

Interpretação da vegetação de cerrado através de imagens Landsat(*)

Gilberto J. Garcia (**)

Gertrudes C. R. Piedade (**)

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que 20% do território brasileiro seja coberto pela vegetação de cerrado, a maior parte sob clima tropical típico, quente e úmido, com estação chuvosa de verão e com invernos secos e tépidos.

Cada vez mais o Brasil se empenha em aumentar a área agricultável, não só para a produção de alimentos, como também com vistas à produção de biomassa para fins energéticos. Por estas razões, as regiões de cerrado têm recebido atenção especial, pois hoje já se sabe que o cerrado não é condicionado à falta de água, mas sim à pobreza do solo.

O Brasil Central, com aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros quadrados, corresponde a área mais representativa. O Estado de São Paulo possui área de cerrado, significativamente as menos desenvolvidas, com uma agricultura incipiente, onde predominam pastagens e reflorestamento. A elevação constante no preço das terras mais férteis tem forçado a ocupação destas áreas, até então relegadas a um plano secundário.

O governo dispõe de projetos interdisciplinares de pesquisa com vistas à utilização racional dos solos de cerrado, principalmente aqueles localizados no Brasil Central. Um problema que se apresenta de início, no entanto, refere-se às áreas cobertas por este tipo de vegetação, já que no momento nenhum mapa existente é preciso. Devido ao tamanho da região, é recomendável a utilização de técnicas de mapeamento que possibilitem respostas rápidas,

(*) Projeto desenvolvido com o auxílio financeiro da FAPESP — Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

(**) Dept.º de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas — Campus de Botucatu, UNESP.

a baixo custo e com uma precisão aceitável. Assim, o sensoramento remoto constitui-se na ferramenta adequada no estudo da vegetação do cerrado.

O trabalho em questão objetiva desenvolver metodologia adequada na interpretação e mapeamento da vegetação de cerrado em duas áreas, uma no Estado de Goiás e uma no Estado de São Paulo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

a) *Interpretação da vegetação*

Conforme relata SPURR (1960), a fotointerpretação da vegetação começou quando se tornou necessário o levantamento de áreas de difícil acesso. A interpretação da vegetação exige basicamente o conhecimento de seus diferentes tipos de imagens e, de acordo com Gates (1970), a aparência das plantas depende de sua interação com a radiação, sendo influenciadas pela geometria das folhas, morfologia, fisiologia, composição química, solo e clima. O mesmo autor relata ainda que, na região do visível, ocorre uma baixa refletividade não diferenciada, a qual cresce com o aumento do comprimento de onda, apresentando na região do infravermelho, uma distinção sensível. Spurr (1960) relata ainda que as folhas coriáceas refletem menos que as suculentas, e que dentre os fatores a afetarem a reflexão têm-se: variação na pigmentação, nas células do mesófilo, no teor de água e na epiderme das folhas.

O satélite Landsat e sua órbita foram especialmente projetados para o levantamento de recursos naturais, permitindo a eliminação de uma série de variáveis não controláveis que geram erros de interpretação. Conforme comentam Hilwig et alii (1974), o Imageador Multiespectral (MSS — Multispectral Scanning System) é o mais importante sensor a bordo, já que mede a energia eletromagnética simultaneamente em quatro bandas do espectro, abrangendo o visível e o infravermelho próximo. No canal 4 (0,5-0,6 μm) a água é relativamente transparente, realçando feições submersas; esta banda tem seu uso limitado pelo espalhamento atmosférico. O canal 5 (0,6-0,7 μm) ajusta-se ao mapeamento do uso da terra, onde padrões regionais de influência humana precisam ser observados em confronto com a vegetação, ocorrendo ainda bom contraste entre sistemas de cultivo, padrões de vegetação e solos. Os canais 6 (0,7-0,8 μm) e 7 (0,8-1,1 μm) são redundantes, sendo que o canal 7 é o preferido. No canal 7, a vegetação aparece em tons claros de cinza e corpos de água em tons escuros.

Gimbarzevsky (1974) comenta que em fotointerpretação convencional a identificação de feições desconhecidas é confirmada por uma visita ao campo; do mesmo modo, os intérpretes de imagens Landsat utilizam-se de imagens aerofotográficas para identificar um padrão desconhecido.

De acordo com Haralick e Shanmugan (1974), feições espectrais, texturais e do contexto são os três elementos padrões usados na interpretação visual de imagens. As feições espectrais descrevem as variações tonais entre as diferentes bandas de um conjunto multibanda; as feições texturais contém informações sobre a distribuição espacial dos valores tonais dentro de uma banda espectral; as feições do contexto contém informações das áreas que envolvem a unidade que está sendo analisada.

Quanto a utilidade dos diferentes canais, tanto Cuervo (1973) como Palestino e Valerio F.^o (1973) concordam que o canal 5 foi mais útil na diferenciação de vegetação, e que o canal 7 registrou com grande precisão umidades e corpos de água.

Ashley e James (1975) observaram que no canal 5 a reflexão da vegetação decresce à medida que aumenta o tamanho das folhas, e no canal 7 a reflexão aumenta à medida que a folhagem se desenvolve. De acordo com Wiegand et alii (1973), este decréscimo observado no canal 5 é principalmente causado pelo obscurecimento do solo pela vegetação, diminuindo a reflexão.

Elbersen (1973) utilizou-se das imagens dos canais 5 e 7 do Landsat para estudar as savanas da Colômbia, produzindo mapas suficientemente detalhados na escala 1:500.000, classificados entre exploratórios e esquemáticos.

