

Mapa Preliminar de Favorabilidade de Água Subterrânea no Aquífero de Serra Geral na Pequena Bacia Hidrográfica do Lagoado Refúgio Baiano, Região Oeste de Santa Catarina.

Patricia Durringer Jacques^{1,2}
Romulo Machado²
Alexis Rosa Nummer³

¹ CPRM-Serviço Geológico do Brasil
Av. Pasteur, 404 – Urca – 22290-240- Rio de Janeiro - RJ, Brasil
pdj@rj.cprm.gov.br

² Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago 562- 05508-080, São Paulo, SP, Brasil. rmachado@usp.br

³ Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR 465, Km 7- 23.890-000, Seropédica, RJ, Brasil.
nummer@ufrrj.br

Abstract. This paper describes a method based on index overlay to generate a preliminary favorability map for underground water. It is based on remote sensing images obtained free on the internet like Landsat ETM 7+ and SRTM products. The maps generated by these images are: land use and land cover, buffer from lineaments and slope. The land use and land cover map is based on the first image of the principal component analysis, then it is given colors based on the expert knowledge and an unsupervised classification. For each one of these maps a value was given and a note for all the classes. The geological rocks are volcanic of Serra Geral Formation so the main map is the distance of lineaments based on brittle structures. The slope map has intermediate weight as the geomorphologic context is very important too. The final map was obtained and it is preliminary because it is a step done before the field part. The method is satisfactory as it is possible to generate data of high possibility of finding underground water before the field part, without spending money.

1. Introdução

A região oeste de Santa Catarina destaca-se pela intensa atividade agroindustrial, criação de bovinos, suínos e plantação de maçã (<http://www.sc.gov.br/conteudo/santacatarina/geografia/paginas/regioes.htm> acessado em 03/11/2010). Com o passar do tempo a intensa atividade agropecuária, resultou na contaminação dos mananciais superficiais, principalmente por dejetos de animais e agrotóxicos. Adicionado ao fator contaminação, também vem ocorrendo freqüentes estiagens de chuva, acarretando em uma corrida em busca das águas subterrâneas (Freitas *et al.*, 2002).

As rochas presentes no oeste de Santa Catarina são predominantemente vulcânicas (Fig.1), relacionadas ao rifteamento do Gondwana (reativação Wealdeniana ou Sul-Atlântica). Estas rochas pertencem à Formação Serra Geral que registra grupos de fraturas e falhas que viabilizam a exploração de águas subterrâneas nestas rochas.

O Aquífero Botucatu encontra-se estratigraficamente abaixo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, portanto a exploração deste aquífero exige perfurações mais profundas e consequentemente a custos maiores. Em função disso, a maior parte dos poços perfurados no oeste de Santa Catarina explora água da Formação Serra Geral.

A Pequena Bacia Hidrográfica (PBH) escolhida para a realização dos estudos é a PBH do Lagoado Refúgio Baiano, localizada no Município de São José do Cerrito, no oeste catarinense, que ocupa uma área de aproximadamente 82 km². Esta PBH foi selecionada por estar contida inteiramente em um dos municípios classificados como de alta priorização no

Projeto Microbacias2 (www.microbacias.sc.gov.br, acessado em 04/11/10), executado pelo governo de Santa Catarina, que tem por objetivo a recuperação ambiental e o apoio ao pequeno produtor rural com renda de até 2 salários mínimos, em 98 microbacias do estado.

Os poços perfurados nesta PBH exploram o Aquitarde Fraturado Formação Serra Geral e visam o abastecimento urbano. O desconhecimento da hidrogeologia da região causa uma série de problemas ambientais como a contaminação da água subterrânea por bactérias ou agrotóxicos, bem como a superexploração e consequentemente o alto percentual de poços secos e esgotamento de aquíferos.

Este projeto tem como objetivo a geração de um mapa preliminar de favorabilidade de água subterrânea, através de produtos gerados por sensores remotos (SRTM e Landsat) disponibilizados gratuitamente através da internet.

