



COMPARTIMENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO NA REGIÃO DE SÃO CARLOS-SP A PARTIR DE TÉCNICAS DE FOTOINTERPRETAÇÃO EM IMAGEM TM/LANDSAT

Pedro Luiz Fiocco Machini - Graduando em Ecologia. Universidade Estadual Paulista –
UNESP – Rio Claro/SP. pedrolfmachini@hotmail.com;

Isabella Cruz Fagundes - Graduando em Ecologia. Universidade Estadual Paulista – UNESP
– Rio Claro/SP. fagundes.isabella@gmail.com;

Fabiano do Nascimento Pupim – Mestrando em Geociências e Meio Ambiente. UNESP – Rio
Claro. fabianopupim@yahoo.com.br;

Jairo Roberto Jiménez-Rueda – Professor Adjunto do Departamento de Petrologia e
Metalogenia – UNESP – Rio Claro. jaiorjr@rc.unesp.br

RESUMO: Este artigo apresenta a aplicação de uma sistemática para a realização da compartimentação do meio físico em uma imagem TM/Landsat-5 (escala 1:100.000) com fins de planejamento territorial da região do município de São Carlos-SP. Os compartimentos foram delimitados por meio da análise dos elementos texturais de relevo e drenagem, determinando áreas que apresentem internamente características homólogas distintas das de áreas adjacentes. O produto final (Mapa de Unidades Geoambientais) apresenta-se como contribuição a trabalhos que visem diagnósticos e prognósticos ambientais, de grande valia no planejamento territorial, subsidiando estudos futuros sobre a área, sendo a sistemática aplicada passível de repetição em diferentes locais.

Palavras-chave: compartimentação do terreno, fotointerpretação, planejamento territorial

ABSTRACT: This article presents the application of a systematic for realization of land partitioning in a TM/Landsat-5 image (scale 1:100.000) for purposes of territorial planning in the region of São Carlos-SP. The compartments were delimited through the analysis of textural elements of relief and drainage, determining areas that present internally distinct homologous features of adjacent areas. The final product (Map of Geo-environmental Units) presents as a contribution to researches that aimed at environmental diagnostic and



prognostic, valuable in territorial planning, subsidizing future studies on the area, being the systematic implemented repeatable in different locations.

Key-words: land partitioning, photo interpretation, territorial planning

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população humana vem criando novas necessidades de abastecimento, acarretando na utilização de técnicas inapropriadas para a aquisição de recursos naturais (como derrubada e queima de vegetação, empobrecimento do solo, poluição). Esses fatores reduzem o tempo de utilização econômica do meio natural, acrescentando substancialmente uma margem de desperdício no aproveitamento dos recursos.

A compreensão do meio físico constitui-se em um fator crucial para a realização de estudos que amenizem essa situação atual, como zoneamentos (geoambientais e ecológico-econômicos), planos de manejo e planos diretores municipais. A compartimentação do terreno se mostra como uma importante ferramenta de auxílio na execução de programas de estruturação e organização do espaço físico voltados ao planejamento ambiental, tendo por princípio o entendimento das condições de gênese e evolução das paisagens que apresentam estreita associação com os processos pedogênicos, o que possibilita o reconhecimento dos tipos de solos associados a cada paisagem (MORAES & JIMÉNEZ-RUEDA, 2008).

Os elementos componentes do terreno são identificados e analisados integradamente, geralmente pelo uso de fotointerpretação, permitindo identificar diferentes unidades de terreno. Esta metodologia, que utiliza a análise sistemática dos elementos texturais de relevo e drenagem, foi empregada por Vedovello (1993, 2000), Theodorovicz *et al.* (1994), Oliveira *et al.* (1995), entre outros, para a extração e posterior análise de elementos da imagem visando estabelecer uma relação do significado da imagem do objeto com o objeto real.

