

**CONTRIBUIÇÃO A PROSPECÇÃO MINERAL REGIONAL DE DEPÓSITOS DE FERRO DA
PORÇÃO NORTE DO ESTADO DA BAHIA ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS
DO TM LANDSAT 5**

Edson Eyji Sano – SUDAM/OEA/PA

Waldir Renato Paradella – MCT/INPE/SP

Carlson de Matos Maia Leite – CBPM/BA

Antônio Marcos Vítório de Moraes – CBPM/BA

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop regional mineral prospecting activities of iron deposits in north of the Bahia State, region of middle São Francisco River, in an about 14,200 km² area, by utilizing TM-LANDSAT 5 digital data.

In the NW of the study area, six big iron-titanium-vanadium deposits happen in Campo Alegre de Lourdes (BA), where the spectral patterns of iron were extracted in previously selected images (3, 4, 5 and 7 bands). These patterns were enlarged to the whole test area, thru thematic classification techniques of images called SINGLE-CELL, by selecting at the end, a total of 30 targets, all them constituted in abrupt and isolated inselbergs. From these 30 targets, 14 were analysed in the field, with the purpose of finding out the iron oxide presence or absence at their surfaces, and identifying others possible procatative factors of the same spectral answers of the iron minerals in Campo Alegre de Lourdes (BA). From the 14 targets, 8 presented iron oxides. The 6 others were probably classified due the relief hatching influence.

Basically, the 30 targets previous selection, allowed that the field works had their destination, and the iron oxides presence in the 8 targets surfaces, showed that the TM digital images and the classification technique of images can constitute in a valuable instrument to help the tradicional methods of regional mineral prospecting, mainly in its initial phases, by contributing extremly in time and costs reduction.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No início de 1986, foi criado pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM), um projeto de prospecção mineral denominado Projeto Remanso, numa extensa região de aproximadamente 14.200 km², situada na porção norte do Estado da Bahia. O interesse da CBPM por esta área decorreu do seu baixo nível de conhecimento geológico, o que levou a desenvolver uma campanha de prospecção mineral regional, fundamentado principalmente nos dados geofísicos e de sensoriamento remoto. Este trabalho, que se constituiu numa parte do citado projeto, contém resultados alcançados com base na utilização de dados digitais do TM (Thematic Mapper) do satélite LANDSAT 5, dentro do objetivo geral de desenvolver atividades de prospecção envolvendo depósitos de ferro em superfície. O emprego de tais dados tende a ser favorecido pelas seguintes características:

- caráter regional da prospecção, normalmente de tempo e custos elevados sem o uso deste tipo de dados;
- condição semi-árida da área de estudo, o que atenua a influência da cobertura vegetal e eleva a possibilidade de se obter bons resultados;
- existência, pela primeira vez, de uma banda espectral (banda

7) voltada especificamente para estudos geológicos num sistema sensor orbital;

- comportamento espectral favorável do ferro, em termos de sua detecção nas imagens do TM.

As principais características do TM podem ser encontradas em Slater (1980), Engel e Weinstein (1983) e NOAA (1984); NASA (1982) publicou um resumo do potencial das principais aplicações de cada banda.

Todos os processamentos computacionais das imagens do TM foram realizados pelos autores no Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID) do MCT/INPE, em São José dos Campos (SP), através do sistema analisador I-100.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, situada na região do médio rio São Francisco, é delimitada a norte pelos Estados do Piauí e do Pernambuco, a sul pela represa de Sobradinho e pelo paralelo 10°00'S e finalmente a leste e a oeste respectivamente pelos meridianos 41°00'W e 43°30'W (Figura 1).

Do ponto de vista geológico, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos; a exceção fica para o PROJETO COLOMI (Souza et al., 1979) e para o PROJETO FERRO-TITÂNIO DE CAMPO ALEGRE DE LOURDES (Souza e Sampaio, 1979). Os outros estudos realizados possuem um caráter mais regional, versando principalmente sobre a Bacia de Lençóis ou sobre a província estrutural de São Francisco, nas quais a área de estudo se situa: Almeida (1977), Inda e Barbosa (1978), Pedreira et al. (1978), Santos e Caldasso (1978), Siqueira (1978), Jardim de Sá e Hackspacher (1980), Almeida et al. (1981), Mascarenhas (1981), Inda et al. (1984), Mascarenhas et al. (1984), etc.

De acordo com Inda e Barbosa (1978) e Souza et al. (1979), podem ser individualizados na área de estudo, além das unidades litológicas referentes à cobertura cenozóica e aos sedimentos mesozóicos e paleozóicos da Bacia do Maranhão, os seguintes grandes grupamentos litostratigráficos pré-cambrianos: Intrusivas brasileiras, Formação Santo Onofre e os Complexos Colomi, Colomi Indiferenciado, Casa Nova, Campo Alegre de Lourdes e Metamórfico-Migmatítico.

