

|  |                               |   |                 |
|--|-------------------------------|---|-----------------|
| 1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i><br><i>C.D.U: 528.711.7</i>  |                               | 2. Período  | 4. Distribuição |
| 3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)<br><i>IMAGENS LANDSAT</i><br><i>FOTOINTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA</i><br><i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>  |                               | interna <input type="checkbox"/><br>externa <input checked="" type="checkbox"/>                 |                 |
| 5. Relatório nº<br><i>INPE-1822-RPE/188</i>  | 6. Data<br><i>Julho, 1980</i> | 7. Revisado por<br><i>Waldir R. Paradella</i><br><i>Waldir R. Paradella</i>                     |                 |
| 8. Título e Sub-Título<br><br><i>ALGUNS ASPECTOS DAS INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS</i><br><i>CONTIDAS EM IMAGENS LANDSAT</i>  |                               | 9. Autorizado por<br><br><i>Paradella</i><br><i>Nelson de Jesus Paradella</i><br><i>Diretor</i> |                 |
| 10. Setor <i>DSR/GMI</i>   | Código <i>30.311</i>          | 11. Nº de cópias <i>11</i>  |                 |
| 12. Autoria <i>Chan Chiang Liu</i><br><i>Icaro Vitorello</i><br><i>Paulo Roberto Meneses</i>   |                               | 14. Nº de páginas <i>14</i>   |                 |
| 13. Assinatura Responsável <i>Chan Chiang Liu</i>  |                               | 15. Preço   |                 |
| 16. Sumário/Notas<br><br><i>Com o objetivo de demonstrar e reforçar as aplicações das imagens multiespectrais do LANDSAT em diferentes assuntos ou situações geológicas, são mostradas, no presente trabalho, algumas características das imagens MSS e alguns métodos de investigações, através de uma seleção de ilustrações de fotointerpretação com as imagens orbitais. Os exemplos tentam demonstrar o desempenho das imagens LANDSAT, sobretudo na sua menor escala de ampliações (1:1.000.000), no reconhecimento e caracterização de corpos litológicos, dobramentos sinclinais e anticlinais, falhas regionais, corpos intrusivos, crateras meteóricas de impacto e depósito de formações ferríferas. As imagens e respectivas áreas selecionadas buscam, por sua vez, exemplificar o comportamento das imagens em regiões geológicas de características superficiais distintas.</i> |                               |   |                 |
| 17. Observações <i>Trabalho submetido à aprovação para publicação no XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, da Sociedade Brasileira de Geologia, Camboriú, Santa Catarina, 19-25 de outubro de 1980.</i>   |                               |   |                 |

## Abstract

LANDSAT data, displayed at conventional map scales, contain a large amount of geological information that complements and integrates the data acquired by other techniques. Multispectral images are widely utilized in the detection of lithological contacts, folds, faults, lineaments in general, and other geological structures. In this paper, the characteristics of MSS images and methods of interpretation are analysed from a geological point of view. Supportive role of LANDSAT data are illustrated in several examples of surface expressions of geological features, such as synclines and anticlines, spectral characteristics of lithologic units and circular impact structures.

## 1. Introdução

A crosta terrestre tem sido e continua sendo afetada por numerosos processos geológicos com períodos de duração variando de uma fração de segundo, registrados em vibrações sísmicas, até vários milhões de ano, decorridos em processos orogênicos. Cabe ao geólogo, munido de várias técnicas, compreender esses processos, suas causas, suas distribuições no tempo e no espaço, seus resultados e consequências através do estudo direto com a observação desde a escala microscópica de amostras de rochas e observações de campo, até por estudos indiretos, através da tomada de dados por distâncias remotas (fotos, imagens, etc.). Cada uma das técnicas de estudo contém um vasto potencial de preciosas informações. Porém, nenhuma delas gera, individualmente, a quantidade de dados necessários para o completo entendimento de um determinado problema geológico. Faz-se necessário considerar todos os dados obtidos pelas várias técnicas, que se complementam como fonte de informações, e, desenvolver pesquisas para o aprimoramento destas técnicas e criação de novos métodos de coleta e análise de dados.

Atualmente, a partir da década de 70, uma nova fonte de observação, qual seja, as imagens coletadas de sensores orbitais, vem sendo aceleradamente desenvolvida e crescentemente utilizada nos estudos geológicos, devido ao seu caráter multiespectral e à sua visão sinótica.

O início desta nova técnica de pesquisa se deu em 1965, a partir do estabelecimento pela NASA de um programa de monitoramento de recursos terrestres (Earth Resources Survey Program) baseado no sensoriamento remoto por aeronaves e satélites. Das várias missões espaciais, como a GEMINI, MERCURY, APOLLO, SKYLAB e LANDSAT, a última se tomou mais significativa em termos de aplicação no levantamento de recursos terrestres. O primeiro satélite desta série (ex-ERTS-1) foi lançado em 23 de julho de 1972 e permaneceu em órbita por mais de cinco anos, sendo desativado em 6 de janeiro de 1978. O segundo operou entre 22 de janeiro de 1979 a 22 de janeiro de 1980. O atual satélite em órbita, o LANDSAT-3, foi lançado em 05 de março de 1978, já estando previsto para 1981, o lançamento do quarto satélite da série. A cada novo satélite, novos sensores cada vez mais poderosos e sofisticados, vão transmitindo um maior número de dados com melhor nível de informação.

