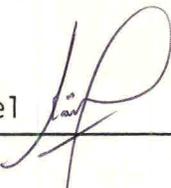


1. Publicação nº <i>INPE-2418-PRE/126</i>	2. Versão	3. Data <i>Maio, 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>RECFMI</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGENS LANDSAT DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:552.322.2</i>			
8. Título <i>DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL DAS ÁREAS DE GREISENIZAÇÃO NO GRANITO DA SERRA DA PEDRA BRANCA - GO, À TRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS DO SATÉLITE LANDSAT-1</i>		10. Páginas: <i>13</i>	
		11. Última página: <i>11</i>	
9. Autoria <i>Raimundo Almeida Filho</i>		12. Revisada por <i>Jean Vitorello</i> Ícaro Vitorello	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas <p><i>Análises de imagens multiespectrais do satélite LANDSAT-1, em forma de fitas digitais magnéticas, permitiram discriminar áreas de greisenização ("sensu latu") no Granito da Serra da Pedra Branca, pertencente à Província Estaniífera de Goiás. O parâmetro básico que permitiu a discriminação foi a caracterização espectral de distintas associações de solo-rocha/vegetação, específicas a essas áreas de alterações metassomáticas, através de análises de imagens multisazonais, realçadas por computador. Os resultados obtidos mostram que imagens de sensoriamento remoto orbital podem ser uma ferramenta de grande potencialidade como auxílio aos métodos tradicionais de prospecção, especialmente nas etapas iniciais de pesquisas, economizando-se tempo e dinheiro ao selecionar áreas potencialmente favoráveis, onde os trabalhos de campo devem se concentrar.</i></p>			
15. Observações <p><i>Trabalho submetido para apresentação no XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, de 12 a 18 de setembro de 1982, Salvador - Bahia.</i></p>			

DISCRIMINAÇÃO ESPECTRAL DAS ÁREAS DE GREISENIZAÇÃO NO GRANITO
DA SERRA DA PEDRA BRANCA - GO; ATRAVÉS DE IMAGENS
DIGITAIS DO SATÉLITE LANDSAT-1

Raimundo Almeida Filho

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq
C.P. 515 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

Análises de imagens multiespectrais do satélite LANDSAT 1, em forma de fitas digitais magnéticas, permitiram discriminar áreas de greisenização ("sensu latu") no Granito da Serra da Pedra Branca, pertencente à Província Estanífera de Goiás. O parâmetro básico que permitiu a discriminação foi a caracterização espectral de distintas associações de solo-rocha/vegetação, específicas a essas áreas de alterações metassomáticas, através de análises de imagens multisazonais, realçadas por computador. Os resultados obtidos mostram que imagens de sensoriamento remoto orbital podem ser uma ferramenta de grande potencialidade como auxílio aos métodos tradicionais de prospecção, especialmente nas etapas iniciais de pesquisas, economizando-se tempo e dinheiro ao selecionar áreas potencialmente favoráveis, onde os trabalhos de campo devem se concentrar.

ABSTRACT

Multiseasonal analysis of LANDSAT multispectral imagery in CCT format permitted the mapping of lithologic facies in the Pedra Branca Granite, using geobotanical associations, which occur in the form of variations in the density of "cerrado" vegetation, as well as the predominance of certain distinct vegetation species. Dry season images did not show very good results in lithological differentiation due to anomalous illumination conditions related to the low solar elevation and the homogeneity in the vegetation cover, specially the grass that becomes dry during this season. Rainy season images, on the other hand, allowed the separation of the lithological types, a fact attributed to a greater differentiation among the geobotanical associations. As a result of the study the muscovite-granite facies in the Serra da Pedra Branca granite were mapped. The methodology can be successfully applied to others granitic bodies elsewhere in the Tin Province of Goiás.

