



www.observatoriogeogoiias.com.br

Publicado originalmente em: Revista Plurais, v. 1, n. 2, jan./jul. 2005.

GEOTECNOLOGIAS E SUA APLICAÇÃO NO PLANEJAMENTO MUNICIPAL

Ivanilton José de Oliveira

Professor do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás

E-mail: oliveira@iesa.ufg.br

1. Introdução

O planejamento governamental, na escala de um município, envolve as atividades de gestão do espaço geográfico, tanto no meio urbano quanto no rural. Dessa forma, a utilização das chamadas “geotecnologias”, que incorporam os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e os produtos de sensoriamento remoto (imagens de satélite, fotografias aéreas), pode ser um elemento decisivo na eficácia da aplicação das políticas públicas municipais.

São inúmeras as possibilidades de uso das geotecnologias no auxílio à administração municipal. Dentre elas, pode-se destacar o *controle fiscal* das propriedades rurais, a partir da avaliação e mensuração da produção agropecuária; a atualização e manutenção do *cadastro urbano*, referente ao gerenciamento da política de crescimento das cidades (entre outros aspectos); a definição de áreas prioritárias para delimitação de unidades de conservação ou para investimentos em recuperação de ambientes degradados; enfim, aplicações que envolvam o manuseio de *informações espaciais*.

No entanto, é preciso atentar para as especificidades da tecnologia utilizada, considerando seu potencial e também suas restrições. Algumas dessas aplicações serão demonstradas e discutidas a seguir, a partir de uma análise realizada sobre uma área envolvendo uma micro-bacia no município de Jataí (GO).

No ensaio foram compilados os mapas planialtimétrico, geomorfológico, pedológico e de uso da terra existentes (Oliveira, 2002), para demonstração do processo de refinamento cartográfico. A partir dessas bases, foram testadas algumas análises ambientais, como a geração de mapas de síntese (como o de *capacidade de uso das terras*) e a aplicação da legislação ambiental.

2. Uso de geotecnologias na produção ou refinamento cartográfico



Para o início dos trabalhos foi escolhida como “área teste” uma bacia hidrográfica de pequeno porte, ao sul da cidade de Jataí (GO), cujo canal principal, o *Córrego do Lajeado*, é afluente da margem esquerda do rio Claro (Figura 1). A escolha dessa bacia hidrográfica foi arbitrária, considerando-se apenas a dimensão reduzida, porém suficiente para haver uma variação na paisagem, expressa em seus diferentes componentes (uso da terra, tipos de solos, relevo, substrato geológico).

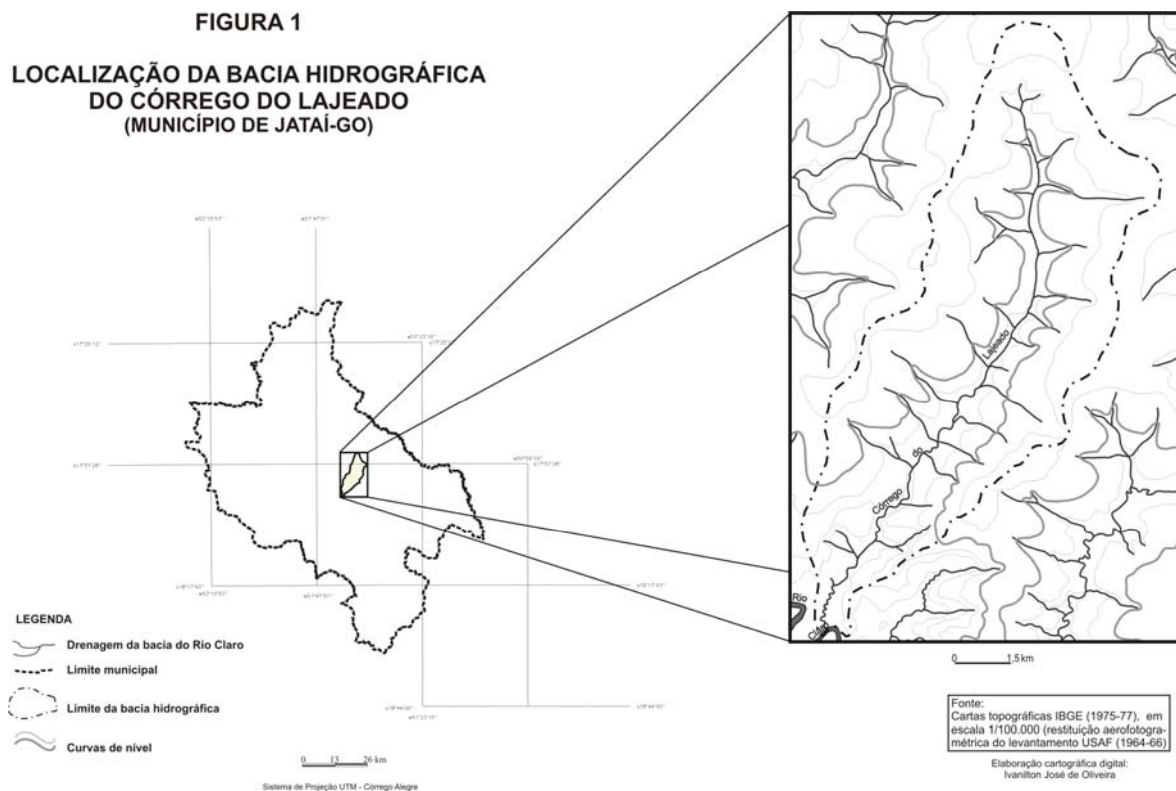


Figura 1 – Mapa de localização do Córrego do Lajeado, no município de Jataí-GO

As análises aqui apresentadas basearam-se no uso de um SIG e de imagens orbitais, que serviram como fonte para a retificação ou refinamento dos temas *rede hidrográfica, uso da terra, formas do relevo e solos*, já digitalizados anteriormente para toda a área do município de Jataí (Oliveira, 2002), cujas linhas/polígonos foram importados apenas para a área do retângulo envolvendo a bacia do Córrego do Lajeado.

O SIG utilizado foi o programa *Spring*, desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Já os produtos de sensoriamento utilizados foram as imagens do satélite americano Landsat 5, sensor TM, nas bandas 3, 4 e 5, bastante difundidas em trabalhos relacionados ao mapeamento de uso e ocupação das terras.

O *Spring* é um SIG bastante completo, com módulos para digitalização, com entrada



de dados via mesa digitalizadora, *mouse* ou importação de arquivos digitais; edição nos formatos *raster* (imagem ou matriz) ou vetorial (pontos, linhas, polígonos); tratamento de imagens digitais, com georreferenciamento, manipulação de contraste, classificação etc.; modelos numéricos do terreno – MNT¹, para representações de modelos digitais de elevação, visão tridimensional e geração de mapas derivados de amostras pontuais ou lineares, como *hipsometria*, *declividade* e *exposição de vertentes*. Permite, ainda, a realização de cálculos de área, volume, distâncias, perímetros, extensões, além de possuir um módulo para análise espacial, com a linguagem LEGAL (para álgebra de mapas), geoestatística e suporte à decisão. A representação gráfica (geração de mapas temáticos) é realizada em outro programa – o *Scarta* –, com a possibilidade de inserção de grades de coordenadas geográficas ou planas, escala, textos e figuras.

As imagens Landsat utilizadas no ensaio pertencem ao acervo do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), da Universidade Federal de Goiás (UFG). São imagens de agosto de 1997 e foram georreferenciadas¹ com base nas cartas topográficas em escala 1/100.000.