Destes grandes grupamentos, o Complexo Campo Alegre de Lourdes, localizado na porção NW da área-teste, possui uma particular importância neste trabalho pela ocorrência de sete expressivos depósitos de ferro-titânio-vanádio, com as seguintes denominações locais (Figura 2): Morro Branco, Morro Testa Branca, Morro Redondo, Morro Chico Velho, Morro da Carlota, Morro Tuiuiu e Morro do Sítio. Segundo Souza e Sampaio (1979), o mineral mais abundante nestes depósitos é a titanomagnetita, vindo a ilmenita em segundo lugar e a seguir, a hematita, a limonita e a goethita. As dimensões dos depósitos são da ordem de 50 a 100 metros de comprimento e de 10 a 100 metros de largura e a rocha hospedeira corresponde a um metabasito de natureza gabrótica, com presença restrita de termos anortositicos.

ETAPAS DO TRABALHO

Esta pesquisa, realizada numa escala de 1:50.000, teve o seu real início com a aquisição de três cenas do TM-LANDSAT 5. Procurou-se obter aquelas imagens que apresentassem as menores porcentagens de cobertura de nuvens, as datas mais próximas possíveis de passagem do satélite (para minimizar as variações das condições atmosféricas e de iluminação) e os ângulos mais altos de elevação solar (para reduzir os efeitos indesejáveis de sombreamento de relevo). A Tabela 1 mostra as principais características das três cenas adquiridas.

Das sete bandas do TM, foram analisadas conjuntamente somente as bandas 3 (0,63-0,69 μm), 4 (0,76-0,90 μm), 5 (1,55-1,75 μm) e 7 (2,08-2,35 μm). As bandas 1 (0,45-0,52 μm) e 2 (0,52-0,60 μm) não foram utilizadas devido à influência acentuada do espalhamento da radia

ção pela atmosfera nas suas respectivas faixas espectrais. Embora existam algumas técnicas para atenuá-lo, não foram aplicadas pois estas técnicas pressupõem mesmas condições atmosféricas para toda área de estudo, pressuposição esta que poderia estar comprometida neste trabalho pela extensão muito grande da área-teste. Quanto à banda 6 (10,40-12,50 μm), a sua exclusão deu-se pela resolução espacial de 120 metros, incompatível com as demais bandas (resolução de 30 metros) e pelo fato de suas informações referirem-se à energia emitida e não à refletida como ocorre com as outras imagens.

Em seguida, foram obtidos os padrões espectrais dos íons e minerais de ferro nas quatro imagens selecionadas. Estes padrões correspondem aos valores digitais mínimo e máximo obtidos dentro os seis maiores depósitos de ferro-titânio-vanádio de Campo Alegre de Lourdes (BA) analisados (Figuras 3 e 4). A Tabela 2 mostra estes valores e maiores pormenores sobre esta parte podem ser encontrados em Sano (1987).

Estes valores mínimo e máximo obtidos foram estendidos para toda a área-teste, através da técnica de processamento de imagens denominada CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DE IMAGENS. Excelentes resultados em pesquisas geológicas utilizando-se desta técnica foram alcançados por Schmidt e Bernstein (1975), Schmidt (1976), Paradella et al. (1979, 1982) e Francica et al. (1980). Especificamente neste trabalho, foi utilizada a classificação determinística conhecida por SINGLE-CELL (Schowengerdt, 1983). Cada cena foi subdividida em 35 módulos: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, HH e II. Cada módulo contém uma quantidade total de informações equivalente a 512 x 512 "pixels", o que corresponde no terreno, a uma superfície de aproximadamente 15 km x 15 km.

Como últimas etapas do trabalho, seguiram-se a: campanha de campo, para verificar a presença ou não de óxidos de ferro nas superfícies dos alvos selecionados pela classificação temática, além de tentar identificar possíveis outros fatores que estivessem provocando as mesmas respostas espectrais dos minerais de ferro de Campo Alegre de Lourdes (BA); e finalmente, a avaliação dos resultados obtidos pelo processamento digital e pela etapa de campo.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Da classificação de imagens por SINGLE-CELL, foram selecionados 30 alvos, dos quais 14 foram examinados na campanha de campo. Devido à dificuldade de acesso aos alvos e à extensão da área-teste, a verificação dos 30 alvos tornaria o trabalho de campo muito demorado e muito oneroso. Os 14 alvos foram escolhidos basicamente em função da sua proximidade com o sistema viário. As suas respectivas localizações são mostradas na Figura 5, enquanto a Tabela 3 resume as principais características obtidas das verificações de campo.

Basicamente, os alvos situados nas regiões próximas à sede do município de Nova Remanso (BA), porção central da área de estudo, corresponderam à sequência químico-sedimentar do Complexo Colômi Indiferenciado, ocorrendo tanto rochas com baixa concentração em óxidos de ferro, constituídas por quartzitos micáceos esbranquiçados (DEE-1, DFF-1, DFF-2) como com alta porcentagem em óxidos de ferro, na forma de formação ferrífera bandada (AEE-1, DI-1, DJ-1, DJ-3, DJ-4 e DP-1). Um morro constituído por muscovita xisto e sustentado por abundantes ocorrências de veios de quartzo também foi classificado, como foi o caso do alvo AX-1.