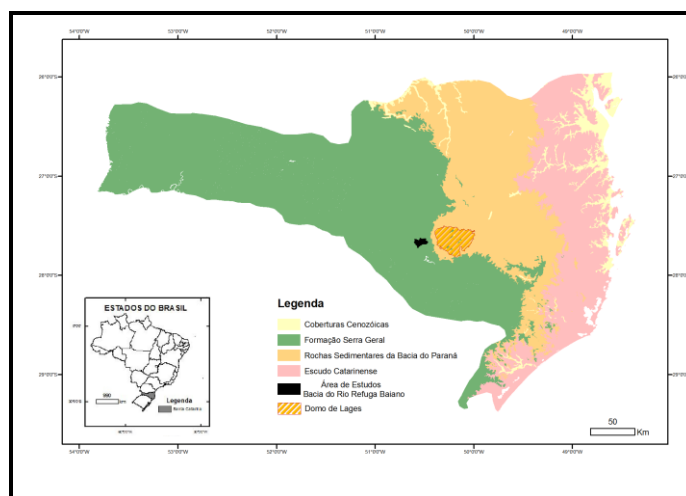


Figura 1 – Principais domínios geológicos do Estado de Santa Catarina. (Modificado de Perrota *et al.*, 2004 e Ramgrab *et al.*, 2004).

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia utilizada para a execução do projeto é baseada em três produtos gerados a partir de sensores remotos, disponíveis gratuitamente na internet. Os produtos gerados a partir de imagem Landsat e SRTM são: mapa de uso e cobertura do solo, mapa de distância de lineamentos e mapa de declividade. A partir do peso e notas à estes mapas foi gerado o mapa preliminar de favorabilidade de água subterrânea.

2.1 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo

A cena do satélite Landsat ETM 7⁺ utilizada neste trabalho é a 221_079, com data de 12/11/2002. Foi obtida gratuitamente no endereço eletrônico do United States Geological Survey USGS (<http://glovis.usgs.gov>).

A fase de pré-processamento da imagem consistiu, na realização da correção atmosférica, pois os padrões de reflectância dos objetos ou alvos registrados pelos sensores sofrem interferências produzidas por moléculas de gases da atmosfera. Os efeitos desta interferência variam de acordo com o comprimento de onda da radiação incidente (Turner *et al.*, 1971). Foi utilizado o método da subtração, também denominado de método do *pixel* escuro, utilizando-se para calibração um alvo escuro, ou regiões de sombra, para calibração (Chavez, 1988).

Foi feita a fusão da banda pancromática (banda 8) com as bandas multiespectrais R1G2B3 e depois R3G5B7, para que todas as bandas multiespectrais obtivessem 15 metros de resolução espacial. O algoritmo utilizado foi o *merge* do *software* ENVI, com opção de 30% da composição RGB e método matemático bilinear.

Aplicação da Análise de Principais Componentes (APC) nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, visando a redução do número de variáveis. Através da primeira componente é que foi realizada a classificação do mapa de uso do solo e cobertura vegetal. Nesta primeira APC foi realizado um fatiamento visual com intervalos de cores correspondentes às quatro classes de interesse para o estudo que são: Cobertura vegetal densa (mata nativa e plantio de eucalipto), Cobertura vegetal média (capoeira), Pastagem, Área urbana/Solo exposto (Fig. 2).

Após esta classificação visual sobre a APC1, foi gerada uma imagem RGB de 24 bits com as classes agrupadas. Sobre este RGB realizou-se a classificação não supervisionada *K-means* do *software* ENVI. As classes geradas foram convertidas para o formato vetorial (*shape file*) e importadas para o ArcGIS (Fig.3).

