

APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO DO
COMPLEXO ALCALINO DE ITATIAIA

J. E. Rodrigues

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

O presente trabalho sumaria os resultados obtidos na aplicação de sensoriamento remoto na mapeamento de áreas geológicas complexas, através da utilização de imagens MSS/LANDSAT e do mosaico de radar do Projeto RADAMBRASIL, com apoio de dados obtidos em campo. Com área teste foi escolhida a região do Complexo Alcalino de Itatiaia, na trijunção dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Os resultados obtidos no mapeamento das unidades e estruturas geológicas foram satisfatórios, embora não fosse possível a separação dos tipos litológicos que compõem as unidades estratigráficas. Foi assinalado um grande número de lineamentos fotogeológicos, muitos dos quais representativos de falhamentos que chegam mesmo a formar os limites entre unidades estratigráficas. Os trabalhos de processamento automático tiveram como principais resultados o realce de lineamentos e a classificação das áreas sedimentares, entre as quais se incluem os depósitos de talús das encostas dos maciços alcalinos, responsáveis pela formação de jazimentos bauxíticos.

ABSTRACT

The remote sensing methodology applied to geologically complex areas, through the interaction between ground truth and information extracted from multispectral MSS/LANDSAT images and radar mosaic, was evaluated. The chosen test-area covers parts of Minas Gerais, São Paulo and Rio de Janeiro States, and contains the Alkaline Complex of Itatiaia and its surrounding Precambrian terrains. The results of geological and structural mapping were satisfactory, but the lithological types that form the stratigraphic units couldn't be individualized. A lot of photogeological lineaments were mapped, some of which representing the boundaries of stratigraphic units. With automatic processing, some photogeological lineaments were enhanced and sedimentary areas, including talus deposits of alkaline rocks, were classified.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi executado para se esclarecerem alguns importantes aspectos da geologia da região que contém os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, na trijunção dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Entre os problemas abordados destacam-se a definição dos limites entre os grupos Paraíba e Açungui, a identificação de estruturas rúpteis ainda não citadas na literatura e o refinamento na demarcação dos depósitos de talús, potenciais formadores de depósitos bauxíticos.

As informações constantes na literatura a respeito da área estudada mostraram-se muito conflitantes, principalmente pela ausência de trabalhos de síntese, senão em escalas muito pequenas. Assim, além de diferenças consideráveis quanto à cartografia das unidades

geológicas, nota-se também uma grande variação quanto à densidade de informação, principalmente na parte estrutural. Neste aspecto as imagens MSS/LANDSAT podem trazer grande contribuição, tanto por sua abrangência em âmbito regional, quanto pela quantidade de informações que contém a respeito dos aspectos estruturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Durante a execução deste trabalho, foram utilizadas imagens MSS/LANDSAT nos canais 5, 6 e 7 e mosaico de radar do Projeto RADAMBRASIL na escala de 1:250.000. A base planimétrica foi obtida, por redução, a partir de cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000. Para os trabalhos de processamento automático, através do analisador Image-100, foram utilizadas fitas CCTs (Computer Compatible Tapes) da área de interesse.

As várias etapas de desenvolvimento dos trabalhos podem ser agrupadas em três fases, descritas a seguir.

A primeira dessas fases engloba as etapas de coleta de material (imagem MSS/LANDSAT, mosaico de radar e bibliografia) e a análise dos dados obtidos. Esta etapa foi constantemente retomada, uma vez que, durante o desenrolar dos trabalhos, foi frequente a necessidade de consultas a novas informações bibliográficas para esclarecimento de dúvidas ocasionais.

Na segunda fase foram realizados a interpretação visual das imagens (com base em critérios de fotointerpretação convencional), os trabalhos de processamento automático e o controle de campo. Na fotointerpretação visual, os principais critérios foram a textura do relevo (quantidade de descontinuidades de relevo por unidade de área), os aspectos topográficos (destaque e posicionamento dos terrenos) e a distribuição das feições lineares. Subordinadamente, foi considerada a tonalidade fotográfica, levando-se em conta o caráter multiespectral das imagens. Durante o processamento automático, foram utilizadas várias técnicas de pré-processamento (que incluem as filtragens digitais) e classificações, buscando-se realçar a visualização das feições lineares e a individualização das unidades geológicas. Para cada caso foram utilizados os programas disponíveis no analisador Image-100 e, quando possível, introduzidas variações em seus parâmetros de processamento, a fim de se estabelecerem os melhores valores a serem utilizados.

A última fase é constituída pelas etapas de elaboração de mapas e relatórios e pelas avaliações sobre os resultados obtidos. Estas avaliações conduziram a frequentes retomadas de algumas das etapas anteriores do trabalho.

3. GEOLOGIA

Três importantes unidades do contexto tectônico do sudeste brasileiro estão representadas na área: a Faixa de Dobramentos Paraíba do Sul (Almeida et alii, 1973), através do Grupo Paraíba; a Região de Dobramentos Sudeste (Hasui et alii, 1978a), pelo Grupo Açungui; a Zona de Transcorrência São Paulo (Hasui et alii, 1975), através dos falhamentos normais e/ou transcorrentes, abundantes na região. Dentro do esquema das Províncias Estruturais de Almeida et alii (Hasui et alii, 1978c), observa-se que a área estudada é parte da Província Mantiqueira, subdividida em Sub-província Serra do Mar (Grupos Açungui, São Roque e Maciço Mediano de Joinville) e Sub-província Rio Doce (Grupos Paraíba e Barbacena).

Ao Grupo Paraíba pertencem os gnaisses de idade transamazônica situados no sul de Mi-

nas Gerais. São, em geral, augen-gnaisses e gnaisses bandados, ocasionalmente migmatizados pela proximidade de núcleos granitóides (Rodrigues, 1981).

