



Análise de Testes de Aquífero Realizados em Poços Tubulares com Problemas de Produção que Captam Água Subterrânea do Sistema Aquífero Serra Geral.

Pedro Antonio Roehé Reginato; Gustavo Barbosa Athayde; Marcos Imério Leão¹, Taison Anderson Bortolin²

¹IPH/UFRGS (pedro.reginato@ufrgs.br; gustavo.athayde@ufrgs.br; imerio@iph.ufrgs.br)

² ISAM/UCS (tabortol@ucs.br)

Resumo

Neste trabalho é apresentada uma análise de testes de aquífero, realizados em quatro poços que apresentaram redução na produção. Esses poços captam água do Sistema Aquífero Serra Geral e estão localizados na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados indicaram que poços que apresentam maiores rebaixamentos, menores capacidades específicas, maior tempo envolvido na recuperação do nível de água, bem como menores porcentagens de recuperação, tendem a apresentar perdas da capacidade de produção. A análise das curvas de rebaixamento e recuperação, indicaram que os aquíferos fraturados, captados por esses poços são descontínuos, limitados e com baixa capacidade de armazenamento de água. Dessa forma, as vazões de bombeamento devem ser dimensionadas com valores menores que as que foram utilizadas nos testes de aquífero.

Palavras-chave: ensaios de bombeamento, rebaixamento, recuperação, hidrodinâmica.

Área Temática: Recursos Hídricos

Abstract

This work presents an analysis of aquifer tests carried out in four wells that showed reduction in production. These wells capture water from the Serra Geral Aquifer System and are located in the northeastern region of Rio Grande do Sul State. The results indicated that wells with higher drawdown, lower specific capacities, longer time involved in water level recovery, as well as lower percentages of recovery tend to show losses in production capacity. The analysis of the drawdown and recovery curves indicated that the fractured aquifers captured by these wells are discontinuous, limited and with low water storage capacity. Thus, the pumping rates should be smaller than those that were used in the aquifer tests

Key words: pumping, drawdown, recovery, hydrodynamic

Theme Area: Water Resources



1 Introdução

A elaboração de um projeto de bombeamento para poços tubulares, deve ser realizada com base na análise de dados obtidos com o desenvolvimento de ensaios de bombeamento. Nem sempre as vazões aplicadas durante a realização dos ensaios, podem ser consideradas como a vazão final, que deverá ser aplicada no bombeamento do poço.

O projeto da vazão de exploração de um poço tem grande importância, pois sem a determinação da mesma, poderão surgir problemas relacionados com a superexploração (rebaixamento dos níveis de água e exaustão do poço). Em aquíferos fraturados, em função da anisotropia, a determinação da vazão de exploração torna-se mais importante. Essa vazão deve ser calculada com base no uso de parâmetros como transmissividade e capacidade específica, bem como deve levar em consideração a forma das curvas de rebaixamento e recuperação, que fornecem dados importantes sobre o comportamento do aquífero.

Segundo Carvalho et al, (2004) os ensaios de bombeamento proporcionam uma melhor compreensão dos aquíferos, principalmente dos fraturados, proporcionando assim uma avaliação da capacidade de produção dos poços que captam água desses aquíferos. Além disso, os autores destacam que as variações das inclinações das curvas de rebaixamento, podem ser indicativas da presença de fraturas, que estão associadas as entradas de águas nos poços tubulares.

De acordo com Mariano (2005) a análise dos dados obtidos com os testes de bombeamento, permitem que os parâmetros hidrodinâmicos sejam determinados, bem como fornece informações sobre o comportamento e condições limites dos aquíferos.

Conforme Lima et al., (2008) a realização de interpretação de ensaios de bombeamento em aquíferos fraturados, tem grande importância para a quantificação da exploração, bem como para gestão da água subterrânea.

Para Feitosa & Costa Filho (1998) os testes de bombeamento são utilizados para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos, para avaliação da qualidade de construção dos poços, bem como para determinar as vazões de exploração dos poços. Esses autores descrevem como devem ser executados os testes, bem como apresentam metodologias para determinação da vazão de exploração, para diferentes tipos de aquíferos (porosos e fraturados).

Para Lima et al., (2001) existem diferentes tipos de ensaios de bombeamento (testes de aquífero e produção) que podem ser empregados na avaliação da produção de poços. Esses autores, definiram procedimentos para execução de ensaios de bombeamento, para serem aplicados em poços que captam água mineral.

