

AVALIAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO LEVANTAMENTO GEOLÓGICO
DA REGIÃO COMPREENDIDA ENTRE SÃO BENTO DO SAPUCAÍ E CARAGUATATUBA.

A.R.DOS SANTOS; C.C.LIU; C.E.DOS ANJOS; E.CREPANI; J.E.RODRIGUES;
M.P.BARBOSA; M.G.BALIERO; P.R.MARTINI; P.R.MENESES; P.VENEZIANI;
R.ALMEIDA FILHO; S.M.GUERRA; T.OHARA; W.R.PARADELLA

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP - BRASIL

Y. HASUI
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - SP
SÃO PAULO - SP - BRASIL

RESUMO

O presente trabalho constou da interpretação e avaliação de resultados, obtidos por análise visual de imagens LANDSAT nas escalas 1:250.000 e 1:500.000 e mosaicos de radar, do projeto RADAMBRSIL, na escala 1:250.000. Foi realizado por três equipes, independentes entre si, cada qual utilizando um dos produtos de Sensoriamento Remoto. Finalmente, procurou-se uma integração dos resultados, através da comparação das diferentes unidades fotogeológicas interpretadas e dos dados obtidos através de um perfil de campo, este, na escala 1:50.000. Os resultados obtidos são mostrados sob a forma de três mapas e uma figura, que estabelece a correlação das unidades fotogeológicas, interpretadas ao longo do perfil São Bento do Sapucaí - Caraguatatuba.

ABSTRACT

The geologic perfil, from São Bento do Sapucaí to Caratutuba presents an evaluation of the results obtained through visual interpretation of LANDSAT images, at the scales of 1:250.000 and 1:500.000; the RADAR mosaics from RADAMBRASIL Project, at the scale of 1:250.000 were also analyzed. Three teams carried out this study and worked independently with the three types of remote sensing mentioned above. The different photogeological units obtained by each team were compared with field data, which were plotted on the 1:50.000 topographic chart. The results are shown in those maps and one table which shows the relationship between the different photogeological units.

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo, foi a avaliação da potencialidade de dos diferentes produtos de Sensoriamento Remoto, para o levantamento geológico regional de áreas pré-cambrianas. Foram utilizadas imagens multiespectrais do LANDSAT nas escalas 1:500.000 e 1:250.000 e mosaicos semicontrolados de RADAR, na escala 1:250.000.

A área teste estudada localiza-se na região sudeste do Estado de São Paulo, definida entre as cidades de São Bento do Sapucaí, próxima à divisa com o Estado de Minas Gerais, e Caraguatatuba, no litoral paulista.

2. METODOLOGIA

A análise das imagens LANDSAT e dos mosaicos de Radar foi feita visualmente, segundo os métodos tradicionais de fotointerpretação. De um modo geral, a metodologia empregada pode ser subdividida nas seguintes etapas:

- Identificação e traçado das figuras culturais (cidades, estradas, etc.);
- Identificação e delimitação das feições geomorfológicas;
- Identificação e delimitação de unidades fotogeológicas, baseadas nas variações tonais, grau de dissecação do relevo, feições topográficas, padrões estruturais e de drenagem.
- Integração com os dados do perfil de campo e delimitação dos mapas.

Como suporte à interpretação dos produtos de Sensoriamento Remoto, foi levantada a geologia ao longo da estrada que liga São Bento do Sapucaí a São José dos Campos, e esta, a Caraguatatuba, com informações compatíveis à escala 1:50.000. O perfil foi contínuo com caracterizações detalhadas de âmbito geológico e estrutural.

Subsequentemente realizou-se a interpretação fotogeológica, sem considerar as informações do perfil básico. De uma maneira geral, excluindo-se o traçado das grandes falhas, as unidades delimitadas apresentavam uma correspondência insatisfatória, de produto a produto e destes quando confrontados com os dados de campo.

Processou-se então, uma nova análise, com base nas informações de campo e para isto, então, foram simplificadas para mostrar apenas os conjuntos litológicos predominantes. Com base neste procedimento, foi, então, possível a confecção de três mapas, resultantes da interpretação dos 3 produtos de Sensoriamento Remoto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - GEOLOGIA DA ÁREA

Predominam na região, rochas pré-cambrianas, policíclicas e polifásicas, pertencentes a dois eventos geotectônicos distintos. As rochas mais antigas, encontradas na área, foram atribuídas ao Transamazônico e englobadas como pertencentes ao Grupo Paraíba, de ocorrência restrita à porção do perfil ao norte da bacia de Taubaté. Ele é representado predominantemente por migmatitos complexos, de paleossoma xistoso que ocorrem na região de São Bento do Sapucaí e próximo à cidade de Monteiro Lobato, tendo aí, como limite sul, o grande falhamento de Jundiuvira. De uma maneira geral, no entanto, a passagem dos migmatitos Paraíba para os migmatitos Açunguá nem sempre é clara, devido à ausência de bons afloramentos e aos processos de migmatização e granitização brasileiros superimpostos.

