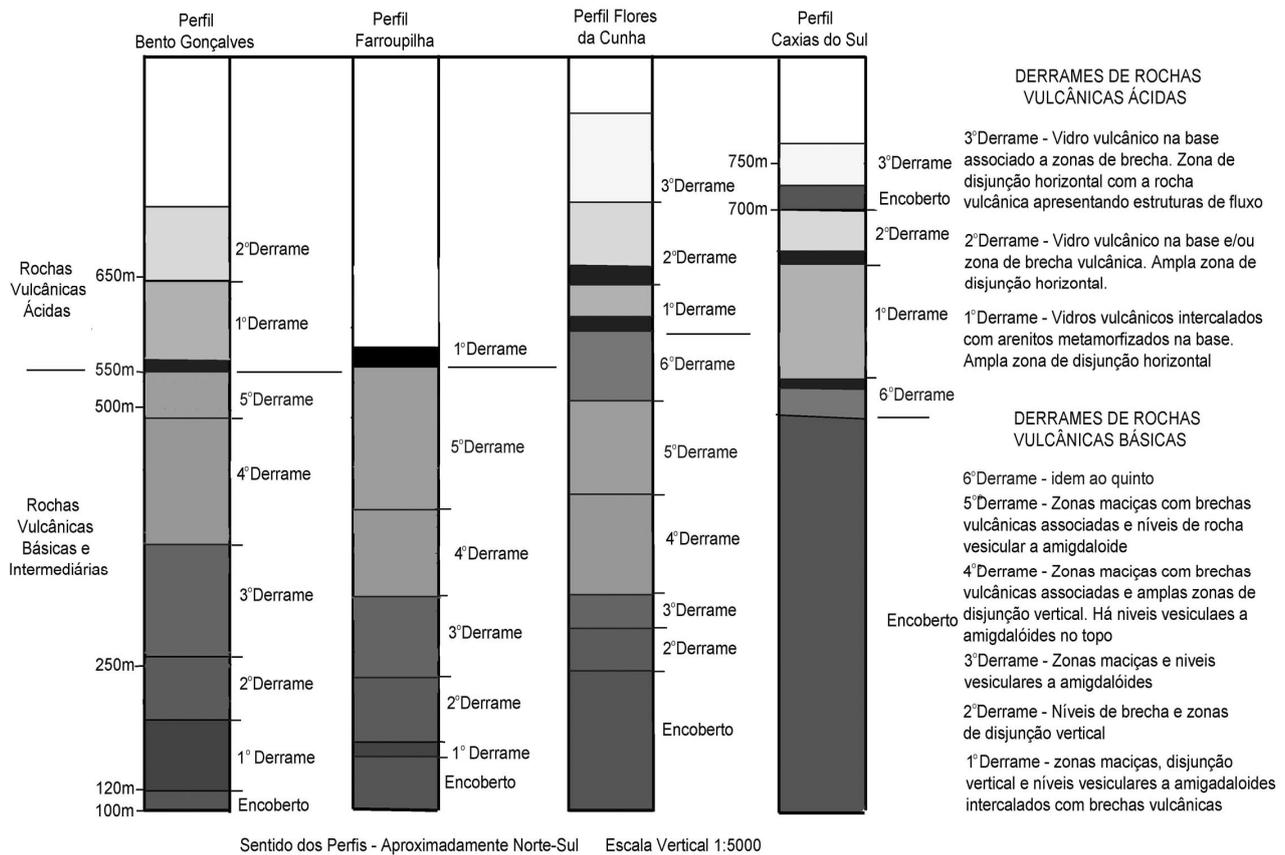


Figura 4 – Representação da estratigrafia das seqüências vulcânicas na área sul do Rio das Antas.

#### 4.4 – Solos

O tipo de solo e espessura correspondem ao quarto condicionante geológico que está relacionado com a infiltração e, conseqüentemente, recarga de aquíferos fraturados. A caracterização desse condicionante foi realizada com base na interpretação de mapas de solos existentes e de dados obtidos nos levantamentos de campo.