Já na parte ocidental da área de estudo, próximo à sede do município de Campo Alegre de Lourdes (BA), dois alvos granito-gnáissicos foram selecionados e apresentaram um forte enriquecimento em magnetita: BD-1 e BD-2.

Foram classificados ainda dois morros correspondentes à sericita quartzito do Complexo Metamórfico-Migmatítico (AO-1) e à muscovita xisto do Complexo Casa Nova (DX-1). De uma maneira semelhante ao AX-1, o último alvo provavelmente resistiu ao ciclo de aplainamento re-

gional em virtude da maior resistência oferecida pelos seus abundantes veios de quartzo.

Em resumo, dos 14 alvos analisados, oito apresentaram óxidos de ferro nas suas superfícies. Os outros seis provavelmente foram classificados devido à influência do sombreamento de relevo. Todos os alvos verificados no campo corresponderam a elevados morros; como os valores digitais com influência topográfica correspondentes às escarpas dos depósitos de ferro-titânio-vanádio "in situ" foram incluídos na caracterização espectral dos mesmos, estes alvos, constituídos de materiais litológicos com baixa porcentagem de ferro, podem ter apresentado respostas espectrais semelhantes nas imagens devido à influência deste sombreamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os 30 alvos selecionados pela técnica de classificação temática de imagens, permitindo que os trabalhos de campo fossem neles concentrados, além da verificação da presença de óxidos de ferro nas superfícies de oito alvos, demonstraram que esta técnica e as imagens do TM podem se constituir numa valiosa ferramenta no auxílio aos métodos tradicionais de prospecção mineral regional, principalmente nas suas fases iniciais.

A provável influência de sombreamento de relevo verificado em seis alvos pode ser minimizada através da aplicação de técnicas de correção atmosférica seguida da divisão de bandas (Holben e Justice, 1981; Kowalik, 1981). Detalhes sobre esta parte podem ser obtidos em Sano (1987).

Finalmente, embora este estudo estivesse voltado para os minerais de ferro, a metodologia aqui desenvolvida pode ser estendida, com as devidas ressalvas, para outras áreas e/ou materiais, desde que tenham alguma resposta espectral característica da superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. - 1977 - O cráton do São Francisco. Rev. Bras. Geoc., 7(4):349-364.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. - 1981 - Brazilian structural provinces: an introduction. Earth Science Review, 17:1-29.
- ENGEL, J.L. & WEINSTEIN, O. - 1983 - The Thematic Mapper - An Overview. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-21(3): 258-265.
- FRANCICA, J.R.; BIRNIE, R.W.; JOHNSON, G.D. - 1980 - Geologic mapping of the Ladakh Himalaya by computer processing of LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14, Costa Rica, 1980. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, p. 773-782.
- HOLBEN, B. & JUSTICE, C. - 1981 - An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. International Journal Remote Sensing, 2(2):115-133.
- INDA, H.A.V. & BARBOSA, J.F. - 1978 - Texto explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000. Salvador, SME/CPM, 137 p.
- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARALY, N.L.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R. - 1984 - O cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília, DNPM, cap. 5, p. 193-249.

