

IPEF n.16, p.74-87, 1978

**CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE REFLORESTAMENTOS DE PINUS SPP. E
EUCALYPTUS SPP. EM MOGI GUAÇU - SP, UTILIZANDO DADOS DO
SATÉLITE LANDSAT.**

Yosio Edemir Shimabukuro*
Pedro Hernandes Filho*
Natalia Felipe Koffler*
Sherry Chou Chen*

O. D. C. 587:232.4

SUMMARY

Single date LANDSAT CCT's were processed by Image-100 to classify **Pinus** and **Eucalyptus** species and their age groups. Prominent **Pinus** species are **P. elliottii** and **P. taeda**. **Eucalyptus** species are **E. alba** and **E. saligna**. The ages of these tree types range from 8 months to 20 years. The study area was divided into ten preliminary classes and feature selection algorithm was used to calculate Bhattacharyya distance (B-distance) between all possible pairs of these classes in the four available channels. The classes having B-distance values less than 1.30 were grouped together resulting in four classes: 1) class PE - **P. elliottii**; 2) class OP - **Pinus** species other than **P. elliottii**; 3) class EN - **Eucalyptus** spp. under two years, and 4) class EA - **Eucalyptus** spp. more than two years. For classification, single cell signature acquisition option was used. The percentages of correct classification ranged from 70,9% to 94,12%. The low percentage of correct classification for class OP was due to its small area (a total of 1.44 Km²) while for class EA error was caused by the similar signature responses of "cerrado", gallery forest and heterogeneous **P. elliottii** plots in the study area. Comparisons of acreage estimated from the Image-100 with ground truth data showed agreement. The Image-100 percent recognition values were: 91.62% (PE); 87.80% (OP), 89.89% (EN), and 103.30% (EA).

1. INTRODUÇÃO

O LANDSAT é uma das ferramentas disponíveis que vem ao encontro da crescente demanda das agências governamentais e indústrias privadas por inventários florestais rápidos e precisos. Com este fim, diversos pesquisadores têm testado, nestes últimos anos, a possibilidade de identificar comunidades florestais através de técnicas convencionais ou automáticas de interpretação de imagens LANDSAT.

SAYN-WITTEGENSTEIN (1972) utilizou uma composição colorida MSS 4, 5 e 6 para separar floresta de coníferas e floresta de folhosas.

LOPEZ-CUERVO (1973) analisando visualmente imagens LANDSAT ampliadas identificou **Pinus** e **Eucalyptus** a nível generalizado, de acordo com diferenças tonais.

GIMBARZEVSKY (1974) também confirmou a separabilidade de florestas coníferas e decíduas, utilizando imagens LANDSAT.

* Pesquisadores do Instituto de Pesquisa Espaciais - São José dos Campos

LEE; OSWALD & HARRIS (1974) observaram que imagens LANDSAT podem ser facilmente utilizadas para distinguir áreas florestadas de outras não florestadas. Encontraram dificuldades em separar espécies de coníferas, tendo sido reconhecidas diferenças de idade. Entretanto, KALENSKY & SCHERK (1975) relatam a classificação de floresta de coníferas, floresta decídua e área florestada, executada através do 1-100, na qual obtiveram acuidade de classificação variando entre 67% e 81% para dados LANDSAT de apenas uma passagem, enquanto para dados multi-temporais obtiveram valores consistentemente superiores a 80%.

O objetivo deste estudo foi classificar povoamentos florestais de **Pinus** e **Eucalyptus** e estágios de desenvolvimento, utilizando o sistema Image-100 de classificação automática.

2 - ÁREA DE ESTUDO E FONTE DE DADOS

O Estado de São Paulo contribui com mais de 50% do papel e celulose produzidos no Brasil, apresentando uma área reflorestada de 6.144 Km², aproximadamente, com predominância de **Pinus** (22,15%) e **Eucalyptus** (76,48%). A área de estudo, Mogi-Guaçu, está localizada a 22°15' de latitude Sul e 47°10' de longitude Oeste (Figura 1), sendo representativa dos povoamentos florestais de **Pinus** e **Eucalyptus** comuns na região. Esta área é composta pela Estação Experimental de Campininha, do Instituto Florestal do Estado de São Paulo (IFSP) e a plantação de eucalipto da Companhia Champion Celulose e Papel (CCP). **P. elliottii** e **P. taeda** são as principais espécies de **Pinus** de Campininha, ocorrendo outras espécies, como **P. caribaea**, **P. bahamensis**, e **P. palustris**, em áreas pequenas. As principais espécies de **Eucalyptus** em Santa Terezinha são **E. alba** e **E. saligna**. A idade das árvores varia de 8 meses a 20 anos.

Dados do imageador multiespectral do LANDSAT, de 13 de setembro de 1975, órbita 178 ponto 27, em fitas CCT, foram processados com a finalidade de classificar espécies de **Pinus** e **Eucalyptus** e grupos etários, através do Sistema 1-100, ilustrado na Figura 2.

Informações de "verdade terrestre" e mapas de cobertura florestal (Figura 3) foram fornecidos pelo IFSP e CCP, sendo complementados com a análise visual de fotografias aéreas na escala 1:25.000, fornecidas pelo Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo, e por verificações de campo.

