

HIDROGEOLOGIA E FACIOLOGIA DOS DERRAMES SERRA GERAL NO RS: O SIAGAS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE

Roberto Eduardo Kirchheim¹ & Shaiene Vieira Figueira² & Camila Dalla Porta Mattiuzi³

Resumo – O presente trabalho avalia as relações entre as características faciológicas dos derrames da Formação Serra Geral e seu comportamento aquífero. Esta análise foi realizada no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. Foram utilizados todos os dados de poços registrados no SIAGAS-CPRM que captam água dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral, além da discretização espacial dos respectivos *Fácies*, conforme cartografados pela CPRM. Os gráficos das frequências acumuladas das vazões específicas dos poços tubulares evidenciam que existem diferenças expressivas de comportamento hidrogeológico entre cada um dos *Fácies*. Significa afirmar que a morfologia dos derrames é um fator importante a ser considerado na circulação de água subterrânea.

Palavras-Chave – SIAGAS, vazões específicas, *Fácies* da Formação Serra Geral.

HYDROGEOLOGY AND FACIOLOGY OF THE VULCANIC SEQUENCES OF THE SERRA GERAL: THE SIAGAS AS AN ANALYSIS TOOL

Abstract – The present study evaluates the relationship between the faciology and the hydrogeology behavior of the volcanic sequences of the Serra Geral Formation, within the State of Rio Grande do Sul, Brazil. The tubular wells registered in the SIAGAS-CPRM exploiting groundwater from each one of the distinct *Facies* of the Serra Formation were analyzed. The trends shown by their specific yield accumulated frequencies suggest that their aquifer properties may be strongly affected by the volcanic spill morphology.

Keywords – SIAGAS, specific yield, Serra Geral Formation.

INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a relação entre a faciologia dos derrames vulcânicos que compõem a Formação Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul (RS) e a produtividade dos poços tubulares que captam suas águas subterrâneas. Trata-se de uma abordagem cuja hipótese reside no fato de que a morfologia destes *Fácies* seja determinante na circulação local de água subterrânea nos respectivos maciços. Desde já se destaca que este trabalho baseia-se no mapeamento geológico regional gerado pela CPRM e na respectiva discretização faciológica, tal qual proposta para o Estado do RS, assim como nas informações que constam no banco de dados SIAGAS, operado e mantido pela CPRM.

ARCABOUÇO GEOLÓGICO

O arcabouço geológico baseia-se no Mapa Geológico do RS 1:750.000, elaborado pela CPRM conforme a Figura 1. Ampla porção do RS é coberta pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. À medida que novas informações a respeito da origem, evolução e características do magmatismo vão sendo desenvolvidas, torna-se indispensável contar com abordagens de caráter estratigráfico para dar conta de suas variações composicionais, texturais e o próprio arranjo entre os derrames. As primeiras sugestões de compartimentação das heterogeneidades do vulcanismo da

¹ Pesquisador em Geociências, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendência de Porto Alegre, roberto.kirchheim@cprm.gov.br.

² Estagiária Acadêmica de Engenharia Ambiental, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendência de Porto Alegre.

³ Estagiária Acadêmica de Engenharia Ambiental, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendência de Porto Alegre.

região remontam à década de 70. Bellieni et al. (1984) individualizaram os primeiros conjuntos litológicos com a caracterização química das unidades ácidas e a distribuição geográfica das rochas básicas. Roisenberg (1989) apresentou a cartografia das rochas vulcânicas da porção meridional da bacia e as separou em básicas, intermediárias e ácidas. A cartografia realizada por Roisenberg (1989) foi estendida por Nardy et al. (2001) para a porção centro-sul da bacia e por Marcus Freitas et al. (2002) para o oeste de SC, com a caracterização e detalhamento dos diferentes litotipos definidos por Bellieni et al. (1986). Wildner (2004) identifica e sistematiza a caracterização faciológica. Mais recentemente, Wildner et al. (2007) propõem a discretização estratigráfica para os derrames, sugerindo a denominação de Grupo, no qual os *Fácies* adquiriam *status* de Formações.

