

Sensoriamento Remoto para Mapeamentos Geoambientais visando zonas favoráveis a pesquisa de recursos hídricos subterrâneos: Uma abordagem metodológica.

Anderson Rodrigo da Silva¹
Juércio Tavares de Mattos¹

¹UNESP - Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.
Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410 – Guaratinguetá – SP – Brasil
ander_rodrigo@hotmail.com; juercio@feg.unesp.br

Abstract. To present research it represents a study of the physical middle, using techniques of remote sensing with satellite image and topographical letters, for study of underground water resources. It was also used, meteorological data of precipitation and flow of artesian wells. As result end was made researches and thematic cartography of recharge areas, circulation and concentration of underground water.

Palavras-chave: remote sensing, underground water, engineer civil, sensoriamento remoto, águas subterrâneas, engenharia civil.

1 Introdução

O presente trabalho visa à utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto com o desenvolvimento de procedimentos interpretativos de imagens de satélite, no sentido de avaliar os diversos elementos de relevo e drenagem os quais permitem uma compartimentação fisiográfica da área em Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) e posteriormente em Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneo (UGRHS). Também, a pesquisa enfocou uma análise dos fraturamentos para estabelecer um significado geológico-estrutural na definição de altos e baixos estruturais, que estão relacionados às zonas de captura e concentração de águas subterrânea.

A área do presente estudo está localizada entre as cidades de São José dos Campos e Guaratinguetá (Vale do Paraíba e serra da Mantiqueira) e as cidades de Salesópolis e Ubatuba (serra do Mar) - SP. Localiza-se a sudeste do estado de São Paulo, região Oriental Paulista, entre as latitudes 22°45' a 23°30' sul e as longitudes 45°00' e 46°00' oeste de Greenwich.

2 Materiais e Métodos

2.1 Materiais:

Como instrumentos de pesquisa utilizou-se produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite), documentos cartográficos, dados de precipitação e de vazões de poços artesianos, softwares e equipamentos.

As imagens de satélite utilizadas para desenvolvimento do projeto foi a do Sistema Landsat TM 5, correspondente à órbita 218, ponto 76 quadrantes A e B, no formato digital e analógico (1:100.000) e bandas 4 (R), 5 (G), 7(B), passagem 20/08/94.

Os documentos cartográficos foram cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE na escala 1:50.000 correspondente as quadriculas de: Guaratinguetá, Jacareí, Lagoinha, Monteiro Lobato, Natividade da Serra, Paraibuna, Pindamonhangaba, São José dos Campos, São Luís do Paraitinga, Taubaté, Tremembé e Ubatuba.

Os dados pluviométricos (precipitação) foram coletados na Internet, através do site do Sistema de Informações para Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH).

Os dados de vazão de poços artesanais foram obtidos no Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE) na cidade de Taubaté-SP.

Também foram utilizados os softwares: Spring 4.3, AutoCAD 2007, GeoOffice, Surfer 8.0 e WinTOPO.

2.2 Métodos:

Dentro dos diversos domínios do Sensoriamento Remoto, o *Domínio Espacial* é o que permite o estudo do conteúdo de variação de informação em função da escala de imageamento ou da escala escolhida representação do mapeamento. Neste domínio o estudo da textura das imagens constitui um dos fatores primordiais para a fotointerpretação.

Por outro lado, ressaltamos que os elementos texturais de relevo e drenagem são estruturados e esculpidos por processos endógenos e exógenos, sendo, portanto elementos fundamentais para a caracterização de propriedades físicas e químicas do meio físico e de fácil identificação pelas texturas das imagens.

Nesse trabalho sobre as imagens Landsat TM foram realizadas investigações orientadas, seguindo um processo de planos relativamente normalizados. Isto é, desde o reconhecimento inicial das propriedades do relevo e drenagem até sua caracterização como fatores determinantes na compartimentação física (textural) do terreno, denominadas de zonas homólogas.

Essas zonas homólogas após ter obtido seus limites e definido suas propriedades (plasticidade, ruptibilidade, assimetria, resistência a erosão, tropia e permeabilidade) passaram a denominar-se de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's) que posteriormente foi feita uma equivalência entre elas, obtendo-se assim as Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneos (UGRHS).