Conforme mencionam Nousseir et alii (1975), o solo reflete mais que a vegetação no canal 4. No canal 5 ainda predomina a refletância do solo, embora se observe que a vegetação se situe entre 10 e 40%, sendo que esta variação é função da espécie da planta e suas condições vegetativas. Assim, o canal 5 é o que melhor diferencia os tipos de vegetação, inclusive porque cada unidade da vegetação apresenta diferentes taxas de cobertura do solo. Nos canais 6 e 7 a reflexão da vegetação é máxima, predominando sobre a do solo. Nestes canais, quanto mais densa a vegetação, mais clara aparecerá, devido ao aumento de reflexão. Estes autores, utilizando-se de áreas teste e levantamentos terrestres, elaboraram dentro da geometria imposta pelo sistema Landsat, mapas ao milionésimo de vegetação natural, de boa precisão, concluindo que o sistema multiespectral do sistema Landsat é de grande valia na identificação de associações vegetais.

Fitzpatrick-Lins (1978) comparou mapas de uso da terra elaborados a partir de fotografias aéreas, com mapas de uso elaborados a partir de imagens Landsat, ambos na escala 1:250.000.

Quando a comparação se referiu apenas à vegetação, os resultados foram praticamente os mesmos, não ocorrendo o mesmo quando se incluiu áreas urbanas e construções.

b) Densitometria e razão espectral

Um dos principais problemas para o fotointérprete é como usar os dados obtidos por outros pesquisadores, visto que a fotointerpretação convencional encerra uma dose elevada de subjetividade.

Uma fase intermediária entre o processo descritivo convencional e o processo de reconhecimento por computadores digitais é o uso de densitômetros, na obtenção de dados a partir de cópias e transparências. Pela simplicidade e custo, os microdensitômetros representam a alternativa viável para aqueles que pretendem a execução de trabalhos de maior precisão e a um baixo custo.

Variações na densidade ótica das linhas de imageamento de um microdensitômetro são causados por vários fatores. Doverspike et alii (1965) comentam que as variações no diâmetro da abertura do cone não melhoram a discriminação do uso da terra, para a escala de 1:1.888, embora tenham afetado a densidade. Os mesmos autores relatam ainda que a forma da abertura (redonda ou retangular) não tem grande influência, afirmando, no entanto, que as maiores diferenças na densidade da imagem ocorrem na região azul do espectro eletromagnético. Rib e Miles (1969) testaram o efeito do diâmetro da abertura e escala da imagem sobre diferenças na densidade, concluindo que à medida que diminuiu o diâmetro da abertura ou aumentou a escala da foto mais detalhes foram registrados. Embora o *Ert's Data User's Handbook* não recomende medidas densitométricas com aberturas menores que 3.0 mm, Ashley e James (1975) testaram aberturas de 0,4 a 3,00 mm, não encontrando diferenças significativas.

De acordo com Gausman et alii (1974), densitômetros têm sido utilizados com sucesso no estabelecimento de padrões de uso da terra e para registrar deficiência mineral e doenças em plantas. Assim, Manzer e Cooper (1967) relatam que foi possível avaliar a severidade da requeima em uma cultura de batatas, utilizando-se de transparências infravermelhas coloridas. Murtha (1969) demonstra a possibilidade de detectar danos fisiológicos em coníferas através de medidas densitométricas em transparências infravermelhas coloridas Jackson et alii (1971) obtiveram elevada correlação quando relacionaram leituras densitométricas de transparências obtidas de uma cultura de batatas com diferentes graus de infestação por requeima, e níveis de infestação obtidos por patologistas, para as mesmas parcelas no campo.

Garcia e Marchetti (1977) utilizaram-se de leituras densitométricas em transparências infravermelhas coloridas na previsão de safra para a cultura do milho, com resultados positivos.

Pestrang (1969) utilizou linhas de imageamento transversais em imagens de áreas pantanosas para separar comunidades vegetais e para registrar profundidade de canais em locais inacessíveis, enquanto que Meyer (1969) delimitou água e solos. Ciesla et alii (1972) utilizaram-se da camada "cyan" (azul escuro) de fotografias falso colorido para testar a significância de parcelas pulverizadas com pesticidas contra a lagarta da madeira. Westin (1973) usou densitômetro para esclarecer dúvidas com respeito a pequenas diferenças entre solos, impossíveis de serem detectadas nas fotografias, a olho nú.

Conforme comenta Cuervo (1973), a utilização de leituras densitométricas é muito útil no estudo da vegetação natural, principalmente para floresta. Para Garcia e Marchetti (1977) o estudo da vegetação através de densitometria ofereceu resultados mais consistentes do que aqueles obtidos por fotointerpretação convencional.

Um problema que aparece quando se utiliza da densitometria, é a variação na tonalidade das imagens, devido a variações no processamento fotográfico. Uma das maneiras de se contornar este problema, dentro de uma precisão aceitável, seria a utilização da técnica da razão espectral.

Os dados provenientes do MSS são transmitidos para a Terra e recebidos pelas estações de recepção e gravação. Após gravados, são processados pelas estações de processamento, sendo então convertidos em imagens fotográficas e fitas digitais compatíveis com computador. Enquanto que as imagens fotográficas têm sido interpretadas de modo convencional, as fitas digitais permitem uma interpretação apoiada em computador de alta sofisticação. Diversos autores têm se utilizado de fitas digitais na interpretação de sinais do Landsat, e uma das possibilidades neste caso é a técnica da Razão Espectral ("Ratioing process"), a qual consiste em dividir, para um mesmo alvo, uma banda espectral pela outra, como já fizeram anteriormente Olson (1972), Rowan et alii (1974), Thomas (1975), e Olson (1977).

De acordo com Wiegand (1973), os sinais do MSS gravados em fita são uma mistura de sinais do solo e vegetação. Desse modo, a razão entre canal 5 e canal 7 (5/7), ou então canal 7 menos canal 5 (7-5) seriam indicadores práticos da cobertura vegetal e densidade vegetativa. Para Blair e Baungardner (1977), melhores resultados foram obtidos quando se empregou a relação canal 5 menos canal 7 dividido por canal 5 mais canal 7 (5-7/5+7).

