



USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS FRATURADOS: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá/RJ

USING GIS TECHNIQUES TO ASSESS FRACTURED AQUIFERS VULNERABILITY TO CONTAMINATION: São Domingos River Basin - São José de Ubá, Rio de Janeiro State, Brazil

Luana Alves Lima¹; Gerson Cardoso da Silva Junior²; Juliana Magalhães Menezes³; Mirian Cristina Oliveira da Costa⁴

Artigo recebido em: 04/10/2016 e Aceito para publicação em: 23/05/2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i3.28661>

Resumo: A Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada no Município de São José de Ubá, na Região Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, é uma das porções do Estado situadas em terrenos cristalinos que são periodicamente afetadas pela escassez de recursos hídricos superficiais. O objetivo da pesquisa, a definição de um modelo de vulnerabilidade geral para os aquíferos fraturados, foi pautado na necessidade de proteção dos recursos hídricos subterrâneos da BHRSD. Por esta razão a BHRSD foi selecionada para esse estudo, pois apresenta características como dependência dos recursos hídricos subterrâneos em um substrato cristalino e severidade das secas recorrentes. A metodologia aplicada para avaliação da vulnerabilidade englobou as seguintes variáveis: densidade de lineamentos estruturais, litologia do aquífero, declividade, recarga e profundidade do topo do aquífero. Essas variáveis foram ponderadas de acordo com a sua influência na vulnerabilidade, a partir de uma análise multicritério, e incorporadas no BDG (Banco de Dados Geográficos). O SIG (Sistema de Informação Geográfica) mostrou-se uma útil ferramenta para o cálculo das classes de vulnerabilidade. Os resultados indicam que o método empregado foi adequado na avaliação da vulnerabilidade para os aquíferos fraturados da BHRSD, podendo ser aplicado a regiões que apresentem aspectos fisiográficos análogos, por indicar tendências próximas da realidade de campo. As classes de vulnerabilidade predominantes na BHRSD variam de moderada a muito alta, indicando a fragilidade dos sistemas aquíferos fraturados na região, que necessitam de um planejamento do uso e gestão adequada dos seus recursos.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Aquíferos Fraturados. Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos. Sistemas de Informação Geográfica.

Abstract: The São Domingos River Basin (SDRB), located in São José de Ubá, a city in the Northwest Region of the state of Rio de Janeiro, is one of the state portions situated in crystalline terrains, which are periodically affected by the shortage of surface water resources. The purpose of this research, to define a general vulnerability model for fractured aquifers, was based on the necessity to protect the groundwater resources of the SDRB. SDRB presents features, such as dependence on groundwater water resources in a crystalline substrate and severe recurrent droughts, which make it suitable for the study goals. The methodology used to assess the vulnerability encompassed the following variants: density of structural lineaments, aquifer lithology, declivity, recharge and depth of the top of the aquifer. These variants were pondered per their influence on the vulnerability, considering a multicriteria analysis, and incorporated into the Geographic Database (GDB). The Geographical Information System (GIS) proved to be a useful tool to calculate the vulnerability classes. The results indicate that the method used was adequate to assess the vulnerability of the fractured aquifers of SDRB, which could be used in regions that present similar physiographic aspects as it indicates tendencies close to field reality. The predominant vulnerability classes in the SDRB vary from moderate to high, indicating a fragility of the fractured aquifers systems in the region, which require usage planning and adequate management of the resources.

Keywords: Vulnerability. Fractured aquifers. São Domingos River Basin. Geographic Information System.

¹⁻³ Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ E-mails: (luanalimageol@gmail.com, juliana_menezes@id.uff.br)

² Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. E-mail: (gerson@geologia.ufrj.br)

⁴ Universidade Vila Velha (UVV), Vila Velha, ES. E-mail: (mirian.michelli@gmail.com)

1 INTRODUÇÃO

A demanda de água para consumo nem sempre obedece à disponibilidade do recurso em superfície, tornando a opção do uso da água subterrânea fundamental. Nesse contexto, determinadas regiões dispõem somente de sistemas aquíferos fraturados, onde a ocorrência de água se acha condicionada pelas descontinuidades rochosas, tornando-se questão a ser resolvida e entendida para suprir a escassez.

Por sua vez, a escassez de água, em determinadas regiões, associa-se a rigorosos períodos de seca ou a grande densidade populacional. Tal fato ocorre, por exemplo, no Nordeste do país, Norte de Minas Gerais, na

região Metropolitana de São Paulo e em boa parte do estado do Rio de Janeiro (LADEIRA, 1985). O Estado do Rio de Janeiro apresenta 80% de seu território constituído por aquíferos fraturados, onde este recurso hídrico é importante tendo em vista a escassez dos recursos hídricos superficiais (MARTINS et al., 2006).

Dentre as regiões do Estado do Rio de Janeiro situadas em terrenos cristalinos que estão sendo atingidas com a escassez de recursos hídricos superficiais, está a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada na Região Noroeste do Estado, englobando todo o Município de São José de Ubá e pequena parte do Município de Itaperuna (Figura 1).

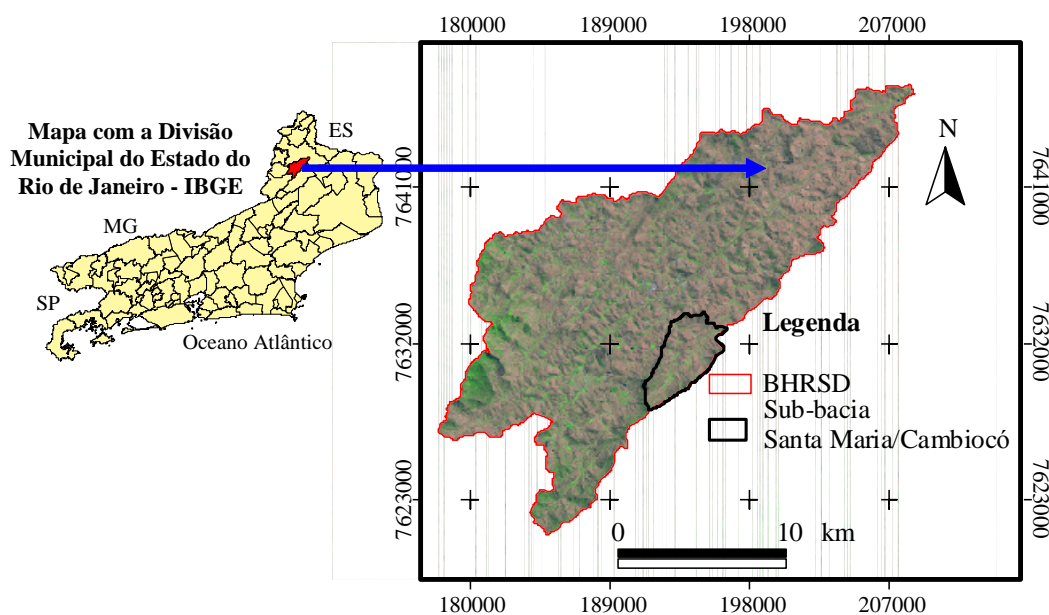


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) no Estado do RJ, com destaque para a Sub-bacia Santa Maria e Cambiocó

Figure 1 - Location of SDRB in Rio de Janeiro State, showing the limits of Santa Maria/Cambiocó Sub-basin.

A escassez dos recursos hídricos superficiais é atribuída à redução da cobertura vegetal de Mata Atlântica na região e também com a baixa e mal distribuída precipitação pluviométrica, o que é intensamente debatido por Menezes, 2005; Ottoni, 2005; Mansur et al., 2006; Martins et al., 2006; Carvalho et al., 2006; Moraes, 2007; Menezes et al., 2008a; Menezes et al., 2009. Os estudos realizados por Menezes et al. (2009) revelaram que os

aquíferos da BHRSD estão com diversos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas acima daqueles previstos pela Resolução CONAMA 396/08 (Consumo Humano). A contaminação dos sistemas hídricos subterrâneos depende das formas de intervenção do homem, dos diferentes modelos de ocupação e exploração dos solos, e principalmente das características dos aquíferos.

Neste sentido, o desenvolvimento e a aplicação de métodos para o mapeamento de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos surgiram da necessidade da gestão dos recursos hídricos. Sendo assim, trata-se de uma ferramenta útil na gestão de aquíferos (HIRATA, 1997). Entretanto, essa temática é pouco difundida para aquíferos fraturados, os quais perfazem 70% das águas subterrâneas utilizadas como recurso hídrico no estado do Rio de Janeiro. Neste contexto, o estudo busca não somente a compreensão do atual estado ambiental dos recursos hídricos da BHRSD, como contribuir para a elaboração de metodologia de identificação de vulnerabilidade para aquíferos com cenário semelhante à Região do Noroeste Fluminense.