Uma análise dos fraturamentos, também foi feita sobre as imagens de satélite, de tal forma a obter-se, isovalores e representação 3D de densidade de traços de juntas, os quais evidenciam os altos e baixos estruturais correspondentes a áreas anômalas favoráveis à captura e concentração de água subterrânea.

Além da análise do meio físico, realizou-se uma avaliação de dados meteorológicos de precipitação (SIGRH) e dados de vazão de poços artesanais (DAEE-Taubaté-SP). Os resultados das interpretações de precipitação e de vazão dos poços são espacializados, na forma de isovalores, utilizando-se do Programa Surfer 8.0.

Realizou-se uma integração das diversas Unidades Geoambientais com os dados Morfoestruturais e de Precipitação e Vazão de Poços para se obter espacialmente as zonas de recarga e concentração de águas subterrânea e entre elas os vetores de circulação.

Finalmente foi feita a priorização das áreas (recarga e concentração) sempre admitindo que a captura e/ou concentração de água ocorrem: nos altos e baixos estruturais respectivamente; nas UGRHS de classes com alta a moderada percolação e que sempre onde houvesse valores altos de precipitações confirmados com vazão de poços artesanais.

3 Resultados

3.1 Unidades Básicas de Compartimentação (UBC's)

As UBC's, correspondem a menor divisão de diferenças texturais de imagens que quando interpretadas sob o ponto de vista ambiental correspondem a menor compartimentação do meio físico que conservam sua identidade nas imagens.

Como resultado das interpretações elaborou-se o mapa das UBC's as quais representam áreas distintas, também denominadas Zonas Homólogas (na fase de análise).

Portanto, os limites das UBC's foram obtidos a partir das diferentes Densidades Texturais de Imagem, onde criou-se categorias para classificação que estão representadas pelas Figuras 01 a 05, a seguir:

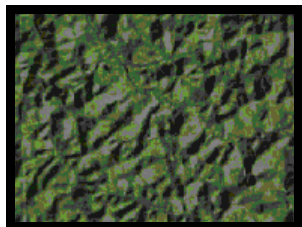


Figura 01 – Imagem da propriedade **textural**, classificada na categoria **muito alta densidade textural**.

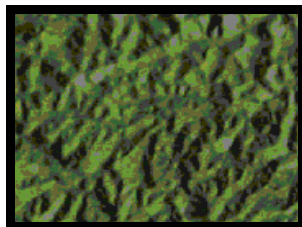


Figura 02 – Imagem da propriedade **textural**, classificada na categoria **alta densidade textural**.

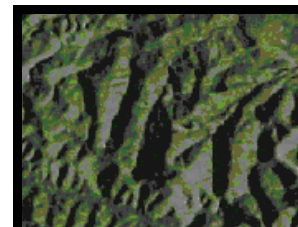


Figura 03 – Imagem da propriedade **textural**, classificada na categoria **moderada densidade textural**.

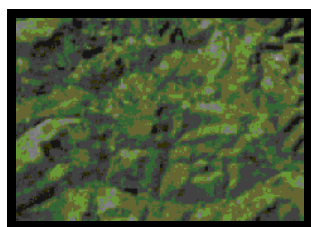


Figura 04 – Imagem da propriedade **textural**, classificada na categoria **baixa densidade textural**.

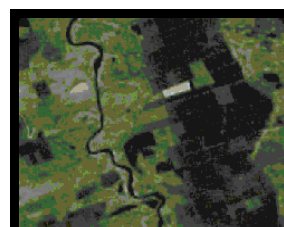


Figura 05 – Imagem da propriedade **textural**, classificada na categoria **nula densidade textural**.

3.2 Propriedades das UBC'S

Com as UBC's delimitadas pode-se analisar e classificar suas propriedades: Resistência a Erosão, Plasticidade x Ruptibilidade, Tropa, Assimetria de Relevo e Permeabilidade.

Para estas propriedades também se criaram categorias texturais de imagem: Resistência a erosão (muito resistente, resistente, pouco resistente e não resistente); Plasticidade x Ruptibilidade (muito fraturada, fraturada, pouco fraturada e não fraturada); Tropa (muito orientada, orientada, pouco orientada e não orientada); Assimetria de Relevo (fortemente assimétrica, assimétrica, moderadamente assimétrica, simétrica) e Permeabilidade (muito permeável, permeável, pouco permeável e não permeável). As figuras 06 a 10 representam a título de exemplo uma categoria para cada propriedade analisada.

