

SIG E Sensoriamento Remoto Orbital Auxiliando o Zoneamento Ecológico

Marisa Dantas Bitencourt*
Vânia Regina Pivello*

Recibido: septiembre 8, 1997
Aceptado en versión final: marzo 12, 1998

Resumo. Desde os anos 80 que o uso de sensoriamento remoto orbital e SIG tem se tornado progressivamente útil, sempre que o usuário decide começar pela busca de unidades de paisagem homogêneas, para estabelecer o zoneamento ecológico. Estas unidades devem se basear em aspectos geomorfológicos, de vegetação e de uso e ocupação. Dos dados orbitais são extraídas fitofisionomias e uso e ocupação, dos mapas se obtém topografia e hidrografia, e do modelo digital do terreno se calcula hipsometria e declividade. Sobrepondo-se fitofisionomias com geomorfologia obtém-se unidades de paisagem, as quais, sobrepostas com classes de declividade resulta em níveis de fragilidade. O mapa de zoneamento resulta da combinação da fragilidade, objetivos e necessidades de preservação. Modelo diagnóstico, usando SIG e sensoriamento remoto orbital, mostrou excelente desempenho em indicar zonas adequadas para o zoneamento ecológico.

Palavras chave: sensoriamento remoto orbital, SIG, geomorfologia, índice de vegetação, modelagem prescritiva, unidade de paisagem, fragilidade ambiental.

Summary. Since the 80's, the use of satellite remote sensing and GIS have become progressively helpful, when users decide to start looking for homogeneous landscape units to establish the ecological zoning. Those landscape units should be based on geomorphologic, vegetation, and land use aspects. From satellite data one can extract phytophysionomies and land use, from maps, one can generate hydrography and topography, and from digital terrain models one can obtain hypsometry and slope classes. Overlaying phytophysionomies with geomorphology one can obtain landscape units, which, overlaid with slope classes, can generate fragility levels. The zoning map results from the combination of the fragilities, objectives and requirements to preserve the area. Predictive models using GIS and satellite data showed an excellent performance for the definition of ecological zoning.

Key words: Satellite Remote Sensing, GIS, geomorphology, landscape units, slope classes, fragility levels.

INTRODUÇÃO

Os zoneamentos ambientais geralmente baseiam-se na análise integrada de um volume muito grande de dados. Desde meados dos anos oitenta, a literatura tem sido enriquecida com experiências diversas do uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) em zoneamentos, facilitando sobremaneira o manuseio destes dados. No Brasil, Roig *et al.* (1996) chegam a propor uma metodologia de zoneamento usando SIG, que passa pelo estabelecimento de unidades homogêneas de paisagem, a partir da análise de diversas fontes de informação.

No geral, para se definir estas unidades homogêneas de paisagem, de meso a macro escalas, são necessárias informações sobre a geomorfologia, a vegetação e o uso e ocupação da área (Forman and Godron, 1986; Turner,

1989). A geomorfologia, sintetizando informações sobre o relevo tais com a hidrografia, a geologia e o solo; a vegetação, indicando as condições de solo, do clima, do relevo, da disponibilidade hídrica e do grau de antropização na área; e o uso e ocupação, mostrando a ação humana sobre o local a ser zoneado. Combinando-se estes fatores em uma base cartográfica, pode-se chegar ao estabelecimento de unidades de paisagem, bastante próximas do mundo real, conduzindo a um zoneamento ecológico quantitativo.

Esta análise pode ser feita manualmente ou através de técnicas de geoprocessamento, no qual os sistemas de informações geográficas (SIG) estão incluídos. As análises feitas dentro de um SIG, possibilitam não apenas uma melhora na visualização, mas também os cálculos de áreas, perímetros e distâncias dos temas de interesse. Além disso, informações obtidas por sensores remotos, orbital e aéreo, bem como interpretações de

* Autor para correspondência: Departamento de Ecologia Geral - IB-USP, Rua do Matão, travessa 14 # 321, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil.
tencourt@usp.br e vrpivello@usp.br

modelo digital do terreno, podem ser incluídos, ampliando assim o espectro de variáveis analisado (Davis and Simonett, 1991; Maguire and Dangermond, 1991). Em ambientes de SIG, as informações ganham espacialidade e permitem a localização no campo, com o auxílio de GPS (Global Position Systems), facilitando a conferência das unidades estabelecidas no zoneamento.