- JARDIM DE SÁ, E.F. & HACKSPACHER, P.C. - 1980 - Reconhecimento estrutural na borda noroeste do cráton São Francisco. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, v. 5, p. 2719-2726.
- KOWALIK, W.S. - 1981 - Atmospheric correction to LANDSAT data for limonite discrimination. (Doctoral thesis, Stanford Un. USA, 365 p.).
- MASCARENHAS, J.F. - 1981 - O embasamento pré-cambriano no Estado da Bahia e sua gênese. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, Nov. 2-7, 1979. Anais. Salvador, SBG/CPM, p. 34-38.
- MASCARENHAS, J.F.; PEDREIRA, A.J.; MISI, A.; MOTTA, A.C.; SÁ, J.H.S. Província São Francisco. In: Almeida, F.F.M. & Hasui, Y., eds. O Pré Cambriano do Brasil. São Paulo, Edgard Blucher Ltda., cap. 4, p. 46-122.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). LANDSAT data user notes. Washington, DC, USGS/EDC, nº 23, 16 p.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). LANDSAT 4 data user handbook. Alexander, VA, App. A.
- PARADELLA, W.R.; MENESES, P.R.; MATOSO, S. - 1979 - Interpretações automáticas de dados do LANDSAT na pesquisa de ilmenita de Floresta, Pernambuco. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, Gravatal, SC, 1979. Anais. Gravatal, SC, MME/DNPM, p. 307-318.
- PARADELLA, W.R.; VITORELLO, I.; MONTEIRO, M.D. - 1982 - Avaliação de técnicas de tratamento por computador de dados digitais MSS-LANDSAT na discriminação litológica na serra do Ramalho, Estado da Bahia. São José dos Campos, INPE, 29 p. (INPE-3250-PRE/592).
- PEDREIRA, A.J.; KISHIDA, A.; TORQUATO, J.R.; MASCARENHAS, J.F. - 1978 - Inventário e reavaliação do conhecimento geológico da parte central do cráton do São Francisco. In: REUNIÃO PREPARATÓRIA PARA O SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, Ago. 1977. Anais. Salvador, SBG, Publicação Especial nº 3, p. 67-154.
- SANO, E.E. - 1987 - Contribuição à prospecção mineral regional de depósitos de ferro e à discriminação litológica da porção norte do Estado da Bahia através de técnicas de processamento digital de imagens do TM-LANDSAT 5. São José dos Campos. (Dissertação de Mestrado, INPE, 173 p.).
- SANTOS, E.J. & CALDASSO, A.L.S. - 1978 - Síntese dos conhecimentos e ensaio interpretativo da área do Riacho do Pontal, nordeste do Brasil. In: REUNIÃO PREPARATÓRIA PARA O SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. Salvador, Ago. 1977. Anais. Salvador, SBG, Publicação Especial nº 3, p. 399-433.
- SCHMIDT, R.G. & BERNSTEIN, R. - 1975 - Evaluation of improved digital processing techniques of LANDSAT data for sulfide mineral prospecting. In: ANNUAL WILLIAM T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, 1, Sioux Falls, SD, Oct. 1975. Proceedings. Sioux Falls, SD, p. 201-212. (Geological Survey Professional Paper 1015).
- SCHMIDT, R.G. - 1976 - Exploration for porphyry copper deposits in Pakistan using digital processing of LANDSAT 1 data. Journal Research USGS, 4(1):27-34.
- SCHOWENGERDT, R.A. - 1983 - Techniques for image processing and classification in remote sensing. New York, Academic Press, 214 p.

SIQUEIRA, L.P. - 1978 - A evolução geológica do Pré-Cambriano no Estado da Bahia e as mineralizações. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30, Recife, 1978. Anais... Recife, SBG, v. 6, p. 2478-2492.

SLATER, P.N. - 1980 - Remote sensing - optics and optical systems. Reading, MS, Addison-Wesley, 575 p.

SOUZA, A.S. & SAMPAIO, D.R. - 1979 - Projeto ferro-titânio de Campo Alegre de Lourdes - fase II. Salvador, CBPM/CPM, v. 1, 191 p.

SOUZA, J.D.; TEIXEIRA, L.R.; FIGUEIROA, I.; AZEVEDO, R.R.; BARRAL, N. M.; COSTA, I.V.G.; ANDRADE FILHO, E.L.; OLIVEIRA, R.B.A.; LOPES, J. N. - 1979 - Projeto Colomi - Geologia e prospecção geoquímica da região de Remanso-Sento Sé; relatório final. Salvador, DNP/CPRM, v. 1, 554 p.

TABELA 1
CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DADOS DIGITAIS DO TM ADQUIRIDOS

ÓRBITA	PONTO	QUADRANTE	DATA DE PAS SAGEM DO SA TÉLITE	ELEVAÇÃO SO LAR	AZIMUTE SO LAR
218	66	D	09.08.84	45º	129º
218	67	A	09.08.84	44º	130º
219	67	B	16.08.84	46º	126º

TABELA 2
VALORES DIGITAIS MÍNIMO E MÁXIMO DOS MINERAIS DE FERRO

BANDA	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
3	20	34
4	11	37
5	16	69
7	6	23

TABELA 3

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS ALVOS VERIFICADOS NO CAMPO

QUADRANTE	MÓDULO	PONTO	VERIFICAÇÃO DE CAMPO	TOPONÍMIA	LITOLOGIA	OBSERVAÇÕES		
219.67B	B	BD-1	X		GNAISSES E VEIOS DE QUARTZO; FORTE ENRIQUECIMENTO EM MAGNETITA.	DENSA COBERTURA VEGETAL.		
		BD-2	X		ROCHA GRANITO-GNÁISSICA COM FORTE ENRIQUECIMENTO EM MAGNETITA.	DENSA COBERTURA VEGETAL.		
218.67A	O	AO-1	X		SERICITA QUARTZITO.	DENSA COBERTURA VEGETAL.		
		AR-1		FAZENDA REDEÇÃO				
		AX-1	X	MORRO REDONDO	MUSCOVITA XISTO			
		AY-1		FAZENDA BOM PRINCÍPIO				
		AZ-1		MORRO DO MOSQUEADO				
		AZ-2			FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA			
		AE-1	X					
		AE-2						
		218.66D	I	DI-1	X	RIACHO DO TATU	FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA	DENSA COBERTURA VEGETAL; SOLO AVERMELHADO.
				DJ-1	X	SERRA BELO HORIZONTE	FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA E SILEXITO.	DENSA COBERTURA VEGETAL.
DJ-2				MORRO DO FRIO.				
DJ-3	X			SERRA DA MADEIRA	FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA.	DENSA COBERTURA VEGETAL.		
DJ-4	X			SERRA DA MONTANHA	FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA E SILEXITO.	DENSA COBERTURA VEGETAL.		
DK-1								
DO-1								
DO-2								
DO-3								
DP-1	X				FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA.	DENSA COBERTURA VEGETAL.		
218.66D	X	DP-2						
		DX-1	X	SERROTE DO MORRO GRANDE	MUSCOVITA XISTO E QUARTZITO			
		DD-1		SERROTE DO MIRADOR				
		DD-2		SERROTE DO FILIPÃO				
		DEE-1	X	SERROTE DO MULUNGU	QUARTZITO MICÁCEO ESBRANQUIÇADO			
		DEE-2		SERROTE DA CAPIVARA				
		DF-1	X	SERROTE CURUMATÁ	QUARTZITO MICÁCEO ESBRANQUIÇADO	TOPO DO MORRO SEM COBERTURA VEGETAL		
		DF-2	X	SERROTE DA CATARINA	QUARTZITO MICÁCEO ESBRANQUIÇADO	MORRO SEM COBERTURA VEGETAL		
		DGG-1						
		DGG-2						