Neste trabalho serão apresentadas as características das imagens orbi

tais, através de vários exemplos de fotointerpretação onde se procura demonstrar seu desempenho em estudos geológicos.

## 2. As Imagens MSS do Satélite LANDSAT-3

O satélite LANDSAT, que se move em uma órbita quase perfeitamente circular, síncrona com o sol, a 917 Km de altitude, completando 14 órbitas por dia, fornece dados periódicos da mesma área, de 18 em 18 dias, coletados por dois sistemas de sensores imageadores: um sistema de câmeras de televisão, conhecido como REV - Return Beam Vidicon e um sistema scanner multiespectral - MSS - Multispectral Scanner System.

O sistema scanner produz uma faixa contínua de imagens, de acordo com a órbita, que se compõe por sucessivas linhas de varreduras estendidas em sentido perpendicular à órbita do satélite. A luz natural refletida de pequenas áreas da superfície da terra (79 x 79 metros) é transferida por um espelho oscilatório, no scanner multiespectral, para um sistema de registro, depois de passar através de filtros, que selecionam a luz refletida dos objetos da superfície, em diferentes intervalos de comprimento de onda. O arranjo destes intervalos ou bandas de comprimento de onda pode ser resumido da seguinte maneira:

| Banda | Comprimento de Onda     | Região Espectral      |
|-------|-------------------------|-----------------------|
| 4     | 0,5 a 0,6 $\mu\text{m}$ | verde                 |
| 5     | 0,6 a 0,7 $\mu\text{m}$ | vermelho              |
| 6     | 0,7 a 0,8 $\mu\text{m}$ | infravermelho próximo |
| 7     | 0,8 a 1,1 $\mu\text{m}$ | infravermelho próximo |

Os dados da luz refletida, coletados pelo MSS, são primeiramente convertidos em sinais elétricos, que variam em proporção às intensidades medidas pelas bandas. Esses dados analógicos são, então, convertidos em uma forma digital e, então, transmitidos às estações receptoras terrestres.

Os dados digitais podem ser reformados em fitas magnéticas compatíveis com o computador (CCT), tornando-os capazes de ser analisados, através de programas de realce e classificação automática de padrões, em computadores dotados com sistemas de "color display". Alternativamente, os dados podem ser reconvertidos em quatro imagens fotográficas em preto e branco, correspondentes às quatro faixas espectrais, em diferentes tamanhos, impressas em papel ou em transparências negativas e positivas. Os formatos de reprodução dos dados originais para imagens em papel sem qualquer perda de informação ocorra são: 185 x 185 mm com escalas de 1:1.000.000; imagens de 370 x 370 mm com escala de 1:500.000; e imagens de 740 x 740 mm com escala de 1:250.000. O tom de cinza associado às feições individuais do terreno imageado varia para cada imagem de cada faixa espectral, em proporção à quantidade de luz refletida pelo terreno, em suas respectivas faixas espectrais.

Imagens coloridas podem ser elaboradas a partir da combinação de imagens em preto e branco, projetando-se cada imagem, através de um filtro particular. A combinação mais comum consiste do canal 4 (faixa espectral verde) projetado através de um filtro azul, canal 5 (faixa espectral vermelha) projetado através de um filtro verde e canal 7 (faixa do infravermelho) projetado através de um filtro vermelho, produzindo uma imagem colorida falsa cor, equivalente ao produto infravermelho falsa cor de fotos convencionais coloridas no infravermelho.

A extração das informações geológicas das imagens LANDSAT dependem da experiência do fotointérprete em como deduzir as informações geológicas de feições da superfície, e como estas feições estão expressas nas imagens multiespectrais. O conhecimento dos parâmetros das imagens é, portanto, necessário para a realização de uma interpretação geológica perfeita.

De acordo com as características espectrais, as imagens de cada canal oferecem diferentes informações geológicas, não havendo, portanto, um canal que seja o melhor para interpretações geológicas, isto é, várias informações são retiradas de cada canal individualmente. Por exemplo, o canal 5 (faixa espectral vermelha) oferece maior quantidade de informações em terrenos sedimentares, enquanto que o canal 6 e 7 se prestam melhor para estudos em terrenos cristalinos.

Nas imagens, é também importante considerar as variações do ângulo do sol e do azimute. Como as passagens do LANDSAT se realizam invariavelmente no mesmo horário, as imagens obtidas no decorrer do ano terão variações de azimute e de ângulo

solar (estas informações, além de outras, estão contidas no rodapé das imagens). Desta maneira, pode-se escolher a passagem ideal em que certas feições topográficas são realçadas, dependendo do efeito de sombreamento do ângulo solar e do azimute. Além do mais é sempre possível montar-se mosaicos de imagens com densidades fotográficas (ton) e sem a necessidade das manipulações especiais exigidas para a confecção de mosaicos com fotos aéreas.