Este trabalho integrou o projeto “Caracterização de Aquíferos Fraturados no Noroeste Fluminense e Elaboração de Metodologia para Estimativa de Vulnerabilidade” financiado pelo MCT/CNPq 02/2006 – Edital Universal e foi desenvolvido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Solos e com o Departamento de Recursos Minerais – RJ no período

de 2006 a 2009. Igualmente contou com dados fornecidos pelo projeto denominado: “Planejamento Conservacionista das Terras visando a Recarga do Sistema Hídrico em Bacias Hidrográficas sobre o Embasamento Cristalino” (PRODETAB/EMBRAPA), que buscou proporcionar diretrizes para o aumento da recarga do sistema hídrico da BHRSD.

2 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

Segundo Heilbron et al. (2006), a BHRSD ocorre ao longo do contato tectônico que divide os terrenos tectono-estratigráficos ocidental e oriental da Faixa Ribeira (Figura 2). A porção Norte e as cabeceiras da bacia são compostas pelo Domínio tectônico Juiz de Fora e a vertente Sul é composta por rochas do Domínio Cambuci. Dessa forma, a BHRSD apresenta um importante contato tectônico onde a vertente norte apresenta rochas granulíticas do Complexo Juiz de Fora, de maior resistência à erosão, e a vertente sul é composta por leucocharnokitos do Domínio Cambuci que possuem maior suscetibilidade à erosão, por apresentar composição quartzo-feldspática e elevado grau de milonitização.

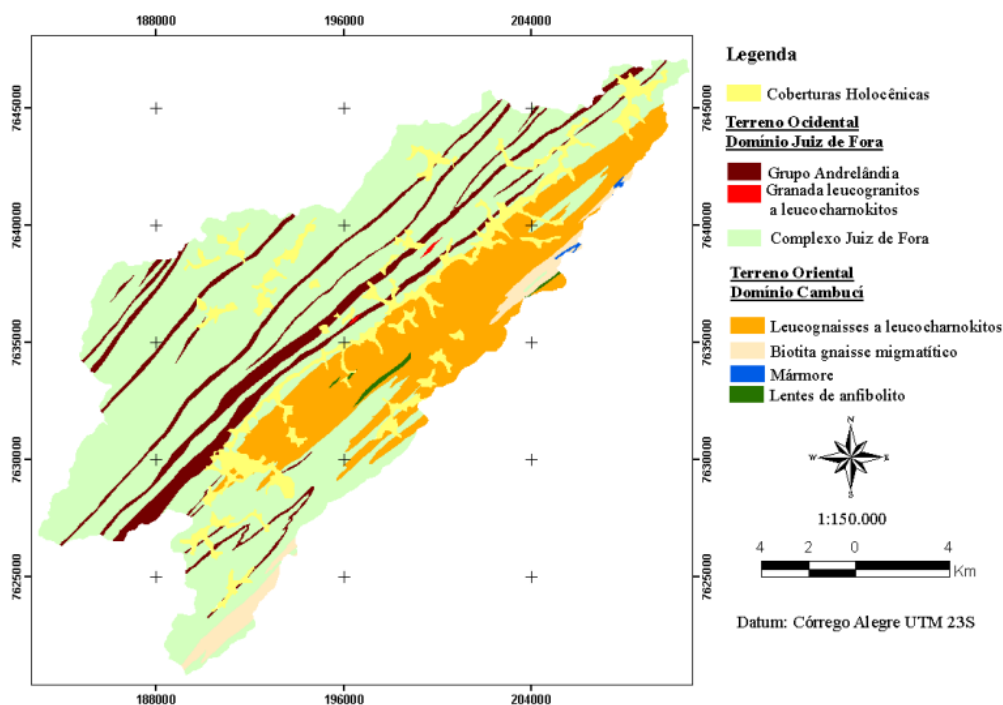


Figura 2 - Mapa Litológico da BHRSD (HEILBRON et al., 2006)

Figure 2 - Lithologic Map of SDRB (HEILBRON et al., 2006).

A seguir apresenta-se a descrição dos dois domínios que ocorrem na BHRSD segundo Heilbron et. al. (2005):

Domínio Juiz de Fora: Contém rochas de grão médio a grosso, esverdeadas a escuras, com ortopiroxênio (hiperestênio), pouca biotita e hornblenda, quartzo acima de 20% e concentração variada de feldspato potássico e plagioclásio, classificadas como enderbitos e charnockitos gnaissificados. Os afloramentos se encontram peculiarmente na forma de lajes convexas que sugerem caráter isotrópico a rocha. Entretanto, a petrografia indica a presença de uma fina foliação milonítica, que se intensifica em certos locais. A relativa ausência de minerais micáceos explica, portanto, a ausência de uma foliação marcante nos afloramentos. Este fato propicia grau elevado de resistência à erosão das rochas deste complexo, em especial ao longo da BHRSD.

Domínio Cambuci: Aflora em sua maior parte como uma rocha leucocrática homogênea, de composição granítica a granodiorítica, com cristais isolados de biotita, piroxênio e anfibólio. Seus planos de foliação se intensificam nas proximidades de zonas de cisalhamento, constituindo lâminas submilimétricas de biotita e opacos, fitas de quartzo centimétricas e por domínios quartzo-feldspáticos. Apresenta enclaves de rochas máficas, hornblenda-gnaisses bandados, granada gnaisses e rochas calcissilicáticas. Composicionalmente pode ser caracterizada como uma rocha quartzo-feldspática. Apresenta elevada alteração na maioria dos afloramentos. Sua foliação é pronunciada e se desenvolve a partir de fitas de quartzo e feldspato, comprovando o caráter milonítico da rocha.

3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A hidrogeologia da BHRSD é caracterizada pela presença de aquíferos fraturados e aquíferos sedimentares rasos, que foram definidos por Ferreira et al. (2006), através da técnica de Sondagem Elétrica

Vertical (SEV). Onde os aquíferos sedimentares rasos constituem camadas sub-horizontais de espessuras que variam de 2 a 12 metros, formados por sedimentos aluviais quaternários. Já o aquífero fissural é caracterizado por faixas de 30 a 50 metros de profundidade a partir do manto de alteração, com fraturas apresentando *trend de faturamento* com direção SW-NE.

Quanto à caracterização hidrogeoquímica da área, Menezes et al. (2008a) definiram as águas subterrâneas da BHRSD como sendo, predominantemente, bicarbonatadas-mistas com tendência à bicarbonatadas-sódicas, ocorrendo ainda, os tipos cloretadas-sódicas e bicarbonatadas cálcicas.

4 METODOLOGIA

O modelo de mapeamento de vulnerabilidade de aquíferos fraturados desenvolvido neste trabalho é baseado no conhecimento empírico dos fatores ou variáveis físicas que contribuem para tornar os aquíferos fraturados mais ou menos vulneráveis a contaminação. Realizou-se um levantamento bibliográfico e discussão dos possíveis fatores condicionantes para a vulnerabilidade geral de aquíferos fraturados, seguida de um levantamento dos temas abordados, assim como aquisição de dados através de trabalhos de campo. Os dados obtidos e confeccionados foram armazenados em um banco de dados georreferenciado e possibilitaram a criação da matriz de vulnerabilidade de aquíferos fraturados. O método escolhido de análise multiritério denomi-na-se Combinação Linear Ponderada – *WLC (Weight Linear Combination)* (GOMES, 2008), que consiste na atribuição de pesos a cada um dos fatores e notas às suas respectivas classes, segundo as regras de decisão previamente definidas. A seguir são listadas as variáveis envolvidas no modelo e a metodologia empregada.

4.1 Principais condicionantes da vulnerabilidade dos aquíferos fraturados

Em geral, as metodologias de determinação de índice de vulnerabilidade são mais difundidas para aquíferos porosos sedimentares livres, quadro diferente da presente área de estudo. Segundo Hirata e Fernandes (2008) os diferentes métodos de vulnerabilidade têm se mostrado insuficientes para avaliar áreas de geologia complexa, como em aquíferos cristalinos. Entretanto, alguns trabalhos como o de Denny et al. (2007) propuseram uma adaptação do modelo consagrado de vulnerabilidade DRASTIC (ALLER et al. 1985) para o mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos fraturados das Ilhas do Golfo do sul da Colúmbia Britânica (Canadá), incluindo três características acerca da geologia estrutural da área: orientação das fraturas, comprimento e densidade de fraturamento, que foram incorporadas em um banco de dados georreferenciado, sendo obtidas a partir de interpretação de imagens espectrais por meio do Landsat 7-ETM. A combinação dessas três características gerou um novo parâmetro denominado *Fm* (taxa densidade de fraturas mapeadas), que adicionando ao método originou o DRASTIC – *Fm*.

Xavier et al., (2002) determinaram a vulnerabilidade de sistemas fissurados por meio de análise da pedologia, considerando que os solos atuam como camadas amortizadoras do fluxo de contaminantes para o aquífero fraturado em questão.