INTRODUÇÃO

Este trabalho mostra a aplicabilidade das imagens multi espectrais LANDSAT (NASA, 1976), na forma de fitas digitais compatíveis com computador, na discriminação das áreas de greisenização ("sensu lato"), no granito estanífero da Serra da Pedra Branca, Estado de Goiás. O parâmetro básico que permitiu a discriminação foi a caracterização espectral de distintas associações de solo-rocha/vegetação específicas a essas áreas de alterações metassomáticas, através de análises de imagens multiazonais realizadas por computador. A constatação de que associações geobotânicas podem ser detectadas por sensoriamento remoto abriu amplas perspectivas para o emprego dessa técnica como auxílio direto aos métodos convencionais de prospecção mineral, como mostram Lyon (1975), Bolviken et alii (1977) e Birnie and Francica (1981). A detecção espectral de associações distintas de solo-rocha/vegetação é, no entanto, função do tipo e densidade da cobertura vegetal, da resposta espectral do conjunto solo-rocha, do tipo e faixa de sensibilidade do sistema sensor e da estação do ano, como será visto a seguir.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O granito da Serra da Pedra Branca localiza-se no município de Nova Roma, Estado de Goiás, aproximadamente 400 Km ao norte de Brasília. O acesso à área é feito por estradas de terra que se tornam bastante precárias na estação das chuvas. Domina na região o clima semi-úmido, com duas estações distintas: uma chuvosa, entre outubro e abril, com precipitação pluviométrica média da ordem de 1500 mm e outra seca entre maio e setembro. As temperaturas médias anuais giram em torno de 25°C. A vegetação é o cerrado com variações locais para cerradões, cam

pos sujos e campos limpos.

a) GEOLOGIA

O granito da Serra da Pedra Branca tem forma dômica com eixos maiores da ordem de 12 km x 9 km, constituindo marcante feição topográfica com desnível da ordem de 400 metros em relação à cota regional. O granito está encaixado em gnaisses e migmatitos do Embasamento Indiviso. Datações geocronológicas Rb-Sr indicam valores preliminares da ordem de 1550 m.a. para a época de formação do corpo (Hasui et alii, 1980). Movimentos assencionais posteriores, possivelmente ligados ao evento Uruçuano entre 1100 ± 100 m.a., colocaram-no também em contato com rochas mais novas do Grupo Araí (Marini et alii, 1980).

Padilha e Laguna (1981) apresentaram uma síntese da geologia do granito da Pedra Branca, fruto de vários anos de pesquisas desenvolvidas pela DOCEGEO na área (figura 1). O maciço é constituído de um corpo maior de biotita-granito de coloração cinza claro a rósea com textura média e grossa, algumas vezes porfirítica. Ele sofreu intensos processos de transformações pós-magmáticas de natureza pneumatolítica - hidrotermal, representados por várias fácies que variam de granitos ligeiramente greisenizados (biotita-muscovita-granitos) a greisens típicos. Esses tipos tardi-diferenciados são de cor clara, com forte foliação cataclástica, o que lhes confere uma textura gnáissica. A sua principal área de ocorrência localiza-se na porção oeste do maciço, formando uma depressão alongada norte-sul com eixo maior de 4 Km por 2 Km de largura, localmente denominada "Bacia", representada por muscovita-granitos albitizados. Os greisens típicos (quartzo-mica) ocorrem preenchendo fraturas, na forma de lentes que podem atingir até 100 metros de comprimento. Esses metassomatitos são usualmente ricos em cassiterita e constituem depósitos de estanho com importância econômica. O cataclasmamento do granito desenvolveu extensas faixas de milonito-xistos, muito semelhantes em aparência aos verdadeiros greisens, o que torna difícil a distinção no campo entre essas duas litológicas.

b) COBERTURA VEGETAL

No granito da Pedra Branca é bastante clara a ocorrência de certas associações geobotânicas adaptadas a diferentes fácies litológicas do maciço. Elas se manifestam como variações no tipo de cerrado ou pela predominância local de determinadas espécies, função da diferença de fertilidade dos solos desenvolvidos nas áreas de biotita-granitos e de muscovita-granitos. Assim, nas áreas de solos mais férteis (biotita-granito) desenvolveu-se o cerrado típico, caracterizado por árvores baixas, de troncos e galhos retorcidos e denso tapete de gramíneas. Por outro lado, nas áreas de muscovita-granitos, dada a maior acidez do solo desenvolvido nesses locais, o cerrado torna-se bastante ralo, com poucas árvores maiores, predominando as gramíneas, também pouco desenvolvidas. A Figura 3 mostra o contraste entre essas duas associações geobotânicas na área da "Bacia". Nos locais onde os processos de alteração metassomática foram mais intensos, os solos são ainda mais pobres e a vegetação menos desenvolvida e mais especializada em determinadas espécies. Nesses locais predominam a "canela-de-ema" (*Vellozia flavicans*) e o capim "barba-de-bode" (*Aristida pallens*), como mostra a Figura 4.