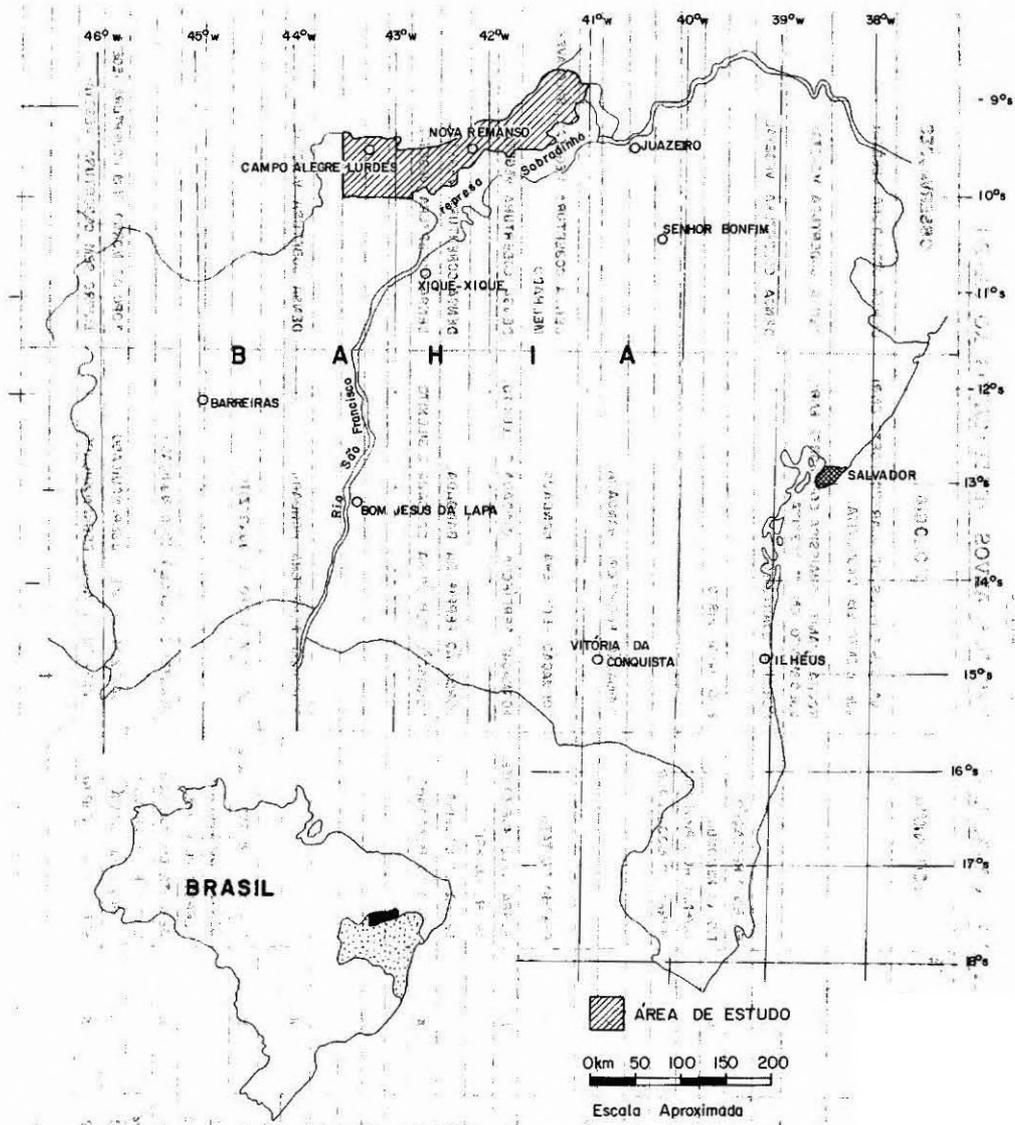


Fig. 1 - Localização da área de estudo.