O Grupo Açungui é formado pelos migmatitos brasileiros que compõem os terrenos ao sul da Serra da Mantiqueira. São estromatitos simples e dobrados, caracterizados pela alternância entre bandas claras (neossoma feldspático) e escuras (paleossoma biotítico). Menos frequentemente são encontrados embrechitos, nebulitos anatexitos, agmatitos e diadistitos (Hasui et alii, 1978b).

Inseridos tanto em domínios do Grupo Açungui quanto do Grupo Paraíba, são encontrados corpos granitóides de considerável expressão areal. As datações disponíveis são escasas e fornecem para tais corpos idades de 620 e 540 m.a.

As rochas cataclásticas, embora frequentes, não chegam a formar corpos de dimensões que permitam seu mapeamento na escala deste trabalho. Estão, em geral, associadas aos falhamentos da Zona de Transcorrência São Paulo. São brechas e milonitos de granulação variada; nas primeiras foi ocasionalmente notada a presença de fragmentos miloníticos que sugerem a reincidência dos processos tectônicos (Rodrigues, 1980).

A exemplo dos cataclasitos, também os xistos representam um termo litológico abundante, porém de dimensões reduzidas. Distribuem-se indiferentemente sobre domínios dos Grupos Paraíba ou Açungui, formando faixas estreitas. Hasui et alii (1978b) citam que a presença de clorita e de saussuritização do plagioclásio, nestes xistos, são indicativos de atividade retrometamórfica, na passagem da fácies anfíbolito para a fácies xistos verdes.

Uma das expressões mais notáveis da geologia da área são os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, datados por Amaral et alii (1967) em cerca de 60 m. a., ou seja, entre o Campaniano (Cretáceo Superior) e o Paleoceno. Estas rochas, principalmente as de Itatiaia, foram alvo de detalhados estudos por Ribeiro Filho (1967) e Penalva (1967) que, entre outras conclusões, elaboraram o primeiro mapa geológico desse maciço que contém sua divisão em 4 grupos litológicos, a saber: sienitos/nefelina-sienitos, foiaitos, quartzosienitos e brechas magmáticas.

A sudeste e sudoeste dos maciços alcalinos, estão instaladas as bacias sedimentares terciárias de Resende e Taubaté, respectivamente, cuja gênese está relacionada ao abatimento do Graben do Paraíba, ocorrido durante o tectonismo gravitacional cenozóico que atingiu a região. A Bacia de Taubaté é constituída por uma sequência inferior, lacustre, de folhelhos intercalados por lentes de arenitos e argilitos (Formação Tremembé), sotoposta a

um pacote fluvial areno-argiloso, com níveis conglomeráticos, o qual apresenta, nas bordas, brechas e conglomerados imaturos (Formação Caçapava). A Bacia de Resende, por sua vez, é essencialmente fluvial e pode ser dividida em duas formações: uma inferior (Formação Resende), constituída por arenitos arcóseos; e a outra (Formação Floriano), composta por arenitos argilosos com intercalações silto argilosas e com brechas em suas bordas (Brandalise et alii, 1976).

Ao sul do Maciço Alcalino de Itatiaia são encontrados remanescentes de um grande depósito de tálus, cuja origem vincula-se à encosta antiga desse maciço. O isolamento desse depósito em relação às encostas atuais, bem como o desnível entre seu topo e sua base, levam à conclusão de que são depósitos de idade mais antiga que quaternária, portanto terciária.

Entre os sedimentos quaternários, os mais importantes na área são os depósitos de tálus das encostas dos maciços alcalinos. São compostos por blocos de tamanho muito variado, sobre os quais a bauxitização é fenômeno frequente, chegando mesmo a constituir importantes jazidas, algumas das quais já em regime de exploração.

Com respeito à estruturas geológicas, pode-se dizer que são muito abundantes na área estudada e aparecem em tipo, número e extensão bastante variados. Muitas delas representam importantes elementos da evolução geológica e morfológica da região, inclusive com claros reflexos sobre os aspectos fisiográficos.

Os sedimentos das bacias de Taubaté e Resende exibem abundantes estruturas sedimentares, entre as quais as mais notáveis são a estratificação e a laminação cruzadas, a estratificação gradacional e as marcas de onda, todas indicativas de ambiente fluvial.

As estruturas reliquias e as lineações são muito escassas e de difícil observação. Entre as primeiras a mais importante é a estratificação reliquiar encontrada em alguns quartzitos, enquanto as lineações mais frequentes são as estrias de atrito nos planos de falha (Hasui et alii, 1978b).

Os dobramentos mesoscópicos são um importante elemento de diferenciação entre os Grupos Paraíba e Açungui, nas áreas onde ambas as unidades são compostas por migmatitos (Hasui et alii, 1978b). Estes autores citam a presença de duas gerações de dobramentos para o Grupo Açungui e pelo menos uma a mais para o Grupo Paraíba. Na área deste trabalho, contudo, não foram verificadas senão amplas e suaves flexões sobre os gnaisses que formam o Grupo Paraíba (Rodrigues, 1981).

A escassez de bons afloramentos prejudica a observação e, principalmente, a quantifi-

cação dos sistemas de juntas. Entretanto, Hasui et alii (1978b) citam que, sobre as rochas do Grupo Açungui, ocorrem dois sistemas preferenciais que obedecem às direções WNW e ENE, com mergulhos verticais. Estes sistemas condicionam acentuadamente a drenagem e os elementos de relevo.

