

1. Publicação nº INPE-3250-PRE/592	2. Versão	3. Data Ago., 1984	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DSR	Programa COMEA		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) DADOS DIGITAIS MSS-LANDSAT GEOLOGIA/BAHIA DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA SENSORES REMOTOS PROCESSAMENTO DIGITAL			
7. C.D.U.: 528.711.7:552(814.2)			
8. Título INPE-3250-PRE/592 AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO POR COMPUTADOR DE DADOS DIGITAIS MSS-LANDSAT NA DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA NA SERRA DO RAMALHO, ESTADO DA BAHIA		10. Páginas: 40	11. Última página: 29
9. Autoria Waldir Renato Paradella* Icaro Vitorello* Mário Dias Monteiro**		12. Revisada por Marx Prestes Barbosa	
Assinatura responsável <i>Waldir Renato Paradella</i>		13. Autorizada por Nelson de Jesus Parada Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Foi investigado o uso de técnicas de realces e classificações temáticas, na discriminação litológica, de terrenos metassedimentares do Grupo Bambuí (Proterozóico Superior) na Serra do Ramalho (SW da Bahia). Ampliações de Contraste Linear ("Linear Contrast Stretch") e Divisões de Canais ("Band-Ratio"), seguidas por ampliação de contraste dos "ratios" e por composições coloridas dos produtos, permitem discriminações de sequências litológicas. A influência da atividade antrópica e da cobertura vegetal mascaram e limitam, em muitos aspectos, a discriminação litológica com dados MSS/LANDSAT. Técnicas da obtenção dos componentes principais destas imagens e composições coloridas dos produtos, contrastados linearmente, também enfatizam discriminações litológicas através de gradações tonais nas cenas. Este conjunto de dados permite delinear a disposição de várias sequências metassedimentares em níveis superiores a mapas de reconhecimento geológico. Classificações temáticas supervisionada e não supervisionada da sequência de calcários, hospederia de mineralizações de Fluorita apresentaram resultados satisfatórios.</i>			
15. Observações Trabalho apresentado no II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10 a 14 de maio de 1982, Brasília, DF. * INPE/CNPq (Instituto de Pesquisas Espaciais/Deptº Sensoriamento Remoto) ** CBEM (Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - Salvador/BA).			

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE TRATAMENTO POR COMPUTADOR DE DADOS DIGITAIS
MSS-LANDSAT NA DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA NA
SERRA DO RAMALHO, ESTADO DA BAHIA

W.R. Paradella e I. Vitorello

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Caixa Postal 515 - 12.200 - São José dos Campos - SP - Brasil

M.D. Monteiro

Companhia Baiana de Pesquisa Mineral - CBPM
Secretaria das Minas e Energia da Bahia - SME
Centro Administrativo da Bahia - 40.000 - Salvador - Brasil



ABSTRACT

The availability of successive LANDSAT satellite passages over Brazil, recording ground information in four spectral bands (two in the visible and two in the near-infrared), allows analysis of spatial (texture and landforms), spectral (grey level and tone) and temporal (seasonal variations) attributes of natural targets in geological research. The fact that information is digitally formatted in magnetic tapes makes the use of computers for the analysis of this large volume of information particularly convenient. At present, two basic approaches in digital processing for geological application are emphasized: enhancement techniques and thematic classifications. The former seeks the development of techniques for the improvement and detachment of spectral information for the photo-analyst. The latter aims to define clusters of targets, by the computer, according to the similarities in the characteristics of their spectral signatures. Therefore, enhancement techniques and thematic classifications have been applied to the metasediments of Bambuí Super Group (Upper Proterozoic) in the Region of Serra do Ramalho, SW of the state of Bahia. Linear contrast stretch, band-ratios with contrast stretch, and color-composites allow lithological discriminations. The effects of human activities and of vegetation cover mask and limit, in several ways, the lithological discrimination with digital MSS data. Principal component images and color composite of linear contrast stretch of these products, show also lithological discrimination through tonal gradations. This set of products allows the delineations of several metasedimentary sequences to a level superior to reconnaissance mapping. Supervised (maximum likelihood classifier) and nonsupervised (K-Means classifier) classification of the limestone sequence, host to fluorite mineralization have shown satisfactory results.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA TESTE</u>	2
3. <u>CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTOS DE IMAGENS DIGITAIS POR COMPUTADORES</u>	6
3.1 - Realce por ampliação Linear de Contraste (Linear Contrast Stretch)	7
3.2 - Realce multiespectral por composições coloridas contrastadas	8
3.3 - Divisão de canais contrastada (Contrast Stretched Band -Radio)	8
3.4 - Componentes principais contrastados	9
3.5 - Classificação temática	10
3.6 - Materiais e métodos	12
4. <u>DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES</u>	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Geologia da área da Serra do Ramalho referente aos produtos mostrados no texto (Simplificado a partir de CBPM/SME, 1976)	4
2 - Representação gráfica de transformação linear para ampliação de contraste	8
3 - Diagrama em duas dimensões, como exemplo de rotação θ e translação para nova origem do método das componentes principais.	10
4 - Fluxograma das etapas seguidas no trabalho	13
5 - Quatro canais MSS/Landsat realçados por ampliações de contraste linear	15
6 - Composição colorida com canais realçados MSS 4, 5 e 6 e cores azul, verde e vermelha	16
7 - Classificação não supervisionada (K-Médias). Distribuição geográfica dos temas pela classificação K-Médias	17
8 - As seis possíveis divisões de canais (Band-Ratio) dos quatro canais multiespectrais originais, realçados por contraste linear	19
9 - Composição colorida de produtos de divisões de canais: 4/5 com azul + 5/6 com verde + 6/7 com vermelho	20
10 - Componentes principais dos canais originais LANDSAT	21
11 - Composição colorida das Componentes Principais realçadas: 1ª CP com azul + 2ª CP com vermelho + 3ª CP com verde	22
12 - Classificação supervisionada (classificador MAXVER). a) pontos de amostragem ("training-area") para a classificação, b) tema C ₂ da classificação obtida, correspondente à unidade hosteadeira das principais mineralizações de fluorita	26

..

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Variância e covariância das 8 classes definidas pelo classificador K-Médias	17
2 - Matriz dos auto-vetores após transformação por componentes principais dos canais originais da Figura 5	23
3 - Matriz dos auto-valores após transformação por componentes principais dos canais originais	23
4 - Matriz de classificação da Figura 12 demonstrativa da separabilidade das classes a partir dos pontos de amostragens	26

1. INTRODUÇÃO

A utilização de informações espectrais de alvos superficiais, representadas por gradações de cinza ou cores em imagens de sensores remotos tem sido até hoje muito pouco explorada em trabalhos de aplicações geológicas no País.

Muito embora estejam disponíveis recobrimentos por imagens multiespectrais do LANDSAT, da quase totalidade do território nacional desde 1972, a ênfase em aplicações geológicas continua dirigida a extração de informações, principalmente de cunho estrutural, com estes tipos de dados.

Fatores diversos tem contribuído para esta tendência, sendo um dos mais relevantes a pouca ênfase que ainda é dada a estudos do comportamento espectral em campo e laboratório da associação "rocha-solo-vegetação", nos mais diversos ambientes climáticos do Brasil.

Tais estudos, fornecem uma boa base para o entendimento das variações de respostas encontradas nas imagens, na medida em que o dado coletado é de natureza superficial, i.e., dos milímetros superiores do terreno e a litologia é mascarada por vegetação, solo, atividade humana, etc.

