



#### ABSTRACT

*This report presents the techniques applied to MSS-LANDSAT data in the land-use mapping of Criciúma region (Santa Catarina state, Brazil) and the results of a classification accuracy estimate tested on the resulting map. The MSS-LANDSAT data digital processing involves noise suppression, feature selection and a hybrid classifier. The accuracy test is made through comparisons with aerial photographs of sampled points. The utilization of digital processing to map the classes agricultural lands, forest lands and urban areas is recommended, while the coal refuse areas should be mapped visually.*

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE DADOS MSS-LANDSAT</u> .....	1
2.1 - Prê-processamento .....	1
2.2 - Geração de novos atributos .....	2
2.3 - Seleção de atributos .....	3
2.4 - Classificação dos dados MSS-LANDSAT .....	4
2.5 - Classificação não-supervisionada .....	4
2.6 - Classificação supervisionada .....	6
3. <u>ESTIMATIVA DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO</u> .....	11
3.1 - Elaboração do MVT .....	11
3.2 - Amostragem para estimativa da exatidão .....	15
4. <u>CONCLUSÃO</u> .....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1. Classificação automática do uso do solo (Módulo Criciúma - passagem 24/04/78) .....	8
2. Composição colorida da área de estudo .....	9
3. Uso do solo: Módulo Criciúma - 1978 .....	10
4. Projeto Carvão: Mapa de Verdade Terrestre - Módulo Criciúma ..	13

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados da avaliação do desempenho das técnicas de análise digital de dados MSS-LANDSAT aplicadas ao mapeamento do uso do solo na região carbonífera de Santa Catarina.

A área de estudo para esta avaliação corresponde ao módulo de Criciúma, previamente definido em Valeriano e Pereira (1983).

Todos os procedimentos de tratamento digital de imagens foram realizados no analisador de imagens IMAGE-100 do INPE. Os algoritmos utilizados estão descritos em Ribeiro et alii (s.d.).

Apresenta-se a metodologia de processamento digital de imagens MSS-LANDSAT aplicada à área de estudo, bem como o mapa resultante deste procedimento. Descrevem-se as técnicas de interpretação visual de fotografias aéreas utilizadas na elaboração do mapa de verdade terrestre, o qual também é apresentado neste relatório.

Os critérios e a metodologia para a estimativa da exatidão de classificação do mapa de uso da terra derivado de dados MSS-LANDSAT encontram-se neste relatório.

## 2. CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE DADOS MSS-LANDSAT

### 2.1 - PRÉ-PROCESSAMENTO

Ao realizar um tratamento digital de imagens com fins de classificação automática, deve-se, preliminarmente, eliminar as informações espúrias da cena como ruídos da aparelhagem e interferência da atmosfera.

Para eliminar ruídos causados por falhas de aquisição ou gravação dos dados, aplicou-se no canal MSS 6 (contendo uma faixa em

branco) o algoritmo DRUIDO que, ao localizar tal faixa de ruído, a substitui pela média das faixas adjacentes.

O efeito de "stripping" decorrente da sensibilidade diferencial dos seis sensores de cada banda espectral de aquisição de dados do MSS-LANDSAT foi atenuado pelo algoritmo CORREÇÃO RADIOMÉTRICA, desenvolvido para este fim.

A eliminação da radiância retroespalhada pela atmosfera foi realizada pela subtração, em toda cena, dos valores médios de cada canal do MSS-LANDSAT, obtidos de "pixels" localizados em áreas de sombra de relevo.

## 2.2 - GERAÇÃO DE NOVOS ATRIBUTOS

Dentro da terminologia estatística utilizada em classificação, *atributo* é uma característica mensurável do conjunto que se pretende classificar. As radiâncias espectrais do "pixel" imageado, traduzidas em valores de LANDSAT (LANDSAT "number") em cada canal, são os atributos originais oferecidos pelo sistema MSS-LANDSAT. Entretanto, outros atributos podem ser gerados a partir dos originais para a classificação da área.