Tal metodologia consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características homólogas e que sejam distintas das de áreas adjacentes, refletindo associações específicas dos elementos ambientais (geologia, geomorfologia, topografia, vegetação e clima) e, cuja expressão no terreno reflete padrões morfoambientais recorrentes e distinguíveis nas fotografias aéreas (VEDOVELLO, 2000). As formas de relevo



constituem fatores determinantes para a definição e caracterização das diversas unidades homólogas (JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1993). As zonas ou unidades homólogas são visíveis em imagens de satélite e fotografias aéreas, caracterizando-se por relativa homogeneidade textural em um contexto heterogêneo, onde cada padrão textural reflete o conjunto de fatores fisiográficos que atuaram na formação da paisagem (MORAES & JIMÉNEZ-RUEDA, 2005), definindo assim o solo como um testemunho dos processos evolutivos que moldaram a paisagem.

Para contribuir com o conhecimento do meio físico da quadrícula de São Carlos-SP, realizou-se a compartimentação do meio físico em imagem de satélite de parte da área, em escala 1:50.000.

A área de estudo está inserida na quadrícula de São Carlos, localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo-Brasil, compreendendo os limites da carta topográfica de São Carlos, com coordenadas 22°00' e 22°15' de latitude Sul e 47°45' e 48°00' de latitude Oeste, abrangendo parte dos municípios de São Carlos, Analândia, Itirapina e Brotas. Tem como principais vias de acesso as rodovias SP-310 (Washington Luis), SP-225 e SP-215 (Fig. 1).

Localiza-se na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, que ocupa boa parte do sul-sudeste do território nacional além de grandes porções dos territórios do Uruguai, Paraguai e Argentina. Insere-se no compartimento geomorfológico do Planalto Ocidental (ROSS & MOROZ, 1997), que apresenta predomínio de paisagens colúvio-aluviais e relevo suavemente ondulado a ondulado, de colinas amplas e arredondadas, além de paisagens aluviais controladas por soleiras basálticas. As formações presentes na área são representadas por Serra Geral (Cretáceo Inferior), Botucatu Pirambóia (Jurássico) e pelo Grupo Bauru (Cretáceo Superior). O Planalto de São Carlos e a Serra do Cuscuzeiro são caracterizados por níveis planálticos escalonados (Planalto muito alto, alto e médio), desenvolvidos a partir de uma superfície pedimentar, que corresponde a Superfície do Japí (MELO & PONÇANO, 1983), deformada por eventos tectônicos Cenozóicos.

