



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-4123-TDL/262

**DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO PARA A DETECÇÃO  
DE ALTERAÇÕES DA COBERTURA VEGETAL ATRAVÉS  
DA ANÁLISE DIGITAL DE DADOS MSS LANDSAT**

José Simeão de Medeiros

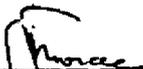
Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto,  
aprovada em 09 de maio de 1986.

INPE  
São José dos Campos  
1987

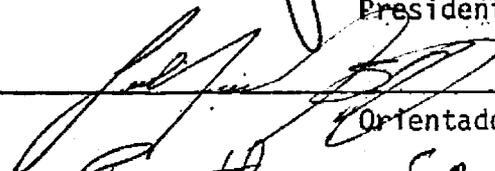


Aprovada pela Banca Examinadora  
em cumprimento a requisito exigido  
para a obtenção do Título de Mestre  
em Sensoriamento Remoto

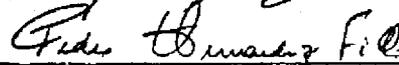
Dra. Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

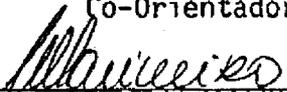
Dr. Getúlio Teixeira Batista

  
\_\_\_\_\_  
Orientador

Engº Flor. Pedro Hernandez Filho

  
\_\_\_\_\_  
Cô-Orientador

Dr. Carlos Marx Ribeiro Carneiro

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
-convidado

Dr. Flávio Felipe Kirchner

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
-convidado-

Candidato: José Simeão de Medeiros

São José dos Campos, 09 de maio de 1986



## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

*aos meus pais, Moacyr e Neusa,*  
por terem orientado a minha formação;

*à minha esposa Jussara*  
por seu amor,  
pelo incentivo,  
por me tolerar nos momentos difíceis;

*aos meus filhos Felipe e Mariana*  
pelas horas de convívio furtadas.



Ao Sr. José Carlos Moreira, ao MSc. Flávio Jorge Ponzoni, a Sra. Eliana Miglioranza e a Srta. Adriana Abrahão pela contribuição ao desenvolvimento dos programas.

A todos os operadores do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais pelos conhecimentos transmitidos e pela amizade que sempre dedicaram.

A todos os funcionários do INPE pela amizade e cordialidade dispensadas no decorrer do Curso de Mestrado.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a *Deus* e aos *Amigos Espirituais* que me iluminam nesta estada terrena e que me orientaram na realização deste trabalho.

À minha *Esposa* pela compreensão e apoio dispensados durante todo o Curso de Mestrado.

Ao *Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal*, na pessoa de seu Presidente, Dr. Jayme Costa Santiago, por fornecer os meios necessários para a realização deste trabalho.

Ao *Instituto de Pesquisas Espaciais*, na pessoa do seu Diritor, Dr. Marco Antonio Raupp, por possibilitar minha participação no Curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto.

Ao Eng<sup>o</sup> *Florestal Célio Paiva dos Santos Filho*, que em mim depositou confiança, indicando-me para o Curso de Mestrado e pelo apoio dado durante sua realização.

Ao Dr. *Getúlio Teixeira Batista* pela orientação eficiente, pela revisão e pelas sugestões apresentadas, além da amizade e apoio durante a realização desta dissertação.

Ao MSc. *Pedro Hernandez Filho* pela co-orientação, pela revisão, pelas sugestões apresentadas e pelas diversas discussões acerca do assunto, as quais contribuíram para a realização desta dissertação.

À Dra. *Evlyn M.L. Moraes Novo*, ao Dr. *Flávio Kirchner* e ao Dr. *Carlos Marx Ribeiro Carneiro*, membros da banca examinadora, que gentilmente aceitaram examinar o trabalho, e também, pelas sugestões apresentadas.



### ABSTRACT

*The present work has the objective of developing a vegetation canopy change detection methodology through digital processing of LANDSAT multitemporal data. A computer program resulting from a multitemporal difference of the ratio images (MSS7/MSS5) transformed into reflectance values was developed. Also two other computer programs were implemented to evaluate image registration quality and to evaluate the classification result obtained from the multitemporal difference image. This classification was compared to another supervised classification, called reference image, which was obtained by the analysis of color aerial photographs (35mm), black and white aerial photographs (70mm), CIR aerial photographs (230mm) and LANDSAT MSS and TM images of the test site. The analysis of the difference image showed the following changes: 1) changes due to biomass reduction (forested areas damaged and deforestation of natural vegetation); 2) changes due to biomass increase (deforested areas that were reflorested, deforested areas with natural regeneration of vegetation and reforestation areas with natural vegetation).*



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	<i>xi</i>
LISTA DE TABELAS .....	<i>xiii</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....	1
<u>CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS</u> .....	3
2.1 - O sinal detectado pelo sensor .....	3
2.1.1 - O que é detectado .....	3
2.1.2 - Como é detectado .....	6
2.2 - Resposta espectral da cobertura vegetal .....	8
2.2.1 - Características espectrais das folhas .....	8
2.2.2 - Fatores que influenciam na resposta espectral da cobertura vegetal .....	10
2.3 - Variações entre cenas .....	12
2.4 - Normalização das variações entre cenas .....	13
2.4.1 - Correções geométricas .....	13
2.4.2 - Correções radiométricas .....	16
2.5 - Utilização dos dados LANDSAT no mapeamento de áreas reflorestadas .....	20
2.6 - Técnicas de detecção de alterações .....	21
2.6.1 - Técnicas visuais .....	22
2.6.2 - Técnicas digitais .....	24
2.6.2.1 - Superposição de imagens .....	24
2.6.2.2 - Comparação pós-classificação .....	25
2.6.2.3 - Classificação temporal/espectral .....	25
2.6.2.4 - Diferença multitemporal entre imagens .....	26
2.6.2.5 - Regressão de imagens .....	27
2.6.2.6 - Razão multitemporal entre imagens .....	28
2.6.2.7 - Diferença multitemporal entre índices vegetativos .....	28
2.6.2.8 - Transformações das principais componentes .....	30
2.7 - Estatística "Kappa", uma medida de concordância para matrizes de erros .....	30

