

O COMPORTAMENTO ESPECTRAL E RADIOMÉTRICO DOS FILITOS CARBONOSOS PORTADORES DE MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS NA FAIXA BRASÍLIA

PAULO ROBERTO MENESES ¹
FLÁVIO HENRIQUE FREITAS SILVA ¹
WALDIR RENATO PARADELLA ²
LAERTE GUIMARAES FERREIRA JUNIOR ¹

¹Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
70.910-900 Brasília, DF, Brasil

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT. LANDSAT 5 Thematic Mapper (TM) and visible and near infrared spectral data were analyzed to select the best combination of TM bands to discriminate several carbonaceous phylites units located in the Brasília fold belt. The analyses indicated RGB/572 and RGB/452 color composites, which were enhanced by linear and decorrelation stretches. The unambiguously discrimination of these rock units shown in the color composites, enables us with a quick and unexpensive tool to map these rocks, which besides bearing gold mineralizations, constitute an important stratigraphic guide throughout the Brasília fold belt.

INTRODUÇÃO

Nos metassedimentos de baixo grau metamórfico da Faixa Brasília, filitos carbonosos caracterizam níveis estratigráficos bem definidos dentro das unidades onde ocorrem, servindo como horizontes guias regionais. Do ponto de vista econômico esses filitos assumiram grande interesse prospectivo, por encerrarem como exemplo mais importante, a Mina de Ouro de Paracatu (MG), atualmente a maior e mais produtiva em exploração no Brasil.

Dado as características peculiares da composição destes filitos (riqueza em matéria orgânica), imaginou-se usar os recursos de sensoriamento remoto como um meio rápido e eficiente para mapear essa litologia no âmbito da Faixa Brasília. Com este objetivo selecionou-se para teste, quatro áreas da Faixa Brasília (Paracatu, Abadia dos Dourados, Luziânia e Cristalina), de onde foram tomadas amostras de rocha para se fazer primeiramente a nível de laboratório, uma caracterização espectrorradiométrica. Através da análise espectral destes filitos escolheu-se um conjunto de bandas TM as quais foram processadas digitalmente por técnicas de realce. A partir da excelente discriminação dos filitos carbonosos em composições coloridas, tem se buscado um padrão fotointerpretativo, voltado

ao mapeamento litológico desta unidade.

CONTEXTO GEOLÓGICO

As regiões investigadas estão situadas na porção Sul da Faixa de Cavalgamentos e Dobramentos Brasília [Marini et al. (1984)], Figura 01a, englobando os grupos Canastra/Unidade Paracatu-Vazante (áreas de Paracatu, Luziânia e Cristalina), Araxá e Ibiá além do embasamento granito-gnáissico e granitóides intrusivos brasileiros na área de Abadia dos Dourados [Hagemann (1989); Freitas Silva (1991), Freitas Silva & Dardenne (1991 ab); Brod et al. (1991); Meneses et al. (1991)].

A geologia da região de Abadia dos Dourados é caracterizada por um cinturão móvel que compreende um embasamento granito-gnáissico, rochas dos Grupos Araxá, Canastra e Ibiá e Granitos intrusivos, além de coberturas e chaminés alcalinas de idade cretácea (Figura 01b). A tectônica da área é dominada por falhas de empurrão com direção média em torno de N40W e vergência para NE.

Brod et al. (1991) propuseram uma ordenação tectono estratigráfica para a área reconhecendo quatro domínios:

1- Embasamento granito-gnáissico;

2- Grupo Araxá, composto pelo Complexo Chapada das Perdizes, constituído por meta gabros, e pela Sequência Vulcano Sedimentar de Abadia dos Dourados constituída de anfibolitos finos, meta-vulcânicas máficas (metabasaltos), meta-vulcânicas ácidas, quartzo xistos diversos (metassedimentos), cherts (metassedimento químico) e filitos carbonosos (metapelitos);

3- Grupo Ibiá, constituído por filitos esverdeados localmente carbonáticos e um paraconglomerado basal;

4- Granitóides Sin- a tardi-tectônicos.

Nesta área, a ocorrência de uma unidade de filitos carbonosos, considerada topo do Grupo Araxá, apresenta um grau de metamorfismo menor que as outras litologias deste grupo, sendo limitado tanto no seu topo como na sua base, por falhas de empurrão. Considera-se aqui, tentativamente, que estes filitos sejam uma unidade distinta, podendo representar uma fatia tectonicamente imbricada do Grupo Canastra dentro do Grupo Araxá.