Aliada a estes fatos, a ênfase atual na análise espectral de dados LANDSAT em geologia está cada vez mais ligada ao uso de computadores especiais, para tratar o grande volume de informações disponíveis, o que de certa forma restringe um acesso mais amplo de interessados nesta abordagem. Deste modo, era natural que esquemas interpretativos desenvolvidos e aplicados com sucesso em trabalhos com fotos aéreas pancromáticas e mosaicos de radar fossem propostos e automaticamente utilizados na análise de imagens de satélite. Tais esquemas não exploram muito a tonalidade, como um dos fatores de fotoanálise, pela própria escassez de recursos tonais presentes em fotos aéreas em preto e branco e em mosaicos de radar.

Dentro deste contexto, os autores que atualmente estão desenvolvendo estudos com imagens LANDSAT na discriminação espectral de rochas na Serra do Ramalho, Bahia, têm testado e avaliado algumas técnicas de processamento automático de dados digitais e julgaram oportuno sugerir uma sequência metodológica de análise que possa ser utilizada por interessados em programas de mapeamento geológico regional.

Basicamente, o que se procurou no trabalho foi estabelecer uma série de etapas ou passos que, levando em conta a gama de processamentos atualmente disponíveis no Analisador Image-100 do INPE/CNPq, em São José dos Campos/SP, pudessem otimizar a utilização de técnicas dentro do enfoque de discriminação litológica a partir de dados LANDSAT. Muito embora, dependendo do caso, se utilize uma técnica particular, uma discussão sobre metodologia, desempenho e inter-relações entre as várias técnicas num processo de reconhecimento litológico regional não tem sido sugerida em textos pertinentes a este assunto.

Toda análise foi desenvolvida em produtos, obtidos de processamentos no I-100, na escala 1:100.000, e o estudo teve o suporte financeiro do CNPq/INPE. A fase de campo contou com o auxílio indispensável da CBPM (Cia. Baiana de Pesquisas Minerais) e da Secretaria das Minas e Energia da Bahia (SME/BA).

2. GEOLOGIA E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA TESTE

A região escolhida situa-se na Serra do Ramalho, SW da Bahia, ao sul da confluência do rio Corrente com o São Francisco. A área é conhecida pela ocorrência de rochas carbonática-pelíticas do Super-Grupo Bambuí (Proterozóico Superior); rochas continentais detríticas da formação Urucuia (Cretáceo) e depósitos sedimentares do Terciário e Quaternário.

A região foi mapeada em detalhe (escala 1:50.000) pela CBPM, dentro do Projeto Fluorita da Serra do Ramalho (Convênio SME-CBPM, 1976), quando foram atribuídas sete unidades ao Grupo Bambuí e uma unidade ao Cretáceo Urucuia (Figura 1). Do ponto de vista econômico merecem citação as concentrações de Fluorita associadas a sulfetos de Pb e Zn, encontradas na borda oriental da serra, estando confinadas principalmente a uma sequência de calcários cinza-escuro (Unidade C₂ na Figura 1).

O clima na região apresenta características do tipo semi-árido. A vegetação, como o relevo, distribui-se segundo três conjuntos distintos na área: nas regiões mais baixas, adjacentes à margem esquerda do Rio São Francisco e direita do Rio Corrente, com cotas próximas a 450 metros, predomina uma vegetação do tipo xerófito, bem desenvolvida, com árvores, de até 10 metros de altura, que mesmo em época de estiagem são providas de folhagem razoavelmente exuberante.

Já em direção às meias encostas da serra, formadas por rochas escarpadas de calcários e pelitos com formas de relevo suavemente onduladas, a vegetação do tipo xerófito ainda persiste, porém muito menos desenvolvida e caracteristicamente exibindo ausência total de folhagens e exuberância de galhos secos na época de estiagem.

Na parte mais elevada da serra, formada pelo "plateau" da Formação Urucuia, um tipo de vegetação de Cerrado se desenvolve, com pequeno porte, exuberância de folhagens e troncos e caules retorcidos.

A área assiste hoje a uma intensa atividade humana, principalmente ao longo da borda oriental da serra, com a implantação de projetos agropecuários e instalações de agrovilas.

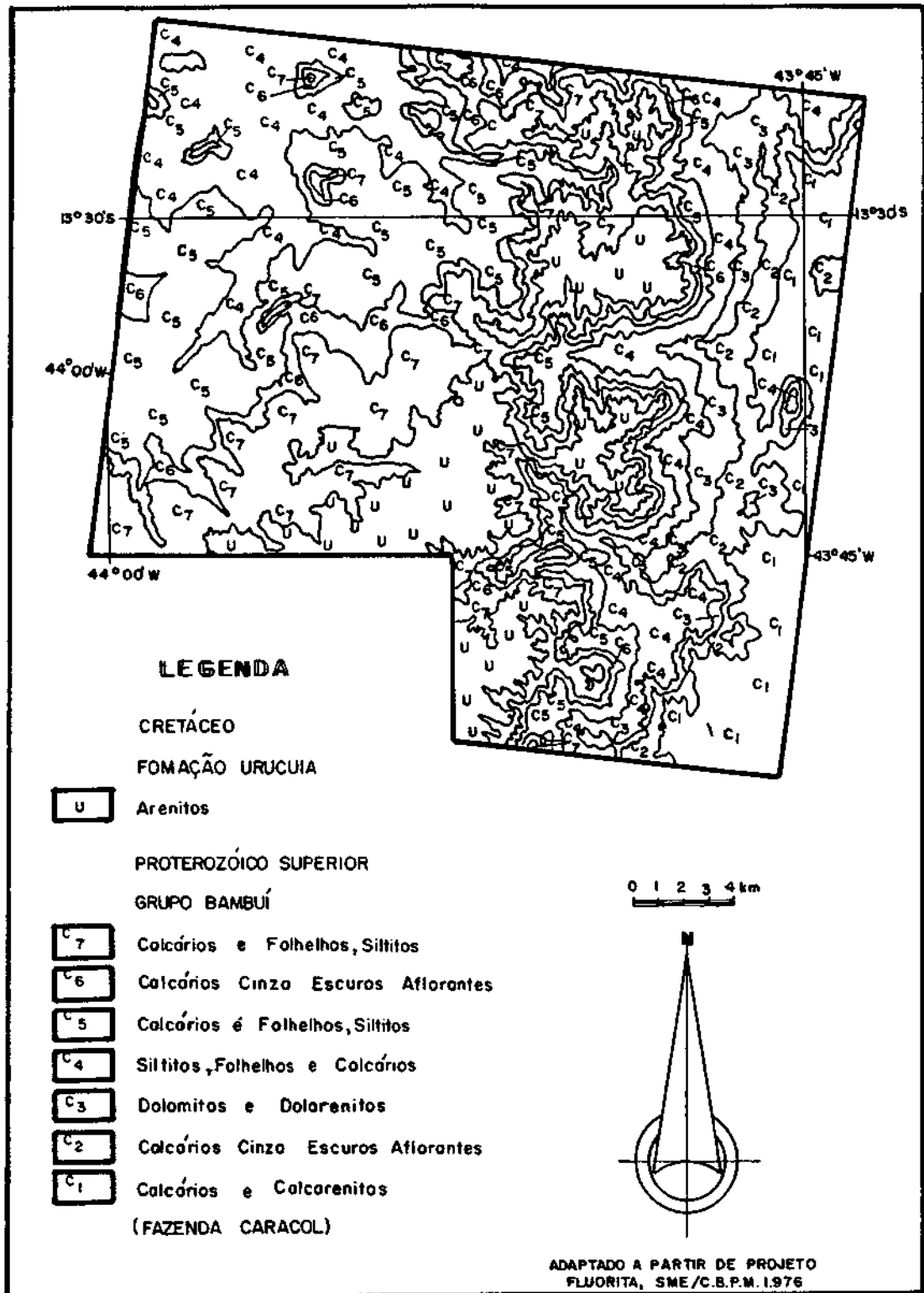


Fig. 1 - Geologia da área da Serra do Ramalho referente aos produtos mostrados no texto (Simplificado a partir de CBPM/SME, 1976).