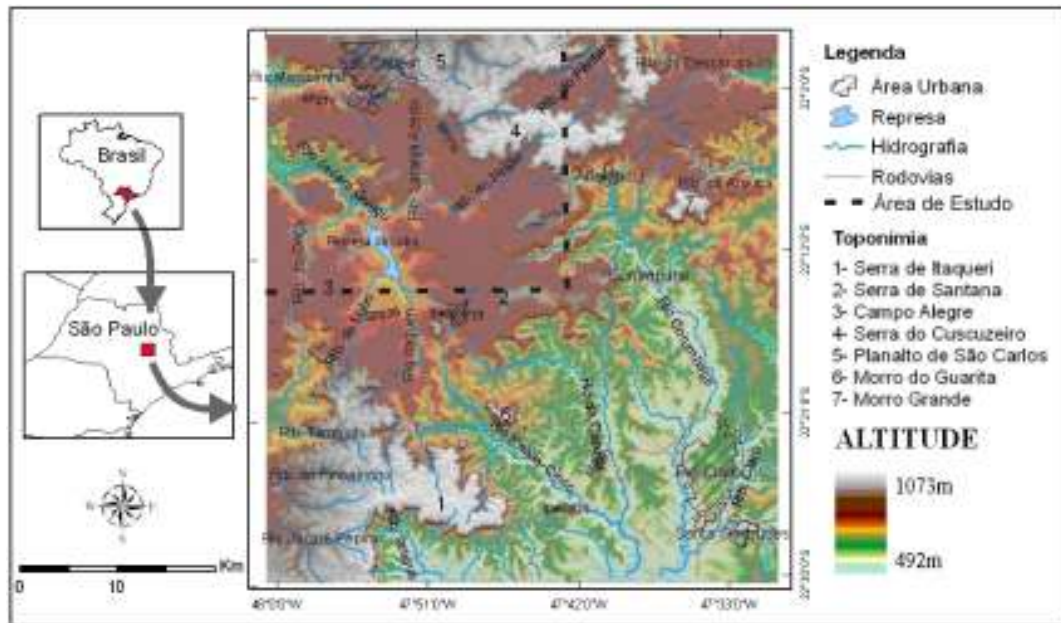


Fig. 1: Localização da área de estudo e toponímias. Adaptado de PUPIM (2007)

2 MATERIAL E MÉTODOS

Anteriormente ao início da interpretação, foi feita uma revisão bibliográfica para o reconhecimento da área de estudo, levantando dados como geologia, geomorfologia, clima, topografia, hidrografia, pedologia e vegetação, identificando assim as características regionais.

A metodologia de interpretação utilizada parte dos critérios propostos por Guy (1966), transcritos por Rivereau (1969), adaptado no Brasil por Soares & Fiori (1976) para fotografias aéreas e sistematizado por Veneziani & Anjos (1982) para imagens de satélite. Estes critérios permitem obter informações indiretas a respeito das propriedades físico-químico-mecânicas dos litotipos presentes na área de estudo (VENEZIANI *et al.*, 1998), assim como de suas respectivas alterações intempéricas (JIMÉNEZ-RUEDA *et al.*, 1989).

Utilizou-se de uma imagem orbital TM/Landsat-5, órbita 220, ponto 75, banda 4, obtida em 09/09/1990, fornecida pelo INPE, em formato analógico (papel fotográfico), na escala 1:100.000, como também lupas de aumento 4x, papel terkron (50 micron) e lápis hidrográfico, além do software ArcGIS 9.3 para a vetorização e cartografia final.



Analisou-se as variações texturais e sua densidade afim de identificar e cartografar os limites das zonas homólogas e, posteriormente, as propriedades e fatores físicos do terreno para a definição das unidades homólogas. A ordenação dos elementos texturais admite que se defina um padrão de estruturas, podendo qualificá-las em função da intensidade e/ou regularidade de organização (grau de estruturação), assim como da grandeza e/ou complexidade de organização dos elementos (ordem de estruturação). A análise da textura fotográfica da imagem TM/Landsat-5 através do padrão de arranjo de elementos texturais e dos níveis de cinza (tonalidade), permite identificar formas e propriedades dos materiais (VENEZIANI & ANJOS, 1982).

Segundo Oliveira *et al.* (1989), os limites de cada unidade mapeada coincide, de modo geral, com os contatos litológicos (quebras negativas do relevo) e com os contatos erosivos (quebras positivas do relevo), as quais indicam mudanças na composição litológica dos materiais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A compartimentação do meio físico da região de São Carlos-SP foi realizada a partir da interpretação da imagem de satélite (TM/Landsat-5), gerando um Mapa de Unidades Geoambientais, com sua respectiva legenda (Fig. 2).

As unidades foram separadas e/ou agrupadas de acordo com classes de propriedades estabelecidas anteriormente ao início da interpretação e relativas somente à área de estudo, sendo estas: Densidade Textural, Resistência à Erosão, Ruptibilidade, Permeabilidade e Tropa.