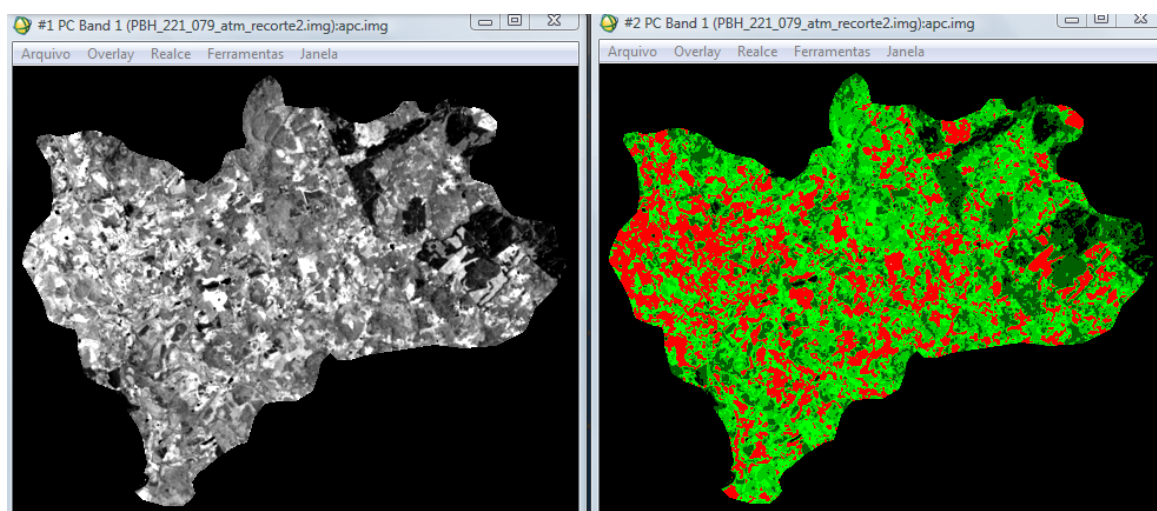


Figura 2 – APC1 em preto e branco (lado direito) e com o fatiamento de cores utilizado na classificação do mapa de uso do solo e cobertura vegetal.]

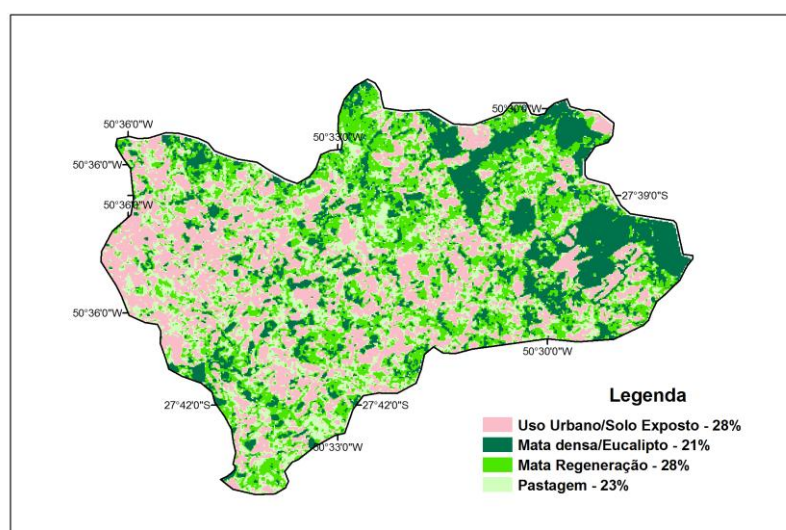


Figura 3 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal utilizado na modelagem.

2.2 – Lineamentos

De acordo com O'Leary *et al.* (1976), lineamento é uma feição mapeável na superfície terrestre, linear, retilínea ou suavemente encurvada, simples ou composta. A sua presença reflete fenômenos de subsuperfície que podem estar relacionados com falhas, fraturas ou outras morfoestruturas. Os lineamentos podem representar altos topográficos (lineamentos positivos, como cristas alinhadas) e baixos topográficos (lineamentos negativos como drenagens e vales). Neste trabalho foram digitalizados os lineamentos referentes aos baixos topográficos, relacionados à estruturas rúpteis, expressas por drenagens retilíneas e vales encaixados.

