IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES DE DADOS MULTISAZONAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM GEOLOGIA

R. Almeida Filho

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

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

RESUMO

Uma análise de dados multisazonais de imagens LANDSAT é apresentada em conjunção com suas implicações na interpretação de diferenciação litológica e feições estruturais. Imagens obtidas em diferentes épocas do ano são afetadas por variações sazonais na cobertura vegetal e nas condições de iluminação solar. Isto resulta em acentuadas variações de contrastes entre a associação solo-rocha/vegetação que, se não levados em consideração, resultariam em sérios erros de interpretação. Este trabalho pretende chamar a atenção para tais problemas, a fim de obter uma máxima eficiência quando dados LANDSAT forem usados para aplicações geológicas.

ABSTRACT

An analysis of multiseasonal LANDSAT imagery data is presented in conjunction with its implications in the interpretation of lithologic differentiation and structural features. Imageries acquired in different times of the year are affected by seasonal variations in the vegetation cover and solar illumination conditions. This results in strong contrasts among the rock-soil-vegetation association which, if not taken into consideration, could result in serious interpretation errors. This report intends to call attention for such problems, in order to obtain maximum efficiency when using LANDSAT data for geological applications.

1. INTRODUÇÃO

As variações sazonais mais importantes registradas nas imagens de sensoriamento remoto estão relacionadas às condições de iluminação da área, em função das relações geométricas entre os ângulos solares de elevação e azimute e a topografia, e ao comportamento da vegetação, no que diz respeito ao vigor e, principalmente, ao índice de cobertura vegetal do terreno. Neste trabalho mostram-se, através de alguns exemplos, como esses parâmetros ambientais interferem na análise e na interpretação desses dados.

2. CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO

Variações sazonais nas condições de iluminação de uma área em função dos ângulos solares de elevação e azimute e, suas relações com a fotografia acarretam mudanças acentuadas nas características fotogeológicas das imagens. As imagens orbitais na primavera-verão são tomadas sob ângulos de elevação solar mais altos, reduzindo assim, os efeitos de sombreamento; as imagens tomadas durante o outono-inverno, ao contrário, devido aos ângulos de elevação solar mais baixos mostram fortes efeitos de sombreamento, ressaltando as feições topográficas de micro e macro relevos, as quais são elementos de fundamental importância na análise e interpretação fotogeológica (Hackman, 1967, Walker and Trexler, 1977).

Além dos ângulos solares, esses efeitos de sombreamento serão função também do perfil e da orientação das cristas topográficas, em relação à direção de iluminação. Se determinada feição topográfica orienta-se na mesma direção do azimute solar, ambos os seus lados serão uniformemente iluminados, não aparecendo, assim, efeitos importantes de sombreamento. Se, ao contrário, ela formar determinado ângulo com a direção azimutal, o que normalmente ocorre, os seus lados serão diferentemente iluminados, sendo os efeitos de iluminação tão mais intensos, quanto mais frontal a crista topográfica estiver em relação à direção de iluminação.

A Figura 1 mostra trechos de imagens da banda 7 (infravermelho próximo) do LANDSAT, tomadas em diferentes épocas do ano e, consequentemente, sob diferentes condições de iluminação. A cena tomada no mês de julho, sob mais baixo ângulo de elevação solar, ressalta mais nitidamente uma grande estrutura anticlinal (eixo N25E) em mica-xistos e quartzitos que forma parte da serra Dourada, próxima à cidade de Goiás Velho-GO, do que a imagem de outubro, tomada sob ângulo de elevação solar mais alto. Do mes

mo modo, o corpo granítico intrusivo, observado no canto superior esquerdo das fotos é melhor evidenciado na imagem tomada no inverno do que naquela tomada na primavera. O azimute solar diferente em ambas as imagens do exemplo abaixo condiciona também direções distintas de sombreamento.