Do ponto de vista de exposição de unidades litológicas, tem-se a presença de solos de alteração de rocha residual, muito embora esta afirmação não seja rigorosa em muitos pontos, principalmente na faixa SW da área (cabeceiras do Rio Bomba), onde colúvios da Formação Urucuia estão presentes sobre as unidades subjacentes.

A unidade C₁, aflorante a leste da serra, ocorre em uma região fisiograficamente arrasada, com uma absoluta carência de afloramentos e caracterizada por solos argilosos avermelhados, mascarados por nuances amarelo-claras de solos arenosos das coberturas terciárias e quaternária. Nesta faixa, desenvolvem-se tipos vegetais de grande porte e exuberante folhagem.

A unidade C₂, que ocorre numa extensão alongada norte-sul, no lado leste da área, mostra exposição de calcários maciços cinza-escuro, com estruturas superficiais do tipo "lápies". Sobre esta unidade há uma ausência generalizada de desenvolvimento de vegetação, ocorrendo apenas esparsas cactáceas (coroa de Frade e mandacaru).

A unidade C₃, essencialmente dolomítica, exhibe um solo argiloso bastante avermelhado, diferindo da unidade C₄, pelítico-carbonática, onde predomina um solo amarelo claro, com inúmeros fragmentos (plaquetas) de constituintes pelíticos.

Em alguns locais, a presença de tonalidades amarelo-amarronzadas nas sequências C₄ reflete a contribuição de seus níveis carbonáticos. A unidade C₄ é caracterizada também por uma morfologia de relevo em "meia laranja" e por padrão dendrítico de drenagens bastante evidente em fotos aéreas pancromáticas.

A unidade C₅ é caracterizada pela predominância de constituintes carbonáticos (calcários) sobre pelíticos (folhelhos, siltitos e margas) e é, em grande parte, recoberta por um solo com gradações marrom-ocre-avermelhadas a tons mais claros associados aos níveis pelíticos. Parte da ocorrência desta sequência é recoberta por colúvios da Formação Urucuia.

Sobre as unidades C₃, C₄ e C₅, o tipo de vegetação que ocorre em geral caracteriza-se pelo porte médio e pela intensa presença de galhos e ramos secos na época da estiagem.

A unidade C₆ é visualmente muito similar à C₂; porém, suporta as escarpas nas meias encostas da Serra. Sobreposta a esta sequência, ocorre uma faixa de exposição da unidade C₇, muito similar em exposição à C₅, de características carbonático-pelíticas. Em muitos trechos, sua área de exposição é mascarada por colúvios da Formação Urucuia e atividade antrópica.

As rochas de Formação Urucuia que compõem o topo da Serra do Ramalho são representadas por arenitos avermelhados, associados em alguns pontos a uma canga limonítica e a siltitos argilosos.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTOS DE IMAGENS DIGITAIS POR COMPUTADORES

As imagens digitais de satélites necessitam de vários melhoramentos para interpretações geológicas. Além de conter informações espúrias derivadas do próprio sistema sensor e dos processos de transmissão e processamentos, estas imagens foram designadas para aplicações multidisciplinares e, em decorrência, possuem especificações bastante amplas para acomodar diversos interesses, muitas vezes conflitantes. As fitas magnéticas (CCT - Computer Compatible Tapes) contêm diversas correções geométricas e radiométricas de distorções causadas pelos equipamentos, porém vários

outros tipos de ruídos e imperfeições necessitam ser eliminados por manipulação adicional deste tipo de produto.

Nesta seção são resumidamente expostas somente as técnicas de manipulações multispectrais pelas quais o dado espectral é modificado e apresentado como uma nova imagem, tendo como objetivo o realçamento (técnicas de realce) ou a classificação temática (técnicas de classificação) das informações originais.

Sobre este assunto maiores informações podem ser obtidas no trabalho de Paradella e Vitorello (1981). Todos os processamentos digitais aqui apresentados foram conduzidos pelos autores no Image-100 do INPE (CNPq). Maiores detalhes sobre este sistema analisador podem ser encontrados no Manual do Usuário do Sistema I-100 (General Electric, 1975).

3.1 - REALCE POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (LINEAR CONTRAST STRETCH)

Basicamente, em uma imagem original MSS do LANDSAT a informação da cena está contida em uma pequena porção do intervalo de representação de níveis de cinza entre o mínimo, correspondente ao preto (nível=0), e o máximo ou saturado, correspondente ao branco (nível = 255). A técnica do realce de contraste consiste em aplicar na cena original uma transformação matemática que expanda este intervalo original para toda a escala de 256 níveis disponíveis. A transformação mais simples é um contraste linear (Figura 2) onde o valor L_1 é transformado em 0 e o valor L_2 é ajustado para o nível 255; os valores intermediários em L_1 e L_2 são escalonados proporcionalmente. Com isto consegue-se considerável melhoria no aspecto visual da cena original. Qualitativamente, a melhoria de contraste pode ser indicada pelo aumento do valor da razão entre dois níveis de cinza extremos.

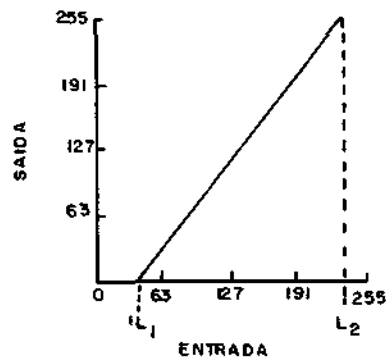


Fig. 2 - Representação gráfica de transformação linear para ampliação de contraste.

Os níveis de cinza originais, que variam de L_1 a L_2 , são expandidos linearmente entre o nível 0 a 255.

3.2 - REALCE MULTIESPECTRAL POR COMPOSIÇÕES COLORIDAS CONTRASTADAS

A utilização de composições coloridas representa um recurso valioso e um procedimento rotineiro quando se pretende sintetizar a informação de três canais em uma única cena. Isto é devido à própria característica do olho humano, capaz de distinguir melhor e com mais facilidade, valores de matriz que gradações de cinza. Nesta técnica, normalmente designada como composição colorida contrastada, a cada diferente banda, previamente contrastada por "Stretch" linear é associada uma das cores aditivas primárias (azul, verde, vermelho).

