

## Controle Neotectônico das Águas Subterrâneas no Estado do Rio de Janeiro

CIDNEY RODRIGUES VALENTE<sup>1</sup>  
SÉRGIO M. AZEVEDO DE OLIVEIRA<sup>1</sup>  
PAULO VENEZIANI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
Goiânia - GO, Brasil  
valentec@terra.com.br  
Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
sergioaz@cprm.gov.br

<sup>2</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos - SP, Brasil  
paulo@ltid.inpe.gov.br

**Abstract** Structural lineaments interpretation from remote sensing products integrated with data of airborne geophysical data (magnetometry) had as objective to investigate and to define the hydrogeological local control in Rio de Janeiro State. Photogeological techniques were applied to the tectonic-structural analysis by using satellite imagery. Several thematic maps, such as structural lineament, joint zone traces and morphostructural were produced and analyzed. The vertical to subvertical fractures (directions around N50E, N50W and N75E) are responsible for the recharge of the fissured aquifers in the structural highs. This fracture system, in connection with the subhorizontal fractures, works as groundwater conductors for the recharging.

**Keywords:** hydrogeological, neotectonic, remote sensing

### 1 Introdução

A área do Estado do Rio de Janeiro caracteriza-se litologicamente pelo predomínio de rochas pré-cambrianas atribuídas à Província Mantiqueira, constituída por predomínio de rochas metamórficas orto e paraderivadas de médio a alto grau (granitos, gnaisses, migmatitos e metassedimentos), afetadas por eventos deformacionais sucessivos que atuaram na região desde o Pré-Cambriano até o recente, reflexo de uma história evolutiva complexa. A Província Mantiqueira é uma expressão da tectônica Brasileira ressaltada por falhas ou zonas de cisalhamento de rejeito direcional dextral, orientadas segundo a direção NE-SW.

A análise e interpretação de produtos de sensoriamento remoto (imagens TM-LANDSAT 5, radar), nesta área estudada, evidenciou a existência de estruturas tectônicas condicionando a instalação da rede de drenagem e, conseqüentemente, a modelagem do relevo, que foi fortemente controlado por descontinuidades tectônicas.

Neste contexto, o objetivo principal deste estudo é melhorar e aperfeiçoar metodologia para obterem melhores resultados na captação da água subterrânea em rochas cristalinas, na tentativa de normatizar critérios que permitam maximizar a performance da definição de áreas potenciais para águas subterrâneas em aquíferos fissurados, a partir de metodologia de pesquisa hidrogeológica no Estado do Rio de Janeiro.

Segundo Costa (1998), as condições que favorecem maiores vazões de águas subterrâneas nos aquíferos fissurados são: precipitação abundante e bem distribuída ao longo do ano;

predomínio de fraturas de tração e de descompressão; presença de rochas que propiciem fraturas abertas, com reduzido espaçamento; presença de solos de coberturas espessas e permeáveis.

Em aquífero fraturado nas área de domínio de rochas cristalinas, a exemplo da região estudada, as fraturas atuam como um meio heterogêneo e anisotrópico, onde o fluxo d'água e seus parâmetros hidrodinâmicos estão estreitamente vinculados à densidade, abertura e interconexão da rede de fraturas das zonas de recarga e acumulação.

## **2. Material e Método**

Foram utilizadas imagens multiespectrais TM-Landsat 5, bandas 3, 4, 5 e 7, na escala 1:250.000, dados aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria), bases plani-altimétricas e dados de poços tabulares. Para o processamento digital de imagens e integração de dados utilizou-se o ENVI (*Environment Visualing of Images*) e SPANS GIS.

A metodologia aplicada envolveu uma seqüência sistemática de análise e interpretação dos dados obtidos de produtos de sensoriamento remoto e de trabalhos de pesquisa realizados na área de estudo, além de trabalhos de campo. A execução das atividades culminou na elaboração de diversos mapas temáticos como o mapa de drenagem, mapa de traços de zonas de juntas, mapa de lineamentos estruturais, mapa de poços tubulares e o mapa morfoestrutural com indicação de áreas de recarga e acumulação de águas subterrâneas relacionadas com a neotectônica. Estes mapas específicos foram posteriormente integrados através do GIS.