ANÁLISE DAS IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Utilizaram-se neste trabalho imagens do imageador multiespectral (MSS) do satélite LANDSAT-1, em forma de fitas digitais compatíveis com computador (CCT), obtidas na estação seca (E-173177, de 26 de junho de 1973) e na estação de chuvas (E-175077, de 18 de março de 1975). A importância da análise de dados multiesazonais em geologia foi recentemente discutida por Almeida Filho (1982). Deu-se preferência às imagens mais antigas, obtidas aproximadamente na mesma época do descobrimento de cassiterita na área, evitando-se, assim, ao máximo, os efeitos causados na cobertura vegetal pela atividade dos garimpeiros. As imagens foram analisadas no Analisador Multiespectral I-100 (GE, 1975), com escala de

256 níveis de cinza distribuídos entre o preto (nível zero) e o branco (nível 255), seguindo-se basicamente os seguintes passos:

- A. AMPLIAÇÃO - As imagens foram ampliadas para uma escala de vídeo de 1:75.000.
- B. CORREÇÕES - As imagens foram corrigidas para efeitos de ruído e de espalhamento atmosférico.
- C. AUMENTO DE CONTRASTE - As imagens do canal 5 das estações de chuvas e de seca foram realçadas utilizando-se o programa "Linear Contrast Stretch", que consiste na redistribuição linear dos níveis de cinza de cada canal dentro do intervalo de 256 níveis.
- D. DIVISÃO DE CANAIS ("Ratio") - Este programa consiste na divisão ("pixel" a "pixel"*) de uma imagem por outra. Os "ratios" entre canais não-correlacionáveis assinalam variações na densidade de cobertura vegetal do terreno (Raines et alii, 1978). No produto gerado da divisão do canal 7 pelo canal 5 ($R_{7,5}$) áreas com cobertura vegetal mais densa aparecem em tons mais claros, enquanto áreas com vegetação mais rara são mais escuras. Além de reunirem em um único produto informações de dois canais, as imagens "ratio" são menos dependentes das condições de iluminação e de variações de albedo dentro de um mesmo alvo (Almeida Filho and Vitorello, 1981).

Como as informações gravadas nos canais do visível (4 e 5) e do infravermelho (6 e 7) do MSS são mutuamente redundantes, utilizaram-se apenas os canais 5 (0,6-0,7 μm) e 7 (0,8-1,1 μm) por serem não-correlacionáveis. A análise da Figura 2, que mostra as curvas de comportamento espectral da vegetação e de solos na faixa de sensibilidade do MSS do LANDSAT, suporta essa assertiva. Como os solos e a vegetação apresentam comportamentos espectrais opostos na banda do canal 5, analisaram-se inicialmente as imagens desse canal procurando-se caracterizar áreas com diferentes porcentagens de cobertura vegetal do terreno, que seriam representativas das associações geobotânicas observadas na Pedra Branca. Os níveis de cinza mais escuros nesse canal representariam áreas com maior densidade de cobertura vegetal (maior absorção da radiação) correspondentes ao biotita-granito. Por outro lado, os tons mais claros estariam representando áreas com maior exposição do terreno à incidência direta da radiação (menor cobertura vegetal), correspondentes, possivelmente, à ocorrência de muscovita-granitos greisenizados. No infravermelho correspondente à faixa do canal 7, tanto os solos como a vegetação refletem bem a radiação, de tal maneira que não se notam, nessa faixa de sensibilidade espectral, contrastes acentuados entre ambos, se ela é analisada individualmente.