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	35
3.1 - Descrição da área teste .....	35
3.1.1 - Localização da área teste .....	35
3.1.2 - Fisionomia da área teste .....	35
3.2 - Aspectos gerais da região .....	36
3.2.1 - Clima .....	36
3.2.2 - Solos .....	37
3.2.3 - Vegetação .....	37
3.2.4 - Uso atual do solo .....	38
3.3 - Dados utilizados .....	38
3.3.1 - Dados orbitais do LANDSAT .....	38
3.3.2 - Fotografias aéreas .....	39
3.3.3 - Dados auxiliares .....	39
3.4 - Trabalho de campo .....	40
3.5 - Classificação de referência .....	40
3.6 - Metodologia .....	41
3.6.1 - Escolha dos dados .....	41
3.6.2 - Transformações dos dados .....	41
3.6.2.1 - Reamostragem e registro das imagens .....	41
3.6.2.2 - Normalização para efeitos aditivos .....	42
3.6.2.3 - Normalização para efeitos multiplicativos .....	43
3.6.2.4 - Transformação dos números digitais em valores de reflectância .....	43
3.6.2.5 - Diferença multitemporal entre razões de reflectância ...	43
3.6.3 - Análise dos dados .....	45
3.6.4 - Exatidão dos resultados .....	45
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	47
4.1 - Normalização das diferenças geométricas entre as imagens ...	47
4.1.1 - Reamostragem e ampliação das imagens .....	47
4.1.2 - Registro das imagens .....	49
4.2 - Normalização das diferenças radiométricas entre as imagens..	52
4.2.1 - Normalização para efeitos aditivos .....	52
4.2.2 - Normalização para efeitos multiplicativos .....	53
4.3 - Transformação dos valores digitais em valores de reflectância	54

	<u>Pág.</u>
4.4 - Diferença multitemporal entre razões de reflectância .....	59
4.5 - Classificação da imagem-diferença multitemporal .....	61
4.6 - Classificação de referência .....	63
4.7 - Exatidão dos resultados .....	69
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> .....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
APÊNDICE A - PROGRAMA REGMED	
APÊNDICE B - PROGRAMA DIREF	
APÊNDICE C - PROGRAMA MATERR	
APÊNDICE D - SUPORTE PARA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO.	
APÊNDICE E - AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DOS VALORES ORIGINAIS DOS "PIXELS", ORIUNDAS DAS CORREÇÕES GEOMÉTRICAS E RADIO MÉTRICAS.	



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Secção transversal de uma folha com os possíveis caminhos percorridos pela REM .....	9
2.2 - Curva de reflectância da vegetação .....	11
3.1 - Localização da área teste .....	36
3.2 - Fluxograma da metodologia .....	46
4.1 - Gráfico dos coeficientes de variação dos desvios para a amostra da área sem alteração .....	56
4.2 - Gráfico dos coeficientes de variação dos desvios para a amostra da área com alteração .....	57
4.3 - Imagem-razão de reflectância MSS7/MSS5 da área teste na passagem de 25 de julho de 1980 .....	58
4.4 - Imagem-razão de reflectância MSS7/MSS5 da área teste na passagem de 18 de julho de 1984.....	59
4.5 - Imagem-diferença multitemporal das razões de reflectância.	60
4.6 - Fatiamento da imagem-diferença multitemporal .....	63
4.7 - Classificação temporal/espectral em três classes .....	69



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Fatores gerais que produzem a variação do sinal .....	6
2.2 - Características geométricas das imagens dos sensores MSS dos satélites LANDSAT .....	7
2.3 - Matriz de erros normalizada .....	31
2.4 - Elementos da Equação 2.16 .....	33
3.1 - Listagem dos dados MSS e TM utilizados .....	39
4.1 - Testes para avaliar as diferenças entre as médias das amostras em função do sistema de ampliação de imagens utilizado.	48
4.2 - Pontos utilizados no registro .....	49
4.3 - Pontos utilizados na avaliação da qualidade do registro ....	50
4.4 - Testes para avaliar as diferenças entre as médias das amostras em função das alterações geométricas provocadas pelo registro .....	52
4.5 - Valores digitais considerados como efeitos aditivos .....	53
4.6 - Valores de radiância mínima e máxima detectados pelos sensores MSS dos satélites LANDSAT 2 e 5 .....	55
4.7 - Combinação de classes definidas para a classificação temporal/espectral .....	64
4.8 - Chave de interpretação para as imagens MSS e TM utilizados..	65
4.9 - Matriz de classificação e desempenho da classificação para as 14 classes .....	67
4.10 - Matriz de classificação e desempenho da classificação obtidos na segunda classificação .....	67
4.11 - Resultados da análise de concordância entre as classificações .....	70



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Os incentivos fiscais propiciaram um grande desenvolvimento no setor florestal do País com um aumento significativo das áreas reflorestadas com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* em diversos Estados. Dentre eles, o Estado do Mato Grosso do Sul que possui atualmente uma área reflorestada com aproximadamente 495.000 ha, distribuídos ao redor da BR-262, entre as cidades de Campo Grande e Três Lagoas.

Nos últimos anos tem sido observada uma degradação destas áreas, provocadas pela ocorrência de geadas, fogo e principalmente pela infestação de formigas cortadeiras do gênero *Atta* spp.

Observações de campo realizadas no maciço florestal do Estado do Mato Grosso do Sul revelaram que a ocorrência de geadas afeta mais intensamente os povoamentos localizados nas várzeas ou nos locais mais baixos. Revelaram também que os povoamentos sem um controle efetivo sobre a infestação de formigas poderiam ser destruídos em pouco tempo, devido às condições ambientais serem favoráveis à grande proliferação destes insetos, e que os povoamentos mais susceptíveis à ocorrência de incêndios são aqueles próximos às divisas de propriedades agropecuárias, onde são comuns as queimadas das pastagens na época da seca.

A eficiência da utilização dos dados dos satélites da série LANDSAT no monitoramento de áreas reflorestadas tem sido relatada por Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), Hernandez Filho et alii (1978), Hernandez Filho et alii (1980), Hernandez Filho et alii (1982).