Hirata e Fernandes (2008) citam o método *VULFRAC* (Mapa de Vulnerabilidade de Aquíferos Fraturados) como um modelo para vulnerabilidade geral, considerando os fatores de intensidade de fraturamento, profundidade do nível estático e a natureza da zona não saturada como as variáveis que compõem o método. Em todos os estudos relacionados ao mapeamento de vulnerabilidade para aquíferos fraturados, o mapeamento estrutural é considerado fundamental, concluindo que esta etapa é crucial para tornar o estudo confiável e aplicável a uma região com fraturas.

Esta pesquisa propõe a adoção de sete parâmetros para avaliar a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos fraturados, a saber:

recarga do aquífero, declividade, tipo de solo, litologia, densidade de fraturas e análise estrutural, profundidade do nível da água (ou topo do aquífero) e uso do solo.

Recarga do aquífero – Hirata e Fernandes (2008) consideram que para ocorrer uma correta aplicação das técnicas de vulnerabilidade é necessária a elaboração do modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas, sobretudo, dos mecanismos que controlam a recarga do aquífero.

O processo de recarga subterrânea ocorre pelo movimento de água que atinge a zona não saturada sob forças gravitacionais, ou em uma direção específica por condicionamento hidráulico. As zonas que apresentam maior recarga podem ser definidas como áreas de maior vulnerabilidade à entrada de contaminantes. Quanto maior a recarga, maior será o potencial para a contaminação de água subterrânea. Logo, o estudo desse fator se torna relevante na determinação de vulnerabilidade de aquíferos fraturados, pois contaminantes provenientes de fontes pontuais e difusas podem penetrar no aquífero por meio da remobilização e lixiviação de substâncias que se encontram no solo e atingem com rapidez a zona saturada, quando esta se encontra a pouca profundidade nas zonas de recarga elevada.

Declividade - A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Dessa forma, a declividade pode ser considerada um fator relevante nos estudos de vulnerabilidade, na medida em que influencia os processos de infiltração das águas meteóricas, onde a inclinação do terreno controla o processo de escoamento superficial, condicionando a disponibilidade de água para infiltração na superfície. Pequenas inclinações aumentam a probabilidade de contaminação das águas subterrâneas, já que aumentam as chances de um contaminante infiltrar no solo.

Tipo de Solo - Segundo Barreto et al. (2000), a presença da cobertura sedimentar ou pedológica pode favorecer o processo de infiltração de águas meteóricas, dependendo da espessura e das características de

permeabilidade e porosidade dos sedimentos ou solos.

O fator tipo de solo representa grande relevância nos estudos de vulnerabilidade à contaminação, pois é o primeiro a entrar em contato com o contaminante, podendo transmitir este ao aquífero de forma mais ou menos efetiva. O tipo de solo tem um impacto significativo na recarga dos aquíferos e, conseqüentemente, na facilidade de um contaminante se mover verticalmente na zona vadosa. Segundo Aller et al. (1985), a presença de materiais de granulometria fina, como o silte e a argila, podem diminuir a permeabilidade relativa do solo e restringir a migração do contaminante. Em regiões onde o solo é mais espesso, os processos de atenuação podem ocorrer, além da quantidade de matéria orgânica presente no solo ser um fator de grande importância para determinados tipos de contaminantes.

Litologia - O tipo de rocha que compõe o aquífero tem grande importância na definição de sua vulnerabilidade. Os aquíferos compostos por rochas sedimentares de alta permeabilidade, geralmente, apresentam, maiores pesos nos estudos de vulnerabilidade. Já os aquíferos constituídos por rochas cristalinas apresentam menor peso nos estudos de vulnerabilidade, isto devido possuir baixos índices de permopermeabilidade primária, restringindo a ocorrência de água subterrânea em descontinuidades, desta forma, caracterizando os aquíferos fraturados (COSTA e SILVA, 2000). Barreto et al. (2000) elaboraram uma hierarquia que leva em conta a presença de descontinuidades nas rochas que facilitam a intemperização e susceptibilidade da rocha ao fraturamento. Dessa forma, quartzitos e mármore podem ser considerados mais favoráveis em relação a granulitos e granitos, por exemplo.

Densidade de lineamentos estruturais e análise estrutural – Em estudos de hidrogeológicos para aquíferos fraturados como em Barreto et al. (2000), Souza et al. (2003) e Lima et al., (2009) o levantamento estrutural é definido com base na determinação de lineamentos estruturais com

auxílio de sensoriamento remoto e, posteriormente, o cálculo de densidade de fraturas que resulta em um mapa que define áreas de maior e menor densidade de fraturamento. Segundo Barreto et al. (2000), o conceito de densidade de fraturas é tido como o comprimento total de fraturas existentes em uma determinada área, dividido por esta mesma área. Na presente pesquisa, utiliza-se a variável densidade de lineamentos para indicar o grau de fraturamento do terreno, incorporada ao mapeamento de vulnerabilidade para aquíferos fraturados.

Nível da Água - Também pode ser denominado de nível freático e é definido como a profundidade que se encontra a superfície superior do lençol freático. De modo geral, o nível freático acompanha aproximadamente a topografia do terreno (COSTA e SILVA, 2000). Dessa forma, a determinação da profundidade do nível estático, mesmo em aquíferos fraturados, influencia a vulnerabilidade à contaminação, pois determina a maior suscetibilidade que a zona saturada apresenta ao contato do contaminante. Para aquíferos fraturados esta superfície se apresenta de forma irregular, de acordo com a topografia e obedece ao padrão estabelecido pela família de fraturas que se encontram no maciço rochoso. Conforme Hirata (1997), a indexação de valores de vulnerabilidade da profundidade do nível da água deverá ser quantificada, no caso de aquíferos confinados, em função da profundidade do teto do aquífero, ou seja, da base da camada confinante. Já em aquíferos livres, deverá ser de acordo com a profundidade do nível freático.

No caso dos aquíferos fraturados da região Noroeste do Estado os aquíferos podem ser classificados em dois tipos: livre poroso e confinado fraturado. Nesse caso para um estudo de vulnerabilidade de aquíferos fraturados torna-se importante a definição do topo do embasamento que serve de reservatório para a água subterrânea e a superfície potenciométrica que indica o fluxo.

4.2 Descrição das etapas metodológicas

O Fluxograma de atividades (Figura 3) apresentado a seguir apresenta as etapas realizadas para a elaboração da metodologia de Mapeamento de Vulnerabilidade Hidrogeológica para Aquíferos Fraturados da BHRSD.

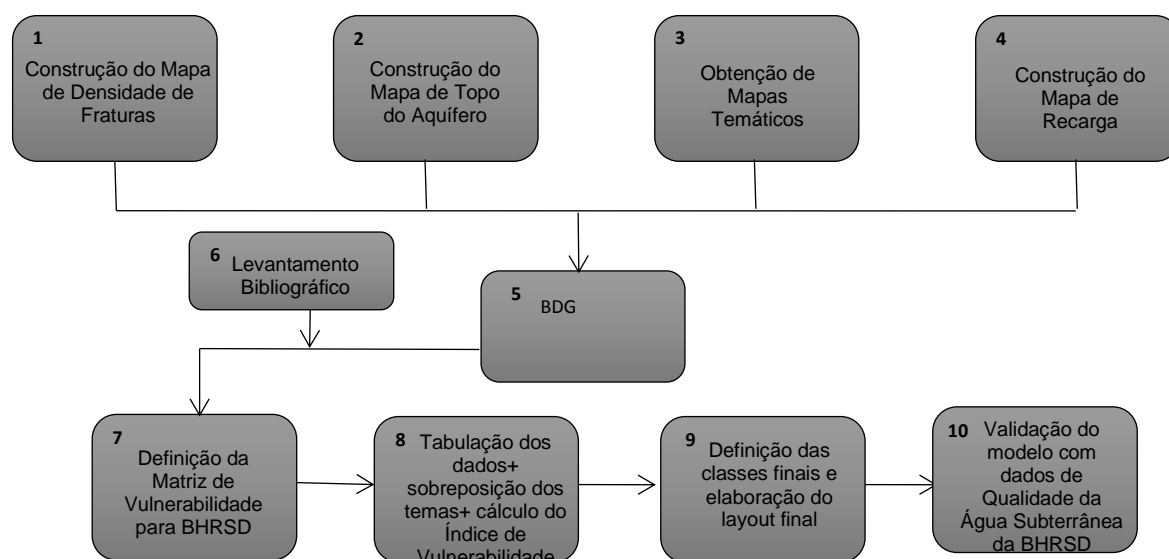


Figura 3 - Fluxograma com as etapas da metodologia aplicada

Figure 3 - Flowchart of research methodology

A Etapa 1 consistiu na construção do mapa de densidade de fraturas. Os lineamentos tectônicos são caracterizados por vales ou cristas alinhados no terreno que aparecem em fotografias aéreas e em imagens de satélite como linhas retas na superfície, podendo apresentar inflexões e assumir formas curvilíneas (LADEIRA, 1985). Nos procedimentos adotados nessa pesquisa, cada lineamento ou morfoestrutura é dado por um segmento de reta contínuo. Para a BHRSD, foram utilizadas Imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que constituem Modelos Digitais do Terreno gerados por interferometria de radar. Essas imagens foram processadas no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas) do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), onde foram construídas imagens sombreadas em dois ângulos de iluminação preferenciais (135° e 45°) com o objetivo de realçar as estruturas e lineamentos estruturais marcantes do terreno com diferentes orientações. Com base nessas imagens sombreadas foram

vetorizados lineamentos estruturais para toda a BHRSD em ambiente SIG (ArcGIS 9.0).