O tratamento dos dados estruturais compreendeu medidas de atitudes de fraturas, que foram classificadas em dois grupos: (i) fraturas de alto ângulo, entre 70° a 90°; (ii) fraturas de baixo ângulo, entre 0° e 45°. Os dados são apresentados na forma de estereogramas dos pólos dos planos de fraturas, acompanhados pelas atitudes dos planos em suas máximas concentrações. Os estereogramas foram obtidos a partir do programa computacional Stereonet.

Maiores informações sobre a metodologia podem ser vistos em Waters et al. (1990), Veneziani & Anjos (1993), Rocio & Veneziani (1993), Oliveira (1997) e Ingebritsen & Sanford (1999).

## **3 Aspectos Tectônicos**

A interpretação de produtos de sensores remotos integrada com dados aerogeofísicos e complementados com observações de campo e informações preexistentes, permitiu postular, para a região estudada, uma evolução tectono-estrutural complexa desenvolvida em vários eventos, dentre os quais destacam-se a tectônica tangencial e direcional da Orogênese Brasileira e a neotectônica relacionada com o controle hidrogeológico da região em questão. Neste trabalho não serão discutidas as tectônicas pretéritas (Transamazônica e Arqueana ?).

### **3.1 Tectônica Brasileira**

Na sua expressão regional, tem-se uma alternância de blocos orientados segundo a direção NE-SW, em faixas descontínuas, sempre delimitadas por zonas de cisalhamentos transcorrentes dextrais. Esta deformação resulta de um evento tectônico de caráter transpressivo de natureza dúctil e dúctil-rúptil não coaxial, caracterizada por uma tectônica colisional, envolvendo crosta, acreção e amalgamação de componentes da placa durante o Neoproterozóico.

Os indicadores cinemáticos, observados em produtos de sensores remotos e no campo, permitiram definir que a movimentação de placas litosféricas ocorreu na direção WNW-SSE e provocou uma deformação progressiva das rochas que preenchem antigas bacias e também de seu embasamento, acompanhado de metamorfismo de médio grau. Inicialmente a tectogênese deu origem a dobras orientadas com eixos e planos axiais em torno de N50E.

Com a progressão do movimento tais dobras caracterizam-se por megadobras recumbentes, apertadas a isoclinais reviradas, que dobram Sn, com vergência para SE, em ambiente de rochas gnáissicas, granitóides e metassedimentares, que pode corresponder a fase Dn+1 proposta por Valente et al. (1993). No decorrer do tempo geológico, nas porções de alívio de tensão controladas pelas antigas direções de fraqueza crustal, formam-se as zonas de cisalhamento tangenciais (inversas, empurrões, superfícies de charriage, rampas frontais) e as de alto ângulo com caráter dúctil e rúptil, em função do nível crustal.

A geometria dos lineamentos estruturais de alto ângulo, dentro desta zona de cisalhamento, apresenta as seguintes direções: N40-60W, N70-80E, NS a N20E (transcorrências dextrais), N45-55W, N10-20W (transcorrências sinistras) e N80W a E-W (fraturas de tensão), que podem ser correlacionadas às fraturas Y, R, P, R', X e T, respectivamente, quando comparados ao modelo teórico-empírico adotado por Sadowski (1983). Localmente, as fraturas sintéticas Y, R e P apresentam indicadores cinemáticos sinistras, cuja idade deve remontar, no mínimo, ao evento Transamazônico.

Posteriormente, o final do evento transpressional, segundo Okida et al. (1997), é marcado por movimentos gravitacionais através de regime transtensivo que reativaram linhas crustais da fase transpressiva, produzindo dobramentos flexurais amplos com eixos NNW-SSE e ENE-WSW sub-horizontais e superfícies axiais verticais, que pode ser correlacionados com a fase Dn+2 proposta por Valente et al. (1993), gerando figuras de interferência do tipo domo e bacia estruturais.