O segundo conjunto de rochas prē-cambrianas da área, foi atribuído ao Grupo Açunguĩ, de idade brasiliana. São migmatitos simples e ectinitos (xistos, quartzitos, calco-silicatadas etc.), que apresentam contatos transicionais entre si, e granitoides.

Como critério de campo, os migmatitos Açunguĩ foram reunidos em dois conjuntos: migmatitos estromatíticos heterogêneos e homogêneos. Os homogêneos podem gradar para nebulitos, embrechitos e anatexitos, recebendo a denominação genérica de granitoides, quando se apresentavam parcialmente discordantes com relação à foliação das rochas circundantes, fazendo supor, nesses casos, uma certa mobilização para esses corpos, que não ocorre, mesmo nos migmatitos mais evoluídos. Nos migmatitos estromatíticos heterogêneos o paleossoma é xistoso, enquanto nos homogêneos ele é de natureza gnáissica. Em ambos, o neossoma é granítico e, as vezes, pegmatítico ou aplítico.

A atividade das grandes falhas transcorrentes da região, tais como Jundiuvira, Buquira, Taxaquara e Cubatão, desenvolveu extensas faixas de rochas cataclásticas, reunidas sob a denominação de milonitos e protomilonitos, conforme o grau de moagem a que foram submetidas.

O Mesozóico é representado, na área, por diques de diabásio e de alcalinas, ligados à reativação tectono-magmática da Plataforma Sul Americana, e o Cenozóico pelos sedimentos terciários da bacia de Taubatē e pelos depósitos aluvionares, dispostos ao longo dos principais rios da região, e pelos depósitos costeiros.

3.2 - ANÁLISE DOS EVENTOS DE DEFORMAÇÃO

Os dados de campo permitiram reconhecer seis eventos de deformação nas rochas do Grupo Paraíba. Destes, os cinco últimos são comuns também ao grupo Açunguĩ.

A primeira fase de deformação do grupo Paraíba (F_1) é ainda mal conhecida, sendo representada por dobras intrafoliais, transpostas, mostrando xistosidade em posição plano-axial. Esta fase de formação pode ter se desenvolvido concomitantemente com os eventos iniciais de metamorfismo e inversão geossinclinal do evento Transamazônico.

O segundo evento de deformação Paraíba (F_2) é também ainda mal conhecido, caracterizado por dobras intrafoliais, de ápices espessados, transpostas, nas quais a xistosidade apresenta-se acompanhando o dobramento. Esta parece corresponder à primeira fase de formação, desenvolvida no sítio do geossincline Açunguá, representada agora por dobras, às vezes de dimensões métricas, nas quais a xistosidade é plano-axial.

O terceiro evento de deformação observado (F_3), no grupo Paraíba, corresponde ao segundo do grupo Açunguá. Ele é de âmbito regional e comum aos dois grupos, sendo responsável pelas dobras generalizadamente observadas, incluindo as macro estruturas antiformais e sinformais. A vergência desses dobramentos é para sul, na região de São Bento do Sapucaí e para norte, a partir de São José dos Campos, convergindo para formar uma grande estrutura antiformal, no núcleo da qual alojaram-se os granitóides Açunguá e os migmatitos evoluídos do grupo Paraíba, entre as cidades de Sapucaí-Mirim e Monteiro Lobato. No trecho do perfil entre São José dos Campos e Caraguatatuba, a vergência é feita inicialmente para sul, volta-se para norte, na porção intermediária do perfil, e novamente para sul, até o litoral. Essas mudanças na vergência caracterizam uma estrutura antiformal, em cujo núcleo alojou-se o corpo granítico observado imediatamente ao sul da cidade de Paraíba e outra sinformal, representada na área da represa homônima. Este padrão estrutural, analisado em conjunto, mostra que a bacia sedimentar de Taubaté, alojou-se e evoluiu em uma importante zona de mudança de vergências, que são voltadas para norte, ao norte da bacia e para sul, no lado oposto.

A quarta fase de deformação (F_4) é representada por crenulações observadas nos xistos do Grupo Açunguã, não muito evidente no paleossoma dos migmatitos da região.

A evolução das grandes falhas transcorrentes assinala o quinto evento de deformação (F_5), responsável pelas extensas faixas de rochas cataclásticas observadas na região.

Todas as litologias da região foram indistintamente afetadas por sistemas de juntas, que representam o último evento de deformação (F_6) observado.