A modelagem utilizando SIG pode ser baseada em modelo diagnóstico ou em modelo prognóstico (Bonham-Carter, 1994). Na elaboração de zoneamentos, no qual se deseja selecionar áreas com uma certa adequação, o objetivo é alcançado através de modelos diagnósticos, que envolvem simples operações booleanas, como multiplicação (intersecção = OR), soma (união = AND) e negação.

O cerrado é um complexo de formações vegetais que apresentam fisionomia e composição florística variáveis desde as formas campestres (campo limpo) até formas florestais cerradão), formando um mosaico ecológico (Coutinho, 1978). O domínio dos cerrados abrange aproximadamente 25% do território brasileiro sendo que sua região nuclear se situa no planalto central do Brasil. O cerrado encontra-se quase totalmente sob clima tropical: somente na sua borda sul, em altitudes moderadas do estado de São Paulo (1 000 a 1 700 m) é que sofre geadas leves em algumas noites de inverno. Originalmente o cerrado recobria cerca de 14% do estado. No inventário florestal do estado de 1962 havia 1 837 820 ha de cerrado. No inventário de 1990-92 havia somente 239 846 ha, graças a ação da fronteira agrícola.

Conforme estudos recentes, feitos pelo Programa de Biodiversidade (ou PROBIO) da Secretaria do Meio Ambiente (ou SMA) do Estado de São Paulo (SMA, 1997), o cerrado é o ecossistema mais ameaçado do estado todo, em virtude da forte pressão agropecuária dos últimos 20 anos. Deste modo, um zoneamento ecológico para a Área de Relevante Interesse Ecológico (ou ARIE) Cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro - SP, é absolutamente indispensável, uma vez que esta unidade de conservação apresenta todas as fisionomias possíveis de cerrado e está cercada por agricultura e silvicultura. Assim, visando a conservação deste importante relicto de cerrado com 1060 ha, procedeu-se ao seu zoneamento ecológico utilizando informações da literatura, dados obtidos no campo e dados obtidos por sensores remoto orbital. As bases para este zoneamento passaram pelo estabelecimento de unidades de paisagem e pela análise da fragilidade ambiental, levando em conta o uso e ocupação, as fitofisionomias e a geomorfologia da ARIE.

Deste modo, utilizando o programa IDRISI/TOSCA, que possui um SIG do tipo matricial (Eastman *et al.* 1995), combinou-se mapas temáticos de diversas fontes, em

busca de um zoneamento ecológico com base cartográfica.

MATERIAL E MÉTODOS

A ARIE Cerrado Pé-de-Gigante, localiza-se no município de Santa Rita do Passa-Quatro, estado de São Paulo, Brasil (coordenadas aproximadas 21°36' a 21°44' S e 47°34' a 47°41' W). Esta ARIE foi criada em 1990, através do Decreto Federal nº 99.275 (06/6/90), com uma área de 1060 ha, a fim de assegurar a proteção de seus recursos naturais.

O relevo da região é suave, com uma variação altitudinal de 590 m a 740 m. Litologicamente, predominam arenitos da formação Botucatu e Pirambóia, o que resulta em solos pobres e arenosos (Massoli, 1981). É formada por várias fisionomias de cerrado e está circundada por silvicultura (eucaliptos) e agricultura (cítricos e cana-de-açúcar). O nome da ARIE deve-se a uma depressão, em forma de uma gigantesca pegada, que está relacionada a formação das cabeceiras do Ribeirão Paulicéia.