DESCRIÇÃO FACIOLÓGICA

A divisão faciológica atual foi baseada em propriedades físico-texturais de derrames e subsidiada por características litoquímicas, geofísicas, além de interpretações de imagens *Landsat*, acompanhadas da análise de afloramentos e do empilhamento dos derrames. Neste sentido, torna-se relevante identificar variedades texturais e estruturas vulcânicas cuja organização esteja associada à reologia do magma, aos processos de emplacamento e a trajetória de cristalização. Dentre os fatores que controlam a forma dos derrames cita-se: (a) forma de topografia e características físicas do substrato; (b) volume de lava extrudido; (c) forma fissural e taxa de efusão; (d) viscosidade do magma; (e) circunstâncias especiais, tais como taxa de resfriamento e conteúdo de fenocristais. Até o momento, para o RS foram definidos e cartografados os seguintes fácies: ***Gramado, Esmeralda, Alegrete, Paranapanema, Várzea do Cedro, Caxias e Chapecó***. A Tabela 1 sintetiza as características principais dos *Fácies* mapeados.

ARCABOUÇO HIDROGEOLÓGICO

De forma análoga à litoestratigrafia, a caracterização hidrogeológica dos derrames que compõem a Formação Geral também enfrenta dilemas em relação à diferenciação de unidades hidroestratigráficas, a começar por definir os próprios critérios que para ela concorrem. O estado da arte do conhecimento hidrogeológico da região já reconhece que estes derrames desenvolvem aquíferos anisotrópicos e heterogêneos, onde o fluxo é, em grande medida, controlado por suas descontinuidades. As descontinuidades tectônicas, estudadas através dos traços em superfície e perfis de sondagem, tem sido objeto frequente de análise quali-quantitativa. Áreas com maior produtividade aquífera estão geralmente associadas a zonas de fraturas de alta transmissividade. A identificação destas zonas é, em muitos casos, um processo problemático e randômico. À medida que o comportamento faciológico dos derrames se amplia, pergunta-se se o conjunto de variáveis que os descrevem não deveriam ser utilizados como critérios de diferenciação hidrogeológica. Esta é, na verdade, a hipótese que motiva o presente estudo, o qual teve como base metodológica os trabalhos desenvolvidos por Fernandes e Rudolph (2001).