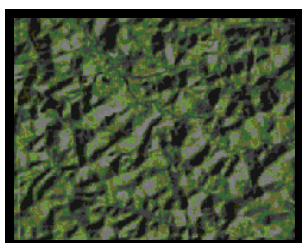


Figura 06 – Imagem da propriedade da **resistência a erosão**, classificada na categoria **muito resistente**.

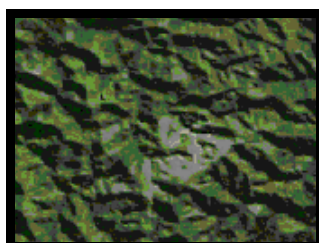


Figura 07 – Imagem da propriedade **plasticidade**, classificada na categoria **fraturada**.

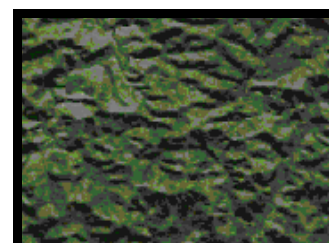


Figura 08 – Imagem da propriedade **tropia**, classificada na categoria **pouco orientada**.

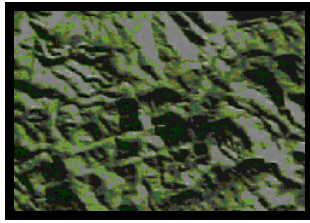


Figura 09 – Imagem da propriedade **assimetria de relevo**, classificada na categoria **moderadamente assimétrica**.

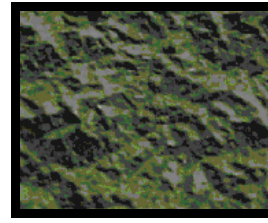


Figura 10 – Imagem da propriedade **permeabilidade**, classificada na categoria **não permeável**.

Após ter caracterizado cada UBC's segundo suas propriedades, realizou-se uma equivalência entre as UBC's com propriedades semelhantes podendo assim, elaborar o mapa de Unidades Geoambientais para Recursos Hídricos Subterrâneos.

3.3 Unidades Geoambientais

O mapa de Unidades Geoambientais (representado na figura 15 com integração de outras informações) representa as UBC's integradas segundo quatro classes de percolação de água subterrânea: classe alta (muito fraturado (Cristalino) ou muito permeável (Sedimentar)); classe moderada (fraturada (Cristalino) ou permeável (Sedimentar)); classe baixa (pouco fraturada (Cristalino) ou pouco permeável (Sedimentar)) e classe nula (não fraturado (Cristalino) ou não permeável (Sedimentar)).

3.4 Isovalores de Fraturamentos

O Mapa de isovalores de densidade de fraturamentos e representação 3D (Figura 11 e 12) representam a distribuição espacial da deformações rupteis que ocorreram na área em uma fase de intenso cisalhamento tectônico.

Deve-se ressaltar que nas áreas que desenvolvem um intenso fraturamento discreto (várias direções) e aberto provocam o aparecimento de altos estruturais, o que torna essas regiões com alta percolação de água que aqui chamamos de zona de captura de água. Simétrico e oposto aos altos ocorrem os baixos estruturais são menos fraturados e seu fraturamento é fechado, o que favorece que a água possa ficar armazenada, por essa razão que consideramos essas áreas como zona de concentração de água subterrânea.

Já as demais linhas de contorno estrutural dão indicação do fluxo das águas que percolam pelos altos estruturais e concentram nos baixos estruturais.