Através do programa IDRISI/TOSCA, desenvolvido pela Clark University - USA, combinou-se imagens obtidas por satélite, com outras imagens oriundas da digitalização de temas observados em campo e de temas extraídos da análise digital da superfície. Esta superfície ou modelo numérico do terreno (MNT), é obtido pela digitalização das curvas de nível e pela transformação destas em superfície. As fontes das curvas de nível são as cartas IBGE 1:50 000 (IBGE, 1971) e IGC 1:10 000 (IGC, 1990), esta última com curvas de nível de 5 em 5 metros. O MNT com grade UTM de 10 metros, foi gerado pelo método de grade irregular e triangular ou TIN (Triangulated Irregular Network) disponível no IDRISI. A análise desta superfície, pode gerar diferentes tipos de imagens, as quais, uma vez classificadas, resultam em mapas temáticos como o de declividade, entre outros temas (Burrough, 1990).

A nova imagem pode apresentar, em suas celas, valores de porcentagem de declividade, que correspondem a tangente do ângulo de inclinação do terreno multiplicado por 100. Lembrando que 100% de declividade correspondem a 45 graus de inclinação.

O mapa temático de fitofisionomias da ARIE, foi extraído de Bitencourt *et al.* (1997). Neste trabalho, foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5, TM (*Thematic Mapper*), órbita 220 e ponto 075. As faixas espectrais do vermelho (TM-3) e do infravermelho próximo (TM-4) utilizadas datam de 05 de julho de 1995. Estas imagens foram geo-referenciadas em coordenadas planas, projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), com

base em pontos obtidos por GPS, ao longo do contorno da ARIE.

Para a determinação mais precisa das áreas ocupadas por cada fitofisionomia, fez-se um outro processamento de imagens, que gerou uma imagem índice de vegetação. Estes índices de vegetação têm indicado satisfatoriamente a densidade de fitomassa foliar por área, conforme a literatura (Bitencourt-Pereira, 1986; Santos, 1988; Gamon *et al.*, 1995). O índice mais utilizado é o de diferença normalizada (NDVI de Rouse *et al.*, 1973), obtido a partir das informações espectrais contidas nas bandas TM-3 (vermelho) e TM-4 (infravermelho próximo) do TM-LANDSAT, (doravante chamado IVDN). Neste caso os números digitais (ND) nas imagens de satélite sofrem o seguinte tratamento:

$$(ND \text{ infravermelho próximo} - ND \text{ vermelho})$$

$$IVDN = \frac{\quad}{\quad}$$

$$(ND \text{ infravermelho próximo} + ND \text{ vermelho})$$

A imagem digital obtida por sensores remotos é uma matriz, tendo em cada cela um ND proporcional ao brilho (radiância) dos materiais que compõem a superfície da Terra.

A imagem índice de vegetação, por sua vez, contém em cada cela não mais o ND e sim os índices de vegetação

(IVDN), que variam de valores negativos à positivos, dependendo da densidade de vegetação por área que compõe a paisagem. Os solos nus terão os IVDNs mais negativos e as vegetações densas os IVDNs mais positivos, por exemplo. Este método é quantitativo, permitindo a classificação dos intervalos de IVDN em classes de interesse, que são diretamente proporcionais à fitomassa verde e que se prestam muito bem para separar fitofisionomias como as de cerrado.

O tema Unidade de Paisagem resultou da operação booleana das imagens classes geomorfológicas e classes fitofisionômicas. O tema Fragilidade Ambiental resultou da operação booleana da imagem Unidade de Paisagem e da imagem classes de declividade. A partir destes resultados, se chegou a uma proposta de zoneamento que levou em conta objetivos e necessidades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A topografia, apresentada na **Figura 1(a)**, resultou da combinação das cartas IBGE (1971) na escala 1:50 000 e IGC (1990) na escala 1:10000. Esta última contém curvas de nível de 5 em 5 metros. Já na **Figura 1(b)** é apresentada a imagem hipsométrica oriunda do MNT construído a partir das curvas acima.