As técnicas envolvidas no processamento das informações contidas nas fitas exigem equipamentos sofisticados e de alto custo, o que limita a sua difusão. A solução, neste caso, seria uma variação na técnica, a qual consistiria em se dividir para um mesmo alvo as densidades óticas a partir de imagens nos canais 5 e 7, como já procederam anteriormente Garcia e Mintzer (1980), com resultados satisfatórios.

3. MATERIAL E MÉTODOS

a) Região de Estudo

Foram selecionadas duas regiões de estudo, uma no Estado de Goiás com uma área aproximada de 15.000 km², e outra no Estado de São Paulo, com uma área de aproximadamente 10.000 km². Embora predominante no primeiro Estado, a vegetação de cerrado aparece como manchas esparsas no segundo caso, e vem sendo sucessivamente ocupadas por força do próprio desenvolvimento da região. A Figura 1 mostra a localização das duas áreas de estudo.

No Estado de Goiás, segundo Köppen, o clima da região está incluso nas categorias Cw e Aw, como comenta Braun (1962). O tipo Cw representa o chamado tropical de altitude, apresentando duas estações distintas, onde a precipitação do mês mais chuvoso chega a ser 10 vezes maior que a do mês mais seco. Esta categoria aparece nas partes mais altas, provavelmente acima de 1.000 m. O tipo Aw é caracterizado por uma estação seca acentuada no inverno e com 80% do total anual de precipitação distribuído entre os meses de outubro a abril. A precipitação anual média é de 1.580 mm e a temperatura apresenta uma amplitude de 21,3 a 27,2°C.

Segundo Köppen, ainda, o clima da área no Estado de São Paulo, está subdividido em Cwa e Cfa, sendo o primeiro subtropical úmido com estação seca no inverno e o segundo mesotérmico úmido, sem estiagem. A temperatura média do mês mais frio para o Cwa é inferior a 18°C, enquanto que a temperatura média do mês mais quente para o Cfa é superior a 22°C (Setzer, 1946).

A região no Estado de Goiás é caracterizada pela presença de duas ou três superfícies de erosão, como descrevem Feuer (1956) e Cline e Buol (1973). Perto de Brasília, a primeira superfície é bem plana (0 a 3% de declive) com elevações entre 1.000 e 1.100 metros, sem sinais erosivos. A segunda superfície tem de 2 a 10 km² com um declive gradual de 2 a 6%. A terceira superfície de erosão consiste de vales côncavos de formação recente. Quanto

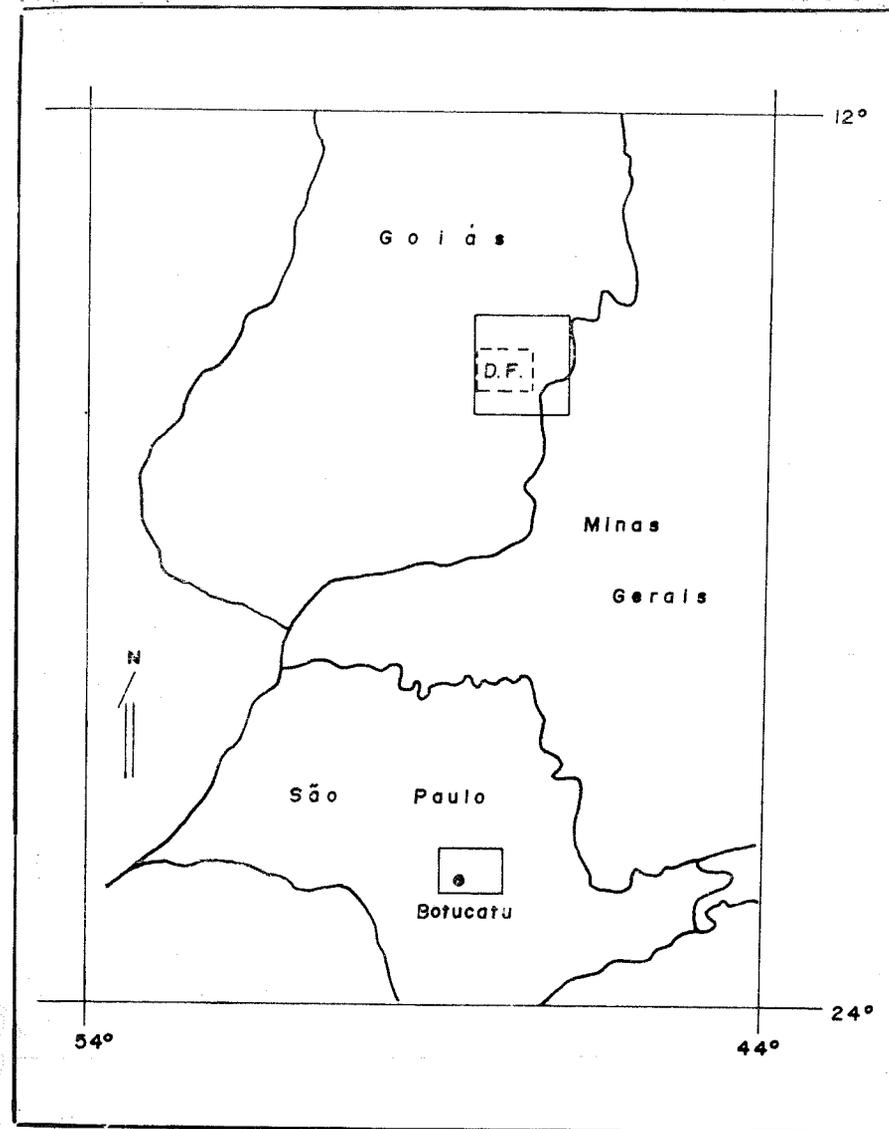


Figura 1. Localização das áreas estudadas.