As imagens geradas a partir das técnicas descritas em C e D foram analisadas em conjunto com fotografias aéreas (escala 1:60.000), imagens de RADAR (ampliações fotográficas em escala 1:75.000), cartas topográficas (escala 1:50.000), vôos de reconhecimento e seguiu das campanhas de campo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

a) IMAGENS REALÇADAS COM "CONTRAST STRETCH"

A Figura 5 mostra o granito da Pedra Branca através da

* Unidade de informação da imagem.

imagem da banda 5 do LANDSAT na estação seca (inverno), realçada através da técnica do "contrast stretch". A análise dessa imagem mostra que as variações tonais nela observadas não representam, na grande maioria dos casos, as diferentes associações de solo-rocha/vegetação conhecidas na área e, portanto, possuem pouco significado geológico. Nem mesmo a extensa área de muscovita-granitos albitizados que constituem a "Bacia" foi evidenciada com clareza nessa imagem, sendo facilmente confundida com outras áreas no interior do granito. As variações tonais nela observadas são decorrentes basicamente de condições não-favoráveis de iluminação, função das relações entre a topografia e o baixo ângulo de elevação solar (30°) nessa época do ano. Desse modo, as faces topográficas diretamente voltadas para o sol aparecem em tons claros nessa imagem devido à intensa irradiação solar frontal. Ainda como efeito do baixo ângulo solar, aparecem áreas de sombreamento nas faces topográficas opostas à direção de iluminação.

Além das condições não-favoráveis de iluminação, a fraca diferenciação litológica/geobotânica na imagem do inverno é devida ao fato de as gramíneas, em toda a área do granito, estarem secas nessa época do ano. A deficiência de água na folhagem elimina o pico de absorção da radiação pela clorofila centrado em $0,65 \mu\text{m}$, eliminando, em consequência, as relações de contraste entre solo e vegetação (Figura 2), responsáveis pelas variações tonais observadas na faixa de sensibilidade do canal 5.

A estação de chuvas (verão) marca acentuada diferenciação no padrão de cobertura vegetal da área. A Figura 6 mostra a imagem da banda 5 tomada na época de chuvas, realçada pelo "contrast stretch". Nota-se na borda oeste do granito uma área com tons de cinza claros que correspondem à zona de muscovita-granitos que constituem a "Bacia". A distinção dessa área foi possível porque nessa época do ano a vegetação, especialmente as gramíneas, está no seu maior vigor nas áreas de biotita-granito. Por outro lado, a presença da água não altera significativamente a vegetação adaptada às áreas de alteração metassomática, dada à alta acidez dos solos nesses locais. As gramíneas aí continuam pouco desenvolvidas e os outros tipos vegetais, como a "canela-de-ema" e o capim "barba-de-bode", não variam com a estação do ano.

Outras áreas com tonalidades claras são também sugestivas na imagem da Figura 6, embora esta cena, mesmo tomada sob ângulo de elevação solar mais alto (46°), ainda mostre alguns efeitos de iluminação diferencial, são eliminados através da técnica de divisão de canais, discutida a seguir.

b) IMAGENS "RATIO"

O R_{7,5} de imagens tomadas na época de chuvas, quando o desenvolvimento da cobertura vegetal na área é diferenciado, ressaltou mais claramente as áreas de alteração metassomática no granito da Pedra Branca, definidas no intervalo de cinza compreendido entre os níveis 131 e 181. A Figura 7 mostra essas áreas extraídas com o programa "cluster synthesis" (GE, 1975), a partir do R_{7,5}, e sobrepostas como um tema à imagem da banda 7 do LANDSAT. Essa sobreposição visa mostrar melhor a distribuição dessas áreas no interior do granito, uma vez que a imagem "Ratio", ao minimizar os efeitos de sombreamento, elimina também a morfologia do terreno, dificultando, assim, a localização das áreas alvo no campo. Na Figura 7, o alvo 1 corresponde aos muscovita-granitos que formam a "Bacia". O alvo 2 corresponde também a muscovita-granitos com as mesmas características daqueles da "Bacia". Na área 3 ocorrem alguns filonitos e rochas metassomáticas, aflorando, no entanto, biotita-granito no fundo dos vales. Em superfície essa área é coberta por seixos de quartzo e possui uma cobertura vegetal rala, semelhante à da "Bacia". No alvo 4 ocorrem milonito-xistos, os quais são muito semelhantes aos granitos greisenizados que também são cataclasa

dos e, assim, facilmente confundidos entre si. O alvo 5 são depósitos coluvionares sem cobertura vegetal. O alvo 6 é também um depósito coluvionar; este, no entanto, é rico em cassiterita proveniente de material da "Bacia", o qual constitui o garimpo do Areia.

c) ANÁLISE DE FOTOS AÉREAS E IMAGENS DE RADAR

As Figuras 8 e 9 mostram o granito da Pedra Branca respectivamente através de fotografia aérea (originalmente na escala de 1:60.000) e imagem de radar (ampliada fotograficamente a partir de mosaico na escala de 1:250.000).