O Landsat 5 é um satélite norte-americano, oriundo da linha de pesquisas espaciais da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), direcionadas para o levantamento e monitoramento de recursos terrestres. O satélite possui dois sensores, o MSS (*Multispectral Scanning System*) e o TM (*Thematic Mapper*). Este último possui 7 canais (ou bandas), que geram imagens em diferentes faixas do espectro eletromagnético (ver Quadro 1).

QUADRO 1 - CANAIS DO SENSOR TM E SUAS APLICAÇÕES

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (µm)	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
1	0,45 – 0,52 (azul)	Estudos de sedimentos na água e mapeamento de águas costeiras
2	0,52 – 0,60 (verde)	Mapeamento de estradas, áreas urbanas e da vegetação
3	0,63 – 0,69 (vermelho)	Mapeamento de estradas e áreas urbanas. Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 – 0,90 (IV próximo)*	Levantamento da biomassa. Delineação de corpos d'água
5	1,55 – 1,75 (IV médio)	Mapeamento dos rios e corpos d'água. Umidade da vegetação
6	10,4 – 12,5 (IV distante)	Stress térmico em vegetação. Propriedade termal do solo
7	2,08 – 2,35 (IV médio)	Estudos de rochas e minerais

Fonte: Schmidlin, D. Sensoriamento remoto: captura da informação espacial. in **Fator GIS**, n.5, p.19, 1994.

* IV = Infra-vermelho

¹ Georreferenciar uma imagem significa estabelecer uma relação entre as coordenadas da imagem (posicionamento dos pixels) e coordenadas geográficas (em um determinado sistema de projeção), com o uso de transformação polinomial (equações de polinômio de 1º ou 2º graus).



Os produtos gerados por sensores remotos possuem certas características que precisam ser mais bem conhecidas, a fim de se determinar quais são suas possibilidades de aplicação. Dentre essas características destacam-se as resoluções temporal, espacial, espectral e radiométrica.

A **resolução temporal** refere-se ao tempo necessário para o sensor gerar novas cenas de uma determinada área. No caso do Landsat 5, que perfaz um órbita quase polar, cobrindo uma faixa de 185 km de largura a cada passagem, o sensor imageia uma mesma área a cada 16 dias, e faixas contíguas a cada 8 dias.

A **resolução espacial** representa a capacidade do sensor em discriminar objetos próximos no terreno, ou seja, ela indica o tamanho da menor área que o sensor consegue discriminar isoladamente. Essa área compõe um *pixel* na imagem (de *picture element*), cuja dimensão também determina a escala máxima para representação. O sensor TM do Landsat 5 possui um pixel de 30m x 30m (900 m²).

A **resolução espectral** refere-se à quantidade de faixas (bandas) e à largura das faixas espectrais utilizadas pelo sistema sensor. O Landsat 5 TM possui 7 canais, que registram dados nas faixas do visível e do infra-vermelho.

A **resolução radiométrica**, por sua vez, indica a sensibilidade do sensor em distinguir os níveis de intensidade da radiação que retorna aos detetores². No caso do Landsat 5, o sensor TM é capaz de discriminar até 256 níveis de energia.

É preciso considerar, ainda, outros parâmetros que interferem na obtenção e geração das imagens, como o nível de aquisição (distância do sensor em relação ao terreno), tipo de detetor, processo utilizado na formação da imagem, variáveis astronômicas (posição do Sol em relação ao satélite e ao terreno) e tipo de energia utilizada (que diferencia os sensores passivos dos ativos³). Maiores esclarecimentos sobre esses aspectos podem ser conseguidos em consultas à bibliografia especializada (Rosa, 1990; Novo, 1993; Teixeira e Christofolletti, 1997).

As bandas (3, 4 e 5) utilizadas neste trabalho são as mais comumente indicadas para a extração de informações relativas ao *uso da terra* (Ferreira Jr. et al., 1995; Sokolonski, 1999). Algumas das principais aplicações para cada uma das bandas espectrais do Landsat 5 TM foram apresentadas no Quadro 1.

² Detetores são os instrumentos responsáveis pela captura e mensuração dos níveis de energia que chegam ao sensor. São geralmente construídos com materiais semi-condutores, e registram oscilações térmicas ou quânticas.

³ Sensor passivo é aquele que utiliza a energia refletida (como o Landsat) ou emitida pela Terra. Sensor ativo é aquele que tem sua própria fonte de energia (como o radar).



Geralmente as bandas são utilizadas numa *composição colorida*, associando-se cada banda a uma das cores fundamentais – vermelho, verde e azul –, normalmente indicadas pelas siglas em inglês: *red*, *green* e *blue* (RGB). A composição colorida é importante porque permite trabalhar com as respostas espectrais de três bandas ao mesmo tempo, além do fato de o ser humano possuir maior habilidade para discriminar cores do que níveis de cinza (como ocorre para cada banda isoladamente).

Considerando-se que os alvos (construções, florestas, solos etc.) na superfície terrestre interagem de maneira diferenciada com os diversos comprimentos de onda da energia eletromagnética, absorvendo, transmitindo ou refletindo mais ou menos energia, cada banda do sensor poderá apresentar resultados diferentes nos níveis de radiância⁴ registrados em seus pixels. O resultado no arranjo de cores dependerá da predominância de reflexão ou absorção em cada banda e da cor fundamental a qual ela esteja associada.

A variação climática ao longo do ano também determina mudanças nos padrões de reflectância dos alvos de uma mesma localidade, em função das mudanças em certos parâmetros, como o nível de umidade atmosférica, cobertura de nuvens, quantidade de partículas em suspensão, umidade do solo, estado fenológico (nível de desenvolvimento da vegetação, natural ou cultivada) etc.

2.1. Alguns resultados do refinamento cartográfico

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada com base na drenagem, nas curvas de nível (altimetria) e na imagem Landsat. Com o uso do SIG e, considerando a escala original dos dados (1/100.000), foram calculados a área da bacia (68,96 km²) e o seu perímetro (45,5 km), além de algumas medidas de seus extremos longitudinal (17,74 km) e transversal (6,21 km).

A comparação entre a **rede de drenagem** importada e aquela existente nas imagens Landsat não apresentou diferenças significativas no tocante ao número e à forma dos cursos d'água. É preciso considerar, entretanto, que o próprio posicionamento geográfico da imagem já havia sido construído com base nas cartas topográficas do IBGE, em escala 1/100.000 – o que implica dizer que essa escala é a “amarra” do referencial geográfico. Ou seja, a visualização das imagens em escalas maiores que 1/100.000 pode, possivelmente, demonstrar diferenças no posicionamento entre os temas digitalizados e seus correspondentes nas imagens.

Mesmo com essa ressalva, pode-se perceber que as imagens permitem corrigir (até



certo ponto) o traçado de alguns cursos d'água, acrescentar cursos que não existiam nas cartas topográficas (talvez por causa da generalização cartográfica) e, se fosse o caso, acrescentar as modificações realizadas pela ação antrópica, como lagos artificiais, represas e canais. Algumas medidas realizadas com base no uso do SIG são apresentadas na Tabela 1.