Na região de Paracatu (Figura 01c) afloram rochas da Unidade Paracatu-Vazante, integrante do Grupo Canastra. Esta unidade é subdividida em várias fácies com status de Formações [Freitas Silva (1991); Freitas Silva & Dardenne (1991)].

A Formação Vazante é constituída por um espesso pacote pelito- carbonático. A presença de estromatólitos do tipo *Conophyton* em seus dolomitos limita a idade de sedimentação desta formação em um intervalo entre 1300 a 900 Ma [Dardenne (1981)].

A Formação Paracatu pode ser subdividida da base para o topo em três grandes unidades: Fácies Morro do Ouro, Fácies Serra da Anta e Sequência Quartzítica Indiferenciada, sendo que na área investigada apenas as duas primeiras Fácies estão representadas. A Fácies Morro do Ouro é constituída predominantemente por quartzo sericita filitos carbonosos ritmicamente intercalados por níveis meta-arenosos, contendo intercalações métricas de quartzitos notadamente na sua base, porção mediana e topo. Em direção ao topo as intercalações de quartzo sericita filito começam a assumir maior importância, passando gradacionalmente para a Fácies Serra da Anta, dominada por este tipo litológico. Tectonicamente a área de Paracatu é estruturada por cavalgamentos imbricados com direção geral NS e mergulhos de 15° a 25° para oeste.

As regiões de Cristalina e Luziânia - GO, são caracterizadas por uma monótona sequência de filitos

carbonosos com intercalações de quartzo sericita filitos e níveis métricos de quartzitos (Figura 01 c e d). Estas litologias são representantes da Fácies Morro do Ouro da Formação Paracatu, posicionadas em uma lasca de cavalgamento tectonicamente acima do sistema de cavalgamentos da área de Paracatu - MG. A estruturação, como nas outras áreas, também é dominada por cavalgamentos de direção submeridiana vergentes para leste.

METODOLOGIA

Entre as quatro áreas testes selecionadas na porção sul da faixa Brasília, foram executados mapeamentos geológicos detalhados para as áreas de Abadia dos Dourados-MG e Paracatu-MG, nas quais coletou-se amostras de rocha para caracterização espectral. Para as áreas de Luziânia e Cristalina (GO) o reconhecimento geológico constou apenas de perfis regionais.

A obtenção de medidas espectrais utilizando-se o espectrorradiômetro IRIS do laboratório de radiometria do INPE priorizou amostras de filito carbonoso em diferentes estágios intempéricos. Precedendo as medidas espectrais, as amostras foram analisadas quimicamente para Fe^{2+} , Fe^{3+} e carbono total, e descritas petrograficamente.

Tendo-se por base informações quanto às unidades geológicas e densidade de cobertura vegetal, e principalmente através dos resultados das análises espectrais foram selecionadas as bandas TM 2, 4, 5 e 7 do LANDSAT 5, às quais foram aplicados realces lineares de contraste para geração de composições coloridas RGB/452 e RGB/572, e também por técnicas de decorrelação.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise e discussão das curvas espectrais aqui apresentadas, por envolverem um mesmo tipo litológico atém-se prioritariamente a uma comparação das variações de suas formas e albedo. As feições de absorção mais notáveis destes espectros estão assinaladas diretamente nas curvas das Figuras 02 e 03. Recomenda-se para uma análise mais detalhada sobre a natureza destas feições, consultar nos anais deste simpósio o trabalho de Ferreira et al. (1993). Visando maior clareza e compreensão, as curvas espectrais ainda que discutidas de maneira comparativa, são divididas em dois grupos, referentes às amostras da Mina do Morro do Ouro e àquelas provenientes da região de Abadia dos Dourados. Considerando-se que as informações espectrais visam a correlação com as bandas TM, estas foram posicionadas junto com as curvas. Uma descrição sucinta de cada uma das amostras,

constando de observações petrográficas e dados químicos, além de valores de reflectância para diferentes razões espectrais, encontra-se na Tabela 01.