3.3 - DIVISÃO DE CANAIS CONTRASTADA (CONTRAST STRETCHED BAND-RATIO)

Em sua forma mais simples, a técnica consiste na divisão do valor digital dos "pixels" de um canal pelos respectivos valores de "pixels" correspondentes da outra banda. Este tipo de técnica é importante porque:

- 1) tende a minimizar diferenças de respostas nas cenas atribuídas a efeitos topográficos (diferentes ângulos de

iluminação do mesmo alvo) e a efeitos aditivos e multiplicativos da contribuição atmosférica;

- 2) tende a enfatizar pequenas diferenças espectrais entre alvos, nas cenas que exibam diferentes comportamentos de gradientes nas curvas de reflectância espectral, dentro das bandas consideradas na divisão;
- 3) funciona como um método de redução de dimensionalidade de dados, pois, cada produto expressa a razão espectral de dois canais diferentes, o que permite que os dados dos quatro canais originais possam ser combinados em uma única composição colorida, usando três imagens "Ratio" (4/5 com azul + 5/6 com verde + 6/7 com vermelho). Convém salientar que as três imagens "Ratio" são previamente corrigidas para efeitos atmosféricos e contrastadas por "stretch" linear antes da combinação de cores.

Até seis produtos de divisões de canais espectralmente distintos podem ser obtidos por meio deste método (4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7 e 6/7). Maiores detalhes sobre este método podem ser encontrados no trabalho de Almeida Filho e Vitorello (1981).

3.4 - COMPONENTES PRINCIPAIS CONTRASTADOS

O método dos componentes principais baseia-se em uma transformação linear dos dados originais, através de uma rotação e translação, no espaço de atributos espectrais definidos por eixos ortogonais, correspondentes aos 4 canais do MSS-LANDSAT (Figura 3). Esta transformação tende a concentrar a informação total contida nos canais originais em um novo conjunto de canais (componentes principais) com a particularidade de conterem informações não-correlacionadas entre si, i.e., não há redundância como nos canais originais, além de a informação ficar concentrada nas três primeiras componentes, enquanto a quarta restante é associada ao

ruído contido nos canais originais. De maneira geral, a primeira componente está associada informação relativa ao brilho contido nas cenas originais, enquanto a segunda componente mostra informações relativas ao contraste espectral de alvos nas faixas do visível e infravermelho próximo.

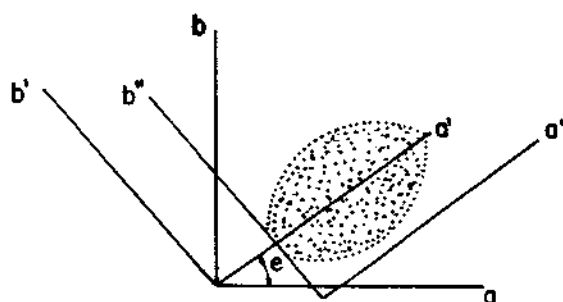


Fig. 3 - Diagrama em duas dimensões, como exemplo de rotação θ e translação para nova origem do método das componentes principais.

A primeira e segunda componente são representadas pelos eixos a'' e b'' , respectivamente.

Geralmente, após a obtenção das componentes principais, são aplicados contrastes e associadas cores a cada novo canal, os quais geram uma composição colorida (1ª componente com azul + 2ª componente com vermelho + 3ª componentes com verde). Este tipo de técnica tende a aumentar a capacidade de análise de discriminação espectral entre alvos, além daquela obtida usando-se combinações coloridas com 3 canais originais quaisquer.

3.5 - CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICAS

Em sensoriamento remoto, classificação implica reconhecer nas imagens multiespectrais, os vários alvos ou conjuntos nas cenas que exibam características espectrais similares.

Duas diferentes abordagens com dados LANDSAT são usadas: a classificação "supervisionada", no sentido de que as classes são separadas a partir de padrões pré-selecionados estabelecidos pelo analista, ou "não-supervisionada, na qual os limites das classes são determinados por algoritmos de delineam agrupamentos naturais ("clusters").

No Image-100, o algoritmo de classificação supervisionada MAXVER usa o critério da máxima verossimilhança, segundo classes escolhidas interativamente pelo usuário. A classificação MAXVER procura, pois, dado um ponto x , achar a classe y , tal que a probabilidade de x pertencer a y seja a máxima, sendo-lhe então atribuída tal classe.

Na fase inicial da classificação, o usuário escolhe várias classes de interesse baseado em seu conhecimento prévio das respostas espectrais dos alvos no campo. Os parâmetros *média* e *covariância* são determinados para cada classe escolhida. Tais parâmetros possibilitam o cálculo das probabilidades de um ponto qualquer na imagem pertencer a cada uma das classes predefinidas. A participação do usuário no desempenho da técnica está não só no conhecimento dos dados do terreno, visando-se uma boa definição das classes, como também na escolha das amostras mais adequadas que as representem. O trabalho de Velasco et alii (1978) discute com detalhes o classificador MAXVER.

Já o sistema de classificação não-supervisionada, ou algoritmo K-Médias procura por meio de técnicas de agrupamentos ou "Clustering" determinar relações naturais ou inerentes ao conjunto de dados da cena. A diferença básica entre esta técnica e a anterior é que as classes são definidas através de análise de parâmetros de propriedades intrínsecas do conjunto de dados, no caso, a partir da distância euclidiana entre pontos considerados nos espaços de atributos espectrais, definidos pelos canais multiespectrais. Toda

esta operação é realizada pelo computador, com reduzida participação do analista na definição dos agrupamentos. Maiores detalhes sobre o algoritmo K-Médias podem ser encontrados no trabalho de Hartigan (1975).

3.6 - MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas fitas magnéticas da passagem do satélite LANDSAT na área em 14 de junho de 1975 (órbita 164, ponto 21).

Na verificação de campo foram usadas folhas topográficas na escala de 1:50.000 e fotográficas aéreas na escala de 1:50.000 do arquivo da CBPM/SME, bem como o mapa geológico na escala de 1:100.000 do Projeto Fluorita na Serra do Ramalho, que representa a integração dos mapeamentos de folhas na escala de 1:50.000 do citado projeto. Os passos da metodologia utilizada apresentam-se resumidos no fluxograma da Figura 4. Detalhes sobre correções radiométricas e atmosféricas incluídas no fluxograma podem ser encontrados nos trabalhos específicos de Taranik (1978) e Chavez, Jr. (1975).

