



Estimativa de recarga aquífera em duas bacias hidrográficas com diferentes características hidromorfológicas

Taison Anderson Bortolin¹, Pedro Antonio Roehé Reginato²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (tabortol@ucs.br)

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (pedro.reginato@ufrgs.br)

Resumo

A estimativa de recarga de água subterrânea é um fator essencial em estudos de disponibilidade, gestão, modelagem e uso dos recursos hídricos subterrâneos, sendo que a mesma é dependente de diferentes fatores, entre eles, as características hidromorfológicas da bacia. Neste sentido, este estudo objetiva apresentar a estimativa de recarga para duas bacias hidrográficas inseridas no Sistema Aquífero Serra Geral e que possuem diferentes características hidromorfológicas, avaliando as diferenças existentes. Para tanto, foram calculados diferentes parâmetros fisiográficos e de relevo, relacionando com valores de recarga estimados com o uso do método de separação de escoamento por filtros digitais. A partir dos resultados encontrados, constatou-se que na bacia com ocorrência de menores declividades e relevo menos acentuado, as taxas de recarga são maiores quando comparadas com a bacia que apresenta um relevo mais dissecado, mostrando a importância de avaliação de tais parâmetros ao se estimar a recarga em diferentes regiões.

Palavras-chave: filtros digitais, parâmetros fisiográficos, Sistema Aquífero Serra Geral.

Área Temática: Recursos Hídricos

Estimation of aquifer recharge in two hydrographic basins with different hydromorphological characteristics

Abstract

The estimation of groundwater recharge is an essential factor in studies of availability, management, modeling and use of groundwater resources, and the same person depends on different factors, among them, as hydromorphological characteristics of the basin. In this sense, this objective study presents an estimate of recharge for two hydrographic basins inserted in the Serra Geral Aquifer System and that has different hydromorphological characteristics, evaluating as differentiated. In order to do so, we calculated different as well as relief, relating to estimated recharge values with the use of the separation method of flow through digital filters. From the results found, it was observed that in the basin with lower slopes and less marked relief, the recharge rates are higher when compared to the basin that presents a more dissected relief, showing the importance of evaluating such parameters when estimate recharge in different regions.

Key words: digital filters, physiographic parameters, Serra Geral Aquifer System

Theme Area: water resources



1 Introdução

A recarga é um mecanismo importante do ciclo hidrológico, a qual pode ser definida como o fluxo de água através da zona não saturada do solo, que alcança o nível freático e se adiciona ao reservatório de água subterrânea (FREEZE e CHERY, 1979; HEALY, 2010), contribuindo para aumentar a reserva subterrânea permanente ou temporária de um aquífero (LERNER et al., 1990).

Sua estimativa é importante em estudos de disponibilidade, gestão, modelagem e uso dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente em regiões onde as águas subterrâneas são o recurso natural mais essencial para o desenvolvimento das atividades sociais e econômicas.

A recarga possui variação espacial e temporal, cuja ocorrência e quantidade dependem de uma série de processos que ocorrem na superfície do terreno e de características inerentes ao aquífero. Rushton (1988), Scanlon et al. (2002) e Healy (2010) abordaram uma série de fatores que podem influenciar na recarga dos aquíferos, sendo alguns destes: clima, precipitação, solos, geologia, superfície topográfica, relevo local, uso e cobertura do solo, variação na geomorfologia, características morfométricas, entre outros.

Especialmente a morfometria de bacias hidrográficas, analisadas a partir da geomorfologia e rede de drenagem, permite a identificação de suas características gerais a partir de uma análise quantitativa, usando valores de um conjunto de parâmetros que podem revelar o comportamento ambiental de determinada região (SOARES e SOUZA, 2012), bem como influenciar na taxa de recarga dos aquíferos.

Neste contexto, este trabalho objetiva apresentar a estimativa de recarga para duas bacias hidrográficas inseridas no Sistema Aquífero Serra Geral e que possuem diferentes características hidromorfológicas, avaliando as diferenças existentes.

2 Área de estudo

A área de estudo compreende duas sub-bacias que estão localizadas na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, inseridas no trecho médio da bacia Taquari-Antas, conforme mostra a Figura 1.