Na região, pode-se observar três associações de solos que estão distribuídas conforme a compartimentação do relevo. A primeira associação corresponde aos Neossolos e Cambissolos que são os solos mais rasos e ocorrem nas áreas de maior grau de dissecação de relevo. A segunda associação corresponde aos Alissolos e Cambissolos que apresentam espessuras maiores e estão associados a relevos de médio grau de dissecação. Já a terceira associação corresponde aos Nitossolos que apresentam as maiores espessuras e estão associados a relevos de baixo grau de dissecação.

Com base nessa caracterização, foi possível identificar que a terceira associação possui melhor correlação com aquíferos fraturados, pois esses solos apresentam as maiores espessuras e estão relacionados com regiões de baixo grau de dissecação do relevo. No entanto, deve-se ressaltar que o papel principal dos solos está relacionado com a recarga dos aquíferos, por isso para a locação de poços esse condicionante pode ser considerado como de importância reduzida.

## 5 – OS CONDICIONANTES E A LOCAÇÃO DE POÇOS TUBULARES

Por meio do cruzamento entre poços tubulares produtivos e nulos cadastrados na região de estudo (407 poços) com os diferentes condicionantes, pode-se evidenciar uma correlação entre os diferentes condicionantes e a ocorrência de aquíferos fraturados.

O sistema estrutural corresponde ao principal condicionante, mas, somente a existência de estruturas não é indicativo da presença de aquíferos. Com o cruzamento, observou-se comportamentos diferenciados para cada tipo de estrutura, fato esse já evidenciado nos levantamentos e análise dos dados de campo. As estruturas de orientação nordeste e noroeste são as principais, sendo que o intervalo de vazão de 10 a 20 m<sup>3</sup>/h possui maior correlação com lineamentos de orientação nordeste, enquanto que vazões acima de 20 m<sup>3</sup>/h possuem maior relação com lineamentos noroeste. Na tabela 1 estão apresentadas as correlações existentes entre poços tubulares produtivos e a orientação das estruturas.

Tabela 1 – Correlação entre poços tubulares produtivos (diferentes vazões) e as orientações dos diferentes grupos de lineamentos.

<b>Grupo 1 – Lineamentos de orientação N-S</b>								
Range °	N0 - 10E		N10 - 14E		N10 - 14W		N00 - 10W	
%	24,39		24,39		2,44		48,78	
<b>Grupo 2 – Lineamentos de orientação NE</b>								
Range °	15 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	50 a 60	60 a 70	70 a 80	80 a 84
%	2,41	22,58	12,90	24,20	8,87%	5,65%	18,55%	4,84%
<b>Grupo 3 – Lineamentos de orientação NW</b>								
Range °	15 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	50 a 60	60 a 70	70 a 75	
%	3,75	15,04	18,8	18,05	22,56	12,78	9,02	
<b>Grupo 4 – Lineamentos de orientação E-O</b>								
Range °	N85 - 90E		N80 - 90W		N75 - 80W			
%	24,39%		51,22%		24,39%			

O relevo consiste no segundo condicionante de maior importância sendo que as regiões com declividades inferiores a 30% apresentaram a maior ocorrência de poços tubulares produtivos (80%

de ocorrência). Isso evidencia que as regiões de maior declividade e, com relevos mais dissecados, vão apresentar menor chance de ocorrência de água subterrânea.

A litologia e suas estruturas primárias correspondem ao terceiro condicionante. Nesse caso a maior ocorrência de poços tubulares produtivos está associada a seqüência de rochas vulcânicas ácidas. Isso ocorre pois, em área a distribuição da seqüência ácida, está associada a relevos menos dissecados, enquanto que a seqüência básica está associada a relevos com maior grau de dissecção. No entanto, o tipo de litologia não deve ser considerado como principal fator para a locação de poços, visto que não é o tipo de rocha que condiciona a existência de aquíferos fraturados. Nesse caso as estruturas primárias consistem nos principais condicionantes. Assim, as mesmas devem ser utilizadas como guias durante os processos de perfuração, pois podem ser indicativas da ocorrência de aquíferos.