Assim sendo, o desenvolvimento de uma metodologia para detecção de alterações de cobertura vegetal através de dados multitemporais do satélite LANDSAT é oportuno e necessário, pois permite estimar as áreas de reflorestamentos destruídas e em processo de degradação, fornecendo subsídios para estimar as áreas destruídas e, conseqüentemente,

estimar os prejuízos nos investimentos oriundos dos incentivos fiscais. Além disto, permite auxiliar no monitoramento destas áreas reflorestadas em diversos estágios de desenvolvimento.

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para detectar as alterações da cobertura vegetal, através da análise digital dos dados multitemporais dos satélites da série LANDSAT. Para tanto, têm-se como objetivos específicos: 1) realizar a normalização das diferenças geométricas entre as imagens multitemporais; 2) realizar uma normalização para os efeitos aditivos e multiplicativos que alteram a resposta espectral dos objetos; 3) realizar uma normalização sobre as diferenças radiométricas existentes entre os sensores de satélites diferentes; 4) gerar uma imagem que realce as áreas com alterações significativas referentes à fitomassa; 5) realizar uma classificação da imagem obtida; 6) avaliar digitalmente a classificação.

## CAPÍTULO 2

### CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

A radiação eletromagnética (REM) incidente sobre a superfície terrestre interage com os objetos ou alvos desta superfície, sendo absorvida, refletida, espalhada e/ou transmitida de forma diferenciada por cada um deles. Com a utilização de equipamentos capazes de detectar a REM refletida ou emitida pelos objetos na superfície terrestre, torna-se possível caracterizá-los e identificá-los devido às propriedades espectrais inerentes a cada um.

O sensoriamento remoto pode ser conceituado como um conjunto de atividades que permite a caracterização de objetos, à distância, através da coleta, do registro e da análise de dados sobre a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida por estes objetos.

Uma variedade de equipamentos sensores é capaz de captar dados espectrais dos recursos terrestres, porém os sistemas de sensoriamento remoto estão mais relacionados com aqueles sistemas de equipamentos sensores de laboratório, de campo, ou instalados em aviões ou satélites que detectam e registram a REM proveniente dos objetos, como por exemplo, as câmaras fotográficas, radares, radiômetros e radiômetros imageadores.

A fim de direcionar o trabalho, todas as considerações que serão realizadas estarão diretamente relacionadas com os dados fornecidos pelo Subsistema Imageador Multiespectral (MSS) dos satélites da série LANDSAT. Todavia, nada impede que estas considerações possam, com as adaptações necessárias, ser relacionadas a outros sistemas imageadores, como por exemplo o Mapeador Temático (TM) dos satélites LANDSAT 4 e 5.

#### 2.1 - O SINAL DETECTADO PELO SENSOR

##### 2.1.1 - O QUE É DETECTADO

Para Reeves (1975) a radiância (sinal) de um objeto detectada por um sensor, posicionado verticalmente acima da atmosfera, possui dois componentes:

- o primeiro refere-se à radiância do objeto ( $L_s$ ) que chega ao sensor com a interferência dos efeitos atmosféricos e que foi denominado, por Kriegler et alii (1969), sinal útil;
- o segundo, somado ao primeiro, refere-se somente às interações da REM com a atmosfera, e é chamado radiância de trajetória ( $L_a$ ), que somado ao ruído ( $R$ ) inerente ao sistema sensor foi denominado, por Kriegler et alii (1969), sinal não desejado.

Assim a radiância total pode ser expressa pela seguinte equação:

$$L = L_s + L_a + R, \quad (2.1)$$

[modificada de Reeves, (1975)]

onde:

$L$  = radiância total que chega ao sensor,

$L_s$  = radiância da superfície (objeto) = sinal útil,

$L_a$  = radiância de trajetória,

$R$  = ruído inerente ao sistema sensor,

$L_a + R$  = sinal não desejado.

Segundo Reeves (1975), a radiância integrada de um dado IFOV (campo instantâneo de visada), que chega verticalmente a um sensor posicionado acima da atmosfera, pode ser calculada pela Equação 2.2, admitindo uma superfície com reflexão perfeitamente difusa, isto é, a reflectância da superfície independe do ângulo de incidência da REM ou do ângulo de visada do sensor e a reflectância desta superfície é função somente do comprimento de onda ( $\lambda$ ):

$$L = \frac{1}{4} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) G(\lambda) \left[ T_{\beta(\lambda)} T_{z(\lambda)} \rho(\lambda) \text{sen}\beta \right] d\lambda + L_A + R \quad (2.2)$$

[modificada de Reeves, (1975)]

onde:

- L = radiância total detectada pelo sensor,
- $\lambda$  = comprimento de onda,
- G = fator de ganho em função da banda espectral,
- E = irradiância solar no topo da atmosfera,
- $\beta$  = ângulo de elevação solar,
- $T_{\beta}$  = transmitância através da atmosfera para radiação incidente,
- $\rho$  = reflectância da superfície,
- $T_z$  = transmitância através da atmosfera para a radiação que chega verticalmente ao sensor,
- $L_A$  = radiância de trajetória (path radiance),
- R = ruído inerente ao sistema sensor.

Analisando a Equação 2.2 e também em concordância com Kriegler et alii (1969), é importante ressaltar que todos os efeitos relacionados com o sinal útil são multiplicativos e se qualquer um deles variar afetará proporcionalmente a radiância total (L). Por outro lado, as variações causadas pela radiância de trajetória ( $L_A$ ) e pelo ruído (R) são aditivos e tendem a mascarar o sinal útil.

A Tabela 2.1 mostra os fatores gerais que produzem a variação no sinal, as causas e dependência destes fatores e a forma de interferência sobre o sinal, isto é, multiplicativa ou aditiva.

TABELA 2.1

FATORES GERAIS QUE PRODUZEM A VARIACÃO DO SINAL

FATORES DE VARIACÃO	CAUSAS E DEPENDÊNCIAS	TIPO DE EFEITO	
		MULTIPLICATIVO	ADITIVO
Iluminação	Sombras, hora do dia, nuvens, etc.	x	-
Transmitância	Altitude, névoa, aerossóis, ângulo de imageamento, etc.	x	-
Reflectância	Ângulo de incidência, ângulo de imageamento, espécies, maturidade, vigor, etc.	x	-
Espalhamento atmosférico	Altitude, névoa, ângulo solar, aerossóis	-	x
Ganho do sensor	Diferentes instrumentos, diferentes dias.	x	-
Ruído	Componentes do sistema	-	x

FONTE: Kriegler et alii (1969).