3.3 - MOSAICOS SEMICONTROLADOS DE RADAR

A análise dos mosaicos de RADAR, permitiu reconhecer os domínios de ocorrências dos grupos Paraíba e Açunguã. Uma vez que as imagens são pobres em tons de cinza, a interpretação baseou-se unicamente nas variações texturais e topográficas (Figura 1).

As áreas de exposição do grupo Paraíba, na região de São Bento do Sapucaí e a norte do falhamento de Jundiuvira foram bem individualizadas, assim como o corpo de rocha metadiorítica encontrado a sul de Sapucaí-Mirim. (Figura 1: A_1 , A_2 , A_3 , A_4 e B, respectivamente).

Ainda no trecho norte do perfil, foram individualizadas as áreas de ocorrência do grupo Açunguã, representadas por migmatitos (Figura 1: C_1 , C_2 e C_3) e granitoides, (Figura 1: G_1) assim como a extensa faixa de milonitos associada à zona da falha do Buquira (Figura 1: H).

No trecho sul do perfil, onde ocorre somente o grupo Açunguã, reconheceram-se as áreas de ocorrências dos migmatitos (Figura 1: C_4 , C_5) e dos granitoides (Figura 1: G_2 , G_3) desse grupo. Dentro do domínio dos migmatitos, individualizou-se uma unidade fotogeológica que os trabalhos de campo mostraram tratar-se de uma faixa de migmatitos embrechíticos (Figura 1: D) predominante na região da represa de

Paraibuna, e que se destaca dos migmatitos estromatíticos regionais, por apresentar um relevo mais dissecado.

As faixas de rochas cataclásticas, associadas às zonas das falhas de Taxaquara, Cubatão e Natividade foram também bem reconhecidas nos mosaicos (Figura 1:H).

Os depósitos costeiros e os sedimentos da bacia de Taubaté foram facilmente individualizados, devido às suas características morfológicas e textura lisa (Figura 1: I, J).

Com relação às feições estruturais, os mosaicos de radar mostraram-se altamente potenciais. Distinguiram-se três tipos de lineamentos que se expressaram por distintas feições topográficas. Confrontando esses lineamentos com aqueles aferidos em campo, verificou-se que correspondiam a falhas de caráter transcorrente, falhas normais e juntas.

Através de diagramas de juntas, obtidos em medições de campo, pode-se ainda verificar que os principais sistemas foram identificados nos mosaicos, com exceção daqueles que mostravam direções aproximadamente E-W, isto é, paralelos à direção do feixe de imageamento e, portanto, sem possibilidade de realce.

3.4 - IMAGENS LANDSAT 1:500.000

A análise das imagens multiespectrais LANDSAT, na escala 1:500.00, segundo a metodologia mencionada, permitiu reconhecer, com detalhe compatível com a escala, os grandes traços da compartimentação lito-estratigráfica e estrutural da região abordada (Figura 2). Embora as imagens dos canais 5 e 7 e colorida composta tenham sido interpretadas em conjunto, a imagem do canal 7 foi a que mostrou os melhores resultados. A alta reflectância da vegetação na faixa espectral do infravermelho imprime, à imagem daquele canal, tonalidades claras de cinza que, aliadas a efeitos de sombreamento, ressaltam muito bem

as feições morfológicas e os padrões de textura do terreno.

Foi possível verificar, nessa escala de trabalho, as áreas de ocorrência dos grupos Paraíba e Açunguã. No trecho do perfil ao norte da bacia de Taubaté, as rochas do grupo Paraíba são individualizadas por apresentarem topografia acidentada, textura grossa e tonalidades claras de tons de cinza. Em geral esta unidade forma serras que se destacam na paisagem (Figura 2: A).

Dentro do grupo Açunguã foram identificadas três grandes unidades fotogeológicas. As informações de campo mostraram que a primeira dessas unidades, de ampla distribuição areal, tanto a norte como a sul da bacia sedimentar de Taubaté, corresponde à área de predominância de migmatitos (Figura 2: C). Ela é caracterizada por um relevo moderado, fortemente dissecado e com textura fina que contrasta muito bem com as características fotogeológicas do grupo Paraíba.

A segunda unidade fotogeológica do grupo Açunguã ocorre em uma faixa relativamente estreita, compreendida entre os falhamentos de Taxaquara e Cubatão. Mostra relevo mais acidentado e ravinado, e tons de cinza mais escuros que aqueles da unidade anterior. Os dados de campo mostraram que essa unidade fotogeológica corresponde à área de ocorrência dos xistos Paraibuna e das faixas de rochas cataclásticas, associadas aos grandes falhamentos, não sendo possível, no entanto, separar esses dois conjuntos litológicos (Figura 2: F).