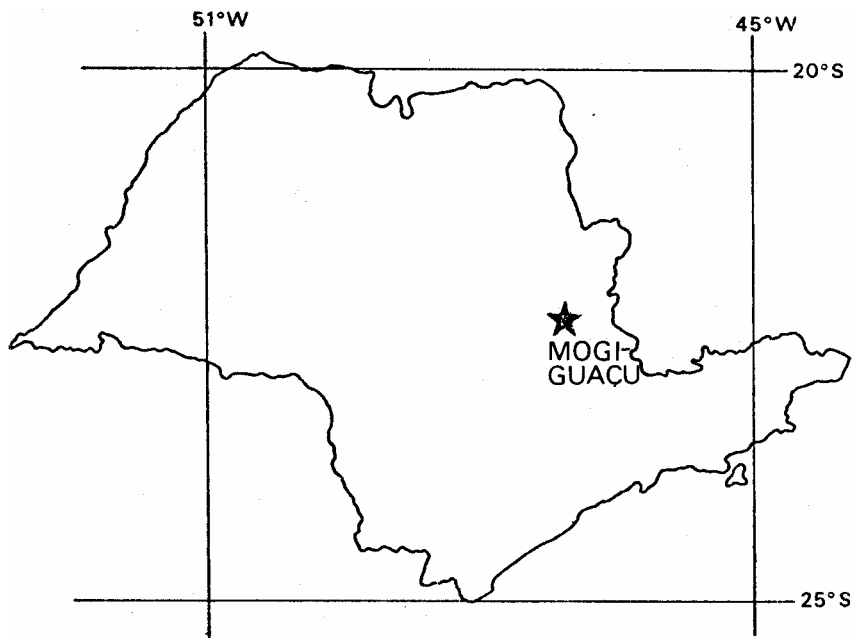


FIGURA 1 - Localização da área de estudo em Mogi Guaçu, SP.

