

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

O Uso de Imagens TM-Landsat 5 na Identificação de Associações Vegetais na Borda Ocidental do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul

Dejanira Saldanha Frantz, Maria Do Carmo Lima E Cunha
Pesquisas em Geociências, 18 (1): 79-87, Set./Dez., 1991.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21369>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1991.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

O Uso de Imagens TM-Landsat 5 na Identificação de Associações Vegetais na Borda Oriental do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul

DEJANIRA SALDANHA FRANTZ E MARIA DO CARMO LIMA E CUNHA

Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15001 - CEP 91500 - Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 30/07/91. Aceito para publicação em 18/12/91.)

Abstract — Through visual analysis of TM-Landsat data it was possible to evaluate the present spatial situation of the floristic associations distributed on NE portion of the Planalto Meridional of the Rio Grande do Sul and slopes, in the regions named Serra do Umbu, Serra do Pinto, Josafaz and Tainhas-Aratinga. The study of 3, 4 and 5 bands and false colour composition 453 (RGB) has permitted to identify some factors that had influenced the spectral and textural responses of the considered targets. The results have permitted to define three phytogeographic units, Native Forest, Marshes, and Fields, and two others, Reforestation and Razed, and/or Cultivated Ground.

Resumo — Por meio de análise visual de dados TM-Landsat 5 foi possível avaliar a atual situação espacial das associações florísticas distribuídas na porção NE do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul e suas encostas, mais precisamente nas regiões denominadas Serra do Umbu, Serra do Pinto, Josafaz e Tainhas-Aratinga. O estudo das bandas 3, 4 e 5 e sua composição colorida 453 (RGB) permitiu identificar fatores que influenciaram nas repostas espectrais e texturais dos alvos considerados. Como resultado foram definidas três unidades fitogeográficas, Mata Nativa, Banhados e Campos, e duas outras, Reflorestamento e Terrenos Arrasados e/ou Cultivados.

INTRODUÇÃO

A implantação da rodovia que une o Planalto Meridional do Rio Grande do Sul ao litoral norte deste estado, para o escoamento da produção excedente, tem motivado inúmeras discussões por parte de entidades conservacionistas. As alternativas consideradas pelo DAER abrangem a faixa de encosta do planalto, cujo ecossistema, representado por remanescentes da Mata Atlântica, poderá, dependendo do traçado escolhido, ser afetado de modo mais ou menos intenso.

As divergências surgidas, quando da apresentação do Relatório de Impacto Ambiental ao DMA/SSMA, relativas a qual das alternativas afetaria de modo menos drástico a vegetação nativa da região, foi o motivo que levou os autores deste trabalho a avaliar, por meio de sensoriamento remoto, a atual distribuição espacial das associações florísticas que caracterizam as áreas consideradas. A análise de imagens do satélite Landsat 5 — sensor "Thematic Mapper" — TM permitiu definir os padrões de vegetação por meio do seu comportamento espectral e textural. Neste sentido foram diferenciadas as unidades vegetais nativas daquelas já afetadas e/ou descaracterizadas pela ação antrópica.

As áreas imageadas localizam-se nos municípios de Terra de Areia, Osório, Três Cachoeiras e São Francisco de Paula, sendo que os três primeiros abrangem as regiões litorânea e de encosta e o último, a dos campos do planalto (Fig. 1).

Nos trabalhos de campo a área correspondente ao módulo 1 (Serra do Umbu, cf. Fig. 1) tem acesso a partir da BR 101 até a localidade de Barra do Ouro. A partir daí, pela RS 484 chega-se a cidade de São Francisco de Paula. O módulo 2, denominado Tainhas-Aratinga, tem seu trajeto iniciado em Terra de Areia, pela BR 101 até

atingir-se a RS 486 e desta até a RS 020, próximo a localidade de Tainhas. Os módulos restantes foram percorridos por estradas vicinais a partir da localidade de Aratinga, para leste, atingindo-se inclusive as cabeceiras dos arroios do Pinto e Barreiros.

METODOLOGIA

A imagem TM/Landsat 5, sob a forma de fitas magnéticas (CCT), utilizada neste trabalho, está codificada no World Reference System (WRS) sob o número 220/80 quadrante C de 01.09.87. Foram analisados os canais 3, 4 e 5 separadamente após ampliação linear de contraste e, posteriormente, foi analisada a composição colorida falsa-cor 453 (RGB).

Os módulos denominados Serra do Umbu (1), Tainhas-Aratinga (2), Josafaz (3), Serra do Costão (4) e Arroio Barreiros (5), foram trabalhados no monitor do Sistema Interativo de Tratamento de Imagem (SITIM) do Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia — CEPRSM — na escala 1:50.000, e o módulo denominado Rota do Sol (6), na escala 1:25.000. Os dados foram lançados nas cartas do SGE Barra do Ouro, Tainhas e Aratinga, na escala 1:50.000.

A interpretação visual das imagens realçadas permitiu a delimitação de três unidades fitogeográficas: Campos do Planalto (Unidade A), Banhados (Unidade B) e Mata Nativa (Unidade C). Outras duas unidades, decorrentes da ação antrópica foram também delimitadas: Reflorestamento (Unidade D) e Terrenos Arrasados e/ou Cultivados (Unidade E). Os trabalhos de campo foram executados no sentido de se verificar o grau de correspondência entre as unidades identificadas nas imagens com aquelas observadas em campo.