A Densidade Textural corresponde ao número de elementos texturais presentes numa unidade de área. Um elemento textural é definido, segundo Soares & Fiori (1976), como sendo a menor superfície contínua e homogênea distinguível na imagem fotográfica e passível de repetição, com forma e dimensão definidas. Quando não é mais possível a definição de textura em uma zona, dizemos que sua textura é igual a zero ou que esta é uma zona de densidade infinita – zona branca ou cinza uniforme (RIVEREAU, 1969). No entanto, tal fato não ocorreu na área de estudo. Na imagem, foram separados diferentes graus de densidades textural, compreendendo zonas com maior ou menor número de elementos textuais por



unidade de área (zonas homólogas de textura), gerando quatro classes de densidade: alta (A), média (M), baixa (B) e muito baixa (mB).

As propriedades seguintes são relacionadas aos fatores litológicos, dependentes das características físicas e químicas dos maciços rochosos.

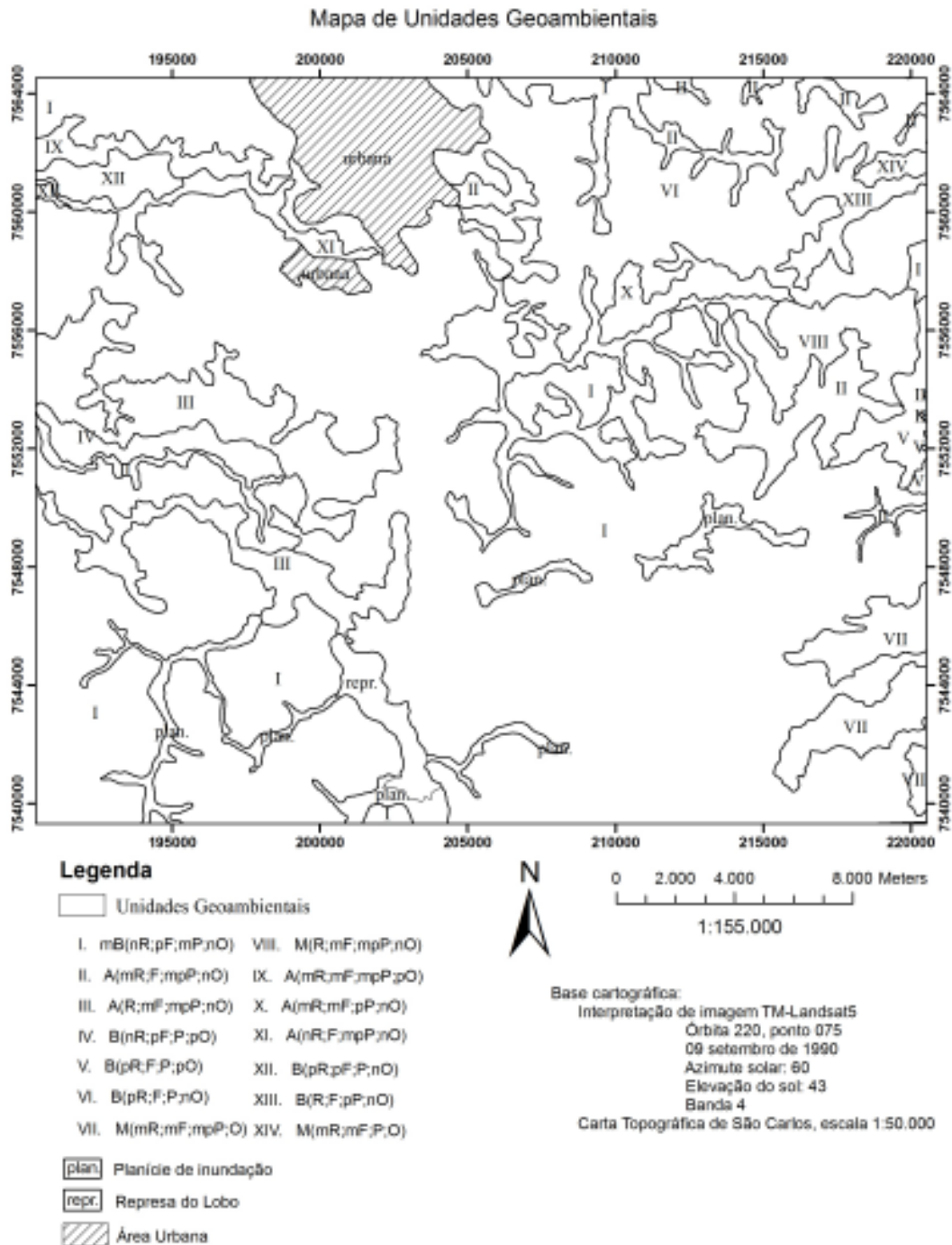


Fig. 2: Mapa de Unidades Geoambientais



Resistência à Erosão depende do grau de alterabilidade da rocha ou sua maior ou menor resistência ao intemperismo químico, assim como o grau de consolidação, ou maior ou menor facilidade de desagregação ou resistência à destruição física do maciço. O melhor critério analítico para interpretar os diferentes graus de erodibilidade resulta do exame das formas de encosta ou vertentes. Numa área onde predomina um mesmo potencial erosivo, como é o caso da área de estudo, pode-se relacionar as formas de encosta côncavas, côncavo-convexas, convexas e côncavo-retilíneo-convexas pelas diferentes resistências oferecidas pelo maciço rochoso aos processos denudacionais, ficando assim classificadas como:

- Não resistentes (nR): encostas convexas;
- Pouco resistentes (pR): encostas côncavo-convexas;
- Resistentes (R): encostas côncavo-retilíneas-convexas;
- Muito resistentes (mR): encostas côncavas.