As razões entre canais fornecem rapidamente (dada a facilidade de operação) informação sobre a diferença das radiâncias espectrais do alvo naqueles dois canais. Além disto, atenuam o efeito de ganho causado pela orientação do terreno em relação ao Sol (efeito de iluminação e sombra).

Dos quatro canais MSS-LANDSAT foram obtidas imagens do resultado da divisão de cada possível par de combinação. Estas imagens foram denominadas de acordo com as seguintes razões:

RAT 5/4.

RAT 6/5.

RAT 6/4.

RAT 7/5.

RAT 7/4.

RAT 7/6.

### 2.3 - SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

Nos procedimentos de classificação automática, o analisador de imagens IMAGE-100 comporta apenas 4 canais. Portanto, dos 10 atributos disponíveis (6 razões entre canais e os 4 originais) foram selecionados os 4 que melhor diferenciam os aspectos do terreno a ser classificados.

O algoritmo SELEÇÃO DE ATRIBUTOS calcula a distância J.M.\* entre classes caracterizadas por treinamento em cada combinação de quatro atributos. Em seguida, seleciona a melhor destas combinações através dos critérios de maior distância mínima e maior distância média encontrada.

A probabilidade de erro de classificação, baseada nas distribuições fornecidas pelas amostras de treinamento, pode ser inferida dos limites máximo e mínimo oriundos da distância J.M.

As classes de uso da terra de maior interesse para este trabalho (*rejeito piritoso* e *rejeito estéril*) apresentam um alto grau de confusão entre si e com a classe área urbana, quando classificadas automaticamente (Kux e Valeriano, 1981).

Por esse motivo o algoritmo SELEÇÃO DE ATRIBUTOS foi utilizado na escolha dos quatro atributos que melhor discriminam estas 3 classes de uso da terra. Para isto, amostras de treinamento destas 3 classes foram extraídas no vídeo do IMAGE-100 e fornecidas ao algoritmo SELEÇÃO DE ATRIBUTOS.

---

\*Distância JM - distância estatística que, variando de zero a 2, reflete o grau de dissimilaridade entre duas distribuições, sendo zero o valor encontrado entre distribuições totalmente semelhantes, e o valor 2 para distribuições sem "overlapp" (Swain and Davis, 1978, p. 170-174).

## 2.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS MSS-LANDSAT

Classificar uma imagem através de análise digital consiste em atribuir os "pixels" da cena a determinadas classes dentro de um critério estatístico ou determinístico. A abordagem utilizada neste trabalho foi a classificação determinística não-supervisionada (realizada pelo próprio analisador de imagens), cujo resultado orienta a localização de amostras de treinamento para uma classificação estatística supervisionada (classificador híbrido, segundo Swain and Davis (1978)).

## 2.5 - CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA

Para efetuar esta classificação foi utilizado o algoritmo K-MEDIAS. Este algoritmo discrimina nuvens de adensamento de populações dentro do espaço de atributos utilizado. Os centros destas nuvens são localizados através de um procedimento de médias errantes, e as demais celas do espaço de atributos são atribuídas às classes dentro de um critério de menor distância euclidiana ao centro da nuvem.

O resultado deste procedimento é a estratificação da cena em classes que agrupam "pixels" de padrões espectrais semelhantes. Este resultado é útil na seleção de amostras de treinamento numa classificação estatística, uma vez que ele diminui a possibilidade de fornecer ao treinamento classes com comportamento espectral bimodal (como o algoritmo utilizado na classificação supervisionada supõe que a distribuição do comportamento espectral da classe é gaussiana, tal erro compromete todo o procedimento).

Oito classes foram obtidas da análise não-supervisionada. Este resultado foi comparado à verdade terrestre, e amostras de treinamento foram selecionadas em áreas com cobertura do solo homogênea e classificação não-supervisionada uniforme.