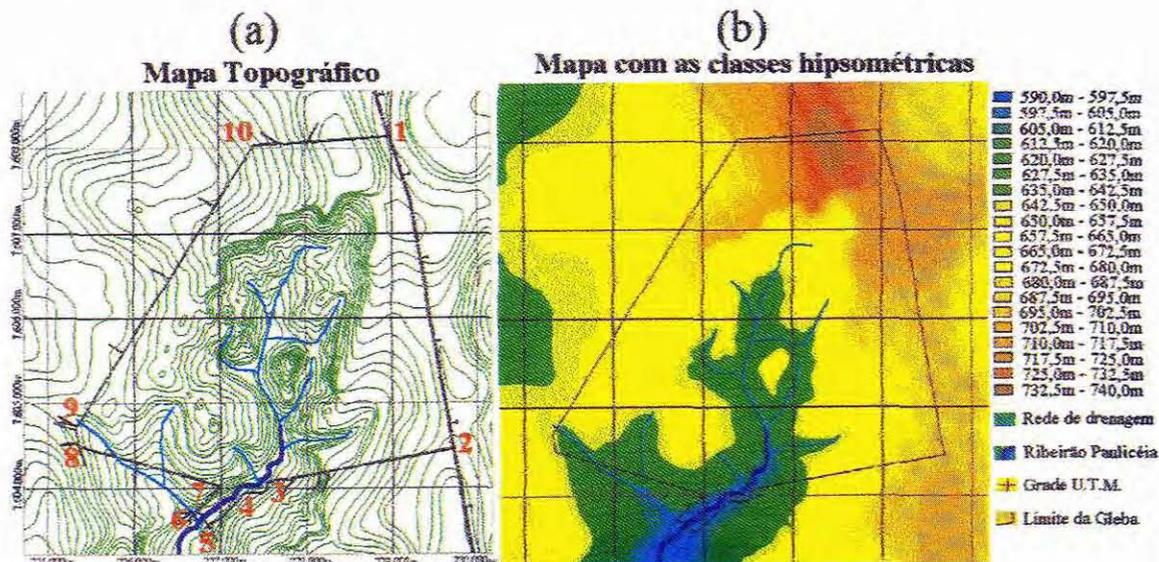


Figura 1. a) Topografia da ARIE Cerrado Pé-de-Gigante, com as curvas de nível de 5 em 5 metros (Fontes: cartas IBGE, 1971 e IGC, 1990). Os números em vermelho indicam os pontos de referência geográfica. b) Mapa hipsométrico da área oriundo do modelo numérico do terreno, gerado a partir de (a).

A análise da superfície MNT indicou uma variação de porcentagem de declividade entre 0% e 99,99%.

A **Tabela 1** mostra: limites mínimo e máximo, frequência e proporção, distribuídos em 10 classes iguais.

Tabela 1. Classes de porcentagem de declividade, obtidos a partir do modelo numérico do terreno (MNT) usando o mapa topográfico da figura 1.

Classes	Limite. Min. (% decl.)	Limite Máx. (% decl.)	Frequência (nº pontos)	Proporção (% área)
0	0,00	9,99	177117	0.8192
1	10,00	19,99	33012	0.1527
2	20,00	29,99	4324	0.0200
3	30,00	39,99	1452	0.0067
4	40,00	49,99	19	0.0001
5	50,00	59,99	241	0.0011
6	60,00	69,99	19	0.0001
7	70,00	79,99	15	0.0001
8	80,00	89,99	0	0.0000
9	90,00	99,99	1	0.0000

Desta pré-análise resultou que 82% da área apresenta declividade entre 0 e 10%, revelando um terreno muito pouco acidentado. Uma vez que a variação significativa encontra-se entre zero e 40% de declividade, reagrupou-se em 3 (três) classes, sendo: de zero a 9.99%; de 10% a 19.99%; e maior que 20%. Esta reclassificação corresponde a uma nova imagem de declividade, a qual foi utilizada nos cruzamentos temáticos posteriores.

O tema geomorfologia foi obtido do trabalho de campo de um geomorfólogo contratado pelo projeto e resultou nas seguintes feições:

Morros amplos	(67.8% da área)
Colinas pequenas	(22.4% da área)
Planícies fluviais	(1.8% da área)
Escarpas	(6.0% da área)

Os morros amplos constituem interflúvios arredondados com áreas superiores a 15 km², de topos arredondados a achatados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. A rede de drenagem é de baixa densidade, com padrão dendrítico, em vales abertos e planícies aluviais interiores restritas, com presença de vossorocas em vários locais. A forma de uma grande pegada, resulta da cabeceira erosiva do córrego

Paulicéia, que provocou o rebaixamento daquele terreno.