A resolução das imagens LANDSAT é baixa em relação à de fotos aéreas, pois o tamanho do menor elemento de área de imageamento (picture element-pixel) é de cerca de 79 x 79 metros, daí o amplo uso das imagens em trabalhos regionais, que não necessitam de níveis de informações de muito detalhe. Mas em muitas ocasiões, o contraste tonal é importante na distinção de corpos geológicos, e neste aspecto, o caráter multiespectral das imagens LANDSAT é decisivo. Um objeto de alta reflexão tem maior possibilidade de ser detectado quando em campo de baixa reflexão (branco no preto) de que outro objeto do mesmo tamanho geométrico e de baixa reflexão em campo de alta reflexão (preto no branco).

Os dados originais podem, ainda, ser manipulados para produzir imagens de alto ou baixo contraste de tons de cinza, de acordo com as características superficiais de cada área, a fim de facilitar a extração de informações. Por exemplo, usa-se imagens de alto contraste, com menor número de tons de cinza para áreas da região amazônica, devido à homogênea cobertura da vegetação.

Devido ao nível de resolução das imagens em relação às fotos aéreas e do seu caráter multiespectral, as técnicas convencionais de fotointerpretação devem sofrer pequenas adaptações.

### 3. As Imagens MSS como Fontes de Informações Geológicas

Nas últimas décadas, mapeamentos regionais têm tomado menos tempo e se tornado mais precisos e menos onerosos, através do uso de fotos aéreas. Entretanto, fotos aéreas também têm suas limitações, tais como distorção geométrica e variação de tonalidade a partir do centro para as bordas, dificultando sua utilização em mosaicos.

O aspecto sinótico de uma região tem grande importância na análise geológica regional, visto que as formas estruturais, as províncias geológicas e tectônicas se estendem por várias dezenas e centenas de quilômetros. Neste aspecto, as imagens LANDSAT, cobrindo uma área geográfica extensa, (34.225 Km<sup>2</sup>) têm grande utilização. As imagens MSS servem como a base visual sobre a qual a interpretação é feita, nelas se traçando as unidades de mapeamento através de suas diferentes expressões e de seus padrões de deformação. Mapas geológicos podem ser elaborados com o auxílio de outras informações geológicas coletadas em campo. Com o auxílio das imagens, os trabalhos de campo se resumem nas verificações, em alguns pontos do terreno, em áreas pré-selecionadas e de onde as informações poderão ser extrapoladas com a ajuda das imagens, para áreas regionalmente vizinhas. A integração da fotointerpretação e verificação de campo fornece os elementos necessários para a elaboração econômica e rápida de mapas regionais com ampla cobertura geográfica e, sobretudo, oferece um meio econômico e bastante prático para a revisão de mapeamentos geológicos.

Dobras, falhas, fraturas e acamamentos são representados, nas imagens, por feições lineares. Em algumas circunstâncias, a origem dos lineamentos pode ser determinada por evidências nas imagens; o deslocamento de corpos litológicos ao longo de lineamentos, por exemplo, fornece evidência de que o lineamento seria representação de uma falha, porém, a natureza desta pode ser somente postulada. Mas são numerosos os estudos fotogeológicos realizados com fotos aéreas que demonstram que a natureza geológica de cada lineamento é, frequentemente, obscura.

O tamanho, a forma e as relações de contato dos corpos intrusivos podem ser diferenciados em imagens, em caso de contraste espectral ou de relevos com características especiais. Além disso, feições tectônicas de dimensões continentais, como as faixas de dobramentos, anteriormente sem possibilidade de uma observação global, podem, agora, ser observadas em uma única imagem ou num mosaico de imagens, permitindo a elaboração rápida e precisa de cartas tectônicas mundiais.

Para a identificação dos tipos de rocha, uma inspeção minuciosa é exigida, porém, informações suplementares podem ser obtidas de imagens, tais como expressões topográficas, formas de drenagem, estruturas internas das formações e, principalmente, pelo estudo analítico da reflectância espectral. Estas informações suplementares

res podem ser usadas para se inferir alguns tipos de rochas dentro de limites razoáveis e sob certas condições. Formas de relevo, textura de superfície, umidade e cobertura de vegetação podem indicar a distribuição e, algumas vezes, o caráter dos sedimentos.

Em rochas sedimentares e metassedimentares, uma idéia grosseira da espessura das camadas, a sequência e extensão das formações podem ser interpretadas; dobras e mergulhos podem também ser determinados. Porém, a separação de unidades estratigráficas pouco espessas, facilmente mapeadas em afloramentos, não podem ser identificadas nas imagens.

#### 4. Exemplos de Aplicações em Geologia

Como mencionado anteriormente, alguns tipos de rochas em certos terrenos geológicos podem ser tentativamente identificados. Informações litológicas podem ser inferidas tendo como base as expressões topográficas, o contraste de tonalidade e outras evidências indiretas.

Recentemente, grande avanço tem sido realizado, no desenvolvimento de técnicas de identificação e caracterização espectral de camadas litológicas e corpos rochosos.

Um método envolve a faixa espectral do infravermelho termal, no intervalo de comprimento de onda entre 9 e 11 micrômetros, onde a emissividade mínima das rochas félsicas para as rochas máficas aumenta progressivamente em comprimentos de ondas mais longos.