Para um estudo complementar, Duggin (1985) apresenta um artigo de revisão no qual descreve técnica e detalhadamente as interações da REM (na parte opticamente refletida e termal) incidente no topo da atmosfera, com a atmosfera, com o objeto na superfície da Terra e com o sensor.

2.1.2 - COMO É DETECTADO

A radiação proveniente dos objetos na superfície terrestre, captada por um conjunto de detetores de um dado sistema sensor (MSS) a bordo de um satélite, gera pulsos elétricos que são digitalizados, codificados e transmitidos via telemetria para as estações de rastreamento na superfície terrestre, onde são decodificados e produzidas as HDDTs (High Density Digital Tapes).

A partir das HDDTs são produzidas, como um dos produtos de primeira geração, as CCTs (Computer Compatible Tapes) que são obtidas corrigindo radiometricamente os dados contidos nas HDDTs.

Estes dados são gravados numa dada CCT, de forma discreta, em coordenadas espaciais e em valores de brilho (níveis de cinza), representados por uma matriz bidimensional, definida como imagem digital. Nesta imagem digital as coordenadas  $x$  e  $y$  caracterizam um elemento matriz (pixel), no qual o seu valor representa a radiância integrada da superfície terrestre num dado campo instantâneo de visada (IFOV), característico do sistema sensor, que corresponde a sua resolução espacial, isto é, à menor área detectada no terreno pelo equipamento.

Estes dados, contidos num conjunto de duas CCTs ou em forma de produto fotográfico, correspondem a uma dada cena MSS ou imagem obtida a cada 18 dias pelos satélites LANDSAT 1, 2 e 3 e a cada 16 dias pelos satélites LANDSAT 4 e 5, os quais possuem as características geométricas apresentadas na Tabela 2.2.

TABELA 2.2

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS IMAGENS DOS SENSORES MSS DOS  
SATÉLITES LANDSAT

LANDSAT	FOV Km	IFOV m	"PIXEL" m	DIMENSÕES DA IMAGEM "PIXELS"
1	185,2 x 178	76 x 76	57,9 x 81,5	3214 x 2342
2	185,2 x 178	76 x 76	57,4 x 81,5	3239 x 2342
3	185,2 x 169	76 x 76	58,3 x 81,5	3183 x 2236
4	185,3 x 170	80 x 80	57,0 x 82,7	3251 x 2125
5	185,3 x 170	80 x 80	-	-
Altitude nominal:	LANDSAT 1, 2 e 3 = 918 km LANDSAT 4 e 5 = 705 km			

FONTE: Slater (1980), p. 480; Verdin (1983).

Estes dados nos sensores MSS de todos os satélites LANDSAT são captados em 4 bandas distintas (banda 4, 500-600nm; banda 5,

600-700nm; banda 6, 700-800nm; banda 7, 800-1100nm.), os quais possuem uma resolução radiométrica de 6 bits (Tucker, 1980), isto é, a radiância que chega ao sensor é quantizada em 64 níveis de brilho, onde os menores valores (escuros) representam objetos de baixa radiância e os maiores valores (claros) representam os de alta radiância. No Brasil, estes dados recebidos pela estação de recepção, gravação e rastreamento do INPE são posteriormente expandidos (descomprimidos) para 8 bits (256 níveis).

## 2.2 - RESPOSTA ESPECTRAL DA COBERTURA VEGETAL

### 2.2.1 - CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DAS FOLHAS

Na região do visível, a resposta espectral da vegetação é função, entre outras coisas, da interação da REM com a pigmentação das folhas das plantas, sendo os pontos de absorção em 470nm (azul) e 670nm (vermelho), e o pico de reflectância em 550nm (verde) (Gates, 1970).

A absorção da REM no azul e no vermelho provoca um nível mais baixo de reflectância no visível (em torno de 10%), sendo que os carotenos e xantofilas (pigmentos amarelos) são os responsáveis pela absorção no azul, enquanto as diferentes clorofilas absorvem tanto no azul como no vermelho (Gates, 1970).

O infravermelho próximo (700-1300nm) é uma região de alta reflectância, a qual está relacionada principalmente com a estrutura interna das folhas, isto é, o mesófilo. As mudanças nos índices de refração entre as cavidades subestomatais, espaços de ar intercelulares e as paredes celulares hidratadas, são as responsáveis pelos espalhamentos e reflexões da REM quando passa através do mesófilo (Gates, 1970).

A absorção da REM pela água é também um fator condicionante da reflectância das folhas na região do infravermelho próximo

sendo em 970nm e em 1210nm os pontos onde ocorrem pequenas absorções. Já no infravermelho médio (1300-2600nm), em 1450nm e em 1950nm, encontram-se os pontos de maior absorção (Gates, 1970).

A Figura 2.1 mostra a secção transversal de uma folha com os possíveis caminhos percorridos pela REM e as variações na direção do fluxo de energia causados pelo índice de refração.

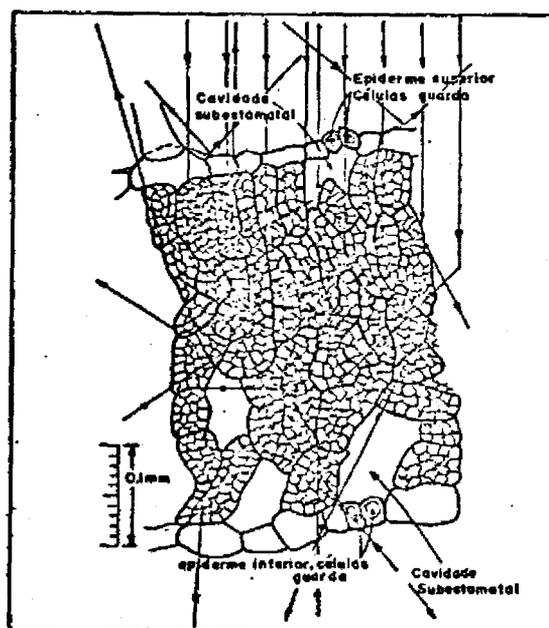


Fig. 2.1 - Secção transversal de uma folha com os possíveis caminhos percorridos pela REM.