A terceira e última unidade fotogeológica, reconhecida no grupo Açunguã, corresponde à área de predominância dos granitóides, na região da represa de Paraibuna até o litoral. Os granitóides foram separados dos migmatitos por apresentarem textura mais grosseira e feições topográficas mais salientes, além de tons de cinza mais escuros. (Figura 2: G).

As faixas de rochas cataclásticas associadas aos falhamentos de Cubatão e Jundiuvira foram também reconhecidos (Figura 2: H).

Os depósitos cenozóicos da baixada litorânea e os sedimentos da bacia de Taubaté, foram facilmente individualizados, pela textura lisa e ausência de lineamentos, fazendo forte contraste com as rochas pré-cambrianas circundantes (Figura 2: K).

Do ponto de vista estrutural, além da grande quantidade de pequenos lineamentos, foi possível identificar, com facilidade, o traçado das grandes linhas de falhas, como Jundiuvira, Buquira, Taxaquara, etc.

3.5 - IMAGENS LANDSAT 1:250.000

A análise das imagens multiespectrais LANDSAT nesta escala, permitiu um maior detalhamento das unidades litológicas da região (Figura 3).

As duas áreas de afloramento do grupo Paraíba foram facilmente identificadas, com base nas suas características fotogeológicas já mencionadas. Foi possível identificar também, o corpo de metadiorito, que ocorre ao sul da cidade de Sapucaí-Mirim (Figura 3: A₁, A₂, A₃ e B, respectivamente).

Ainda no trecho norte do perfil, foram identificadas duas unidades fotogeológicas dentro do domínio de ocorrência do grupo Açunguá. A primeira delas corresponde a migmatitos, predominantes ao sul da falha de Jundiuvira, e a segunda a granitóides, próximos a cidade de Sapucaí-Mirim, alojados no núcleo de uma grande estrutura antiformal, reconhecida nos trabalhos de campo (Figura 3: C₁, C₂ e G).

As faixas de milonitos e protomilonitos associadas à falha do Buquira foram identificadas nas imagens, por apresentarem uma textura segmentada, homogênea média (Figura 3: H).

No trecho sul do perfil, a análise das imagens permitiu reconhecer várias unidades litológicas dentro do grupo Açunguá. A primeira delas corresponde aos xistos Paraibuna, que apresentam, nas

imagens um relevo acidentado e ravinado (Figura 3: F). Os milonitos que acompanham as zonas das falhas de Taxaquara, Cubatão e Natividade foram também individualizados nas imagens (Figura 3: H).

Na faixa de ocorrência dos migmatitos foi possível reconhecer, sempre com o auxílio dos dados de campo, os domínios de predominância dos migmatitos estromatíticos heterogêneos dos homogêneos. Os primeiros, devido ao bandamento e ao paleossoma xistoso, são mais facilmente alteráveis, apresentando nas imagens um relevo dissecado e arrasado, com tons de cinza claro (Figura 3: C₃). Já os migmatitos homogêneos formam feições topográficas mais salientes, textura mais grosseira e tons de cinza mais escuro, o que permite individualizá-las (Figura 3: D).

Os migmatitos embrechíticos que ocorrem no interior da estrutura sinformal, reconhecidos nos trabalhos de campo, na região da represa de Paraibuna, foram também identificados. Esta unidade fotogeológica caracteriza-se, nas imagens, por apresentar cristas levemente sinuosas, separadas por pequenos vales e tons de cinza claro no canal 7 (Figura 3: F₁, F₂).

As zonas de predominância de granitoides foram facilmente individualizadas, por apresentarem textura mais grosseira e topografia mais acidentada que os migmatitos. Os granitoides predominam ao sul e ao leste da cidade de Paraibuna, entre os blocos estruturais delimitados pelas falhas de Taxaquara e Natividade e, principalmente na região costeira, ao sul da falha do Bairro Alto (Figura 3: G).

Os depósitos costeiros e os sedimentos terciários da bacia de Taubaté foram facilmente mapeados, pelas suas características fotogeológicas, já mencionadas (Figura 3: I, J).

Do ponto de vista estrutural, além de vários sistemas de juntas, foram reconhecidos os traços de todas as grandes falhas da região.

4. CONCLUSÕES

A Figura 4 mostra uma tentativa de correlação entre as unidades fotointerpretadas, dos tres produtos utilizados. É relevante, ao analisar esta Figura, ter em mente que o perfil de campo foi reali_zado apenas ao longo da estrada, e que as equipes de fotointérpretes, trabalharam independentemente, o que explica a não apresentação de um mapa integrado.

Sendo cerca de 80% da região estudada, constituída por rochas de composição predominantemente quartzo-feldspática, era de se esperar, em relação as reflectâncias um comportamento bem semelhante. Portanto, a textura, o relevo e o padrão estrutural, foram os fatores decisivos para a individualização das unidades. Deste modo, o maior n_ível de detalhamento, sempre foi conseguido com os produtos que realçam estas características, isto é, as imagens LANDSAT do canal 7 e mosai_cos de RADAR.