Outra linha de pesquisa voltada para discriminações de rochas ricas em ferro, envolve o espectro do visível e do infravermelho próximo. Os resultados indicam que as faixas de absorção do ferro se encontram entre 0,7 a 0,95  $\mu\text{m}$ . Os estudos de laboratório efetuados por Rowan (1972) demonstraram que uma reflectância mínima ocorre no infravermelho próximo, em rochas ricas em minerais de ferro (Figura 1) e em rochas máficas (Figura 2). No caso do Fe, a reflectância mínima é devido à absorção causada pelas transições do estado férrico para o ferroso. Deste modo, as diferenças espectrais entre materiais ricos em Fe e os com baixo teor de Fe são significativas para a identificação, na imagem, de rochas e solos. Esta diferença em radiação espectral gera, nas imagens, um contraste tonal entre rochas e tipos de solos, muito maior na região do infravermelho do que na do visível (canais 4 e 5 e fotos aéreas pancromáticas).

Na Figura 1, o espectro dos minerais com baixo teor de ferro aumenta em reflectância dos comprimentos de ondas curtas para os longos; em contraste, o espectro dos minerais ricos em ferro diminui em reflectância entre 0,6 e 1,2 micrômetros, devido à presença da banda de absorção do ferro. Na Figura 2, em comprimentos de onda além de 0,6  $\mu\text{m}$ , a reflectância de rochas máficas diminui ou permanece constante e as rochas félsicas apresentam um aumento uniforme. O maior contraste de reflectância em rochas com variável teor de ferro ocorre na faixa do infravermelho próximo.

A parte norte do Quadrilátero Ferrífero (Fig.3) é apresentada como exemplo da aplicação do trabalho de Rowan (1972). Na banda do infravermelho próximo das imagens MSS (canal 7) um forte contraste tonal caracteriza as camadas ferríferas do Grupo Itabira, em relação às demais unidades. O contraste é mostrado pela tonalidade quase preta das camadas ricas em Fe, devido à já explicada alta absorção deste elemento, nesta faixa espectral. Algumas lentes também são reconhecidas no Grupo Nova Lima, onde a tonalidade preta menos intensa sugere percentagens de Fe um pouco mais inferiores.

Além das informações geológicas extraídas das imagens, devido aos efeitos espectrais acima exemplificados, pode-se obter detalhes geológicos através da análise do desenvolvimento erosional dos terrenos. A Figura 4 mostra parte da Formação Urucuia, na Chapada das Mangabeiras, nos limites do Estado da Bahia com Goiás. De acordo com vários trabalhos geológicos anteriores (Meneses et al., 1977; Bruni et al., 1974) sabe-se que a Formação Urucuia, nesta região, consiste de espessas camadas de arenitos com estratificação cruzada e finas intercalações de conglomerados, folhelhos e argilitos. Arenitos e conglomerados geralmente são mais resistentes à erosão do que folhelhos e argilitos. Este aspecto parece estar bem registrado nas imagens LANDSAT

que, claramente, mostram que esta área sofreu vários ciclos de rejuvenescimento erosional indicados na Figura 4 pelas letras A, B, e C. A Figura 5 mostra, esquematicamente, as escarpas formadas em cada ciclo de erosão.

Os efeitos de erosão são fatores que auxiliam na identificação de unidades litológicas e estruturas geológicas através da análise do declive de encosta ("dip slope") e escarpas. Camadas resistentes à erosão são facilmente identificadas nas imagens. Em regiões de clima árido e semiárido, as imagens revelam, com mais evidências as características das camadas sedimentares ou metassedimentares de baixo grau metamórfico (Figuras 6 e 7). A estratificação de camadas sedimentares pode ser caracterizada pela direção e mergulho determinados nas imagens. A rede de drenagem desenvolvida nas encostas das escarpas contém, também, importantes informações, como é mostrado na Figura 6, através de um exemplo de um amplo vale sinclinal nas proximidades de Santo Antônio, Bahia. Ao longo das bordas dos dois flancos do sinclinal é possível determinar o sentido de mergulhos suaves pela análise do caimento de pequenos rios intermitentes; nas abas do sinclinal, os flancos formam escarpas ao longo das quais a unidade fotogeológica. Em, uma mostra traços de acamamentos, sem contudo possibilitar a determinação do sentido do mergulho. Com relação às diferentes unidades mapeadas, na imagem, em escala 1:1.000.000, canal 7, foram elas correlacionadas com o mapa geológico de Inda e Barbosa (1978) correspondendo a unidade A com o embasamento gnaisse/granito; a unidade E com as formações Tombador e Caboclo, sendo estas impossíveis de serem individualizadas; a unidade Em<sub>1</sub> e Em<sub>2</sub> com os membros inferiores e superiores da Formação Morro do Chapéu; a unidade P com as unidades do complexo Colômbio-Salgueiro.

O anticlinal Gentio de Ouro, situado na porção setentrional da Chapada Diamantina, é outro exemplo bem caracterizado pelas imagens LANDSAT (Fig.7). Duas unidades fotogeológicas, C e D, estão expostas na parte central do anticlinal. De acordo com o mapa geológico do Estado da Bahia (Inda e Barbosa, 1978), estas duas unidades correspondem, respectivamente, à Formação Lagoa de Dentro e Formação Acuruá, do Grupo Espinhaço. Nos dois flancos do anticlinal, a unidade fotogeológica D corresponde aos membros inferiores e superiores de Formação Lavras e Formação Tombador, não sendo estas unidades separáveis nas imagens 1:1.000.000; provavelmente em escalas maiores poderiam ser reconhecidas.