As falhas encontradas na área são de dois tipos: transcorrentes e normais. As primeiras são as mais antigas; surgiram do fim do Pré-cambriano ao Cambro-Ordoviciano e formam a Zona de Transcorrência São Paulo (Hasui et alii, 1975). As falhas normais, responsáveis pela estruturação geomórfica da região, foram geradas por reativação dos falhamentos transcorrentes, a partir do Paleoceno. Os falhamentos de ambos os tipos são, em geral, extensos e profundos e criaram uma compartimentação em blocos, cujo desnivelamento acarreta dificuldades nas correlações estratigráficas (Hasui et alii, 1978b).

Sumariando, a evolução geológica da área estudada pode ser apresentada conforme a Tabela 1.

4. RESULTADOS

Grande foi o número de feições lineares identificadas nas imagens MSS/LANDSAT e no mosaico de radar (Figura 1), e muitas delas relacionam-se a falhamentos ou sistemas de fraturas já citados na literatura geológica. Outras dessas feições foram identificadas como falhamentos a partir de observações de campo. É o caso da falha sobre a cidade de Passa Quatro e de outra que passa pela proximidade de Maromba, a leste do Maciço de Itatiaia, ambas com direção NNE. São marcadas, em campo, por xistos e cataclastos e definem um bloco que se estende até o litoral de São Paulo. Este bloco contém os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro e a Soleira de Queluz (divisora das bacias de Taubaté e Resende) e, mais ao sul, as alcalinas de Ilhabela, que sugerem tratar-se de um alto estrutural. Ao atingirem a Zona de Transcorrência São Paulo, as falhas que limitam esse bloco perdem sua continuidade e assumem aspecto segmentário, fato este que sugere sua maior antiguidade em relação às falhas da zona de transcorrência.

Foi observado também que alguns falhamentos que cortam rochas pré-cambrianas apresentam continuidade sobre unidades geológicas mais novas (o Maciço Alcalino de Itatiaia, por exemplo), o que comprova que tiveram atividade em tempos mais recentes.

A distribuição das feições lineares é bastante diversa entre os grupos Paraíba e Açungui, o que constitui um dos critérios de distinção entre ambos na área estudada. Enquanto no Grupo Açungui as feições lineares ocorrem em alta densidade, orientados prefe-

rencialmente para ENE e WNW, no Grupo Paraíba sua densidade é bem menor e sua distribuição

apesar de conter as direções do Açungui, é mais caótica (Rodrigues, 1981).

TABELA 1

EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA

EVENTO	IDADE	CICLO	CARACTERÍSTICAS
Metamorfismo do Grupo Paraíba	Pré-cambriano Médio	Transamazônico	Metamorfismo e Magmatismo Polifásicos
Erosão	Pré-cambriano Superior		Profunda
Subsidência	Pré-cambriano Superior		
Metamorfismo do Grupo Açungui	Pré-cambriano Superior	Brasiliano	Metamorfismo Polifásico
Zona de Transcorrência São Paulo	Fim do Pré-cambriano/ Cambro-Ordoviciano		Falamentos transcorrentes profundos, de direção ENE
Consolidação	Cambro-Ordoviciano		
Magmatismo Ultrabásico a Intermediário	Jurássico Superior/ Cretáceo Inferior	Reativação Wealdeniana	Associado a falhas antigas
Magmatismo Alcalino	Cretáceo Superior/ Paleoceno	Reativação Wealdeniana	Associado a falhas antigas
Arqueamento da Superfície de Erosão Japi	Oligoceno	Reativação Wealdeniana	
Falamentos normais	A partir do Oligoceno	Reativação Wealdeniana	Geram o Grabem do Paraíba, o Horst da Serra do Mar, o Hemi-Host da Mantiqueira e definem a morfogênese.

Quanto às unidades geológicas, pode-se afirmar que a maioria delas foi delimitada apenas por fotointerpretação. Nos casos em que os contatos não se exibem com clareza, os dados obtidos em campo foram suficientes para resolver o problema de sua cartografia. Este foi, por exemplo, o caso dos grupos Paraíba e Açungui, cujos limites estão mascarados pelo tectonismo moderno e pelo modelado do relevo imaturo. Entretanto observa-se, em campo, que tais contatos estão condicionados pelas falhas de Pinheiros, Cruzeiro e Queluz, cujos traçados são nítidos nas imagens MSS/LANDSAT e no mosaico de radar.

Quatro corpos granitoides foram mapeados na área, dois dos quais não são citados na literatura. A exemplo do que ocorreu com os limites entre os grupos Paraíba e Açungui, a cartografia dos limites destes granitoides teve de contar com o apoio de dados de campo,

notando-se que parte de seus contatos está assinalada por falamentos, em geral nítidos, nas imagens.

Os xistos encontrados em campo apresentam constante relação com lineamentos observados nas imagens, o que sugere que constituem rochas retrometamórficas associadas a zonas de falha. Esta evidência é corroborada por Hasui et alii (1978b), que mostram que a presença de clorita e de saussuritização de plagioclásios são indicativas de atividade retrómetamórfica sobre esses xistos.

Delimitaram-se os maciços alcalinos com relativa precisão e observaram-se áreas de 212 e 191 km² para os maciços de Passa Quatro e Itatiaia, respectivamente, o que indica que, ao contrário do suposto, o primeiro é, na realidade, o maior deles.

Os limites das bacias sedimentares foram assinalados com clareza na fotointerpretação, podendo ser comprovada a presença de falhas que condicionam suas bordas setentrionais. São as falhas de Cruzeiro e Queluz que formam os limites norte das bacias de Taubaté e Resende, respectivamente.

No sopé das encostas dos maciços alcalinos foram identificados vários depósitos coluviais, importantes por sua alteração a bauxita. Embora esses depósitos ocupem todo o perímetro dos maciços, apenas os mais possantes puderam ser mapeados, uma vez que os demais constituem pequenas formações, não caracterizáveis na escala deste trabalho (Figura 1).