Estas unidades, sendo fotogeológicas, apresentam dis_crepâncias em relação aos seus limites, por problemas de escala, de pro_duto e, como já foi dito, independência de equipes de trabalho, além de, por suas pr_óprias características litológicas, não apresentarem con_tatos bem definidos nem ao nível de campo. Entretanto de um modo ge_eral, pode-se observar ao longo do perfil, uma quase concordância dos contatos.

Isto é explicado, pois se procurou, ao longo deste per_fil, características texturais, tonais, morfológicas, inerentes a cada unidade e posteriormente, partiu-se para a extrapolação de toda faixa. Deste modo, conclui-se que, para sanar as discrepâncias, há necessida_de de se realizar mais de um perfil, além de, o que não deixa de ser óbvio, integrar os dados dos diversos produtos.

Ao se observar, em particular, os resultados obtidos com cada um destes produtos, é possível concluir o seguinte:

- Quanto aos mosaicos semicontrolados de RADAR, estes, aparentemente, forneceram o maior número de informações, devido às características do próprio sistema sensor, que realça a morfologia, fator este, decisivo pois, na área, as diferenças litológicas são identificadas, principalmente, pelas características estruturais e diferenças no grau de dissecação do relevo.
- Quanto às imagens LANDSAT 1:250.000 e 1:500.000, observou-se um melhor desempenho do canal 7 (infravermelho próximo), pois uma de suas características é o realce da morfologia. As principais diferenças entre os resultados obtidos com as imagens 1:250.000 e 1:500.000 credita-se à diferença de escalas.

Finalmente, como conclusão geral, pode-se dizer que a realização de perfis de campo contínuos, perpendiculares às estruturas regionais, com espaçamento a ser definido de acordo com a escala de trabalho e a interpretação integrada de imagens LANDSAT, e de mosaicos de RADAR, é um meio satisfatório, de baixo custo e tempo, para o mapeamento geológico de áreas pré-cambrianas.

BIBLIOGRAFIA

- CARNEIRO, C.D.R. Evolução geológica da Região de São José dos Campos, SP. In: *Simpósio de Geologia Regional*, 1; São Paulo, 1977. Atas. p.91-111.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. Evolução Geológica do Pré-cambriano na Região Sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 6: 182-200, 1976.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 5: 257-266, 1975.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.D.R. Considerações sobre a estratigrafia do Pré-cambriano na região de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geociência*, 7: 107-112, 1976.
- HASUI, Y. Evolução Polifásica do Pré-cambriano a Oeste do Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto de Geociências*, 6: 95-108, 1975.
- HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTRICHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A. F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.G.; MELO, M.S.; SANTOS, M.C.S.R. *Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo*. São Paulo, IPT, 1978. monografia.