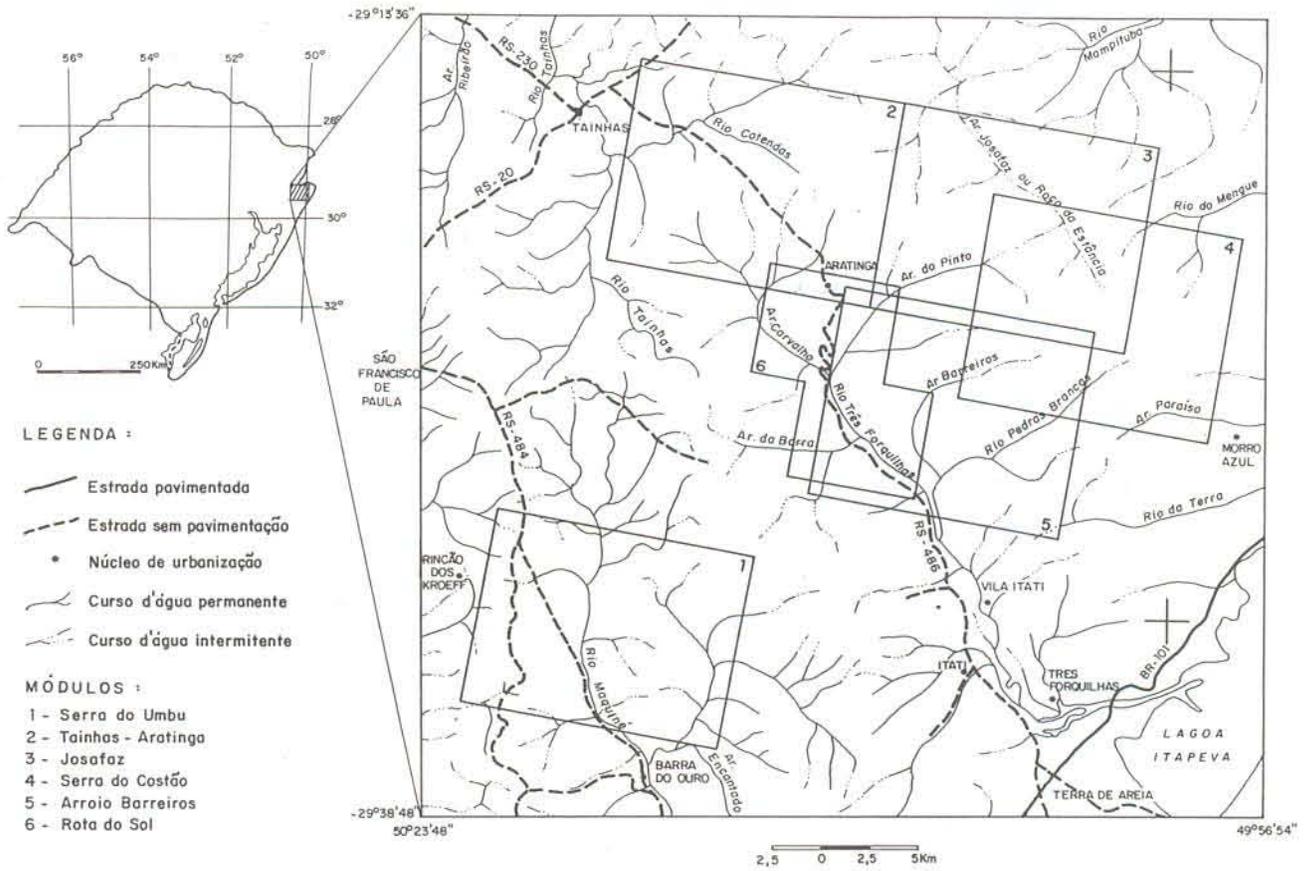


Figura 1 — Mapa de localização da região estudada.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para a delimitação das associações vegetais identificadas nas imagens foram empregados critérios de posicionamento geográfico e de diferenciação textural e espectral.

Unidade A: Campos do Planalto

Devido ao seu posicionamento geográfico esta unidade é de ocorrência predominante nos módulos 1, 2, 3 e 4 e se localiza em áreas de cotas elevadas e com baixos gradientes, característica geomorfológica comum no topo do platô basáltico.



Figura 2 — Módulo 1 — Serra do Umbu. Composição colorida 453 (RGB). Unidade Campos do Planalto em tons azulados. Localiza-se a oeste na Figura e limita-se com as encostas dos vales que representam a Unidade Terrenos Arrasados e/ou Cultivados, em tons alaranjados. O Reflorestamento, ao norte na Figura, se mostra em cores vermelhas.

Em termos fitofisionômicos se distingue pela presença de um tapete de gramíneas que, segundo Roche (1966) se estende nos intervalos deixados pelas zonas florestais, onde a rocha aflora sobre delgada camada de terra arável. Nas imagens, essas áreas, homogeneamente distribuídas, têm textura lisa.

Subjacente a esta cobertura vegetal ocorrem solos pouco desenvolvidos, rasos e bem drenados, de natureza litólica, originários das seqüências vulcânicas ácidas (Brasil, 1973).

Quanto às características espectrais, a unidade Cam-

pos do Planalto revela alta reflectância nos canais 3 e 5 e uma tonalidade de cinza médio no canal 4, decorrente da forte influência do solo subjacente à cobertura de gramíneas. Na composição colorida (Figs. 2, 3, 4 e 5), os campos adquirem uma cor azulada que grada ora para tons esbranquiçados, ora para tons de azul mais intenso, devido a variação da reflectância no canal 3. Estas manchas de azul mais intenso, indicam menor influência da vegetação, ou seja, a cobertura de gramíneas, menos densa, retrata a maior participação do canal 3 na composição colorida.