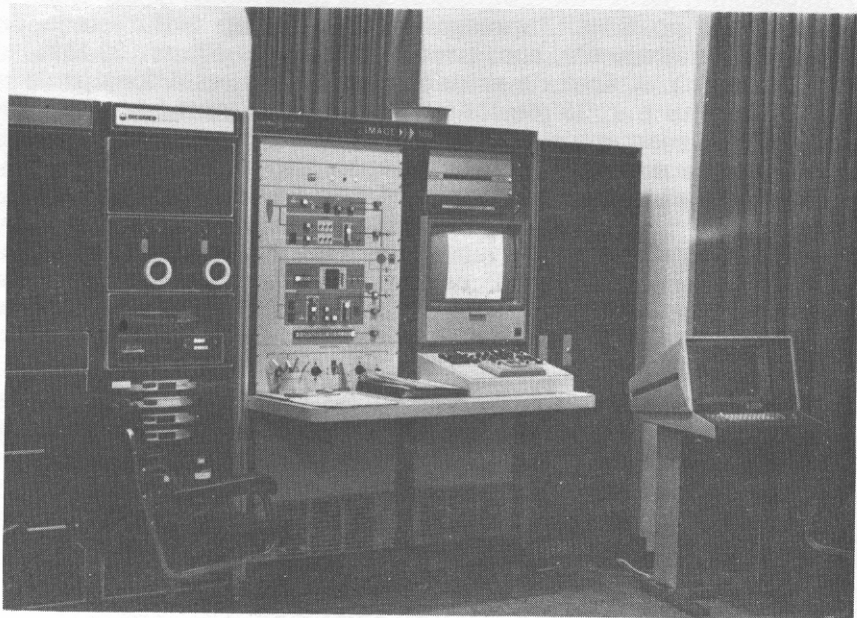


FIGURA 2 - O Sistema I-100

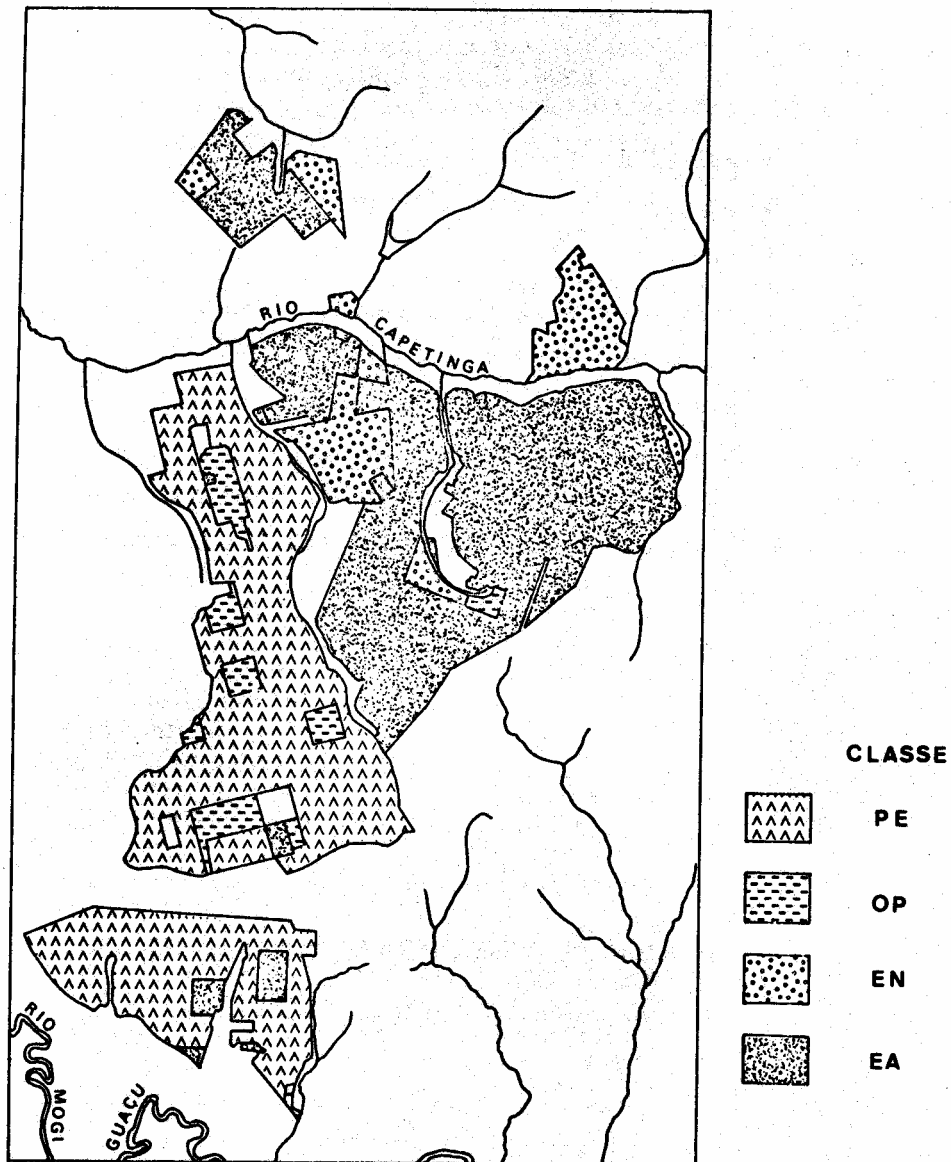


FIGURA 3 - Mapa das classes de cobertura florestal utilizadas para a classificação automática.

3 - DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE NO IMAGE-100

3.1. - SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS

Previamente à obtenção supervisionada de assinatura e à classificação, as fitas CCT foram corrigidas radiometricamente. Analisou-se a área de estudo, preliminarmente, através de imagens em preto e branco e uma composição falsa-cor mostrada pelo vídeo monitor, a uma escala aproximada de 1:82.000. Desta análise derivaram as seguintes 10 classes para o estudo com o Image-100:

PE_a : **P. elliottii** com mais de 13 anos
 PE_b : **P. elliottii** com menos de 13 anos
 PT : **P. taeda**
 PO : Outras espécies **Pinus**
 E_{8m2a}: **Eucalyptus** spp com 8 meses a 2 anos
 E_{2a-4a}: **Eucalyptus** spp com 2 a 4 anos
 E_{4a-7a}: **Eucalyptus** spp com 4 a 7 anos
 E_{7a-20a}: **Eucalyptus** spp com 7 a 20 anos
 RE_{<2a}: Rebrotas de **Eucalyptus** spp com menos de 2 anos
 RE_{2a-9a}: Rebrotas de **Eucalyptus** spp com 2 a 9 anos

A "distância Bhattacharyya" (distância-B MARILL & GREEN 1972) entre as 10 classes preliminares foi calculada através do algoritmo de seleção de características do INPE. Este algoritmo assume que cada classe apresenta uma distribuição gaussiana multivariada. Nesta operação, 40 a 50 amostras de treinamento de cada classe foram delineadas no vídeo monitor pelo cursor eletrônico ajustado para o tamanho mínimo, equivalente a 4 "pixels" (*) por amostra. Em seguida os valores de distância-B foram calculados nos quatro canais espectrais disponíveis.

TABELA 1 - VALORES DE DISTANCIA-B DAS CLASSES PRELIMINARES DE PINUS

CLASSE \ CLASSE	PE _b	PO	PT
PE _a	0,22	1,92	1,70
PE _b		1,79	1,37
PO			0,67

As tabelas 1 e 2 mostram os valores de distância-B obtidas para as classes preliminares de **Pinus** e **Eucalyptus** nos 4 canais espectrais. Com base nos valores de distância-B, estabeleceu-se a separabilidade das classes, utilizando-se o gráfico de SWAIN & KING (1973). Desse modo, a probabilidade estimada de classificação correta será superior a 0,85 para os valores de distância-B maiores do que 1,30. Assim as classes com valores de distância-B menores do que 1,30 foram agrupadas de modo a formar as seguintes 4 classes:

PE: **P. elliottii**
 OP: Outras espécies de **Pinus**
 EN: **Eucalyptus** spp. com menos de 2 anos
 EA: **Eucalyptus** spp. com mais de 2 anos

(*) PIXELS: elementos unitários de uma imagem digitalizada, que correspondem ao elemento de resolução do vídeo do Imagem-100, relacionado com o elemento de resolução da imagem no solo.