**TABELA 1 - MEDIDAS TOMADAS NA REDE DE DRENAGEM
BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO LAJEADO**

Discriminação	Valores encontrados
Comprimento do curso principal	17.249,4 m
Distância, em linha reta, da nascente principal à foz	16.156,8 m
Comprimento do maior tributário	3.040,4 m
Número de canais de primeira ordem	31
Número de canais de segunda ordem	3
Número de canais de terceira ordem	1

No tocante ao mapa de **formas de relevo**, foram utilizadas a banda 5, gerada no infravermelho médio (ver Figura 2), e uma composição colorida do tipo G(5)/R(4)/B(3), com contraste linear, que mostraram-se as mais eficientes no auxílio à observação e delimitação dos compartimentos morfológicos e feições do relevo, como os ressaltos topográficos e as formas residuais.

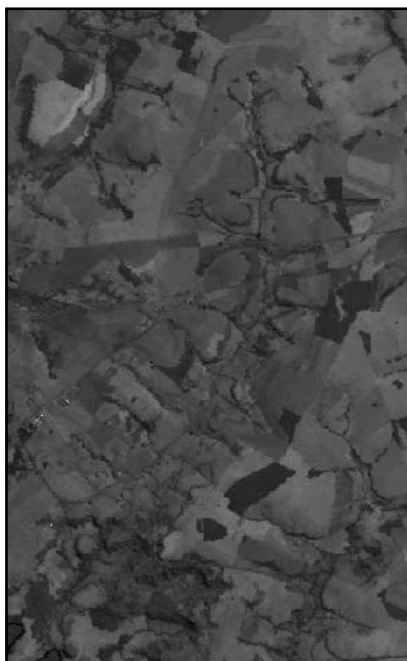


Figura 2 – Banda 5 do Landsat 5 TM

A Figura 3 traz o resultado da comparação entre o mapa original (Formas do Relevo), oriundo dos trabalhos do Radambrasil (interpretação de mosaicos semi-controlados de

⁴ Radiância é a quantidade de energia que é emitida ou refletida por um alvo.



imagens de radar, em escala 1/250.000) e o derivado de seu refinamento, em maior escala, com o apoio das imagens⁵.

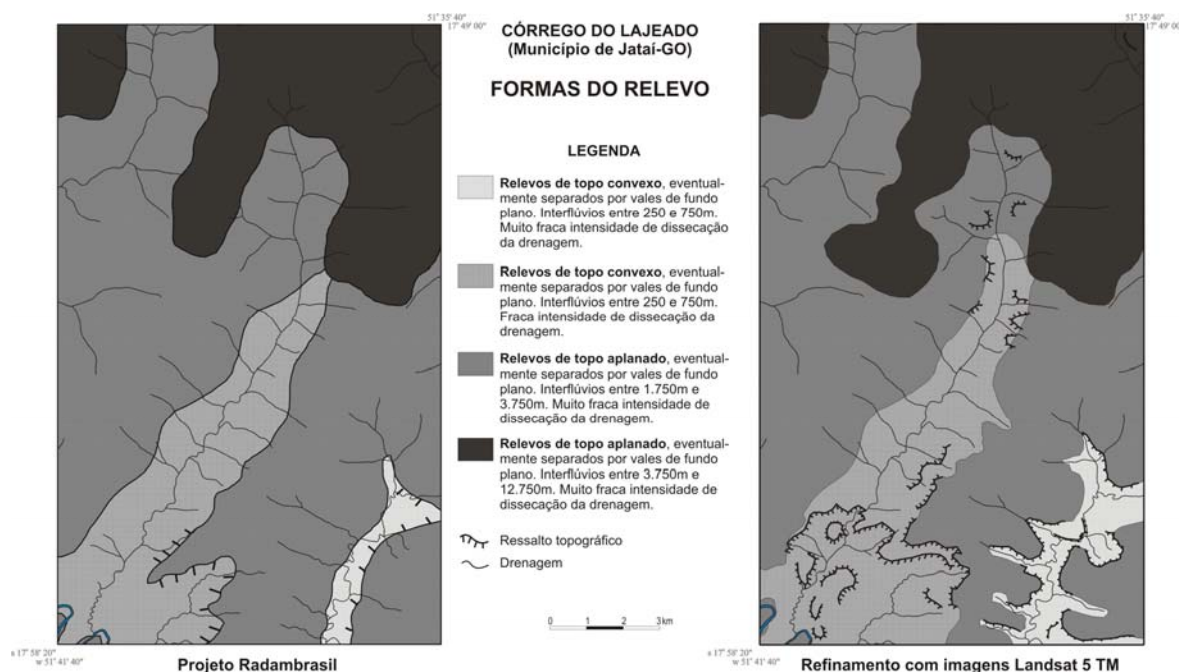


FIGURA 3 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS GEOMORFOLÓGICOS

O mapa de formas do relevo, oriundo do refinamento com as imagens, permite, inclusive, a definição de prováveis locais de ocorrência de quedas d'água ou cachoeiras, já que se vislumbram os ressaltos topográficos que cortam o curso da drenagem – uma aplicação que interessa à definição de políticas públicas para o turismo.

A Tabela 2 mostra o comparativo das áreas das classes calculadas nos dois mapas.

TABELA 2 – ÁREA DAS FORMAS DE RELEVO NA BACIA DO CÓRREGO DO LAJEADO E SEU ENTORNO

CLASSE		ÁREA (km ²)	
		Radambrasil	Com refinamento
Formas convexas	Interflúvios entre 250 e 750m. Muito fraca intensidade de dissecação da drenagem	4,12	9,05
	Interflúvios entre 250 e 750m. Fraca intensidade de dissecação da drenagem	29,02	34,03
Formas tabulares	Interflúvios entre 1.750 e 3.750m. Muito fraca intensidade de dissecação da drenagem	108,36	95,31
	Interflúvios entre 3.750 e 12.750m. Muito fraca intensidade de dissecação da drenagem	42,23	45,34

⁵ Essa interpretação contou com o apoio dos professores Maria Amélia Leite Soares e Valter Cassetti, doutores em geomorfologia, membros do quadro docente do IESA/UFG.

TOTAL	183,73	183,73
-------	--------	--------

Observa-se, no quadro comparativo (mapas e tabela), uma ampliação da área ocupada pelas formas convexas, já que foi possível delinear com maior precisão as áreas de contato entre as morfologias mais dissecadas e as tabulares. Com o auxílio da visão da rede de canais de drenagem e do aumento do contraste entre os níveis topográficos, propiciados pelas diferentes imagens, alguns dos limites entre as formas do relevo tornaram-se mais nítidos, muito embora outros tenham sido mantidos, respeitando o traçado original, quando não era possível distinguir qualquer outro marco para uma nova delimitação.

A base geomorfológica orientou os trabalhos quanto ao mapa de **solos**, cujo resultado⁶ é demonstrado na Figura 4. É preciso esclarecer, no entanto, que apenas os limites das classes de solos puderam ser melhor delineados, já que a delimitação de novas classes ou a subdivisão das já existentes dependeria, necessariamente, de investigações de campo e, preferencialmente, com o uso de imagens em grande escala (1/10.000 ou maiores). O Quadro 2 mostra a identificação das unidades de solos mapeadas pelo Projeto Radambrasil.