FONTE: Adaptada de Gates (1970), p. 227.

É importante salientar que comparando a reflectância de uma folha com a de uma camada de folhas, esta última pode aumentar até 85% em relação à reflectância de uma folha para a região do infravermelho próximo por causa da reflectância aditiva, isto é, a REM transmitida através da primeira folha (na parte superior da camada de folhas) para a segunda (abaixo) é parcialmente refletida por esta de volta para a primeira folha, e assim sucessivamente, até a última folha da camada (Swain and Davis, 1978).

## 2.2.2 - FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESPOSTA ESPECTRAL DA COBERTURA VEGETAL

Uma dada cobertura vegetal é um universo heterogêneo com posto de diversos elementos onde as folhas são, geralmente, a parte maior e a que mais influencia na resposta espectral da cobertura. Contudo, de vem ser considerados os seguintes fatores que vão contribuir para a res posta espectral desta cobertura: fatores anatômicos e fisiológicos, fa tores morfológicos, fatores atmosféricos, fatores ambientais, fatores sa zonais.

### Fatores anatômicos e fisiológicos

Estes fatores estão relacionados com a estrutura celular das folhas e suas características particulares, tais como, a textura, o tipo de epiderme superior e inferior, a espessura das folhas, a pigmen tação, a quantidade de estômatos e a idade das folhas, além das con dições fitossanitárias do vegetal.

### Fatores morfológicos

Estes fatores estão relacionados com a forma do vegetal ou das espécies que compõem a cobertura, distribuição dos galhos e fo lhas e a geometria das copas,

### Fatores atmosféricos

Estes fatores estão relacionados com a dinâmica da atmos fera, isto é, as diferentes condições atmosféricas (partículas em suspensão, espessura das camadas, névoas, nuvens, etc.) que alteram a qualidade e a quantidade da radiação incidente, da qual depende a radia ção refletida ou absorvida pela cobertura vegetal.

### Fatores ambientais

Estes fatores estão relacionados com a topografia e com o tipo de solo (composição físico-química e regime hídrico). Estes dois

fatores em conjunto com a radiação incidente vão influenciar o metabolismo dos vegetais.

### Fatores sazonais

Durante o ano ocorre uma série de transformações no metabolismo dos vegetais que dão origem à floração, frutificação, rebrota, senescência foliar, etc. Estas transformações aliadas às mudanças climáticas e às condições de iluminação vão alterar a resposta espectral da cobertura vegetal.

A Figura 2.2 mostra uma curva que representa aproximadamente a resposta espectral da cobertura vegetal em relação ao comprimento de onda, na qual podem ser observados os picos de maior reflexão e também os pontos de absorção da REM, na região do visível e do infravermelho próximo e médio. Todavia, ao analisá-la, devem ser levados em consideração os fatores já descritos, ressaltando-se ainda que a resposta espectral da cobertura vegetal está diretamente relacionada com o local onde se encontra a cobertura, não devendo ser extrapolada para outras regiões.

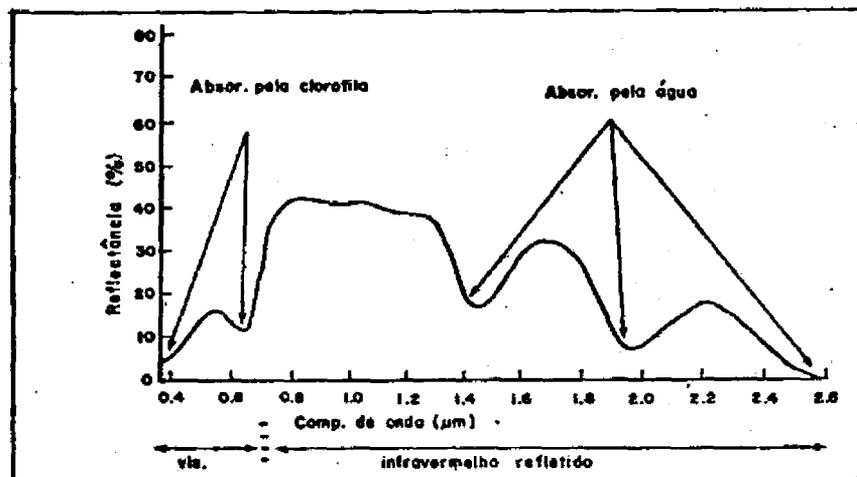


Fig. 2.2 - Curva de reflectância da vegetação.

FONTE: Swain and Davis (1978), p. 232.

A razão entre as medidas de reflectância da cobertura vegetal na região do infravermelho próximo (700-1100nm) e as medidas de reflectância na região do vermelho (600-700nm) tem sido reportada por diversos autores como um indicador de fitomassa em estudos realizados com radiômetros (Pearson and Miller, 1972; Tucker, 1979) e em estudos realizados com dados MSS do LANDSAT (Justice, 1978; Nelson, 1982; Pereira, 1985; Rudorff, 1985). Esta razão é também chamada "Ratio Vegetation Index" (RVI) (Tucker, 1979).

### 2.3 - VARIAÇÕES ENTRE CENAS

A análise dos dados multitemporais dos produtos de sensoriamento remoto, realizada a fim de detectar alterações significativas nos objetos, fica prejudicada principalmente por causa das distorções geométricas e radiométricas comuns aos dados obtidos com imageadores e também pelo mascaramento dos dados causados pelos efeitos atmosféricos.

A movimentação da Terra, aliada às alterações na atitude do satélite propicia, no caso dos LANDSATs 1, 2 e 3, variações na dimensão de 76m do IFOV, os quais podem tornar-se 1,8m maior ou 3,2m menor e, por conseguinte, alterando a sua área nominal, que é de 76x76m (Stalter, 1979). Além disto, as variações na velocidade do espelho do imageador causam distorções ao longo das linhas de varredura, alterando o tamanho dos "pixels" e conseqüentemente distorcendo a forma dos objetos nas imagens (Taranik, 1978; Verdin, 1983).