4.1 - COMPORTAMENTO FOTOGEOLÓGICO DAS UNIDADES

Na área estudada o Grupo Paraíba caracteriza-se, fotogeologicamente, por uma textura de relevo média em comparação às demais unidades. Seu relevo é formado por vales e cristas bem acentuados, em geral longos e distribuídos sem direcionamento preferencial. As feições lineares observadas neste grupo não mostram um padrão definido, distribuindo-se de forma desordenada (Figura 2).

A textura de relevo do Grupo Açungui é consideravelmente mais alta que a do Grupo Paraíba, com vales e cristas de pequenas dimensões, porém condicionados aos principais sistemas de fraturas que cortam suas rochas. Uma de suas características é a homogeneidade das dimensões de seus vales e cristas, principalmente entre aqueles condicionados aos sistemas NW de fraturas (Figura 3).

Os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro são bastante nítidos nas imagens e mostram baixa textura de relevo e acentuado destaque que na topografia em relação às áreas adjacentes, com bordas marcadas por pronunciado escarpamento (Figura 4).

As bacias sedimentares de Taubaté e Resende são caracterizadas, nas imagens MSS/LANDSAT, por uma textura de relevo muito baixa, em nítido contraste com as áreas adjacentes. No mosaico de radar essa textura apresenta-se levemente mais alta, pois a melhor resolução do sistema permite a visualização do entalhamento exercido pela drenagem. O relevo é plano, entrecortado por vales estreitos, sinuosos e rasos (Figura 5). Uma característica fotogeológica importante destas bacias, na área estudada, é a total ausência de feições lineares sobre elas.

Os depósitos terciários de tálus, situados ao sul do Maciço Alcalino de Itatiaia, caracterizaram-se, nas imagens MSS/LANDSAT e no mosaico de radar, por um nítido destaque topográfico em relação ao embasamento. Sua superfície mostra-se radialmente entalhada pelo ravinhamento e assume uma textura de relevo média, sobretudo quando observada no mosaico de radar (Figura 6).

Os depósitos quaternários de tálus desta cam se por seu posicionamento ao sopé das encostas; sua textura de relevo e tonalidade fotográfica exibem grande variação entre suas áreas de ocorrência. O relevo em geral é plano, com variável grau de entalhamento pela drenagem.

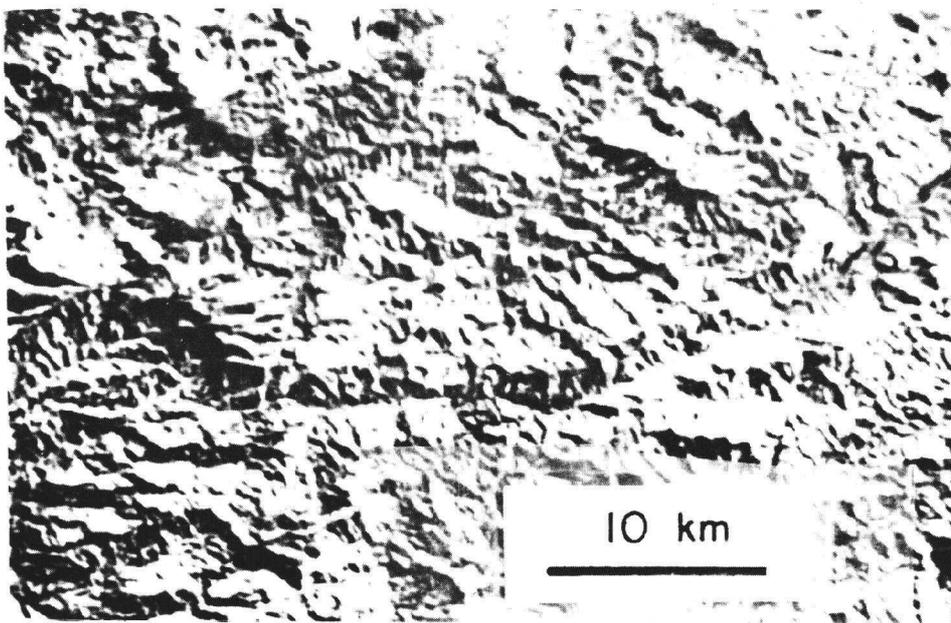


Fig. 2 - Aspecto do Grupo Paraíba no canal 6 do MSS/LANDSAT.

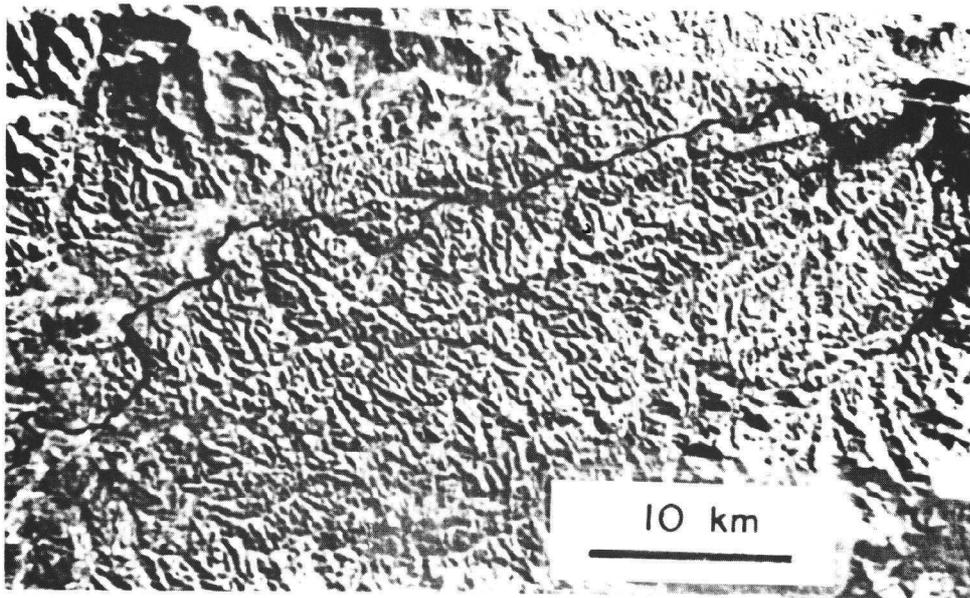


Fig. 3 - Aspecto do Grupo Açungui no canal 6 do MSS/LANDSAT.