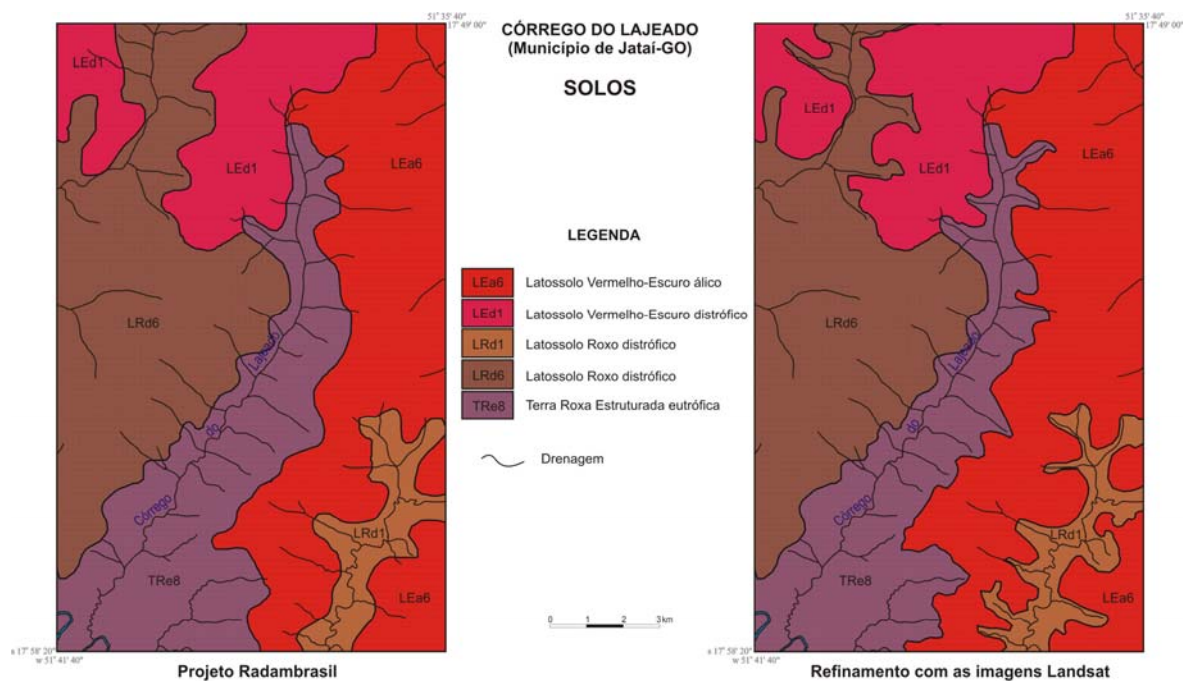


FIGURA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS DE SOLOS

QUADRO 2 - SOLOS – IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO

⁶ A análise das possíveis alterações contou com o auxílio da professora Luciana Maria Lopes, doutora em solos, membro do quadro docente do IESA/UFG.



SIGLA	DESCRIÇÃO	SOLOS ASSOCIADOS
TRe8	Terra Roxa Estruturada eutrófica A moderado e chernozêmico, textura argilosa, relevo ondulado e forte ondulado	Solos Litólicos eutróficos A chernozêmico, textura argilosa, relevo forte ondulado; Latossolo Roxo eutrófico, textura muito argilosa, relevo suave ondulado. (Inclusão de Latossolo Roxo distrófico, textura argilosa)
LRd1	Latossolo Roxo distrófico, A moderado e proeminente, textura muito argilosa e argilosa, relevo suave ondulado e plano.	Inclusão de Latossolo Roxo eutrófico, A chernozêmico, textura muito argilosa e argilosa e Terra Roxa Estruturada eutrófica latossólica, A chernozêmico, textura muito argilosa e argilosa
LRd6	Latossolo Roxo distrófico e eutrófico, respectivamente A moderado e chernozêmico, ambos textura argilosa e muito argilosa, relevo plano e suave ondulado	Terra Roxa Estruturada eutrófica latossólica, A chernozêmico, textura argilosa e muito argilosa, relevo suave ondulado e ondulado; Terra Roxa Estruturada eutrófica, A chernozêmico, textura argilosa e muito argilosa. (Inclusão de Solos Litólicos eutróficos pedregosos, textura argilosa)
LEd1	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico e álico, ambos textura argilosa e muito argilosa, relevo plano e suave ondulado	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa e muito argilosa. (Inclusão de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico concrecionário, textura argilosa)
LEa6	Latossolo Vermelho-Escuro álico e distrófico, ambos textura média, relevo plano e suave ondulado	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, Tb, textura média e arenosa/média, relevo suave ondulado; Areias Quartzosas álicas, relevo plano e suave ondulado

Fonte: Projeto Radambrasil. Levantamento de Recursos Naturais, 31 – Folha SE.22 Goiânia. Rio de Janeiro, 1983 (Anexo: legenda de identificação das unidades do mapa exploratório de solos).

Quanto ao mapa de **uso da terra**, baseado na interpretação visual das imagens, há nítidas mudanças em função do aumento na escala de análise. A identificação das classes na imagem esteve ancorada no reconhecimento dos padrões de reflectância para cada alvo (cerrado, pastagem, mata etc., reconhecidos nos trabalhos de campo⁷, feito para o município de Jataí como um todo, conforme explicitado em Oliveira, 2002) e sua generalização para todos os agrupamentos de pixels com padrões semelhantes.

A fim de facilitar a delimitação de algumas classes, como a vegetação densa (cerradão/floresta estacional), outras composições coloridas foram utilizadas, além da RGB/543. No tocante a essa classe, em específico, a composição GRB/543 (a mesma utilizada para ressaltar as formas do relevo) mostrou-se bastante satisfatória, pois os agrupamentos de pixels relativos à vegetação densa ganharam uma coloração vermelha, em contraste marcante com os demais alvos.

A Figura 5 demonstra o comparativo entre o mapa gerado com a primeira

⁷ O roteiro de campo para coleta de coordenadas com GPS e o posterior reconhecimento do padrão de reflectância na imagem (Oliveira, 2002) **não** abrangeu necessariamente a “área teste” aqui trabalhada.



interpretação do uso da terra, com controle da escala em 1/100.000, e o mapa gerado com a segunda interpretação, com controle da escala em 1/50.000. A ampliação da escala de análise permitiu não só delimitar com maior precisão os contornos das classes, como também criou a necessidade da inclusão de novas classes, antes não contempladas no mapeamento.