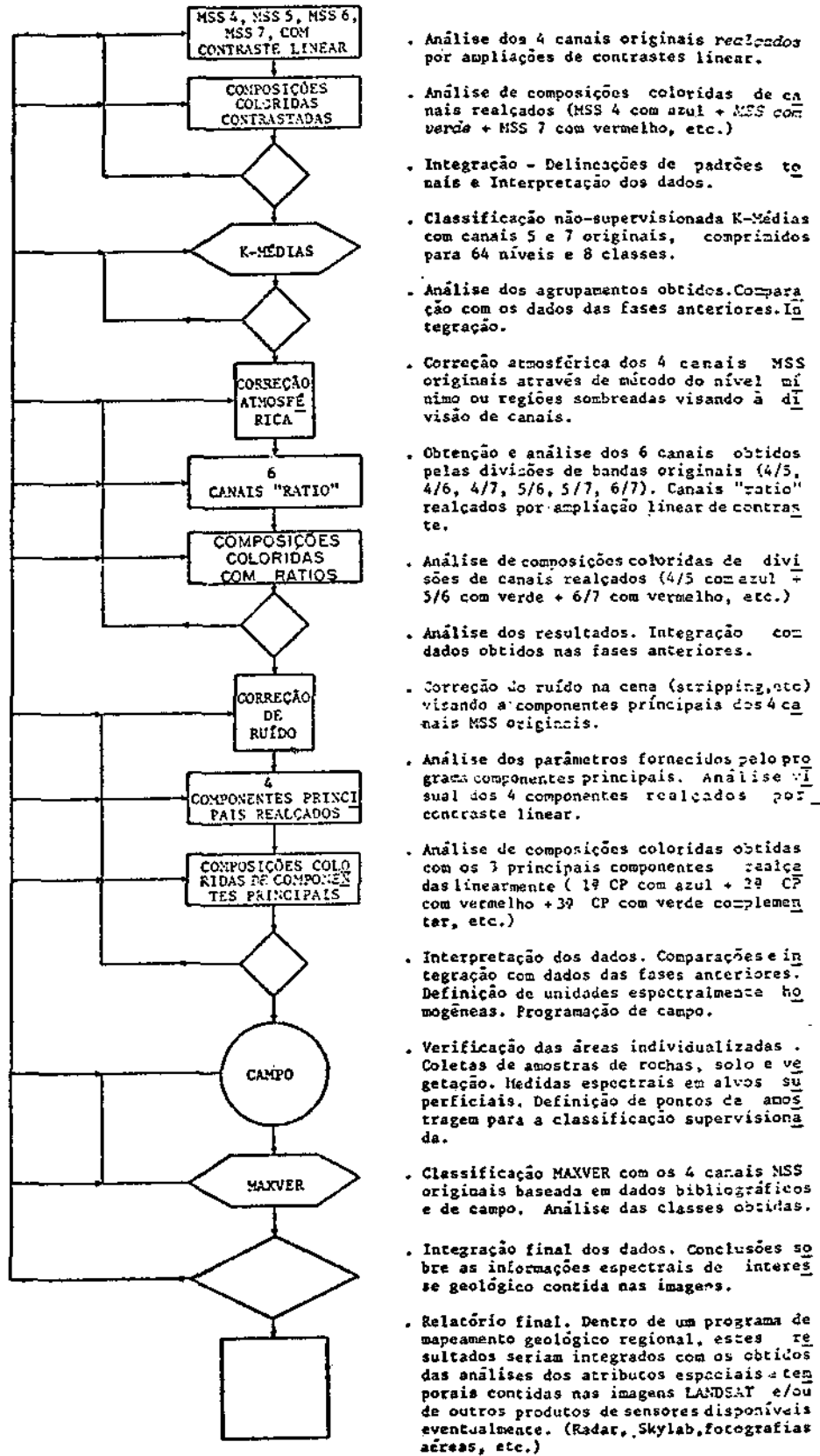


Fig. 4 - Fluxograma das etapas seguidas no trabalho.

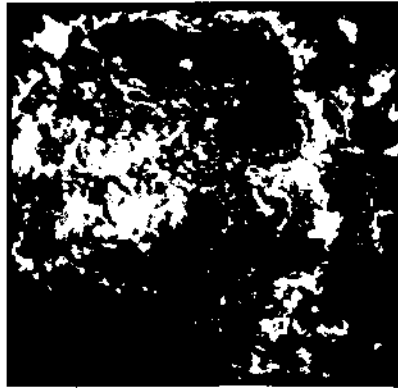
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Inicialmente foram analisadas as ampliações na escala 1:100.000 dos 4 canais originais realçadas por ampliações de contraste linear (Figura 5). Esta análise, tomando-se por base o comportamento espectral de vegetação, solo, rocha e água (alvos naturais) nas bandas do LANDSAT, possibilitou obter informações sobre o nível de influência da cobertura vegetal na área e sobre a extensão da atividade humana, como também delinear a distribuição de possíveis unidades de rochas ou de seus produtos de alteração. Normalmente uma análise deste tipo será completa, quando se utilizarem dados de épocas diferentes, i.é, de estações secas e chuvosas, numa abordagem multitemporal que, detectando mudanças na paisagem, exprimam diferenças entre associações vegetação, solo, rocha.

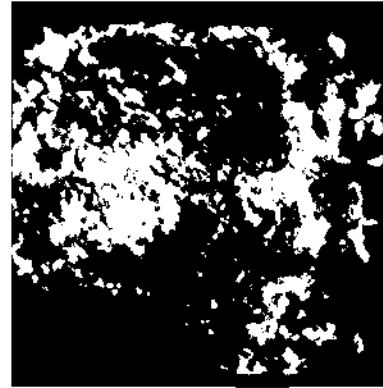
A utilização da composição colorida com canais 4, 5 e 6 cores azul, verde e vermelha, respectivamente (Figura 6), melhorou muito a definição de fotounidades.

Através de nuances nas cores, conseguiu-se sintetizar informações presentes em cada canal original e obteve-se uma rápida visualização do padrão de unidades presentes.

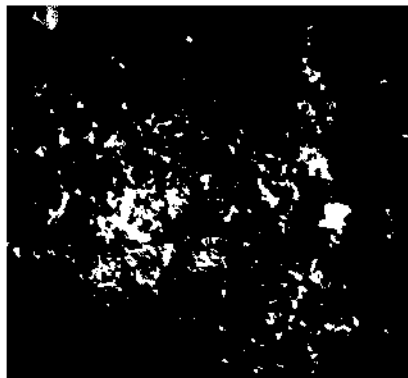
Na Figura 6, convém mencionar, são evidentes a faixa de cor azulada, na borda direita da foto, que indica afloramentos de calcário C^2 ; seguindo-se para a região central, faixas estreitas em tons verde-azul-escuros, que denotam escarpas da unidade C_6 ; a região de contraste tonal verde-claro/verde escuro, no canto superior esquerdo da foto, que mostra o Contato C_4/C_5 próximo à Fazenda Caracol (Figura 1); o padrão tonal avermelhado associado à extensão da Formação Urucua e, finalmente, o padrão do uso da terra em tons brancos e feições geométricas.



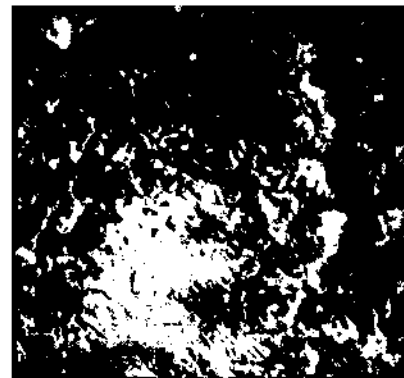
MSS-4



MSS-5



MSS-6



MSS-7

Fig. 5 - Quatro canais MSS/Landsat realçados por ampliações de contraste linear.

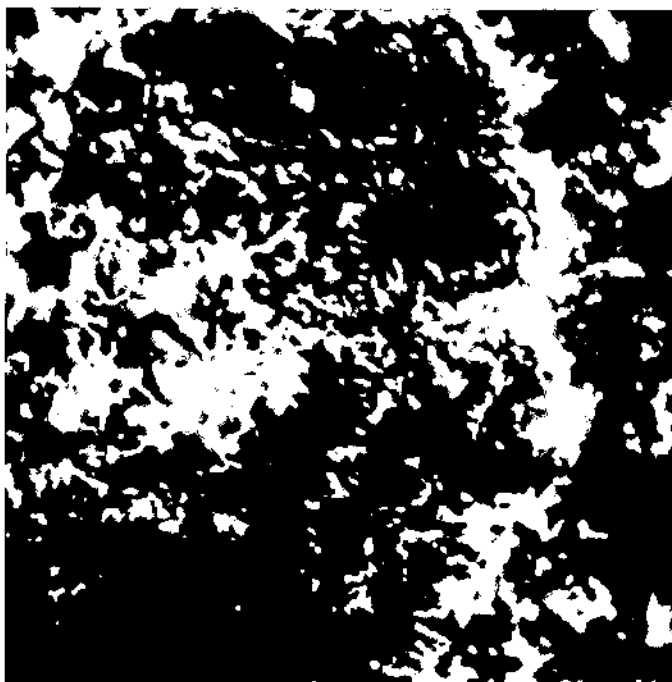


Fig. 6 - Composição colorida com canais realçados MSS 4, 5 e 6 e cores azul, verde e vermelha.