Os filitos carbonosos da região de Paracatu-MG foram caracterizados através das amostras MO-1, MO-2 e MO-3 que correspondem a uma sucessão estratigráfica-intempé-rica dos níveis A, B1 e C, respectivamente, do fácies Morro do Ouro. Para a amostra MO-1, sem intemperismo notável e composta essencialmente de mica branca e material carbonoso, o espectro é caracterizado por baixo albedo e ausência de feições de absorção. Atribui-se esta ausência a presença de matéria carbonosa bem preservada, a qual mascara por completo todas as feições espectrais peculiares aos sericita-filitos. Meneses (1986) ao estudar a influência da matéria orgânica no comportamento espectral de calcários e dolomitos, demonstrou que diferenças em teores de carbono orgânico da ordem de 0.04% são responsáveis por reduções de albedo entre 15 a 20%. Apesar da ausência de feições de absorções específicas para os diferentes intervalos espectrais, esta amostra apresenta conspícua assinatura espectral marcada por suave e contínua diminuição da reflectância entre 412 e 2500 nm. As causas mais prováveis disso são a intensa absorção em 2700 nm devida aos grupos OH presentes nos filossilicatos e a uma maior reflectância relativa próximo ao intervalo da banda 2, provavelmente devida à oxidação de pirita contida nestas amostras.

Com o aumento do grau intempérico, há uma contínua oxidação da matéria carbonosa e um aumento proporcional de óxidos férricos. Esta evolução intempérica é acompanhada por um aumento progressivo de albedo e o aparecimento de um *wing* de absorção na região do visível. O aumento de albedo a princípio é mais acentuado para a região menor que 1200 nm devido a oxidação conjunta de matéria orgânica e sulfetos (espectro MO-2A). No espectro MO-2B pode ainda ser observado absorções de origem vibracional em 2200 e 1400 nm relacionadas à presença de mica branca e absorções de origem eletrônica próximas a 900 nm, provavelmente relacionadas à goetita. Para a amostra MO-3 que apresenta avançado estágio de oxidação da matéria orgânica, o espectro se assemelha bastante àqueles esperados para sericita filitos ou mica-xistos não carbonosos, nos quais há um maior albedo na região entre 1200 e 2000 nm. Também se observa no espectro MO-3 que as feições de absorção próximas a 910, 1400, 1900 e 2200 nm se apresentam ainda mais definidas e intensas.

Uma relação muito semelhante entre intemperismo, matéria orgânica e variações de albedo observada

para as amostras da região de Paracatu - MG, foi constatada para as amostras da região de Abadia dos Dourados-MG. Na Figura 02, juntamente com os espectros referentes aos filitos carbonosos de Abadia dos Dourados, é mostrado para comparação o espectro AD-2 obtido para um biotita-muscovita-xisto pouco intemperizado que ocorre próximo às unidades carbonosas. Este espectro ao contrário daqueles observados para materiais carbonosos, apresenta uma maior reflectância relativa para o intervalo espectral de 1300 e 2000 nm. São ainda observados neste espectro uma feição ampla centrada próxima a 1000 nm provavelmente relacionada a Fe, um pequeno *wing* de absorção que demonstra a presença ainda que incipiente de óxidos férricos e uma feição próxima a 2250 nm, provavelmente devida a uma baixa resolução entre as feições de absorção da biotita e muscovita.

Através dos espectros discutidos observa-se que filitos carbonosos frescos ou pouco intemperizados apresentam uma diminuição de albedo a partir das bandas do visível ou infravermelho muito próximo, respectivamente bandas 2 e 4, em direção àquelas do infravermelho próximo (bandas 5 e 7, nesta ordem), ao contrário de sericita filitos pouco ou não carbonosos os quais apresentam maiores reflectâncias para as bandas 5, 4, 7 e 2, nesta ordem (as relações de albedo são quantificadas pelas razões espectrais apresentadas na Tabela 01). Estas diferenças de comportamento espectral são responsáveis pelas excelentes discriminações tonais entre filitos carbonosos e filitos não carbonosos ou intemperizados, observadas em imagens TM quando se utilizam as bandas 2, 4, 5 e 7. A composição colorida R G B/4 5 2 e em especial a composição R G B/5 7 2 mostram um peculiar tom magenta azulado para as unidades carbonosas, mesmo quando a cobertura vegetal é significativa (Figura 04).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O excelente desempenho das imagens LANDSAT 5-TM na discriminação de unidades de filitos carbonosos da Faixa Brasília com base nos padrões tonais das composições coloridas demonstra a possibilidade de se utilizar a informação espectral contida nestas imagens para fins prospectivos. Esta discriminação é basicamente determinada pela presença de matéria orgânica que provoca uma drástica redução no albedo dos filitos carbonosos, possibilitando assim um maior contraste espectral com as litologias adjacentes, em geral xistosias e alteradas. Entretanto, deve-se ressaltar a importância da presença de sulfetos bem como da ação intempérica nas unidades carbonosas. O intemperismo ao oxidar a matéria orgânica reduz a sua influência no comportamento espectral dos filitos carbonosos, ao