O solo corresponde ao último condicionante, sendo de importância reduzida. No entanto, observou-se que as maiores vazões estavam relacionadas com a associação dos Nitossolos (solos mais espessos localizados em regiões de relevo menos dissecado).

Dessa forma, observa-se que para a locação de poços tubulares na Formação Serra Geral, deve-se efetuar um levantamento dos condicionantes principais, representados pelo sistema estrutural e relevo. Além disso, deve-se utilizar a estruturação primária, durante a etapa de perfuração como um guia para tomada de decisões antes de considerar o poço nulo.

## **6 – CONCLUSÕES**

A locação de poços tubulares em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral deve levar em consideração a situação dos condicionantes geológicos existente na área que está sendo analisada. Nesse caso o padrão estrutural e o relevo possuem maior importância. No primeiro caso, deve-se identificar a existência de lineamentos e sua orientação, pois as estruturas podem apresentar comportamentos diferenciados. Em segundo plano, deve-se analisar o grau de dissecção do relevo, visto que áreas com menor grau estão associados à ocorrência de aquíferos fraturados.

## **7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- COSTA, W.D. **Análise dos Fatores que Influenciam na Hidrogeologia do Cristalino.** Água Subterrânea, Ano 1, Set-Dez, nº 4. p. 14-47. 1965.
- COSTA, W.D. **Análise dos Fatores que Atuam no Aquífero Fissural.** CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, IV. Brasília. ABAS, Anais. p.289-302. 1986.

- CPRM. **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), 1998. 1 mapa color. Escala 1:250.000. Material cartográfico.
- HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS.** Estudos Tecnológicos: **Acta Geológica Leopoldensia**, Série Mapas. Nº 2. P-1-127, 1995.
- LEITE, E.H. & HAASE, J.F. (Coord). **Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio das Antas e Rio Taquari.** Fundação de Proteção Ambiental (FEPAM) do Estado do RS. Relatório Técnico. 55p. 1999.
- LISBOA, N.A.. **Compartimentação Hidrogeológica e Diferenciação Hidrogeoquímica em Aquíferos do Extremo Sul do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 10<sup>0</sup>, Gramado/RS, 1993. Anais. p. 539-548. 1993.
- LISBOA, N.<sup>a</sup>. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral, na bacia do Paraná, Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1996. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 135p. il. (Inédito).
- MAGNA., 1997. **Avaliação Quali-Quantitativa das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Sistema Taquari-Antas.** Magna Engenharia Ltda. Departamento dos Recursos Hídricos e Saneamento. Porto Alegre. Relatório Final
- RADAM/BRASIL. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra.** 1986. Rio de Janeiro: IBGE 796p. (Levantamento de Recursos Naturais, v..33).
- REGINATO, P.A.R.. **Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS).** Porto Alegre, 2003. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. UFRGS. 254p.
- REGINATO, P.A.R. & STRIEDER, A. J.. **Extração de Lineamentos visando a prospecção de aquíferos fraturados – fotografias aéreas ou imagens de satélite?** In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. XXCBC. Porto Alegre- Anais. CdRoom. 2001.
- REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. **Caracterização Hidrogeológica e Potencialidades dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Cuiabá, Anais (CdRoom). 2004.

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. **Caracterização Hidrogeológica dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. In: 1º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL. Santa Maria. RS, Anais. (CdRoom). 2005.

ROISENBERG, A. **Petrologia e Geoquímica do Vulcanismo Ácido Mesozóico da Província Meridional da Bacia do Paraná**. Porto Alegre, 1990. Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (Inédito).