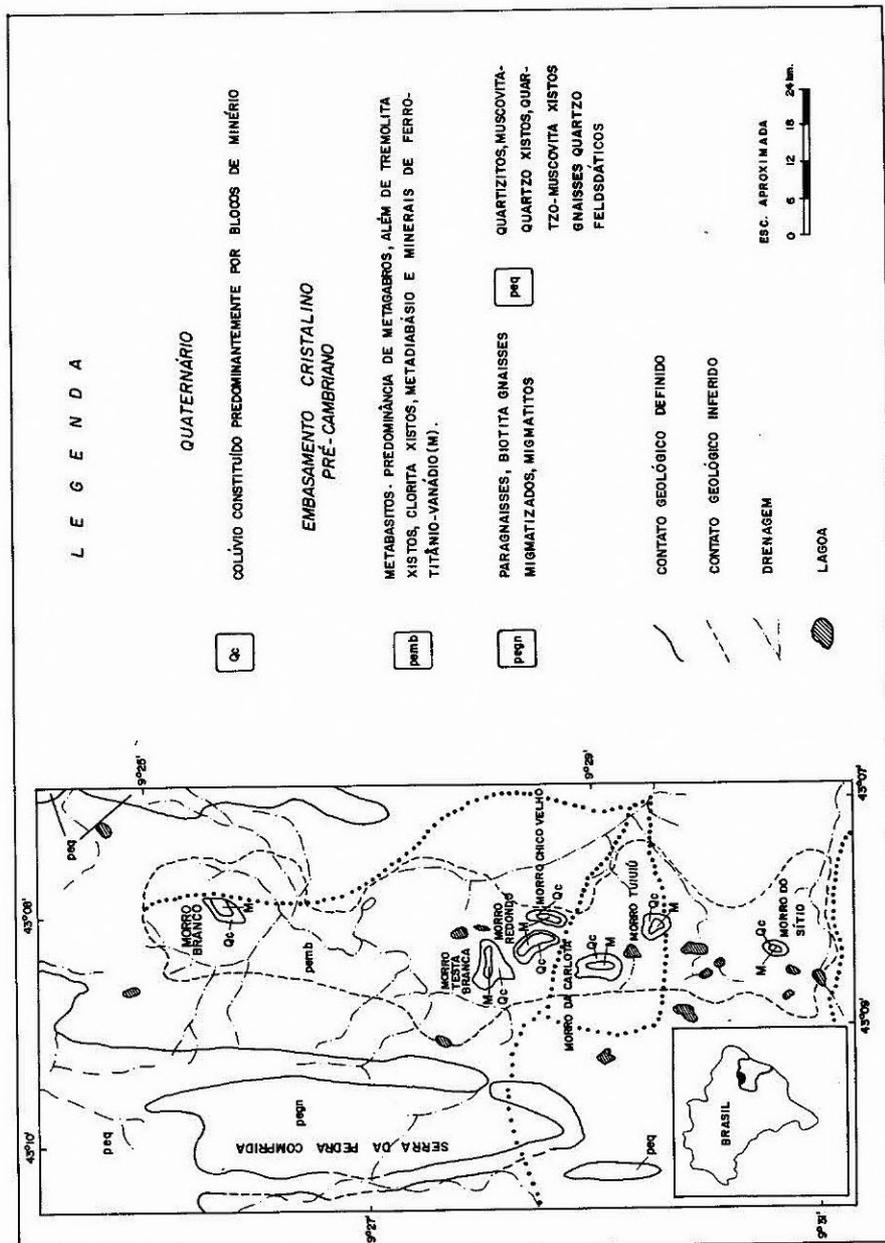
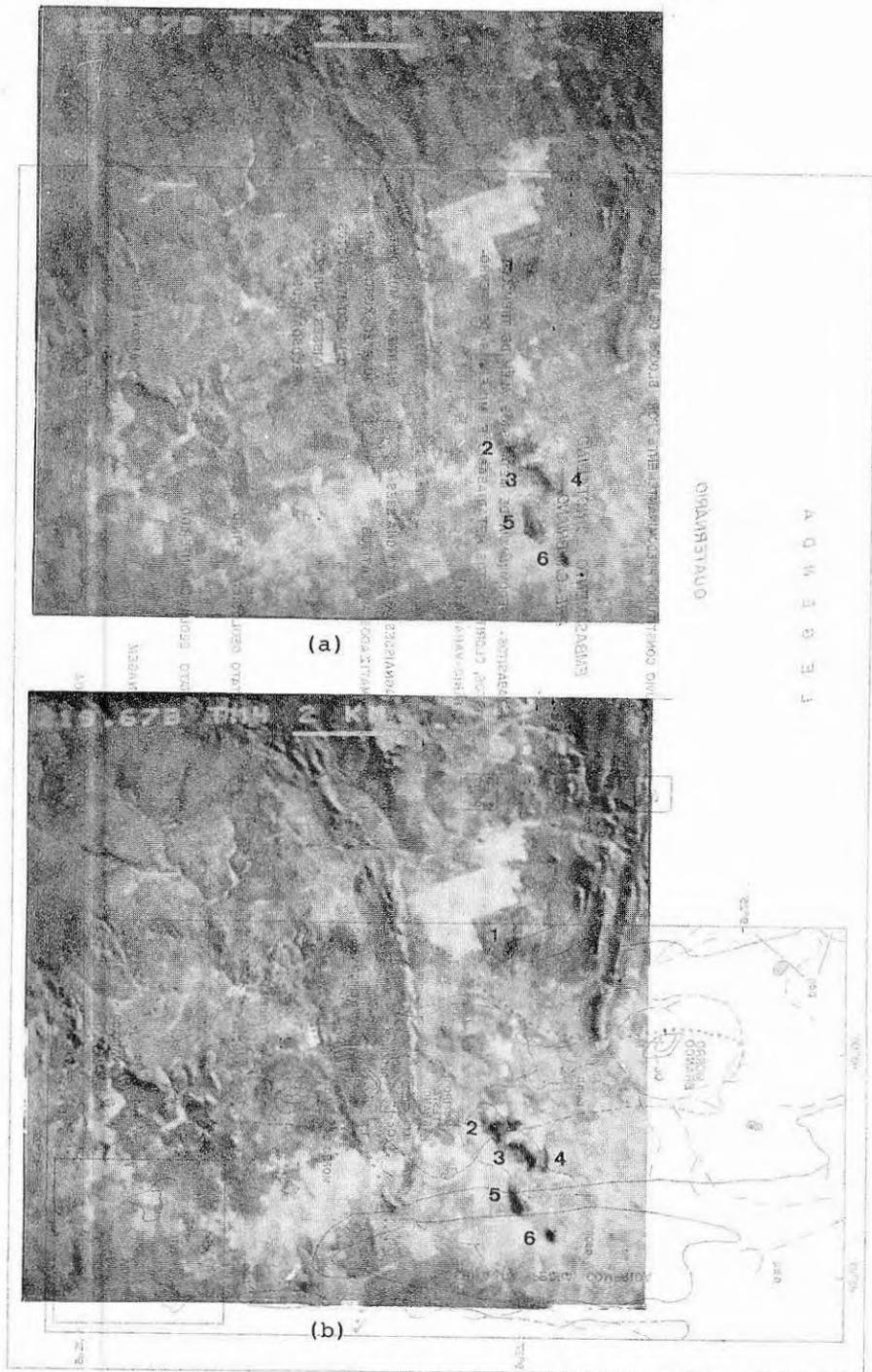
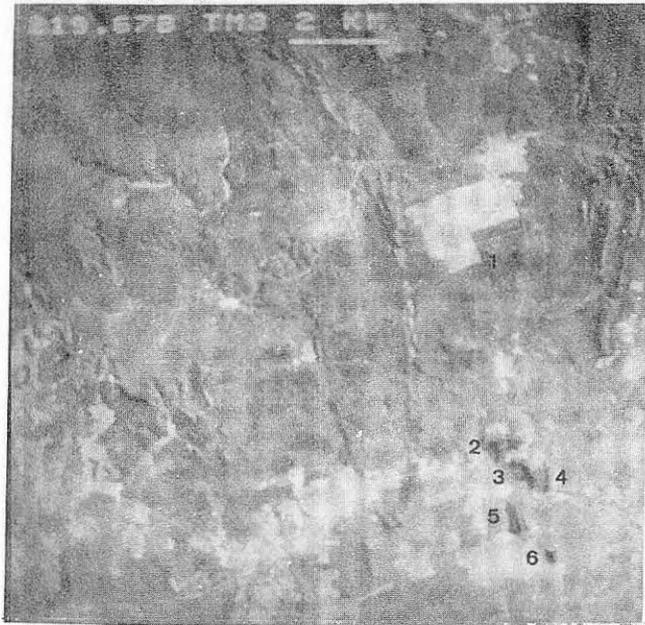