O sensor MSS responde de forma diferenciada à REM incidente nos 6 detetores de cada banda. Assim, os detetores de cada uma das bandas podem saturar-se com diferentes níveis de radiância ou podem registrar o valor digital 0 (zero) para diferentes valores mínimos de radiância, propiciando imagens com linhas de varredura com diferentes intensidades de brilho (stripping) (Alford and Barker, 1983).

A atmosfera seletivamente absorve, espalha e irradia a REM que passa através dela agindo como um complexo filtro espectral, es

pacial e temporal (Reeves, 1975). Assim sendo os dados sobre os objetos que chegam aos sensores sofrem interferências multiplicativas e aditivas (variáveis com o tempo) que mascaram e/ou modificam as características iniciais destes dados.

Segundo Nelson (1985), a radiância de um objeto que não sofreu alterações medidas por um dado sensor MSS LANDSAT é afetada pelos seguintes fatores:

- *as fatores de visada* - a resposta do sensor varia devido às mudanças na geometria fonte-objeto-sensor;
- *fatores atmosféricos* - a resposta do sensor varia devido a mudanças na radiação transmitida e espalhada pela atmosfera;
- *fatores do sistema* - a variação, neste caso, é função do instrumento usado para detectar o fluxo de radiância vinda do objeto e também do pré-processamento dos dados.

## 2.4 - NORMALIZAÇÃO DAS VARIACÕES ENTRE CENAS

### 2.4.1 - CORREÇÕES GEOMÉTRICAS

A reamostragem (resampling) permite a correção das distorções geométricas e a ampliação de escalas em imagens digitais. Câmara Neto (1982a) relatou que as imagens geradas por interpoladores de Schilien (interpola baseado em 16 pontos vizinhos) e bilinear (interpola baseado em 4 pontos vizinhos) apresentam maior eficiência para ampliação de escalas e correção geométrica, sugerindo técnicas heurísticas para determinação daquele que melhor se aplica a cada caso, através da medida da quantidade de bordas. Assim, a técnica de reamostragem desenvolvida por Câmara Neto (1982b) faz a reamostragem de um setor de um arquivo LANDSAT (em disco) para uma imagem na tela do I-100, em uma grade regular (de tamanho especificado pelo usuário), utilizando um interpolador heurístico que combina as funções bilinear e de Schilien.

A desvantagem da reamostragem é a transformação do valor inicial do "pixel", causando uma alteração no seu valor radiométrico e, conseqüentemente, prejudicando as análises digitais quantitativas (Verdin, 1983).

O registro de imagens permite o ajuste de uma imagem sobre outra, de sorte que os pontos destas imagens que correspondam ao mesmo objeto coincidam espacialmente.

A primeira etapa do registro de imagens consiste em definir pontos nas duas imagens que correspondam ao mesmo objeto, definidos como pontos de controle, e com eles obter uma transformação geométrica capaz de mapear uma imagem na outra. Em geral supõe-se que esta transformação é aproximada por um polinômio cujo grau está relacionado com os tipos de distorções que ocorrem nas imagens (deslocamentos, escala, rotação, etc.).

A segunda etapa do registro diz respeito à construção da imagem registrada, gerando a posição dos novos pontos pela aplicação da função definida pelos pontos de controle, e também ao cálculo dos novos valores dos níveis de cinza que serão atribuídos a estes pontos, que geralmente são realizados por métodos de interpolação (Mascarenhas e Velasco, 1984; Schowengerdt, 1983).

A qualidade do registro está diretamente relacionada com o polinômio que melhor mapeie as imagens, a qual também é função da quantidade, precisão e distribuição dos pontos de controle. Por exemplo, caso ocorram erros de posicionamento em um dos pares de pontos de controle, poderão resultar na obtenção de coeficientes do polinômio que não ajustam corretamente as imagens.

Um registro de boa qualidade é necessário quando se deseja comparar imagens de diferentes datas com a finalidade de detectar alterações. A ocorrência de erros grosseiros na localização espacial de pontos, que pertençam ao mesmo objeto em ambas as imagens, propicia erros na análise das alterações que possam ter ocorrido nesses pontos.

Assim sendo, é interessante avaliar a qualidade geométrica do registro de imagens sempre que procedimentos de detecção de alterações, ou outros, sejam utilizados.

Para realizar o mapeamento da imagem 1, de coordenadas  $(i, j)$ , na imagem 2, de coordenadas  $(m, n)$ , supondo que a relação verdadeira entre elas seja dada por:

$$i = F1(m, n); \quad j = F2(m, n),$$

esta relação verdadeira pode ser estimada pela correlação entre as imagens, sendo modelada por:

$$\hat{f}1 = F1 \quad \text{e} \quad \hat{f}2 = F2.$$

Assim, o erro do registro na linha  $(i)$  e na coluna  $(j)$  pode ser calculado através do desvio médio dado pelas seguintes relações:

$$DM(i) = \frac{\sum |F1 - \hat{f}1|}{N}, \quad (2.3)$$

$$DM(j) = \frac{\sum |F2 - \hat{f}2|}{N}, \quad (2.4)$$

onde

$DM(i)$  = desvio médio na linha,

$DM(j)$  = desvio médio na coluna,

$\hat{f}$  = ponto estimado,

$F$  = ponto real,

$N$  = número total de pontos de teste.

O erro médio do registro pode ser calculado pela raiz média quadrática da seguinte forma:

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N-1}(\sum(F1-\bar{f}_1)^2 + (F2-\bar{f}_2)^2)} \quad (2.5)$$

onde RMS = raiz média quadrática.

O sistema de registro (SISREG) (LTID, 1985) permite o registro de imagens de acordo com um polinômio de grau determinado e com base em pontos de controle confiáveis. Após a obtenção dos coeficientes do polinômio, são calculadas as novas coordenadas para todos os "pixels" da nova imagem, sendo que o valor digital de um dado "pixel" é aproximado pelo valor do vizinho mais próximo.

#### 2.4.2 - CORREÇÕES RADIOMÉTRICAS

Correções radiométricas e normalizações eliminam ou reduzem a influência das distorções relacionadas com a variação da radiância nas cenas (variações nas linhas de varredura, efeitos atmosféricos, variações na iluminação, etc.). Quando se realiza uma correção incompleta numa dada imagem, faz-se uma normalização (Lantz and Simonett, 1976).