### 3.2 Neotectônica

A distribuição espacial dos compartimentos geomorfológicos principais identificados por Silva & Ferrari, 1997 (Serra do Mar, Depressões da Baía de Guanabara e da Região dos Lagos e Maciços Litorâneos), evidencia um marcante controle estrutural Mesozóico-Cenozóico. Esta compartimentação tectônica e geomorfológica tem ligação genética e cronológica com os processos de abertura do Oceano Atlântico Sul. Os elementos que sinalizam a existência da neotectônica na região são marcados por vários indicadores morfoneotectônicos: reativação de falhas pré-cambrianas; intrusões de diques de diabásio e corpos alcalinos; deslocamentos de diques de diabásio por falhas NW-SE; falhas N50E e N45W com presença de brechações, sendo algumas de direção NE-SW, com cimento calcedônico (Penha et al., 1997); basculamento e abatimento de blocos; bacias sedimentares trafoegênicas cenozóicas (Taubaté, Resende, Volta Redonda e Itaboai); rios desviados e capturados; inversão de direção de drenagem; marcas de peleodrenagens e ocorrência de abalos sísmicos no alinhamento de Cabo Frio (Almeida, 1990). Estas estruturas continuam ativas durante o Neógeno e Quaternário até os dias atuais (Suguio, 1996).

Neste evento, todo o interior das placas sul americana e sul africana apresentavam um padrão de tensões extensivas, tendo em vista que toda a placa litosférica era submetida a rifteamento ativo e sofrendo extensão até a total abertura e evolução para margem passiva. Estas direções representam lineamentos neotectônicos que delimitam compartimentos tecto-estruturais representados por falhas normais e abertas de alto ângulo (Fig. 1a).

No final do Oligoceno, a região foi submetida a um soerguimento e exumação de blocos crustais através de uma movimentação de falhas de gravidade. Este mecanismo reativou falhas preexistentes do evento Brasileiro através de falhas normais. A geometria destas descontinuidades evidencia uma direção geral em torno de N50-60E, N75E, N05-15E, N50W e N15W, conforme ilustra o diagrama da Figura 2b.

Este mecanismo de soergimento de blocos gerou falhamentos de gravidade que controlam o flexuramento dos pacotes de rochas cristalinas pré-cambrianas. Como tais rochas já se encontravam consolidadas surgiram novos fraturamentos sub-horizontais com concavidades ora para cima, ora para baixo, dando origem a baixos e altos estruturais, com eixos predominantes de direção N50E, de suma importância para a circulação de água subterrânea (Figs. 1 e 2). Estas descontinuidades representam fraturas conseqüentes e suas direções estão contidas nos falhamentos de alto ângulo. A partir da comparação entre as direções de fraturamentos nos diagramas de rosáceas (Figs. 3b e 3d) pode-se deduzir que os lineamentos segundo as direções N50E, N50W, N75E, N15W e N05E, foram reativadas dando origem às fraturas de baixo ângulo.

#### **4 Conclusões**

A deformação da tectônica rúptil no Estado do Rio de Janeiro está relacionada com a reativação de descontinuidades do embasamento, através de falhas normais em regime tectônico distensivo, em torno das seguintes direções: N50E, N75E e N50W e secundariamente nas direções N05E e N15W. Essas direções podem ser destacadas através da elaboração de diagramas de rosetas (Fig. 3d)

A conjugação das estruturas disjuntivas de caráter rúptil verticais a sub-verticais com direção em torno de N50E, N50W e N75E constituem os condutos que ligam os altos estruturais (zona de recarga) aos baixos estruturais (zonas de acumulação), que em conexão com as fraturas sub-horizontais, relacionado ao alívio de carga, representam um meio de maior condutividade hidráulica, induzindo um maior fluxo de água subterrânea em direção aos baixos estruturais (Figs. 1 e 2).

A integração do mapa morfoestrutural com o de localização de poços tabulares perfurados mostra que quase todos os poços estão inseridos em morfoestruturas que indicam baixos estruturais (Fig. 4). A distribuição dos poços segue, de um modo geral, a orientação da morfoestrutura principal que situa em torno de N50-60E.