Os lineamentos foram extraídos manualmente, através de interpretação visual sobre imagens de relevo sombreado do Projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Os dados estão disponíveis gratuitamente em: <http://seamless.usgs.gov>, com resolução espacial de 90 metros. Este MDE foi reamostrado pelo método da convolução cúbica para 30 metros de resolução espacial e posteriormente foram geradas imagens de relevos sombreados com elevação solar de 45° para os seguintes azimutes: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°. Nas interpretações para extrações de estruturas na escala 1:50.000, foram utilizadas apenas imagens de relevos sombreados nas seguintes direções: 0°, 45°, 90° e 315°. Estas quatro direções destacam morfoestruturas de relevo negativo (vales, drenagens, sulcos, etc.) e de relevo positivo (cristas, montanhas, domos, etc.).

A Figura 4 mostra dois diagramas de rosetas de freqüência absoluta com intervalos de 10°. O diagrama de roseta A refere-se aos lineamentos deste trabalho e o diagrama B ao obtido para o oeste de Santa Catarina por Freitas *et al.* (2002). Os diagramas indicam lineamentos de direções muito próximas, indicando que a PBH do Lageado Refugio Baiano apesar de não ter sido estudada na área do PROESC (Projeto Oeste de Santa Catarina), possui características próximas, pois pertence ao mesmo contexto geológico, geomorfológico e estrutural.

A partir dos lineamentos foi gerado o mapa de distância (Figura 5) com os seguintes intervalos: < 1 km, 1 -2 km, 2-3 km, 3-4 km e > 5 km.

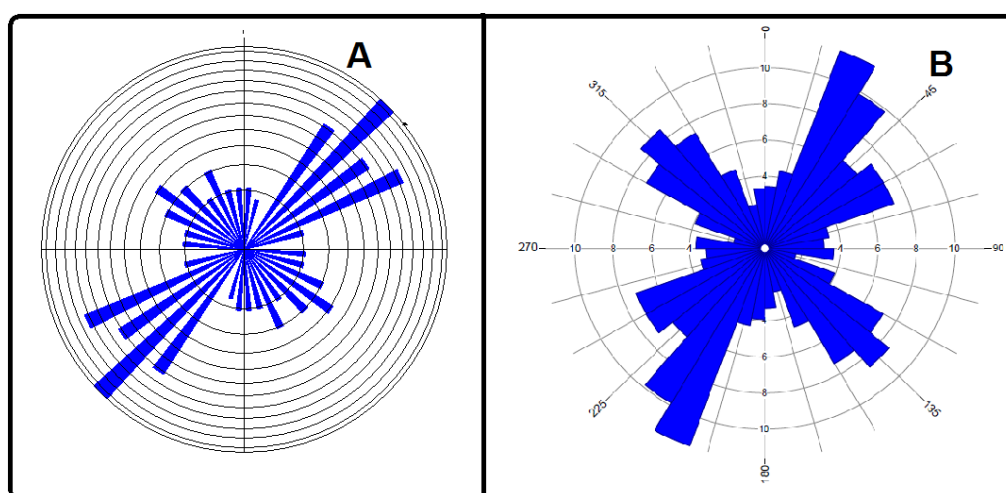


Figura 4 – Comparação do diagrama de rosetas dos lineamentos extraídos neste trabalho (A) e os lineamentos obtidos por Freitas *et al.* (2002) para o oeste de Santa Catarina.

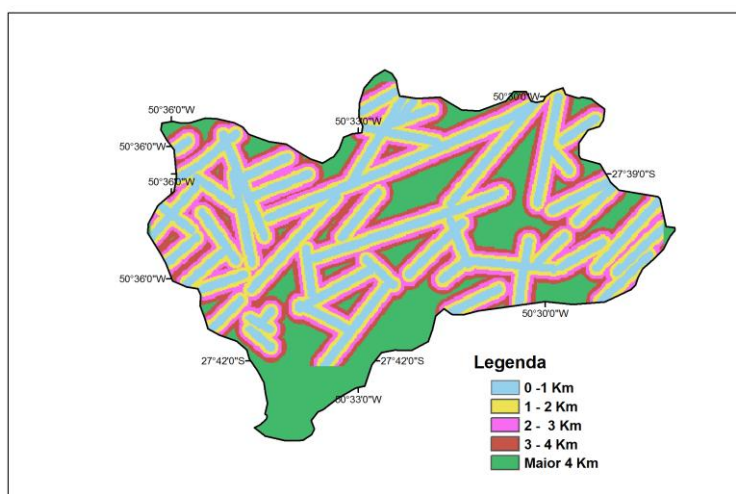


Figura 5 – Mapa de distância dos lineamentos utilizado na modelagem.