A Ruptibilidade corresponde à quantidade de feições lineares de drenagem ou traços de fratura presentes em uma determinada área. As linhas de drenagem retilíneas desenvolvem-se preferencialmente em zonas de fraturamento, por serem mais facilmente atacadas pelos processos meteóricos e erosivos. Na área de trabalho, durante a análise, foram qualificadas zonas homólogas de diferentes densidades de traços de fratura, embora com limites arbitrários. As classes de ruptibilidade foram:

- Muito fraturado (mF): mais de 50% dos elementos de drenagem são traços de fratura;
- Fraturado (F): entre 10 e 50% dos elementos de drenagem são traços de fratura;
- Pouco fraturado (pF): menos de 10% dos elementos de drenagem são traços de fratura;
- Não fraturado (nF): não apresentam traços de fratura.

A permeabilidade é caracterizável pela maior ou menor facilidade com que um fluido percola em um meio poroso. É a propriedade mais facilmente interpretada em áreas de rochas sedimentares (caso este da área de estudo), sendo qualificada com base nas densidades relativas dentre as zonas homólogas, gerando as classes: muito pouco permeável (mpP), pouco permeável (pP), permeável (P) e muito permeável (mP).

Tropia é relacionada com a orientação das formas de relevo e drenagem. Quando os planos de anisotropia não são cortados pela superfície topográfica, as formas de relevo e de



drenagem desenvolvem-se como se as rochas fossem isotrópicas, causando uma indução ao erro, muito comum em áreas sedimentares. Foram definidas zonas homólogas com diferentes graus de orientação das formas, refletindo diferentes tipos de propriedades anisotrópicas ou graus de anisotropia. Os graus de orientação utilizados foram:

- Muito orientado (mO): apresenta alinhamentos de relevo juntamente com feições lineares;
- Moderadamente orientado (O): apresenta lineações de relevo e drenagem, com formas de relevo alongadas na mesma direção;
- Pouco orientado (pO): apresenta feições lineares esparças;
- Não orientado (nO): não apresenta nenhuma das três propriedades, com formas de relevo tendendo a ser isométricas.

