

AVALIAÇÃO DE ÁREAS REFLORESTADAS DO MUNICÍPIO DE BURI ATRAVÉS DE INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS DO LANDSAT

D. C. L. Lee, P. Hernandez Filho e Y. E. Shimabukuro
Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP. Brasil

RESUMO

Realizou-se um estudo no município de Buri, sul do Estado de São Paulo, utilizando-se imagens orbitais do LANDSAT para avaliação de áreas reflorestadas. Nesse estudo, procurou-se definir as classes de povoamentos florestais artificiais através da interpretação automática utilizando-se o Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral (I-100), implementado no INPE. Examinaram-se os reflorestamentos com os gêneros *Pinus*, *Eucalyptus* e *Araucária*, desenvolvendo-se uma metodologia baseada na coleta de amostras de treinamento para obter a caracterização espectral dessas classes. A interpretação automática foi feita através do classificador "Aquisição de assinaturas de célula-única (1-CELL SIGACQ)", e as áreas (em ha) ocupadas pelas classes foram obtidas através de um programa auxiliar do Sistema I-100, denominado "THEME AREAS". As áreas das classes obtidas pelo I-100 foram então comparadas com os dados adquiridos de fotografias aéreas na escala de 1:25.000. A classe *Pinus* apresentou cerca de 12.020,00 ha, com diferença relativa de -7,50%; a classe *Eucalyptus*, 2.832,00 ha, com diferença relativa de -32,07%; a classe *Araucária*, 774,00 ha, com diferença relativa de +4,24%. As diferenças relativas dessas três classes foram calculadas em relação aos dados de aeronave. A classe *Eucalyptus*, por se apresentar com os seus plantios não-uniformes, providos de falhas, revelou um baixo desempenho na classificação. Os resultados obtidos mostram a potencialidade das imagens LANDSAT na identificação de áreas reflorestadas a nível de gênero.

ABSTRACT

LANDSAT data were used for area estimation of reforestation in the municipality of Buri, located in the south of São Paulo state. Different reforestation classes were defined using INPE's Interactive image analyzer-IMAGE-100 system. The spectral characteristics of *Pinus*, *Eucalyptus* and *Araucária* were studied using training samples. For automatic interpretation the "single-cell signature acquisition (1-CELL SIGACQ) was employed, and the area of each classified class was obtained using the auxiliary program "THEME AREA" of IMAGE-100 system. These area estimates were then compared with the data obtained from aerial photographs (1:25,000). The area estimates of IMAGE-100 system were 12,020.00 ha, 2,832.00 ha and 774.00 ha, with relative differences of -7.50%, -32.07% and +4.24% for *Pinus*, *Eucalyptus*, and *Araucária* classes, respectively. The highest difference of class *Eucalyptus* was due to the heterogeneous eucalypt plantations in the study area. This study shows the utilization of LANDSAT data for the identification of reforestation at the genus level.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a atividade de reflorestamento tomou um grande impulso, com a promulgação da lei dos incentivos fiscais. Assim sendo, foi observado um incremento considerável de áreas reflorestadas, principalmente nas regiões sul e sudeste do país, onde estão concentradas as siderúrgicas e as fábricas de laminados, papel e celulose.

Alguns pesquisadores têm se preocupado com o crescente desenvolvimento dessa atividade, procurando estabelecer metodologias de avaliação de áreas reflorestadas não só a nível de solo, como também aéreo e orbital.

A nível orbital, o satélite LANDSAT posiciona-se como instrumental útil no levantamento dos recursos florestais, devido à sua característica de fornecer dados multiespectrais e repetitivos a cada 18 dias.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar automaticamente, através do Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral (I-100), as áreas reflorestadas com os gêneros *Pinus*, *Eucalyptus* e *Araucária*, utilizando-se dados do LANDSAT.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Lopez-Cuervo (1973), um dos campos da ciência da Terra que tem sido mais afetado na sua metodologia, desde o aparecimento das técnicas de fotointerpretação, tem sido, sem dúvida, a silvicultura, considerada num amplo conceito.