Os atributos selecionados em ambos os critérios (maior distância J.M. média e maior distância J.M. mínima) foram:

MSS-5.

MSS-6.

RAT 7/4.

RAT 6/5.

As distâncias J.M. entre as classes e os respectivos limites inferior e superior da probabilidade de erro de classificação encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1

CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS J-M

<u>CANAIIS</u> CLASSES	MSS 5, MSS 6, RAT 7/4, RAT 6/5
1 e 2	DIST. J-M = 1,1508 LIM. INF. = 4,73050E-02 LIM. SUP. = 0,21229
1 e 3	DIST. J-M = 1,9572 LIM. INF. = 1,14381E-04 LIM. SUP. = 1,0694E-02
2 e 3	DIST. J-M = 1,3342 LIM. INF. = 2,85217E-02 LIM. SUP. = 0,16646
1, 2 e 3	DIST. J-M MÉDIA = 1,4807 LIM. SUP. TOTAL = 0,38944
	DIST. J-M MÍNIMA = 1,1508 (entre classes 1 e 2) LIM. INF. = 4,73050E-02 LIM. SUP. = 0,21229

CLASSES: 1. Rejeito piritoso  
2. Rejeito estéril  
3. Área urbana

## 2.6 - CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Após a seleção das áreas para a amostragem de treinamento, foram caracterizados os vetores médios e as matrizes de covariância nos quatro canais de doze classes de uso da terra, abaixo discriminadas:

- Duas classes de depósitos de rejeito piritoso, uma correspondendo a depósitos recentes pouco oxidados e a outra, a depósitos antigos relativamente mais claros.
- Duas classes de depósitos de rejeito estéril, as quais diferenciam rejeitos produzidos por máquinas diferentes e, consequentemente, tamanhos de cones de deposição diferentes. As áreas com grandes cones (associados à orientação da lavra em relação ao azimute do sol) apresentam-se mais escuras na imagem devido ao sombreamento gerado pelos próprios cones.
- Três classes de áreas agrícolas: uma referente a pastagens e áreas cultivadas com cobertura vegetal na época da passagem do satélite, e duas classes correspondentes a áreas preparadas para plantio, com solos apresentando diferenças espectrais detectadas na classificação não-supervisionada.
- Duas classes de áreas florestais: uma abrangendo matas naturais, eucaliptais desenvolvidos e capoeiras, e outras caracterizando apenas eucaliptais novos ou rebrotas também em desenvolvimento.
- Três classes de áreas urbanas: uma correspondente à cidade propriamente dita, com tonalidade cinza-médio e texturizada, outra à zona periférica da mancha urbana, correspondente à áreas de baixa densidade habitacional, e a terceira caracterizando as indústrias.

Os parâmetros estatísticos de cada classe foram fornecidos a um classificador bayesiano de imagens digitais (algoritmo MAXVER)

que atribui cada "pixel" da cena a uma das classes dentro de um critério de máxima verossimilhança. Na representação temática deste resultado, as classes afins são apresentadas em um único tema, gerando assim um mapa temático que apresenta as seguintes classes:

- rejeito piritoso,
- rejeito estéril,
- área agrícola,
- área florestal,
- área urbana.

Apresenta-se o resultado deste procedimento na Figura 1, uma composição colorida (MSS 5 em cyan e MSS 7 em vermelho) da mesma área na Figura 2 para comparação e o produto final na Figura 3.