A **Figura 2** mostra a distribuição das classes geomorfológicas digitalizadas na mesma base cartográfica do mapa topográfico.

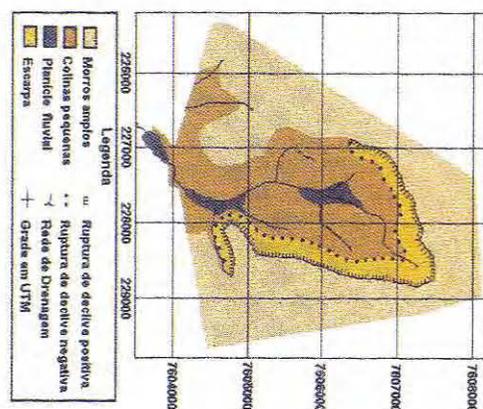


Figura 2. Feições geomorfológicas ocorrentes da ARIE Cerrado Pé-de-Gigante.

O tema fitofisionomia foi derivada da imagem IVDN, como mostra a **Tabela 2**.

Tabela 2. Fitofisionomias identificadas no campo e suas respectivas classes IVDN

Descrição segundo Coutinho (1978)	IVDN segundo Bitencourt <i>et al.</i> (1997)
Campo limpo	(0,0261 a 0,2036)
Campo úmido	(0,0261 a 0,2036)
Campo cerrado	(0,2037 a 0,2629)
Cerrado <i>sensu stricto</i>	(0,2630 a 0,4405)
Cerradão	(0,4406 a 0,5589)
Floresta Estacional Semidecidual	(0,4406 a 0,5589)

As 4 classes IVDN (obtidas espectralmente) são: Campo limpo + Campo úmido; Campo cerrado; Cerrado *sensu stricto*; e Cerradão + Floresta Estacional Semidecidual. No campo, as classes Campo limpo + Campo úmido e Cerradão + Floresta Estacional Semidecidual foram diferenciadas gerando a **Figura 3**, com 6 classes.

As Unidades de Paisagem, resultou da soma booleana (união) das imagens de fitofisionomias e de geomorfologia. Na **Tabela 3** encontram-se sintetizados os principais critérios usados para o estabelecimento das três unidades de paisagem e suas sub-unidades representadas na **Figura 4**.

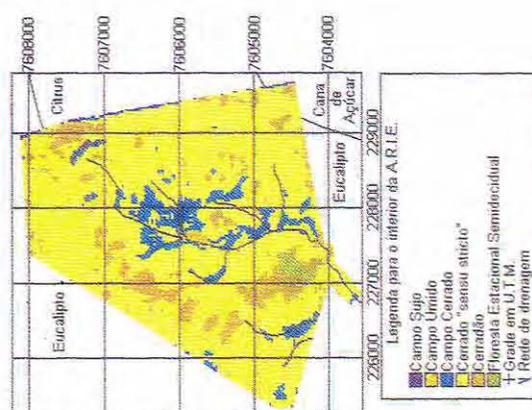


Figura 3. Unidades fitofisionômicas identificadas na imagem IVDN e confirmadas no campo, segundo Bitencourt *et al.* (1997).