Ainda conforme Lopez-Cuervo (1973), a fotografia aérea, como um suporte para informações sobre áreas florestais, tem aberto novas linhas para a Dasmotria. Muitos países têm feito seus inventários florestais com sua ajuda. Entretanto, hoje, inventários dinâmicos são requeridos de modo que as suas atualizações ocorram quase que paralelamente à evolução das massas florestais.

Para Kalensky and Scherk (1975), a repetitividade e a continuidade de cobertura do LANDSAT permitem o monitoramento de florestas em áreas remotas, onde o sensoriamento remoto por avião é muito caro e os mapas florestais não existem ou estão desatualizados.

Titus et alii (1975) usaram um sistema de estimativa por amostragem para inventário de recursos madeireiros, baseado num esquema de cinco estágios de amostragem, que combina três fontes de informação: dados do MSS do LANDSAT, dados de fotografia de grande escala e medidas de campo. Os dados do MSS do LANDSAT foram usados na estratificação da floresta em 4 classes. Eles observaram que, em termos de custo, esse sistema leva vantagem de 63% sobre o sistema que não utiliza os dados do LANDSAT.

De acordo com Goodenough and Shlien (1974), existem três passos no desenvolvimento de métodos de classificação automática. Primeiro, deve-se decidir quais as classes de cobertura do solo a serem individualmente distinguidas. Segundo, devem-se selecionar características próprias para discriminar as diferentes classes. Terceiro, deve-se estabelecer um método de decisão para definir a que classe o elemento analisado pertence.

Ainda no trabalho de Goodenough and Shlien (1974), a seleção de características foi restrita às quatro bandas espectrais do MSS do LANDSAT. O melhor canal foi selecionado pelo cômputo da divergência para pares de classes, e escolheu-se aquele que maximizou essa medida. Aplicou-se a regra de decisão de máxima probabilidade para duas suposições: 1) as distribuições das intensidades espectrais são gaussianas para cada classe; 2) as

intensidades espectrais são distribuídas uniformemente dentro de um paralelepípedo.

Ainda de acordo com Goodenough and Shlien (1974), no espaço espectral, onde a superposição de classes era pequena, o método do paralelepípedo foi tão preciso quanto o gaussiano, que requer maior tempo de computador.

Conforme Kirvida and Johnson (1973), é possível o uso de um processo automático de classificação, baseado nas características espaciais e multiespectrais, para separar as seguintes classes: floresta de coníferas, floresta de folhosas, áreas sem vegetação, água e cidade.

Lopez-Cuervo (1973), utilizando ampliações na escala de 1:200.000 e 1:100.000 das imagens do LANDSAT, conseguiu uma perfeita diferenciação de tons entre os estratos constituídos dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), fazendo um estudo na região da DIRA (Divisão Regional Agrícola) de Ribeirão Preto, S.P., conseguiram, através de interpretação visual e automática dos dados do MSS do LANDSAT, a diferenciação entre as áreas reflorestadas com o gênero *Pinus* e com o gênero *Eucalyptus*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento desse trabalho foi escolhida a área do Município de Buri, localizada na Divisão Regional Agrícola de Sorocaba, sul do Estado de São Paulo (Figura 1).

A escolha dessa área foi motivada pelo fato de ela estar localizada na região de maior ocorrência de reflorestamento no Estado de São Paulo, conforme os dados apresentados pelo Instituto Florestal de São Paulo (1975). Além disso, de acordo com o Instituto Florestal de São Paulo (1979), o município de Buri apresenta diversidade de características de áreas reflorestadas, o que permite uma melhor definição da metodologia de avaliação dos povoamentos florestais artificiais.

3.2 - CARACTERÍSTICAS FLORESTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

No trabalho do Instituto Florestal de São Paulo (1979), são apresentadas a área ocupada com reflorestamento e a sua distribuição espacial no município de Buri (Tabela 1, Figura 2).