TABELA 2 - VALORES DE DISTÂNCIA-B DAS CLASSES PRELIMINARES DE EUCALYPTUS

CLASSE \ CLASSE	E _{2a-4a}	E _{4a-7a}	E _{7a-20a}	RE _{<2a}	RE _{2a-9a}
E _{8m-2a}	1,99	1,99	1,98	1,94	1,98
E _{2a-4a}		0,41	0,23	0,51	0,31
E _{4a-7a}			0,63	0,70	0,49
E _{7a-20a}				0,56	0,55
RE _{<2a}					0,23

Na tabela 3 estão relacionados os valores de distância-B das classes PE, OP, EM e EA nos quatro canais espectrais.

TABELA 3 - VALORES DE DISTANCIA-B DAS 4 CLASSES FINAIS

CLASSE \ CLASSE	OP	EM	EA
PE	1,78	2,00	1,99
OP		2,00	2,00
EN			1,90

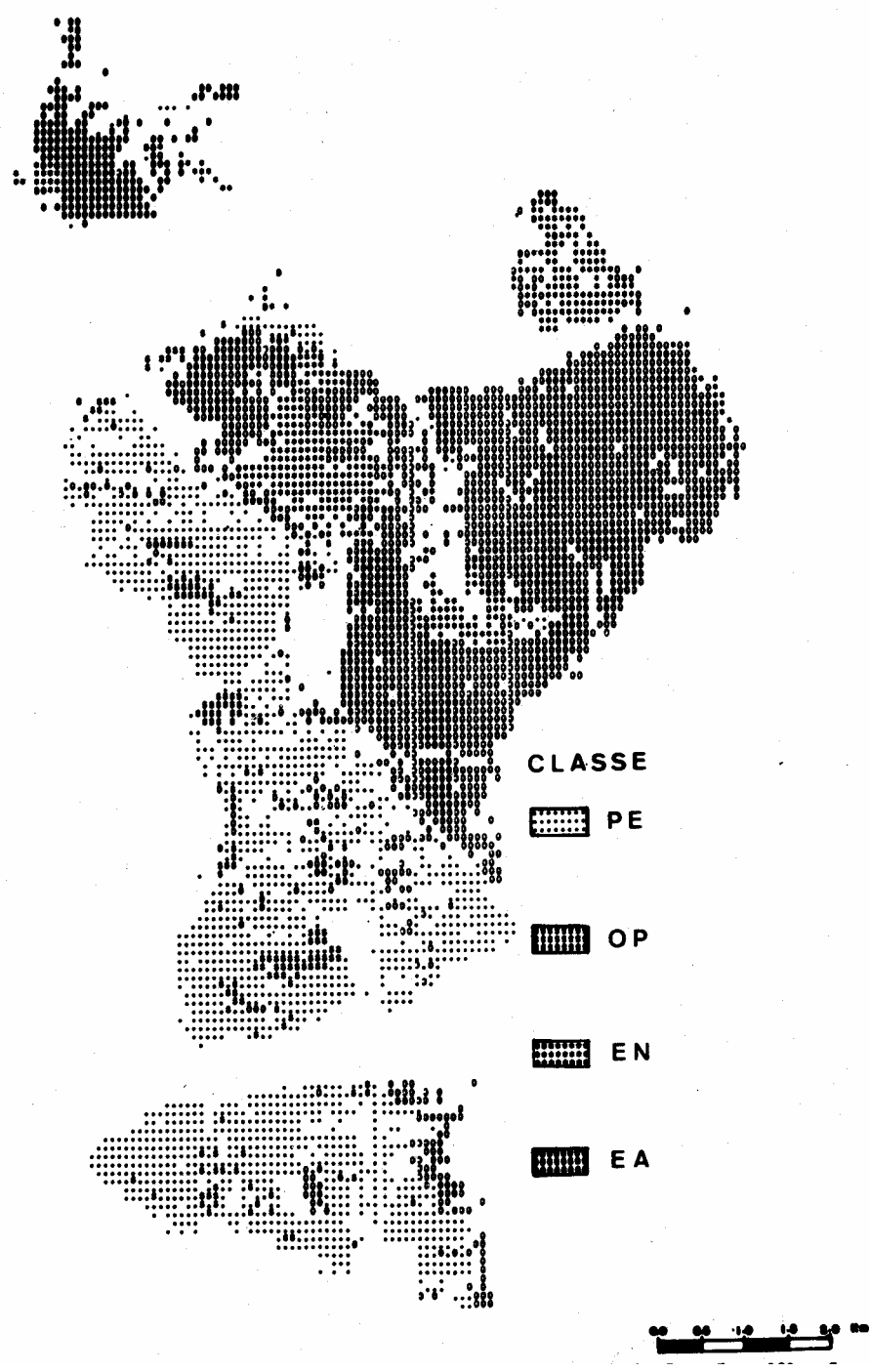


FIGURA 4 - Mapa alfa-numérico da área de estudo classificada.