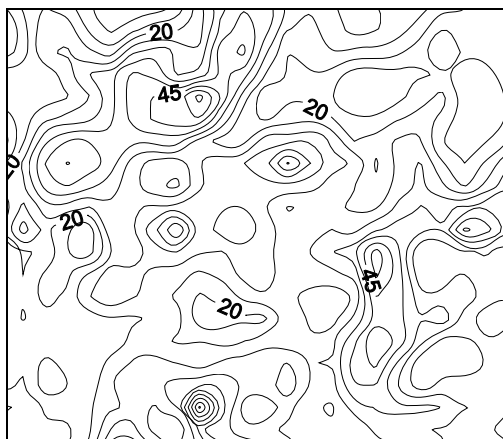


Figura 11 - Representação dos isovalores de densidade dos Traços de Juntas

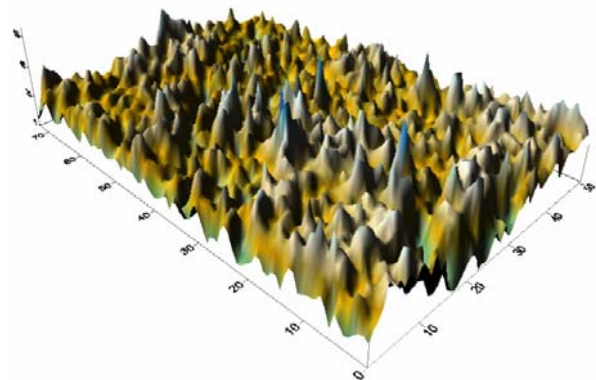


Figura 12 - Representação 3D da densidade de traços de Juntas

3.5 Pluviometria (Precipitações)

A partir das médias pluviométricas obtidas entre os anos de 1995 a 1999 para cada estação do ano, foram obtidas matrizes de dados que representam as médias quinquenais das quatro estações do ano e mapas de contorno de isovalores das médias quinzenais de precipitação para as quatro estações do ano. A título de exemplo é apresentado na figura 13, às isoietas da estação de verão que representa na área o período de maiores precipitações.

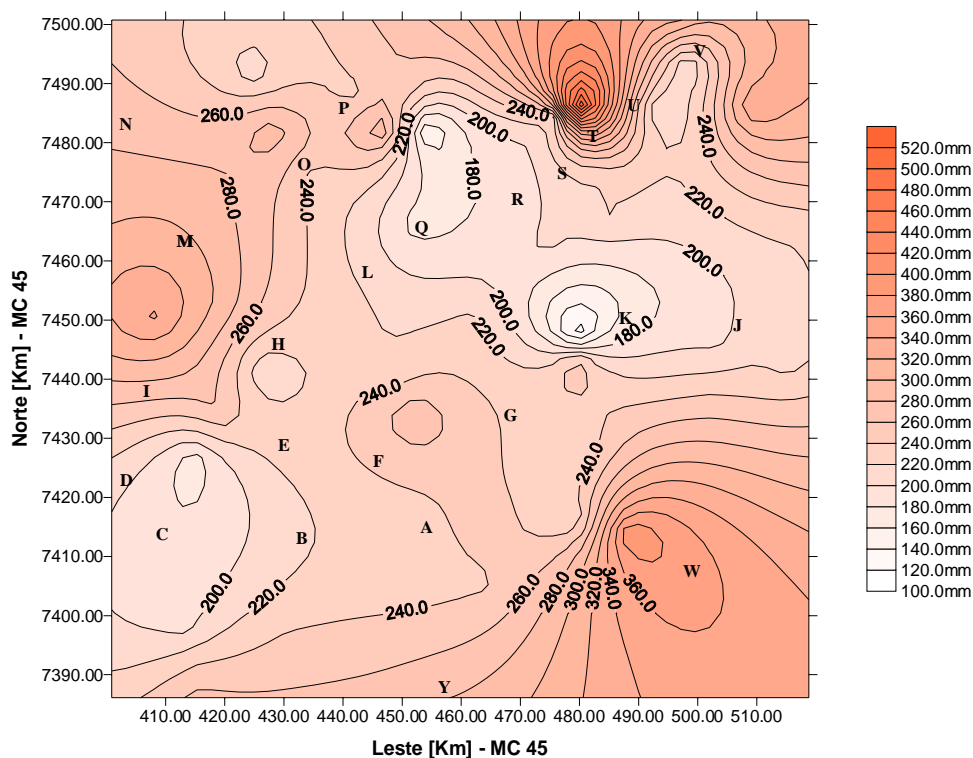


Figura 13 – Mapa de Contorno de Isovalores Referente à Estação Climática Verão.

Legenda: A – Natividade da Serra; B – Paraibuna; C – Santa Branca; D – Jacaré; E – Jambeiro; F – Redenção da Serra; G – São Luís do Paraitinga; H – Lagoinha; I – São José dos Campos; J – Cunha; K – Lagoinha; L – Taubaté; M – Monteiro Lobato; N – São Francisco Xavier; O – Santo Antônio do Pinhal; P – Campos do Jordão; Q – Pindamonhangaba; R - Roseira; S - Aparecida; T - Guaratinguetá; U - Lorena; V – Cachoeira Paulista; W - Ubatuba; Y – Caraguatatuba.