Além das áreas ocupadas com *Pinus* e *Eucalyptus* (Tabela 1), o município apresenta ainda uma área de 742,49 ha com plantio de *Araucária*, que pertence à Floresta Nacional de Capão Bonito do IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal).

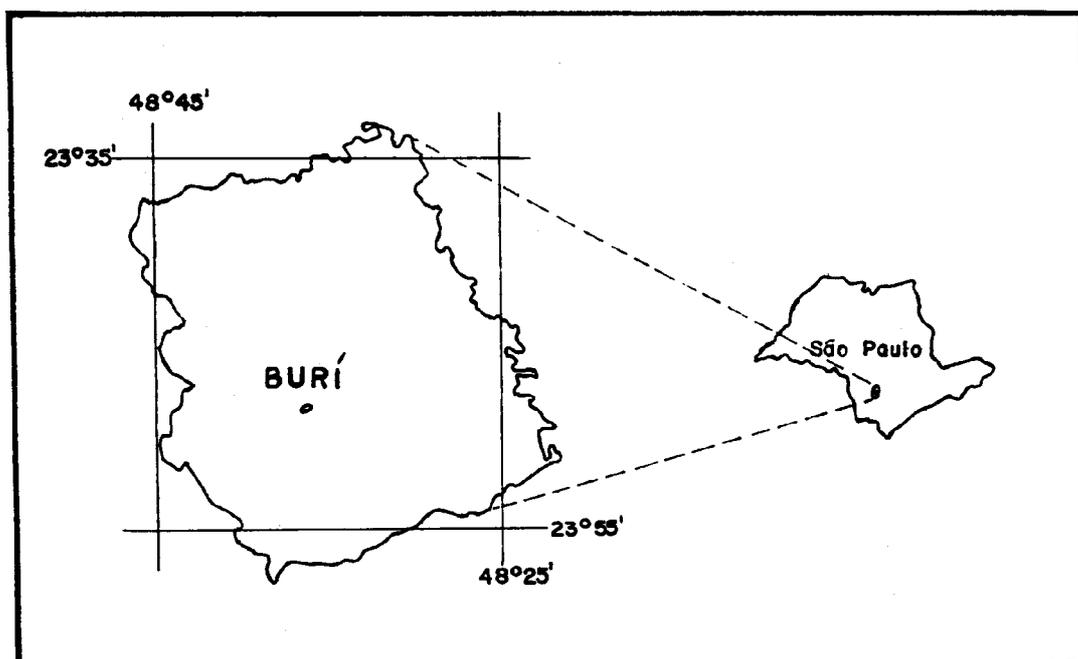


Fig. 1 - Localização da área de estudo - município de Buri.

TABELA 1

ÁREA REFLORESTADA COM EUCALYPTUS, PINUS E SUAS PORCENTAGENS DE OCORRÊNCIA EM RELAÇÃO À SUPERFÍCIE DO MUNICÍPIO DE BURI

MUNICÍPIO	SUPERFÍCIE	EUCALYPTUS		PINUS		REFLORESTAMENTO	
	ha	ha	%	ha	%	ha	%
BURI	121.300,00	5.019,00	4,14	12.996,00	10,71	18.015,00	14,85

3.3 - DADOS DO LANDSAT

Neste trabalho, foram utilizados dados do MSS do LANDSAT, correspondentes ao ponto 29 da órbita 178, da passagem de 9 de novembro de 1976, apresentados nas formas de imagem fotográfica (preto e branco), na escala de 1:250.000, e de fitas CCT.

3.4 - MAPAS

Foram utilizados:

- mapa do IBGE, na escala de 1:250.000, correspondente à folha topográfica de Itapeitinga, publicado em 1975.

- mapa de áreas reflorestadas do município de Buri, feito pelo Instituto Florestal de São Paulo (1979), através de fotografias aéreas na escala de 1:45.000, obtidas no período de 1976/77.