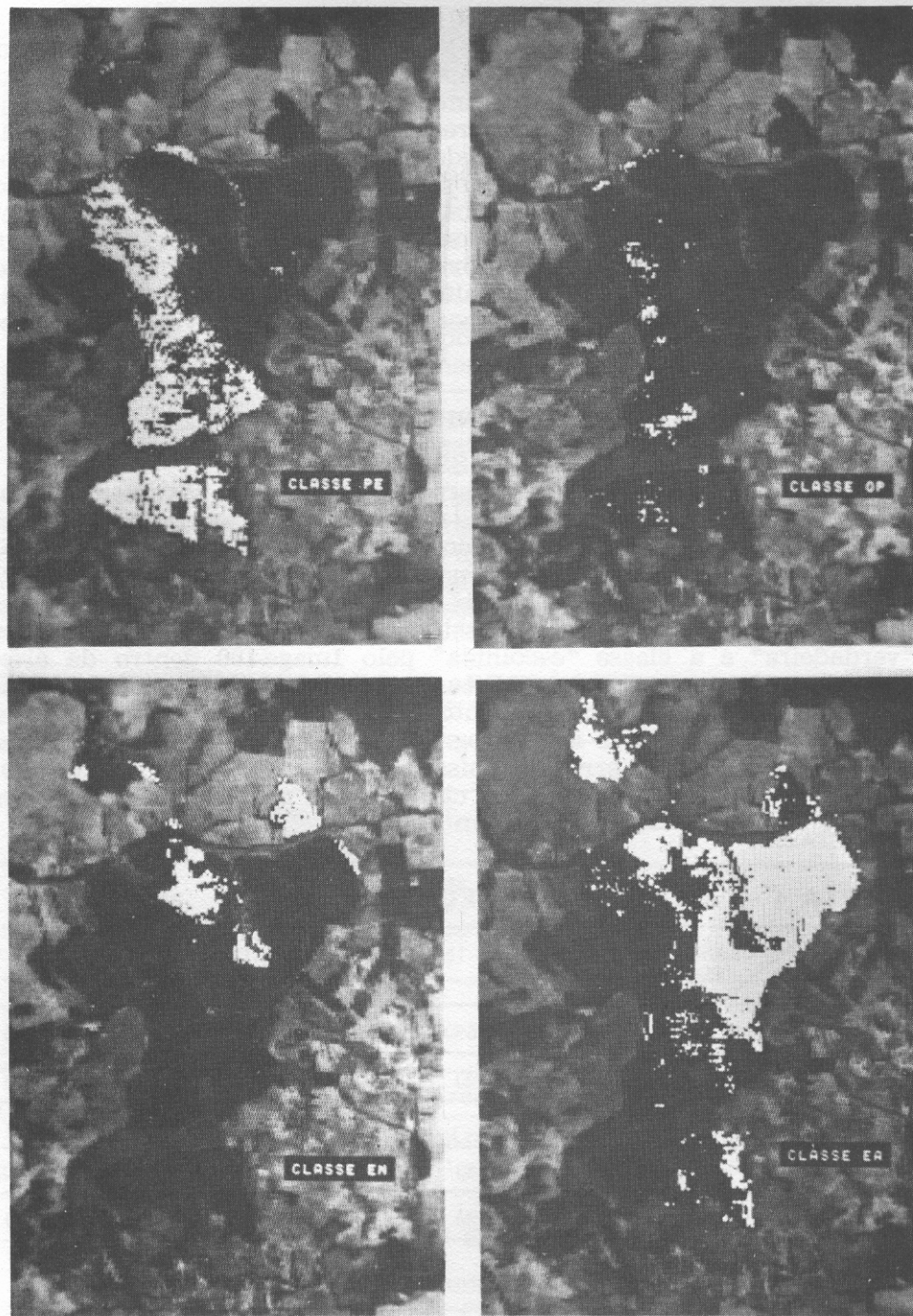


FIGURA 5 - A classificação mostrada pelo vídeo do Image-100.

3.2 - OBTENÇÃO DE ASSINATURA E CLASSIFICAÇÃO

Para O desenvolvimento da classificação foi utilizada a aquisição de assinatura de célula-única do Image-100. Esta opção de classificação cria um paralelepípedo de quatro dimensões correspondendo, cada lado, aos limites das assinaturas das áreas de treinamento em cada canal. Amostras de treinamento, independentes da área teste, foram selecionadas

em cada uma das quatro classes (PE, OP, EN e EA) utilizando-se o cursor eletrônico. Os limites dos histogramas das áreas de treinamento, nos quatro canais, foram sucessivamente modificados até ser obtida uma classificação satisfatória. A classificação final resultante está representada por um mapa alfa-numérico, ilustrado na Figura 4, e a Figura 5 mostra as quatro classes discriminadas no vídeo do Image-100.