à geologia da área, o Planalto Central Brasileiro consiste, segundo Almeida (1970), de um escudo de rochas cristalinas intrusivas do Pré Cambriano, que estão parcialmente expostas e parcialmente cobertas por sedimentos do Paleozóico e Mesozóico.

No que se refere aos solos, a região no Estado de Goiás apresenta o Latossolo Vermelho Escuro Distrófico (LE), Latossolo Vermelho Amarelo (LV), Areias Quartzosas (AQ); Litossolo (LI) e Solos Concrecionários (SC), de acordo com a FAO (1971) e Freitas e Silveira (1977). Quanto ao Estado de São Paulo, a Comissão de Solos, relaciona como principais o Latossolo Vermelho Amarelo — fase arenosa (LEA), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Roxo (LR); Regossolo “intergrade” para Podzólico Vermelho Amarelo e “intergrade” para Latossolo Vermelho Amarelo (RPV-RLV) e Podzólico Vermelho Amarelo — variação Laras PVlh).

b) Características das imagens utilizadas

O sistema Landsat, originalmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite), foi desenvolvido com o objetivo de obter uma ferramenta prática no inventário e manejo dos recursos naturais da Terra. As imagens são oferecidas em diferentes apresentações, e o Quadro 1, resume as características principais das imagens utilizadas. Foram utilizadas ainda, fotografias pancromáticas na escala 1:25.000 para a área teste localizada no Estado de São Paulo, constituindo-se verdades terrestres.

c) Mapas e aparelhos de medição

Para a identificação de acidentes geográficos, bem como a localização dos principais, foram úteis a Carta do Brasil ao Milio-

QUADRO 1. Características das imagens Landsat utilizadas

| Tip de apresentação | Escala | | Canais | | colorida |
|----------------------|-------------|-----------|--------|-----|------------|
| | 1:1.000.000 | 1:500.000 | 5 | 7 | Composição |
| Transparência P/B | Sim | Não | Sim | Sim | Não |
| Transparência Color. | Sim | Não | Não | Não | Sim |
| Cópia P/B | Sim | Sim | Sim | Sim | Não |
| Cópia Colorida | Sim | Sim | Não | Não | Sim |

nésimo do IBGE, mapas topográficos na escala 1:50.000 do IBGE e 1:100.000 do Serviço Geográfico do Exército.

Para a visão estereoscópica, somente possível para as fotografias, foi utilizado um estereoscópio de espelhos marca Wild, mo-

delo ST-4. Foi útil ainda no estudo das transparências uma mesa transparente de precisão marca Eikonixcan, com microscópio binocular (Bausch & Lomb Stereo Zoom 70).

As leituras densitométricas foram efetuadas por intermédio de um densitômetro marca WESTON, modelo 877, de transmissão, com abertura de 0,8 mm. A densidade ótica medida é do tipo difusa, sendo o aparelho classificado como de resposta calibrada ou de leitura direta.

d) Caracterização da vegetação de cerrado

Com base em características ecológicas e estruturais, os pesquisadores distinguem quatro tipos principais de cerrados, como se verifica em trabalhos de Eiten (1972), Ipea (1973) e Cpac (1976), como segue:

— Campo Limpo — Vegetação herbácea com subarbustos tortuosos muito baixos e bastante esparsos, até mesmo ausentes. Por vezes aparecem árvores esparsas e em serras e chapadas do Brasil Central nota-se a existência de matas em galeria ao longo dos cursos de água;

— Campo Sujo — Vegetação de arbustos baixos e espaçados, em muitos casos provenientes do cerrado fortemente refreado pelo fogo e machado. O campo sujo não possui extrato arbóreo, sobressaindo-se a cobertura graminosa;

— Cerrado — Apesar de sofrer mudanças contínuas, tanto fisiológicas como florísticas, o cerrado apresenta características específicas. Quase todas as espécies ocorrentes apresentam troncos e galhos retorcidos com copas e ramos sem simetria. A densidade é variável; em certos trechos, as copas se tocam e os ramos se entrelaçam e em outros trechos as árvores distam de 3 a 7 metros entre si. Quando a distância é maior já seria um Campo Sujo.

— Cerradão — Transição entre cerrado e floresta, sendo sua vegetação variável entre 8 e 20 metros de altura. É uma floresta xeromorfa regional, fechada, com árvores e arbustos, de casca grossa e folhas duras, aparecendo comumente em superfícies de pouca erosão, com solos profundos. As copas das árvores se tocam mas não impedem a penetração irregular do sol, em torno de 25%, em comparação com 5% na floresta e até 90% no cerrado.

e) Análise interpretativa da vegetação

Visando minimizar possíveis distorções, todos os mapas foram elaborados em folhas de poliéster estável. As diferentes feições observadas nas imagens foram delimitadas segundo critérios de tonalidade, textura e contexto, como sugerido por Haralick e

Shanmugan (1974). O fato de se contar com composições coloridas propiciou o critério adicional da cor. Os mapas finais obtidos constituíram-se no resultado da combinação das informações obtidas pelos diferentes tipos de imagens.

Considerando-se a subjetividade de que se revestem os critérios fotointerpretativos, utilizou-se da densitometria como um recurso para aumentar a eficiência fotointerpretativa através de dados de maior repetitividade. A resposta de um material fotográfico é medida em termos de densidade, e no caso das transparências preto e branco a densidade medida é função da quantidade de sais de prata presentes, que por sua vez depende das características de reflexão dos objetos fotografados. Antes de se iniciar as leituras faz-se necessário a calibração do aparelho, possível com o auxílio de tiras especiais de calibração com teores crescentes de cinza, com respectivos valores de densidade.