Optou-se por incluir na sequência metodológica uma fase de classificação não supervisionada (K-Médias). O objetivo que motivou este esquema foi comprovar a presença das classes observadas nos produtos anteriores e, eventualmente, definir outros temas, com base na maior potencialidade desta técnica de separar agrupamentos que, numa análise visual pudessem não estar evidentes nos canais considerados e, portanto, passarem despercebidos.

A Figura 7 mostra a distribuição dos 8 temas separados pelo algoritmo K Médias; utilizando-se os canais MSS 5 e 7 e a compressão em 64 níveis tonais. A Tabela 1 mostra os parâmetros estatísticos referentes às 8 classes definidas.

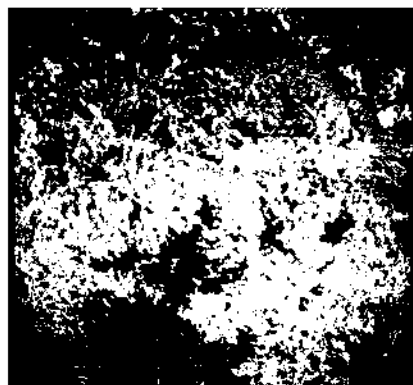


Fig. 7 - Classificação não supervisionada (K-Médias). Distribuição geográfica dos temas pela classificação K-Médias.

TABELA 1

VARIÂNCIA E COVARIÂNCIA DAS 8 CLASSES DEFINIDAS PELO
CLASSIFICADOR K-MÉDIAS

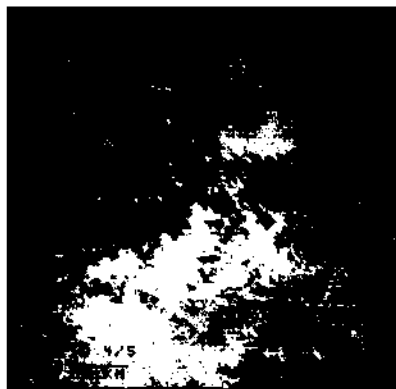
	Variância (MSS 5)	Covariância (MSS 5/MSS 7)	Variância (MSS 7)
Classe 1	10.12	0.64	13.18
Classe 2	7.25	0.81	14.09
Classe 3	15.61	-2.70	11.91
Classe 4	14.95	1.40	11.64
Classe 5	8.71	1.15	9.89
Classe 6	7.65	2.10	14.71
Classe 7	20.02	-0.94	7.48
Classe 8	9.88	0.09	12.30

Da análise da Figura 7 é possível associar o tema amarelo com a unidade C_2 , o tema azul com a ocorrência da unidade Urucua, o tema verde com a unidade C_5 e parcialmente o tema magenta com a unidade C_4 . O tema Uso da Terra, anteriormente representado na Figura 6 por níveis brancos, foi agora subdividido em duas classes azul escura e branca.

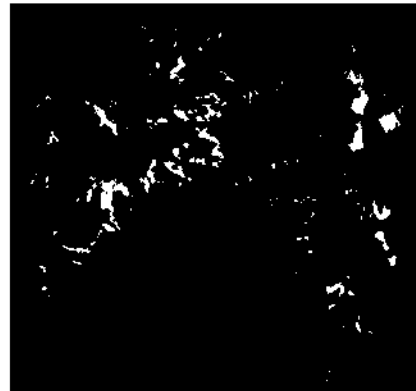
Posteriormente foram analisados os produtos de divisão de canais e componentes principais. Estas duas técnicas aumentam a facilidade de discriminação entre alvos de características espectrais distintas nas cenas. A análise destes dois conjuntos de dados, mostrados nas Figuras 8, 9, 10 e 11, possibilitou comprovar as informações sobre a extensão das unidades C_2 , C_4 , C_5 , C_6 e C_7 na área e acrescentou dados no que se refere à precisão de contatos entre estas sequências. Padrões tonais que caracterizam as unidades C_1 , C_3 e C_7 mesmo com estes novos produtos, não puderam ser extraídos. Convém salientar, na Figura 8, que: as unidades C_2 , C_6 e Urucua são bastante realçadas no Ratio 5/6, o contato espectral C_4/C_5 (Fazenda Caracol) é visto no Ratio 4/7; a faixa de ocorrência da unidade C_4 , a leste da Serra do Ramalho é mostrada uma tonalidade escura, que denota, a localização de atividade humana, a qual parece preferencialmente dispor-se sobre esta unidade, nesta região (Ratio 4/7). O mais importante aspecto da análise destes produtos foi observado na banda 4/5, onde desaparecem os contatos da unidade C_2 e permanece em um tom branco esmaecido a unidade C_6 , o que sugere diferenças espectrais entre estas duas sequências. Tal fato pode explicar as diferenças entre as cores azul (C_2) e azul esverdeada (C_6) na Figura 6.

Os resultados dos Componentes Principais são mostrados na Figura 10 e 11 e Tabelas 2 e 3.

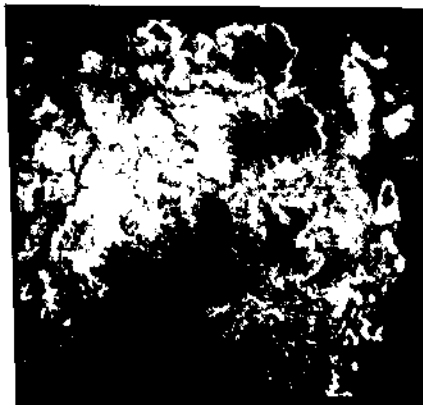
A análise dos produtos dos Componentes Principais mostra uma grande redundância com os dados anteriores, merecendo destaque o contato espectral C_4/C_5 observado no primeiro Componente Principal e as regiões de ocorrência das unidades C_2 , C_6 e Urucua na 2ª Componente Principal (Figura 10).



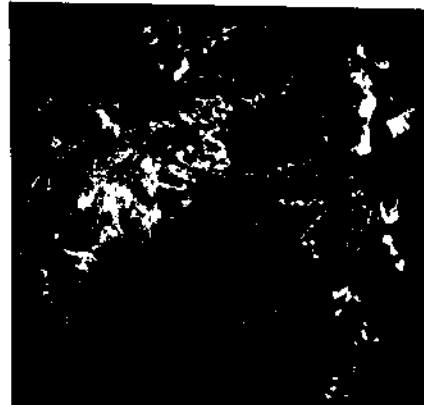
4/5



4/6



4/7



5/6



5/7



6/7

Fig. 8 - As seis possíveis divisões de canais (Band-Ratio) dos quatro canais multiespectrais originais, realçados por contraste linear.