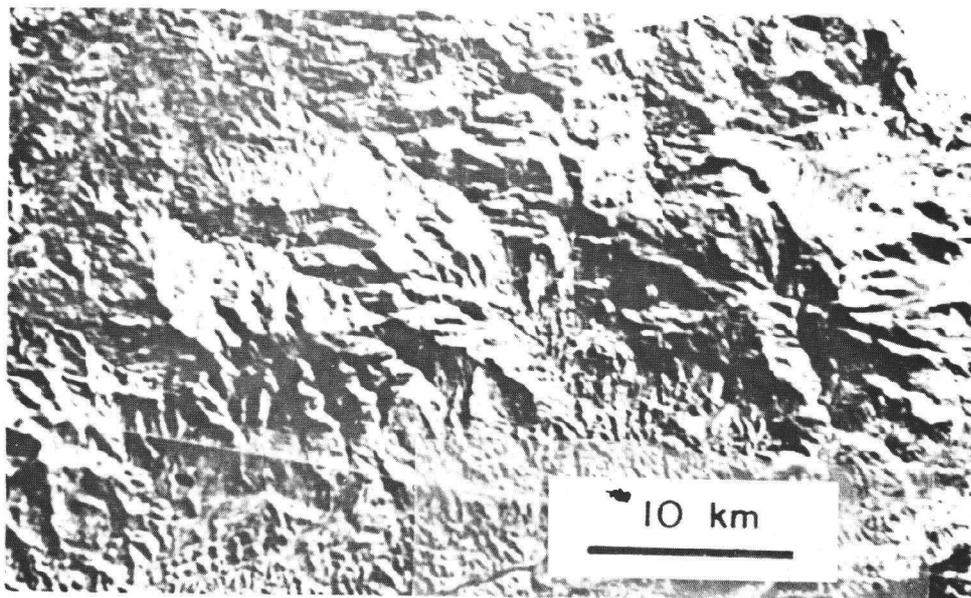


Fig. 4 - Aspecto dos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro no canal 6 do MSS/LANDSAT.

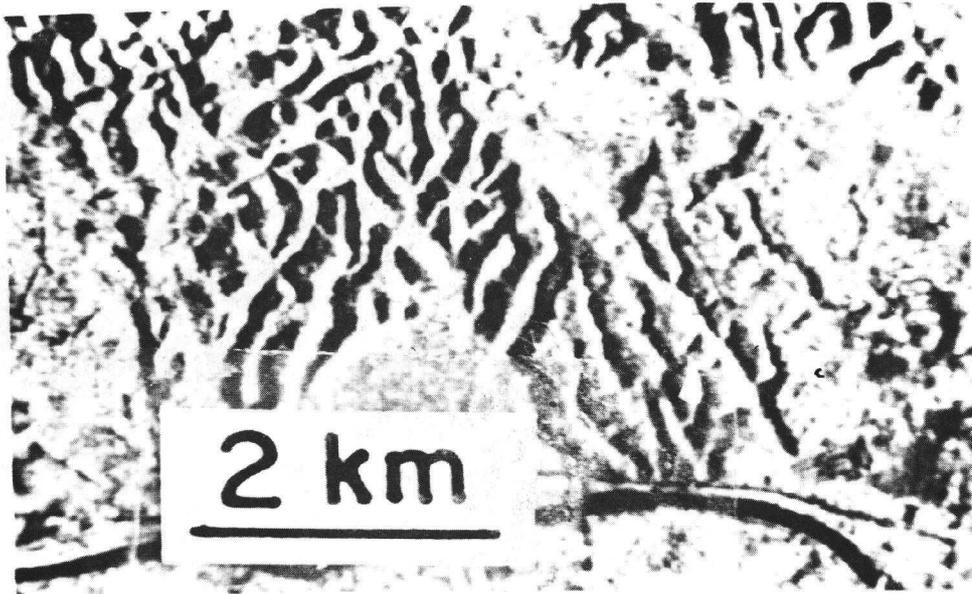


Fig. 5 - Aspecto das bacias sedimentares de Taubaté e Resende, no mosaico de radar.



Fig. 6 - Textura de relevo dos depósitos de tálus terciários, no mosaico de radar.

Os aluviões são prontamente identificados nas imagens, tanto por seu posicionamento ao longo dos rios mais expressivos quanto por seu relevo totalmente plano e textura de relevo nula. São mais facilmente identificados no mosaico de radar, onde sua textura de relevo apresenta maior contraste com as áreas adjacentes.

4.2 - PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DAS IMAGENS

Nesta etapa do trabalho foram utilizadas as técnicas disponíveis para processamento automático, com ênfase em dois tópicos: a melhoria dos aspectos visuais da imagem (pré-processamento) e individualização das unidades geológicas (classificações). Sempre que possível foram introduzidas variações nos parâmetros de processamento dos programas, a fim de se estabelecerem os melhores valores a serem utilizados. Os principais resultados alcançados estão relacionados a seguir.