3.5 - METODOLOGIA

O trabalho constou, basicamente, de três fases: coleta de informações, análise automática e avaliação do resultado.

A fase de coleta de informações consistiu na revisão bibliográfica de trabalhos de sensoriamento remoto aplicados a recursos florestais; na coleta de informações a respeito da área de estudo; e na localização da área de estudo, na imagem fotográfica do LANDSAT,

com o auxílio da carta da Fundação IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 1975) na escala de 1:250.000.

A fase de análise automática foi desenvolvida através do Sistema I-100 e dividida em várias etapas:

- 1) escolha da escala de trabalho no vídeo, feita utilizando-se o programa Coordenadas ("SCALED CURSOR"), de modo que a área de estudo estivesse inteira no vídeo. Essa escala foi de aproximadamente 1:200.000;
- 2) delimitação da área de estudo no vídeo do Sistema I-100, feita através do programa "TRAÇO", transferindo-se o limite da área de estudo, feito inicialmente na imagem fotográfica na escala de 1:250.000, para o vídeo do I-100;

- 3) classificação dos temas de interesse, feita através do programa Aquisição de Assinaturas de Célula-única ("1-CELL SIGACQ"), e refinamento da classificação, feito através do programa modificação dos Limites do Histograma ("1-DIM HGM DSPLY");
- 4) cálculo de área dos temas classificados, feito através do programa Área ("THEME AREAS");
- 5) obtenção através do DICOMED de fotografias em preto-branco dos temas classificados.

A fase de avaliação do resultado consistiu na comparação dos resultados obtidos pelo Sistema I-100, através de dados do satélite, e nos resultados conseguidos pelo Instituto Florestal de São Paulo através de fotografias aéreas.