2.3 Mapa de declividade

O mapa de declividade (Figura 6) foi gerado a partir das imagens do MDE –SRTM e classificado de acordo com a proposta de Herz & de Biasi (1992), nos seguintes intervalos:

Classe 1 - < 5% - Refere-se ao limite urbano-industrial utilizado internacionalmente.

Classe 2 - 5-10% - Define o limite máximo da agricultura mecanizável (o limite superior pode variar até 13%).

Classe 3 - 10-30% - O limite superior de 30% é definido pela Lei Federal 6766/79, como o limite máximo para a urbanização sem restrições.

Classe 4- 30-45% - A Lei nº 4771/65 do código Florestal, fixa o limite de 25° (47%), como o limite máximo de corte raso das árvores, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas.

Classe 5 - > 45% - Justificado acima.

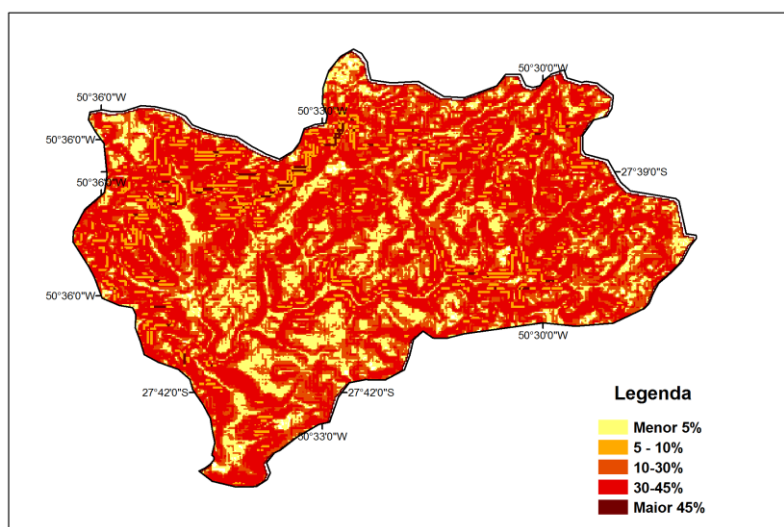


Figura 6 – Mapa de declividade utilizado na modelagem

2.4 Mapa Preliminar de Favorabilidade de Água Subterrânea

O mapa preliminar de favorabilidade de água subterrânea foi gerado com base no método multicritério aditivo, definido por Xavier-da-Silva (2000) como média ponderada. Desta forma cada um dos mapas utilizados recebeu um peso e cada classe suas respectivas notas de acordo com a Tabela 1.

O modelo foi aplicado individualmente aos temas, Uso e cobertura do solo, distância dos lineamentos e declividade de forma a atribuir valores de notas finais em cada classe de cada mapa. Depois estes mapas foram reclassificados de acordo com a coluna “Nota Final” da Tabela 1 e adicionados no *Software* ArcGIS 9.2 com a função RASTER CALCULATOR, que permitiu o tratamento dos dados e a geração do mapa preliminar de favorabilidade de água subterrânea (Fig. 7).

MAPA	PESO	CLASSE	NOTA	NOTA FINAL
Uso do solo e Cobertura vegetal	1	Uso urbano/solo exposto	1	1
		Mata densa	4	4
		Mata em Regeneração	3	3
		Pastagem	2	2
Distância dos Lineamentos	3	0-1 km	4	12
		1-2 km	3	9
		2-3 km	2	6
		> 4 km	1	1
Declividade	2	< 5%	5	10
		5 -10%	4	8
		10-30%	3	6
		30-45%	2	4
		> 45%	1	1

Tabela 1 – Pesos e notas dos mapas e classes utilizados na modelagem.