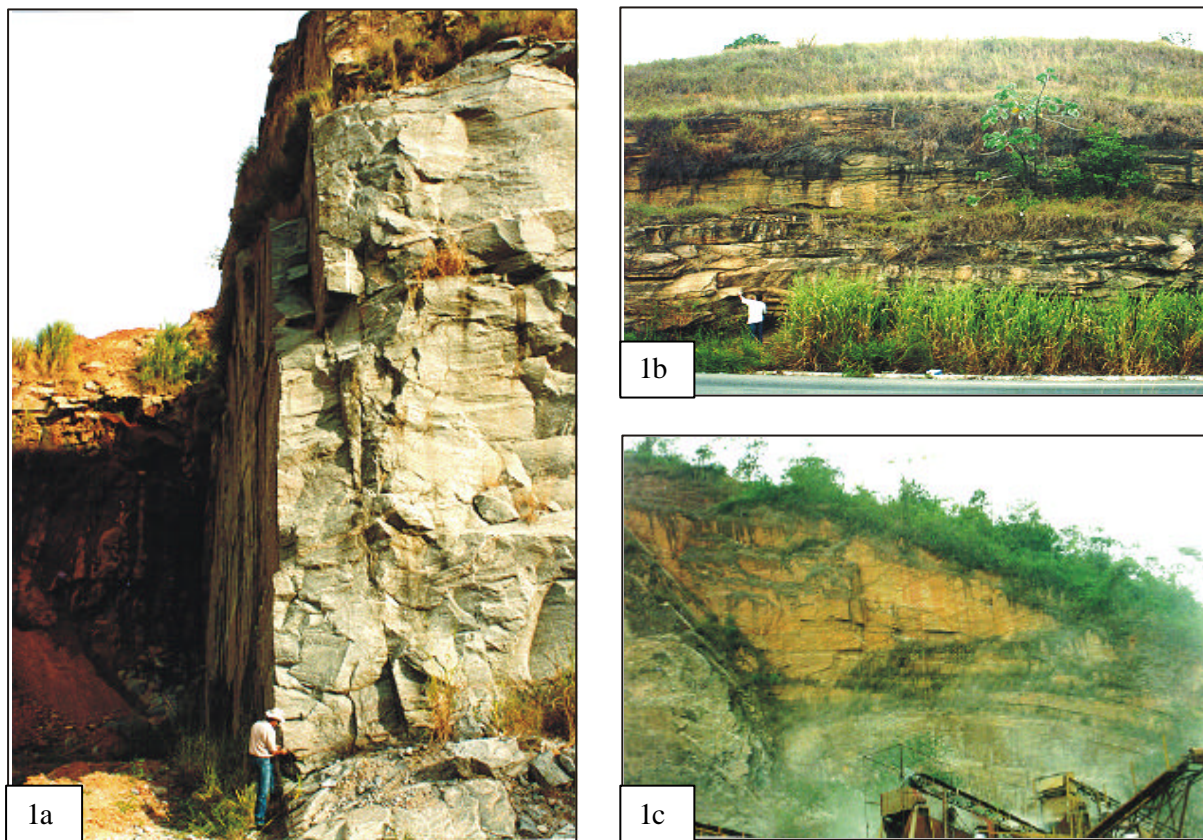


Fig. 01 - Aspectos de estruturas neotectônicas em granitos gnaisses. Em (a), pedreira em Macaé com fraturas extensionais verticais de direção de N50E. Em (b e c), morfoestruturas com fraturas de alívio sub-horizontais (próximo de Três Rios).