Correções para a eliminação das distorções nas imagens, principalmente aquelas pertinentes às condições atmosféricas, implicam um entendimento e modelagem de todos os processos de interação da REM com a atmosfera. A utilização destes modelos que simulam a transferência de radiação pela atmosfera tem limitações devido: 1) a condições pré-determinadas para simulação de alguns fenômenos da atmosfera, 2) à utilização de dados meteorológicos e dados sobre os objetos que normalmente não são conhecidos durante a aquisição da cena, 3) a complexos algoritmos com intrincadas operações matemáticas utilizados na modelagem, sendo necessário excessivo tempo de processamento.

Alternativamente para estes algoritmos, existem os processos de normalização que podem ser utilizados para obter de forma normalizada os dados espectrais sobre os objetos,

As razões entre bandas espectrais reduzem ou eliminam os efeitos multiplicativos que alteram o valor de radiância detectada pelo

sensor, considerando que estes efeitos sejam iguais ou aproximadamente iguais nestas bandas (Kriegler et alii, 1969; Vincent, 1972; Kowalik et alii, 1978; Lillesand and Kiefer, 1979). Estas razões podem diminuir a variabilidade entre os mesmos objetos devido à topografia (Chavez, 1975; Holben and Justice, 1980; Nelson, 1981) e enfatizar as mudanças dos níveis de brilho entre os materiais (Chavez, 1975).

Para Kowalik et alii (1978), os dados da razão entre as bandas LANDSAT MSS4/MSS5, corrigidos das distorções provocadas pela radiação de trajetória, podem ser úteis para detectar alterações com análises temporais, embora a utilização de tais dados possa ser restrita a áreas áridas onde as condições atmosféricas sofrem poucas variações.

As razões entre bandas espectrais, além de minimizarem a influência dos efeitos multiplicativos não-desejáveis na análise digital de dados podem, no caso das razões entre bandas no infravermelho próximo (IR) pelo vermelho (RED), ser utilizadas como uma forma de estimar a fitomassa. Colwell (1974), relatou que a razão entre o infravermelho próximo (IR) e o vermelho (RED), também chamado RVI, pode normalizar um pouco o efeito da reflectância de fundo do solo e ser útil na estimativa da fitomassa.

Para Maxwell (1976) visto em Tucker (1979), a razão entre os canais MSS6 e MSS5 (MSS6/MSS5) foi mais significativa estatisticamente do que a razão entre os canais MSS7 e MSS5 (MSS7/MSS5), porém ambas as razões são úteis para realçar a fitomassa.

Segundo Nelson (1982), a comparação entre as razões das bandas MSS7/MSS5 em diferentes datas é uma forma de detectar se a cobertura vegetal foi ou não significativamente alterada.

Em resumo, as razões entre canais normalizam as imagens dos efeitos estranhos que estão multiplicados e mascaram o sinal útil; enfatizam determinadas características dos objetos; podem estimar a fitomassa e promovem a redução na dimensionalidade dos dados, além de po

derem reduzir a variabilidade entre os dados que efetivamente não variaram. Contudo, os dados de razões entre bandas (dados "ratio") podem prejudicar a identificação de objetos facilmente separáveis nos canais originais, visto que as razões entre os diferentes valores podem apresentar os mesmos quocientes.

Com relação à redução dos efeitos aditivos, Chavez Jr. (1975) propôs duas técnicas de normalização dos dados para a radiância de trajetória:

- o método do valor mínimo do histograma HMM (Histogram Minimum Method), onde é subtraído de todos os "pixels" de uma dada banda o valor do limite mínimo do histograma adquirido em áreas de reflectância nula naquela dada banda;
- o método da regressão linear que usa a correlação de uma dada banda em relação à banda 7, onde o valor referente ao ponto de interseção da reta é considerado o valor da radiância de trajetória, o qual é subtraído de todos os "pixels" daquela banda.

Switzer et alii (1981) desenvolveram o método da matriz de covariância (CMM), que é uma extensão do método de regressão de Chavez Jr. (1975), porém baseia-se na correlação de todas as bandas simultaneamente.

Os detetores do Subsistema Imageador Multiespectral (MSS) saturam-se com diferentes valores de radiância. Segundo Alford e Barker (1983), é necessário conhecer as diferentes respostas dos detetores a fim de determinar uma curva comum de calibração, a qual é obtida por uma relação linear entre os valores mínimos e máximos de radiância detectada pelo satélite, para uma dada banda em um dado tempo.

Robinove (1982) mencionou que em análises multitemporais os dados digitais do MSS deveriam ser transformados em valores físicos (números com significado físico, representando a radiância ou reflectância dos objetos), sendo que estes valores físicos variam de acordo com

a calibração média dos detetores do MSS de cada satélite para uma dada banda em um dado tempo. Assim sendo, os dados digitais MSS podem ser transformados em valores de radiância pela seguinte equação.

$$L = \frac{DN}{255} (LMAX-LMIN) + LMIN, \quad (2.6)$$

[modificada de Robinove (1982)]

onde

- L = radiância de um dado "pixel",
- DN = valor digital do "pixel",
- LMAX = radiância média máxima detectada pelo sensor,
- LMIN = radiância média mínima detectada pelo sensor.

Para a transformação em valores de reflectância (considerando uma superfície lambertiana), Robinove (1982) propôs a seguinte equação:

$$\rho = \frac{\pi}{E \cdot \sin \alpha} * \frac{(DN * (LMAX-LMIN) + LMIN)}{255} \quad (2.7)$$

[modificada de Robinove (1982)]

onde

- DN, LMAX, LMIN já foram definidos anteriormente,
- $\rho$  = reflectância de um dado "pixel",
- E = irradiância solar no topo da atmosfera numa dada banda,
- $\alpha$  = ângulo de elevação solar.

Middlenton e Lu (1982) relataram que a transformação dos dados LANDSAT em valores de radiância reduzem significativamente a variância para os sensores das bandas 4, 6 e 7.