A análise desses produtos mostra que são deficientes na discriminação espectral das áreas metassomáticamente alteradas no granito de Pedra Branca. As fotografias aéreas pancromáticas são um sensor de alta resolução espacial, registrando, com riqueza de detalhe, a distribuição dos elementos superficiais do terreno. Elas são, no entanto, muito pobres em resolução espectral, pois gravam informações dentro de uma ampla faixa correspondente à radiação visível (0,4 a 0,7 μ m), e não em segmentos espectrais estanques que permitiriam o registro de cada feição do terreno, de acordo com o seu comportamento espectral próprio. Quanto à imagem de Radar, as feições naturais que controlam o sinal gravado por esse sistema são a rugosidade da superfície, as cristas topográficas e as características dielétricas do terreno. A experiência prática tem mostrado que as propriedades dielétricas do terreno não causam, na grande maioria dos casos, trocas acentuadas no sinal de retorno capazes de serem registradas nas imagens fotográficas do Radar. Assim, os fatores naturais que governam o sinal gravado estão ligados à morfologia do terreno. Na faixa utilizada pelo RADAMBRASIL (comprimento de onda de 3,2 cm) a cobertura vegetal funciona também como uma superfície rugosa, que espalha o sinal. Desse modo, as variações tonais observadas nessas imagens não estão ligadas diretamente a propriedades físicas e químicas dos alvos, mas são ditadas pela morfologia do terreno.

CONCLUSÕES

A utilização de imagens multiespectrais LANDSAT, em forma de fitas magnéticas compatíveis com computador, permitiu mapear as áreas de alteração metassomática mineralizadas com cassiterita no granito da serra da Pedra Branca. Os resultados obtidos mostram que imagens de sensoriamento remoto orbital podem ser uma ferramenta de grande potencialidade como auxílio aos métodos tradicionais de prospecção mineral, especialmente nas etapas iniciais de pesquisa, economizando-se tempo e dinheiro ao selecionar áreas potencialmente favoráveis, onde os trabalhos de campo devem se concentrar. No presente trabalho utilizou-se cerca de 3 horas de computador, o que, aos preços atuais, ficaria em torno de Cr\$ 50.000,00.

A utilização do método, no entanto, deve ser precedida de criteriosa análise, levando-se em consideração o tipo de depósito mineral pesquisado, seus controles, as características fisiográficas da região, o papel desempenhado pelas variáveis ambientais em função da estação do ano, além das técnicas de realce através do emprego de computadores.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece às empresas de mineração METAGO E O RIENTE NOVO pelo suporte aos trabalhos de campo e aos colegas Nassri Bittar, Ricardo Lobo, André Laguna e Ícaro Vitorello que o acompanharam em diferentes campanhas de campo.