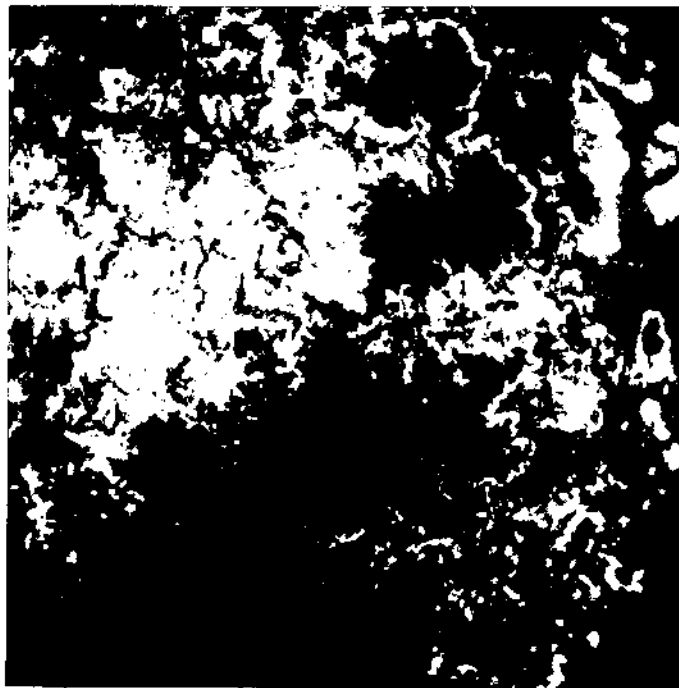
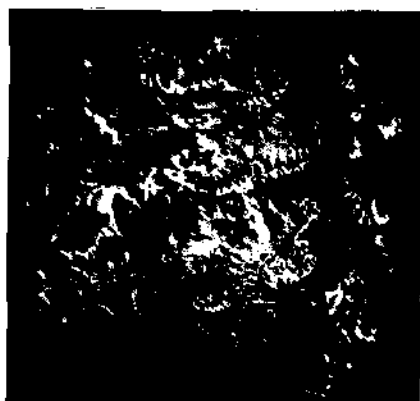
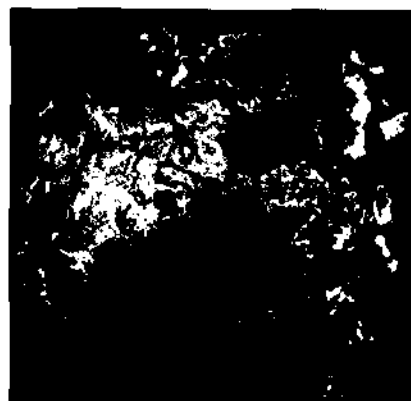


Fig. 9 - Composição colorida de produtos de divisões de canais: 4/5 com azul + 5/6 com verde + 6/7 com vermelho.



1ª CP



2ª CP



3ª CP



4ª CP

Fig. 10 - Componentes principais dos canais originais LANDSAT.

A 1ª, 2ª, 3ª e 4ª componentes principais apresentam, respectivamente, 55,6%, 29,9%, 12,7% e 1,9% da informação original.

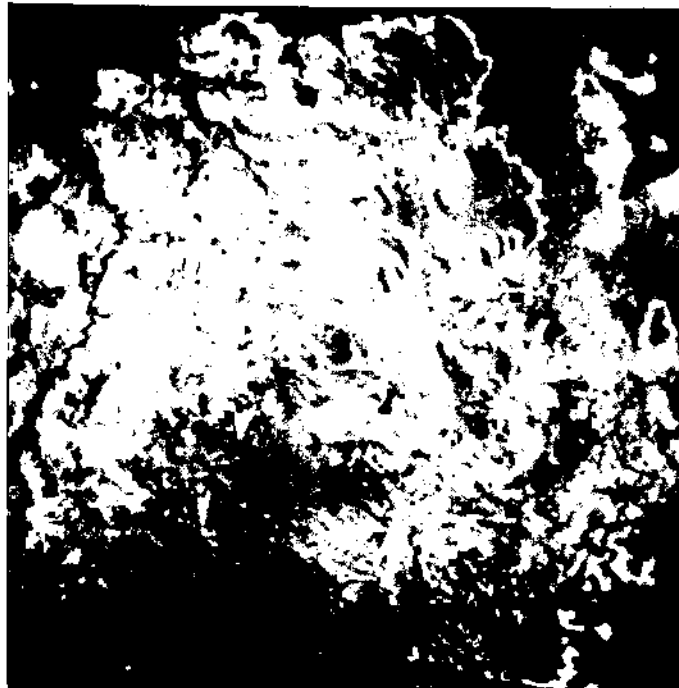


Fig. 11 - Composição colorida das Componentes Principais realçadas: 1ª CP com azul + 2ª CP com vermelho + 3ª CP com verde.

TABELA 2

MATRIZ DOS AUTO-VETORES APÓS TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES
PRINCIPAIS DOS CANAIS ORIGINAIS DA FIGURA 5

MSS Componente	4	5	6	7
1a.	-0,347	-0,536	-0,639	-0,429
2a.	0,373	0,667	-0,456	-0,456
3a.	0,860	-0,510	-0,032	-0,012
4a.	0,040	0,087	-0,619	0,779

A 1ª componente tem uma contribuição negativa de todas as 4 bandas originais. A 2ª componente tem contribuições positivas dos canais 4 e 5 e negativas dos canais 6 e 7, o que denota o contraste espectral dos canais originais no visível e infravermelho.

TABELA 3

MATRIZ DOS AUTO-VALORES APÓS TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES
PRINCIPAIS DOS CANAIS ORIGINAIS

Componente	1	2	3	4
1	217,863			
2	0,0	117,069		
3	0,0	0,0	49,828	
4	0,0	0,0	0,0	7,354

A 1ª, 2ª, 3ª e 4ª componentes principais apresentam, respectivamente, 55,6%, 29,9%, 12,7% e 1,9% da informação original.

A fase de campo desenvolvida em outubro de 1981 elucidou vários pontos pendentes.

A unidade C_1 quase não aflora na área do trabalho, e a resposta tonal de sua região de ocorrência corresponde em grande parte à influência de vegetação com folhagem exuberante, o que mascara a sua caracterização espectral (Siegal e Goetz, 1977). Em pontos onde a vegetação se torna mais esparsa, há a influência dos solos arenosos de sedimentos terciários e quaternários. A influência desta cobertura de vegetação pode também ser sentida nas áreas de ocorrência das unidades C_3 e C_4 , a leste da serra, o que explica as tonalidades avermelhadas na Figura 6, nos sítios destas duas sequências. A unidade C_2 , como mostrada nas imagens, representa um verdadeiro mapa de afloramentos, sem qualquer influência de cobertura vegetal ou solo. O mesmo pode ser concluído para a unidade C_6 . As tonalidades brancas (Figura 6) a leste da serra são correspondentes às áreas de desmatamento e uso agrícola, principalmente sobre a Unidade C_4 .

No extremo NW da área-teste, os trabalhos de campo, na zona de contato C_4/C_5 (próximos às Fazendas Caracol e Esplanada), mostram que os solos são residuais e com colorações de nuances claras (amarelo ao marrom) na unidade C_4 e tende a escurecer (avermelhado-castanho ao ocre) na passagem para a unidade C_5 . A vegetação seca, caso influa na resposta espectral entre os solos destas unidades, não chega a mascarar os contrastes tonais que refletem diferenças litológicas. Este fato concorda com as observações de Siegal e Goetz (1977), de que a contribuição de vegetação seca não altera grandemente o espectro original dos alvos subjacentes, o que permite a discriminação litológica ou a de seus produtos de alteração.