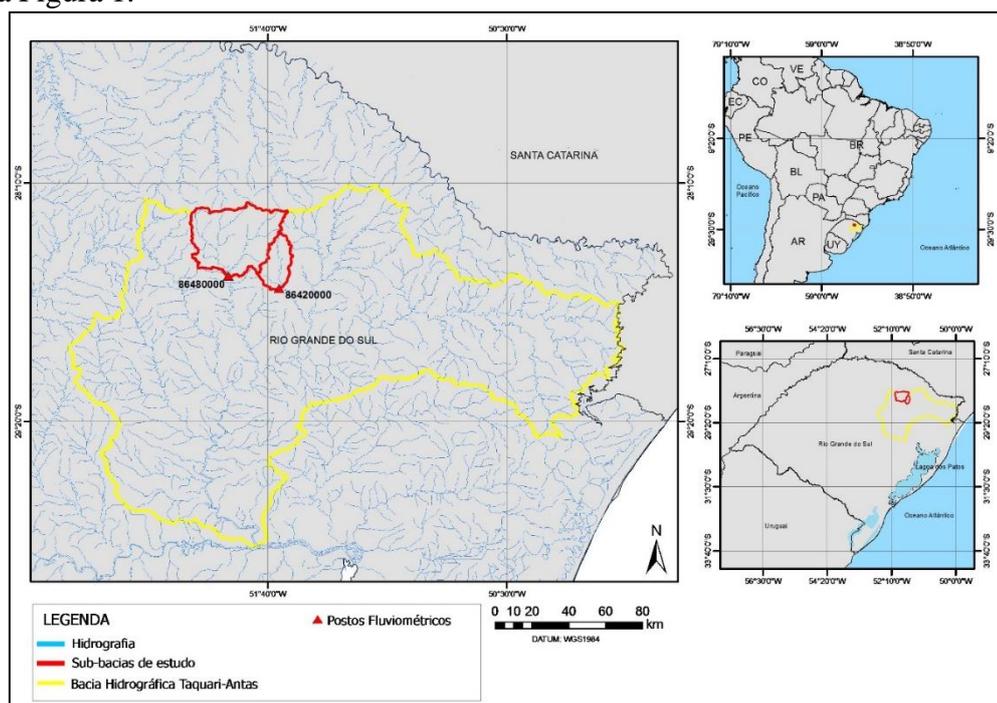


Figura 1 – Localização da Área de Estudo



A sub-bacia denominada como Bacia 1 (86420000) corresponde a um afluente da bacia hidrográfica do Rio da Prata, enquanto a Bacia 2 (86480000) está inserida na região mais elevada do Rio Carreiro. Ambas as bacias estão inseridas totalmente no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), considerado um dos aquíferos mais importantes do estado do Rio Grande do Sul, marcado pela ocorrência de rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral, inserida na Província Geológica do Paraná (ZALAN et al., 1991). Conforme Viero e Silva (2010), o SASG consiste em aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas. As duas bacias apresentam distribuição semelhante de solos, sendo possível evidenciar a presença de chernossolos e latossolos.

3 Metodologia

A metodologia utilizada para realização deste estudo consistiu em duas etapas: delimitação das bacias e cálculo dos parâmetros hidromorfológicos; e estimativa de recarga a partir da utilização de filtros digitais.

3.1 Delimitação da bacia e cálculo dos parâmetros hidromorfológicos

A caracterização física e morfométrica de cada sub-bacia a fim de avaliar os parâmetros fisiográficos foi realizada a partir da análise de modelos digitais de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM, utilizando os softwares IDRISI Selva 17.0 e ArcGis 10.2. As informações de relevo e declividade foram obtidas a partir de imagens disponíveis pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no banco de dados TOPODATA (VALERIANO, 2008). Posteriormente, reclassificou-se o parâmetro declividade de acordo com as classes definidas pela Embrapa (1999). Os parâmetros hidromorfológicos calculados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros hidromorfológicos utilizados neste estudo

Parâmetro Fisiográfico	Equação	Variáveis / Significado
A - Área da Bacia (km ²)	-	Refere-se a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, fornecida em m ² ou km ²
P - Perímetro da Bacia	-	Representa o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas que delimita a área da bacia hidrográfica, sendo expresso em km
Kc – índice de compacidade (adimensional)	$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$	P – perímetro da bacia (km); A – área da bacia (km ²).
Dd – densidade de drenagem (km/km ²)	$D_d = \frac{L_t}{A}$	L _t – comprimento total dos canais (km); A – área da bacia (km ²).
L – comprimento do rio principal (km)	L	Distância da nascente mais distante até a foz (km)
L _t - Comprimento Rede de Drenagem	L _t	representa a soma de todos os comprimentos de rios da bacia hidrográfica, em km
H _m – amplitude altimétrica máxima da bacia (m)	H _m = AN - AF	AF – altitude da foz (m); AN – altitude do ponto mais alto do divisor topográfico (m)
R _r – relação de relevo (m ⁻¹)	$R_r = \frac{H_m}{L_b}$	H _m – amplitude topográfica máxima (m); L _b – comprimento da bacia (m).
I _r – índice de rugosidade (adimensional)	I _r = H . D _d	H – amplitude altimétrica (km); D _d – densidade de drenagem (km.km ⁻²).
Declividade Média (graus)	-	Inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal
Declividade Média (porcentagem)	-	