mesmo tempo em que a oxidação da pirita ocasiona uma maior reflectância relativa na região do visível.

Resultam destes processos intempéricos, albedos interme-diários em relação ao de rochas carbonosas frescas e de rochas totalmente desprovidas de matéria carbonosa. São estes albedos intermediários, ainda bastante característicos dos filitos carbonosos, os responsáveis pelos peculiares matizes nas imagens coloridas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de manifestar o seu agradecimento ao Sr. Carlos Steffen e à Sra. Elisabeth, do laboratório de Radiometria (LARAD/INPE) e ao doutorando Lênio Galvão (IG-USP/INPE) pela obtenção das medidas espectrais utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- P.A.R. Barbosa, O.C. Borges, H.F. Costa & A.P. Lacerda Neto, Prospecção de ouro no Grupo Canastra. Exemplo de Luziânia-GO, XXXVI Congr. Bras. Geol., Natal, Anais... (3) 1472-1486, 1990.
- J.A. Brod, O.H. Leonardos, P.R. Meneses, M.A.C. Albuquerque, R. Almeida, R.N.J. Araújo, S.B. Blanco, F.B.F. Cardoso, O.A. Carvalho Jr., F.F. Junqueira, W. Riehl Jr., P.A. Romão, J.C.F. Souza, F.H.B. Tallarico, F.P.R. Thomsen, M.L.C. Berbert, M.R.S. Cerqueira, M.A. Chagas, R.R. Dias, C.V. Lima, E.T. Nakamura, S.G. Porto, P.C.V. Santos, Tectono-estratigrafia da Faixa Brasília na região do Alto Paranaíba, 3º Simp. Geol. Centro-Oeste, Cuiabá, Anais... 161-168, 1991.
- F.H. Freitas-Silva, Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, MG, 1991 (dissertação de mestrado, IG-UnB).
- F.H. Freitas-Silva & M.A. Dardenne, Controles litoestruturais do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, MG, 6º Simp. Geol. Minas Gerais, Ouro Preto, 1991.
- F.H. Freitas-Silva & M.A. Dardenne, Evolução estrutural das formações Paracatu e Vazante na região de Paracatu, MG, 6º Simp. Geol. Minas Gerais, Ouro Preto, 1991.
- M.A. Dardenne, Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília, Simp. Sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, Salvador, Anais... 140-156, 1981.
- S. Hagemann, The petrology and structural geology of the proterozoic Canastra Group near Luziânia-GO, Brazil, Zbl. Geol. Palaont. Teil 1, 5 (6) 887-901, 1989.
- O.J. Marini, R.A. Fuck, J.C.M. Danni, M.A. Dardenne, S.O.C. Loguércio & R. Ramalho, As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: C. Schobbenhaus (coordenador) Geologia do Brasil, DNPM, 307-355, 1984.
- P.R. Meneses, J.A. Brod, R. Almeida, S.B. Blanco, F.B.F. Cardoso, J.C.F. Souza & F.P.R. Thomsen, Uma abordagem sobre os resultados da aplicação de imagens LANDSAT para o mapeamento geológico 1:50.000 de áreas do centro-oeste, 3º Simp. Geol. Centro-Oeste, Cuiabá, Anais... 222-233, 1991.
- P.R. Meneses, Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT 5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe, 1986 (tese de doutorado, IG-USP).
- A. Rabelo, Mapa geológico da região de Luziânia, 1992 (publicação interna RTZ).