3.6 Vazões de Poços Artesianos

A partir das vazões de poços artesianos foi elaborado o mapa de contorno de isovalores de vazões (figura 14) das áreas cristalinas excluindo as áreas sedimentares, pois os aquíferos abertos ou confinados nessas áreas têm origem e concentrações distintas.

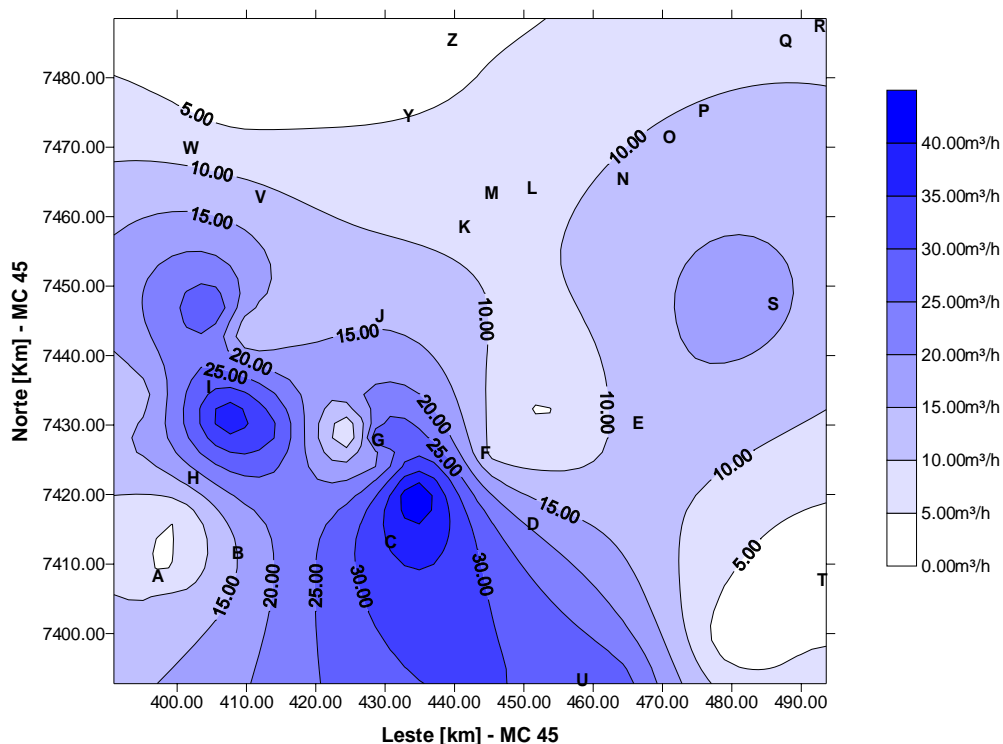


Figura 14 – Mapa de Contorno de Isovalores Referente a Vazões de Poços Artesianos -Cristalino.

Legenda: A – Guararema; B – Santa Branca; C – Paraibuna; D – Natividade da Serra; E – São Luís do Paraitinga; F – Redenção da Serra; G – Jambuí; H – Jacaré; I – São José dos Campos; J – Caçapava; K – Taubaté; L – Pindamonhangaba; M – Tremembé; N – Roseira; O – Aparecida; P – Guaratinguetá; Q - Lorena; R - Canas; S - Lagoinha; T - Ubatuba; U - Caraguatatuba; V – Monteiro Lobato; W – São Francisco Xavier; Y – São Antônio do Pinhal; Z – Campos do Jordão.

4 Integração dos dados

Utilizando-se do princípio da convergência de evidências realizou uma integração das informações obtidas na área, para estabelecer, em caráter regional, as áreas mais favoráveis à pesquisa e prospecção de águas subterrâneas. Foram, portanto sobrepostos os mapas: de Unidades Geoambientais, isovalores de traços de juntas, isovalores de dados de precipitação e isovalores de dados de vazão de poços.