A partir dos lineamentos estruturais vetorizados foi possível confeccionar o mapa de densidade de lineamentos estruturais para a BHRSD (Figura 4). A densidade de lineamentos pode ser considerada uma razão que expressa a intensidade de fraturamento de um terreno, constituindo assim uma análise adimensional (BARRETO et al., 2002). Os mapas de lineamentos estruturais foram incorporados no BDG, possibilitando a geração do mapa de densidade de lineamentos utilizando-se a ferramenta *Density*, do *Spatial Analyst* do *ArcGIS 9.0*. O método estatístico para a interpretação dos dados e confecção do mapa de densidade foi um ponderador de densidade Kernel, que calcula uma superfície de densidade com base na distância entre os lineamentos e o comprimento destes. Dessa forma foi gerada uma superfície de densidade, dividida em cinco classes de densidade que foram incorporadas à matriz de vulnerabilidade.

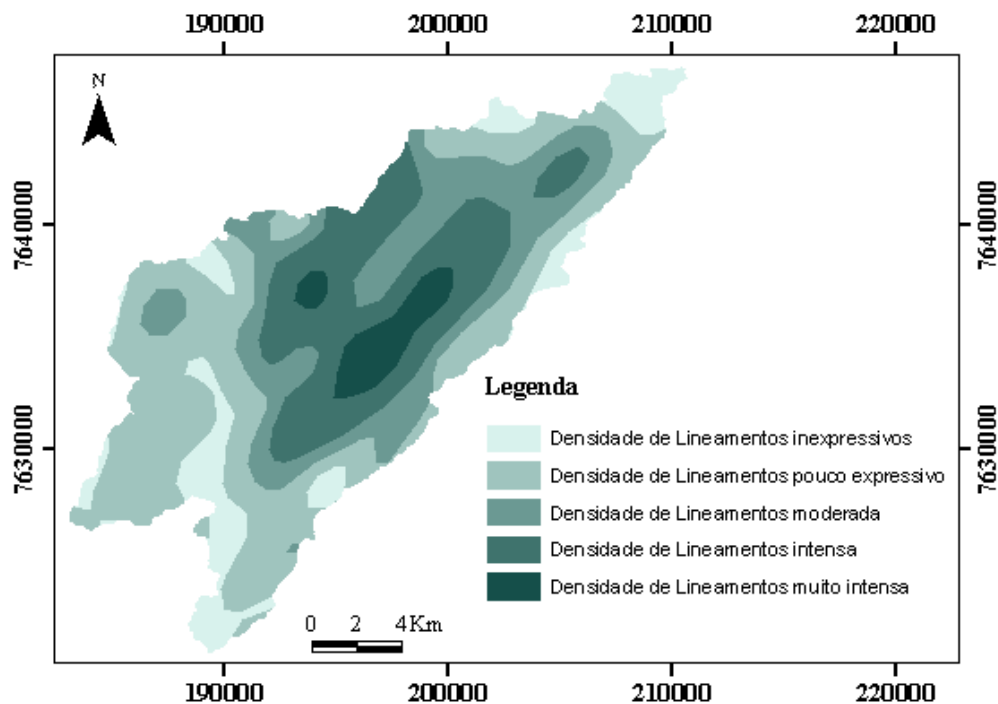


Figura 4 - Mapa de Densidade de Lineamentos Estruturais da BHRSD
Figure 4 - Map of structural lineaments' density in SDRB

A Etapa 2 consistiu na construção do mapa de topo do aquífero (Figura 5), para tal foi realizado um trabalho de campo para determinação do nível estático dos poços profundos da BHRSD, inseridos no município

de São José de Ubá, através do medidor de nível elétrico do modelo JACIRI®. O nível medido foi subtraído do valor da altura da boca do poço. A Tabela 1 apresenta a relação dos poços 15 poços monitorados em campo.

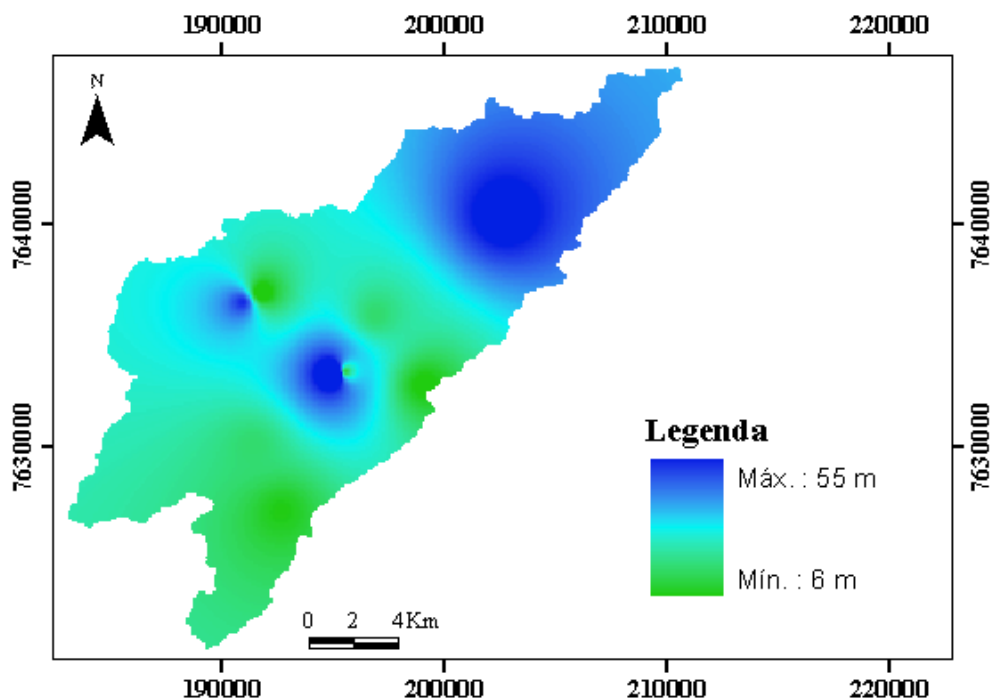


Figura 5 - Mapa da profundidade do topo do aquífero cristalino da BHRSD
Figure 5 - Map of depth to crystalline bedrock of SDRB

Tabela 1 - Relação dos poços monitorados
Table 1 - List of monitoring wells

ID	Propriedade	Local	UTM N	UTM E	Profund.	NE (m)	Cota- NE	Cota-poço
1	EMATER	Santa Maria (Bombeado)	7632772	199098	60	3	119	122
2	EMATER	Brejinho	7627087	192664	65	2,5	156	158
3	EMATER	Campo Grande	7630010	191400	56	1	135	136
4	Prefeitura	Ponte Preta	7640394	202639	100	8	90	98
5	Prefeitura	Capelinha	7633374	195549	80	8	104	112
6	Prefeitura	Panelão	7638961	192384	100	1	157	158
7	Prefeitura	Mangueirão	7636511	190912	90	7	132	139
8	Prefeitura	Genipapo	7628283	190279	106	2	136	138
9	Prefeitura	Cruz da Moça	7636916	191721	50	1	138	139
10	Prefeitura	Capelinha	7633314	195178	100	19	120	139
11	Prefeitura	Horto Florestal	7635929	196924	90	4,39	95	99
12	Prefeitura	Cambiocó	7630671	196990	100	8	142	150
13	Escola	Santa Maria	7632480	198863	-	10,2	118	128
14	Sr. Calixto	Santa Maria (Observado)	7632606	199038	-	4,37	119	123
15	Sr. Marinho	Santa Maria	7632262	198557	-	2,5	128	130
16	Sr. Jailton	Santa Maria	7632315	198332	-	3,13	116	119
17	-	Cambiocó (Bombeado)	7629853	196305	36	0,25	156	156
18	-	Cambiocó (Observação)	7629719	196249	-	-0,1	158	158

No momento das medições foram obtidas as cotas topográficas dos poços por meio de DGPS (Differential Global Positioning System). A partir da cota topográfica do aquífero e da distancia entre a superfície e o nível de água do poço, foi possível determinar a cota do nível estático, ou seja, a carga hidráulica do poço. Os poços que possuem os perfis construtivos vão do nº 01 ao nº 12, cedidos pela empresa Hidrosonda. Os valores de cota do topo do embasamento (superfície que limita o aluvião do embasamento cristalino) foram interpolados, para a confecção do mapa de topo do aquífero utilizando a ferramenta *IDW (Inverso do Quadrado da Distância)* do *ArcGIS 9.0*. De acordo com esse mapeamento o teto do aquífero fraturado encontra-se entre 6 e 55 metros de profundidade. A montante da bacia hidrográfica a profundidade geralmente é menor, e não há ocorrência de água nos solos de aluvião e manto alterado. Os níveis estáticos ocorrem em profundidades menores do que as entradas de águas no aquífero fraturado, uma vez que os filtros de captação estão abaixo do aluvião, caracterizando desta

forma, o confinamento/semi-confinamento em 10 poços. A partir da determinação da superfície potenciométrica, foi elaborado o mapa potenciométrico através da interpolação dos valores obtidos. Estes mapas auxiliam na interpretação das direções preferenciais do fluxo subterrâneo assim como na definição da recarga do aquífero que será detalhada na etapa 4.