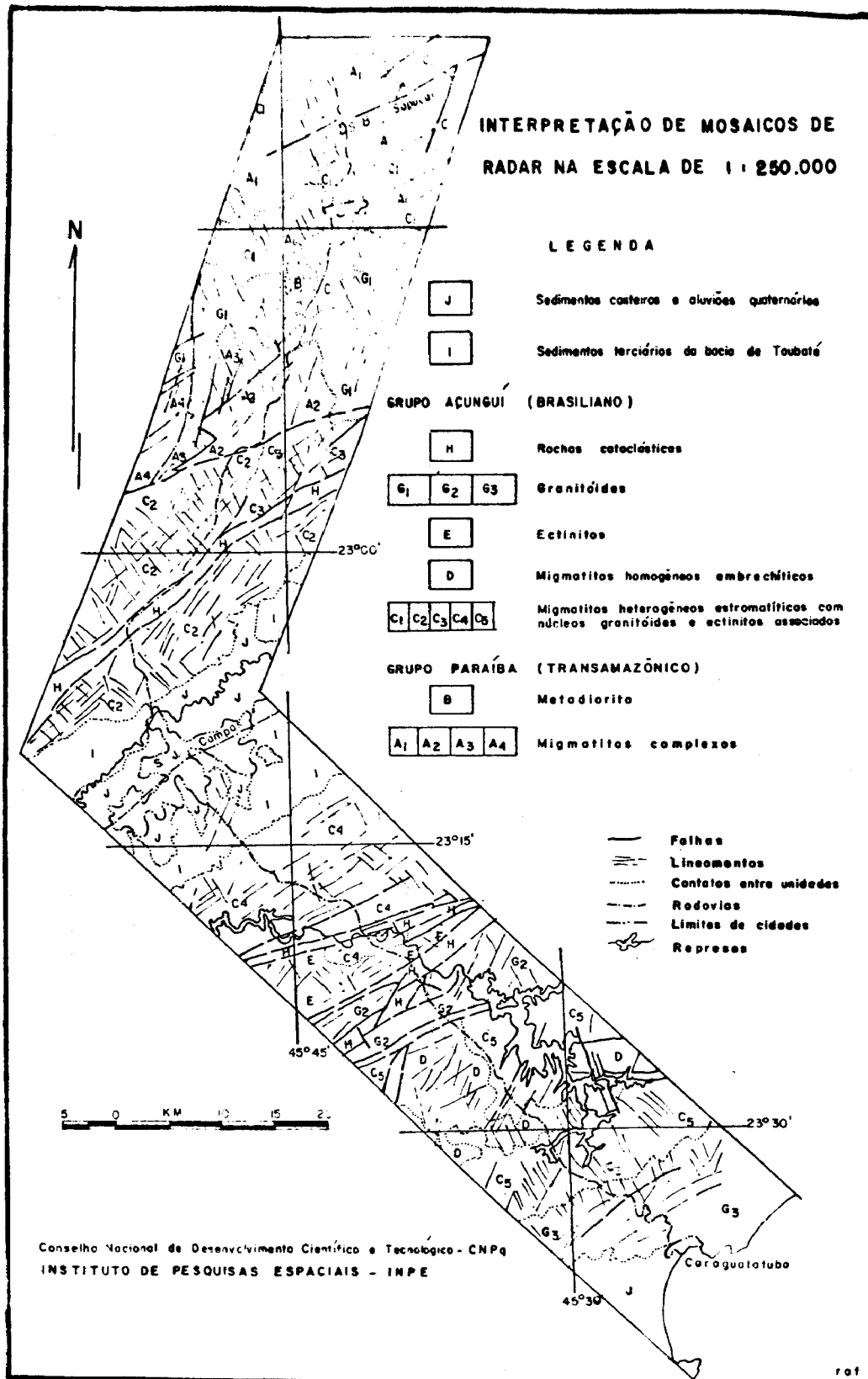


Fig. 1 - Interpretação de Mosaicos de Radar na Escala de 1:250.000.