Esse trabalho tem por objetivo apresentar uma análise de testes de aquífero executados em poços, que após operação contínua, apresentaram perdas da capacidade de produção. Os poços foram perfurados em área de ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Os resultados, permitiram avaliar as características hidrodinâmicas, as formas das curvas de rebaixamento e recuperação e os projetos de bombeamento, permitindo uma melhor compreensão do comportamento dos aquíferos fraturados existentes nessa região.

2 Caracterização Hidrogeológica

Na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, há ocorrência do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

Conforme Machado & Freitas (2005), nessa região, o SASG está localizado nas estruturas das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, apresentando em geral, capacidades específicas inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, podendo alcançar valores de até $2,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ nas regiões onde as rochas apresentam-se mais fraturadas.



Para Hausman (1995) os aquíferos fraturados associados as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, são condicionados pelas estruturas que cortam os derrames, sendo que a circulação da água subterrânea vai ocorrer através das descontinuidades presentes nessas rochas (fraturas e juntas de resfriamento). Além disso, esses aquíferos são considerados instáveis, sendo que os fenômenos de instabilidade vão ocorrer com maior ou menor intensidade, dependendo das características estruturais e geomorfológicas da área. Os aquíferos mais estáveis, estão associados a regiões que apresentam maior grau de faturamento de origem tectônica. A intensidade dos esforços tectônicos tem reflexo na quantidade e densidade de faturamento, sendo que esse processo tem influência direta no rendimento do aquífero e na produtividade dos poços.

Segundo Hausman (1980), a determinação de vazões em poços que captam água de aquíferos fraturados é complicada, em função da forte anisotropia existente nesse meio. Para determinar as vazões de exploração de poços é necessário realizar ensaios de bombeamento e avaliar todos os dados obtidos, os parâmetros calculados, bem como as curvas de rebaixamento e recuperação. Mesmo calculando uma vazão com base nesses dados, quando os poços entram em exploração contínua, podem apresentar problemas de manutenção da vazão projetada, implicando em rebaixamentos maiores que os projetados e diminuição dos volumes explorados, podendo chegar até a exaustão dos poços.

De acordo com Reginato (2003) o SASG, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, é caracterizado pela ocorrência de aquíferos granulares livres (localizados no manto de alteração existente sobre as rochas vulcânicas) e por aquíferos fraturados (associados as descontinuidades presentes e que cortam os derrames de rochas vulcânicas, da Formação Serra Geral). Nos aquíferos fraturados a circulação da água ocorre ao longo de descontinuidades formadas por fraturas (juntas e falhas), estruturas de resfriamento das rochas e planos formados pelo contato entre derrames (REGINATO et al., 2015).

Conforme Reginato et al., (2010), os aquíferos fraturados do SASG apresentam comportamentos hidrodinâmicos diferenciados dependendo dos condicionantes geológicos. Os autores identificaram que os aquíferos fraturados podem ser condicionados por estruturas fraturas (juntas ou falhas) ou por estruturas de resfriamento das rochas vulcânicas. Os poços que apresentam maiores valores de transmissividade, capacidade específica e vazão, captam água de aquíferos fraturados condicionados pela estruturação tectônica.

Reginato et. al., (2007) identificaram que os poços que captam água subterrânea de aquíferos condicionados por estruturas de resfriamento das rochas vulcânicas (diaclasses, zonas vesiculares a amigdaloides e de brechas vulcânicas), tendem a apresentar comportamentos diferenciados relacionados com a posição do nível estático, forma de rebaixamento e recuperação do nível de água em poços, ocorrência de baixos valores de transmissividade e capacidade específica. Em geral, esses poços, quando em exploração contínua, tendem a apresentar problemas de redução da vazão de exploração, aumento dos rebaixamentos do nível de água, culminando com o esgotamento do poço.

3 Materiais e Métodos

Para desenvolvimento desse trabalho foram selecionados quatro poços que apresentaram perdas de capacidade produção após o início da operação dos mesmos. Os poços foram perfurados na sequência de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo dois localizados no município de Veranópolis (Poço 1 e 2) e dois no município de Farroupilha (Poço 3 e 4), todos na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Os poços foram selecionados, a partir da análise de dados geológicos e hidrogeológicos, de um banco de dados existentes, que foi elaborado com base em dados disponibilizados pela CORSAN e empresas de perfuração.