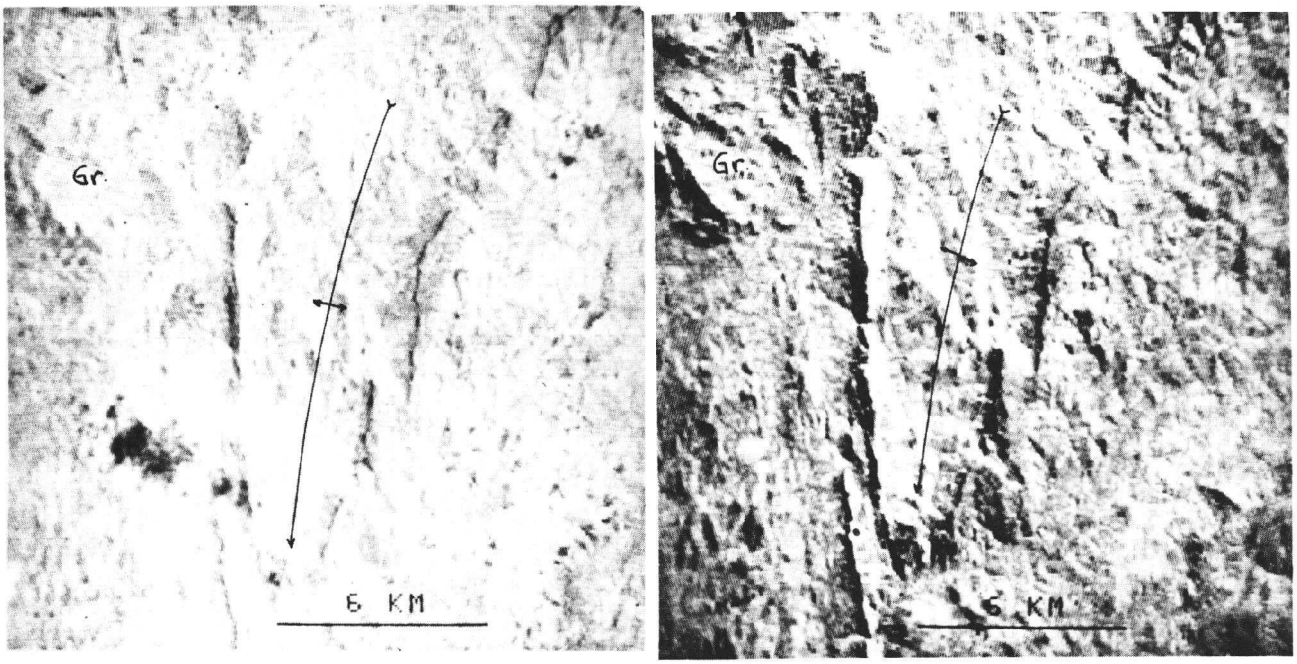

Fig. 1 - Estrutura anticlinal vista em imagens da banda 7 do MSS do LANDSAT, em diferentes épocas do ano.

a - Passagem 16/10/76; Elevação solar 43°; Azimute solar 87°.

b - Passagem 16/07/76; Elevação solar 28°; Azimute solar 54°.

Quando se utilizam as imagens de sensoriamento remoto, procurando-se analisar suas variações tonais como associadas ao comportamento espectral de diferentes associações de solo-rocha/vegetação, os efeitos de iluminação são indesejáveis, pois podem criar variações tonais dentro de uma mesma unidade, ou fazerem com que alvos diferentes apareçam com tonalidades idênticas. A importância dos ângulos de iluminação sobre a refletividade dos alvos naturais foi avaliada por Egbert and Ulaby, 1972. Utilizando-se asfalto e grama, e sabendo-se que normalmente a relação de refletividade entre ambos é, respectivamente de 1:2, aqueles autores mostraram que sob certas condições de iluminação esta relação podia inverter-se.

A Figura 2 ilustra como um mesmo alvo geológico pode mostrar comportamentos espectrais distintos, em função das condições de iluminação a que estiver submetido. Neste exemplo, A representa condições "normais" de iluminação, em função da topografia plana; B representa uma área de intensa iluminação devido a incidência frontal dos raios solares, enquanto C representa uma área de "sombra" iluminada apenas pela reflexão difusa da radiação na atmosfera, ou pela sua reflexão na topografia vizinha. A densidade de iluminação em cada um desses pontos (ou seja, a *irradiância*) varia com o co-seno estabelecido entre o raio incidente e a normal à superfície (Preisendorfer, 1976). Como a radiância, grandeza radiométrica medida pelos sensores, é diretamente proporcional à *irradiância*, e esta obedece a uma relação co-seno, conclui-se que um mesmo alvo poderá mostrar comportamentos espectrais distintos em função das condições de iluminação a que estiver submetido.