Uma variação do "Ratioing Process", aqui chamado de Razão Espectral, aumentou a eficiência da interpretação e consiste em dividir, para um mesmo objeto, as densidades óticas obtidas dos canais 5 e 7.

Através da área teste foi possível avaliar a eficiência interpretativa da imagem Landsat, comparativamente à fotografia pancromática.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os vários critérios fotointerpretativos disponíveis, a tonalidade apresenta-se como um dos mais úteis. Uma possibilidade tentada com bons resultados foi a interpretação de transparências preto e branco nos canais 5 e 7, em superposição, sobre mesa de luz. Este recurso permitiu a obtenção de tons cinzas adicionais, facilitando a interpretação e realçando sensivelmente os limites de cada categoria.

Os resultados obtidos no estudo da vegetação de Cerrado são apresentados nas figuras e quadros seguintes.

a) Vegetação de cerrado no Estado de São Paulo

A distribuição desse tipo de vegetação, a partir de imagens do Landsat, é apresentada na figura 2 e com o auxílio de áreas teste, elaborou-se mapas de vegetação a partir de imagens Landsat e fotografias pancromáticas.

Comparando-se os dois mapas, verificou-se que a porcentagem de coincidência de 97,3% para a categoria cerrado, 86,8 para

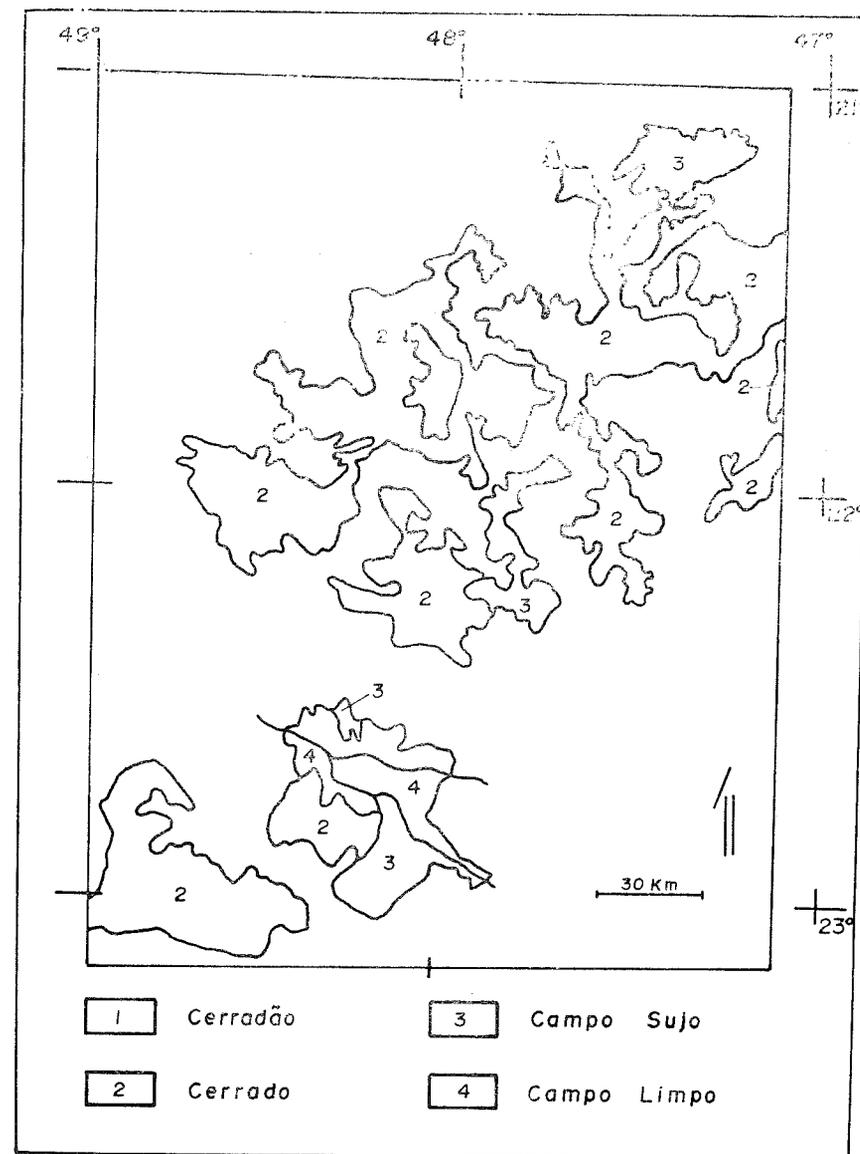


Figura 2. Tipos de cerrado (Estado de São Paulo).

campo limpo/pastagens, 100% para mata e 77,8% para reflorestamento.

As dificuldades na interpretação variaram de acordo com a categoria de vegetação, embora o maior problema tenha sido áreas em ocupação. De maneira geral, para áreas relativamente extensas e homogêneas, a interpretação foi feita sem maiores problemas. No entanto, em locais já em exploração, a precisão da interpretação diminuiu à medida que aumentou a intensidade de uso da terra, concordando com estudos anteriores de Higgs e Sullivan (1973) e Dornbach (1974).

b) Vegetação de cerrado no Estado de Goiás

Neste caso, embora a vegetação de cerrado seja preponderante, não se contou com o mesmo material disponível para a região anterior. Desse modo, não havia à disposição mapas de outras fontes e nem cobertura fotográfica da área teste, o que impediu a avaliação da eficiência interpretativa em bases percentuais. No entanto, a existência de inúmeros pontos de controle no terreno e a utilização de fotografias pancromáticas isoladas, permitiram avaliar a qualidade da interpretação. Dois fatores que facilitaram bastante o processo interpretativo foram a predominância do cerrado na região e ainda a pequena influência do homem. Assim, a interpretação foi realizada com mais segurança aqui do que no caso anterior.