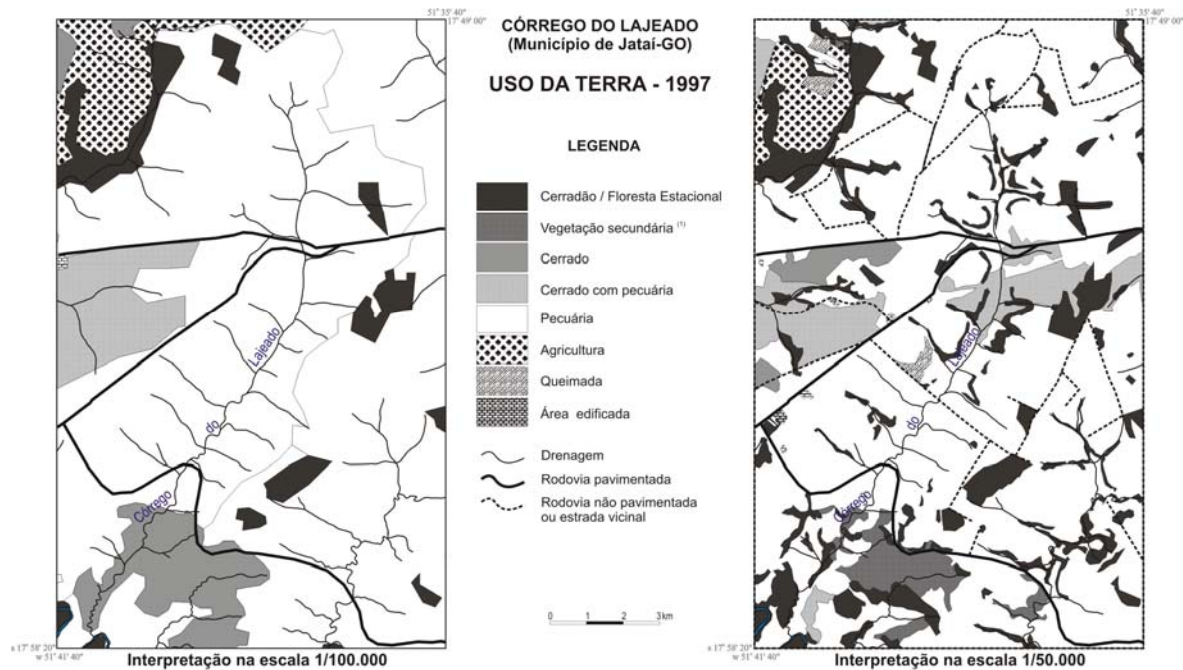


FIGURA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA

A Tabela 3 traz uma comparação entre as medidas de área das classes nos dois mapas, obtidas com o uso do Spring.

TABELA 3 – CÁLCULO DE ÁREA
USO DA TERRA NA BACIA DO CÓRREGO DO LAJEADO E SEU ENTORNO - 1997

CLASSE	ÁREA (km ²)	
	Escala 1/100.000	Escala 1/50.000
Cerrado	11,78	3,91
Cerradão / Floresta Estacional	9,57	25,32
Cerrado com pecuária	9,52	11,17
Agricultura	8,93	4,98
Área urbana / Área edificada	0,12	0,31
Pecuária	143,81	132,47
Vegetação secundária (?)	-	4,60
Queimadas	-	0,97
TOTAL	183,73	183,73

Uma das maiores discrepâncias ressaltada no comparativo entre os dois mapeamentos é referente às áreas das classes “Cerrado” e “Cerradão/Floresta Estacional”. A diminuição das áreas de cerrado e a ampliação das áreas de mata (Cerradão/Floresta Estacional) é resultado



direto da ampliação da escala, que permitiu delimitar com maior precisão os trechos de vegetação mais densa, mesmo em dimensões diminutas, como os “capões de mata” e trechos de mata-de-galeria, antes englobados nas classes “Cerrado”, “Cerrado com pecuária” ou “Pecuária”, o que explica a redução de área, em alguns casos.

A alteração implicou, ainda, numa revisão dos parâmetros de interpretação utilizados no primeiro mapeamento, já que novos padrões de ocorrência tornaram-se visíveis, ampliando o leque de possibilidades na identificação das classes, o que também dificultou tal atividade. É o que pode ser notado pela inclusão de duas novas classes, “Vegetação secundária” e “Queimadas”, não utilizadas no primeiro mapa.

A vegetação secundária foi assim definida por não se enquadrar nos padrões relativos a nenhuma das classes já existentes e por apresentar um comportamento espectral intermediário entre “Cerrado” e “Cerradão/Floresta Estacional”. Correspondia, no primeiro mapeamento (1/100.000), à classe “Cerrado com pecuária”. É bem provável que o manejo aplicado a essa área esteja comportando (ou comportou) algum tipo de pecuária extensiva ou extrativismo vegetal.

As áreas de queimadas, por sua vez, devem corresponder à pastagens, naturais ou cultivadas, dadas as suas localizações, em meios à classe “Pecuária”, onde o fogo ainda é utilizado como forma de revigorar as gramíneas, já que – erroneamente – esse tipo de manejo é associado à idéia de aumento do nível de fertilidade dos solos.

As áreas urbanas existentes no primeiro mapa foram melhor delineadas com a ampliação da escala, podendo-se vislumbrar não uma extensão da mancha urbana e sim pontos isolados com grandes edificações, provavelmente associadas à silos e galpões de armazenamento de grãos e sedes de agroindústrias, que modificam sensivelmente os espaços onde se instalam, a ponto de permitir uma resposta espectral diferenciada, mesmo com as restrições (de resolução espacial) do sensor utilizado.

Embora tenha sido utilizada apenas a interpretação visual na delimitação das classes de uso da terra, foram realizadas também algumas experiências com a classificação de imagens.

De acordo com o módulo de *Ajuda* do programa Spring, classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Utilizam-se os métodos de classificação para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais. Assim,

Uma informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, onde cada "pixel" tem as coordenadas espaciais x , y e a coordenada espectral L , que representa a radiância de um alvo no intervalo



de comprimento de onda de uma banda espectral. Cada "pixel" de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro "pixel", em todas as outras bandas, ou seja para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados a cada "pixel" sendo um para cada banda espectral.

[...] O processo de classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza em cada banda espectral em um pequeno número de classes em uma única imagem.

[...]O resultado final de um processo de classificação é uma imagem digital que constitui um mapa de "pixels" classificados, representados por símbolos gráficos ou cores.

A classificação, realizada de forma supervisionada quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, ou não-supervisionada, em que os "pixels" dentro de uma área de treinamento são submetidos a um algoritmo que determina o agrupamento dos dados, pode permitir um ganho significativo no tempo investido na tarefa de converter as imagens em mapas temáticos.

Contudo, essa atividade depende de um maior domínio do usuário do programa quanto à análise dos valores digitais dos pixels nas imagens trabalhadas, de uma maior segurança quanto ao comportamento espectral dos alvos, além de exigir maior capacidade de processamento do equipamento utilizado. Geralmente tem sido uma etapa de pré-análise para a interpretação definitiva, que deve ser ancorada também nos demais parâmetros de reconhecimento das classes, como textura, localização e forma geométrica.

3. Análise e aplicações ambientais

Além das possibilidades demonstradas, que conjugam o uso dos produtos de sensores remotos e dos sistemas de informação geográfica, como forma de ampliar o grau de detalhamento das informações espaciais disponíveis para a gestão municipal, muitas outras aplicações podem ser implementadas quando há uma base cartográfica, com temáticas variadas, já armazenada no meio digital.

Um SIG deve permitir, por exemplo, o cruzamento entre planos de informação (temas) para a geração de mapas derivados ou de síntese, como no caso das *unidades de paisagem*, ou dos mapas de potencial ou restrições ambientais, entre outros (ver Xavier da Silva e Carvalho Filho, 1993).

Um bom exemplo disso é o **Mapa de capacidade de uso das terras**, fruto da identificação das possibilidades e limitações que as terras apresentam quanto à sua utilização agrosilvipastorial. De acordo com Lepsch (1991), a expressão *capacidade de uso* encerra os efeitos de condições do meio físico, incluindo o clima, na aptidão da terra para ser utilizada



sem sofrer danos consideráveis por desgaste e empobrecimento, por meio de cultivos anuais, perenes, pastagem, reflorestamento ou vida silvestre.

Lepsch (1991) apresenta-nos uma proposta de classificação das terras no sistema de capacidade de uso, cuja metodologia permite categorizar uma hierarquia entre grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso, nos quais se consideram tanto as características, como textura e cor do solo, quanto as propriedades, como a produtividade agrícola e o risco de erosão das terras.

Apenas como exemplificação do uso do SIG na geração de um mapa dessa natureza, foram cruzados os temas *declividade* e *solos* (dentre aqueles indicados pelo autor), referentes à bacia hidrográfica do Córrego do Lajeado e seu entorno. O resultado é apresentado na Figura 6.