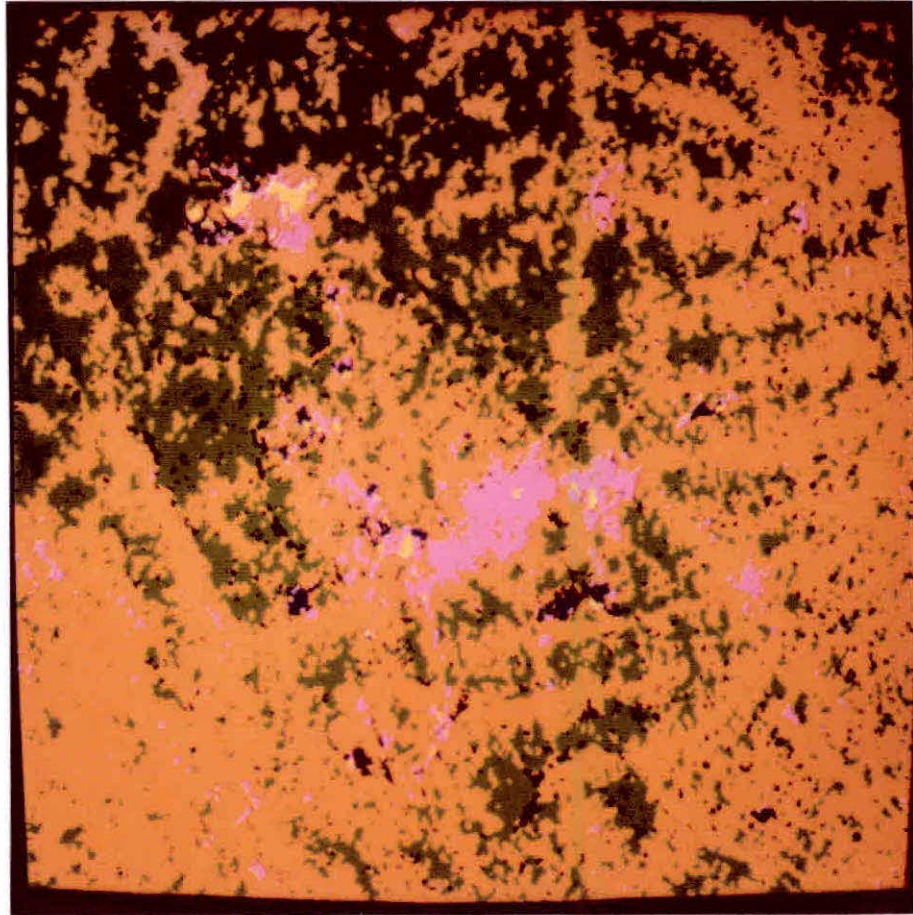


Fig. 1 - Classificação automática do uso do solo  
(Módulo Criciúma - passagem 24/04/78).

Legenda: Azul escuro - Rejeito piritoso  
Amarelo claro - Rejeito estéril  
Amarelo escuro - Área agrícola  
Verde - Área florestal  
Lilás - Área urbana.