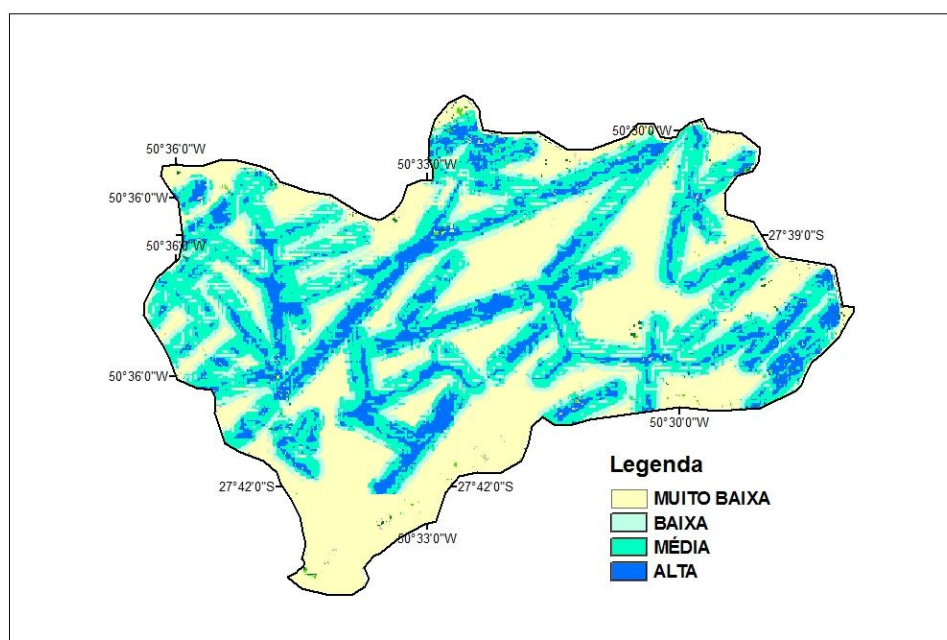


Figura 7 – Mapa preliminar de favorabilidade de água subterrânea.

3. Resultados e Discussões

O produto final foi gerado a partir de três mapas obtidos através de imagens de sensoriamento remoto obtidas gratuitamente pela internet. Nesta etapa preliminar, que sucede a etapa de campo, o maior peso foi dado ao mapa de distância de lineamentos, visto que as estruturas rúpteis registradas nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, são as principais variáveis que influenciam e contribuem para a recarga de água subterrânea neste ambiente fissural.

A importância da caracterização de estruturas rúpteis, em especial de estruturas transmissivas, em estudos de hidrogeologia em rochas de porosidade secundária (fraturadas), é evidenciada pela “Lei Cúbica” desenvolvida por Snow (1968 *apud* Fernandes 2008), para o cálculo da condutividade hidráulica. De acordo com a equação a variável abertura da fratura é elevada ao cubo, enquanto que, a variável densidade de fratura é elevada à um, demonstrando que para estudos de água subterrânea em meio fraturado, a abertura das fraturas tem relevância três vezes maior do que o número de fraturas.

De acordo com Freitas *et al.*, 2002 a melhor situação para a ocorrência de água subterrânea nos terrenos fraturados do oeste de Santa Catarina, é relacionada a ocorrência de pequenos derrames empilhados, separados por autobrechas e arenitos intertrápicos, interceptados por fraturas tectônicas, em terrenos de topografia suavizada e pouco dissecada. Desta forma o segundo mapa de maior peso atribuído foi o de declividade, principalmente nas classes de declividade menores que 10%.

O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido a partir de uma técnica relativamente rápida de análise de principais componentes e posterior classificação não supervisionada. O mapa precisa ser conferido no campo para que esta metodologia seja avaliada, porém o mapa serviu de base para que regiões de uso urbano e solo exposto recebessem notas baixas e as regiões de maior densidade vegetal recebessem notas maiores.