Amostra	Descrição Petrográfica	Carbono Total (%)	Razões* entre intervalos espectrais			
			4/5	2/7	5/7	2/5
MO-1	Filito negro, com níveis mm de metarenito. Mineralogia: sericita (30-60%), quartzo (35-50%), clorita (< 5%), opacos (ilm./rut./leucox./magn./pirita)	0.63	1.1	1.22	1.06	1.16
MO-2A	Filito cinza (mineralogia semelhante a MO1)	0.26	1.28	1.55	1.17	1.33
MO-2B			0.94	0.88	1.1	0.81
MO-3	Filito marrom avermelhado Mineralogia: argilominerais (até 5%), opacos (goeth./lepidocrocita/manghemita)	0.014	0.91	0.91	1.19	0.76
AD-1	Ultramilonito de cor cinza (superfície intemperizada com tons amarelo-avermelhados) composto essencialmente por quartzo e sericita, com pórfiros alterados de granada	0.67	1.17	1.18	1.17	1.008
AD-2	Granada-biotita-muscovita xisto rocha xistosa de cor verde e granulação grossa. Mineralogia: biotita (23%), muscovita (35%), quartzo (25%), clorita (2%), granada (10%), albita (5%).	-	0.79	0.95	1.053	0.9033
AD-3	Ultramilonito de coloração bege amarelada, com porções cinza-azuladas. Textura lepidoblástica, de aspecto anastomosado. Mineralogia composta essencialmente de mica branca, quartzo e opacos oxidados.	0.042	0.92	0.92	1.18	0.78
AD-4	Ultramilonito carbonoso, com alternância de níveis cinza claros. Mineralogia: qzo. (50%), sericita (45%), opacos e material carbonoso.	0.061	0.88	0.64	1.11	0.70

Tabela 1 - Descrição das amostras com medidas espectrais

* - Os intervalos das curvas espectrais são referidos àqueles existentes para as bandas TM.