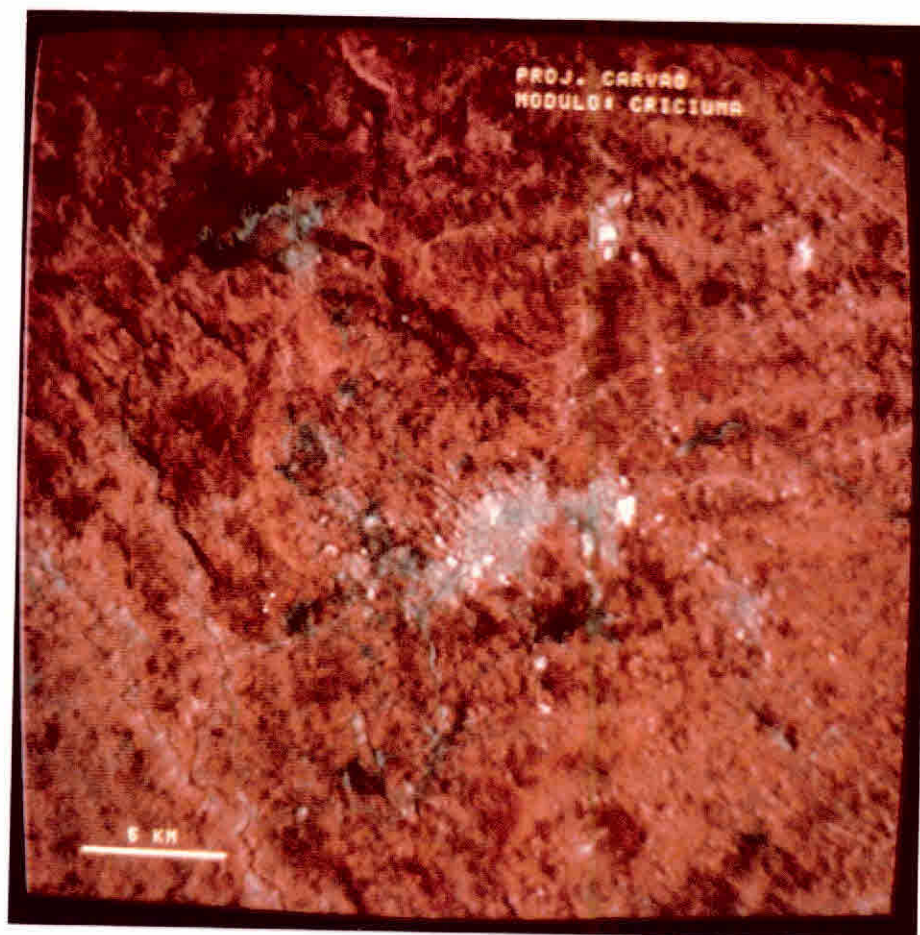


Fig. 2 - Composição colorida da área de estudo.

MSS 5 - cyan

MSS 6 - vermelho

(aos dois canais foram aplicados  
"scaling" x 2)

A seguir Figura 3.

### 3. ESTIMATIVA DA EXATIDÃO DE CLASSIFICAÇÃO

Exatidão de classificação de mapas temáticos é uma medida do quanto o mapa representa a realidade, ou seja, o percentual de pontos corretamente classificados presentes num mapa temático.

Para efetuar esta estimativa, realizou-se a interpretação de fotografias aéreas da área de estudo, na escala 1:45.000, cujo sobrevôo foi realizado em fins de agosto de 1978. A área de estudo é coberta por 21 fotografias arranjadas em três faixas com recobrimento lateral de 10 a 40% e longitudinal de 60%. Supôs-se que o mapa derivado das fotografias aéreas foi 100% correto e denominado mapa de verdade terrestre (MVT).

Uma amostragem de pontos foi selecionada ao acaso no MVT. Estes pontos foram localizados no mapa derivado de dados LANDSAT, e o resultado da comparação entre as duas classificações foi computado.

#### 3.1 - ELABORAÇÃO DO MVT

Como a finalidade única desta fase do trabalho é obter dados de verdade terrestre para comparação com o resultado da análise digital dos dados MSS-LANDSAT, as classes discriminadas neste mapa apresentam um grau de detalhamento próximo ao das classes obtidas dos dados LANDSAT.

Foram extraídos em "overlays", juntamente aos principais rios e estradas, os limites das seguintes classes:

- 1) rejeito piritoso,
- 2) rejeito estéril,
- 3) área agrícola,
- 4) área florestal,
- 5) área urbana,

- 6) área alagada,
- 7) água,
- 8) solo exposto.

Em seguida, estes "overlays" foram colocados em forma de mosaicos utilizando como base cartográfica 12 pontos de controle (4 por faixa), extraídos da carta topográfica CRICIÚMA elaborada pelo IBGE na escala 1:50.000 e corrigidos para a escala das fotografias. Dada a baixa densidade de pontos de controle, o mosaico gerado não é controlado cartograficamente.

Apresenta-se o resultado deste procedimento na Figura 4.



### 3.2 - AMOSTRAGEM PARA ESTIMATIVA DA EXATIDÃO

Uma vez que as classes 6, 7 e 8 do MVT têm baixíssima expressão em área, estas não foram consideradas neste procedimento.