Os dados analisados para cada poço, corresponderam a localização geográfica, perfil geológico e construtivo, planilhas dos testes de aquífero (rebaixamento e recuperação) e relatório do projeto de bombeamento do poço.

Com o perfil geológico e construtivo foi avaliada a ocorrência de entradas de água, procurando identificar a quantidade e a profundidade de ocorrência das entradas de água, bem como as litologias associadas.

Os dados das planilhas de testes de aquífero foram utilizados no cálculo de parâmetros como rebaixamento (s), transmissividade (T), capacidade específica (q), tempo e porcentagem de recuperação, bem como na elaboração das curvas de rebaixamento (s x t) e recuperação (s x t/t'). Essas curvas foram geradas com uso do Excel, enquanto que para o cálculo da transmissividade foi utilizado o programa *GW (Ground Water Software for Windows – United Nations)*.

Os cálculos de vazão de exploração foram realizados de três formas diferentes, utilizando as seguintes equações:

1º Cálculo – $Q = q \times RD$;

2º Cálculo – $Q = T \times RD$;

3º Cálculo – $Q = qst \times RD$;

Onde: Q = vazão de exploração (m³/h);

q = capacidade específica (m³/h/m)

T = transmissividade (m²/h)

qst = 0,8 x T (equação de Hausman (1980))

RD = rebaixamento máximo disponível – considerado como o valor de rebaixamento (s), encontrado no teste de aquífero.

Os valores de vazão utilizados na exploração dos poços foram considerados como os valores definidos nos projetos de bombeamento, que foram elaborados para a empresa proprietária dos poços.

4 Resultados e Discussão

A avaliação dos dados geológicos e hidrogeológicos obtidos para os quatro poços tubulares é apresentada na Tabela 1.

Com base na análise dessa tabela, observa-se que os poços possuem profundidades diferentes, entre 100 e 250 metros, apresentando 1 a 3 entradas de água, localizadas em profundidades variáveis, entre 40 e 210 metros. Os poços foram perfurados na sequência de rochas vulcânicas ácidas e interceptaram diferentes derrames de riodacitos.

Analisando os dados dos testes de aquífero, observa-se que os poços 1, 3 e 4 apresentaram vazões finais de bombeamento, entre 4 e 13 m³/h, que correspondem a vazões comuns dos poços existentes na região. Já o poço 2 apresentou uma vazão de bombeamento final baixa, em torno de 1m³/h, evidenciando uma baixa capacidade de produção de água.

Na avaliação do rebaixamento gerado no teste, observa-se que os poços 2 e 3 tiveram um rebaixamento elevado, alcançando valores superiores a 100 metros. Embora sejam poços com maiores profundidades e entradas de água mais profundas, esse rebaixamento elevado, tem reflexo direto no cálculo da capacidade específica, resultando em valores muito baixos.

A capacidade específica, calculada com base na vazão e no rebaixamento ($q = Q/s$), é um parâmetro de grande importância, pois indica a capacidade de produção do poço (m³/h para cada metro de rebaixamento gerado). Os poços 2 e 3 apresentaram valores de capacidade específica muito baixos, respectivamente 0,0083 e 0,052 m³/h/m, indicando que esses poços têm baixa capacidade de produção. Já os poços 1 e 3 apresentaram valores próximos das médias encontradas por Machado & Freitas (2005), para o SASG.

Um ponto que deve ser destacado está relacionado com o tempo e a porcentagem da



recuperação monitorada durante a realização do teste. Observa-se que a recuperação é lenta em todos os poços, demorando mais de 7 horas, sendo que nos poços 3 e 4 o tempo de recuperação foi superior a 20 horas. Além disso, os poços 2 e 4 tiveram uma recuperação inferior a 50% do que foi rebaixado.

No cálculo da vazão de exploração, observa-se que com exceção do primeiro cálculo onde a vazão é igual a de teste, todos os outros forneceram valores inferiores aos executados no teste de aquífero. Isso indica que as vazões executadas nos testes, nem sempre devem ser utilizadas como vazões de projeto.

Por fim, observa-se que no projeto de bombeamento dos poços foram definidas vazões inferiores as executadas, mas mesmo assim, esses poços apresentaram perdas de capacidade de produção, após terem entrado em operação.

Tabela 1 – Dados dos Poços, dos Testes de Aquífero e de Projeto de Vazões.