A figura 3 mostra o mapa de vegetação da região estudada, podendo-se verificar a existência de categorias intermediárias, resultantes da associação de duas categorias principais, ou então modificações de uma determinada categoria.

A área coberta pela categoria cerrado é significativa na região estudada, com uma representação aproximada de 39%, apresentando-se como um cerrado grosso e fechado, sem contudo chegar a constituir-se num cerradão. A tonalidade e a textura foram os critérios mais úteis na identificação e delimitação desta categoria.

No caso da associação Cerrado/Campo Sujo, a área é também significativa e caracteriza-se por se apresentar em locais de relevo mais acidentado. Visitas ao local mostraram que ocorre também um cerrado modificado, mais baixo e mais aberto, numa transição que vai até o campo sujo.

A associação Campo Sujo/Campo Limpo apresenta-se em relevo semelhante à associação anterior, e a maior pobreza da vegetação provavelmente é devida às características do solo suporte.

A associação Campo Limpo/Mata Galeria cobre as áreas de relevo mais acidentado. No fundo dos vales, onde o solo é mais profundo, aparece a mata, enquanto que a meia encosta é, por

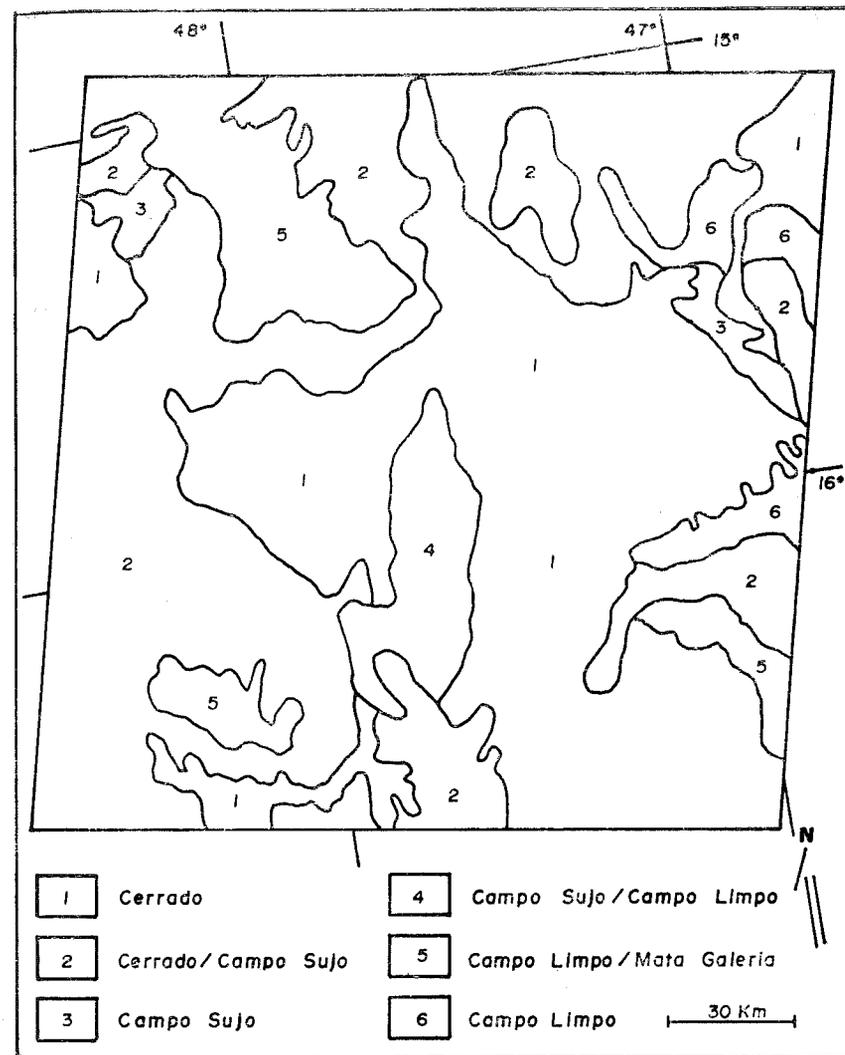


Figura 3. Tipos de cerrado (Estado de Goiás)

vezes, recoberta pelo campo sujo. A predominância, no entanto, da meia encosta para cima, até encontrar os topos arredondados, fica por conta do campo limpo.

A categoria campo limpo apresenta-se insignificante na região de estudo e responde por apenas 3,7% do total. A homogeneidade do padrão campo limpo é, por vezes, quebrada por manchas isoladas de campo sujo.

c) Densidade ótica e Razão Espectral

O quadro 2 reúne os dados referentes às densidades óticas e razões espectrais das diferentes categorias de vegetação, para os Estados de Goiás e São Paulo.

Analisando-se os resultados pode-se verificar que cada tipo de vegetação apresenta um registro densitométrico característico. Levando-se em consideração as densidades óticas no canal 7, pode-se notar que à medida que aumentou a densidade vegetativa aumentou a reflexão espectral, proporcionando leituras densitométricas decrescentes. Para o Estado de Goiás, as densidades óticas obtidas para a categoria Campo Limpo/Mata Galeria referem-se a leituras da reflexão da mata e do campo, produzindo valores intermediários, visto não ter sido possível a definição de alvos de tamanho adequado para leituras individuais.

Para o Estado de São Paulo, cerrado e mata praticamente apresentam as mesmas densidades óticas, como se nota pelo quadro 2, o mesmo não ocorrendo com reflorestamento. Estas diferenças devem-se mais uma vez a diferenças na densidade vegetativa e conseqüente cobertura do solo, como já haviam se referido anteriormente Nosseir et alii (1975).