Figura 3 — Módulo 2 — Tainhas-Aratinga. Composição colorida 453 (RGB). Unidade Campos do Planalto, no topo do Planalto Meridional, em tons azulados, limita-se com o Banhado do Arroio Tainhas, em tons ciano com canais em magenta, a SW na Figura. A Unidade Mata Nativa com matizes de marrom, limita-se com o Reflorestamento (cores avermelhadas).



Figura 4 — Módulo 3 — Josafaz. Composição colorida 453 (RGB). Mata Nativa em tonalidades de marrom e de laranja, em contato com Campos do Planalto (azul) e Banhados (magenta).

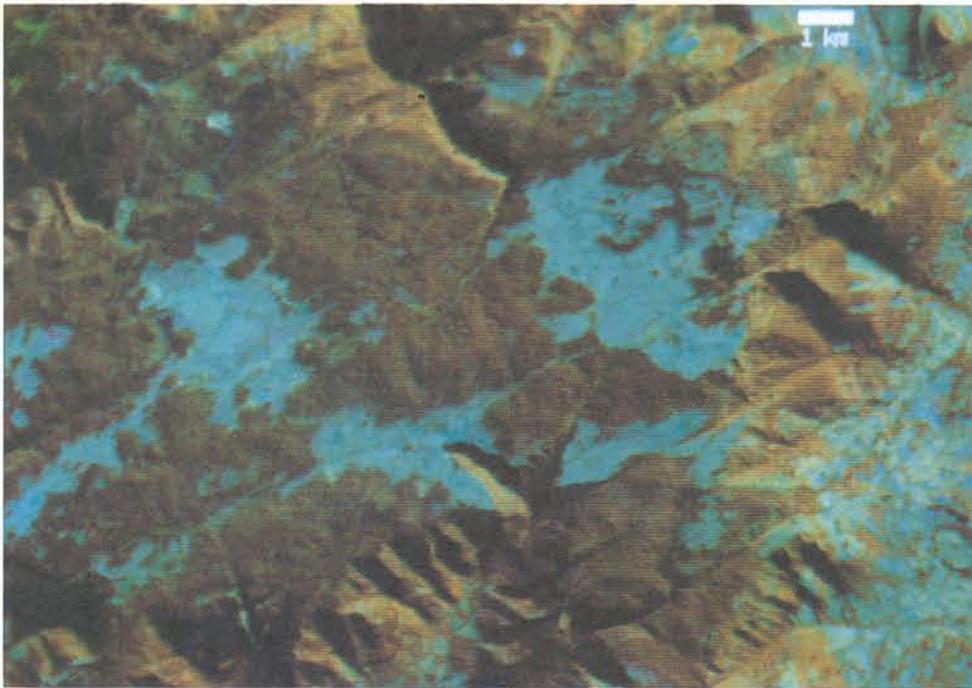


Figura 5 — Módulo 4 — Serra do Costão. Composição colorida 453 (RGB). Mata Nativa em tons de marrom e de laranja nas encostas. Nuanças avermelhadas, nesta unidade, são indicativas da maior concentração de coníferas nativas. Os campos, em azul, se localizam nos intervalos deixados pela mata.

Em alguns locais, estas manchas, de formato irregular e de cor azul profundo, em campo correspondem à presença de afloramentos rochosos na forma de matações.

Considerando-se somente as características espectrais da Unidade A, percebe-se que esta apresenta respostas muito semelhantes àquelas das áreas de encosta denudada, fato que levou os autores a concluir que o emprego das características espectrais como critério único é insuficiente para delimitação dessa unidade, sendo, portanto, o seu posicionamento geográfico, o fator predominante na sua delimitação.

Unidade B: Banhados

Esta unidade ocorre nos módulos Tainhas-Aratinga e Josafaz, e se constitui em dois tipos de banhado, cujas características fitofisiográficas indicam origens genéticas distintas.

O primeiro tipo, aqui qualificado como banhado do Arroio Tainhas, encontra-se junto ao curso d'água de mesmo nome, em local aplainado que recebe a drenagem das áreas circundantes, ocupadas por campos. As formações vegetais que nele se desenvolvem são compostas por elementos típicos de ambientes palustres, em sua maior parte representadas por gramíneas e ciperáceas altas, e gravatás, cuja predominância confere ao banhado uma coloração cinza azulada, distinguindo o mesmo das demais associações vegetais circundantes. Não raro ocorrem arbustos isolados da família das compostas, bem como salgueiros retorcidos, comumente dispostos nas margens dos cursos d'água. Nas porções mais secas passa a predominar a mata baixa, em forma de capões.

O segundo tipo se caracteriza por ocorrer interiorizado na mata nativa, como "pools", onde o nível freá-

tico aflora, encharcando o solo e propiciando o desenvolvimento de associação vegetal higrófila, representada por juncaias, gramíneas altas e ciperáceas. Das bordas para sua porção central, briófitas e pteridófitas ocorrem em associação com sphagnáceas, recobrando um substrato turfáceo, rico em matéria orgânica em decomposição, dando ao ambiente uma feição típica de "bogs".