Cinquenta pontos foram escolhidos ao acaso no MVT sobre cada uma das seguintes classes:

- rejeito piritoso,
- área agrícola,
- área florestal,
- área urbana,

e trinta pontos sobre a classe rejeito estéril (já que sua área também é pequena).

A localização destes pontos foi assinalada numa tela sobre a qual havia sido projetado um diapositivo referente à Figura 2, ampliado a uma escala próxima à do MVT. As fotografias aéreas foram utilizadas para auxiliar esta transposição.

Em seguida, foi projetado o diapositivo da Figura 1, posicionado no mesmo local da projeção anterior (com uso de pontos de controle visualmente identificáveis nos dois diapositivos), e a classificação de cada ponto foi observada gerando uma matriz de confusão, apresentada na Tabela 2.

TABELA 2

MATRIZ DE CONFUSÃO DA ESTIMATIVA DE EXATIDÃO DO MAPA DERIVADO DE DADOS LANDSAT

CLASSIFICAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DE DADOS MSS-LANDSAT									
	ÁREA FLORESTAL	ÁREA AGRÍCOLA	ÁREA URBANA	REJEITO PIRITOSO	REJEITO ESTÉRIL	NAO-CLASSIFICADO	% OMISSÃO	% CORRETO		
NO	47	1				2	6	94		
MVT	2	47				1	6	94		
	1	6	42	1			16	84		
	1	3	11	25	8	4	50	50		
		4	8	3	13	2	57	43		
TOTAL	51	61	61	29	21	9				
% INCLUSÃO	8	33	31	38	14					



#### 4. CONCLUSÃO

Um teste de hipóteses num nível de significância de 0,95 permite afirmar que as duas primeiras classes (área florestal e área urbana) estão discriminadas com uma exatidão superior a 85% (Ginevan, 1979). A classe área urbana, apesar de incluir áreas dos dois tipos de rejeito, apresenta uma pequena margem de omissão, principalmente na periferia das cidades, confundindo-se com a classe área agrícola. As duas classes de rejeito não foram classificadas de modo satisfatório, segundo o teste realizado.

Mesmo considerando que o risco de cometer um erro de decisão do tipo II (este rejeitou um mapa com exatidão superior a 0,85, no caso um mapa de exatidão = 0,90) para este tamanho de amostra é de 75%, não se pode recomendar processamento automático de dados MSS-LANDSAT para mapear as classes de rejeito de carvão.

Recomenda-se para a execução da parte final do projeto, o uso de técnicas de interpretação visual aplicadas a composições coloridas para a extração das áreas ocupadas por rejeitos de carvão. Estas técnicas aliadas a realçamento de imagens e informações auxiliares parecem bastante viáveis, uma vez que estas classes ocupam áreas restritas e bem diferenciáveis visualmente.

As demais classes deverão ser identificadas automaticamente, apenas com a precaução de extrair visualmente os limites das manchas urbanas.

Finalmente, adianta-se que, segundo observações em módulos costeiros (Araranguá, Laguna e Imariú (Valeriano e Pereira, 1983)), dever-se-á utilizar técnicas de análise visual de dados MSS-LANDSAT na separação entre as classes áreas florestais e áreas alagadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GINEVAN, M.E. Testing land-use map accuracy: another look  
*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 45(19):1371-1377,  
1979.
- KUX, H.J.H.; VALERIANO D.M. *Automatic interpretation of MSS-LANDSAT  
data applied to coal refuse site studies in southern Santa Catarina  
state, Brazil*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2155-RPE/374).
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual do usuá-  
rio dos sistemas de tratamento de imagens digitais*. São José dos  
Campos, INPE, s.d. 158 p.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote Sensing; the Quantitative Approach*.  
New York, N.Y. McGraw-Hill, 1978.
- VALERIANO, D.M.; PEREIRA, M.D.B. *Projeto Mapeamento da alteração do  
uso do solo da região carborífera de Santa Catarina - Relatório Pre-  
liminar*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2874-NTE/204).