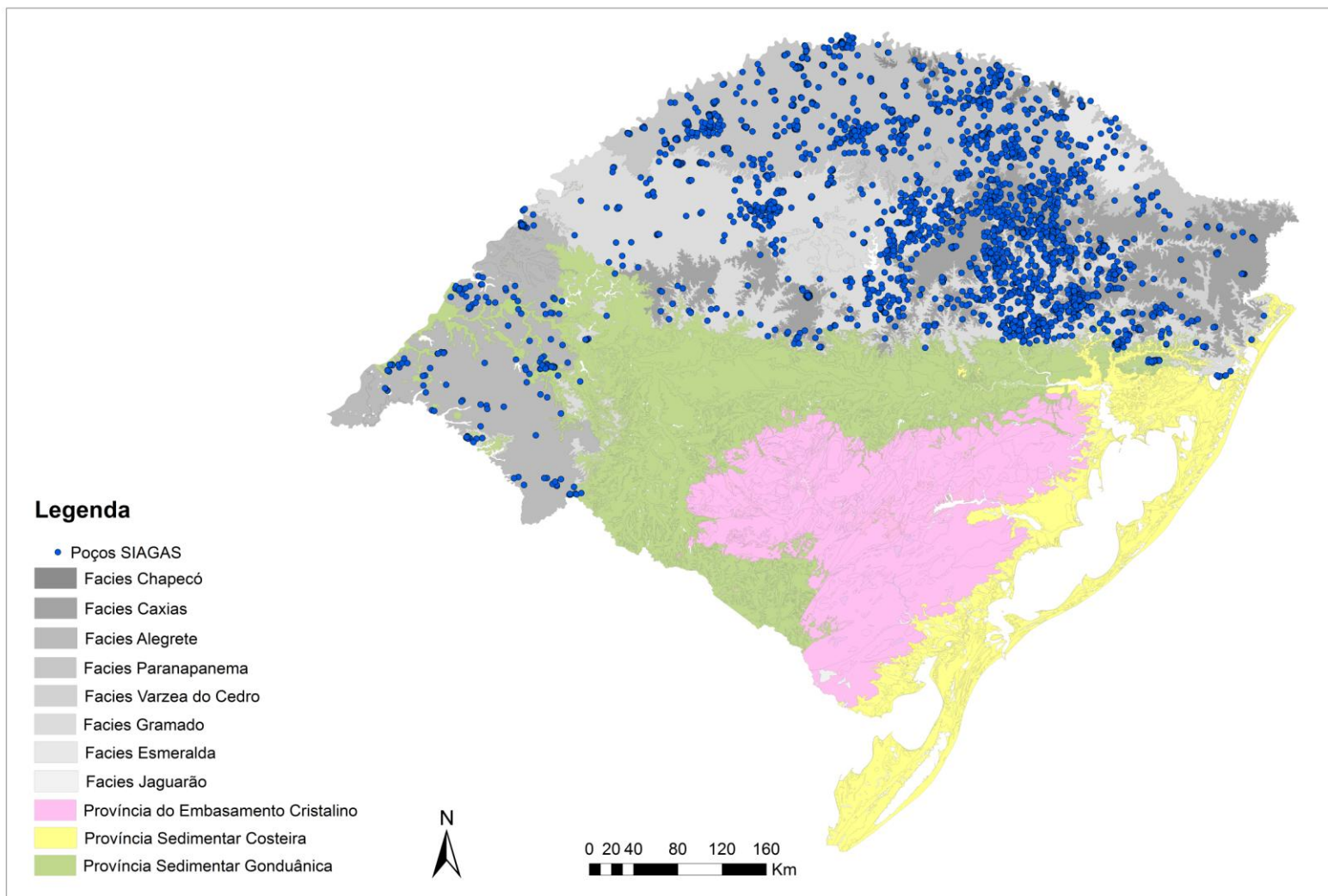


Figura 1 – Mapa Geológico do RS mostrando as áreas aflorantes da Formação Serra Geral e seus respectivos *Fácies*. Os pontos escuros representam os poços tubulares registrados. (Adaptado de CPRM, 2008)..

Tabela 1 – Síntese das informações faciológicas da Formação Serra Geral para o Estado do RS.

Características/ Fácies	Gramado	Esmeralda	Alegrete	Paranapanema	Várzea do Cedro	Caxias	Chapecó
Espessura	conjunto de derrames composito 350m	conjunto de derrames composito 255m	4 a 5 derrames composito espessuras de 150m	derrames de 15 a 65m totalizando espessuras de 100m	espessuras totais inferiores a 100m	derrames de 80m chegando a espessuras de 450m	derrames de 40 a 60m com espessura total de 270m
Forma do derrame	lóbulos de lava pahoehoe confinados ao paleorelevo Botucatu	baixo volátil, fluxo simples	lóbulos de lava pahoehoe gradando para tipo A	alto, volátil, fluxos inflados, compostos, pahoehoe, lavas em corda	maciços e finos	fluxo laminar a turbulento com muitas estruturas de fluxo	espessos depósitos tabulares com bandamento de fluxo
Composição/ Rocha	basalto a basaltos andesíticos	basaltos	basaltos a basaltos andesíticos	basaltos a basaltos andesíticos	riolitos a riolacíticos	riolitos a riolacíticos	riolitos a riolacíticos
Disjunção/ Entablatura	disjunções irregulares, blocos decimétricos a métricos, fácies curvilíneas côncavo-convexas	disjunção colunar esparsa formando blocos métricos a decamétricos	disjunções irregulares, blocos decimétricos a métricos, fácies curvilíneas côncavo-convexas	padrão colunado irregular grosso com blocos maciços métricos delineado por fraturas curvilíneas	esporádica e irregular	basal com disjunção tabular bem regular e desenvolvida e porção central maciça	disjunção tabular proeminente no topo e porção média maciça
Vesículas	densamente vesiculados no topo	milimétricas	presença de níveis com megacavidades	decimétricas no topo	pequenas e achatadas	eventuais	eventuais
Sedimentos intertrápicos	muito frequentes nas porções basais	ausentes	frequente	sedimentos vulcanogênicos entre derrames	ausente	ausente	ausente
Brechas e peperitos	alto nos primeiros derrames	muito baixo a ausente	peperitos na base e autobrecha no topo	eventuais	ausente	dobras de fluxo, autobrechas no topo e derrames intercalados com sedimentos vulcanogênicos	autobrechas eventuais

Fonte: Modificado de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Paraná, CPRM, 2006.

