

Simposio Regional de Geologia (1. : 1977 : São  
Paulo)  
Atas, e.2

SOC

LOGIA

NÚCLEO DE SÃO PAULO

# ATAS DO I SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL



SÃO PAULO, SP — SETEMBRO DE 1977

PADRÕES FOTOGEOLÓGICOS DOS LITOFÁCIES DA FORMAÇÃO BAURU NO  
ESTADO DE SÃO PAULO, COMO OBSERVADOS EM IMAGENS LANDSAT

Gilberto Amaral (IGUSP)

ABSTRACT

The use of LANDSAT imagery has permitted the individualization, at a regional scale, of three lithofacies of the Bauru Formation in the northwestern portion of the State of São Paulo. Images at 1:500 000 and 1 : 250 000 scales from channels 5 (0.6 -0.7 microns) and 7 (0.8 - 1.1 microns) were used for such purposes.

Channel 5 images are similar to conventional aerial photographs and permitted the tracing of drainage pattern, land use activities and cultural features. Channel 7 images permitted the delineation of water bodies, enhancement of morphological features and delineation of barren soil areas.

The lowermost unit, named informally  $B_1$ , is characterized by low drainage density, smooth relief, low density natural vegetation cover and land use for pasture. The intermediate unit, named  $B_2$ , is characterized by higher drainage density and land use pattern for agricultural activities. The upper unit, named  $B_3$ , exhibits a strong relief with development of frequent scarps; the natural vegetation is denser and limited use for agriculture.

These patterns, with minor modifications, can be extended to neighbouring areas and states. The extension for the westernmost portion of the São Paulo State indicates that the Caiuã Formation is a lateral faciological variation of unit  $B_1$ .

## RESUMO

A utilização de imagens dos satélites LANDSAT permitiu a separação, em nível regional, de três litofácies da Formação Bauru no NW do Estado de São Paulo. Para tanto, foram utilizadas imagens em escalas 1:500 000 e 1:250 000 dos canais 5 e 7, correspondentes, respectivamente, às faixas espectrais de 0,6 a 0,7 microns e 0,8 a 1,1 microns.

As imagens do canal 5 assemelham-se às fotos aéreas convencionais e permitem o traçado do padrão de drenagem, a individualização de padrões de uso do solo e a delineação de feições culturais (cidades, estradas, etc.). As imagens do canal 7, obtidas na região do infra-vermelho, permitem a delimitação de massas d'água, áreas de solo exposto e o realce de feições morfológicas.

A unidade mais inferior, denominada informalmente  $B_1$ , caracteriza-se por baixa densidade de drenagem, relevo suave, vegetação natural rala e uso do solo para pastagem. A unidade intermediária, denominada  $B_2$ , caracteriza-se por maior densidade de drenagem, relevo mais movimentado, vegetação natural densa e intenso uso agrícola do solo. A unidade superior,  $B_3$ , apresenta moderada densidade de drenagem, relevo acidentado com formação de escarpas, densa vegetação natural e limitado uso para atividades agrícolas.

A extensão dos padrões, com ligeiras adaptações para menor ocupação humana, pode ser feita para as regiões vizinhas dos Estados de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais e do próprio Estado de São Paulo. No extremo oeste deste e noroeste do Paraná, a unidade  $B_1$  parece gradar lateralmente para a Formação Caiuá.



## INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo apontar as vantagens da utilização de imagens LANDSAT para o mapeamento geológico de regiões sedimentares monótonas. Parte dos dados aqui discutidos foram obtidos quando da execução do mapeamento geológico das regiões administrativas 7, 8 e 9 do Estado de São Paulo, cujos resultados parciais são apresentados em outro trabalho destes anais. Durante o referido trabalho, as imagens do satélite LANDSAT-1 foram usadas para a delimitação da Formação Baurú e identificação de possíveis estruturas. Todavia, durante a interpretação das mesmas, o autor verificou a existência de padrões bastante diversificados dentro daquela unidade, que após verificação de campo e análises sedimentológicas demonstraram tratar-se de diferentes litofácies. Isso permitiu o estabelecimento de critérios de mapeamento geológico em escala 1:100 000 das regiões acima mencionadas.