4 - DESEMPENHO DO IMAGE-100

4.1. - ACUIDADE DA CLASSIFICAÇÃO

Depois da classificação, o cursor eletrônico foi novamente situado no vídeo monitor. O "mapa alfa-numérico" foi executado para uma área de 50 Km² compreendida pelo cursor eletrônico. Este mapa foi comparado ponto a ponto com os mapas de cobertura florestal do IFSP e CCP, sendo produzida uma matriz de confusão (tabela 4). Esta tabela mostra o número de "pixels" classificados de acordo com sua classe "verdadeira" e a classe "escolhida" pelo Image-100 dentro da área limitada pelo cursor. As porcentagens entre parêntesis foram calculadas com base no número total de pontos classificados em cada classe. As modificações nos limites dos histogramas nos quatro canais espectrais tendem a aumentar os erros de omissão e diminuir os erros de inclusão. Desse modo, as porcentagens de classificação correta que levam em conta erros de omissão, não foram altas.

TABELA 4 - MATRIZ DE CONFUSÃO

CLASSE ESCOLHIDA \ CLASSE VERDADEIRA	PE	OP	EN	EA	
PE	5730(92,26%)	30(5,19%)	0	449(6,18%)	
OP	359(5,78%)	535(92,56%)	0	40(0,55%)	
EM	0	0	1713(91,21%)	195(2,69%)	
EA	24(0,38%)	0	155(8,25%)	6272(86,39%)	
SEM CLASSE	98(1,58%)	13(2,25%)	10(0,53%)	304(4,19%)	
"PIXELS" ERRADAMENTE (%)	CLASSIFICADOS	7,74	7,44	8,70	13,61
TOTAL DE "PIXELS"	6211	178	1878	7260	

Para uma verificação mais realista da acuidade de classificação "pixel" a "pixel" do Image-100, foram utilizadas fórmulas que permitem calcular as porcentagens de classificação correta e os erros de inclusão:

$$\text{Classificação correta (\%)} = \frac{\text{N.º de pontos corretamente classificados na classe A}}{\text{N.º total de pontos da Classe A na área teste.}}$$

$$\text{Erro de inclusão (\%)} = \frac{\text{N.º de pontos classificados como classe, mas realmente pertencentes a outra classe}}{\text{N.º total de pontos da classe "não - A" na área teste}}$$

4.2. - PRECISÃO DA ESTIMATIVA DE ÁREA

As áreas das classes estimadas pelo Image-100 foram comparadas com os dados correspondentes de "verdade terrestres" proporcionados pelo IFSP e CCP. As porcentagens de áreas estimadas em relação aos dados de "verdade terrestre" são mostradas na tabela 5.

TABELA 5 - COMPARAÇÃO DAS ÁREAS ESTIMADAS PELO IMAGE-100 COM DADOS DE "VERDADE TERRESTRE"

CLASSE	ÁREA (Km ²)		V.R. (*) (%)	DIFERENÇA RELATIVA (%)
	VERDADE TERRESTRE	IMAGE-100		
PE	18,86	17,28	91,62	- 8,38
OP	1,64	1,44	87,80	- 12,20
EN	4,45	4,00	89,89	- 10,11
EA	21,79	22,51	103,30	+ 3,30
DIFERENÇA TOTAL PONDERADA POR ÁREA				6,31

$$(*) \text{ Valor de reconhecimento} = \frac{\text{Área estimada pelo Image - 100}}{\text{Área de Verdade Terrestre}} \times 100$$

5. - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Para o desenvolver deste estudo, áreas testes de dimensões suficientemente grandes, formadas por **Pinus spp.**, foram preliminarmente separadas geograficamente nas classes PEa e Peb, que apresentam, respectivamente, árvores com menos de 13 anos de idade e árvores com mais de 13 anos, embora o valor de "distância-B" 0,22 indicasse a impossibilidade de uma separação satisfatória. **P. taeda** (PT) e a classe outros pinus (PC) foram facilmente separados de **P. elliottii**, mas não separáveis entre si (tabela 1).

A grande similaridade morfológica entre as espécies de eucalipto torna difícil sua diferenciação, se bem que o Image-100 tenha classificado com sucesso eucalipto com menos de 2 anos entre os outros grupos etários preliminares (tabela 2). Esta separabilidade foi devido às características espectrais distintas do eucalipto novo homogêneo, que auxiliaram a sua identificação pelo Image-100.

Para possibilitar a classificação foram obtidas as assinaturas espectrais na forma de hiperparalelepípedo, para uma das classes finais PE, OP, EN e EA, utilizando o programa "aquisição de assinaturas de célula-única". A separabilidade destas 4 classes é facilmente observada no "mapa bi-dimensional de histogramas N-dimensionais" da Figura 6. A grande distância entre os gêneros **Pinus** e **Eucalyptus**, confirma sua melhor separabilidade, no lugar de espécies ou classes etárias.

Foram encontrados os valores de 89,14%, 79,26%, 94,12% e 70,99% de classificação correta através do Image-100, para as classes PE, OP, EN e EA, respectivamente. Estas porcentagens foram relativamente menores do que aquelas calculadas utilizando como denominador o número total de "pixels" de cada classe (tabela 6). O menor valor de classificação correta, obtido para a classe EA (70,99), foi devido à interferência de áreas cobertas por cerrado, mata de galeria e talhões heterogêneos de **P. elliottii** que apresentam respostas espectrais semelhantes às do eucalipto formado.

A maior porcentagem de classificação correta encontrada para a classe EN (94,12%) foi devido à homogeneidade apresentada pelo eucalipto com menos de 2 anos de idade.