Estas variações de iluminação em função das relações entre a topografia e os ângulos solares podem ser facilmente observadas na Figura 3, que mostra o granito da serra da Pedra Branca, município de Nova Roma-GO, através de imagens da banda 5 do LANDSAT, tomadas sob diferentes condições de iluminação. Na imagem da estação seca (Figura 3a), tomada sob ângulo de elevação solar mais baixo (30°), as faces topográficas voltadas para a direção de iluminação (T) aparecem em tons claros, enquanto aquelas áreas de topografia mais plana mostram-se mais escuras. Se se analisar apenas a imagem da estação seca, sem uma atenção maior aos efeitos da iluminação diferencial, poder-se-á, erroneamente, admitir essas variações tonais como li-

gadas ao comportamento espectral de diferentes faciologias no interior do corpo granítico, quando na verdade elas representam apenas áreas com maior densidade de iluminação. A cena tomada sob ângulo de elevação solar mais alto (46º) na estação de chuvas mostra a superfície do terreno mais uniformemente iluminada (Figura 3b) e, portanto, sem efeitos importantes de sombreamento. Uma técnica que minimiza esses efeitos de iluminação diferencial em imagens digitais do LANDSAT é discutida por Almeida Filho and Vitorello (1981).

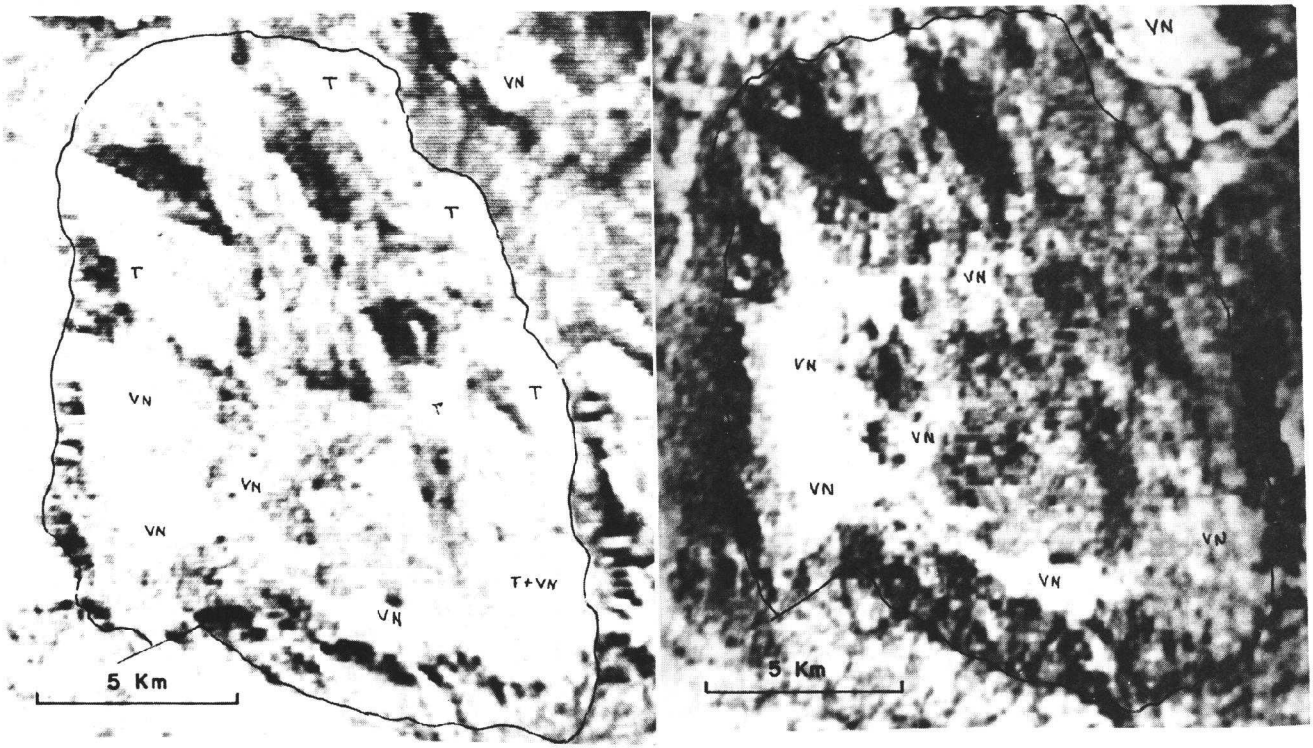