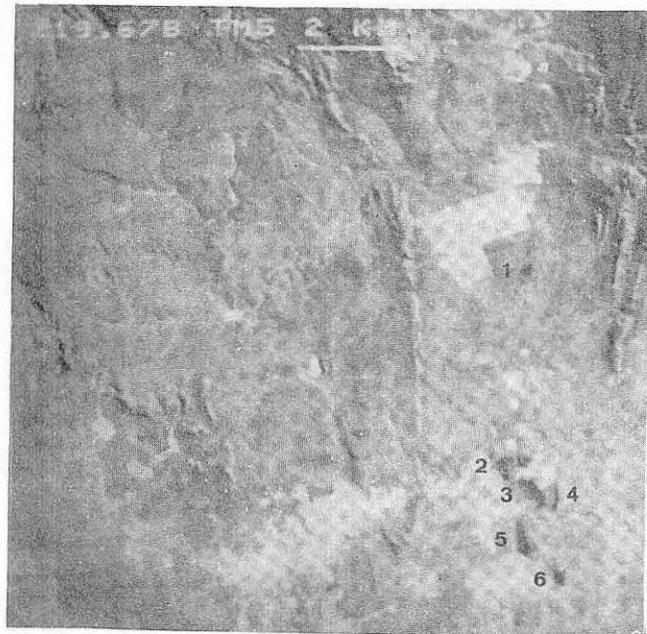
Fig. 2 - Mapa fotogeológico de depósitos de ferro-titânio-vanádio de Campo Alegre de Lourdes (BA).
 FONTE: Souza e Sampaio (1979).