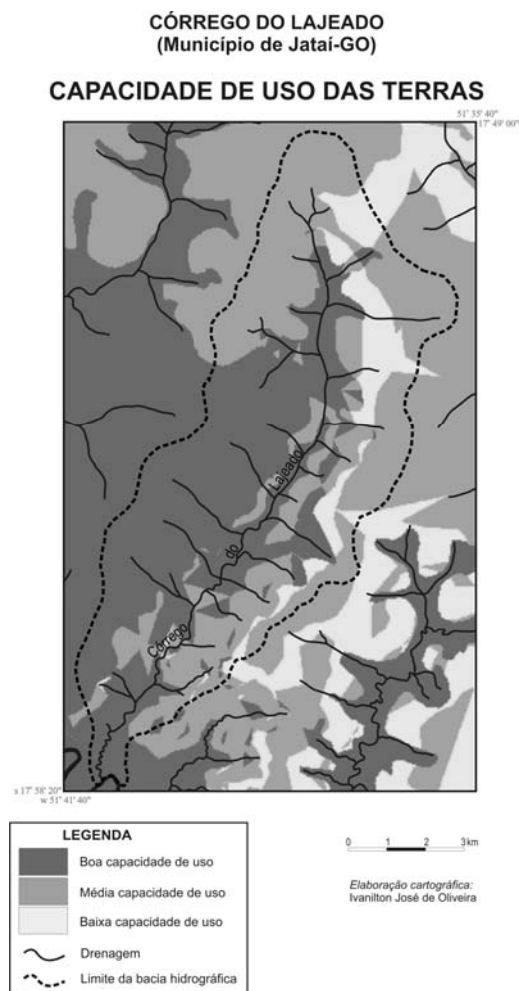


FIGURA 6 - MAPA DE CAPACIDADE DE USO

O mapa de declividade foi elaborado com base nos mesmos critérios daquele



construído para toda a área do município de Jataí (Oliveira, 2002), ou seja, com a geração de uma grade triangular irregular, no Spring, a partir das curvas de nível e pontos cotados extraídos da carta topográfica do IBGE, em escala 1/100.000, com equidistância de 50 metros. Já o mapa de solos utilizado foi o derivado do trabalho de refinamento dos limites das classes (conforme apresentado anteriormente), tendo como base as imagens Landsat. Dessa forma, a escala original dos dados é a das imagens de radar utilizadas pelo Projeto Radambrasil: 1/250.000.

Na definição do mapa de capacidade de uso foram consideradas apenas 3 (três) classes: Boa, Média e Baixa. Os parâmetros que delinearão cada classe foram as relações entre cada um dos níveis de declividade (que definem o relevo como plano, suavemente ondulado, ondulado ou escarpado) e as diferentes unidades de solos (que consideram as variações físicas, químicas e mineralógicas).

A classe **boa capacidade** indica que a área possui relevo plano a suave ondulado (baixas declividades) e solos com boa fertilidade e/ou pouca ou nenhuma restrição física ou química, para o uso agrícola, para a pecuária ou outro tipo de uso. A classe **média capacidade** pressupõe que as terras possuam algumas restrições quanto ao relevo (de suave ondulado a ondulado) e também quanto aos solos (baixa fertilidade natural ou restrições químicas, principalmente). Já a classe **baixa capacidade** refere-se às terras inadequadas para um uso mais intensivo, seja pela agricultura ou pela pecuária, devendo-se reservá-las para a manutenção da flora nativa. As mais sérias restrições são relativas ao relevo (altas declividades). Uma síntese desses parâmetros é apresentada no Tabela 4.

TABELA 4
PARÂMETROS DEFINIDORES DAS CLASSES DE CAPACIDADE DE USO

CLASSE	DECLIVIDADE	TIPO DE SOLO ⁽¹⁾
Boa capacidade	0 a 3%	TRe8, LRd1, LRd6
	3 a 8%	TRe8
Média capacidade	0 a 3%	LEd1, LEa6
	3 a 8%	LRd1, LRd6, LEd1
	8 a 20%	TRe8, LRd1, LRd6
Baixa capacidade	3 a 8%	LEa6
	8 a 20%	LEd1, LEa6
	20 a 45%	LRd1, LRd6, LEd1, LEa6
	> 45%	Todas as unidades

(1) Ver definição das siglas no Quadro 2.

A análise do Mapa de Capacidade de Uso possibilita observar que, embora na bacia hidrográfica do Córrego do Lajeado predominem solos do tipo Terra Roxa Estruturada



eutrófica (naturalmente férteis), nem toda a área é indicada para o uso agrícola intensivo, pois o relevo pode ser um fator que inviabilizaria, por exemplo, a mecanização das etapas de cultivo em alguns locais. As áreas de alta capacidade de uso predominam no setor ocidental da bacia, onde a correlação foi maior entre baixas declividades e solos férteis e/ou com pouca (ou nenhuma) restrição física ou química.

Já as áreas de média capacidade, que predominam no setores oriental e setentrional da bacia, refletem tanto as restrições do relevo (média a alta declividade), quanto as dos solos (especialmente as deficiências químicas e/ou mineralógicas, como no caso dos Latossolos Vermelhos). As terras poderiam, no entanto, ser utilizadas para a expansão das lavouras ou pastagens, desde que tomados os devidos cuidados quanto às medidas de controle da erosão ou de correção dos solos (calagem, aplicação de fertilizantes etc.).

As áreas de baixa capacidade de uso, que aparecem como uma extensa faixa no setor oriental da bacia hidrográfica, são relacionadas à declividade mais acentuada (maior que 20%) em correlação com solos de baixa fertilidade e maiores restrições químicas (como o alto teor de alumínio trocável) ou físicas (textura arenosa). As terras deveriam, portanto, não ser utilizadas no manejo de práticas agrícolas ou de criação intensiva de animais e sim, preferencialmente, permanecer como reservas da flora local, servindo como refúgios para a fauna e, talvez, como zonas de exploração do turismo de lazer (turismo rural, turismo ecológico).

Um outro uso interessante das geotecnologias, nessa mesma ótica, diz respeito à aplicação da legislação ambiental, como as diretrizes traçadas pelo Código Florestal sobre áreas de preservação permanente.

A Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal, e a Resolução n. 004/85, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), definem faixas de preservação que devem ser observadas ao longo dos rios, às margens das lagoas, lagos ou reservatórios d'água, das nascentes, topos de morros, encostas, entre outras áreas.

Com base nos mapas de *Drenagem* e de *Uso da Terra*, elaborados para área da bacia hidrográfica do Córrego do Lajeado, foi possível demonstrar como essa legislação (sua aplicação) pode ser verificada numa paisagem. Para tanto, utilizou-se um recurso de *análise espacial*, disponível no Spring, que gera um “mapa de distâncias” (*buffer*).

Um mapa de distância é um tipo de análise de proximidade – medida de distância entre objetos, comumente tomada em unidade de comprimento –, que apresenta zonas com



larguras especificadas (distâncias) em torno de um ou mais elementos do mapa. A partir da identificação do elemento de referência, neste caso, a drenagem, pode-se gerar uma grade numérica com valores de distâncias em torno do elemento selecionado. O fatiamento dessa grade dá origem a um mapa temático (faixas de distâncias) que pode ser cruzado com qualquer outro tema.