Em direção às cabeceiras do riacho do Bomba, na faixa lateral esquerda da área-teste, os contatos C_4 , C_5 e C_6 são indistinguíveis pela presença de tonalidades avermelhadas na

composição colorida normal (Figura 6). Em campo, esta região mostra a presença de colúvios da Formação Urucuia, o que explica o padrão tonal anômalo. A faixa de ocorrência da unidade C₇, do mesmo modo que a faixa leste da unidade C₄, são sítios de intensa atividade humana, refletidos nas imagens pelos padrões de uso da terra.

A região da ocorrência de Formação Urucuia é caracterizada espectralmente pela resposta de uma vegetação de Cerrado, que lhe é típica na área. Deste modo, a individualização desta unidade nas cenas se faz a partir das respostas de sua cobertura vegetal providas de folhagem mais do que da contribuição espectral de suas rochas ou produtos de alteração.

Infelizmente uma fase importante do trabalho de campo não foi realizada, ou seja, a da caracterização espectral dos alvos nos vários pontos visitados. Devido a problemas de mal funcionamento no espectrômetro de campo "Earth Ground Truth", não foi possível levantar as curvas de respostas espectrais, correspondentes às bandas do MSS-LANDSAT, dos solos, rochas e vegetação da área teste, que poderiam fornecer dados adicionais, sobre os diferentes comportamentos dos alvos das imagens. Tentando-se contornar em parte, este problema, as amostras coletadas serão analisadas com o mesmo equipamento, agora em laboratório.

Com o desenvolvimento da fase de campo, foi possível definir áreas de amostragens para os diversos alvos superficiais da região, visando um teste de classificação supervisionada. Pontos de amostragens foram escolhidos, procurando-se representar sete classes: C₁/C₃; C₂; C₄; C₅/C₇; C₆; Unidade Urucuia e Uso da Terra, (Figura 12). Na Tabela 4 são mostrados os dados de amostragem da classificação realizada para o limiar 5.0.

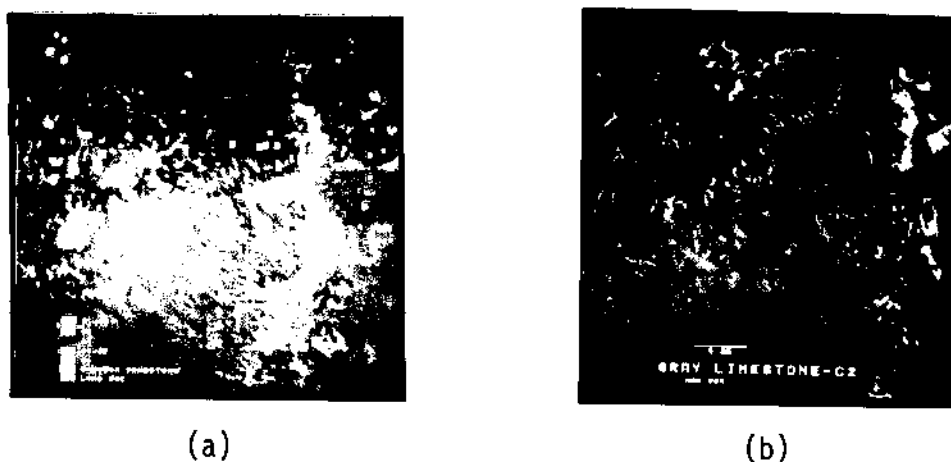


Fig. 12 - Classificação supervisionada (classificador MAXVER). a) pontos de amostragem ("training-area") para a classificação. b) tema C_2 da classificação obtida, correspondente à unidade hospedeira das principais mineralizações de fluorita.

TABELA 4

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DA FIGURA 12 DEMONSTRATIVA DA SEPARABILIDADE DAS CLASSES A PARTIR DOS PONTOS DE AMOSTRAGENS

	N	1	2	3	4	5	6	7
1 C_2	0,0	95,6	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0
2 C_2/C_3	0,0	0,0	96,1	0,6	0,6	0,0	2,8	0,0
3 C_4	0,0	0,0	3,5	86,1	10,4	0,0	0,0	0,0
4 C_5/C_7	0,0	0,0	1,1	5,6	86,1	7,2	0,0	0,0
5 C_6	1,2	50,0	0,0	1,2	3,7	42,7	0,0	1,2
6 Urucúia	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	98,9	0,0
7 Uso da Terra	0,4	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	98,8

A primeira coluna mostra a porcentagem dos pontos das classes não-considerados. As outras colunas correspondem às porcentagens estimadas dos pontos de uma classe i que serão classificadas como pertencentes à classe j . Para $i = j$ têm-se pontos corretamente classificadas. Notar que C_6 apresenta 50% de seus pontos e confunde-se com C_2 , o que mostra a semelhança entre estas classes.

Os melhores resultados foram conseguidos para as classes Uso da Terra, Urucuia, C_5/C_7 e C_4 . O resultado da classificação temática para a unidade C_2 (Figura 12) incluiu pontos da unidade C_6 , o que indica a similaridade de resposta destas unidades. Como o contraste entre ambas é mais bem representado nos produtos do tipo "Ratio" (Figura 8), um teste classificatório, não com os canais originais, mas com 4 canais "Ratio", talvez consiga fornecer melhor separabilidade para estas duas classes.

A Classificação supervisionada da unidade C_6 não apresentou bons resultados, provavelmente por constituir afloramentos em escarpas, com respostas mascaradas por sombreamentos.

Dos dados analisados, pode-se concluir que a abordagem proposta fornece informações valiosas, especialmente importantes, numa fase inicial de reconhecimento geológico, conseguindo-se delinear de modo preciso um padrão geral de disposição de unidades.

Com consequência, pode-se concluir que estes produtos fornecem informações superiores a mapas em nível de reconhecimento geológico. Acredita-se que para regiões onde as influências de vegetação, sombreamento e, atividade humana sejam ainda menores, os resultados possam ser compatíveis com levantamentos na escala 1:100.000 de mapeamento litológico.

• •
•

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. Enhancement of Digital Images Through Band Ratio Techniques for Geological Applications. *Geodata IAMG Meeting for South America*, Rio de Janeiro, 1981.
- CHAVEZ JUNIOR, P.S. Atmospheric, solar and M.T.F. Corrections for ERTS digital imagery. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY SYMPOSIUM; Phoenix 1975. p. 69-69a.
- COMPANHIA BAIANA DE PESQUISAS MINERAIS. *Projeto Fluorita da Serra do Ramalho*. Salvador, 1976. v. 1.
- GENERAL ELETRIC. *Image-100 interactive multispectral image analysis system: user manual*. Florida, 1975.
- HARTIGAN, J.A. *Clustering algorithms*. New York, John Wiley, 1975.
- PARADELLA, W.R.; VITORELLO, I. Application of Computerized Techniques Using LANDSAT Images for Geological Studies. *GEODATA IAMG Meeting for South America*, Rio de Janeiro, 1981.
- PARADELLA, W.R. *Discriminação de Unidades Litológicas no Baixo Vale do Rio Curaçá (Bahia), através de realces por processamento Digital de Dados MSS-LANDSAT3*. Tese de Doutorado, IGUSP, 250 p., 1983.
- SIEGAL, B.S.; GOETZ, A.F.H. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination. *Photogrammetry Engeneering and Remote Sensing*, 43(2):191-196, 1977.
- TARANIK, J.V. Principles of Computer Processing of LANDSAT data for Geologic Applications. Washington, DC, Geological Survey, 1978. 50 p. (Open-File Report 78-117).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1315-NTI/110).