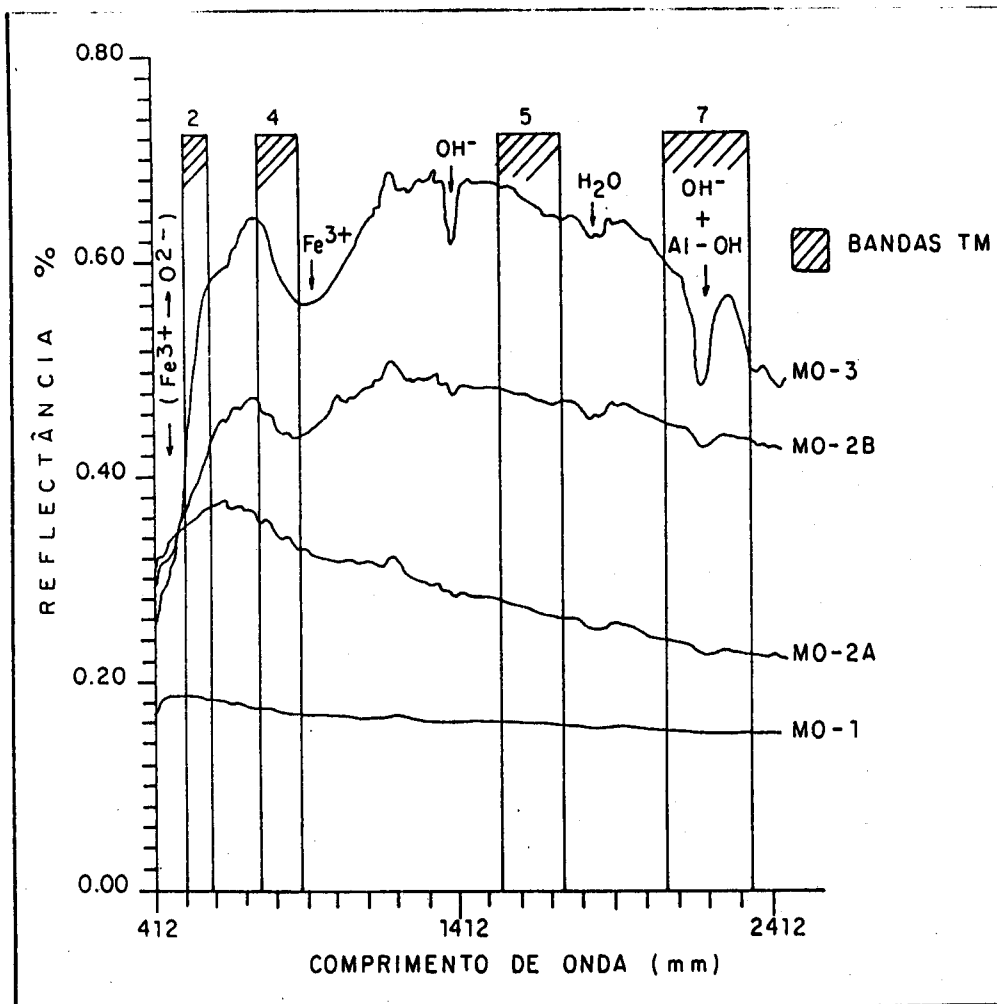


Fig.02 - Curvas espectrais dos filitos carbonosos da região de Paracatu - MG (MO-2A e MO-2B representam diferentes estágios intempéricos para a amostra MO-2).

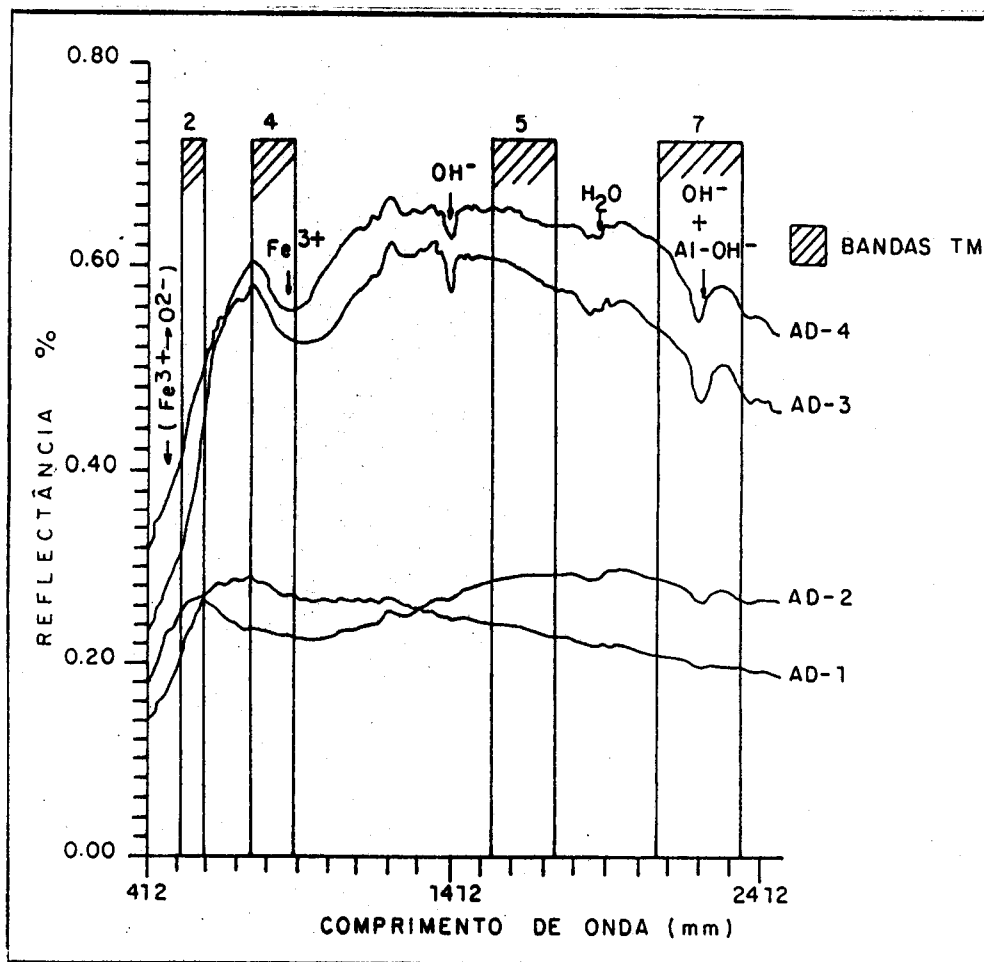


Fig. 03 - Curvas espectrais dos filitos carbonosos da região de Abadia dos Dourados.



Fig. 04 - Foto da imagem de satélite da região de Abadia dos Dourados ressaltando a faixa de filitos carbonosos (originalmente composição colorida RGB/572).