A Etapa 3 consistiu na sistematização de dados pré-existentes. Contou com o mapa de solos e litológico, na escala de 1:50.000 do banco de dados do projeto PRODETAB. Estes mapas foram cedidos no formato de *shapefile* podendo ser trabalhados em ambiente SIG (*ArcGIS 9.0*). O Mapa de declividade foi obtido por Lima et al., (2009) e o de Compartimentação Geomorfológica por Silva (2002). Esses mapas foram incorporados no Banco de Dados Georreferenciados (BDG) e, conseqüentemente, integrados à matriz de vulnerabilidade de aquíferos fraturados. Foi gerada uma tabela de mapas obtidos para a composição da matriz de vulnerabilidade da BHRSD (Tabela 2) para a identificação dos temas obtidos.

Tabela 2 - Relação dos mapas obtidos para a composição da matriz de vulnerabilidade da BHRSD
Table 2 - List of maps used to compose SDRB vulnerability matrix

Mapa	Fonte	Projeto	Resolução
Mapa Geológico	Heilbron et. al., 2006	PRODETAB aquíferos	1:50.000
Mapa de Solos	Lumbreras et al., 2006	PRODETAB aquíferos	1:50.000
Mapa de Compartimentação Geomorfológica	Silva, 2002		1:50.000
Mapa de Declividade	Lima, 2009	PRODETAB aquíferos	1:50.000

A Etapa 4 consistiu na confecção do mapeamento de recarga da BHRSD (Figura 6). Seabra et al. (2008) e Al-adamat et al. (2003) estimaram a recarga a partir da soma de notas atribuídas para declividade, para os totais de chuva e para a permeabilidade dos solos para os aquíferos costeiros. Na área de estudo do presente trabalho, os dados de pluviosidade foram obtidos por Moraes (2007), que fez a estimativa de balanço hídrico de Santa Maria/Cambiocó (sub-bacia localizada na BHRSD) e calculou a média de pluviosidade para a região. No entanto, nota-

se que a pluviosidade não apresenta grandes variações. Sendo assim, foi considerada como única para toda a bacia e, portanto, esta variável entrou no cálculo de recarga final como constante. Dessa forma, optou-se para a estimativa da recarga, o cruzamento das informações dos temas compartimentação geomorfológica, espessura do manto de alteração, tipos de solos e superfície potenciométrica. Esses temas foram ponderados de acordo com a sua influência para a recarga hidrogeológica e o índice de recarga foi calculado em ambiente SIG.

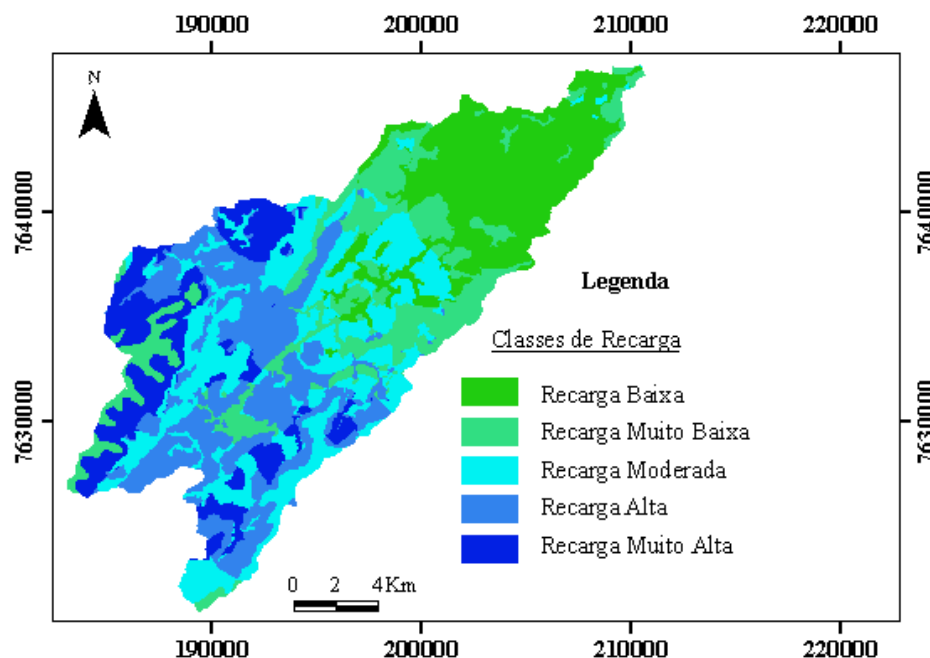


Figura 6 - Mapa de Recarga da BHRSD
Figure 6 - SDRB recharge map

O tema compartimentação geomorfológica foi extraído do trabalho de Silva (2002) que realizou o mapeamento geomorfológico para a região do médio Vale

do Rio Paraíba do Sul, incluindo a BHRSD na escala 1:50.000 (Tabela 2). As notas variaram de 1 para as regiões planas, consideradas zonas de descarga, a 4 para as serras

escarpadas, zonas onde predomina a recarga. No tema superfície potenciométrica foram analisados os valores de carga hidráulica (Tabela 1). As áreas de maior carga hidráulica foram consideradas mais vulneráveis e receberam a nota 6. Estas áreas possuem o nível estático raso, em torno 1 a 3 metros de

profundidade e com direção preferencial de fluxo SW-NE.

Por meio dos perfis construtivos dos poços tubulares profundos foi inferida a variação da espessura dos depósitos aluvionares e do manto de alteração. As notas atribuídas para o cálculo variaram de 2 a 6, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3- Matriz de Recarga Hidrogeológica da BHRSD

Table 3 - SDRB groundwater recharge matrix

Compart. Geomorfológica (Peso: 3)	Nota	Tipo de Solos (Peso: 6)	Nota
Até 20 m – Planícies Fluviais	1	Argissolo vermelho	3
20 – 100m – colinas	1	Argissolo Vermelho- Amarelo	3
100- 200 – morros	2	Luvissolo	3
200 – 400 – serras e morfologias de transição	3	Nitossolo Vermelho	4
acima de 400 – serras escarpadas	4	Cambissolo Háplico	6
Potenciomtria (m) (Peso:6)	Nota	Gleissolo Háplico	1
90 a 100	1	Afloramento de Rocha	1
100 a 110	1	Esp. do Manto de Alteração(m)(Peso: 4)	Nota
110 a 120	2	5 a 8	6
120 a 130	3	8 a 11	5
130 a 140	4	11 a 14	4
140 a 150	5	14 a 17	3
150 a 160	6	17 a 20	2

O mapa de Solos da BHRSD foi cedido pelo projeto PRODETAB. Considerando a pesquisa realizada por Oliveira (2005), que realizou a caracterização da velocidade de infiltração básica dos diferentes solos da sub-bacia Santa Maria/Cambiocó, pertencente à área de estudo, foi possível aferir notas de relevância para as principais classes de solos agrupadas da BHRSD, as quais variaram de 1 a 6, conforme a Tabela 3.

Os fatores escolhidos para a estimativa da Recarga Hidrogeológica da BHRSD foram ponderados e suas respectivas classes receberam notas compondo uma matriz (Tabela 3) onde o índice de Recarga foi calculado em ambiente SIG utilizando a ferramenta Intersect do ArcGIS 9.0 a partir da fórmula 1:

$$\text{Recarga Final} = (\text{Pc} \times \text{Nc}) + (\text{Pd} \times \text{Nd}) + (\text{Pp} \times \text{Np}) + (\text{Ps} \times \text{Ns}) \quad (1.0)$$

Onde: Pc= peso do compartimento; Nc= nota da classe do compartimento; Pd= peso da declividade; Nd = nota da declividade; Pp= peso da pluviosidade; Np= nota pluviosidade; Ps = peso de solos e Ns = nota de solos.