As demais unidades, F, G e B, são perfeitamente correlacionadas com a Formação Caboclo, membro inferior da Formação Morro do Chapéu e Grupo Bambuí, respectivamente. Os membros inferior e médio da Formação Lavras e Tombador (unidade fotogeológica E) são compostos, principalmente, por ortoquartzitos que formam uma sequência de notáveis "dip slopes". A consequente drenagem centrífuga a partir do eixo do anticlinal provoca numerosos "water gaps" ao longo dos flancos, em função dos mergulhos das camadas.

Os lineamentos com direção geral NW-SE (Fig.7), quando comparados com a tendência do encurvamento do eixo do anticlinal, parecem ter sido causados por forças cisalhantes na mesma direção.

É bem conhecido que as feições topográficas são afetadas não somente pelas características litológicas das rochas expostas, mas também pelas deformações estruturais ocorridas. Um anticlinal alongado quase sempre forma uma crista. Uma drenagem consequente é desenvolvida e forma "dip slopes" ao longo dos flancos e o divisor de água segue o eixo da estrutura. Ao contrário, um sinclinal alongado quase sempre forma um vale e declives de vertentes sobre as quais uma drenagem consequente se desenvolve ao longo dos flancos. A Figura 8, na região sul da Faixa de Dobramento Paraguai-Araguaia, é um notável exemplo destes tipos de dobramentos e de como uma sucessão de anticlinais e sinclinais podem ser determinados por fotointerpretação, na escala 1:1.000.000.

Em áreas précambrianas de rochas cristalinas de alto grau metamórfico, frequentemente contendo tipos litológicos muito similares e onde os processos tectônicos e fases metamórficas são de caráter polifásicos e policíclicos, as dificuldades no reconhecimento litológico e mesmo na determinação das estruturas representativas de dobras são bem maiores. Outro fator que dificulta a determinação litológica é a ausência de variações tonais nas imagens destas regiões, um recurso extremamente utilizado com imagens LANDSAT. Os critérios fotogeológicos utilizados na interpretação destas áreas passam a ser calcados, sobretudo, na morfologia (ou relevo). Para ilustrar a importância da análise morfológica nestas áreas, é feita uma comparação entre dois maciços graníticos (Fig. 10 e 11), representativos das características de cerca

de 20 corpos que ocorrem na porção sul do Estado do Espírito Santo.

Na Figura 10 (1:500.000), a imagem mostra, com suficiente clareza, um corpo granítico intrusivo (maciço de Santa Angélica) de feições circulares e de forma elíptica aproximada, com limites muito bem definidos em relação às encaixantes, embora sejam elas rochas granitóides com muitas semelhanças com as da intrusão. A intrusão mostra ter sido posteriormente truncada por um falhamento que praticamente o divide em duas partes, com evidente deslocamento entre si. A análise morfológica da intrusão mostra ser ela constituída por bordas elevadas circundando uma região central deprimida, quase plana. Tal feição chama a atenção para o fato de uma possível diferenciação litológica da intrusão, ainda mais quando outros maciços desta região exibem feições similares. Os dados de campo realizados (Meneses e Paradella, 1978) comprovaram a hipótese levantada na fotointerpretação ao se confirmar que as bordas do maciço ou as regiões do relevo elevado da intrusão são formados por granitos porfiróides e a região central deprimida por rochas gabbro noríticas.

Por outro lado, nota-se, pela Figura 11, que as características morfológicas de uma outra intrusão (maciço de Aracê) são bastante adversas do exemplo anterior por não ocorrer regiões internas de relevo deprimido. Neste maciço, apenas rochas graníticas existem, não se verificando qualquer diferenciação para rochas básicas. Este critério de análise foi suficiente para permitir a separação dos quase 20 corpos intrusivos da porção sul do Espírito Santo em dois conjuntos: maciços graníticos e maciços graníticos diferenciados a termos básicos.

Porém, o mais notável, nestas áreas de rochas cristalinas, são as fortes impressões morfológicas que as falhas e fraturas imprimem no relevo. Com um exame cuidadoso dos traços de falhas e fraturas é possível estabelecer uma hierarquia relativa no tempo em que ocorreram, através da análise de deslocamentos provocados nos blocos de rocha. Na Figura 12 (1:500.000) aparece uma série de pequenas falhas e fraturas onde para ilustração algumas foram traçadas: aquelas mais recentes exibem feições topográficas mais fortes.

Diagonalmente, na direção NE-SW, a área é seccionada por um exuberante falhamento regional. Enquanto os outros pequenos traços de falhas e fraturas são caracterizados por uma morfologia expressa por finos sulcos, este falhamento regional se expressa por uma faixa de relevo que mostra ter sido fortemente dissecada, dando origem a um vale de abertura ampla. De imediato ela sugere a presença de uma zona de falha, cujas rochas sofreram forte trituração, tornando-se pouco coesas e propiciando a ação erosiva. Um componente cizalhante horizontal intenso é suposto ter acontecido, assumindo a falha um caráter transcorrente. Pode-se interpretar que os falhamentos laterais próximos são uma implicação direta do falhamento regional. Vê-se que são falhas e fraturas de direções variadas e que nunca o truncam, e explica-se esta variação de direções em virtude de prováveis e sucessivas recorrências e mudanças de direções na movimentação do falhamento transcorrente. Além disso, são falhas marcadas por vales estreitos por ter apenas pequenos movimentos verticais (horizontais, se presentes, são mínimos) sem cataclasmamento e trituração de rochas e por isso sem uma ação erosiva proeminente. No campo, estas falhas só tem como indícios comprobatórios de sua existência, a brusca mudança do mergulho da foliação nas suas proximidades que de 40 - 50° tornam-se subverticais (=80°).