4.2.1 - PRÉ-PROCESSAMENTO

Vários foram os casos em que as técnicas de pré-processamento, incluindo as filtragens digitais, melhoraram a visualização de alguns aspectos específicos da cena.

Em um desses casos foi executado o programa Scaling (GE, 1975) do canal 5, multiplicando-se os níveis de cinza por 2. O resultado foi lançado, com filtros verde e azul, numa composição com o canal 6 original sob filtro vermelho, no vídeo do sistema I-100. Desse procedimento resultou um grande realce da vegetação original, podendo-se perceber vividamente que a cobertura vegetal se desenvolve tanto sobre os terrenos alcalinos como sobre as áreas gnáissicas, sem exibir qualquer condicionamento à litologia (Figura 7).

A influência exercida pela Falha de Quiluz sobre os depósitos de tálus ao sul do Maciço Alcalino de Itatiaia foi notavelmente realçada pela composição entre os Contrast Stretch (GE, 1975) dos canais 5 (com filtro vermelho) e 7 (com filtros verde e azul), conforme pode ser observado na Figura 8.

Com respeito às filtragens digitais, pode-se dizer que, em Geologia, um dos principais objetivos é a obtenção de realces das feições lineares, através da ampliação do contraste tonal entre os elementos que formam a imagem. Neste trabalho foram utilizados todos os filtros bidimensionais curtos (Dutra, 1982) disponíveis em "software" no sistema I-100. Os principais resultados alcançados estão relacionados a seguir.

A aplicação do filtro MD5FIL (Dutra, 1982) sobre o canal 7 resultou no realce dos

lineamentos sobre o maciço alcalino de Itatiaia e do falhamento NW sobre a cidade de Passa Quatro, no extremo oeste da área, além de acentuar o contraste tonal entre as áreas sedimentares e seu embasamento (Figura 9).



Fig. 7 - Composição entre o canal 6 e o Scaling do canal 5 do MSS/LANDSAT.



Fig. 8 - Composição entre o Contrast Stretch dos canais 5 e 7 do MSS/LANDSAT.

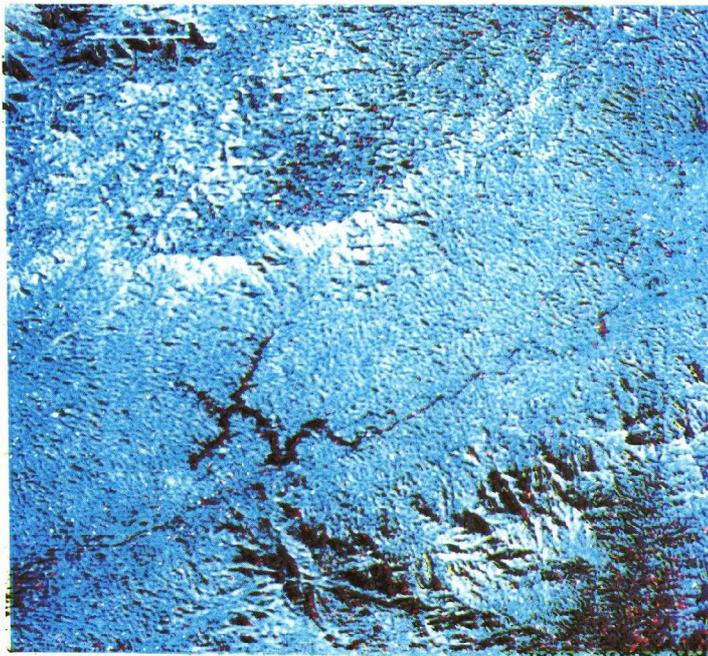


Fig. 9 - Filtro MD5FIL sobre o canal 7 do MSS/LANDSAT.

Foram feitas várias tentativas de filtrações com os filtros do tipo I, II e III (Dutra, 1982) e o melhor resultado foi fornecido pelo filtro do tipo II, aplicado sobre o canal 6 do MSS/LANDSAT, cujos pesos são $A = 1$, $B = -2$, $C = 15$ e $D = 0$. Com este procedimento foram realçados os lineamentos NW contidos nos domínios do Grupo Açungui e torna-se visível a continuidade, por sobre o maciço alcalino de Itatiaia, do falhamento que limita a borda norte do tálus situado a leste desse maciço (Figura 10).

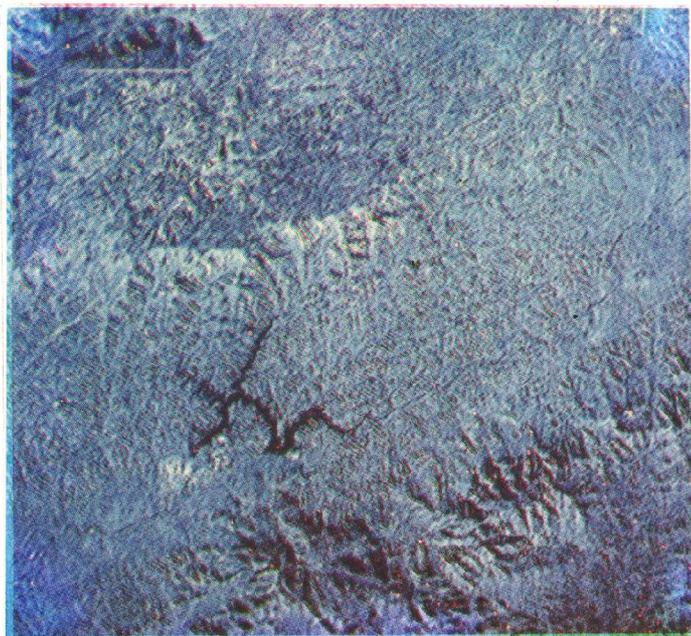


Fig. 10 - Filtro do tipo II sobre o canal 6 do MSS/LANDSAT.