Embora os ambientes turfáceos, pela sua capacidade de armazenar umidade, propiciem o desenvolvimento de uma vegetação bastante adaptada, a decomposição da matéria orgânica produz gases que podem causar danos às raízes, o que impede uma maior vigorosidade dos vegetais de porte. Lindman e Ferri (1974) definem o ambiente palustre, em termos fitofisionômicos, pela grande quantidade de árvores mortas e secas, dossel pouco denso e predomínio de epífitas, musgos e líquens recobrando caules e ramos com pouca massa foliar.

Nas imagens, o banhado do primeiro tipo possui uma textura lisa e apresenta um padrão reticulado, decorrente da presença de sulcos por onde a água é drenada. A análise das diferentes bandas é feita considerando-se somente este banhado, visto que o outro, por ser de pequena extensão e por se encontrar em meio a mata nativa, não é passível de definição de textura e padrão. Suas características espectrais são definidas somente na análise da composição colorida.

Na banda 3, o Banhado do Arroio Tainhas apresenta-se com tonalidade cinza média, no entanto mais escura que os campos circundantes. O padrão reticulado, pouco nítido, e a baixa absorção da radiação eletromagnética (REM) indicam a presença de uma vegetação rala e de baixo teor clorofílico. Na periferia do banhado a cor cinza escura corresponde à presença de mata galeria, composta de elementos de maior porte e maior conteúdo clorofílico, disposta ao longo dos tributários do mes-

mo. Em alguns locais que margeiam esta unidade, observa-se também áreas com tonalidades esbranquiçadas, indicativas de solo exposto, associadas a leves tonalidades de cinza muito claro. Em campo, as mesmas correspondem a solos preparados para o cultivo de espécimens exóticos (*Pinus* sp. ou *Eucalyptus* sp.) ou áreas com estes já em desenvolvimento, embora ainda incipiente.

Na banda 4, o banhado aparece com seu padrão reticulado bem nítido, pelo contraste dos sulcos, claros, e as zonas entre estes, escuras. A cor clara dos sulcos é decorrente da presença de uma vegetação mais vigorosa, rasteira, que atapeta os canais de escoamento da água. Nas áreas entre os sulcos, a vegetação, pelas características já descritas acima, apresenta uma resposta muito baixa. Outro fator que contribui para isto é a associação deste conjunto florístico com um solo rico em matéria orgânica, em um ambiente acumulador, de baixa declividade, com aporte de clastos finos para o seu interior, os quais, não encontrando energia para a sua descarga, são depositados junto a vegetação que serve como trapeadora. Já a maior reflectância derivada da mata galeria associada, indica maior índice de área foliar com pouca influência do substrato. Áreas preparadas para o plantio de espécimens exóticos, na borda do banhado, ocorrem em tonalidades claras, relativas a presença de solos sílto-arenosos, sem influência de matéria orgânica.

A banda 5 se mostra muito semelhante à banda 3, contudo com o padrão reticulado bem mais pronunciado. Isto porque, os canais de drenagem interiorizados, por possuírem elevada umidade, baixam a reflectância, em contraste com as áreas de acumulação, onde a reflectância se eleva pela presença de material inorgânico. As áreas para o plantio florestal tem comportamento semelhante às da banda 3, com altos valores de reflectância (ausência de vegetação e umidade).

Na composição colorida (Figs. 3 e 4), os sulcos de drenagem interna do banhado se mostram em tonalidade magenta clara (somatório dos canais 4, vermelho, e 3, azul), revelando baixa influência do canal 5 devido a elevada umidade da vegetação. As áreas entre os sulcos, de cor ciano (somatório do canal 5, verde e do canal 3, azul) retratam a baixa vigorosidade da vegetação e a influência do substrato.

As áreas de plantio, de cor branca, denotando forte reflectância nos três canais utilizados, são indicativas de solo sílto-arenoso, sem umidade e pouca matéria orgânica. Tons alaranjados (somatório do canal 4, vermelho, e do canal 5, verde) sobrepostos à cor branca indicam crescimento incipiente de espécies exóticas, ou seja, esta vegetação absorve a REM no canal 3 mas há ainda a influência do substrato, apontada pela reflectância no canal 5.

Quanto ao segundo tipo de banhado, conforme já mencionado, é somente perceptível na composição colorida, onde se mostra com coloração magenta clara, relativa à presença de uma cobertura vegetal rasteira, em meio a uma área úmida, de baixa reflectância no canal

5 e de reflectância mais elevada nos canais 4 e 3, que neste último é decorrente da influência do substrato.

Unidade C: Mata Nativa

Esta unidade, perceptível em todos os módulos estudados, pelas observações de campo e pela bibliografia consultada, é composta por duas sub-unidades que divergem em seus constituintes e também em sua compartimentação geográfica.

A partir do Vale do Maquiné, município de Osório, na medida em que se atinge os primeiros patamares do derrame basáltico, observa-se a presença de uma vegetação representada por diferentes estratos, herbáceos, arbustivos e arbóreos, que se adensam e se tornam praticamente impenetráveis nas escarpas mais íngremes e nos talvegues não afetados pela ação antrópica. Pela definição de Klein (1989), esta formação vegetal, denominada Floresta Ombrófila Densa, em síntese representa os últimos remanescentes da Mata Atlântica. Para este autor, a Mata Atlântica, no estado de Santa Catarina, até a Serra do Tabuleiro (costa centro-sul do referido estado), tem um caráter essencialmente tropical. Dessa região para sul, até o Vale do Maquiné, o número de espécies características e exclusivas da Mata Atlântica vai diminuindo, constituindo portanto esta área, o limite austral da mesma, embora alguns de seus representantes cheguem até o Escudo Sul-rio-grandense.