No estudo da área estimada, os "pixels" classificados erradamente (tabela 4) determinaram as baixas acuidades de classificação de "pixels" mostradas na tabela 6, fornecendo as áreas estimadas de 17,28, 1,44, 4,00 e 22,51 Km² para as classes PE, OP, EN, e EA, respectivamente (tabela 5). As áreas estimadas pelo I-100, quando comparadas com a verdade terrestre, forneceram os "valores de reconhecimento" (V.R.) de 91,62%, 87,80%, 89,89% e 103,30%. A superestimativa de 3,30% da classe EA é devida à alta proporção de "pixels" classificados erradamente (13,64%), com assinatura espectral semelhante à dessa classe. A diferença total ponderada por área foi de 6,31%. Os resultados de estimativa de área através do Image-100 são satisfatórios, considerando-se que a classificação automática foi desenvolvida ao nível de espécies para **Pinus** e baseada em grupos etários para **Eucalyptus**.

A "verdade terrestre" proporcionada pelo IFSP e a CCP foi baseada nas áreas de plantio representando as áreas "teoricamente reflorestadas" sob "condições ótimas", sem danos ou mortalidade. Entretanto, no campo e nas fotografias aéreas de 1972, foram observadas várias falhas no plantio; assim, acredita-se que os valores de reconhecimento teriam sido melhores se os dados de "verdade terrestre" estivessem atualizados.

*** MULTI-DIMENSIONAL (N-D) HISTOGRAM SLICE PRINT-OUT -REV. C- ***
 SPECTRAL SIGNATURE FILE: CUMSIG.DAT CHANNELS: 3 4 1 2
 DATE: 17-AUG-77 TIME: 09:01:24 BOUNDS/ 17, 21/ 14, 14/ 16, 42/ 24, 56/
 TRAINING AREA= 13493. PIXELS RESOLUTION: 128 128 128 128

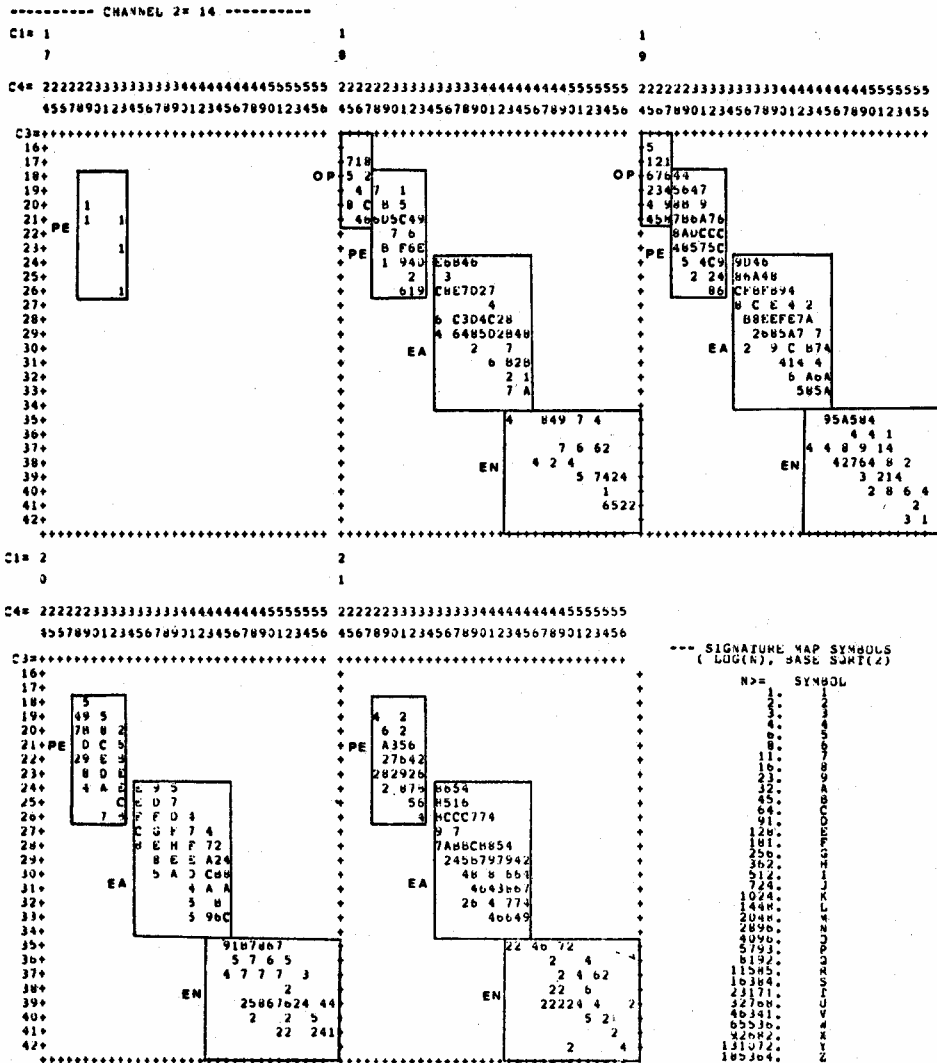


FIGURA 6 - Um exemplo de "mapa bi-dimensional de histogramas N-dimensionais".