Fig. 2 - Variações na intensidade de iluminação de uma área, em função das relações entre a topografia e os ângulos de incidência dos raios solares. Adaptado de Kowalick, 1981.

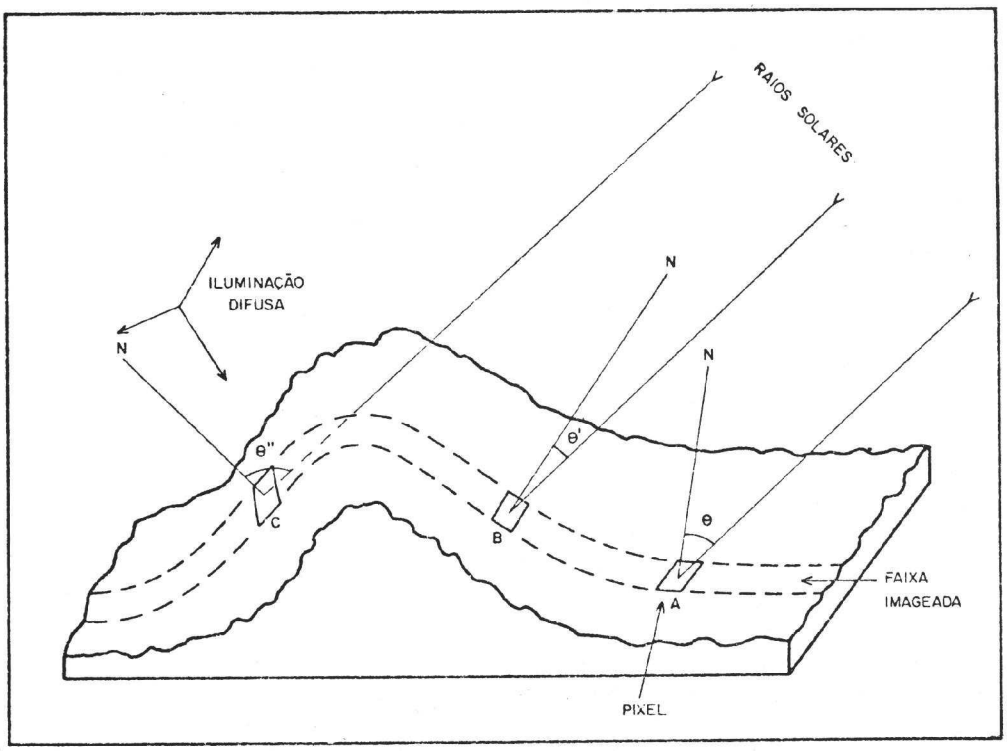

Fig. 3 - Imagens da banda 5 do MSS do LANDSAT que mostram variações tonais decorrentes principalmente do comportamento da cobertura vegetal na estação seca (a) e na estação de chuvas (b), e também como função das condições de iluminação.

3. O PAPEL DA VEGETAÇÃO

As variações sazonais mais importantes do ponto de vista espectral, registradas em imagens de épocas diferentes, não são aquelas ligadas às condições de iluminação, mas sim aquelas decorrentes do comportamento da cobertura vegetal. A vegetação quando não apresenta correlação com o substrato rochoso é prejudicial à análise e à interpretação de dados de sensoriamento remoto, uma vez que mascara a informação espectral proveniente do complexo solo/rocha (Siegal and Goetz, 1977). Um perfeito entendimento de suas características espectrais e de como elas influenciam esses dados é, portanto, fundamental. A Figura 4 mostra as curvas de reflectância da vegetação verde, da vegetação com deficiência de água e a curva média para solos, na faixa espectral de sensibilidade do MSS do LANDSAT.