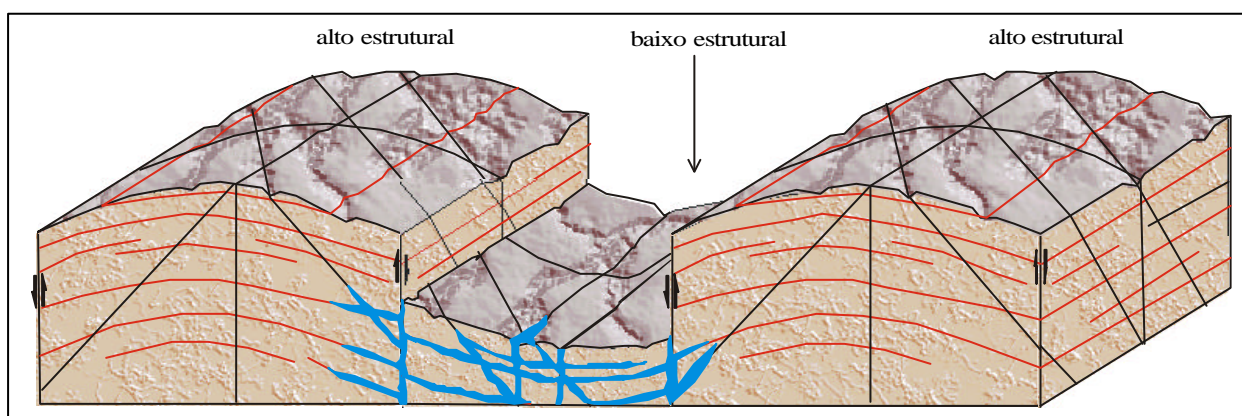


Fig. 2 - Bloco diagrama que relaciona as fraturas de alívio sub-horizontais controladas pelo flexuramento de rochas cristalinas através de uma tectônica de falhas de gravidade. As faltas de alto ângulo em conexão com as fraturas sub-horizontais constituem os principais condutos para o armazenamento de água subterrânea nos baixos estruturais.

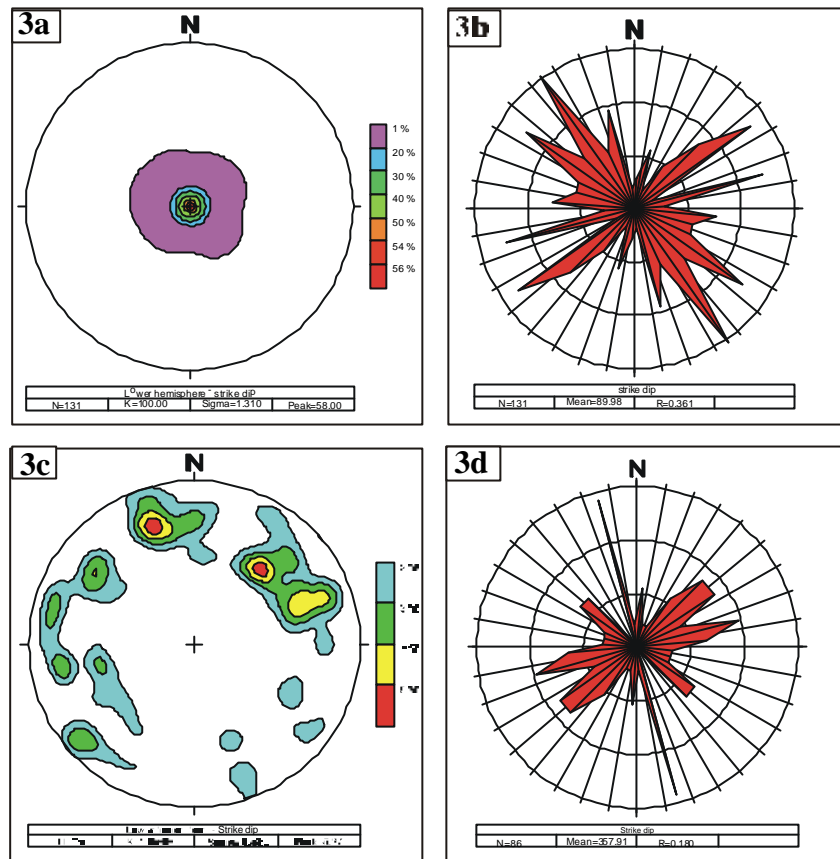


Fig. 3 - Diagramas de contornos e rosetas dos sistemas de fraturas neotectônicas. Em (a e b), fraturas extensionais verticais a sub-verticais ( $70^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ ), reativadas como falhas de gravidade (N=155); Em (c e d), fraturas conseqüentes de alívio de baixo ângulo ( $0^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ ) vinculadas a falhas de gravidade (N=86).