A classificação automática das áreas reflorestadas com **Pinus** e **Eucalyptus** forneceu os seguintes resultados significativos:

Separações espectrais baseadas na "distância-B":

- a) **Pinus elliottii** foi separado das outras espécies de **Pinus**;
- b) **Eucalyptus** spp com menos de 2 anos de idade foi distinguido de **Eucalyptus** spp com mais de 2 anos;
- c) Distinção clara entre **Pinus** e **Eucalyptus**.

TABELA 6 - RESUMO DA CLASSIFICAÇÃO CORRETA E ERROS DE INCLUSÃO.

CLASSE	CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%)	ERRO DE INCLUSÃO (%)
PE	89,14	2,11
OP	79,26	0,15
EM	94,12	0,61
EA	70,99	2,08

Com base na estimativa das áreas através do Sistema Image-100, o valor V. R. variou entre 87,80% a 103,30%, para as quatro classes definidas (PE, OP, EN e EA), quando foram comparadas com as informações fornecidas pelas entidades florestais.

Estes resultados apontam para a potencialidade operacional do processamento automático de dados LANDSAT, no reconhecimento de espécies florestais e no cálculo de volume de madeira, especialmente em regiões remotas onde levantamentos de campo e aéreos são geralmente dispendiosos.

Antes de se aplicar a metodologia utilizada neste estudo, à escala operacional, deve-se dar maiores considerações à extensão das assinaturas espectrais, a outras regiões geográficas e às diferenças espaciais entre áreas com vegetação natural e reflorestamentos artificiais.

6 - RESUMO

Um conjunto de dados obtidos pelo LANDSAT, armazenados em fitas CCT, foram processados pelo sistema Image-100 com a finalidade de classificar espécies de **Pinus** e **Eucalyptus** e estágios de desenvolvimento. Os povoamentos florestais analisados eram constituídos principalmente por **Pinus elliottii**, **Pinus taeda**, **Eucalyptus alba** e **Eucalyptus saligna**. A idade das árvores variavam entre 8 meses e 20 anos. A área de estudo foi preliminarmente dividida em 10 classes e o algoritmo de seleção de características foi utilizado para o cálculo da "distância Bhattacharyya" (distância-B) entre todos os possíveis pares dessas classes nos quatro canais disponíveis. As classes que apresentaram valores de distância-B menores que 1,30 foram agrupadas, resultando 4 categorias: 1) classe PE - **Pinus elliottii**; 2) classe OP - outras espécies de **Pinus**; 3) classe EN - **Eucalyptus** spp. com menos de 2 anos de idade e 4) classe EA - **Eucalyptus** spp. com mais de 2 anos. A classificação automática foi desenvolvida através do sistema de aquisição de assinatura de célula-única. As porcentagens de classificação correta variaram entre 70,9% e 94,12%. Obteve-se uma baixa porcentagem de classificação correta para a classe OP devido à sua área relativamente pequena (um total de 1,44 km²) enquanto o erro para a classe EA deveu-se às respostas espectrais semelhantes do cerrado, mata de galeria e talhões heterogêneos de **P. elliottii** que ocorrem na área de estudo. Comparações entre as áreas estimadas pelo I-100 e os dados de verdade terrestre mostraram-se satisfatórias, com os seguintes valores de reconhecimento: 91,62% (PE); 87,80% (OP); 89,89% (EN) e 103,30% (EA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GIMBARZEVSKY, P. - ERST-1 imagery in biophysical studies. IN: **Canadian Symposium on Remote Sensing**, 2, Ottawa, 1974. Proceedings. V. 2, p. 391.

INSTITUTO FLORESTAL DE SAO PAULO - **Zoneamento Econômico do Estado de São Paulo**. São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1975 (Boletim Técnico n.o 17).

KALENSKY, Z.; SCHERK, L. R. - Accuracy of forest mapping from LANDSAT computer compatible tapes. **International Symposium on Remote Sensing 'of Environment**, 10, Ann Arbor, Environment Research Institute of Michigan, 1975. Proceedings. V. 2, p. 1159.

LEE, Y. J.; OSWALD, E. T. & HARRIS, J. W. E. - A preliminary evaluation of ERTS imagery for forest-land management in British Columbia. **Canadian Symposium on Remote Sensing**, 2, Ottawa, 1974. Proceedings. V. 1, p. 87.

LÓPEZ-CUERVO, S. - A study of agroforestry natural resources. **Panamerican Symposium on Remote Sensing**, 1, Sioux Falls, Eros Data Center, 1973. Proceedings. p 86.

MARILL, T. & GREEN, D. M. - On the effectiveness of receptor in recognition systems. **IEEE Transaction on Information Theory**. V. IT-9 1972, p. 11.

SAYN-WITTGENSTEIN, L. - A first look at Canadian ERTS experiments in forestry. **Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**. Beltsville, Goddard Space Fligh Center, 1972. Proceedings. p.48.

SWAIN, P. H. & KING, R. C. - **Two effective feature selection criteria for multispectral remote sensing**. West Lafayette, Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue Univ., 1973. (LARS information note 042673).