Como exemplo para caracterizar o comportamento das imagens LANDSAT na região amazônica, é mostrada, na Figura 13 (1:1.000.000), uma parte da Serra dos Carajás. Devido à intensa e uniforme cobertura vegetal, refletida nas bandas do visível (canais 4 e 5) numa desconfortável homogeneização de tons cinza escuro, utiliza-se, em maior escala, para fins de interpretação geológica em região amazônica, os canais da banda do infravermelho próximo (canais 6 e 7). Como qualquer vegetação possui um alto índice de reflectância nesta banda a imagem gerada terá uma tonalidade clara dando a impressão de ter sido eliminada a vegetação, ressaltando, desta forma, a morfologia do terreno, suas estruturas e padrões texturais em muita semelhança com as imagens de radar. Ao contrário, como já mostrado na Figura 3, Quadrilátero Ferrífero, as acumulações de minério de ferro são claramente destacadas por tons pretos face à alta absorção ou baixa refletividade que o Fe exibe na banda do infravermelho. Em relação às formações litológicas, é nítido o contraste esboçado entre os sedimentos areníticos da Formação Gorotire, de aspecto maciço e drenagem características, com as formações metassedimentares do Grupo Serra dos Carajás, onde são perfeitamente delineados os traços de acamamento.

O corpo granítico presente junto aos sedimentos da Formação Gorotire,

na parte central da Figura 13, não mostra feições estruturais de que se teria intrudido nos arenitos, pois não se nota fraturamento radial e concêntrico, existência de estrutura dômica, etc. (Amaral, 1974). Os arenitos seriam posteriores à intrusão do granito.

Um outro aspecto a ressaltar do amplo emprego das imagens LANDSAT são as pesquisas realizadas na busca de identificação de astroblemas. Nas Figuras 14 e 15 são mostradas como exemplos, as crateras meteóricas de impacto das estruturas de Araguaiinha (MT) e da Serra da Cangalha (MA). As características destas estruturas, formadas pelos arqueamentos dos sedimentos paleozóicos, são bastante idênticas, principalmente pelas suas formas perfeitamente circulares e pela presença de domo, no núcleo da estrutura.

É bem notável na estrutura de Araguaiinha, e um pouco menos na da Serra da Cangalha, uma forma anelar escura ao redor do domo central, representada pelo desenvolvimento de uma vegetação no sapê de suas encostas. A borda externa da estrutura da mesma forma é marcada por um anel semelhante, de tonalidade escura. Esta aparente existência de dois anéis dá a falsa impressão de que o domo de Araguaiinha (possivelmente extensivo ao domo da Serra da Cangalha) é um astroblema de anel duplo.

Mais relevante ainda, é o fato de que o domo de Araguaiinha, estudado por Dietz em 1973, revelou-se, após o estudo com imagens LANDSAT, possuir dimensões, em diâmetro quase duas vezes maior (cerca de 45 Km) do que indicavam as evidências de campo.

#### Bibliografia

- AMARAL, G. 1974. Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica, Tese de Livre Docência, USP.
- BRUNI, M.A.L.; ALMEIDA, J.T. de; BRUNI, E.C. 1974. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Folha Rio São Francisco DNPM, Brasília.
- COLVOCOESSES, A. 1972 Image Resolutions for ERTS Skylab and Gemini/Apollo, Photogrammetric Engineering, Vol. 38, nº1.
- GREGORY, A.F. and MOORE, D. 1973 Recent Advances in Geologic Applications of Remote Sensing from Space. The 24th Congresso of the International Astronautical Federation, Baku, USSR.
- INDA, A.V. e BARBOSA, J.F. 1978 Mapa Geológico do Estado da Bahia, Governo do Estado da Bahia, Secretaria das Minas e Energia.
- LIU, C.C.; CARRARO, C.C.; YAMAGATA, S.K. 1973 Geology of the Area of the Upper São Francisco Basin and Furnas Dam (Brasil) Based on Interpretation of ERTS-1-MSS Imagery. São José dos Campos, (INPE-395-LAFE).
- LIU, C.C.; CARRARO, C.C.; YAMAGATA, S.K. 1975 Interpretação Geológica da Região do Alto e Médio São Francisco Baseado nas Imagens MSS do ERTS-1. Tese de Mestrado em Sensores Remotes e Aplicações. São José dos Campos, (INPE-790-TPT/018).
- LIU, C.C.; MENESES, P.R.; PARADELLA, W.R. 1978 Sensoriamento Remoto no Quadrilátero Ferrífero: Uma Avaliação de Dados de Diferentes Tipos de Sensores, 1º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos.
- LOWMAN JR., P.D.; FREDEN, S.C.; FINCH JR., W.A. 1976 Mission to Earth:LANDSAT Views the World, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C.
- LYON, R.J.P. 1965 Analysis of Rocks by Spectral Infrared Emission (8 to 25 microns), Economic Geology, Vol. 60.
- LYON, R.J.P.; PATTERSON, J. 1969 Airborne Geological Mapping Using Infrared Emission Spectra. Proc. Sixth Symposium on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Univ. Michigan.
- MENESES, P.R.; PARADELLA, W.R. 1978 Síntese Geológica Preliminar da Parte Sul do Estado do Espírito Santo. 1º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, SP.