4 Conclusões

Através da utilização da metodologia apresentada foi possível gerar o mapa preliminar de favorabilidade de água subterrânea para a PBH do Legado Refugio Baiano.

O método apresentou-se satisfatório para uma análise preliminar, indicando possíveis locais baseados principalmente nos lineamentos, para exploração de água subterrânea.

Após esta etapa serão realizadas visitas ao campo para conferência dos dados, principalmente de uso e cobertura do solo e comparação do mapa final de favorabilidade de água subterrânea com poços cadastrados na região.

Cabe salientar a importância da obtenção de dados e mapas preliminares à etapa de campo, principalmente quando estes dados encontram-se disponibilizados gratuitamente na internet.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CPRM – Serviço Geológico do Brasil, à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia do Instituto de Geociências da USP. Também agradecem à CAPES pela bolsa de doutorado de um dos autores.

Referências Bibliográficas

Fernandes A.J. 2008. Aquíferos fraturados: uma revisão dos condicionantes geológicos e dos métodos de investigação. *Revista do Instituto geológico*, São Paulo, 29 (1/2), 49-72.

Freitas M. A.; Eckert, R.M. & Vaye, B.R. 2001 Captações de água subterrânea no oeste do estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM/EPAGRI, 2001.

Freitas M. A., Caye, B.R. & Machado, J.L.F. 2002. *Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina*. Porto Alegre. CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI. 100p.

Horn Filho, N.O. & Diehl, F.L. 1994. Geologia da Planície Costeira de Santa Catarina. Alcance. UNIVALI, v.1, n.1, p. 95-102.

Horn Filho, N.O. & Diehl, F.L. 2001. Geologia da Planície Costeira de Santa Catarina. In: *Congresso do Quaternário de países de línguas ibéricas*. Lisboa, 2001. Actas. Lisboa: GTPEQ, AEQUA, SGP. P.203-206.

Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. In: *GEOSUL*, Florianópolis, v.18, n.35, p.71-98. Jan./Jun.

<http://www.sc.gov.br/conteudo/santacatarina/geografia/paginas/regioes.htm> acessado em 03/11/2010

<http://www.microbacias.sc.gov.br>, acessado em 04/11/10

O'Leary, D.W. et al. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society American Bulletin*, v.87, p.1463-1469, 1976.

Perrota, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., Dagostino, L.Z., Wildner, W., Ramgrab, G.E., Peruffo, N.; Freitas, M.A.; Gomes, S.D.; Chierigati, L.A.; Silva, L.C.; Sachs, L.L.B.; Silva, V.A.; Batista, I.H.; Marcondes, P.E.P. 2004. Folha SG.22-Curitiba. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M, Ramos, M.A.B. & Jesus, J.D.A. de. (eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil*. Brasília: CPRM, 2004. (CD-ROM).

Ramgrab, G.E.; Wildner, W.; Lopes, R.C.; Favilla, C.A.C.; Silva, M.A.S.; Sachs, L.L.B.; Silva, V.A.; Batista, I.H. Folha SH.22 – Porto Alegre. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M, Ramos, M.A.B. & Jesus, J.D.A. de. (eds.). *Carta geológica do Brasil ao milionésimo, sistema de informações geográficas, programa geologia do Brasil*. Brasília: CPRM, 2004. (CD-ROM).

Roldan, L. F. 2007. *Tectônica Rúptil Meso-Cenozóica na região do Domo de Lages, SC*. São Paulo, 121p. Dissertação de Mestrado. Programa de Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Wahnfried I. 2010. *Modelo conceitual de fluxo do Aquitarde Serra Geral e do Sistema Aquífero Gaurani na região de Ribeirão Preto, SP*.122p. Tese de doutoramento. Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. USP. São Paulo.

Xavier-da-Silva,J. 2000.Geoprocessamento e Análise Ambiental. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, 54 (3) 1992. p 47-61.