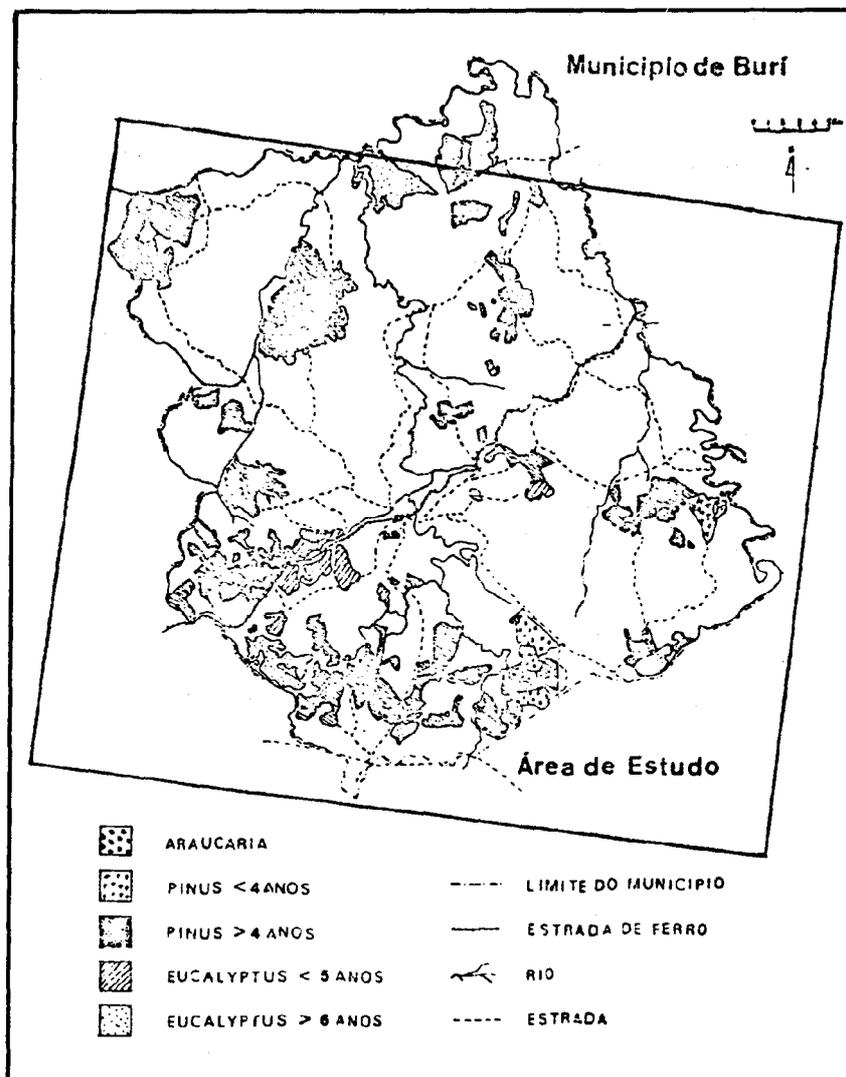


Fig. 2 - Mapa das áreas reflorestadas, realizado através de fotografias aéreas.

FONTE: Instituto Florestal de São Paulo (1979).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho procurou-se fazer a caracterização dos povoamentos florestais apenas a nível de gênero, embora na área de estudo existam várias subclasses com relação

à idade dos povoamentos, conforme apresentado pelo Instituto Florestal de São Paulo (1979).

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam características espectrais das classes *Pinus*, *Araucária* e *Eucalyptus*, respectivamente.

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CLASSE PINUS

CANAL	LIMITE DA RESPOSTA RELATIVA		MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR		
4	8	14	11,41	1,17
5	8	12	9,76	1,35
6	28	40	35,25	8,47
7	33	44	39,56	8,85

TABELA 3

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CLASSE ARAUCÁRIA

CANAL	LIMITE DA RESPOSTA RELATIVA		MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR		
4	8	13	10,73	1,40
5	8	12	9,23	0,67
6	23	32	25,88	4,16
7	24	30	27,73	2,50

TABELA 4

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA CLASSE EUCALYPTUS

CANAL	LIMITE DA RESPOSTA RELATIVA		MÉDIA	VARIÂNCIA
	INFERIOR	SUPERIOR		
4	10	13	12,05	0,88
5	9	11	10,12	0,55
6	38	47	42,79	7,37
7	45	58	48,93	9,49

Com os resultados apresentados nas tabelas anteriores, foram obtidas as classificações de *Pinus*, *Araucária* e *Eucalyptus*, conforme mostram as Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.



Fig. 3 - Classificação de *Pinus* através do Sistema I-100.



Fig. 4 - Classificação de *Araucária* através do Sistema I-100.



Fig. 5 - Classificação de *Eucalyptus* através do Sistema I-100.

A Tabela 5 apresenta a média das respostas espectrais das classes *Eucalyptus*, *Pinus* e *Araucária* nos 4 canais do LANDSAT.

Pelos valores apresentados na Tabela 5, pode-se verificar que nos canais 4 e 5 as respostas espectrais para as três classes são muito semelhantes, sendo difícil a diferenciação entre elas. Estes canais serviram apenas para diferenciar estas classes dos outros alvos existentes na área. No canal 7, as respostas espectrais são distintas para as três classes. Esta tabela mostra que nesse canal *Eucalyptus* reflete mais que o *Pinus*, e que este último reflete mais que a *Araucária*.

A Tabela 6 mostra o resultado de área ocupada pelas classes florestais na área de estudo.

De acordo com o resultado apresentado na Tabela 6, o *Pinus* ocupa a maior área do município; a seguir vem o *Eucalyptus*, e por último a *Araucária*, com apenas 0,66% da área.

A Tabela 7 mostra o resultado da comparação entre as áreas obtidas através de dados multiespectrais do LANDSAT pelo I-100 e os dados apresentados pelo Instituto Florestal de São Paulo, obtidos através de fotografias aéreas.

Como pode ser visto na Tabela 7, a maior diferença relativa é apresentada pela classe *Eucalyptus*; isto se explica pelo fato de esta classe apresentar-se, no campo, com características não-uniformes e com falhamento provocado pela existência de plantios com rotações diferentes, o que induz a resposta espectral dessa classe a se mostrar bem heterogênea.