Em torno da cota de 500m até o topo do platô basáltico, nota-se uma mudança na composição florística. O aparecimento de coníferas, inicialmente como exemplares isolados, e após passando a ser de presença significativa na medida em que se atinge cotas mais elevadas, é indicativo da existência de uma unidade fitogeográfica diferente daquela predominante nas escarpas do planalto. Trata-se da formação florestal denominada Floresta Subtropical Úmida com Araucária, cujo desenvolvimento é favorecido pelas temperaturas hibernais que são antagônicas ao crescimento de plantas tropicais (Roche, 1966).

Pelo exposto, é possível, em campo, dividir a Mata Nativa em duas outras sub-unidades onde a mata tropical, marcada pela presença de espécies lenhosas de grande porte e alta densidade, em associação com cipós e epífitas, se distingue daquela mais compacta e pouco estratificada, caracterizada pela presença de várias espécies de coníferas, dentre elas a típica *Araucária brasiliense*.

Nas imagens analisadas, a delimitação desta unidade é de fácil traçado quando em contato com as unidades de campo, banhados e reflorestamento, visto que a peculiaridade de suas características texturais e espectrais a torna distinta das demais. Seu contorno só é de difícil demarcação quando em contato com áreas de campos roçados e/ou cobertos por vegetação secundária, posto que a transição destas áreas com a unidade aqui descrita é feita, de forma gradativa e interdigitada.

Muito embora em campo, conforme o exposto, a unidade Mata Nativa possa ser dividida em Mata Ombrófila Densa e Mata Subtropical Úmida com Araucária, em termos texturais e espectrais esta divisão fica bastante

dificultada pelos diferentes ângulos de exposição das encostas à iluminação, somados à intervenção antrópica, que mascaram esta separação. Além disso, de acordo com Milton e Mouat (1989), pequenas mudanças na assinatura espectral são observadas quando estão envolvidos estudos sobre as diferenças graduais na composição específica.

Como característica textural, a rugosidade observada na unidade C, bastante perceptível no canal 4, decorre do auto-sombreamento originado pela sobreposição dos estratos. Esta feição é mais acentuada no topo do platô basáltico onde predomina a Mata Subtropical Úmida com Araucária. Já a variação do padrão rugoso a liso, nas encostas, é decorrente da maior ou menor intervenção antrópica na Mata Nativa. Este comportamento textural predominante nas encostas, confirma a descaracterização da Mata Ombrófila Densa, tanto em seus constituintes originais como na idade dos espécimens. Embora razoáveis exposições desta sub-unidade, sem alterações significativas, sejam observadas em campo, a análise e interpretação textural (e espectral) ficam prejudicadas porque a sua ocorrência, como redutos, se dá em locais íngremes e, portanto, sombreados nas imagens.

Quanto às características espectrais, a unidade C, na banda 3, contrasta significativamente com os campos, banhados e reflorestamento, e nas encostas, mascara-se com as áreas de campos arrasados e/ou em cultivo.

A tonalidade cinza escura (áreas de platô) corresponde à maior densidade da cobertura vegetal em contraposição aos tons de cinza claro (áreas de encosta), equivalentes a um decréscimo na cobertura vegetal e, conseqüentemente, maior influência do substrato.

Nas porções mais planas do platô basáltico percebe-se manchas de cor cinza escura homogeneamente sobrepostas à tons de cinza mais claro, indicando a presença da Mata Subtropical Úmida com Araucária inalterada em sua composição florística. Esta característica espectral é portanto indicativa da maior absorção da radiação eletromagnética nesse comprimento de onda, decorrente de uma atividade fotossintética não afetada pelas variações sazonais, fato este que confirma ser tal associação vegetal mais adaptada às temperaturas hibernais.

As tonalidades de cinza claro, sotopostas às manchas de cinza escuro, sugerem alterações da composição florística, possivelmente causada pelo extrativismo, principalmente dos pinheirais. O desequilíbrio fitoecológico fragiliza a dinâmica da vegetação, de modo a permitir que seus constituintes originais fiquem mais sensíveis às variações sazonais. Neste sentido, a resposta espectral dada pela cor cinza clara (nas áreas planas do platô) seria indicativo da presença de uma associação vegetal com baixa atividade fotossintética, fato comprovado pela época (final de inverno) da imagem analisada.

Na banda 4 não há contraste significativo entre a mata nativa e as demais unidades vegetais, predominando a tonalidade cinza média. Notável nesta banda são as diferenças espectrais causadas pelos diferentes ân-

gulos de exposição das encostas à energia solar incidente.

Nas superfícies aplainadas do platô basáltico, observa-se uma pequena variação na reflectância da vegetação arbórea (mais baixa) em relação àquela dos campos (mais alta). O esperado seria, no entanto, o contrário, visto que neste comprimento de onda a influência do substrato é mínima quando o alvo é a vegetação de porte. Contudo, por ser esta vegetação estratificada, a reflectância média da unidade é mais baixa na medida em que responde como o somatório das sombras resultantes da superposição dos estratos e as altas reflectâncias do dossel arbóreo.

No caso das encostas, o sombreamento originado da sobreposição dos diferentes estratos não é tão pronunciado, porque nessas áreas, a estratificação é irregular por efeitos de degradação. Alia-se a isto, o fato de as encostas serem voltadas para NE, conseqüentemente atingidas de modo mais direto pela luz solar.