MENESES, P.R.; SANTOS, A.R. dos, SANTOS, U.P. dos. 1977 Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento Geológico Regional - Folha Rio São Francisco. Tese de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações. São José dos Campos (INPE-COM.1/TPT - CUD:621.38SR:551.7)

ROWAN, L.C., 1972 Near-Infrared Iron Absorption Bands: Application to Geologic Mapping and Mineral Exploration, 4th Annual Earth Resources Program Review, Vol.3 U.S. Geological Survey Programs, Houston, Texas.

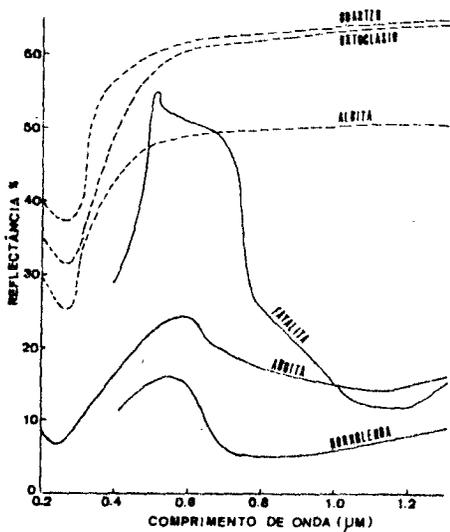


Fig.1 - Comportamento da reflectância espectral no visível e no infra vermelho próximo para minerais ricos em ferro (linha contínua) e linha tracejada)  
Fonte: Rowen 1972

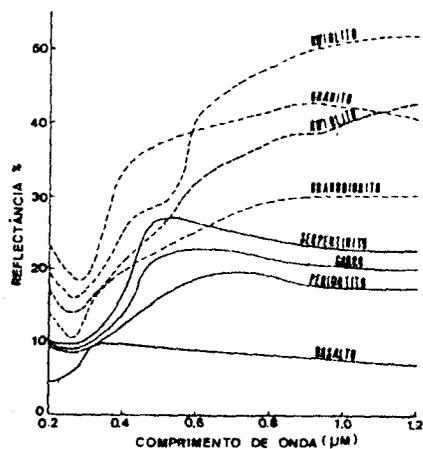


Fig.2 - Comportamento da reflectância espectral no visível e no infra vermelho próximo para rochas ricas em ferro (linha contínua) e pobres em ferro (linha tracejada)  
Fonte: Rowen 1972

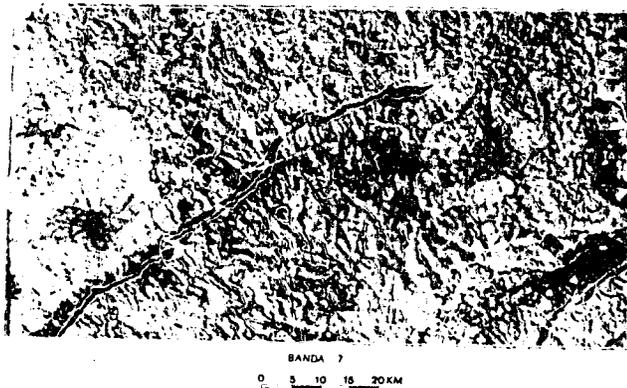


Fig.3 - Região Norte do Quadrilátero Ferrífero, canal 7. Convenções: NL-Grupo Nova Lima; IT-Grupo Itabira; PR-Grupo Piracicaba; TA-Quartzitos Cambotas.

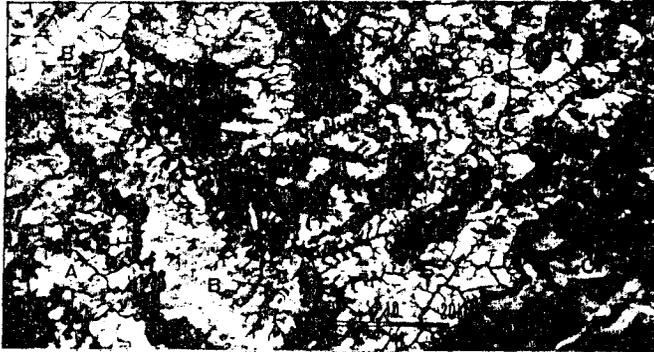


Fig.4 - Região da Chapada das Mangabeiras (GO), canal 5. Convenções: A, B e C testemunham os ciclos erosionais nos sedimentos areníticos da Fm. Urucua.

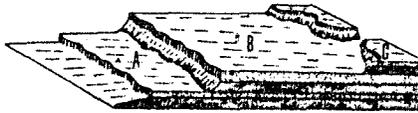


Fig. 5 - Bloco diagrama da formação das escarpas mostradas na Figura 4.