Tendo-se em vista que as filtrações digitais promovem o aumento do contraste tonal da cena, foi efetuada uma composição entre os produtos das filtrações dos canais 6 (filtro II com $A = 1$, $B = -2$, $C = 15$ e $D = 0$) e 7 (filtro III com $A = 1$, $B = -2$, $C = 19$ e $D = -2$). Como resultado, foram consideravelmente destacados os depósitos sedimentares, representados na Figura 11 pelas áreas em azul escuro.

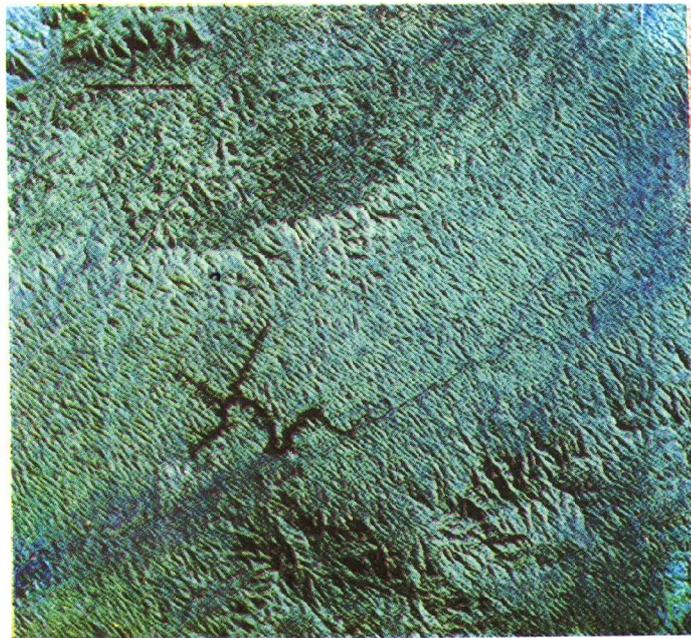


Fig. 11 - Composição entre o canal 6 com filtro do tipo II e o canal 7 com filtro do tipo III.

4.2.2 - CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA

O mais importante resultado conseguido com uso de técnicas de classificação automática foi através do programa MAXVER (Velasco et alii, 1978) dos quatro canais do MSS/LANDSAT. Foram definidas três classes: tálus, aluviões e vegetação densa, e chegou-se ao resultado exposto na Figura 12, onde as áreas em verde representam os tálus, as em azul os aluviões e as em vermelho a vegetação densa. É necessário dizer que há um erro de inclusão que não pôde ser eliminado, erro esse muito menor que o das outras técnicas utilizadas (Rodrigues, 1981).

Outro bom resultado foi fornecido pela composição entre o Single-cell (GE, 1975) dos canais 5 e 7 e o tema 1 do Slicer (GE, 1975) do canal 7. Nesta composição destacam-se os depósitos sedimentares em conjunto, representados na Figura 13 pelas áreas em tons esverdeados.

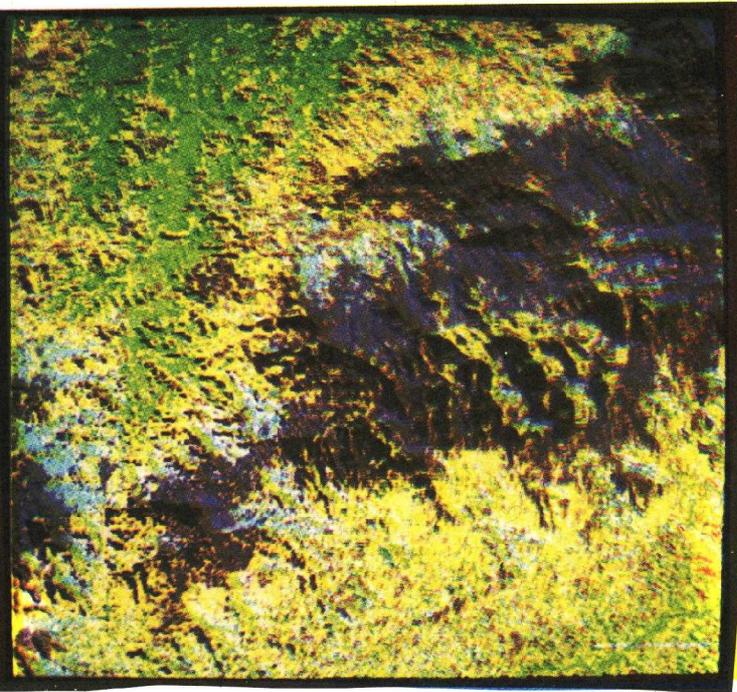


Fig. 12 - MAXVER dos quatro canais do MSS/LANDSAT.