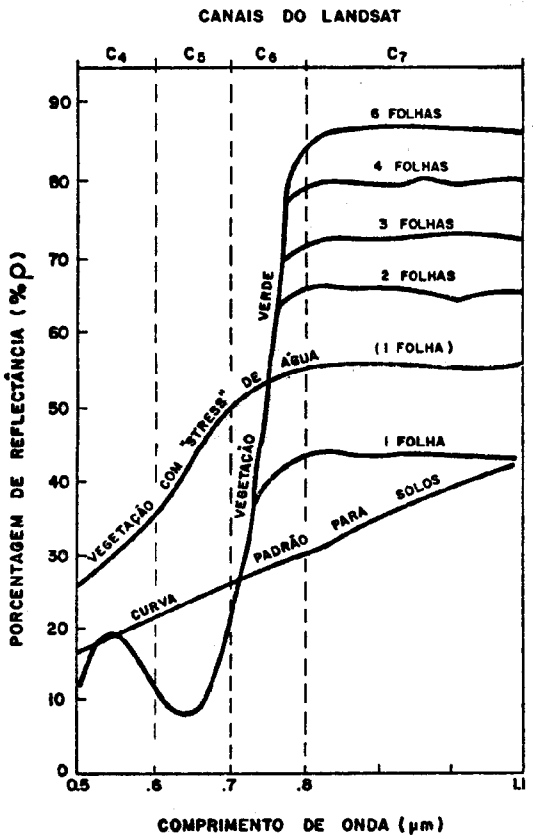

Fig. 4 - Curvas de reflectância para vegetação e para os solos (média) na faixa espectral do MSS do LANDSAT. Adaptado de Myers (1970) e de Hoffer (1978).

Na faixa do visível, o comportamento da vegetação verde é caracterizado por forte banda de absorção, a qual ocorre logo que a radiação incide na primeira folha. No infravermelho, a resposta da vegetação cresce com a densidade da folhagem. A deficiência de água aumenta a reflectância da vegetação em todo o intervalo considerado, visível e infravermelho, suplantando inclusive a resposta dos solos na faixa do visível, o que não ocorre no caso da vegetação verde.

Como visto na Figura 4, a densidade de folhagem exerce importante papel na intensidade da resposta da vegetação no infravermelho próximo. A maior densidade de folhagem na estação de chuvas faz com que a imagem da banda 7 do MSS, tomada nessa época, seja mais clara e mais homogênea em tons que aquela da estação seca. Isto pode ser observado na Figura 5, que mostra imagens da banda 7 do LANDSAT na região centro-leste de Goiás, em áreas de ocorrência do Complexo Basal Goiano, do Grupo Araí e do Grupo Bambui. A imagem da estação de chuvas mostra tonalidade mais clara, em função da maior densidade da cobertura vegetal nessa época do ano. O desenvolvimento diferencial da cobertura vegetal na época de chuvas permite distinguir, pela tonalidade, a área de afloramento do Grupo Bambui, que aparece em tons mais claros na imagem dessa estação.

As estações de chuva e de seca modificam também a resposta da vegetação na faixa espectral do visível. As variações tonais observadas no canal 5 são devidas principalmente às diferentes associações de solo e de vegetação, em termos de exposição relativa entre ambos. Assim, durante a estação de chuvas, o maior vigor e a maior densidade da folhagem acarretam forte absorção da radiação nessa faixa espectral fazendo com que áreas de cobertura vegetal mais densa apareçam em tons mais escuros, nas imagens do canal 5 do LANDSAT (Figura 3). Por sua vez, áreas com solos expostos ou com coberturas vegetais menos densas serão mais contrastadas nessa banda, apresentando-se em tonalidade mais claras. Na estação seca, a maior exposição de solos-rochas à incidência de cobertura vegetal e ao fato das gramíneas secas terem também altas respostas na faixa do visível, alteram substancialmente as relações de contraste solo-rocha/vegetação nesse canal (Figura 3). A Figura 3 mostra duas imagens da banda 5 do LANDSAT, tomadas nas estações de seca (a) e de chuvas (b), onde essas relações podem ser facilmente observadas.