Dada a importância daquêles litofácies para estudos hidrogeológicos na Formação Baurú, o autor acreditou ser oportuna a divulgação dos critérios utilizados, bem como de algumas sugestões para investigações futuras.

Nesta oportunidade, o autor deseja agradecer ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) pelo apoio para a realização do presente trabalho, bem como aos geólogos Ivanir Borello e Luiz Guidorzi, da Divisão de Hidrogeologia, pelas proveitosas discussões. Agradece, ainda, aos colegas Vicente José Fúlfaro, Kenitiro Suguio e Armando Márcio Coimbra, do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências, pela orientação relativa às características da Formação Baurú. Finalmente, agradece ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo constante apoio às pesquisas de aplicação do sensoriamento remoto a problemas geológicos que o autor vem desenvolvendo em suas instalações.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O satélite LANDSAT-1, lançado em julho de 1972, e seu irmão o LANDSAT-2, lançado em janeiro de 1975, já cobriram cerca de 30 vezes o território nacional, por sensoramento remoto multi-espectral de alta resolução. Ambos são equipados com sistemas sensores idênticos, subdivididos em dois sub-sistemas: o Return Beam Vidicon(RBV), constituído por três câmaras de TV, cada uma operando em diferente região do espectro e o Multi-Spectral Scanner(MSS), um imageador óptico-mecânico que opera em quatro faixas espectrais. Os três canais do RBV são denominados 1, 2 e 3, e os quatro do MSS, 4, 5, 6 e 7. Como as imagens do MSS apresentaram melhor resolução tanto espectral como geométrica, elas são as mais usadas. As faixas espectrais investigadas por cada um de seus canais, são as seguintes:

Canal 4 - 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$  ( região do verde-amarelo)

Canal 5 - 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$  (região do laranja-vermelho)

Canal 6 - 0,7 a 0,8  $\mu\text{m}$  ( região do vermelho-infra-vermelho)

Canal 7 - 0,8 a 1,1  $\mu\text{m}$  ( região do infra-vermelho)

A resolução geométrica teórica é da ordem de 79 m, o que é excelente, se considerarmos que aqueles satélites estão a cerca de 930 km de altura. Entretanto, em situações de alto contraste, alvos menores que 40 m têm sido identificados. Outra característica importante, das imagens LANDSAT, é que elas são obtidas a aproximadamente a mesma hora local, devido ao fato de a órbita do satélite ser síncrona com o sol. Os parâmetros orbitais são tais, que o satélite tem possibilidade de cobrir toda a superfície da Terra, situada entre as latitudes  $81^{\circ}$  N e S, a cada 18 dias. Essa repetitividade é extremamente importante, pois permite a investigação de fenômenos dinâmicos ou o comportamento dos materiais superficiais em diferentes estações do ano.

As imagens MSS são processadas de modo a abranger uma área de 185 por 185 km ( cerca de  $35.000 \text{ km}^2$ ) e dotadas de anotações referentes às condições de iluminação e coordenadas geo



gráficas de 30' em 30', além da data de obtenção e coordenadas do centro e nadir. As imagens MSS são apresentadas sob a forma de um paralelogramo devido a correções para a rotação da Terra durante o imageamento.

Para o presente estudo, foram utilizadas as seguintes cenas:

L173231/124415 de 19/08/1973

L173428/12430 de 24/09/1973

L173392/12444 de 19/08/1973

L173213/12511 de 21/02/1973

L173231/124440 de 19/08/1973

L173339/12495 de 27/06/1973

L172123/12504 de 23/11/1972

L173232/12570 de 12/03/1973

L172106/12564 de 6/11/1972

L173247/12402 de 27/03/1973

L173231/124350 de 19/08/1973

em cópias em papel, branco e pretas, para os canais 5 e 7 e em escalas 1:500 000 e 1:250 000. Esse conjunto de imagens abrange a totalidade da Formação Bauru no Estado de São Paulo e nas porções vizinhas dos Estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás.