Na banda 5, esta unidade possui tons de cinza mais escuro quando comparada aos campos circundantes, indicando maior absorção da REM, devido ao conteúdo de água na estrutura foliar da mata e a menor influência do substrato dada a altura do dossel arbóreo.

Com relação ao reflorestamento, a mata nativa apresenta uma tonalidade de cinza mais claro indicando menor absorção da REM.

Neste canal, quando comparadas as áreas de encosta com as do platô, não se percebe diferenças significativas que permitam a divisão da Mata Nativa nas sub-unidades já referidas. As áreas mais claras observadas nas encostas são decorrentes da incidência solar mais direta e da maior degradação dos constituintes arbóreos, substituídos por uma vegetação secundária em regeneração.

Na composição colorida estudada (Figs. 3, 4 e 5), a unidade C se apresenta de cor marrom, que grada para tons alaranjados nas encostas, evidenciando a incidência solar mais direta (maior influência do canal 4) e áreas de maior degradação. Nos altiplanos, as manchas de cor cinza escura observadas no canal 3, na composição colorida se mostram de cor marrom avermelhada indicando a presença de maiores concentrações de coníferas nativas.

As características espectrais acima descritas, representam para os autores, a integração de diversos fatores, dentre os quais se destacam:

- a mata natural é composta por diferentes formas de vida, abrigando tanto indivíduos perenes como caducifólios que variam em porte (arbustivo, arbóreo e herbáceo);
- a arquitetura de seus estratos é variada, podendo conter de uma a várias camadas de dosséis;
- a diversidade específica de seus constituintes implica em diversidade morfológica e anatômica de suas partes aéreas;
- as diferentes idades dos indivíduos que a compõe abrangem desde formas juvenis, passando a formas imaturas, maduras, em estágio de reprodução, em máximo vigor, até a senescência.

Pelo exposto percebe-se que o somatório desses fatores dará um Padrão de Resposta Espectral característico que permite separar alvos do mesmo tipo em condições diferentes.

Unidade D: Reflorestamento

Esta unidade, de presença significativa nos módulos 1 e 2, distingue-se das demais nas imagens analisadas, tanto nos níveis de cinza como na textura. Sua ocorrência se dá nas áreas planas do topo do platô basáltico, ocupando grandes extensões da região trabalhada, originalmente habitada por vegetação nativa. Estas extensas florestas artificiais são compostas por coníferas do gênero *Pinus* sp., bastante adaptadas às condições climáticas e ao solo da região.

Em campo é possível observar que nos locais reflorestados, aqueles de maior ocupação em área, são compostos por indivíduos de porte e diâmetro a nível de DAP (diâmetro a altura do peito), muito semelhantes, indicando serem estes de idades equivalentes.

Em termos texturais, a unidade D é lisa nos três canais analisados, como resultado da uniformidade destas monoculturas.

Quanto às características espectrais, a unidade D apresenta-se em tons de cinza muito escuro, tanto na banda 3 como na banda 5, sendo que no canal 3 a absorção é devida ao elevado conteúdo de clorofila das coníferas, e no canal 5, à quantidade de água existente na estrutura celular das folhas. Além disso, a uniformidade do dossel, resultante da presença de indivíduos de idade e porte semelhantes reverte em uma superfície homogênea, com maior poder de absorção da radiação incidente. Neste sentido, conforme os estudos de Woolley (1971), o reflorestamento corresponderia à reflectância de uma folha, comparativamente àquela da mata que responderia como sendo o resultado da reflectância originada pelo empilhamento de várias folhas.

Fato interessante observado quando da análise das imagens, é o comportamento espectral do reflorestamento em relação a Mata Nativa na banda 4, demonstrado pela sua reflectância (mais alta) quando comparada àquela da vegetação natural (mais baixa). Além dos fatores já considerados na unidade C, que em parte explicam esta resposta, deve ser aqui lembrado também a anatomia foliar típica de *Pinus* sp.. Westman e Price (1988) atribuem as diferenças espectrais observada em *Pinus resinosa*, no infra-vermelho próximo, ao arranjo cilíndrico das células do mesófilo esponjoso e à ausência de parênquima paliçádico. No entanto, as folhas dessas coníferas são do tipo equifacial, onde as faces dorsal e ventral são iguais, com mesma disposição de parênquima paliçádico em ambos os lados e ausência de mesófilo esponjoso (Strasburguer, 1963).

A reflectância da vegetação no infravermelho próximo tem sido atribuída por vários autores à interface ar-parede celular do mesófilo esponjoso, sendo este o principal meio de refração e reflexão da energia luminosa incidente na folha. No entanto, para Knipling (1969), as pequenas cavidades preenchidas por ar, existentes entre as células adjacentes do parênquima pali-

çádico, podem equivaler ou mesmo superar, em área, àquelas existentes no mesófilo esponjoso, caracterizado por espaços intercelulares maiores, porém com um pequeno número de células. Em vista do exposto, atribui-se a maior reflectância do reflorestamento na banda 4 (quando comparada àquela da Mata Nativa), além dos fatores já mencionados na unidade C, à anatomia foliar de *Pinus* sp., em concordância com o postulado de Knipling (op. cit.), salientando-se que o conhecimento da disposição dos tecidos foliares da vegetação alvo é fundamental na interpretação das respostas espectrais neste comprimento de onda.