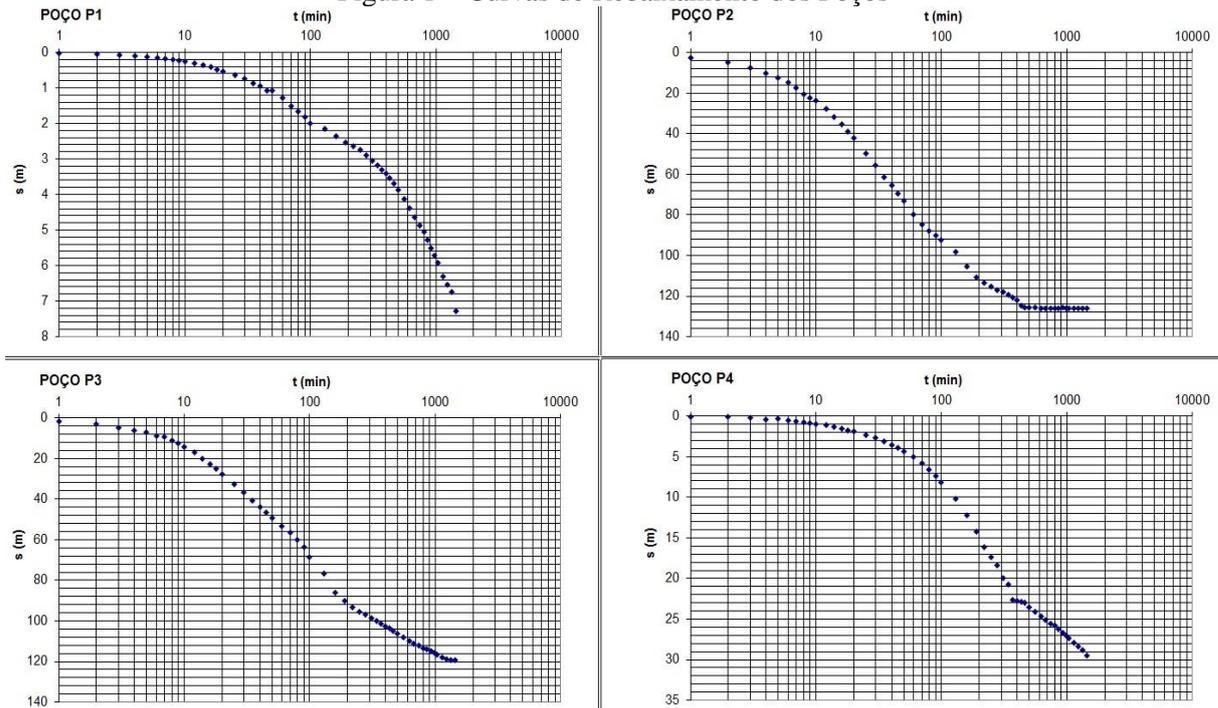
Dados - Poços	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4
Profundidade (m)	100	240	250	200
Entrada de Água – Profundidade (m)	42	135	40, 175 e 210	56 e 84
Litologia da Entrada de Água	Riodacito	Riodacito	Riodacito	Riodacito
Dados – Testes de Aquífero				
Duração do Teste – Rebaixamento – (h)	24 h	24h	24h	24h
Q de teste – final - (m ³ /h)	4,193	1,041	6,211	12,412
NE (m)	24,05	66,13	42,2	21,58
ND (m)	31,33	192,0	161,43	51,03
s (m)	7,28	125,87	119,23	29,45
q (m ³ /h/m)	0,5759	0,0083	0,052	0,42
Tempo de Recuperação Monitorada (h)	7,5	7	21	23
% de Rebaixamento Recuperada	99,31	47,49	100	32,36
Calculo da Vazão de Exploração				
RD (m)	7,28	125,87	119,23	29,45
T - (m ² /h)	0,393	0,0059	0,03	0,195
qst (m ³ /h/m)	0,314	0,0047	0,024	0,156
1º Cálculo de Q (m ³ /h)	4,19	1,04	6,20	12,37
2º Cálculo de Q (m ³ /h)	2,86	0,74	3,58	5,74
3º Cálculo de Q (m ³ /h)	2,29	0,59	2,86	4,59
Vazão Utilizada na Exploração				
Q (m ³ /h)	2,5	1,0	4,0	5,0

Os dados de rebaixamento (s) gerados em função do tempo de bombeamento, foram utilizados na elaboração de curvas de rebaixamento (monolog), com uso do programa Excel. Essas curvas foram empregadas na avaliação do comportamento do aquífero, sendo que as mesmas são apresentadas na Figura 1.