Apenas como exemplo, foram escolhidos os cursos d'água no setor mais setentrional da bacia hidrográfica do Córrego do Lajeado. Em função da escala original (1/100.000), essas drenagens aparecem apenas como *linhas* no modelo, sem definição de duas margens, o que nos possibilita dizer que possuem, na realidade, largura inferior a 50 metros (já que uma espessura de 0,5mm poderia ser traçada na carta topográfica).

Considerando-se, hipoteticamente, que esses cursos d'água possuem largura inferior a 10 metros, a faixa marginal além do leito maior sazonal, medida horizontalmente, definida pela Lei como área de preservação permanente (ou reserva ecológica) seria de 30 metros. Com base nessa informação, foi gerado o mapa de distâncias para as drenagens da alta bacia (Figura 7) e o resultado foi cruzado com o mapa de uso da terra (Figura 8).

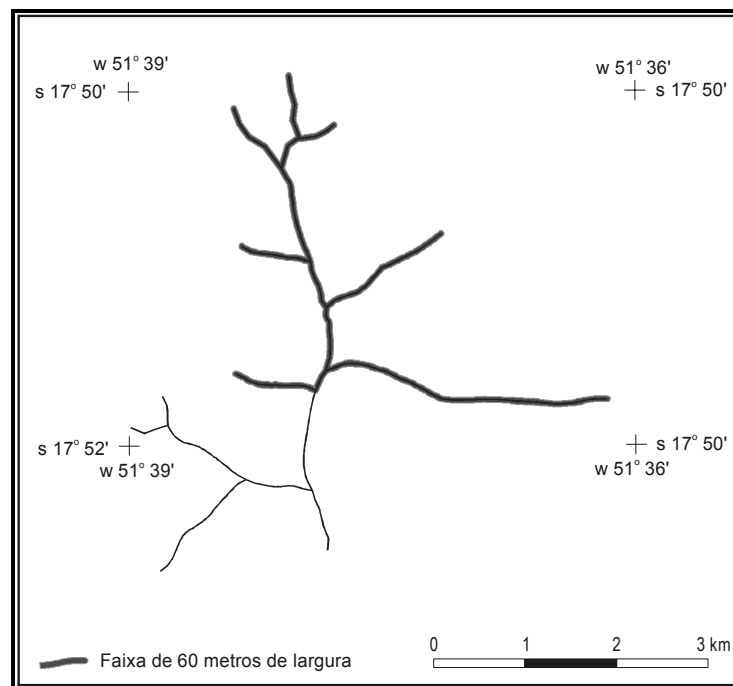


Figura 7 – Mapa de distância gerado sobre a drenagem

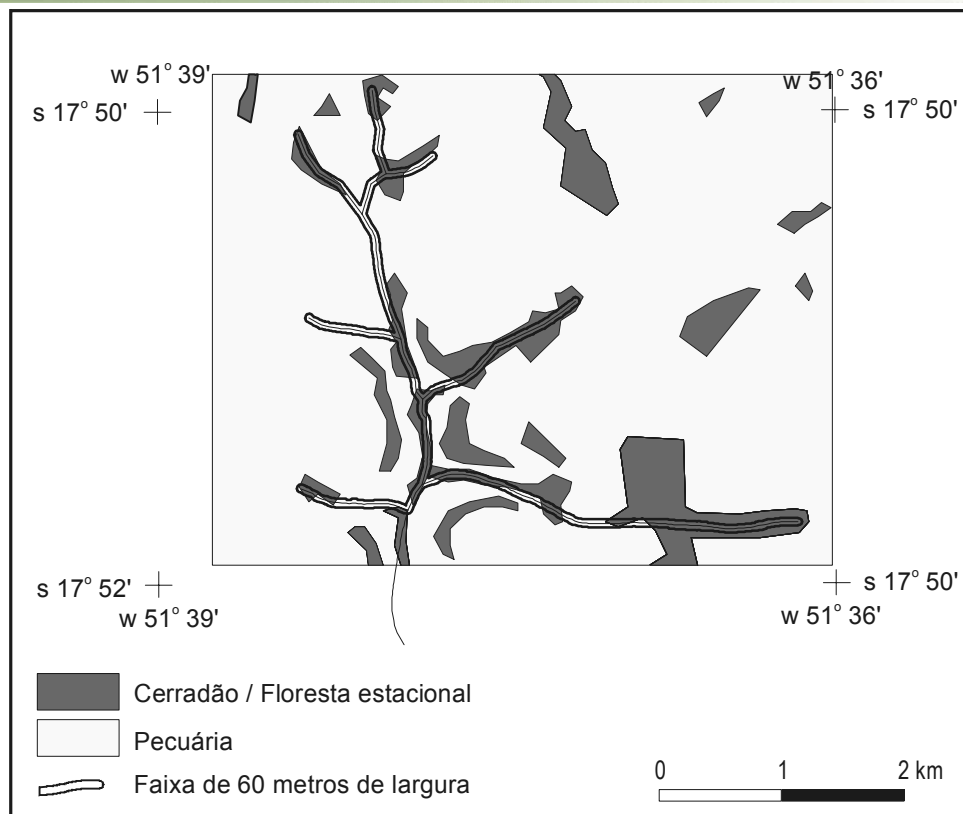


Figura 8 – Cruzamento entre o mapa de distâncias e o uso da terra

As medidas tomadas com base nesse produto permitiram constatar que, de uma área total de 0,68 km² (das faixas ao longo das drenagens), 0,30 km² estavam ocupadas por pastagens (classe *Pecuária*) e apenas 0,38 km² correspondiam às matas (classe *Cerradão/Floresta Estacional*). Ou seja, considerando-se a hipótese de que toda a área limdeira desses cursos d'água estava colonizada pela mata-de-galeria, deduz-se que 44% da área de preservação permanente já havia sido desmatada até o ano de 1997.

Ensaio dessa mesma natureza poderiam ser estendidos para toda a bacia de drenagem, para as nascentes, encostas ou reservas legais, ajustando-se as medidas de análise de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação.

Entretanto, resta esclarecer que a análise aqui apresentada não traduz necessariamente a realidade encontrada naquelas paisagens. Trata-se de um modelo simplificado e generalizado das condições reais que se delineiam na área da bacia hidrográfica do Córrego do Lajeado.

4. Considerações finais: contribuições e limitações da tecnologia para a gestão do espaço

É preciso ter claro que as representações cartográficas utilizadas nesse ensaio



apresentam certas restrições quanto a uma análise tão acurada, haja vista as limitações impostas pelas escalas dos produtos disponíveis, todas menores ou iguais a 1/100.000, ou seja, a cada centímetro no mapa correspondem 1.000 metros no terreno. Isso perfaz um grau de generalização muito amplo, que pode traduzir-se numa diferenciação exorbitante entre os setores da paisagem e seus correspondentes nas representações cartográficas (e no modelo digital, no SIG).

Mesmo nos casos em que foi possível ampliar a escala dos produtos originais, com o auxílio das imagens Landsat, o resultado obtido ainda assim é passível de restrições quanto a sua aplicação em trabalhos direcionados a áreas relativamente diminutas, como a da bacia hidrográfica do Córrego do Lajeado ou, principalmente, como as de propriedades rurais, à exceção, talvez, dos grandes latifúndios.

As imagens do sensor TM, do satélite Landsat 5, podem auxiliar os trabalhos de reconhecimento em escalas regionais (menores que 1/50.000, por exemplo). Contudo, a baixa resolução espacial desse sensor (30m x 30m), inviabiliza sua aplicação para trabalhos em escalas de detalhe, como no mapeamento de áreas urbanas ou de propriedades rurais, por exemplo, que exigem escalas maiores que 1/50.000.