Fig. 3 - Bandas 3 (a) e 4 (b), mostrando os depósitos de ferro-titânio vanádio de Campo Alegre de Lourdes (BA). Ponto 1 = Morro Branco; Ponto 2 = Morro Testa Branca; Ponto 3 = Morro Redondo; Ponto 4 = Morro Chico Velho; Ponto 5 = Morro da Carlota; Ponto 6 = Morro Tuiuiú.





(a)



(b)

Fig. 4 - Bandas 5 (a) e 7 (b), mostrando os depósitos de ferro-titânio vanádio de Campo Alegre de Lourdes (BA). Ponto 1 = Morro Branco; Ponto 2 = Morro Testa Branca; Ponto 3 = Morro Redondo; Ponto 4 = Morro Chico Velho; Ponto 5 = Morro da Carlota; Ponto 6 = Morro Tuiuiú.

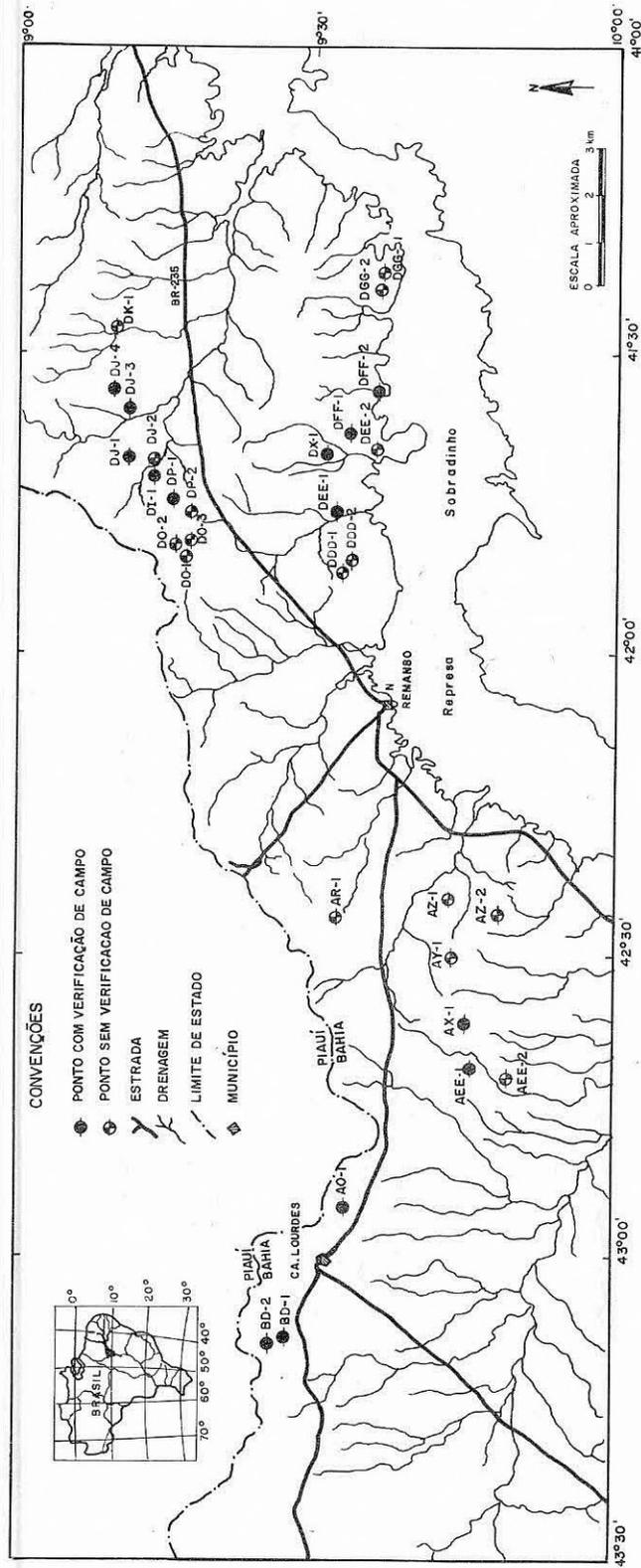


Fig. 5 - Mapa de localização dos alvos classificados.