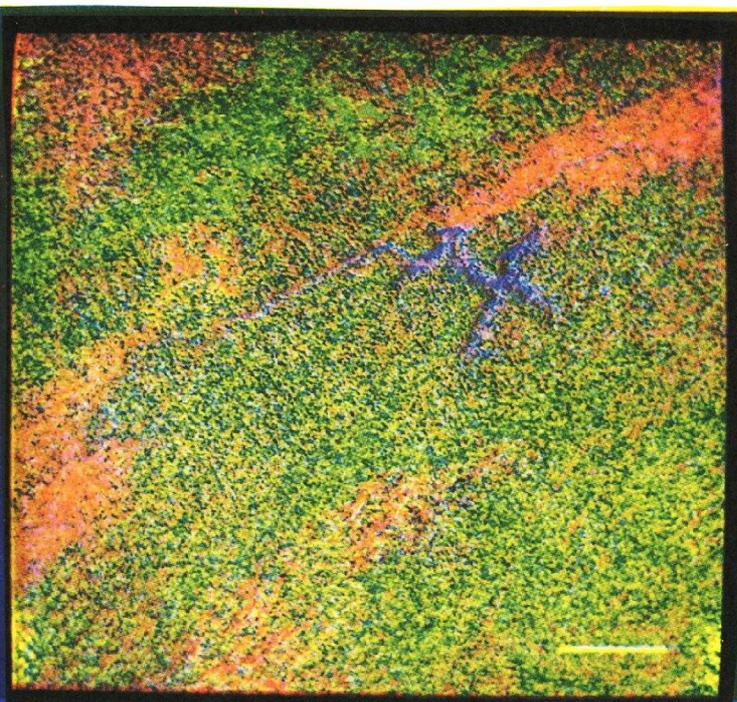


Fig. 13 - Composição entre o Single-Cell dos canais 5 e 7 e o tema 1 do Slicer do canal 7 do MSS/LANDSAT.

5. CONCLUSÕES

Os principais critérios de fotointerpretação utilizados na individualização das unidades geológicas foram aqueles relacionados aos aspectos do relevo, tanto nos casos em que ele define uma textura, quanto naqueles em que confere destaque topográfico a uma unidade específica. Secundariamente foi utilizado o

posicionamento topográfico dos terrenos (por exemplo, a localização dos tálus no sopé das encostas) e a distribuição das feições lineares observadas nas imagens. A tonalidade fotográfica foi encarada de forma restrita, como critério de separação das unidades geológicas, por não exibir relações senão ocasionais com as variações litológicas.

As unidades estratigráficas fanerozóicas foram delimitadas com precisão, utilizando-se unicamente a análise das imagens MSS/LANDSAT e do mosaico de radar. Sobre os terrenos pré-cambrianos, contudo, a demarcação dos limites entre as unidades (grupos Paraíba e Açungui e núcleos granitóides) só foi possível através do apoio da verdade terrestre, uma vez que os aspectos fotogeológicos não permitiram, por si só, a identificação dos contatos.

As feições lineares puderam ser identificadas em abundância, constatando-se, em campo, que muitas delas correspondem a falhamentos não citados na literatura geológica, principalmente aquelas situadas no sul de Minas Gerais: Dois desses falhamentos, de direção NE (Figura 1) definem um bloco que contém os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa-Quatro e a Soleria de Queluz e, fora da área estudada, as alcalinas de Ilhabela, no litoral paulista, o que sugere tratar-se de um alto estrutural. Bastante clara nas imagens MSS/LANDSAT e no mosaico de radar é a presença de falhamentos de direção ENE, que condicionam as bordas setentrionais das bacias de Taubaté e Resende.

As filtragens digitais demonstraram ser um importante recurso em pesquisa geológica, tanto por proporcionarem a visualização de lineamentos indistintos na cena original, quanto por ampliarem os contrastes entre áreas marcadas por sutis diferenças tonais. As classificações automáticas, na maior parte das vezes, permitiram a separação de apenas duas classes: uma composta pelos depósitos sedimentares, em conjunto, e outra pelo embasamento pré-cambriano e pelas rochas alcalinas. Com menor frequência foram separados os depósitos de tálus como uma classe à parte, havendo sempre um considerável erro de inclusão provocado pela similaridade espectral dos terrenos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de; AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. The Precambrian evolution of the South America cratonic margin South of the Amazon River. In: NAIRN, E.M.; STEHLI, F.G. *The ocean basins and margins*. New York, Plenum, 1973. v. 1, p. 411-446.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 31:117-142, 1967.

- BRANDALISE, L.A.; RIBEIRO, J.H.; FERRARI, P. G. *Projeto Vale do Paraíba do Sul: relatório final*. Convênio DNPM-CPRM. Belo Horizonte, CPRM, 1976.
- DUTRA, L.V. *Extração de atributos espaciais em imagens multiespectrais*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, fev. 1982. (INPE-2315-TDL/078).
- GENERAL ELECTRIC (GE). *Image-100. user manual*. Daytona Beach, Fl., 1975.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; BRITO NEVES, B.B. de *As estruturas brasileiras*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978a. *Anais*. Recife, SBG, 1978, v. 6, p. 2423-2437.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. *The Ribeira Folded Belt*. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4);257-266, 1975.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.D.R. *A zona marginal Sul do Craton de São Francisco*. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA. *Anais da Reunião preparatória para o Simpósio sobre o Craton do São Francisco*. Salvador, dez., 1978c. Salvador, SBG, 1981, p. 205-213. (Publicação Especial nº 3).
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STERN, D.P.; GALVÃO, C.A.C.F.; GIMENEZ, A. F.; ALMEIDA, M.A. de; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S. de; SANTOS, M. do C.S.R. dos *Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT, 1978b. (Publicação IPT, 1106).
- PENALVA, F. *Geologia e tectônica da região do Itatiaia*. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo; Geologia*, (22):94-196, 1967.
- RIBEIRO FILHO, E. *Geologia e petrologia dos maciços alcalinos do Itatiaia e Passa Quatro*. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo; Geologia*, (22):9-93, 1967.
- RODRIGUES, J.E. *Aplicação de sensoriamento remoto no mapeamento fotogeológico da região do Complexo Alcalino de Itatiaia*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, set. 1981. (INPE-2220-TDL/062).
- . *Trabalho de campo na região dos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro*. São José dos Campos, INPE, ago. 1980. (INPE-1860-NTI/141).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. de *Sistema MAXVER: manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul. 1978. (INPE-1315-NTI/110).