Do ponto de vista hidrogeológico, vale ressaltar que para o RS (CPRM 2005), estes derrames foram discretizados em três unidades distintas, de acordo com sua produtividade aquífera, a saber: (i) sg1-Sistema Aquífero Serra Geral I ($1 < Q/s < 4 \text{ m}^3/\text{h/m}$); (ii) sg2 – Sistema Aquífero Serra Geral II ($Q/s < 0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$); (iii) sg3 – Sistema Aquífero Serra Geral III (poços secos).

METODOLOGIA

Os poços tubulares utilizados neste trabalho encontram-se registrados no SIAGAS (Sistema de Informações de Água Subterrânea). O banco de dados foi manipulado em ambiente de geoprocessamento a partir das manchas de ocorrência das rochas pertencentes à Formação Serra Geral e os seus respectivos *Fácies*. Foi obtido um total de 3420 poços tubulares, dos quais foram extraídas as informações de vazão (Q), níveis estáticos (Ne) e níveis dinâmicos (Nd). Deste total, 25% dos poços continha ensaios de vazão, conjunto a partir do qual, determinaram-se as vazões e níveis estáticos correspondentes a 12 horas de bombeamento. Estes dados são considerados mais representativos para estimar o comportamento aquífero. A Tabela 2 ilustra as estatísticas básicas das variáveis utilizadas para cada um dos *Fácies* considerados.

Tabela 1 – Informações básicas dos poços nos distintos *Fácies*.

Fácies / Informações	Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (s)	Profundidade (m)	(Nd-Ne) (m)	Q (m^3/h)	Q/s ($\text{m}^3/\text{h/m}$)
Esmeralda	\bar{x}	148,40	34,19	15,21	1,03
	s	232,98	31,94	21,67	1,47
Alegrete	\bar{x}	102,90	17,99	21,15	1,92
	s	64,81	18,76	26,79	2,16
Caxias	\bar{x}	114,75	41,88	13,13	2,24
	s	47,17	32,32	12,82	40,30
Chapecó	\bar{x}	146,17	57,18	9,75	0,38
	s	36,55	28,55	6,26	0,58
Gramado	\bar{x}	116,91	33,24	16,60	3,18
	s	60,65	33,18	17,50	24,48
Paranapanema	\bar{x}	117,46	31,54	15,85	10,82
	s	78,80	34,25	15,91	65,19
Várzea do Cedro	\bar{x}	104,33	50,34	9,45	0,55
	s	68,67	58,77	5,57	0,56

De posse destas informações, para cada poço foi calculada a vazão específica (Q/s), conforme indicado pela Equação 1.

$$Q/s = \frac{Q}{(Nd-Ne)}, \text{ em } \text{m}^3/\text{h/m} \quad (1)$$

Os valores de Q/s para poços agrupados por *fácies* foram dispostos em gráficos de frequência acumulada, conforme ilustrado pela Figura 2. De forma complementar, os mesmos dados de Q/s para cada *Fácies* foram correlacionados com os seus respectivos dados de vazão. O resultado pode ser observado na Figura 3.