A partir da somatória dessas informações definiu-se as áreas mais favoráveis a pesquisa de águas subterrânea (figura 15). Essas áreas assinaladas no mapa não correspondem a limite nítido no terreno. São regiões que sobre o ponto de vista do meio físico e de feições estruturais (juntas e lineamentos estruturais) apresentam como mais favoráveis e recomendadas a pesquisas de semidetalhe ou de detalhe.

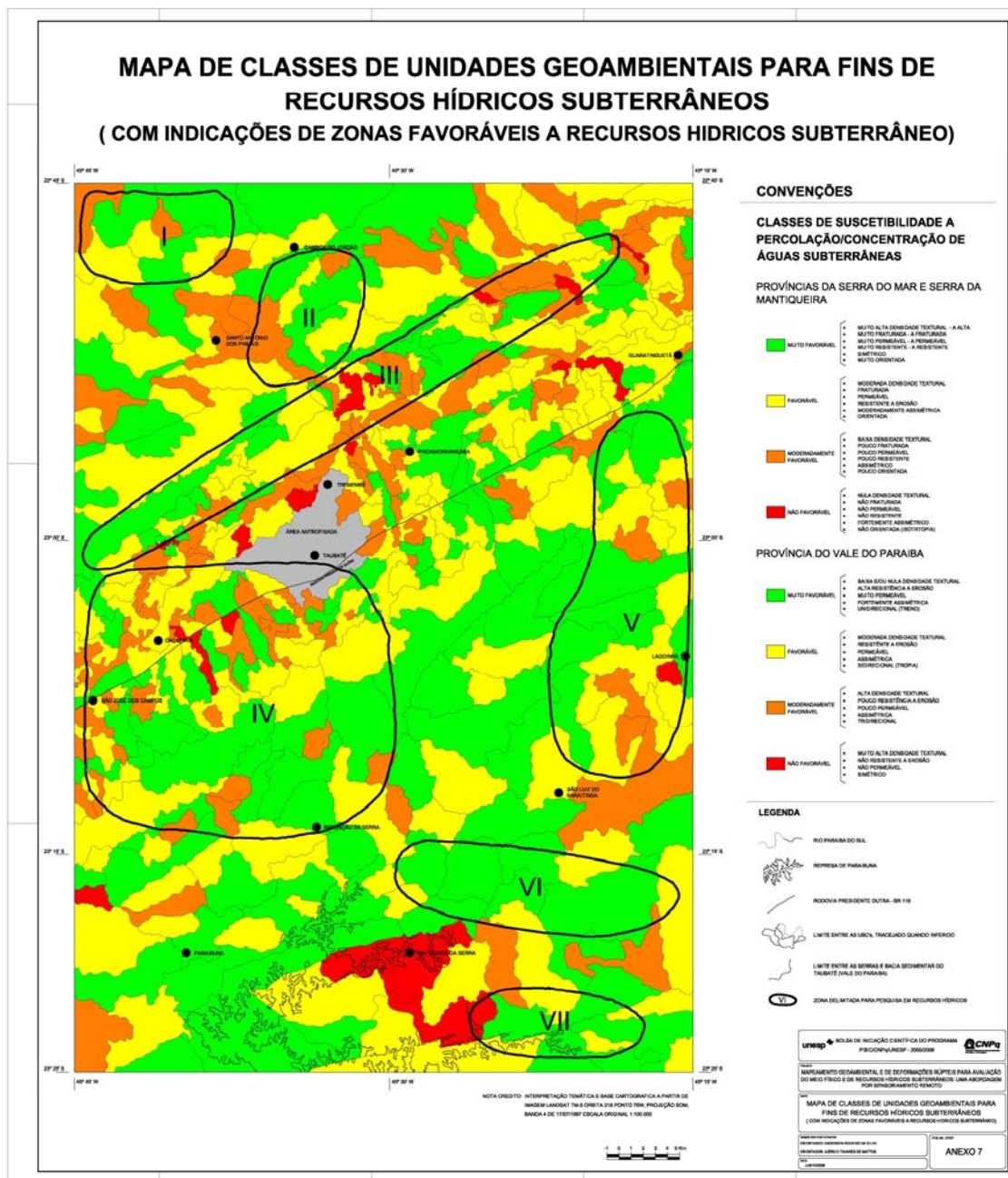


Figura 15 - Representação do Mapa de classes de Unidades Geoambientais para fins de recursos Hídricos Subterrâneos (com indicações de zonas favoráveis a recursos hídricos subterrâneos)

Na figura 15 pode observar que sete (7) regiões foram delimitadas e assinaladas em algarismo romano. Três regiões foram localizadas na serra na Mantiqueira, sendo que a primeira (I) e segunda (II) região encontram-se localizadas no município de Campos de Jordão e a norte de Santo Antônio do Pinhal respectivamente. Já a terceira (III) região ocorre praticamente ao longo de todo o contraforte da Serra da Mantiqueira onde ai além de ser uma área favorável a pesquisa de águas subterrânea devem ocorrer vários pontos de surgência de água na superfície.