A metodologia usada pode ser sub-dividida nos seguintes passos:

- 1 - Identificação e traçado de feições culturais ( cidades, estradas) e grade de coordenadas;
- 2 - Traçado do padrão de drenagem com o maior detalhe possível;
- 3 - Identificação e delineação das feições geomorfológicas;
- 4 - Delimitação de unidades de textura homogênea em cada canal;
- 5 - Integração e decisão.

No presente estudo não foram usadas imagens coloridas compostas nem interpretação automática, por serem desnecessárias. Em geral, foram usados dois "overlays" de papel plástico tipo "Duplex Ultra-

phan", um para a drenagem e outro para as demais feições. Quando necessário, foram usados "overlays" adicionais. Dado o grau de detalhamento e resolução das imagens, as diferentes feições foram traçadas com lapiseiras com minas coloridas ou canetas com tinta nankin. A figura 2 mostra um exemplo do grau de detalhamento conseguido para o traçado da rede de drenagem na região de Marília, Bauru e São José do Rio Preto.

Na delineação de unidades de textura homogênea foram analisados aspectos tais como: tonalidade, densidade e tipo dos elementos de textura, padrão do uso do solo, relevo e padão de drenagem. Desta maneira, percebe-se que a interpretação manual de imagens de satélite é conduzida da mesma maneira que para fotografias aéreas convencionais, apenas que a escala é menor e que mais de uma imagem, obtida em diferentes regiões do espectro, é disponível. Um fato importante a ser considerado, é o de que as imagens orbitais permitem uma visão sinótica de uma região, possibilitando a identificação dos grandes traços estruturais e delineação das principais unidades fotogeológicas, de uma maneira bastante rápida.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise fotogeológica, conduzida de acordo com os critérios acima estabelecidos, resultou na identificação de seis unidades fotogeológicas principais, na região de ocorrência da Formação Bauru no noroeste do Estado de São Paulo.

A primeira unidade, ocupando posição estratigráfica mais inferior, é caracterizada por baixa densidade de drenagem, relevo recortado por escarpas e uso do solo para atividades pecuárias ( caracterizado por grandes polígonos de delimitação de pastagens). As imagens do canal 7 realçam as feições morfológicas , permitindo o traçado das escarpas. No canal 5, estas são mostradas por uma linha escura, devida à maior densidade de vegetação. O padrão de drenagem e do uso do solo são melhor identificados neste canal. A interpretação das feições observadas



permitiu inferir que esta unidade referia-se à Formação Botucatu, o que foi posteriormente verificado no campo.

A segunda unidade, de ampla ocorrência na região, é caracterizada por um relevo moderado, escarpado apenas em seus contatos com a unidade anterior, densidade média de drenagem, vegetação natural bastante densa, intenso uso agrícola e pastoreio e forte tonalidade escura no canal 7. Esta última característica é devida à exposição de solo rico em ferro, elemento este que apresenta forte absorção na região do infra-vermelho. A análise dessas feições permitiu inferir que se tratava de rochas basálticas da Formação Serra Geral.

A terceira unidade, denominada informalmente B<sub>1</sub>, já pertence à Formação Bauru e corresponde ao seu litofácies mais inferior. Caracteriza-se densidade de drenagem geralmente baixa na porção oeste, aumentando para leste. As tonalidades em ambos os canais são geralmente claras, o que indica escassez de cobertura vegetal ou solo de tonalidades claras quando exposto. O relevo é moderado e a pecuária é a única modalidade de uso do solo. Na região entre Araçatuba e o rio Tietê, a tonalidade no canal 7 apresenta-se mais escura e há um aumento pronunciado na densidade de drenagem. Além disso são identificadas inúmeras lagoas com dimensões geralmente menores que 500m. Isso leva a crer na existência de rochas mais impermeáveis. Verificações de campo demonstraram a existência de siltitos de coloração vermelha que passam lateralmente a arenitos silteosos de coloração vinho. Para a região do rio Paranã e Pontal do Paranapanema essa unidade apresenta características de ser mais arenosa e parece passar gradualmente para o que é mapeado como Formação Caiuã.