Analisando as curvas dos poços 1, 2 e 4 observa-se que não há estabilização e que as mesmas têm um formato semelhante ao de curvas de aquíferos porosos que indicam a ocorrência de barreiras hidráulicas. No caso de aquíferos fraturados, o formato dessa curva pode indicar a ocorrência de aquíferos descontínuos com baixa capacidade de armazenamento e transmissão. A exceção é a curva do poço 2, que no final do teste indica uma estabilização. No entanto, analisando os dados brutos do teste, observa-se que essa estabilização foi forçada pela redução da vazão executada durante o bombeamento, para evitar que o nível de água atingisse a bomba. Dessa forma, se não houvesse uma redução da vazão, essa curva teria provavelmente o mesmo formato das encontradas nos outros poços.



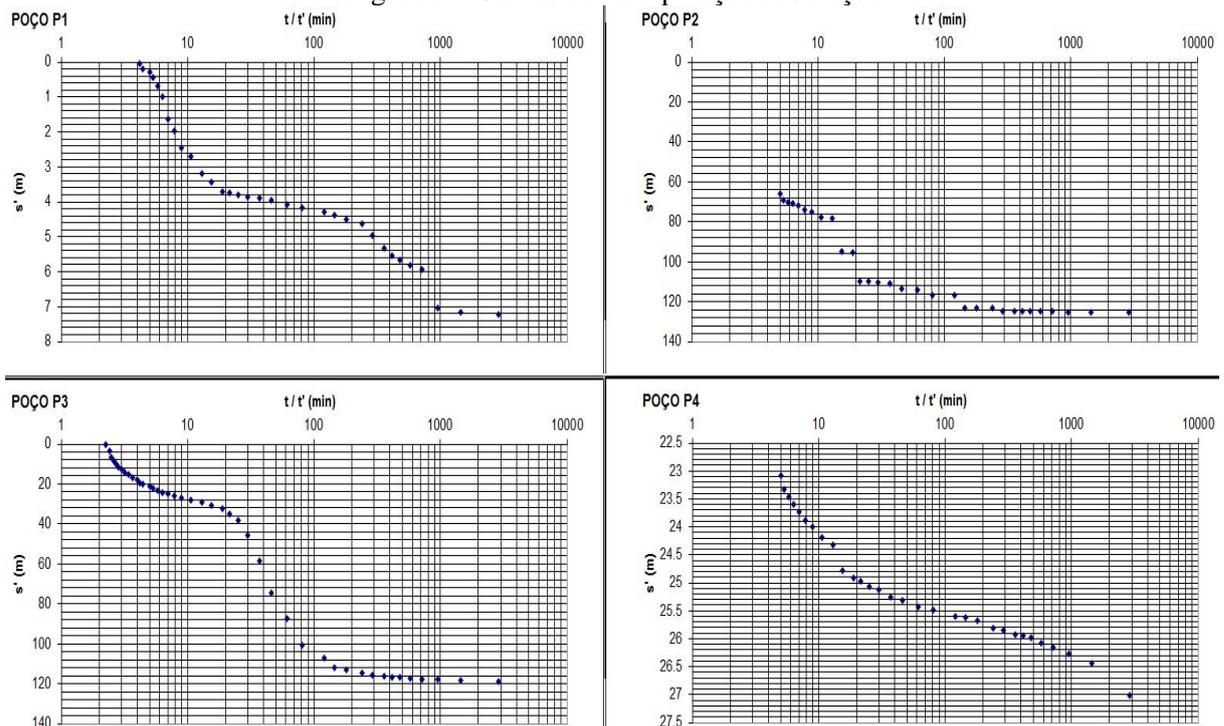
Figura 1 – Curvas de Rebaixamento dos Poços



Os dados do rebaixamento recuperado (s') e de tempo acumulado (t/t') foram utilizados na elaboração das curvas de recuperação, sendo as mesmas apresentadas na Figura 2.

As formas das curvas dos quatro poços indicam que a recuperação é mais lenta e ocorre de forma irregular ao longo do tempo. Além disso, essas formas são semelhantes as apresentadas por Hausman (1980), para poços instáveis que tendem a apresentar perdas de capacidade de produção.