Fonte: CHRISTOFOLETTI, (1980); STRAHLER (1952); SOARES e SOUZA (2012)



3.2 Estimativa de recarga

Para estimativa de recarga, utilizou-se o método de separação do escoamento de base a partir do Filtro Digital Recursivo de Eckhardt, sendo esta metodologia escolhida principalmente por se tratar de um método generalista e de fácil aplicação. Este filtro recursivo se refere a um algoritmo empregado para calcular o fluxo de base em cursos de água, por meio da separação da vazão dos rios em duas componentes: escoamento superficial e escoamento de base, conforme apresentado na Equação 1.

$$y_i = f_i + b_i \quad (1)$$

Onde:

- y = vazão do rio (m³/s)
- f = escoamento superficial (m³/s)
- b = escoamento de base (m³/s)
- i = intervalo de tempo

Segundo Eckhardt (2005), a equação do filtro digital para determinação do escoamento possui a seguinte forma:

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max})\alpha b_{i-1} + (1 - \alpha)BFI_{max}y_i}{1 - \alpha BFI_{max}} \quad (2)$$

Onde:

- b = escoamento de base (m³/s)
- BFI_{max} = parâmetro que limita o escoamento de base (ad.)
- y = vazão do rio (m³/s)
- a = constante de recessão (ad.)

Para este trabalho, a constante do período característico (k) para cada uma das séries foi definida com base na análise dos dados de períodos de recessão com mais de 25 dias a fim de encontrar um valor médio para cada posto fluviométrico, obtidos no sistema nacional de informações sobre recursos hídricos (hidroweb – ANA).

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{Q_{(t+\Delta t)}}{Q_{(t)}}\right)} \quad (3)$$

$$a = e^{-\frac{\Delta t}{k}} \quad (4)$$

Onde:

- k = constante do período característico (ad.)
- Q = vazão (m³/s)
- a = constante de recessão (ad.)



A definição do parâmetro BFI_{max} é baseada na geologia local, porém Colischonn e Fan (2013) propuseram a estimativa deste parâmetro através de um filtro inverso, a partir das seguintes equações:

$$b'_{i-1} = \frac{b'_i}{\alpha} \quad (5)$$

Sujeito à restrição $b_{i-1} < y_{i-1}$, onde b_{i-1} , representa uma primeira aproximação do escoamento de base no tempo $i-1$. O parâmetro BFI_{max} pode ser estimado por:

$$BFI_{max} = \frac{\sum_{i=1}^N b'_i}{\sum_{i=1}^N y_i} \quad (6)$$

Para se obter a estimativa de recarga aquífera foram utilizados dados de vazão para cada estação fluviométrica analisada referente ao período de 1970 a 2006, assim como a área de drenagem de cada sub-bacia, utilizando a equação a seguir:

$$TR = \frac{\bar{b}}{A} \cdot 1000 \cdot 31622400 \quad (7)$$

Onde:

- TR = taxa de recarga aquífera (mm/ano)
- \bar{b} = média dos valores de fluxo de base (m³/s)
- A = área de drenagem (m²)

O uso de medições de escoamento de base para estimar a recarga é baseado na abordagem do balanço hídrico, no qual a recarga é equiparada à descarga. Entretanto, deve-se considerar que esta afirmação pode não ser adequada quando taxas de bombeamento, evapotranspiração e percolação profunda contribuem de forma significativa no equacionamento do balanço (SCANLON et al., 2006).

4 Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o relevo (hipsometria) e a declividade característica das duas bacias hidrográficas analisadas. As cotas da região variam entre 600 e 1.300 m, sendo constituídos por extensos platôs e superfícies planálticas embutidas, levemente adernadas para oeste. Os padrões de relevo dominantes consistem de antigas superfícies de aplainamento, que demarcam o topo do Planalto dos Campos Gerais. Apresentam topografia plana a levemente ondulada, com desnivelamentos inferiores a 20 m e classes de declividade média que varia entre 8 e 14%.