No caso das propriedades rurais, a definição de zonas homogêneas para a prática de determinados tipos de manejo das terras está atrelada à necessidade de informações de grande escala. No caso dos solos, preferencialmente acima de 1/10.000, afim de que se possam mapear todas as áreas e determinar suas restrições e potencialidades, expressas na capacidade de uso, considerando tanto as características e propriedades dos diferentes tipos de solos, quanto o sistema produtivo adotado pelos proprietários (mecanização intensiva, cultivo não comercial, pastagens de criação extensiva, entre outros).

Um passo nesse sentido tem sido a emergência da chamada “agricultura de precisão”, que preconiza o emprego das geotecnologias nas atividades rurais, como o uso de aparelhos GPS e computadores acoplados às máquinas utilizadas nas etapas de trabalho, coletando e armazenando dados sobre os solos e a produção. A análise desses dados em laboratório e sua associação a um posicionamento geográfico permite a geração de mapas temáticos, como os de fertilidade do solo, de produtividade, entre outros, que devem subsidiar a definição de políticas de manejo, como a escolha do tipo e da forma de cultivo mais adequados, correções químicas etc.

Já as cidades necessitam de imagens que permitam mapear elementos que interessam ao cadastro urbano, como as quadras, lotes e áreas edificadas. A base cartográfica a ser



construída no meio digital, num SIG, deve abarcar representações cartográficas em escalas maiores que 1/10.000, para permitir a introdução de elementos como as redes de distribuição de água tratada e coleta de esgoto, redes de energia e comunicação, além de possibilitar a conexão à bancos de dados não-espaciais, com informações sobre o valor venal dos imóveis, alíquotas aplicáveis do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) ou do Imposto Territorial Urbano (ITU), número de moradores por residência etc.

No caso de um município – e especialmente entre a maioria dos municípios brasileiros –, o uso da tecnologia dos SIGs e do sensoriamento remoto pode ser a etapa que falta para a solução de grande parte dos problemas relativos à gestão do espaço. Desde que sejam tomados os devidos cuidados quanto à escolha dos produtos mais adequados, de que haja pessoal qualificado para o manuseio da tecnologia e, principalmente, de que as metas e objetivos a serem alcançados com adoção dessa política de trabalho sejam amplamente discutidos e definidos com precisão.

Os produtos elaborados na presente pesquisa restringem a análise espacial, em sua maior parte, a uma escala regional. Contudo, um mapa como o de *Unidades de Paisagem*, que sintetiza os componentes do meio físico, quando correlacionado a um mapa de *Uso e ocupação das terras*, permite indicar alguns setores de potencial interesse à intervenção e gestão do espaço – e cuja iniciativa deveria partir não apenas do poder público, mas também da sociedade civil organizada e dos proprietários particulares.

As áreas de preservação permanente, indicadas pela legislação, são setores da paisagem que se apresentam como preocupantes. Os cenários vislumbrados em boa parte do território brasileiro indicam que mesmo as margens de rios de médio ou grande porte não obedecem à exigência legal de preservação da mata ciliar, ainda mais se considerados os parâmetros mínimos estipulados pelo Código Florestal, em função da largura do curso d'água. O mesmo pode-se dizer da maioria absoluta dos córregos e ribeirões, nas áreas urbanas ou rurais.

No caso do município de Jataí, a situação mais crítica refere-se à área dos chapadões, em função do manejo das terras orientado para a prática da agricultura comercial. Não só as margens dos cursos d'água estão desmatadas, como também as nascentes, que deveriam apresentar uma faixa mínima de 50 metros de vegetação em seu entorno. O mesmo acontece com as veredas e as bordas das chapadas, como nas serras do Caiapó e Azul (ou do Rio Verde). Dada a importância dessas áreas na manutenção do ciclo hidrológico da região, inclusive para a recarga dos aquíferos subterrâneos, é preciso que a Administração Municipal consiga mapeá-las com maior precisão e, dessa forma, possa articular com os proprietários



rurais as iniciativas necessárias para sua revegetação.

O sistema de cultivo empregado pode, em muitos casos, facilitar o carreamento de material para as drenagens, comprometendo a qualidade da água (com contaminação por biocidas ou fertilizantes) ou mesmo sua perenidade, o que colocaria em risco até mesmo a sustentabilidade do sistema agrícola, fortemente apoiado na irrigação artificial dos cultivos.

Embora não tenha sido possível cruzar os dados de uso das terras com a estrutura fundiária, é possível afirmar que as propriedades rurais instaladas nos chapadões estejam desrespeitando também a exigência de manter suas **reservas legais**, ou seja, de destinar 20% (vinte por cento) da área da propriedade para preservação da cobertura vegetal nativa. Conforme exposto por Oliveira (2002), da área total dos chapadões, calculada no SIG em 5.949,84 km², apenas 647,48 km² apresentavam vegetação nativa no ano de 1997, ou seja, 10,88%, sendo mais da metade dessa área associada à vegetação de cerrado utilizado pela pecuária extensiva.

O mapeamento dos limites de cada propriedade, por meio da conjugação de imagens e visitas a campo com aparelhos GPS, deveria ser uma das ações prioritárias para um município, pois isso permitiria não só checar os dados sobre a aplicação da legislação ambiental (que pode variar dependendo do tamanho da propriedade), como também o padrão de ocupação agrário das propriedades rurais (pastagens, cultivos permanentes ou temporários, reservas de valor etc.) e, dessa forma, a definição das políticas de manejo a serem discutidas com os proprietários, em projetos como os de gestão de bacias hidrográficas.

São iniciativas dessa natureza, envolvendo a comunidade local e buscando integrar os esforços das diversas instituições ligadas à questão ambiental, que parecem atingir os melhores resultados na busca por um perfil de sustentabilidade do desenvolvimento. Embora exemplos desse tipo sejam ainda pontuais, demonstram que a ênfase economicista, que vem norteando as relações entre sociedade e natureza desde há muitos séculos, pode estar finalmente sendo superada por uma visão mais abrangente e, espera-se, mais integradora.

Referências bibliográficas

FERREIRA JR., Laerte G. et al. Monitoramento do uso e ocupação do solo no estado de Goiás através de imagens de satélite e sistemas de informações geográficas. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 6, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1995. p. 225-228.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas topográficas** (diversas). Rio de Janeiro: IBGE, 1975 a 1977. Escala 1:100.000.



LEPSCH, Igo Fernando (Coord.). **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4. aproxim., 2. imp. rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.

NOVO, Evelylin M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1993.

OLIVEIRA, Ivanilton J. de. **Solo pobre, terra rica: paisagens do cerrado e agropecuária modernizada em Jataí, Goiás**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Geografia Humana). São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2002.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE.22 Goiânia**. Rio de Janeiro: 1984. (Levantamento de recursos naturais, 31)

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: edição do autor, 1990.

SCHMIDLIN, Dirley. Sensoriamento remoto: captura da informação espacial. **Revista Fator GIS**, Curitiba-PR, n. 5, p. 19, abr./maio/jun. 1994.

SOKOLONSKI, Helge H. (Coord.). **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 1999. 58 p. (Manuais técnicos em geociências; 7)

TEIXEIRA, Amandio L. de A. e CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de informação geográfica: dicionário ilustrado**. São Paulo: Hucitec, 1997. 244 p.

XAVIER DA SILVA, Jorge; CARVALHO FILHO, L. M. Sistemas de informação geográfica: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 2., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1993.