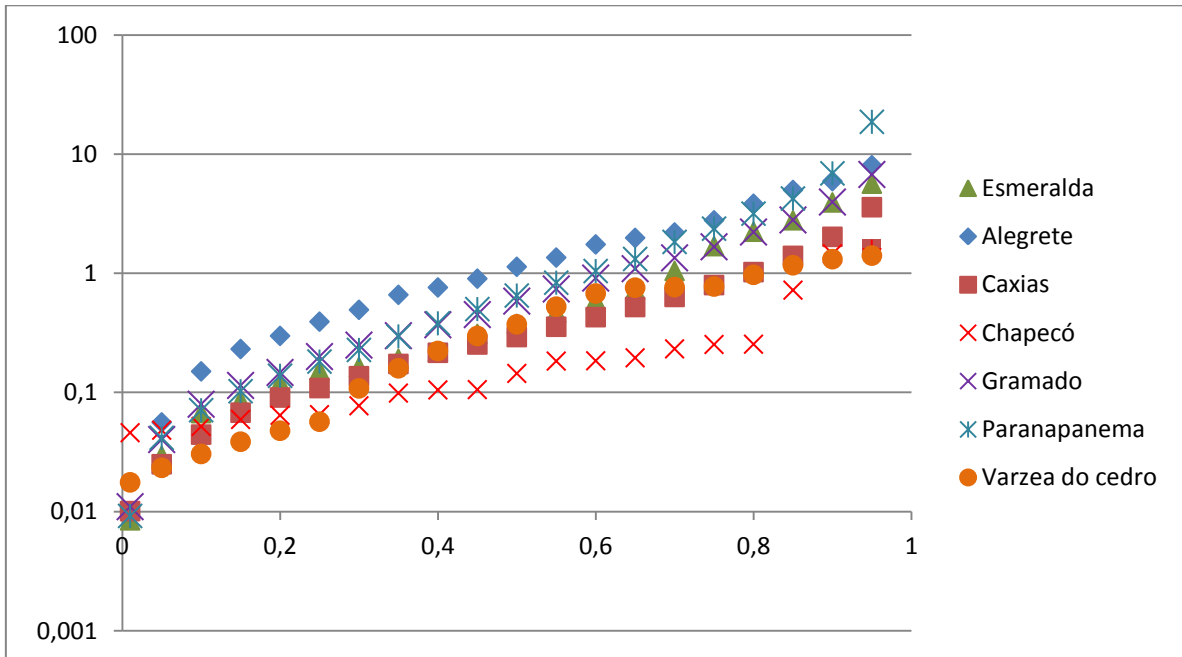
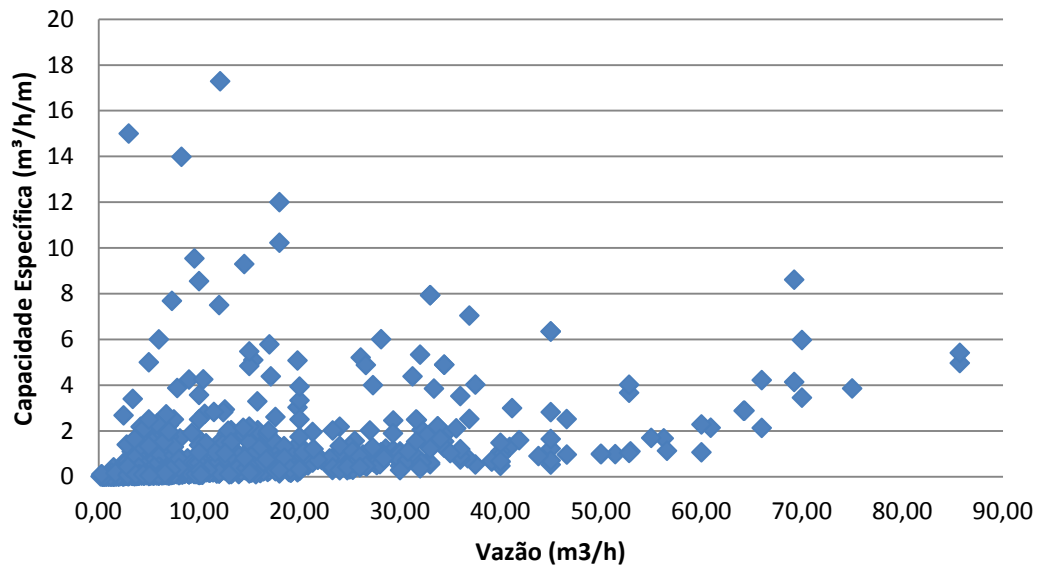


Figura 2 – Distribuições acumuladas das capacidades específicas dos poços agrupados por Fácies no RS.