A quarta unidade, denominada B<sub>2</sub>, também da Formação Bauru, caracteriza-se por densidade de drenagem um pouco maior que a unidade anterior, relevo mais ondulado, vegetação natural mais densa e intenso uso para atividades agrícolas (textura poligonal fina). O solo, quando exposto, apresenta tonalidades claras, tanto no canal 5 como no canal 7, indicando alta



reflectância naquelas regiões espectrais, o que indica solo arenoso. Verificações de campo indicaram tratar-se de arenitos finos a medios, com cimento argiloso e localmente calcífero.

A quinta unidade, denominada B<sub>3</sub>, caracteriza-se por relevo escarpado, alta densidade de drenagem, vegetação natural densa e limitado uso para atividades agrícolas. Nas áreas de relêvo mais acidentado a densidade de drenagem é mais baixa devido ao encaixe dos canais. Verificações de campo indicaram tratar-se de arenitos argilosos com cimento calcífero e nódulos carbonáticos.

A última unidade está restrita à calha dos principais rios da região ou em locais de bloqueio da drenagem. Caracteriza-se por textura tracejada orientada fina, tonalidade escura em ambos os canais e sem uso visível para atividades agrícolas ou pecuárias. Seu padrão de ocorrência permite interpretá-la como devida a depósitos aluvionares, igualmente comprovados em verificações de campo.

Um aspecto importante, obtido da interpretação das imagens LANDSAT refere-se a um nítido padrão de lineamentos que afetam as unidades acima descritas, com exceção da última. Em diversos casos, esses lineamentos estão associados a mudanças bruscas no sentido dos canais de drenagem, no padrão de drenagem, na textura ou relevo. Em diversas situações, observadas no campo ou em perfurações para água, esses lineamentos parecem corresponder a falhamentos pré e post-Bauru e fraturamentos associados. Pequenas manchas isoladas de unidades fotogeológicas da Formação Bauru, em posição aparentemente anômala, parecem estar associadas a alguns desses lineamentos. Em várias situações, essas estruturas parecem ter condicionado o desenvolvimento faciológico da Formação Bauru e, conseqüentemente o padrão de circulação das águas subterrâneas. Os dados estruturais obtidos são bastante preliminares, mas merecem um estudo mais aprofundado dada a sua importância.

A figura 1, mostra como exemplo, os resultados

obtidos para a cena L173231/124415, que abrange a região compreendida entre Marília, Bauru e São José do Rio Preto, onde as seis unidades fotogeológicas apresentam-se com todas as suas características, o mesmo acontecendo com os lineamentos. Por esse motivo, essa região foi considerada como área teste para a identificação de padrões interpretativos, posteriormente extrapolados para o restante da região.

### CONCLUSÕES

A utilização de imagens dos satélites LANDSAT mostrou-se bastante adequada para o mapeamento geológico de uma região sedimentar monótona. Como resultado, foi possível o mapeamento, em escala regional, dos três litofácies principais que constituem a Formação Bauru no Estado de São Paulo. Além disso, foi possível a delineação de um conjunto de feições, possivelmente de caráter estrutural, que poderão ter grande importância em reconstituições paleoambientais e estudos hidrogeológicos.

Os resultados obtidos animaram-nos a estender o mapeamento da Formação Bauru para a totalidade de sua área de ocorrência, com o objetivo de melhor caracterizar esta importante unidade da Bacia do Paraná.