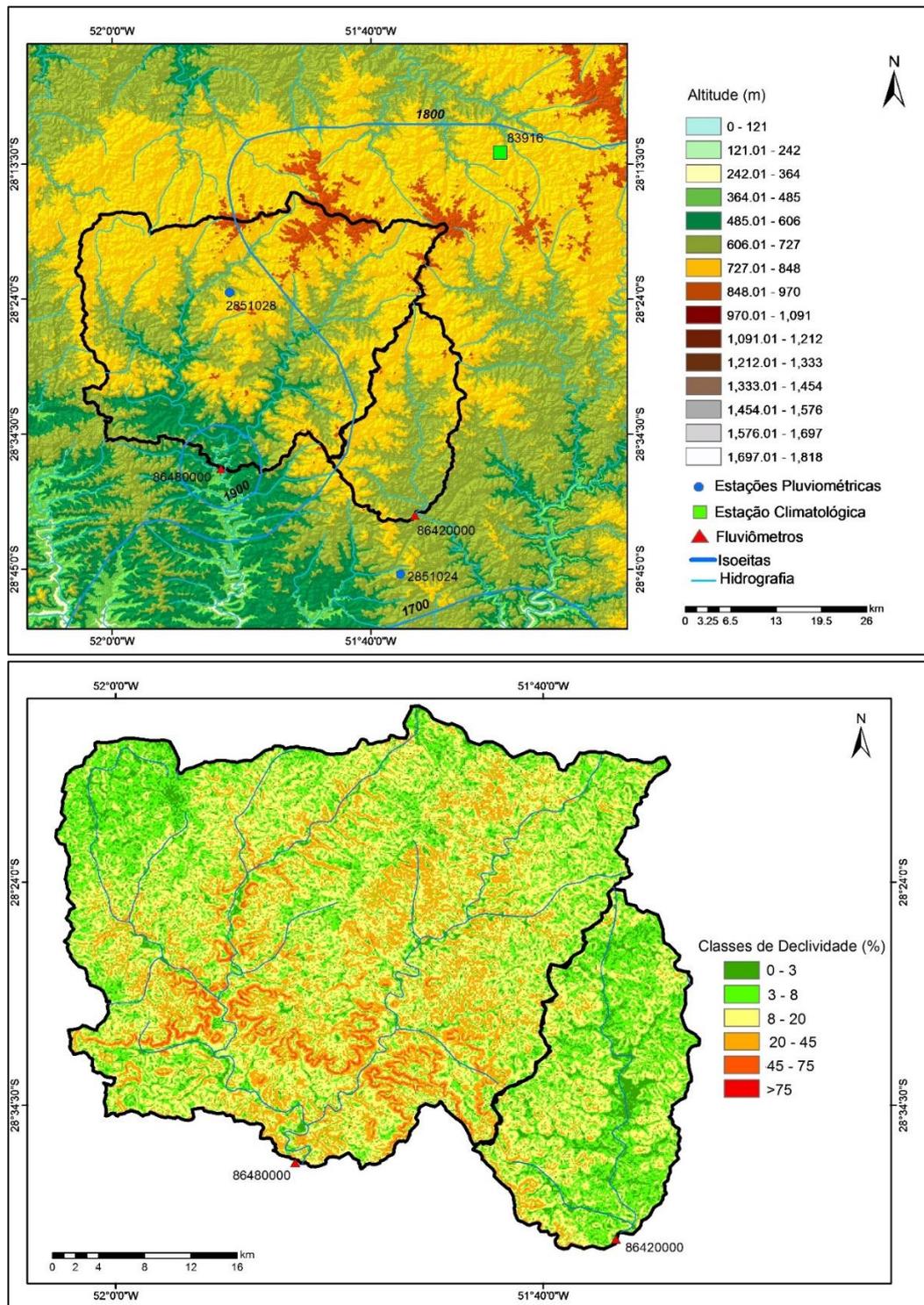


Figura 2 – a) Estações, hipsometria e isoietas na área de estudo ; b) Classes de declividade nas bacias de estudo

A tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros hidromorfológicos calculados, enquanto a tabela 3, mostra os valores de precipitação e de recarga estimados para as duas bacias.