O cálculo de recarga foi realizado também através da ferramenta *Intersect* do módulo *Spatial Analyst*. Posteriormente, o mapa foi dividido em 5 classes relativas de recarga com os valores resultantes do cálculo, mínimo 35 e máximo 108, pelo método estatístico de quebras naturais.

A Etapa 5 consistiu na inclusão de todos os dados confeccionados e obtidos em meio digital em um Banco de Dados Georreferenciados (BDG) para possibilitar a construção de uma Matriz de Vulnerabilidade de Aquíferos Fraturados.

Com base no estudo das variáveis que afetam a vulnerabilidade para aquíferos fraturados no início desse item, foi elaborada uma matriz de vulnerabilidade (Etapa 6)

exposta na Tabela 5, bem como foram definidos os pesos e as notas das classes, de acordo com a temática (Etapa 7). O tema “tipo de solos” foi incorporado à confecção do tema “recarga”, não estando na matriz final de vulnerabilidade para evitar a redundância da contribuição desse fator no resultado final. Dessa forma, a ordem de influência ou hierarquia das variáveis que determinam a vulnerabilidade geral de acordo com o peso atribuído foi: Densidade de Lineamentos Estruturais > Litologia do aquífero > Declividade > Recarga > Topo do aquífero.

A Figura 7 apresenta o modelo esquemático da metodologia elaborada para a presente pesquisa, sendo possível visualizar as diferentes variáveis ou temas como sendo

“camadas” sobrepostas que possuem um peso dentro da matriz de vulnerabilidade que, multiplicados pelas suas classes e somados entre si, compõe o índice de vulnerabilidade final (Etapa 8). Os pesos das variáveis e suas respectivas classes variam de 0 a 10 de acordo com o grau de influência para a vulnerabilidade geral dos aquíferos fraturados da BHRSD, cumprindo a escala ordinal de ponderação apresentada por GOMES (2008), que constitui a modelagem baseada no conhecimento. Notas de 1 a 2 constituem influência muito baixa, de 2 a 4, baixa, de 4 a 6 moderada, de 6 a 8, alta, e finalmente de 8 a 10, influência muito alta. Os pesos e notas atribuídos estão descritos na Tabela 4.

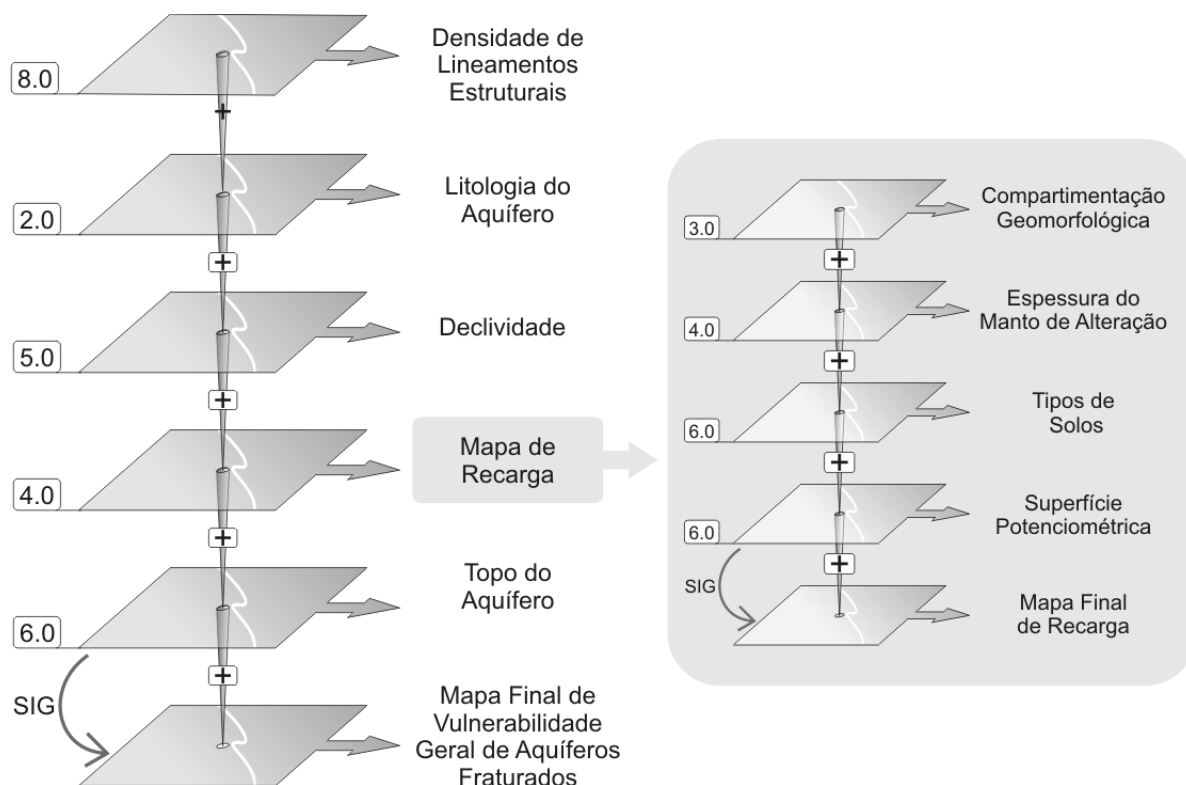


Figura 7 - Modelo esquemático da metodologia para a determinação da Vulnerabilidade Geral dos aquíferos Fraturados da BHRSD

Figure 7 - Sketch of method to evaluate general vulnerability of SDRB fractured aquifers

O mapa final de vulnerabilidade dos aquíferos foi gerado a partir da interseção, em ambiente SIG (*ArcGIS 9.0*), das variáveis consideradas, onde o somatório dos pesos de cada tema, multiplicados pela nota de cada classe, originou o valor final de

vulnerabilidade geral, como exemplificado a seguir.

$$\text{Vulnerabilidade Geral} = (P_{\text{solos}} \times N_{\text{solos}}) + (P_{\text{recarga}} \times N_{\text{recarga}}) + (P_{\text{declividade}} \times N_{\text{declividade}}) + (P_{\text{profundidade}} \times N_{\text{profundidade}}) + (P_{\text{litologia}} \times N_{\text{litologia}}) + (P_{\text{densidade de fraturas}} \times N_{\text{densidade de fraturas}}).$$

Onde P é o peso atribuído à variável e N é a nota da classe de cada variável. A ponderação aplicada necessita que as variáveis ou temas sejam normalizadas para um intervalo ou escala numérica ordinal. O valor mínimo de vulnerabilidade foi de 51

pontos e o máximo de 144 pontos. As classes de vulnerabilidade foram estabelecidas a partir de quebras naturais, em cinco classes: Vulnerabilidade alta, muito alta, moderada, baixa e muito baixa (Etapa 9).

Tabela 4 - Matriz de Vulnerabilidade para a BHRSD
Table 4 - SDRB vulnerability matrix

Densidade de Fraturas (Peso 8)	Nota	Declividade (Peso 5)	Nota	Litologia do aquífero (Peso 2)	Nota
Dens. de Fraturas muito intensa	7	Declividade muito Alta (>45%)	7	Biotita gnaisse migmatito	5
Dens.de Fraturas intensa	6	Declividade Alta (30- 45%)	6	Granada Biotita Gnaisse	4
Dens. de Fraturas moderada	4	Declividade Moderada (15-30%)	5	Mármore	4
Dens.de Fraturas pouca expressiva	3	Declividade Baixa (5-15%)	4	Anfibolito	3
Dens. de Fraturas inexpressivas	1	Declividade Muito Baixa (< 5%)	3	Leucocharnoquito	2
Topo do Aquífero(m) (Peso 6)	Nota	Recarga (Peso 4)	Nota	Leucogranito	2
6 a 10	5	Recarga Muito Baixa	1	Quaternário	6
10 a 20	4	Recarga Baixa	3	Complexo Juiz de Fora	2
20 a 30	3	Recarga Moderada	5		
30 a 40	2	Recarga Alta	6		
40 a 55	1	Recarga Muito alta	7		

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo proposto utilizado para a elaboração do mapa de vulnerabilidade geral à contaminação dos aquíferos fraturados para a BHRSD teve como resultante a Figura 8, que apresenta 5 classes de vulnerabilidade como resultado final.

Cerca de 80% da bacia apresentou classes de vulnerabilidade muito alta a moderada, indicando o comprometimento desses aquíferos quando submetidos a uma carga contaminante. A porção norte da bacia, correspondendo em torno de 16% de sua área, apresenta vulnerabilidade baixa (Tabela 5).

Os temas determinantes para o condicionamento da alta vulnerabilidade na porção sul e central da bacia foram a intensidade de fraturamento dessas áreas. Tratando-se de aquíferos fraturados, essa variável obteve o maior peso no cálculo,

exercendo influência no resultado final. Os temas declividade e topo do aquífero igualmente foram decisivos para a determinação das regiões de vulnerabilidade alta a muito alta. Declividades altas resultam em pesos menores de vulnerabilidade, entretanto os níveis d'água rasos na região sul da bacia condicionaram a maior vulnerabilidade a essa região. A recarga condicionou valores altos de vulnerabilidade igualmente na região sul e central da bacia onde apresentam maiores concentrações de recarga.