Tabela 3. Unidades de paisagem e respectivos elementos identificados na ARIE Cerrado Pé-de-Gigante

UP	Geomorfologia	Elementos da paisagem	Fisionomias
I	Morros amplos	a) vegetação mais aberta	Manchas de cerrado <i>s. stricto</i> + campo cerrado
		b) vegetação mais densa	Manchas de cerradão + transição + floresta estacional semidecidual
II	Colinas pequenas, planície fluvial	a) campo úmido + planície fluvial	Campo úmido, campo cerrado, cerrado <i>s. stricto</i>
		b) colinas pequenas com cerrado mais aberto	Cerrado <i>s. stricto</i> , campo cerrado
		c) colinas pequenas com cerrado denso (morrote)	Transição cerrado <i>s. stricto</i> / cerradão
III	Escarpas	a) escarpa	Campo cerrado, campo sujo, cerrado <i>s. stricto</i> , transição para cerradão

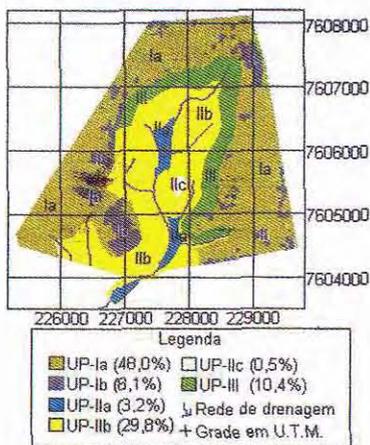


Figura 4. Unidades de paisagem na ARIE Cerrado Pé-de-Gigante e respectivas porcentagens em extensão.

A primeira UP (UP I), abrange 56,1% da área da ARIE, está subdividida em UP Ia (48,0%) e UP Ib (8,1%). Corresponde ao domínio dos morros amplos, sobre as maiores elevações do terreno, porém, em declividades muito suaves (< 10%). É coberta pelas fisionomias mais densas de cerrado (cerradão, cerrado *sensu stricto*, cerrado *sensu stricto* tendendo a cerradão) e uma mancha de floresta estacional semidecidual.

A segunda (UP II), abrange 33,5% da área total, está subdividida em UP IIa (3,2%), UP IIb (29,8%) e UP IIc (0,5%). Corresponde aos terrenos mais baixos, com colinas pequenas e a planície fluvial do córrego Paulicéia. Predominam as fisionomias mais abertas de cerrado (campo cerrado e cerrado *sensu stricto*) embora fisionomias mais fechadas também apareçam na sub-unidade IIc.

A terceira (UP III) abrange 10,4% da ARIE, correspondendo à escarpa onde predomina o cerrado *sensu stricto*, ocorrendo também pequenas áreas mais íngremes, com solo nu, ou cobertas por campo sujo e campo cerrado.

Os diferentes níveis de Fragilidade Ambiental representados na **Figura 5**, resultaram da soma booleana das imagens UP (**Figura 4**) e de três classes de declividade: de 0 a 10%, de 10 a 20% e > 20%. Deste modo, considerou-se cada unidade de paisagem e seus principais elementos, a declividade do terreno e a cobertura vegetal.

Foram estabelecidos três níveis de fragilidade (**Tabela 4**):

- Nível 1 = a menor fragilidade ambiental, abrange 77,8% da área, englobando UP Ia e UP IIb. Estas áreas se encontram em relevo de pequena declividade, cobertos por cerrados mais abertos, cuja recuperação diante de alterações antrópicas tendendo a ser mais rápida. O maior problema ambiental na unidade Ia se refere às bordas, onde ocorre deposição de lixo e há penetração de espécies invasoras.
- Nível 2 = fragilidade intermediária, abrange 11,8% da área, englobando as UP Ib, UP IIa e UP IIc. Na UP Ib, tanto os cerrados densos como a floresta estacional semidecidual são de recuperação mais demorada face a alterações antrópicas. A área da planície fluvial - UP IIa - encontra-se completamente dominada por espécies exóticas invasoras e possui solo muito arenoso, facilmente erodido pela ação da água.
- Nível 3 = maior fragilidade, abrange 10,4% da área e compreende a UP III englobando as maiores declividades, na escarpa. Em declividades superiores a 20%, a vegetação, principalmente na mancha de campo sujo, não oferece um bom recobrimento do solo, propiciando erosão. A presença de trilhas agrava ainda mais o problema.