Tabela 2 – Valores obtidos para os parâmetros hidromorfológicos calculados

Parâmetro Fisiográfico	Bacia 1 (86420000)	Bacia 2 (86480000)
A - Área da Bacia (km ²)	317	1330
Perímetro da Bacia (km)	120,96	255,24
Kc – índice de compacidade (adimensional)	1,92	1,97
Dd – densidade de drenagem (km/km ²)	0,264	0,291
L – comprimento do rio principal (km)	44,65	79,6
Lt - Comprimento Rede de Drenagem (km)	83,68	386,92
Hm – amplitude altimétrica máxima da bacia (m)	187	346
Rr – relação de relevo (m. m ⁻¹)	7,94	8,02
Ir – índice de rugosidade (adimensional)	49,36	100,69
Declividade Média (graus)	4,74	7,79
Declividade Média (porcentagem)	8,32	13,89

Tabela 3 – Estimativa de recarga para as bacias do estudo

Bacia	Recarga (mm/ano)	k	a	bi (m ³ /s)	BFI	Vazão Média (m ³ /s)	Precipitação (mm/ano)	% Recarga
Bacia 1 - 86420000	420,31	26,97	0,96	4,18	0,42	9,54	1790	23,48
Bacia 2 - 86480000	302,20	22,71	0,95	12,37	0,34	35,37	1900	15,91

Observa-se que a bacia 1 apresenta a menor área, declividade, amplitude altimétrica, declividade e densidade de drenagem. As bacias hidrográficas que apresentam baixa declividade e Dd possuem menor capacidade de escoamento das águas de precipitações, potencializando a infiltração das águas subterrâneas, ampliando a recarga do lençol freático e reduzindo os efeitos dos picos de vazão, diminuindo os riscos de extravasamento dos canais fluviais (FRAGA et al., 2014). Isto se reflete também no menor índice de rugosidade, apresentando um relevo mais plano, em contraponto a um índice de rugosidade maior que implicará em relevo mais colinoso e dissecado, com maior declividade e canais mais entalhados (Castro & Carvalho, 2009) e por consequência menores taxas de recarga.

Esta relação é identificada na tabela 3, onde verifica-se que a bacia 1 apresenta maior percentual de recarga (23,5%) quando comparada a bacia 2 (15,91%), mesmo ocorrendo uma precipitação menor em sua área, evidenciando a influência dos fatores hidromorfológicos na recarga das bacias em questão.

5 Considerações finais

Neste trabalho, pode-se observar como as características hidromorfológicas influenciam na estimativa das diferentes taxas de recarga em bacias hidrográficas, ao se utilizar um método de separação de escoamento por filtros digitais.

Para as duas bacias de estudo, observou-se que, na região com menores declividades e relevo menos acentuado, as taxas de recarga são maiores quando comparadas com a bacia que apresenta um relevo mais dissecado.

Deve-se citar, também, que outros fatores, não menos importantes tais como as características inerentes do próprio sistema aquífero contribuem para as diferentes estimativas de recarga, sendo necessários considerá-los em uma avaliação mais aprofundada. Destaca-se, também, a importância de analisar um número maior de bacias, permitindo comparar as diferentes feições com as estimativas de recarga calculadas.



Referências

- CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turco-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia Plena*, v.5, n.2, 2009.
- COLLISCHONN, W.; FAN, F. Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter. *Hydrological Processes*, v. 27, n, 18, p. 2614-2622, 2013.
- ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Process*, v. 19, n. 2, p. 507–515, 2005.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.
- FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I, S, B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. *Nativa*, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.
- FREEZE R. A.; CHERRY J. A. *Groundwater*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey., 1979, 604 pp.
- HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. RU: Cambridge University Press, 2010. 245 p.
- LERNER DN; ISSAR AS; SIMMERS I. **Groundwater recharge**. A guide to understanding and estimating natural recharge. *Int Contrib Hydrogeol Verlang Heinz Heise* 8, 345 p., 1990.
- RUSHTON KR. Numerical and conceptual models for recharge estimation in arid and semi-arid zones. In: *Simmers I (ed) Estimation of natural groundwater recharge*. NATO ASI, 1988.
- SCANLON B. R.; KEESE, K. E.; FLINT, A. L.; FLINT, L. E; GAYE, C. B.; EDMUNDS, W. M.; SIMMERS, I. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Process*, v. 20, p. 3335–3370, 2006.
- SCANLON, B. R.; HEALY, R.; COOK, P. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, v. 10, n. 1, p. 18–39, 2002.
- SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). *Geografia (Londrina)*, v. 21, n. 1, p. 19-36, 2012.
- VALERIANO M.D.M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE - São José dos Campos, 2008.
- VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da (Orgs.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil - PGB. Levantamento da Geodiversidade.
- ZALÁN, P. V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. L.; ASTOLFI, A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO O. A.; MARQUES A. Tectonics and Sedimentation of Paraná Basin. In: *INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7.*, 1991. **Proceedings...**, Tasmania, Austrália: [s.n.], 1991. p. 83 -117.