Em contrapartida, os temas que condicionaram a vulnerabilidade baixa a muito baixa na porção norte da bacia foram predominantemente a recarga, que se apresenta muito baixa, e cota do topo do aquífero, que apresenta níveis mais profundos nessa região.

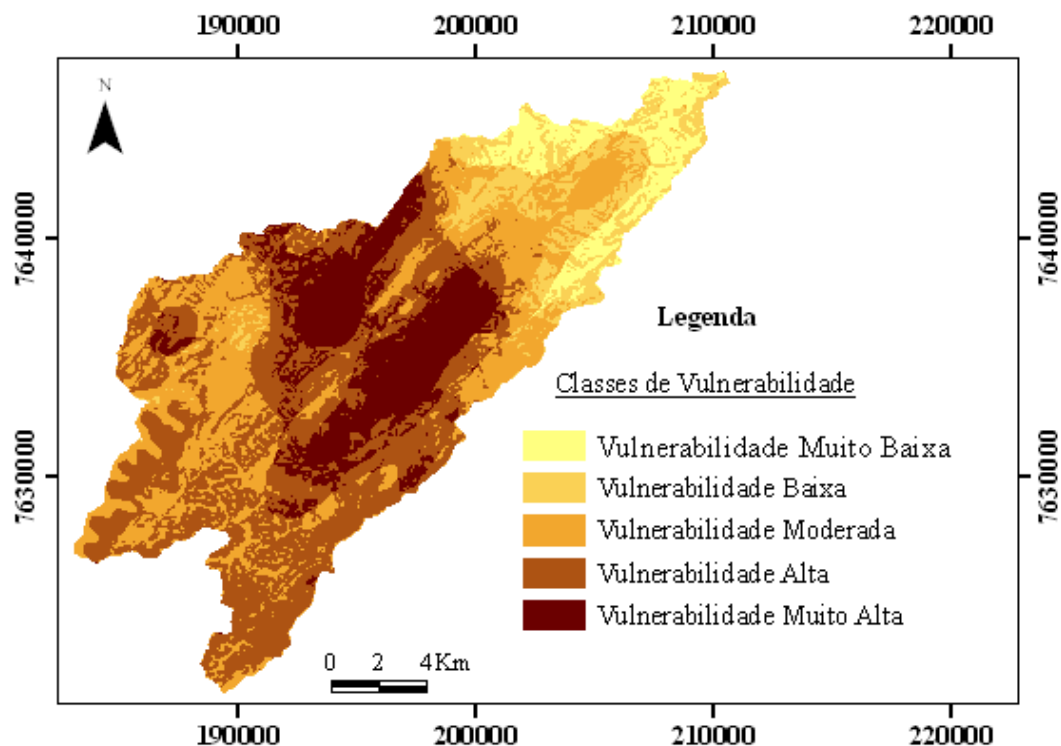


Figura 8 - Mapa de Vulnerabilidade Geral à contaminação de aquíferos fraturados da BHRSD
Figure 8 - Map of general vulnerability to fractured aquifers contamination in SDRB

Tabela 5 - Porcentagem total das classes de Vulnerabilidade
Table 5 - Percentage of each vulnerability class in SDRB

Classes de Vulnerabilidade	Área (m ²)	%
Muito Baixa	23191514	8,22
Baixa	24339057	8,63
Moderada	76779705	27,22
Alta	1,06E+08	37,67
Muito Alta	51514075	18,26

Os temas selecionados para a composição da matriz de vulnerabilidade da BHRSD, assim como os pesos e notas atribuídas às suas respectivas classes, proporcionaram um intervalo de índice relativo que se mostrou adequado de acordo com as características fisiográficas da região estudada e com a bibliografia do referido tema. Entretanto, em se tratando de índices relativos, e sendo estes valores aplicados somente para BHRSD, não estando os mesmos tabelados em nenhum índice pré-existente, a validação da metodologia aplicada se faz necessária.

A atividade/grupo (*stakeholders*) com maior responsabilidade em relação à poluição das águas é a agricultura, seguida do consumo doméstico, comércios e serviços e pecuária, consecutivamente (Menezes et al., 2008b). Em vários pontos da BHRSD a qualidade da água subterrânea não está adequada ao consumo humano, conforme o mapa de superfície da qualidade das águas subterrâneas da BHRSD elaborado por Menezes et al., (2009) (Figura 9), mostrando a distribuição espacial do número dos parâmetros em inconformidade por ponto de

amostragem de acordo com o CONAMA 396/08, com a localização das plantações.

De acordo com o mapa supracitado as porções centrais da bacia que apresentam o maior número de parâmetros em inconformidade para consumo humano coincidem com as áreas identificadas como as mais vulneráveis à contaminação apresentando de 4 a 7 fatores em inconformidade. As áreas que apresentam de 3 a 1 parâmetros em inconformidade estão posicionados nas regiões indicadas como

vulnerabilidade moderada a baixa. Apesar de esses valores terem sido influenciados, de certa forma, pelos locais onde as amostras foram coletadas, apresentam de forma geral, boa coerência com o mapeamento de vulnerabilidade apresentado na presente pesquisa. Dessa maneira tem-se a percepção de que as regiões indicadas como mais vulneráveis apresentam maior contaminação, validando assim o modelo, podendo este ser considerado satisfatório para a gestão dos aquíferos fraturados da BHRSD.

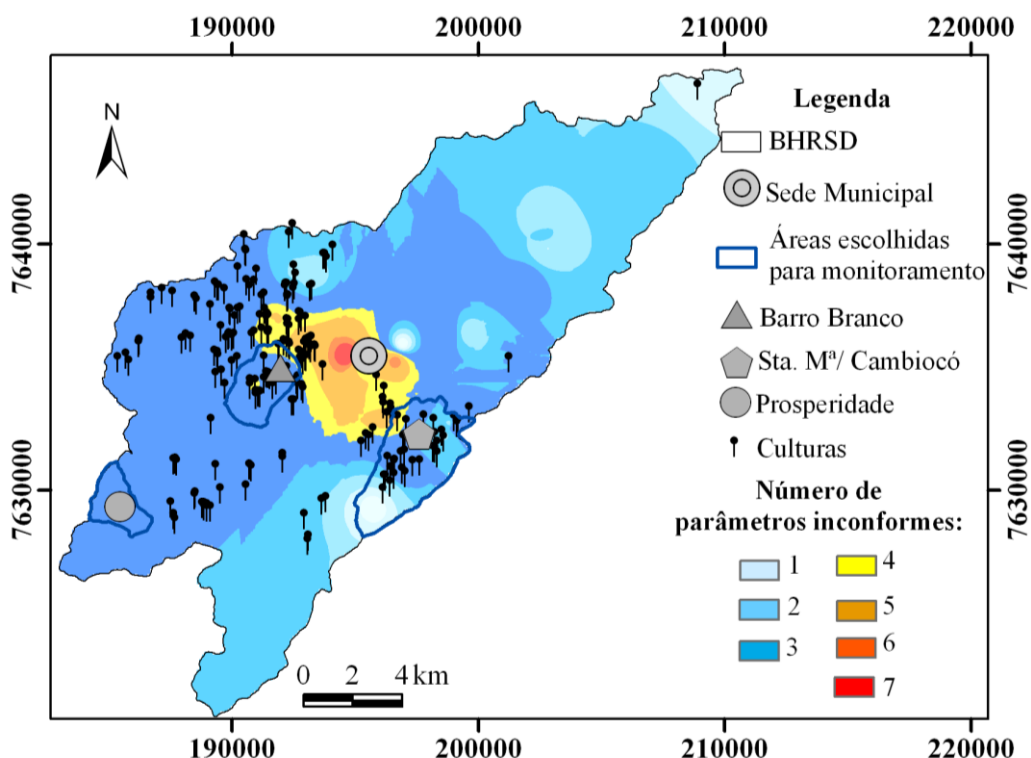


Figura 9 - Mapa de superfície da qualidade das águas subterrâneas da BHRSD, mostrando a distribuição espacial do número dos parâmetros inconformes por ponto de amostragem com a localização das culturas (Menezes et al., 2008a)

Figure 9 - Surface map of groundwater quality in SDRB, showing distribution of parameters with unconformity by sampling point with the crop locations (Menezes et al., 2008a)

6 CONCLUSÕES

A área de estudo que compreende a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, englobando todo o município de São José de e parte do Município de Itaperuna, mostrou-se adequada para o estudo. A utilização de geotecnologias como SIG e sensoriamento remoto foi importante na caracterização da vulnerabilidade dos

aquíferos fraturados, tendo como vantagens o baixo custo. A utilização do SIG atendeu às necessidades da pesquisa apresentando bons resultados.