Na composição colorida utilizada (Figs. 2 e 3), o reflorestamento apresenta tons de vermelho, vermelho alaranjado e bordô, indicando elevadas reflectâncias no canal 4 e baixas reflectâncias nos canais 3 e 5. Esses tons se devem às variações de níveis de cinza observadas na imagem, particularmente nos canais 4 e 5.

Franklin (1986) em seu estudo sobre relações entre a densidade de florestas de coníferas e sua reflectância, mostra que quando a sua cobertura vegetativa é incompleta, ou seja, o dossel não é adensado, a resposta espectral mais forte é dada pelo solo ou pela vegetação que o reveste, modificada ainda pela influência do dossel acima.

Pelo observado em campo, os "stands" compostos por indivíduos mais velhos, menos densos pela retirada de madeira, apresentam reflectância mais elevada nos canais 4 e 5, quando comparada àquela dos "stands" mais jovens e mais densos. No canal 4 isto se deve à estrutura anatômica das folhas adultas, enquanto no canal 5 a reflectância mais elevada é derivada da baixa densidade do dossel (maior influência do solo). Já os níveis de cinza mais escuros observados na sua estrutura indicam um aumento na densidade do mesmo, e como conseqüência, menor influência do solo. Portanto, nesse caso, a baixa reflectância, decorrente do adensamento do dossel, é indicativa da presença de formas em estágio de crescimento, e não (como poder-se-ia supor) do maior conteúdo de água nas folhas, visto que estas, quanto muito jovens contém menos água em suas células, que primariamente são protoplasmáticas (Lundergardh, 1966 apud Myers, 1983).

Unidade E: Terrenos Arrasados e/ou Cultivados

Esta unidade se posiciona nos vales e nas encostas, ocorrendo em todos os módulos, porém de forma mais evidente nos módulos 1 (Serra do Umbú), 5 (Arroio Barreiros) e 6 (Rota do Sol). Pela sua posição geográfica, sofre influência direta da inclinação e da direção das vertentes, condicionando assim o tipo de ocupação e o uso da terra, bem como apresenta uma resposta espectral diferenciada. Além disso, constitui-se de diversos alvos, desde povoados e áreas cultivadas (predominando plantios de leguminosas, forrageiras e frutíferas), até campos em repouso, revestidos por gramíneas, que podem ou não evoluir para uma vegetação secundária (vassourais) que grada para conjuntos florísticos de maior porte e diferentes estratos.

Esse padrão de ocupação, bastante interdigitado, não permite a definição de uma textura única e tão pouco identificar um comportamento espectral definido. Por este motivo, sua avaliação é somente considerada na composição colorida.

Nas imagens (Figs. 2, 6 e 7), as áreas destinadas de vegetação, pela ocupação urbana, se mostram com coloração esbranquiçada que grada para tons ciano, relativos à presença dos campos com gramíneas altas e plantações, onde a influência do solo se manifesta de forma acentuada, indicada pelas elevadas reflectâncias dos canais 3 (azul) e 5 (verde), mostrando o mesmo padrão espectral descrito na Unidade A.

Essas áreas se interdigitam com outras onde a vegetação sub-arbustiva a arbustiva se instala, impedindo a maior influência do solo. Como consequência, ocorre maior absorção pelos canais 3 e 5 e maior reflectância do canal 4. Na figura 7, se mostram em tons que gradam do laranja ao marrom.

As encostas voltadas para Sul (mais úmidas e com menor insolação) propiciam a preservação da vegetação que se distribui ao longo da intercalação dos derrames básicos e ácidos (tons que variam de marrom a marrom escuro). O padrão escalonado, nas porções de menor declividade, é decorrente da instalação de culturas, sobre os solos mais profundos e mais férteis, originários da alteração dos derrames básicos (tonalidades ocre a marrom).

Onde as encostas são mais íngremes, esse padrão, resultante do uso do solo, se interrompe para dar lugar a ocorrências localizadas, como refúgios, do complexo, arbustivo-arbóreo da Mata Ombrófila Densa.

CONCLUSÕES

Com os elementos apresentados neste trabalho, pretendeu-se contribuir para uma solução frente a po-

lêmica surgida a partir da proposta de construção da rodovia Rota do Sol, cuja implantação implicará em substanciais modificações no uso da terra na região nordeste do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul, e encostas.

Neste sentido, o uso de sensoriamento remoto na avaliação das unidades fitogeográficas identificadas e das áreas cuja interferência humana já se faz notável, mostrou-se bastante promissor. Isto porque, entendidas as espectrais dos diferentes alvos, frente a REM, e seu registro continuado pelo sistema de satélite Landsat, foi possível avaliar a situação presente da área estudada. Como vantagem a repetitividade do imageamento permite o acompanhamento dessa situação no futuro.

Embora as imagens não tenham tido um tratamento mais sofisticado, como a análise multitemporal, análise estatística e/ou sistema de classificação, os resultados obtidos permitiram a definição dos aspectos texturais e espectrais das cinco unidades identificadas, e a caracterização destas a nível de posicionamento geográfico.

Os fatores que mais influenciaram nas respostas dos canais utilizados foram:

- no canal 3: altura e densidade da cobertura vegetal, conteúdo de massa foliar, atividade fotossintética e variação sazonal;
- no canal 4: morfologia foliar, presença de unidades multiestratificadas ou uniestratificadas, auto-sombreamento altura e azimute (iluminação das encostas);
- no canal 5: densidade e altura do dossel, idade dos constituintes e conteúdo de umidade na estrutura celular.