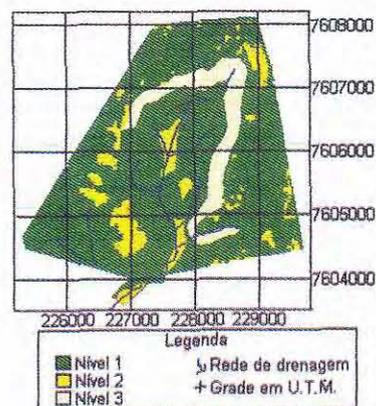


Figura 5. Níveis de fragilidade ambiental na área de estudo e respectivas porcentagens de área ocupada. O nível 3 corresponde a maior fragilidade.

Tabela 4. Níveis de fragilidade ambiental na área de estudo. (Valores numéricos crescentes de acordo com maior nível de fragilidade ambiental)

Fragilidade	UP	Declividade predominante	Alterações
1	Ia, IIb	0 a 10%	trilhas; invasoras; lixo e agroquímicos nas bordas
2	Ib, IIa, IIc	10 a 20%	trilhas, invasoras
3	III	>20%	trilhas; solo nu

PROPOSTA DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO

A área em estudo encontra-se hoje sob a categoria de ARIE, que é uma categoria temporária de proteção ambiental, e deverá em breve passar a Estação Ecológica cujos objetivos ficam assim estabelecidos:

- realização de pesquisas básicas e aplicadas de Ecologia;
- proteção do ambiente natural;
- desenvolvimento da educação conservacionista;
- exercício de atividades culturais.

Assim, o zoneamento proposto (**Figura 6**) para a futura Estação Ecológica Cerrado Pé-de-Gigante, é o seguinte:

Zona I - Zona de Preservação Integral - Deverá abranger 954 ha de área destinada à preservação integral dos ecossistemas.

Zona II - Zona de Pesquisas Intensivas - Deverá possuir uma área de até 104 ha, onde poderão ser desenvolvidas pesquisas científicas de caráter intensivo e visitação com fins educacionais.

Zona III - Zona Administrativa e de Apoio Logístico - Com área aproximada de 2 ha, esta zona se destinará à construção das edificações necessárias ao apoio à pesquisa, visitação e administração da Estação Ecológica.

Zona IV - Zona em Recuperação - Esta zona é temporária, de localização variável e se sobrepõe às anteriores, conforme haja necessidade de recuperação de áreas alteradas ou degradadas, seja em seus componentes bióticos ou físicos. Uma vez recuperada a área, ela perderão esta categoria adicional.

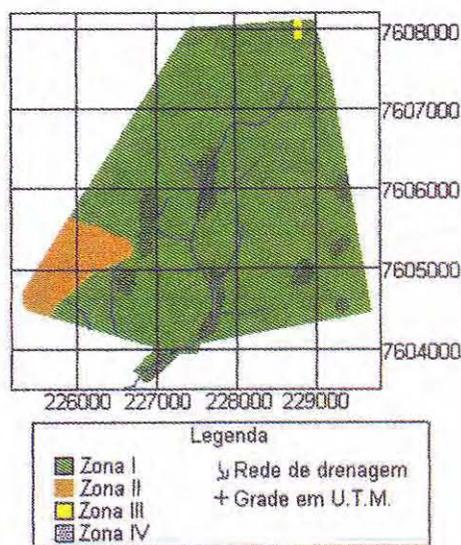


Figura 6. Zoneamento proposto para a Estação Ecológica de Cerrado Pé-de-Gigante.

CONCLUSÕES

O uso de modelagem prescritiva, em ambiente de SIG, utilizando informações de variadas fontes facilitou o trabalho de zoneamento pelo fato de estes mapas estarem em base cartográfica, tornando possível os cálculos de área, perímetro e distância dos temas de interesse.

Contudo, as informações espectrais orbitais utilizadas para gerar o mapa temático da cobertura vegetal, separou com nitidez algumas das fisionomias de cerrado mas exigiu checagem de campo para distinguir Campo limpo de Campo úmido e Cerradão de Floresta Estacional Semidecidual. No campo, a diferença entre Campo limpo e Campo úmido é a posição do lençol freático que no segundo está mais próximo da superfície que no primeiro. No caso do Cerradão e Floresta Estacional Semidecidual a diferenciação se dá basicamente em relação a florística.