O método utilizado para a estimativa da recarga, considerando as variáveis: tipo de solo, compartimentação geomorfológica, superfície potenciométrica, e espessura do manto de alteração se mostrou adequado para o tipo de estudo realizado.

A alta intensidade de fraturamento

dessas áreas corroborou para que cerca de 80% da bacia esteja inserida nas classes de vulnerabilidade muito alta a moderada, indicando o comprometimento desses aquíferos quando submetidos a uma carga contaminante. A porção norte da bacia, correspondendo a apenas 16% de sua área, apresenta vulnerabilidade baixa. Os temas declividade e topo do aquífero foram igualmente decisivos para a determinação das regiões de vulnerabilidade alta a muito alta.

As classes de vulnerabilidade predominantes na BHRSD variam, portanto, de moderada a muito alta, indicando a fragilidade dos sistemas aquíferos fraturados na região necessitando um maior planejamento do uso e manejo das terras.

As áreas com o maior número de parâmetros em inconformidade para consumo humano coincidem com as indicadas de maior vulnerabilidade na presente pesquisa. Esse fato corrobora para a validação do modelo adotado, concluindo que este se apresenta bem adaptado à BHRSD e possibilitando a sua aplicação para outras regiões de aquífero cristalino.

Diversos estudos na área indicam que o consumo de água na BHRSD se dá de maneira predatória já que o controle dos órgãos ambientais é incipiente. Recomenda-se, como pesquisas complementares futuras, uma maior integração com os órgãos gestores, além de adaptação desses estudos ao entendimento da população local, a fim de que os esforços científicos possam traduzir uma melhoria da qualidade de água, e consequentemente melhoria de vida para a população local.

REFERÊNCIAS

AL-ADAMAT, R.A.N., FOSTER, I.D.L., BABAN, S.M.J. Groundwater Vulnerability and Riskmapping for the Basaltic Aquifer of the Azraq Basin of Jordan Using GIS, Remote Sensing and DRASRIC. *Applied Geography*, v. 23, p. 303-304, 2003.

ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.; PETTY, R.. **Drastic**: A standardized system for evaluation groundwater pollution potential using

hydrogeologic settings. USEPA Report. 600/2-85/018, 1985.

BARRETO, A. B. DA C.; MONSORES, A.L.; LEAL, A.; PIMENTEL, J. **Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro** – Texto explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 2000. 23p.

CARVALHO, L. G.; SILVEIRA, M. L.; MARTINS, A. M. ; MEDEIROS, F. ; Mansur, K. L. ; VIEIRA, H. ; MORAES, M. F. ; MOREIRA, P. R. ; BATISTA, D. P. ; SILVA, L. P. Influência da Precipitação Pluviométrica no Nível Piezométrico de Poços de Monitoramento na Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, Bacia do Rio São Domingos, RJ. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. *Anais....* Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

COSTA, W.D. **Análise dos Fatores que Atuam no Aquífero Fissural** – Área Piloto dos Estados da Paraíba e R. G. do Norte. 1986. 206f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

COSTA, W.D. e SILVA, A. B. 2000. Hidrogeologia dos Meios Anisotrópicos. In: FEITOSA, F. A. C. e FILHO J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, ii, pp. 133-174.

DENNY, S.C; ALLEN, D.M; JOURNEY, J.M. Drastic – Fm a modified vulnerability mapping method for structurally controlled aquifers in the southern Gulf Islands, British Columbia, Canada. **Hidrogeology Journal**, v.15, p.483-493, 2007.

FERREIRA, C. R. C.; LA TERRA, E. F.; MENEZES, P. T. L. Modelagem Geofísica para Água Subterrânea em Aquíferos Fissurais em São José de Ubá (RJ). In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. *Anais....* Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

GOMES, M. Geoprocessamento em ambiente SIG aplicado à hidrogeologia. In: Feitosa, F.A.C.; Manoel Filho, J. (Org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2 ed. Recife: CPRM, LABHID-UFPE, 2008, v. 1, p. 293-294.

- HEILBRON, M.; DUARTE, NOGUEIRA, J.R.; ALMEIDA, C.G.; TUPINAMBÁ, M.; GERALDES, M.; GUIA, C.; MIRANDA, A.W.A.; SILVA FILHO, R.S.; MEDEIROS F.F. F. ; MANSUR, K. *et al.* Geologia da bacia do Rio São Domingos, São José de Ubá, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2005. **Boletim...** Niterói, 2005, p.118.
- HIRATA, R. A proteção das águas subterrâneas no Estado de São Paulo e o desenvolvimento sustentado. In: SEMINÁRIO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO. **Anais...** São Paulo, 1997. p. 118-129.
- HIRATA, R.; FERNANDES, A. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: Feitosa, F.A.C.; Manoel Filho, J. (Org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2 ed. Recife: CPRM, LABHID-UFPE, 2008, v. 1, p. 407-426.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Tutorial do SPRING**. Disponível em <www.inpe.br> Acesso em: Jan de 2007.
- LADEIRA, E. A. Contribuição da Geologia Estrutural à Pesquisa de Águas Subterrâneas em Rochas Cristalinas. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**, n.7. 1985. p. 7-34.
- LIMA, L.A.; SILVA JUNIOR, G.C. ; MENEZES, J.M. ; SEABRA, V. Favorabilidade Hidrogeológica para Aquíferos Fraturados: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos/RJ. **Anuário do Instituto de Geociências** (UFRJ. Impresso), v. 32, p. 51-61, 2009.
- LUMBRERAS, J. F. *et al.* Solos da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos, RJ. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais....** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.
- MANSUR, K.L., MEDEIROS, F.; VIEIRA, H.; MARTINS, A. M. ; PRADO, R. B. ; MENEZES, J. M. ; CARDOSO JR, G. Avaliação Preliminar: geologia e alguns parâmetros da qualidade da água subterrânea nas microbacias de Sta. Maria/Cambiocó e Barro Branco. 2006. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006a. **Anais....** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.
- MARTINS, A. M.; CAPUCCI, E. ; CAETANO, L. C.; CARDOSO, G.; BARRETO, A. B. C. MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. S; VIANA, P. Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro: Síntese do estágio atual do conhecimento. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2006. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006. 1 CD-RO ;
- MENEZES, J.M. **Hidrogeoquímica de Aquíferos Fraturados no Noroeste Fluminense: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ**. 2005. 181f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C. DA., SANTOS, R.T. DOS. Hidrogeoquímica de aquíferos fraturados: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio São Domingos, Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Águas Subterrâneas**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008a.
- MENEZES, J.M., PRADO, R.B., SILVA JUNIOR, G.C., MANSUR, K.L., OLIVEIRA, E.S. Qualidade da Água e Sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, RJ. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, pp. 687-698, 2009.
- MENEZES, J.M.; SANTOS, R.T. DOS; SILVA JR., G.C. DA., PRADO, R. B.; Identificação de Stakeholders: Uma ferramenta na avaliação da qualidade de águas subterrâneas. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2008. **Anais...** Natal: ABAS, 2008b. 1 CD-ROM.
- MORAES, M.F. **Estimativa do Balanço Hídrico na Bacia Experimental/Representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá – RJ**. 2007. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, M.B. **Análise do Desempenho de Equações de Infiltração e de Métodos de Determinação da Capacidade de Campo para Solos em uma Bacia Hidrográfica de São José De Ubá-RJ**. 2005. 220f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programas de Pós-

Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OTTONI, M.V. **Classificação Físico-Hídrica de Solos e Determinação da Capacidade de Campo *in situ* a partir de Testes de Infiltração.** 2005. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PRADO, R. B. ; MENEZES, J. M. ; Mansur, K. L.; MARTINS, A. M.; FREITAS, P. L.; CARDOSO JR, G.; CARVALHO, L. G.; PIMENTA, T. S.; LIMA, L. A. Parâmetros de Qualidade da Água e sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, RJ. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, João Pessoa, 2005. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

SEABRA, V. S.; SILVA JÚNIOR, G.C.; CRUZ, C.B.M. The Use of Geoprocessing to Assess Vulnerability on the East Coast Aquifers of Rio de Janeiro State, Brazil. **Environmental Geology** (Berlin), v. 55, p. 1345-6, 2008.

SILVA, T.M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro.** 2002. Rio de Janeiro, 265f. Tese de Doutorado, Depto. Geografia/IGEO-UFRJ).

SOUZA, A.L.N.; FERNANDES, V.H.; CARVALHO, L.G.; ANTUNES, M.A.H. 2003. Ferramentas de geoprocessamento para estudos de potencial hidrogeológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, **Anais....** 2003.

XAVIER, J.M; ROSA FILHO, E.F; HINDI, E.C. Evaluación de la vulnerabilidad em sistemas fissurados. **Revista Latino- Americana de Hidrogeologia**, v.2, p53-62, 2002.