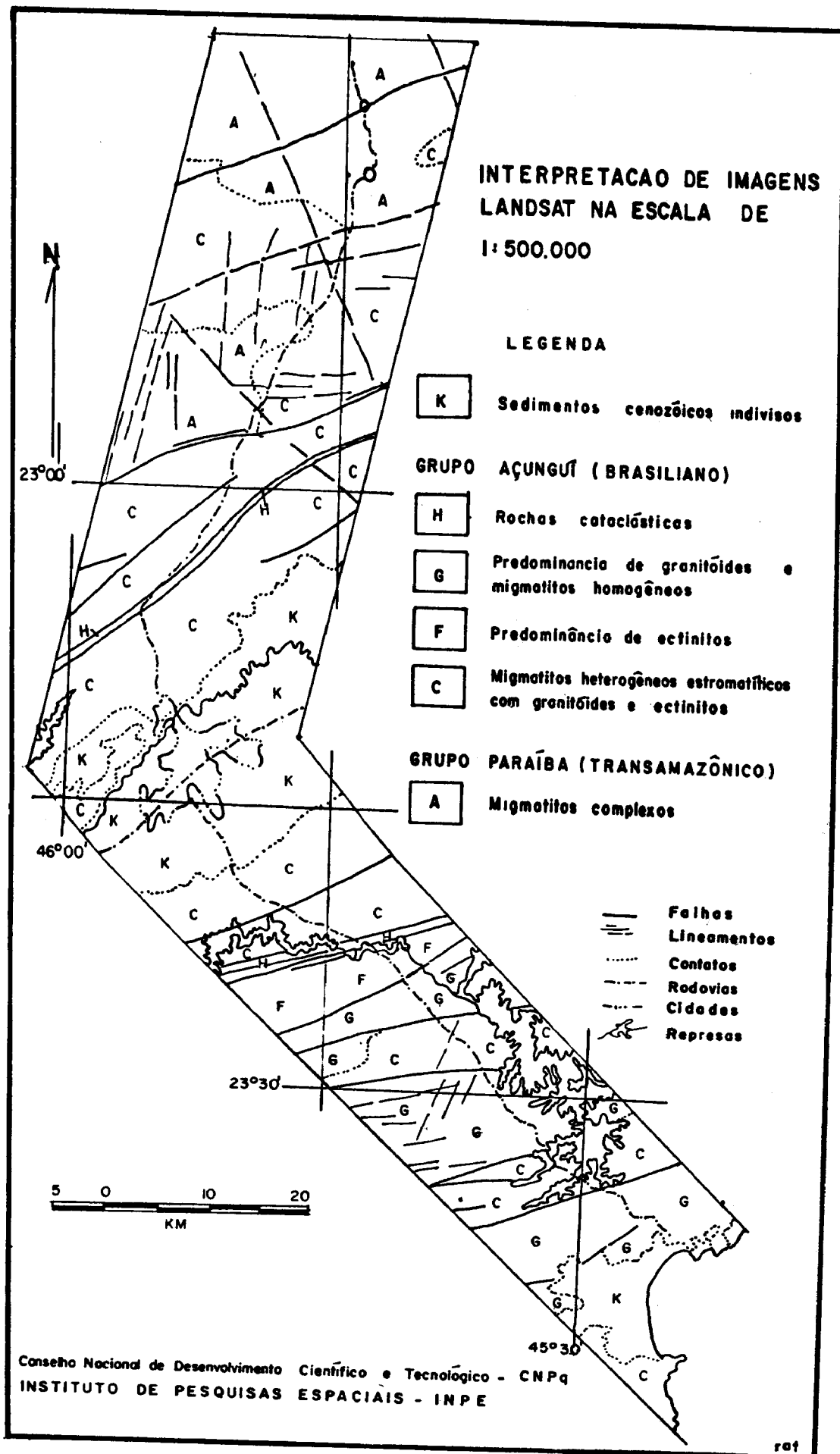


Fig. 2 - Interpretação de Imagens LANDSAT na escala de 1:50.000.