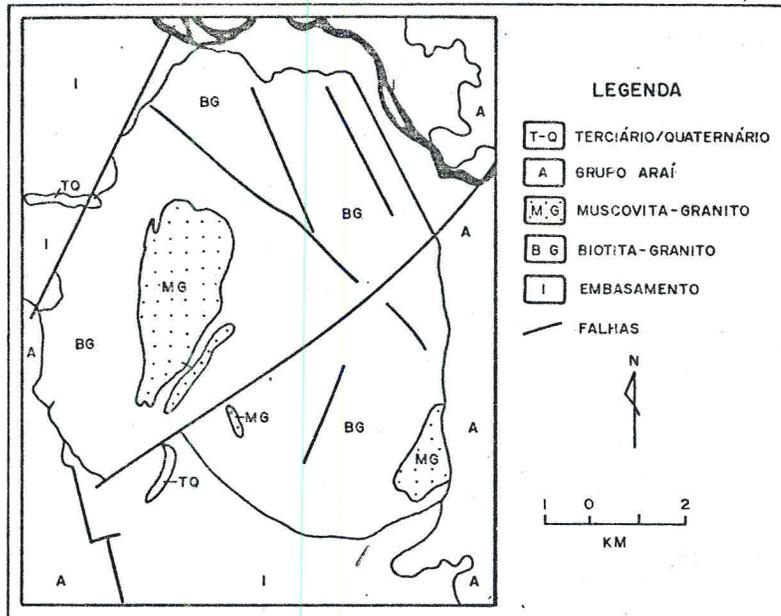


Fig. 1. Mapa geológico simplificado do granito da Pedra Branca, adaptado de Padilha e Laguna (1981).

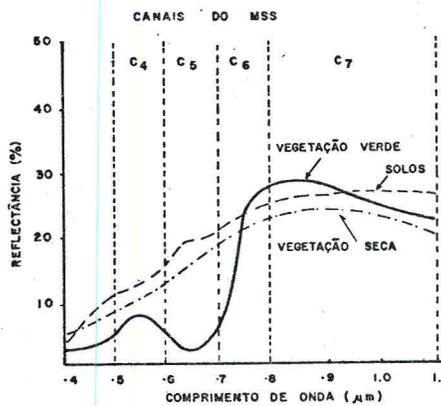


Fig. 2. Curvas de comportamento espectral (médias) para solos, vegetação verde e vegetação seca na faixa de sensibilidade do MSS do LANDSAT. FONTE: McDaniel and Hass (1982).

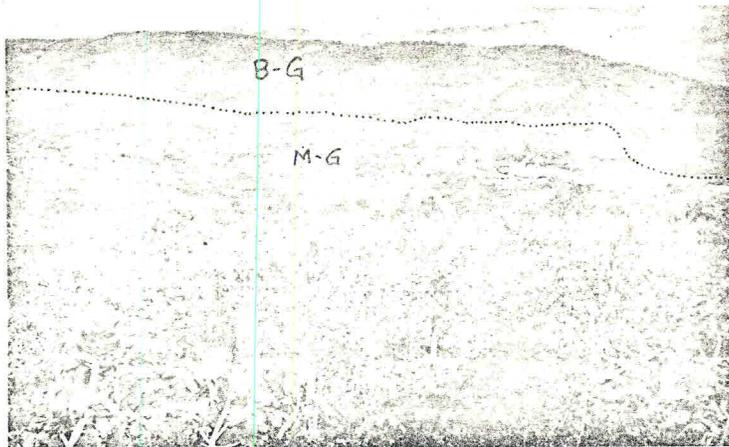


Fig. 3. Vista parcial da "Bacia" observando-se, em primeiro plano, o cerrado ralo adaptado às áreas de muscovita-granitos albitizados e, ao fundo, o contato destes (M-G) com o cerrado mais denso nas áreas de biotita-granitos (B-G).



Fig. 4. Detalhe da vegetação nas áreas de mais intensa alteração metassomática.

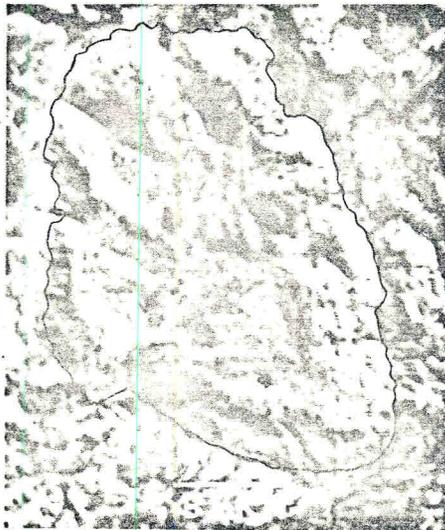


Fig. 5. Imagem da banda 5 do LANDSAT obtida na estação seca e realçada com "contrast stretch".