Pelo exposto constata-se que as técnicas de sensoriamento remoto podem ser empregadas em diversas áreas do conhecimento, para auxiliar o homem no en-

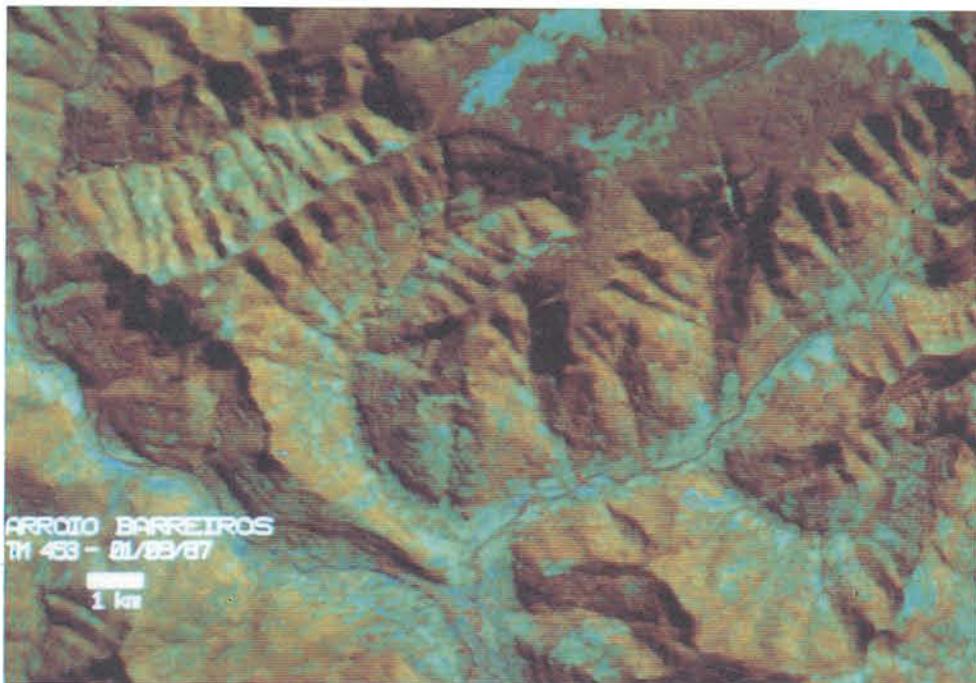


Figura 6 — Módulo 5 — Arroio Barreiros. Composição colorida 453 (RGB). Encostas do Planalto Meridional com intensa modificação pelo uso da terra. Nos altiplanos e nas escarpas se percebe ainda a presença da Mata Nativa.



Figura 7 — Módulo 6 — Rota do Sol. Composição colorida 453 (RGB). Ampliação da área a ser ocupada pelo traçado proposto da Rodovia Rota do Sol. Encostas voltadas para NE com intensa modificação ambiental e as voltadas para SW, ainda com redutos da Mata Nativa. Tons que gradam do laranja para o marrom indicam a presença de vegetação secundária.

tendimento de seu espaço geográfico. Isto exige no entanto, a percepção necessária da inter-relação e da evolução dos mecanismos que atuam no equilíbrio natural.

Agradecimentos — Os autores agradecem ao Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia — CEPSRM —, pela utilização dos equipamentos, à Serviços Técnicos de Engenharia — STE —, pela oportunidade de execução do trabalho e ao Instituto de Geociências da UFRGS, na pessoa do Prof. Clóvis Carlos Carraro pelos recursos financeiros, que facilitaram a realização do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil: Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. 1973. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife. Ministério de Agricultura, 413p. (Boletim Técnico Divisão de Pesquisa Pedológica, 30).

Franklin, J. 1986. Thematic Mapper Analysis of Coniferous Forest

Structure and Composition. *International Journal of Remote Sensing*, 7 (10):1287-1301.

Klein, R.M. 1989. Ecologia da Floresta Ombrófila Densa: Seu Manejo e Meio Ambiente. *Anais, 2- Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente*, Florianópolis, 3:279-284.

Knipling, E.B. 1969. Leaf Reflectance and Image Formation on Color Infrared Film. In: Johnson, P.L. (ed.) *Remote Sensing in Geology*. University Press, Athens. 244p.

Lindman, C.A.M. & Ferri, M.G. 1974. *A Vegetação no Rio Grande do Sul*. Editora Universidade de São Paulo, São Paulo. 377p.

Milton, N.M. & Mouat, D.A. 1989. Remote Sensing of Vegetation Responses to Natural and Cultural Environment Conditions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55 (8):1167-1173.

Myers, V.I. 1983. Remote Sensing Applications in Agriculture. In: Estes, J.E. *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry, The Sheridan Press. V. 2. 2440 p.

Roche, J. 1966. As Bases Físicas de Ocupação do Solo do Rio Grande do Sul. In: UFRGS. Faculdade de Filosofia. *Três Estudos Rio-grandenses*. Porto Alegre. p.31-64.

Strasburguer, E.; Noll, F.; Schenck, H. & Schimper, A. F. W. 1963. *Tratado de Botanica*. Manuel Marin e Cia. Barcelona. 651p.

Westman, W. & Price, C.V. 1988. Spectral Changes in Conifers Subjected Air Pollution and Water Stress: Experimental Studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26 (1):11-21.

Wooley, J.T. 1971. Reflectance and Transmittance of Light by Leaves. *Plant Physiology*, 47:656-662.