Os tons de cinza claros nas imagem da época de chuvas representam áreas com menores índices de cobertura vegetal natural (VN) diferenciados nessa estação, os quais correspondem a associações geobotânicas distintas, condicionadas a diferentes faceis no interior do maciço granítico da serra da Pedra Branca (Almeida Filho, 1982). Na imagem da estação seca, essa diferenciação geobotânica é muito menos acentuada, uma vez que a vegetação com deficiência de água, especialmente as gramíneas que estão secas nessa época do ano, apresenta uma curva de

comportamento espectral muito semelhante à curva dos solos (Figura 4), diminuindo assim, a relação de contraste entre áreas com solos expostos e áreas com vegetação, na faixa do canal 5. A maioria dos tons claros na imagem da estação seca não corresponde a variações nos índices de cobertura vegetal natural (VN), mas estão ligados a condições anômalas de iluminação (T).

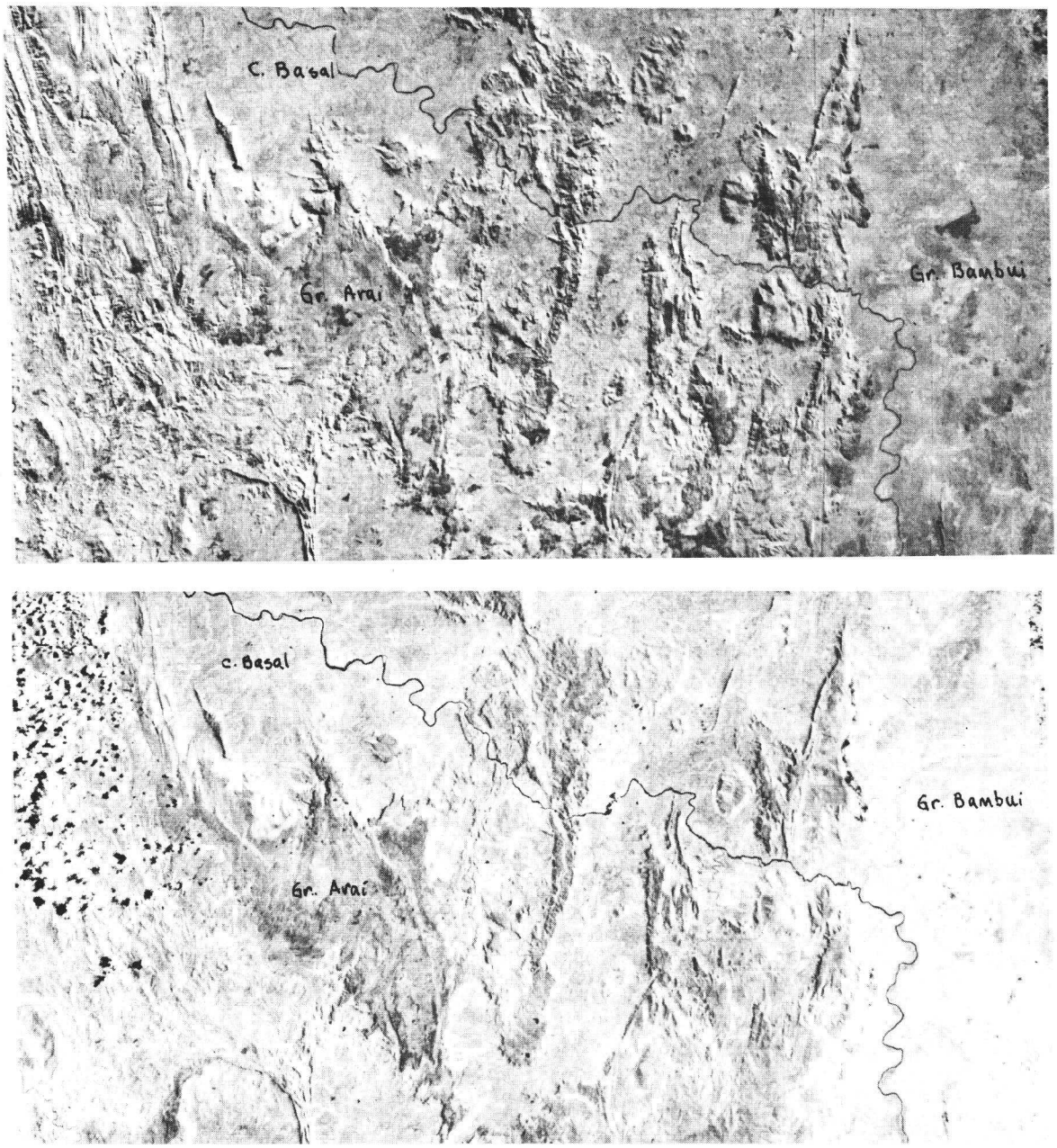

Fig. 5 - Imagens da banda 7 do MSS do LANDSAT, tomadas na estação seca (a) e na estação de chuva (b).

4. CONCLUSÕES

Enquanto as imagens tomadas sob baixos ângulos de elevação solar (inverno) ressaltam os elementos texturais do terreno, de grande importância na análise e interpretação fotogeológica, as imagens tomadas na estação de chuvas mostram a superfície do terreno mais uniformemente iluminada, o que facilita a análise do comportamento espectral dos diferentes alvos que integram a paisagem

O crescimento diferencial da vegetação na estação das chuvas pode ressaltar, nas imagens dessa estação, associações geobotânicas específicas. A constatação de que estas podem ser detetadas em imagens orbitais abriu amplas perspectivas de uso do sensoriamento remoto na deteção de associações anômalas de vegetação, como guias na prospecção mineral, como mostram Lyon (1975a e b); Bølviken et alii (1977); Raines et alii (1978).

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao colega Paulo R. Meneses pela revisão crítica do trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO,R. Multitemporal and geobotanical approach in the remote detection of greisenization areas in the Serra da Pedra Branca granite, Goiás State, Brazil, *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 16.,Buenos Aires, 2-9 junho, 1982.

ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. Enhancement of digital images through band ratio techiniques for geological applications. *COGEODATA - Iamg South America Meeting*, Rio de Janeiro, 10-15, dec. 1981.

BØLVIKEN, B.; HONEY, F.; LEVINE, S.R.; LYON R.J.P.; PRELAT, A. Detection of Naturally heavy-metal poisoned areas by LANDSAT-1 digital Data. *Journal Geochemistry exploration*, 8 (1/2):457-471, 1977.

EGBERT, D.D.; URLABY, F.T. Effect of angles on reflectivity. *photogrammetric Engineering*, 38 (6):556-564, 1972.

HACKMAN, R.J. Time, Shadows, Terrain and Photointerpretation. *Geological Survey Professional Paper*, (575-B):B155-B160, 1977.

HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in appliying computer-aided analysis techiniques to remote sensing data. In: SWAIN, P.; DAVIS, S.M. *Remote Sensing the quantitative approach*. New York, N. Y., McGraw-Hill, 1978. cap.5, p. 227-289.

KOWALIK, W.S. Atmospheric correstions to LANDSAT data for limonite discrimination. Thesis. Stanford. CA. Stanford University, Depart. of Earch Science, 1981.

LYON, R.J.P. Correlation between ground metal analysis,vegetation reflectance and ERTS brightness over a molybdenium Skarn deposit, Pine nut mountains, western Nevada. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, 1975a. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1975, v.2, p. 1031-1044.

_____ Mineral exploration applications of digitally processed LANDSAT imagery. In: ANNUAL WILLIAN T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, 1., Sioux Falls, 1975b. *Proceedings. Sioux Falls, ASP-USGS*, 1975, p. 271-292.

MYERS,V.I. Solis, Water and plant relations. IN: NATIONAL ACADEMIC SCIENCE, *Remote Sensing with special reference to agriculture anf forest*. Washington, DC, 1970. cap. 6,p. 253-297.

RAINES, G.L.; OFFIELD, T.W.; SANTOS, E.S. Remote sensing and subsurface definition of facies and structures related to uranium deposits, Powder River Basin, Wyoming, *Economic Geology*, 73(8):1706-1723, 1978.

SIEGAL, B.S.; GOETZ, A.F.H. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination, *photogrammetric Engineering and Remore Sensing*, 43(2):191-196, 1977.

WALKER, P.M.; TREXLER, D.T. Low-sun-angle photography. *photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(4):493 506, 1977.