As fisionomias de cerrado sofrem variações fenológicas em função das variações climáticas a que estão submetidas. Uma delas é a perda de folhas que é facilmente visíveis em imagens espectrais orbitais quando feitas análises multitemporais. Assim, no caso específico do cerrado, o mapa temático de cobertura vegetal deve levar em conta as assinaturas espectrais de pelo menos dois períodos: um seco e outro chuvoso. Desse modo, toda a variação fenológica possível será considerada, não mais para gerar mapas de cobertura vegetal, mas sim para gerar mapas com áreas de maior probabilidade de ocorrência de uma determinada fisionomia de cerrado.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Projeto 95/0350-1) e ao aluno Marcelo H. Matsumoto pela edição final das figuras.

REFERÊNCIAS

- Bitencourt-Pereira, M. D. (1986), *Correlação de fitomassa foliar de Campo Cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo*, São José dos Campos, INPE-3747-TDI-203, 90 p.
- Bitencourt, M. D., H. N. Mesquita Jr., W. Mantovani, M. A. Batalha and V. R. Pivello (1997), Identificação de fisionomias de cerrado com imagem índice de vegetação, in: Laércio L. Leite e C. H. Saito (eds.), *Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado*. Capítulo 7 Metodologia Aplicada à Ecologia, UnB, Brasília, pp. 316-320.
- Bonham-Carter, G. F. (1994), *Geographic Information Systems for Geoscientist: Modelling in GIS*, Pergamon, Ottawa.
- Burrough, P. A. (1990), *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- Coutinho, L. M. (1978), O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica*, vol. 1, no.1, pp. 17-23.
- Davis, F. W. and D. S. Simonett (1991), GIS and Remote sensing, in: Maguire, D. J., M. F. Goodchild and D. W. Rhinds (eds), *GIS: Principles and Applications*, Longman, Harlow.
- Eastman, J. R., Jin Weigen, P. A. K. Kyem and J. Toledano (1995), Raster Procedures for Multi-criteria/Multi-objective Decisions, *Photo-grammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(5):539-547.
- Forman R., T.T. and M. Godron (1986), *Landscape Ecology*, New York, John Wiley & Sons, 619 p.
- Gamon, J. A., C. B. Field, M. L. Goulden, K. L. Griffin, A. E. Hartley, G. Joel, J. Peñuelas and R. Valentini, R. (1995), Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types, *Ecological Applications*, 5(1):28-41.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1971), *Carta do Brasil (escala 1:50 000)*, Luis Antônio, Folha SF-23-V-C-IV-2.
- IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (1990), *Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (escala 1:10 000)*, Folha Córrego Água Santa (SF-23-V-C-IV-2-SO-B) e Folha Ribeirão Vassununga (SF-23-V-C-IV-2-NO-F).
- Massoli, M. (1981), Geologia do Município de Santa Rita do Passa Quatro, SP, *Revista do Instituto Geológico*, 2(2):35-45, jun./dez, São Paulo.
- Maguire, D. J. and J. Dangermond (1991), "The functionality of GIS", in: Maguire, D. J., M. F. Goodchild and D. W. Rhind (eds), *GIS: Principles and Applications*, Longman, Harlow.
- Roig, H. L., A. P. Crósta and K. Brown (1996), A Aplicação de Sistema de Informação Geográfica ao Zoneamento da Reserva Extraterritorial do Alto Juruá. *CIG - Cadernos de Informações Geo-referenciadas*, 1(1), 12 p. (disponível através da Internet- <http://orion.cpa.unicamp.br/revista.html>).
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell and D. W. Deering (1973), Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3, 1973, *Proceedings*, Washington, vol. 1, Sec. A., pp. 309-317.
- SMA (1997), *Cerrado: bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do estado de São Paulo - SEMA, S.P. - Série PROBIO/SP*.
- Santos, J. R. dos (1988), *Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT*, Tese de Doutorado.
- Turner, M. G. (1989), Landscape ecology: The effect of pattern on process, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 20:171-197.