Pelo quadro 2 pode-se notar ainda que as leituras densitométricas variam, para uma mesma categoria de cerrado, segundo o local em estudo. Analisando-se o fenômeno, verificou-se que este fato decorre principalmente de diferenças no processamento fotográfico das imagens. Uma das maneiras de se contornar essas variações, decorrentes do processamento fotográfico, seria a utilização da razão espectral ("Ratioing Process"), a qual consiste em dividir, para um mesmo objeto, as densidades óticas obtidas dos canais 5 e 7.

O quadro 2 mostra ainda resultados provenientes da relação 5/7, para as duas regiões em estudo. Pode-se notar por estes quadros que os valores obtidos praticamente se equivalem, podendo-se incluir na comparação a categoria campo limpo (GOIÁS) e campo limpo/pastagens (SÃO PAULO). Estes resultados mostram ainda que independentemente de região, o complexo vegetativo denominado cerrado mantém-se praticamente inalterado, em termos de reflexão espectral. Estudando a flora de cerrado como

QUADRO 2. Densidades óticas e razões espectrais de diferentes categorias de vegetação, para os estados de Goiás e São Paulo.

| Categoria | Densidade ótica | | Razão espectral | |
|---------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | Goiás | | São Paulo | |
| | Canal 5 | Canal 7 | Canal 5 | Canal 7 |
| C. Limpo | 0,80-0,82 | 0,88-0,89 | 0,77-0,80 | 0,91-0,92 |
| C. Limpo/pastagens | | | 0,85-0,88 | 0,90-0,96 |
| C. Limpo/M. Galeria | 0,90-0,94 | 0,58-0,62 | | 1,51-1,55 |
| C. Sujo | 0,70-0,72 | 0,85-0,87 | 0,63-0,65 | 0,82-0,83 |
| C. Sujo/pastagens | | | 0,72-0,74 | 0,80-0,81 |
| C. Sujo/C. Limpo | 0,81-0,85 | 0,83-0,86 | | 0,97-0,98 |
| Cerrado | 0,88-0,92 | 0,52-0,53 | 1,05-1,06 | 1,70-1,74 |
| Cerrado Descaract. | | | 0,72-0,75 | 1,04-1,05 |
| Cerrado/C. Sujo | 0,77-0,80 | 0,74-0,79 | | 1,01-1,04 |
| Cerradão | | | 1,18-1,20 | 2,44-2,51 |
| Mata | | | 1,13-1,15 | 2,25-2,30 |
| Reflorestamento | | | 1,12-1,14 | 1,50-1,51 |

um todo, Heringer et alii (1977) comentam a constituição das comunidades e as características organográficas são as mesmas. Relatam, no entanto, a ocorrência de modificações, no que concerne à composição florística, demonstrando existir individualidade fitogeográfica.

5. CONCLUSÕES

Para as condições da presente pesquisa, foram obtidas as seguintes conclusões principais:

a) A distinção e a delimitação das diferentes categorias de cerrado com o auxílio de imagens Landsat revelou-se bastante eficaz, principalmente para a região de estudo no Estado de Goiás.

b) A precisão da interpretação diminuiu à medida que aumentou a intensidade de uso da terra.

c) A utilização de densitômetro de transmissão e da técnica da Razão Espectral aumentou a eficiência e precisão do processo fotointerpretativo.

LITERATURA CITADA

- Almeida, F. F. M. de. 1970. *Mapa Geológico do Brasil*.
- Ashley, M. D. e James, R. 1975. Seasonal vegetation from ERTS imagery. *Photog. Eng.*, 41:713-719.
- Blair, B. O. e Baungartner, M. F. 1977. Detection of the green and brown wave in hardwood canopy covers using multivariate, multispectral data from Landsat-1. *Agronomy J.*, 69:808-810.
- Braun, E. H. 1962. Os solos de Brasília e suas possibilidades de aproveitamento agrícola. *Rev. Bras. Geografia*, 24:43-78.
- Ciesla, W. M.; Bell, J. C. e Curlin, J. W. 1972. Color photos, aerial sprays and the forest tent caterpillar. *Photog. Eng.*, 38:867-873.
- Cline, M. C. e Buol, S. W. 1973. *Soils of the central plateau of Brasil and extension of results of fields research conducted near Planaltina Federal District to them*. Agronomy Mimeo. 73-13. Cornell Univ. Itaca, N. Y. 43p.
- CPAC — Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. 1976. *Relatório Técnico anual*. 150p.
- Cuervo, L. S. 1973. Estudio de recursos naturales agrofloreales. *Memória del ler Symp. Panamericano sobre Sensores Remotos*, Panamá, p. 91-96.
- Dornbach, J. E. 1974. Land use classification with ERTS-1 data in the Houston area test site. *Fall Convention Proc.*, Washington, D. C., p. 88-89.
- Doverspike, G. E.; Flynn, F. M. e Heller, R. C. 1967. Microdensitometer — applied to land use classification. *Photog. Eng.*, 31:294-306.
- Eiten, G. 1972. Cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review.*, 38: 200-241.
- Elbersen, W. W. 1973. Interpretation of ERTS-MSS images of a savanna area in eastern Colombia. *Symp. of significant results obtained from the Earth Resources Tech. Satel. 1*. Mariland, p. 105-111.
- FAO. 1971. *Soil map of the world*. IV. South America (UNESCO). Paris, França. 165p.
- Feuer, R. 1956. *An exploratory investigation of the soils and agricultural potential of the soils of the future Federal District in the central plateau of Brazil*. Itaca, N. Y. (Tese de PhD- Cornell Univ.).
- Fitzpatrick-Lins, K. 1978. Accuracy and consistency comparison of land use and land cover maps from high-altitude photographs and Landsat multispectral imagery. *J. Research U. S. Geol. Survey*. 6:23-40.
- Freitas, F. G. e Silveira, C. O. 1977. Principais solos sob vegetação de cerrados e sua aptidão agrícola. In: Livraria Itatiaia Ed. Ltda. *IV Simp. sobre o Cerrado*, Belo Horizonte. 405p.
- Garcia, G. J. e Marchetti, D. A. B. 1977. Estimativa de safra para a cultura do milho através do filme infravermelho colorido. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. (No prelo).
- Garcia, G. J. e Marchetti, D. A. B. 1977. Fotointerpretação da vegetação através da densitometria. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. (No prelo).
- Garcia, G. J. e Mintzer, O. 1980. Utilização da razão espectral na interpretação de imagens de satélite. *Revista Científica*. UNESP. (Encaminhado).
- Gates, D. M. 1970. Physical and physiological properties of plants. In: National Academy Sciences. *Remote Sensing*. Washington. p. 224-252.
- Gausman, H.; Cardenas, R. e Gelbermann, A. H. 1974. Plant size, etc., and aerial films. *Photog. Eng.*, 40:61-67.
- Gimbarzevsky, P. 1974. ERTS-1 imagery in biophysical studies. *2nd Canadian Symp. on Remote Sensing*, Ontário.
- Haralick, R. M. e Shanmugan, K. S. 1974. Combined spectral and spatial processing of ERTS imagery data. *Remote Sensing of Environ.*, 3:3-13.
- Heringer, G. P.; Barroso, G. M.; Rizzo, J. A.; Rizzini, C. T. 1977. A flora do Cerrado. In: Livraria Itatiaia Ed. Ltda. *IV Simpósio sobre o Cerrado*. Belo Horizonte, 405p.
- Higgs, G. K. e Sullivan, M. 1973. A comparative analysis of Remote Sensing scale/system attributes for a multi-level land use classification system. *Fall Convention Proc.*, Lake Buena Vista, Fla. p. 335-383.
- Hilwig, F. W.; Goosen, D. e Katsieris, D. 1974. Preliminary results of the interpretation of ERTS-1 imagery for a soil survey of the Merida region, Spain. *The ITC Journal*, 3:289-312.
- IPEA Instituto de Planejamento Econômico e Social. 1973. *Aproveitamento Atual e Potencial dos Cerrados*. Brasília, DF. 198p.
- Jackson, H. R. et alii. 1971. Potato late blight intensity levels as determined by microdensitometer studies of false-color aerial photographs. *J. Biol. Photogr. Assoc.*, 39:101-106.
- Manzer, F. E. e Cooper, G. R. 1967. *Aerial photographic methods of potato disease detection*. University of Maine. Bull. 646.
- Meyer, M. P. 1969. Techniques for Ektachrome IR transparencies. *Photog. Eng.*, 35:1111-1114.
- Murtha, P. A. 1969. Near infrared detection of simulated animal damage on conifers. *Proc. of the workshop on aerial color photography in the the plant sciences* Gainesville, Fla.