Figura 2 – Curvas de Recuperação dos Poços





5 Conclusões

A análise dos testes de aquífero executados nos poços tubulares que captam água de aquíferos fraturados (SASG), demonstrou a importância da realização desses testes para a avaliação do comportamento do aquífero, determinação das vazões de exploração e indicação de poços que podem apresentar problemas relacionados com a perda da capacidade de produção ou exaustão.

Os dados de rebaixamento, vazão e capacidade específica, obtidos com a realização dos testes, fornecem informações sobre a capacidade de produção dos poços. No entanto, a análise dos dados de recuperação (tempo e porcentagem recuperada) tem grande importância na avaliação das perdas de capacidade de produção. Nesse caso, os maiores tempos envolvidos no processo de recuperação do rebaixamento gerado, bem como as menores porcentagens de recuperação, indicam uma dificuldade de renovação do reservatório e, conseqüentemente, perdas de produção dos poços com o tempo.

As formas das curvas de rebaixamento, caracterizadas por uma inclinação acentuada após um tempo inicial do teste, bem como por uma ausência de estabilização no final do teste, indicam que os aquíferos são descontínuos e limitados, possuindo baixa capacidade de armazenamento. Já os formatos das curvas de recuperação indicam a ocorrência de uma recuperação lenta e que os aquíferos são descontínuos e instáveis.

A análise dos dados e resultados obtidos indicam que os aquíferos fraturados captados por esses poços, são descontínuos, possuem baixa capacidade de armazenamento e recarga, o que pode provocar perdas de capacidade de produção, quando os poços entram em operação contínua. Além disso, para esse tipo de situação, as vazões aplicadas nos testes de aquífero não podem ser consideradas como vazões de projeto de bombeamento, pois a perda de capacidade de produção ou exaustão do poço, vai ocorrer mais rapidamente.

Referências

CARVALHO, M.G.; DA SILVA JÚNIOR, A.P.; VICENTE, J.F.; DA SILVA, R.M. Ensaio de Bombeamento em Poço Tubular Profundo: Uma Metodologia para Estudo Hidrodinâmico em Aquíferos Fraturados. **Revista. Univ. Rural, Sér. Ci. Exatas e da Terra**. v. 23, n. 1-2, jan-dez de 2004. Pg. 99-105.

FEITOSA., F.A.C.; COSTA FILHO, W.D. Execução de Testes de Bombeamento em Poços Tubulares: Manual Prático de Orientação. **CPRM**. Programa de Perfuração, Instalação, Recuperação de Poços e Aplicação de Técnicas de Dessalinização de Água Subterrânea. Agosto de 1998. 24p.

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS. **Acta Geológica Leopoldensia. Série Mapas**. UNISINOS. São Leopoldo. n°2, 1995, p1-127.

LIMA, A.A.; VIEIRA FILHO, J.A.; ANJOS, F.T.; TAVARES, M.A DE H. Testes de Bombeamento Objetivando o Aproveitamento de Águas Minerais em Meio Poroso. **IN: XII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E IV SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE**. 14 a 17 de Outubro de 2001. Recife. Pernambuco.

MACHADO, J. L. F.; DE FREITAS, M.A. Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: CPRM, 2005, 1 mapa, col. Escala 1:750.000.



MARIANO, I.B. Testes de Vazão. **In:** XV ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E II SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE. 04 a 07 de outubro de 2005. Ribeirão Preto. São Paulo.

REGINATO, P.A.R. Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS). 2003. 254p. Tese de Doutorado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

REGINATO, P.A.R.; FINOTTI, A.R.; MICHELON, C. Comportamento Hidrogeológico de Poços Tubulares Associados às Estruturas Primárias das Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral. **In:** XV ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUL-SUDESTE. 28 a 31 de Outubro de 2007. Gramado, RS.

REGINATO, P.A.R.; AHLERT, S.; GILIOLI, K.C. Hidrodinâmica de Diferentes Aquíferos Fraturados Associados à Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **In:** XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. 31 de agosto a 03 de setembro de 2010. São Luiz, Maranhão.

REGINATO, P.A.R.; LEÃO, M.I.; BORTOLIN, T.A.; DUTRA, T. O de; 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:** 15º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. 18 a 21 de outubro de 2015, Bento Gonçalves, RS.