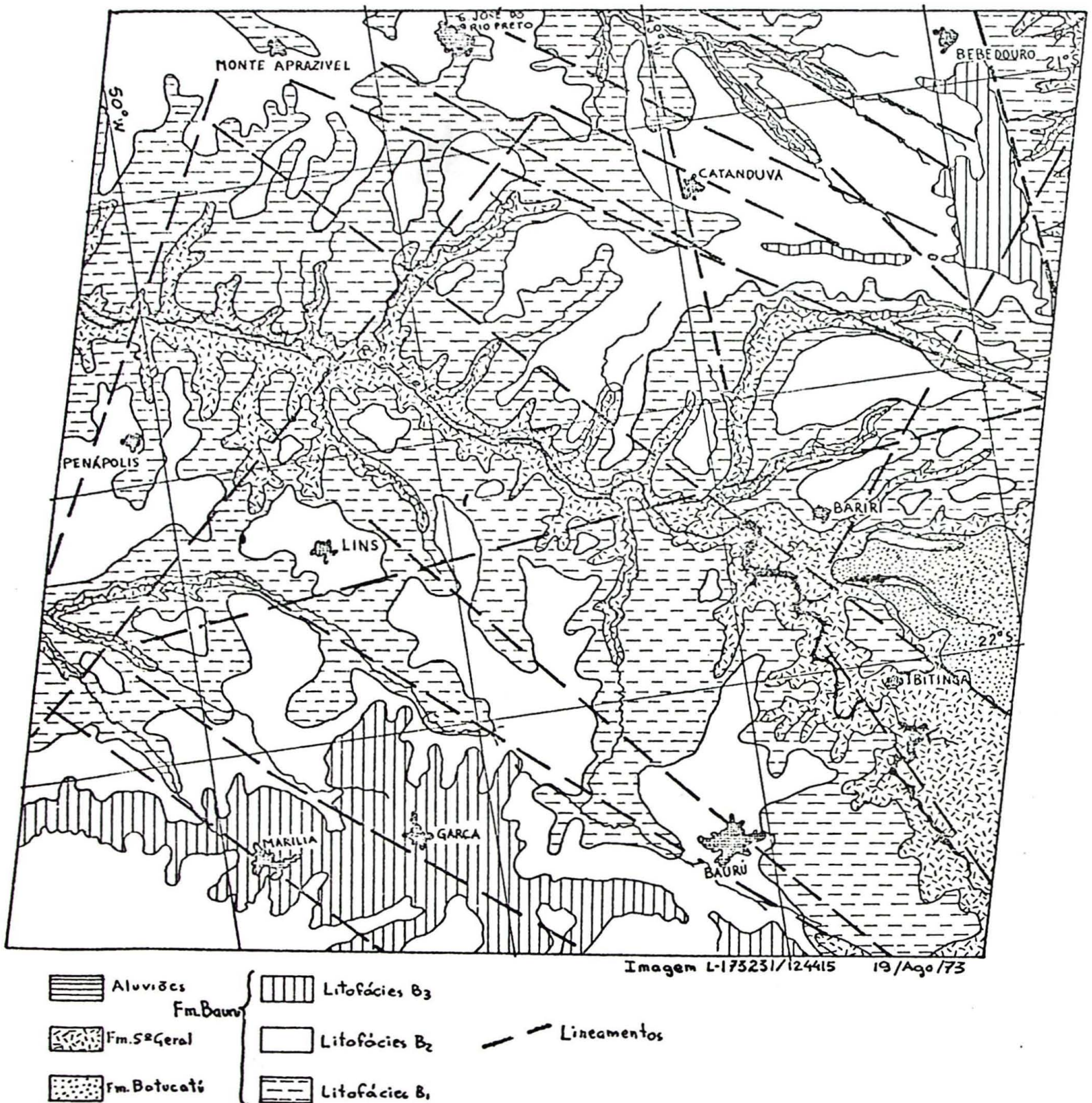


Figura 1 - Mapa geológico obtido por interpretação de imagem LANDSAT.





MAPA DE DRENAGEM

IMAGEM LI73231/124415 de 19/8/73.

Figura 2 - Mapa do padrão de drenagem obtido a partir de  
imagens LANDSAT para a região da figura 1.