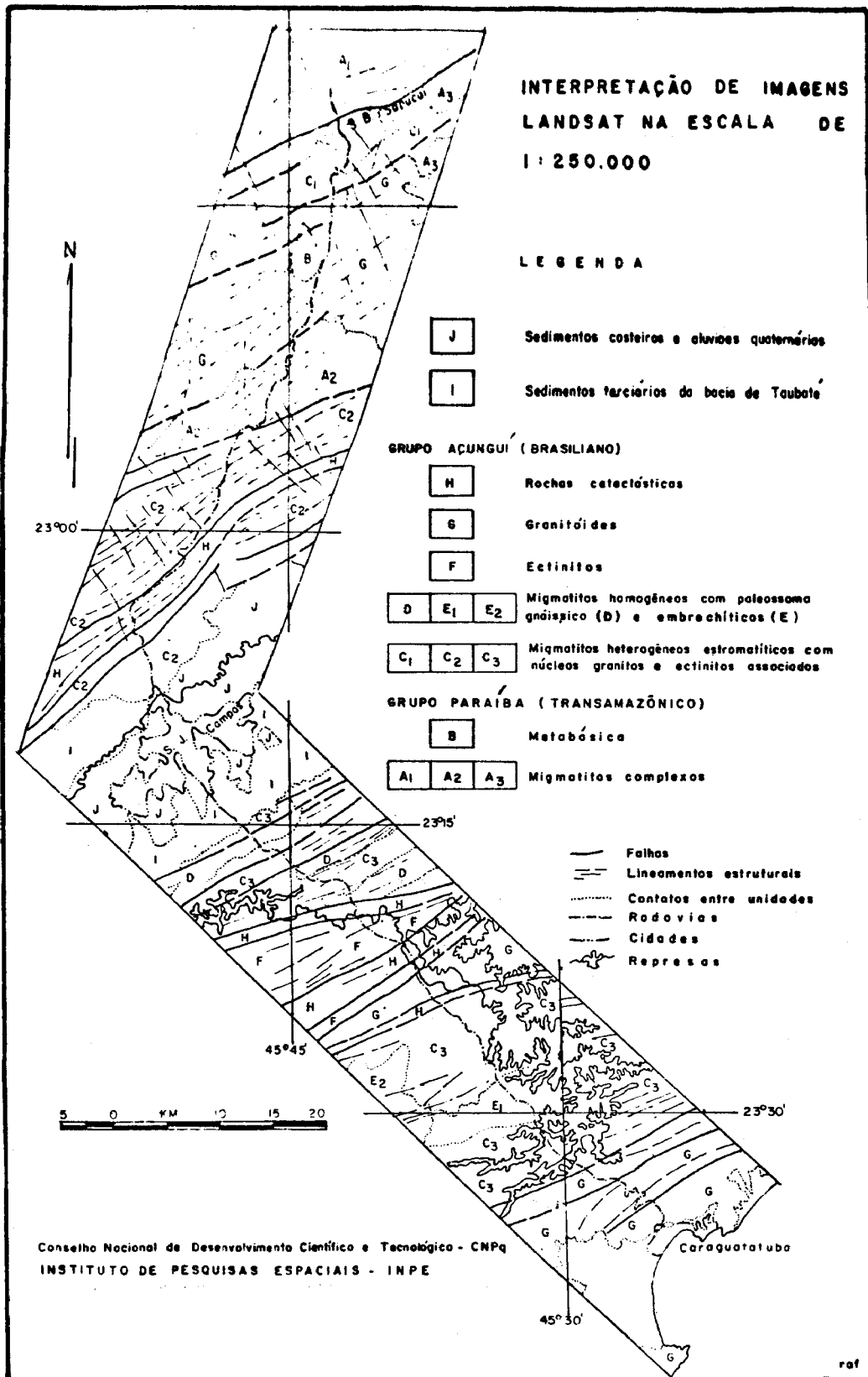


Fig. 3 - Interpretação de Imagens LANDSAT na escala de 1:250.000.

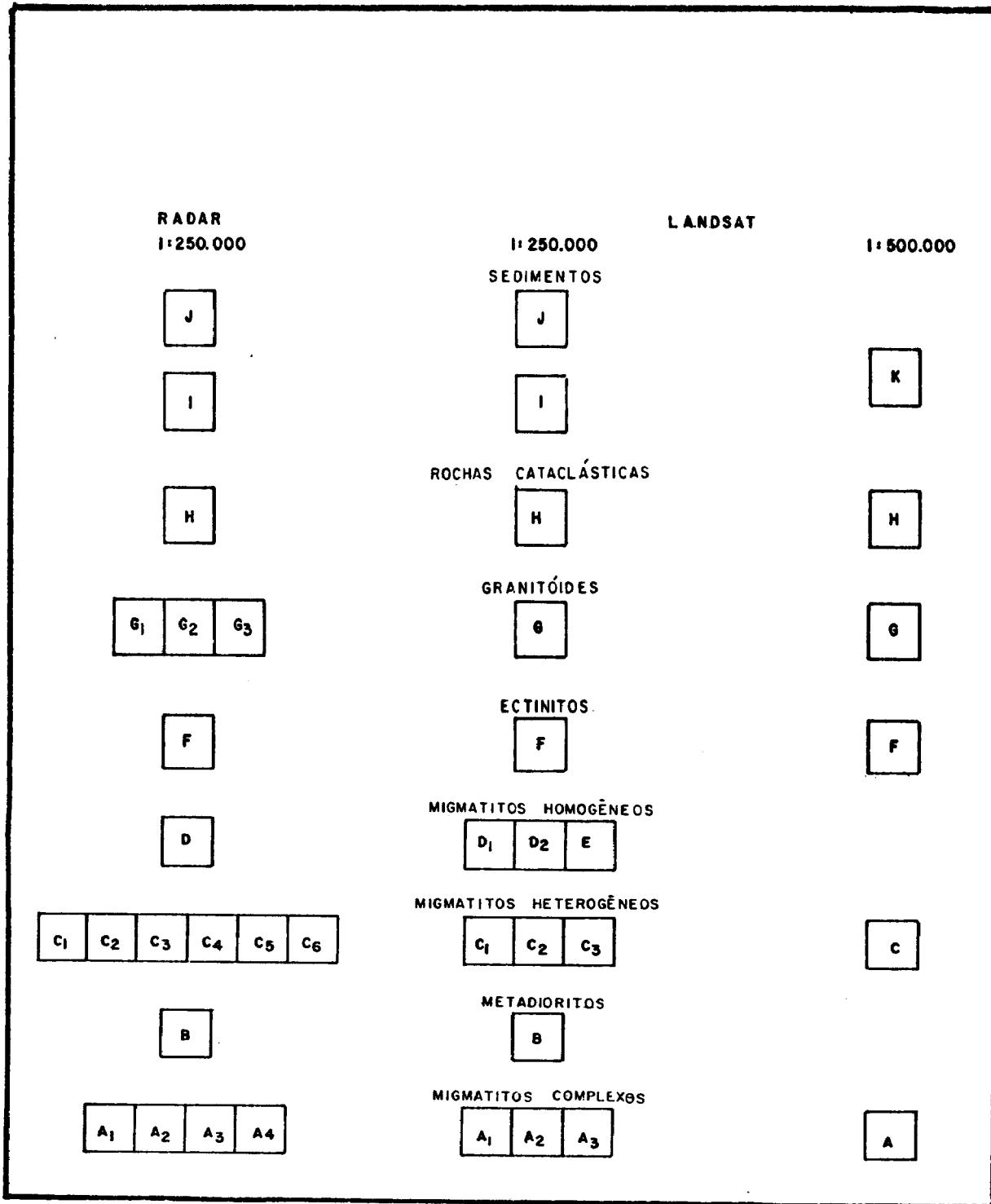


Fig. 4 - Correlação entre as unidades Fotogeológicas identificadas nos diferentes sensores.