Caxias



Paranapanema

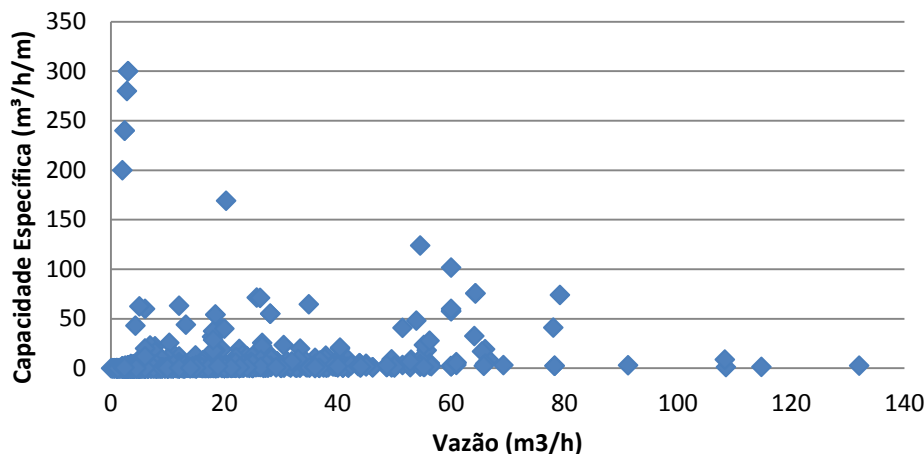


Figura 3 – Exemplo de gráficos de dispersão entre vazões (Q) e capacidades específicas (Q/s) para duas *Fácies* do RS.

RESULTADOS

Nas curvas de distribuição acumulada de Q/s ocorre um descolamento dos valores em praticamente todos os percentis, evidenciando que, em parte, a produtividade aquífera encontra relações de causa e efeito nas características faciológicas dos derrames. Poços nos *Fácies* Alegrete e Paranapanema e Gramado resultam mais produtivos que poços nos demais *Fácies*, ao passo que poços completados no *Fácies* Chapecó apresentam os mais baixos Q/s ao longo da curva. Os gráficos de dispersão entre Q/s e Vazão, por outro lado, também fornecem diferenciações interessantes.

CONCLUSÕES

O banco de dados SIAGAS para o RS permite realizar análises que vão além da simples determinação de parâmetros hidrogeológicos médios e caracterização geral dos poços. Esta possibilidade advém da grande quantidade de poços registrados e das consistências que vem sendo impostas ao banco de dados. Quanto mais completos e consistidos forem os dos dados de entrada, desafio atual do projeto SIAGAS em nível nacional, mais completas e inovadoras serão as avaliações possíveis por parte da comunidade hidrogeológica. Os resultados obtidos mostram que as características texturais e morfológicas dos derrames, tais como foram definidos, implicam em padrões de comportamento aquífero e, em específico, de produtividade. Trata-se de uma abordagem pioneira em se tratando dos *Fácies* da Formação Serra Geral. Representa quisás o início de um longo caminho metodológico, o qual necessariamente tem de ser complementado através de correlações com coincidência e/ou proximidade de estruturas tectônicas, entre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à gerência GEHITE da Superintendência da CPRM de Porto Alegre na figura de seu gerente, Marcos Alexandre de Freitas, pelo apoio ao trabalho e ao colega Wilson Wildner pelas discussões e colaboração na sugestão de bibliografia específica.

REFERÊNCIAS

- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R.; ROISENBERG, A. (1984). High- and low-Ti flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlung*, Stuttgart, v. 150, p. 272-306.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1986). Continental flood basalts from the central-western regions of the Paraná plateau (Paraguay and Argentina): Petrology and petrogenetic aspects, *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlung* 154, 111-139.
- FERNANDES, A.J; RUDOLPH, D.L. (2001). The influence of Cenozoic tectonics on the groundwater-production capacity of fractured zones: A case study in Sao Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology* 9:151-167.
- FREITAS, M.A.; CAYE, B.R.; MACHADO, J.L.F. (org.). Projeto Oeste de Santa Catarina - PROESC : Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do Oeste do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: CPRM, 2002. 1 Cd-Rom. (Convênio CPRM; Governo do Estado de Santa Catarina, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Secretaria de Estado do Desenvolvimento e Extensão Rural e Agricultura; EPAGRI.)
- FREITAS, M.A.; MACHADO, J.L.F. (org.). Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: CPRM, 2005.
- NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. (2001). Litoestratigrafia da Formação Serra Geral. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, Boletim de Resumos. Rio de Janeiro, SBG, 2001. p. 77.
- ROISENBERG, A. (1989) Petrologia e geoquímica do vulcanismo ácido Mesozóico da província meridional da bacia do Paraná. 1989. 285p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. da C.; IGLESIAS, C. M. da F. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul: Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil; Mapas geológicos Estaduais.
- WILDNER, W. (2004). Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná – Conceitos básicos e divisão faciológica. In Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia / SBG / Porto Alegre / 2004.
- WILDNER, W. (2008). Serra Geral Magmatism in the Paraná Basin – A new stratigraphic proposal, chemical stratigraphy and geological structures In I Workshop – Problems in Western Gondwana Geology, 2008.