A menor diferença relativa foi apresentada pela classe *Araucária*, por se apresentar bem distinta dos outros alvos na área de estudo, principalmente no canal 7 do LANDSAT.

5. CONCLUSÕES

Os canais 4 e 5 do LANDSAT serviram para diferenciar as classes *Pinus*, *Araucária* e *Eucalyptus* dos outros alvos, na área de estudo.

Os canais 6 e 7 do LANDSAT mostraram os melhores resultados na diferenciação entre as classes *Pinus*, *Araucária* e *Eucalyptus*.

A *Araucária* apresenta uma resposta espectral bem típica nos canais 6 e 7 do LANDSAT

Em relação aos dados de aeronave, as classificações de *Pinus* (12020,00 ha), *Eucalyptus* (2832,00 ha) e *Araucária* (774,00 ha) apresentaram as respectivas diferenças relativas: - 7,50%, - 32,07% e + 4,24%.

TABELA 5

MÉDIA DAS RESPOSTAS ESPECTRAIS DAS CLASSES PINUS, ARAUCÁRIA E EUCALYPTUS NOS QUATRO CANAIS DO LANDSAT

CANAL \ CLASSE	PINUS	ARAUCÁRIA	EUCALYPTUS
4	11,41	10,73	12,05
5	9,76	9,23	10,12
6	35,25	25,88	42,79
7	39,56	27,73	48,93

TABELA 6

CÁLCULO DA ÁREA TOTAL OCUPADA PELAS CLASSES FLORESTAIS, NO MUNICÍPIO DE BURI, OBTIDA ATRAVÉS DO I-100

CLASSE	ÁREA (ha)	%
PINUS	12.020,00	10,20
ARAUCÁRIA	774,00	0,66
EUCALYPTUS	2.832,00	2,40
MUNICÍPIO DE BURI	117.800,00	100,00

TABELA 7

COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS ORBITAIS E AS ÁREAS OBTIDAS ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

CLASSE	ÁREA (ha)		DIFERENÇA RELATIVA (%)
	I-100	INSTITUTO FLORESTAL	
PINUS	12.020,00	12.996,00	-7,51
ARAUCÁRIA	774,00	742,49	+4,24
EUCALYPTUS	2.832,00	4.169,00	-32,07

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOODENOUGH, D. and SHLIEN, S. *Automatic Classification Methodology*. Ottawa, Canada. Centre for Remote Sensing, Department of Energy, Mines and Resources, 1974.
- HERNANDEZ FILHO, P. e SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para Avaliação de Povoamentos Florestais Artificiais Utilizando-se Dados do LANDSAT*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1978.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Carta do Brasil, Folha de Itapetininga*. Escala 1:250.000, 1975.
- INSTITUTO FLORESTAL DE SÃO PAULO. *Zoneamento Econômico Florestal do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Agricultura. (Boletim Técnico, 17), 1975.
- . *Inventário Florestal do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Agricultura. (Boletim Técnico, 30), 1979.
- KALENSKY, Z. and SCHERK, L.R. Accuracy of Forest Mapping from LANDSAT Computer Compatible Tapes. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*. 10v, Oct., 1975. p.164-165.
- KIRVIDA, L. and JOHNSON, G.R. Automatic Interpretation of ERTS Data for Forest Management. In: *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*. New Carrollton, Maryland, Mar., 1973. V.1.
- LOPEZ-CUERVO, S. A Study of Agroforestry Natural Resources. In: *Panamerican Symposium on Remote Sensing Proceedings*. Panama, Apr./May, 1973. p. 86-92.
- TITUS, S.; GIALDINI, M.; NICHOLS, J. A Total Timber Resources Inventory Based upon manual and Automated Aircraft Data Using Stratified Multistage Sampling Techniques. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*. 10., Michigan, Oct., 1975. p. 165.