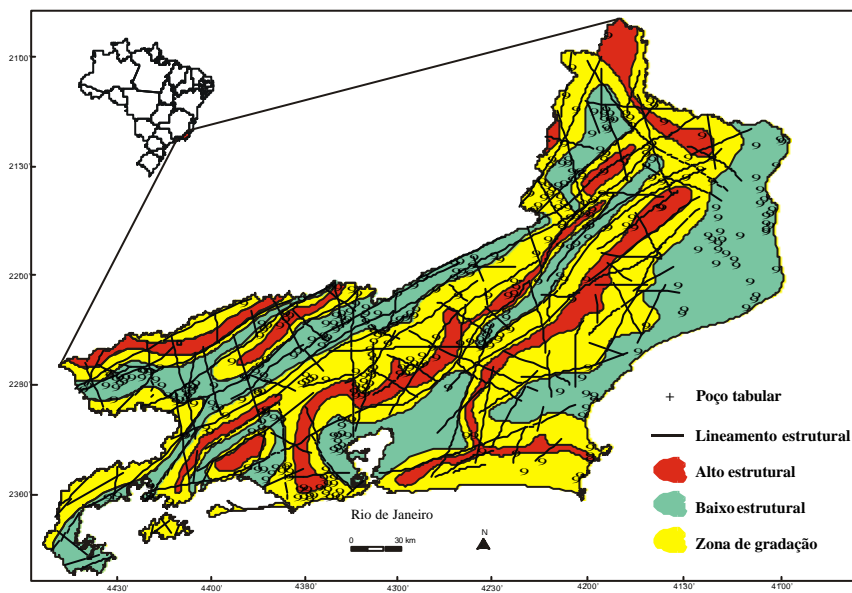


Fig. 4 - Mapa morfoestrutural com poços tabulares.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M. 1990. O alinhamento magnético de Cabo Frio. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 2. *Atas*. SGB-São Paulo, P.423-428.
- Costa, W. D. 1998. Aspectos qualitativos e quantitativos dos aquíferos fissurados. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. *Anais*. SGB-Belo Horizonte, p.341.
- Hasui, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: Workshop sobre tectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro, 1, 1990, Belo Horizonte. *Anais*. Belo Horizonte: SGB-Minas Gerais, p.1-31 (Boletim 11).
- Ingebritsen, S., E.; Sanford, W.E. 1999. *Groundwater in geologic processes*. Cambridge University Press, 1999, 341p.
- Okida, R.; Venezini, P., Anjos, C. E. dos. 1997. Evolução tectônica da região do Vale do Paraíba e litoral norte do Estado de São Paulo. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 5. *Atas*. SGB-Rio de Janeiro, v.1, p.150-152.
- Oliveira, S.A.M. de. 1997. *Uso e aplicações de sensoriamento remoto no estudo do controle hidrogeológico do aquífero termal de Caldas Novas - GO*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997. 112 pág.
- Penha, H. M.; Ferrari, A. L.; Moretti, C.; Panagoulas, T. I. 1997. Indicativos de eventos tectônicos cenozóicos no lineamento Jacuacanga-Conrado. O exemplo da região do médio-baixo curso do rio Santana (RJ). In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 5. *Atas*. SGB-Rio de Janeiro, p.71-73.
- Rocio, M.A.R.; Veneziani, P. 1993. Caracterização das condições de ocorrência das águas subterrâneas no embasamento com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. *Anais*. São José dos Campos, INPE/SELPER/SBC, 1993, V., 3, P.312-314.
- Sadowski, G. R. 1983. *Sobre a geologia estrutural de cinturões de cisalhamento continentais*. (Tese de Livre Docência no Departamento de Geologia Geral e de Aplicação). USP, Instituto de Geociências, São Paulo, 108p.
- Silva, T. M. & Ferrari, A. L. 1997. Controle tectônico da compartimentação geomorfológica no segmento nordeste do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 5. *Atas*. SGB-Rio de Janeiro, p.48-50.
- Suguió, K. 1996. Papel da neotectônica na evolução do litoral brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. *Anais*. SGB-Salvador, V.5, p.473-476.
- Valente, S. de C.; Porto Jr, R. & Duarte, B. P. 1993. Aspectos gerais das rochas intrusivas básicas brasileiras na Faixa Ribeira no município do Rio de Janeiro, RJ. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 3. *Atas*. SGB- Rio de Janeiro, v.1, p.168-173.
- Veneziani, P.; Anjos, C.E. 1993. Prospecção de água termomineral na Região de Termas da Guarda (SC) com utilização de sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. *Anais*. São José dos Campos, SELPER/INPE/SBC, 1993, V. 3, P. 376-384.
- Waters, P.; Greenbaum, D.; Smart, P.L.; Osmaston, H. 1990. Applications of remote sensing to groundwater hydrology. *Remote Sensing reviews*, 4(2): 223-264, 1990.