A quarta área é uma região que corresponde uma interface entre os sedimentos da Bacia de Taubaté e as rochas Cristalinas da Serra do Mar, essa área esta inserida entre os municípios de São José dos Campos, Caçapava, Taubaté e Redenção da Serra. Vale lembrar que nessa

área quatro (IV) a classe verde é prioritária para pesquisa de água quando corresponder a sedimentos da Bacia de Taubaté onde a permeabilidade esta diretamente ligada à porosidade dos tipos litológicos.

A quinta (V), sexta (VI) e sétima (VII) áreas ocorrem exclusivamente em rochas cristalinas na serra do Mar. A quinta (V) área corresponde às regiões de Guaratinguetá a Lagoinha e representam um alongamento norte sul bem evidenciado pelo sistema de juntas. A sexta (VI) área situa-se a sul de São Luis do Paraitinga estendendo até a região de Redenção da Serra orientada basicamente por dois eixos de zonas de variação de juntas. A sétima (7) área esta situada a sudeste de Natividade da Serra e orientada também por dois eixos de zonas de variação de juntas.

5 Conclusões

Pode-se concluir que, as imagens Landsat TM são de extrema valia para uma avaliação espacial das unidades do meio físico e permite através de suas diferentes classes de texturas, individualizar as principais propriedades físicas (Resistência a Erosão, Plasticidade x Ruptibilidade, Tropa, Assimetria de Relevo e Permeabilidade).

Quando se comparou os dados de isovalores de precipitações e de vazões de poços pode-se verificar uma perfeita correspondência das texturas de imagens com as áreas selecionadas como favoráveis à captura e concentração de água subterrânea.

Deve-se ressaltar que, os isovalores de precipitação foram utilizados como um complemento das interpretações texturais de imagens, no sentido de garantir a existência de água nas áreas favoráveis à percolação. Já os isovalores de vazão de poços serviram para confirmar o confinamento das águas nas regiões assinaladas como zonas de concentração.

Finalmente, deve-se destacar que estudos de semi detalhe e mesmo de detalhe deverão ser realizados nas áreas assinaladas na figura 15 para confirmação das zonas de captura e concentração de águas subterrâneas, visando à definição precisa de futuros poços artesianos para abastecimento, tanto urbano, industrial ou agrícola.

Referências

Boggione, G. A. **Restauração de imagens do satélite Landsat-7**. 2003. 160 p. (INPE-10462-TDI/929). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Mascarenhas, N. D. D.; Correia, V. R. M. **Medidas de qualidade de estimadores de proporções de classe dentro de um pixel de imagem de satélite**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983. 52 p. (INPE-2791-PRE/354).

Mattos, J. T. de; SANTANA, M. A.; OHARA, T. Imagens do satélite TM-Landsat para compartimentação do meio físico, visando planejamento regional: critérios interpretativos In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 10., 2002, Cochabamba. Resúmenes do X Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Cochabamba: SELPER, 2002. 1 CD.

Monteiro, C.A.F. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo - Estudo geográfico sob tema do Atlas. Rio Claro, Fac. Fil. Ciênc. e Letr., med., 30 p. 1964.

Palausi, G. L'exactitude du relevé hydrographique est un élément essentiel de l'Interprétation photogeologique. Rev. Géom. Dynamique, Paris, 12(2) :118—119. 1961.

Silva, J. U. L. de; MATTOS, J. T. de; JUNIOR, M. M. M. A pluviosidade associada a feições geomorfológicas na região da serra do Mar do litoral norte Paulista. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 3., 03-06 set.2000, Campinas. Anais do Geomorfologia 2000. Campinas: UNICAMP, 2000. v.1., p.184.