Em alguns setores foram encontrados obstáculos para a compartimentação do terreno com base na análise de elementos texturais de relevo e drenagem. Tais compartimentos referem-se basicamente a setores aplainados onde há predomínio de processos de sedimentação sobre os de dissecação. A dificuldade do uso dos critérios estipulados está associada ou à ausência de elementos de relevo e drenagem nesses setores, ou à ausência de rupturas de declive significativas, dada a escala do produto, e que, portanto, não são determinadas pela textura nas imagens. Nesse caso, optou-se por avaliar aspectos texturais determinados por variações de nível de cinza e por matizes de cores. Outro fator complicador foi o uso e ocupação do solo (como municípios, assentamentos, plantações, matas) que impede a visão plena dos elementos analisados na imagem, ocultando as formas do terreno e suas disposições.

A delimitação das zonas foi feita através das características texturais da imagem, o que gerou 22 unidades diferentes. Aplicando as demais propriedades estabelecidas, o número de unidades diminuiu para 14, todas com diferentes características. As unidades com baixas propriedades (mB; nR; nF; mP; nO) ficaram concentradas ao longo de toda a metade Sul da área de estudo, e as unidades com propriedades altas (A; mR; F ou mF; mpP; nO ou pO) ficaram, em sua maioria, localizadas mais a Nordeste, estando também espalhadas por toda a metade Norte acompanhando o curso da maior parte das drenagens.

A grande maioria das unidades foi agrupada por simetria, sendo utilizados alguns limites progressivos, que se caracterizam por “separar unidades que possuam propriedades



diferentes que se substituem progressivamente” (SOARES & FIORI, 1976). Algumas unidades foram agrupadas por ordem devido a possuírem as mesmas propriedades do material exposto. Tais aglutinações sintetizaram as informações do mapa final, reduzindo o número de unidades homólogas e, conseqüentemente, facilitando a interpretação do mesmo.

Em áreas com permeabilidade baixa ou muito baixa o escoamento de água superficial é elevado, o que favorece o processo erosivo. É necessária grande atenção no manejo dessas áreas, pois medidas que visem o controle do escoamento podem influenciar na dinâmica das águas subterrâneas, facilitando o desenvolvimento de voçorocas devido à infiltração de água que escava o solo em horizontes inferiores. Áreas com permeabilidade alta são menos propícias à erosão devido à grande infiltração de águas, porém podem ocorrer problemas de inundação e assoreamento em zonas com topografia plana e pequena declividade. No que diz respeito à resistência à erosão, áreas com menor resistência possuem um maior manto de alteração, o que acarreta uma maior possibilidade de erosionamento. Tal relação também se aplica ao fraturamento (quanto mais fraturado, mais erosionável).

Algumas zonas traçadas (I, III, IV, VII, IX, XII), a maioria localizada na metade Oeste da área, corresponderam aos limites geológicos de MELO (1995). Os materiais da Formação Serra Geral e da Formação Botucatu Pirambóia foram os mais facilmente identificados pelo fato de possuírem resistências discrepantes (basalto/diabásio – mR; arenito/siltito – pR), indicando que as coberturas superficiais refletem as características de seus materiais geológicos correspondentes.

4 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho, verificou-se que:

1 - A elaboração do presente estudo se deu de maneira rápida, devido à escolha da metodologia e sua objetividade, não necessitando que o executor seja um especialista em sensoriamento remoto ou geologia, mas que possua conhecimentos básicos sobre geologia, geomorfologia, pedologia e fotointerpretação. Outra vantagem está relacionada ao baixo custo do trabalho, pois conta com materiais simples que podem ser obtidos de maneira rápida e com baixo custo, tendo em vista que atualmente diversos institutos (ex: INPE e NASA) disponibilizam produtos de sensores remotos gratuitamente.



2 - Na análise de imagens multiespectrais do satélite Landsat, a ausência da visão estereoscópica é substituída pelo par conjugado luz/sombra e pela análise do arranjo textural de elementos naturais de relevo e drenagem, com a identificação das diferentes densidades texturais. Pode-se concluir que, as imagens TM/Landsat são de extrema valia para uma avaliação espacial das unidades do meio físico e permitem, através de suas diferentes classes de texturas, individualizar as principais propriedades físicas (Resistência à Erosão, Ruptibilidade, Tropicidade e Permeabilidade).