- Nosseir, M. KO; Palestino, C. V. B. e Batista, G. T. 1975. *Mapeamento de vegetação natural dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo Região Leste do Brasil) através de imagens MSS do ERTS-1*. São José dos Campos, 55p. (Diss. Mestrado).
- Olson, C. E. 1972. Remote Sensing of Fomes annosus in forest stands. *Proc. of the 8th International Symp. on Remote Sensing of Environ.* Ann Harbor, Mi, p. 1381-1384.
- Olson, C. E. 1977. Pre-visual detection of stress in pine forest. *Proc. 11th International Symp. on Remote Sensing of Environ.* Ann Harbor, MI, p. 933-943.
- Palestino, C. V. B. e Valerio F.^o, M. 1973. *Utilization of ERTS-1, radar and infrared color imagens for the study of types of vegetation and areas of agricultural exploration*. INPE. Report 419. 16 p.
- Pestrong, R. 1969. Multiband photos for a tidal marsh. *Photog. Eng.*, 35: 453-470.
- Rib, H. T. e Miles, R. D. 1969. Automatic interpretation of terrain features. *Photog. Eng.*, 31:294-306.
- Rowan, L. C.; Wetlanfer, P. H.; Goetz, A. H.; Billingsley, F. C. e Stewart, J. H. 1974. Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas on south-central Nevada by the use of computer enhanced SRTS images. *U. S. Geological Survey Prof. Paper* 883. 35 p.
- Setzer, J. 1946. *Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo*. Escolas Salesianas, 239 p.
- Spurr, S. H. 1960. *Photogrammetry and Photointerpretation*. N. York, Ronald Press, 742 p.
- Thomas, V. L. 1975. *Generation and physical characteristics of the Landsat 1 and 2 MSS computer compatible tapes*. Nasa. Goodard Space Flight Center, Doc. X563-75-223, 28 p.
- Westin, F. C. 1973. ERTS-1 MSS imagery: Its use in delineating soil associations and as a base map for publishing soil informations. *Proc. of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symp.*, Washington, p. 183-193.
- Wiegand, C. L.; Gausman, H. W.; Cuellar, J. A.; Gerbermann, A. H. e Richardson, A. J. 1973. Vegetation density as deduced from ERTS-1 MSS response. *Proc. of the 1st Earth Resources Technology Satellite Symp.*, Washington, p. 159-182.

SUMMARY

The interpretation of the cerrado vegetation with the aid of the Landsat imagery. The main objective of this research was the establishment of interpretation criteria for the cerrado vegetation when analysed through Landsat imagery. For the two regions, one in the State of Goiás and the another one in the State of São Paulo, the interpretation criteria were studied with the aid of test areas an panchromatic photographs, transferred to Landsat images in the channels 5 and 7. The use of transmission densitometer avoided the personal criterion of interpretation. The results led to the following main conclusion: a) The interpretation and delineation of the cerrado vegetation was done with accuracy, in some cases with a efficiency of 97%; b) The precision of interpretation was higher in places of low interference, decreasing as increased the intensity of the landuse; c) The transmission densitometer and the variation of the "Ratting Process" increased the efficiency and precision of the photointerpretative process.