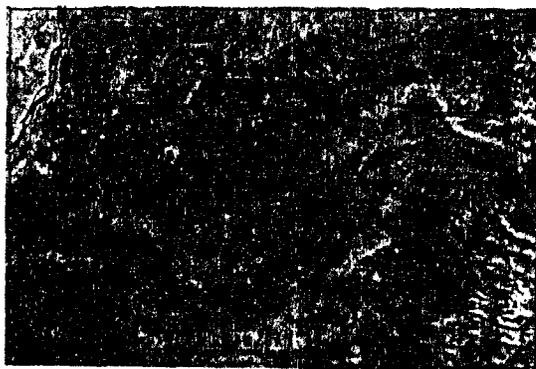


Fig.6 - Estrutura sinclinal em metassedimentos do Grupo São Francisco, região de Santo Sê, canal 7. Convenções: (Em<sub>1</sub>) e (Em<sub>2</sub>) membros inferior e superior da Fm. Morro do Chapéu; (E) Fm. Tombador e Ca bocio; (P) Complexo Colomi-Salgueiro; (A) Embasamento Cristalino.



Fig.7 - Anticlinal Gentio de Ouro, parte setentrional da Chapada Diamantina, canal 7. Convenções: (C) Fm. Lagoa de Dentro (D) Fm. Acuruá ; (E) Fm.Lavras e Tombador (F) Fm. Caboclo ; (G) Fm. Morro do Chapéu; (B) Grupo Bambuí.



Fig.8 - Região Sul da Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia canal 7, mostrando a sucessão de dobras anticlinais e sinclinais nos sedimentos do Grupo Alto Paraguai.



Fig.9 - Bloco Diagrama representativo das características dos anticlinais observados na Fig.8.

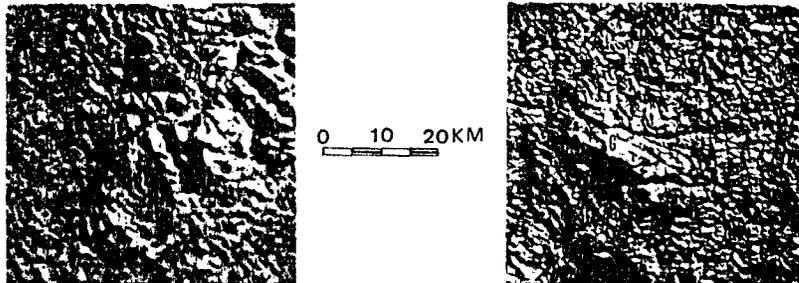


Fig.10 - Granito de Santa Angélica (ES), canal 6. Convenções: (GN) Gnaisses (GRT) Granitóide; (G) Granito ( $\gamma$ ) Gabros.

Fig.11 - Granito de Aracê (ES), canal 6. Convenções: (GN) Gnaisses; (G) Granito



Fig.12 - Expressões morfológica de folhas e fraturas em áreas cristalinas (ES); canal 6. Convenção: (GN) Gnaisses; (GRT) Granitóides; (GH) Charnockitos; (G) Granito; ( $\gamma$ ) Gabro.



Fig.13a - Imagem LANDSAT, canal 7, da região norte da Serra dos Carajás. Convenções: ver legenda da Fig.13b.

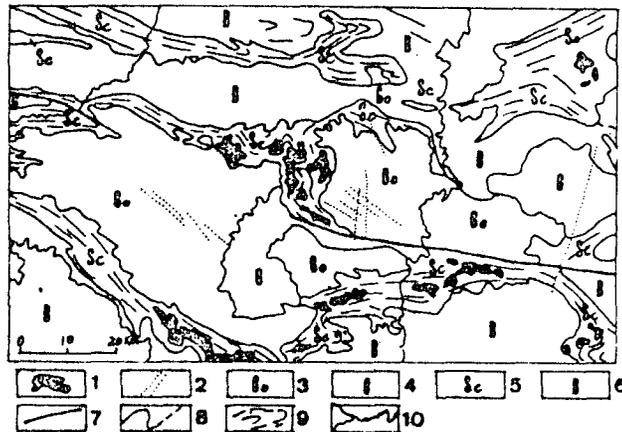


Fig.13b - Mapa geológico da região da Serra dos Carajás, correspondente à interpretação da Fig.13a. Convenções: 1-Cangas; 2-Diques de diabásio; 3-Grupo Gorotire; 4-Granitos; 5-Grupo Serra dos Carajás; 6-Complexo Cristalino; 7-Falha; 8-Contato; 9-Lineações; 10-Rios (copiado de Amaral, 1974).

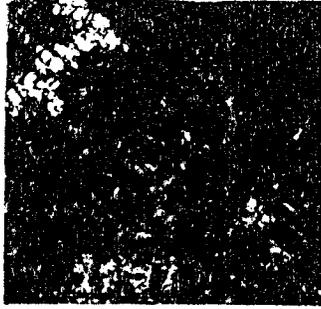


Fig. 14 - Estrutura meteórica de impacto de Araçuaia, canal 5.

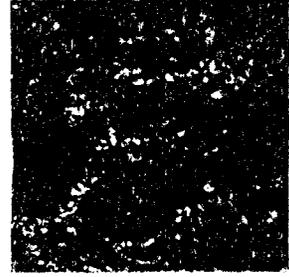


Fig.15 - Estrutura meteórica de impacto da Serra da Cangalha, canal 5.