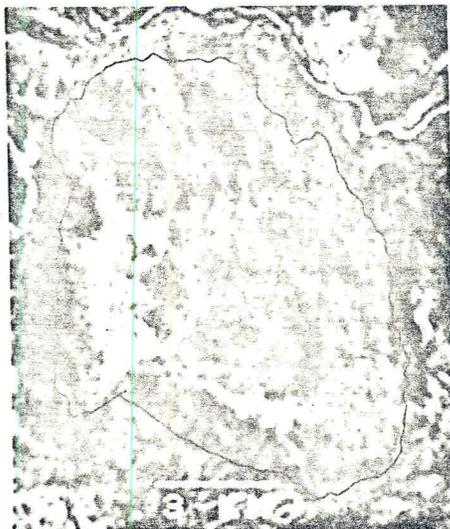


Fig. 6. Imagem da banda 5 do LANDSAT obtida na estação de chuvas e realçada com "contrast stretch".



Fig. 7. Indicação das áreas de alteração metassomática no granito da Pedra Branca. Os números correspondem a áreas mencionadas no texto.

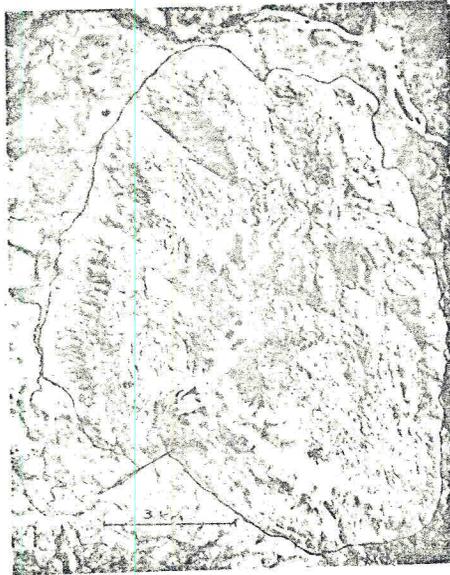


Fig. 8. Fotografia aérea do granito de Pedra Branca.



Fig. 9. Imagem de RADAR do granito de Pedra Branca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA FILHO, R. "Importância das análises de dados multiazonais de sensoriamento remoto em geologia", II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2, Brasília, 10-14 maio 1982.
- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. "Enhancement of digital images through band ratio techniques for geological applications", *COGEO DATA - Iamg South America Meeting*, Rio de Janeiro, 10-15, Dec. 1981.
- BIRNIE, R.W.; FRANCICA, J.R. "Remote detection of geobotanical anomalies related to porphyry Copper Mineralization", *Economic Geology*, 76 (3): 637-647, 1981.
- BOLVIKEN, 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.
- GENERAL ELECTRIC "Image-100; User Manual", Daytona Beach, FL, 1975, 119 p.
- HASUI, Y.; TASSINARY, C.C.G.; SIGA JR., O.; TEIXEIRA, W.; ALMEIDA, F.F. M.; KAWASHITA, K. "Datações Rb-Sr e K-Ar do Centro-Oeste do Brasil e seu significado geológico-geotectônico", In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriu, 1980, *Anais*, Camboriu, SBG, 1980, v.5, p. 2659-2676.
- LIION, R.J.P. "Correlation between ground metal analysis, vegetation reflectance and ERTS brightness over a molybdenium skarn deposit", Pine Nut Mountain, Western Nevada. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 10, Ann Arbor, 1975, *Proceedings*, Ann Arbor, ERIM, 1975, v.2, p.1031-1044.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A. *Evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu Embasamento*, Brasília, Universidade de Brasília, 1980, 35 p. (manuscrito).
- MCDANIEL, K.C.; HAAS, R.H.; "Assessing mesquite-grass condition from LANDSAT", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48 (3): 441-450, 1982.
- NASA *Earth Resources Technology Satellite*, Data User Handbook, Greenbelt, MA., 1976.
- PADILHA, J.L.; LAGUUA, A.M.G.; "Geologia dos granitos da Pedra Branca, Mocambo, Mangabeira e Serra do Mendes", In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1; Goiânia, 1981, *Atas*, Goiânia, SBG, 1981, p.622-641.
- RAINES, G.L.; OFFIELD, T.W.; SANTOS, E.S. "Remote Sensing and sub-surface definition of facies and structure related to uranium deposits, Powder River Basin, Wyoming", *Economic Geology*, 73(8): 1706-1723, 1978.