3 - O Mapa de Unidades Homólogas resultou da análise conjunta das unidades homólogas com as propriedades observadas nas imagens TM/Landsat, associadas com informações morfométricas, intensidade de dissecação (grau de estruturação) e ordenação de feições texturais e/ou estruturais (ordem de estruturação), de acordo com os critérios fotointerpretativos anteriormente estabelecidos. As unidades identificadas dessa maneira podem ser então, caracterizadas quanto às propriedades e características dos elementos componentes do terreno e avaliadas em termos de diagnósticos e prognósticos ambientais, subsidiando estudos futuros sobre a área.

4 - Relacionando-se mais diretamente com o planejamento territorial, tal compartimentação permite que se estabeleçam critérios qualitativos e quantitativos para a determinação da capacidade suporte relativa às diferentes intervenções antrópicas no meio físico, como erosão, uso urbano-industrial, áreas de preservação.

5 BIBLIOGRAFIA

- GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. In: Symp. Intern. Photo-Interpretation, 2., Paris, **Acte**, v.1, p. 21-41. 1966.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; PESSOTTI, J.E.S.; MATTOS, J.T.de. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento agroecológico da região as Serra do Mar no Estado de São Paulo. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, n. 4, 1989, Bariloche. **Anais IX Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota**. Bariloche: SELPER, 1989.
- MELO, M.S. & PONÇANO, W.L. **Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo**. São Paulo, IPT, 74p. Série Monografias 9, 1983.



- MELO, M.S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação cenozóica na depressão periférica paulista.** Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 144 f. 1995.
- MORAES, F.T. & JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Importância de estudos fisiográficos no planejamento municipal: exemplo do Jardim Botânico de Poços de Caldas, MG. **Geociências**, v. 24, n. 3, p. 255-266, 2005.
- MORAES, F.T. & JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**. 38(1): 198-210, março de 2008.
- OLIVEIRA, A.M.dosS.; BITAR, O.Y.; FORNASARI FILHO, N. Geologia de Engenharia e Meio Ambiente. In: BITAR, O.Y. (Coord.), **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente.** Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 248 p., 1995.
- OLIVEIRA, W.J.de; MATTOS, J.T.de; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Contribuição para o mapeamento geológico da região sudeste do Estado de Rondônia através de uma sistemática e estudo usando dados de satélite. In: Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota, n. 4, 1989, San Carlos de Bariloche. **Anais IV Simpósio Latinoamericano de Percepción Remota**, Tomo 1. San Carlos de Bariloche-Argentina: SELPER, p. 543-548, 1989.
- PUPIM, F.N. **Zoneamento Geoambiental como subsídio a implantação e gestão de obras lineares: quadrícula de São Carlos-SP, escala 1:100.000.** Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 111 f. 2007.
- RIVEREAU, J.C. **Notas de aula do curso de fotointerpretação.** Curitiba, Instituto de Geologia/UFPR. 128 p.1969.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: USP, v. I e II, 64 p e 2 mapas, escala 1:500.000. 1997.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.
- THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.M.G.; CANTARINO, S.C. **Projeto Curitiba – Informações Básicas sobre o meio físico: subsídios para o planejamento territorial – Folha Curitiba 1:100.000.** São Paulo: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Relatório, p. 109, 1994.



VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico – aplicação em expansão urbana.** Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 90 p. 1993.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs.** Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro. 2000. 154 p.

VENEZIANI, P. & ANJOS, C.E.dos. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia.** São José dos Campos, SP. INPE, 1982. 61p. INPE-227-MD/014.

VENEZIANI, P.; SANTOS, A.R.dos; CREPANI, E.; ANJOS, C.E.dos; OKIDA, R. Mapa de classes de erodibilidade de parte da região do rio Taquari baseado em imagens TM-Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, número especial, p. 1747-1754, 1998.