Middlenton e Lu (1983) mencionaram que os valores digitais (DN) nas bandas 4, 5 e 7 são altamente dependentes das condições de

iluminação do objeto (ângulo de elevação solar) e sua transformação em valores de radiância, ajustados para as condições de iluminação, reduzem ou eliminam esta dependência nas bandas 4, 6 e 7 para as florestas de decíduas, e nas bandas 4 e 5 para as florestas de coníferas.

Nelson (1985) testou diversas transformações para reduzir a variabilidade entre os dados tomados em diferentes épocas, concluindo que: "a transformação dos dados em valores de reflectância (utilizando a equação de Robinove, 1982) reduz a variabilidade entre o valor dos "pixels" dentro de uma cena; contudo, para cenas que contêm alvos com níveis de cinza mais altos, a variabilidade entre elas pode ser mais significativamente reduzida pela razão de canais".

## 2.5 - UTILIZAÇÃO DOS DADOS LANDSAT NO MAPEAMENTO DE ÁREAS REFLORESTADAS

Hernandez Filho e Shimabukuro (1978) estabeleceram uma metodologia, com base na análise visual e digital dos dados LANDSAT, para avaliação de povoamentos florestais artificiais.

Utilizando esta metodologia na avaliação de áreas localizadas em regiões do Estado de São Paulo, foi possível efetuar com sucesso o levantamento das áreas reflorestadas por município (Hernandez Filho et alii, 1978).

Com base nestes trabalhos foi possível, através da interpretação visual dos dados LANDSAT discriminar as classes de reflorestamento em função da idade e do gênero no Estado do Mato Grosso do Sul (Hernandez Filho et alii, 1980). Em conjunto com informações de campo, foi possível o estabelecimento de classes de reflorestamento em função da idade, do gênero e também da homogeneidade de plantio nestas áreas reflorestadas (Hernandez Filho et alii, 1982).

Hernandez Filho e Shimabukuro (1981) desenvolveram ainda uma metodologia para acompanhar o desenvolvimento de áreas reflorestadas, com base na análise visual das características espaciais, espectrais e temporais dos dados MSS do LANDSAT.

## 2.6 - TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES

A detecção de alterações pode ser definida como o reconhecimento de modificações ocorridas através do tempo sobre a superfície terrestre. O reconhecimento dos vários tipos de alterações que ocorreram numa dada região pode, efetivamente, auxiliar na política e no planejamento do uso do solo para aquela região. Anderson (1977) enfatiza que "informações sobre a quantidade e o tipo de alterações no uso dos recursos da terra são essenciais para um adequado planejamento, manejo e regulamentação do uso de tais recursos".

Em geral estas alterações, quer sejam ou não significativas, podem ser detectadas ou reconhecidas de diversas formas. Uma delas é a detecção efetuada através das técnicas de análise visual e/ou digital utilizando os dados obtidos em diferentes épocas (dados multitemporais) pelos sistemas de sensoriamento remoto.

Shepard (1964), com base no uso de fotografias aéreas, definiu detecção de alterações como "a diferença entre dois conjuntos de fotografias aéreas obtidas de uma mesma área em épocas diferentes". Este autor enumerou os problemas que surgem quando se realiza a detecção de alterações com este tipo de produto e concluiu que "há uma clara necessidade de desenvolver um sistema de detecção de alterações que automaticamente correlacione e compare dois conjuntos de imagens de mesma área em diferentes épocas, mostrando para o intérprete as alterações e sua localização.

De acordo com Malila (1980), na detecção de alterações devem ser considerados os seguintes aspectos: a detecção da alteração propriamente dita, a origem da alteração, sua intensidade e extensão. Os dados LANDSAT podem contribuir potencialmente para a análise destes aspectos, sendo que cada aspecto requer uma complexidade de procedimentos para uma determinada exatidão nos resultados.

Para Nelson (1982) a detecção digital de alterações caracteriza-se basicamente por duas partes: a primeira refere-se aos tipos de transformações de dados que podem ou não ser utilizados e, a segunda, diz respeito aos tipos de análises técnicas necessárias para detectar e delimitar as áreas com alterações significativas.

Outro aspecto importante a ser considerado na detecção de alterações é a escolha dos dados a serem utilizados que, conseqüentemente, estão diretamente relacionados com o tipo, com a frequência de ocorrência e com o tempo de existência do fenômeno (Colwell, 1983).

A detecção de alterações pode ser realizada através de técnicas visuais e digitais.

#### 2.6.1 - TÉCNICAS VISUAIS

A análise do aspecto temporal das imagens LANDSAT pode ser encarada como a técnica mais comum de detecção de alterações e consiste simplesmente em comparar imagens de duas ou mais passagens diferentes, interpretando e mapeando as áreas onde ocorreram as alterações.

Esta técnica explora ao máximo o aspecto temporal das imagens LANDSAT, o qual analisado em conjunto com os aspectos textural e espectral, pode fornecer dados sobre as possíveis causas que promoveram as alterações. Um exemplo desta técnica pode ser encontrado no trabalho de Hernandez Filho e Shimabukuro (1981), já citado anteriormente.

Todavia, na prática, a análise do aspecto temporal é uma técnica que pode tornar-se demorada, tediosa e propensa a erros que podem ser minizados através de conhecimento prévio ou da disponibilidade de dados sobre a área,

A superposição manual de imagens consiste no registro e na superposição de transparências de imagens obtidas em passagens diferentes, que podem ser analisadas sobre a mesa de luz.

A utilização de uma transparência positiva para uma data e de uma transparência negativa para outra facilita a análise, propiciando um realce nas áreas onde ocorreram alterações. As áreas onde não ocorreram alterações aparecem em tons neutros e as áreas alteradas aparecem em tons mais claros ou mais escuros nas imagens superpostas (Crapper and Hynson, 1983).

Com a utilização de equipamentos auxiliares para a interpretação visual, como por exemplo os visores aditivos de cores (color additive viewers) é possível associar individualmente uma cor para cada uma das transparências de cada passagem (em um dado canal). Estas transparências são registradas entre si através da movimentação das lentes do "viewer".

No caso de serem analisadas três passagens diferentes, a imagem resultante na tela apresentar-se-á com uma combinação de cores que caracteriza os tipos de alterações que tenham ocorrido entre as passagens.

Uma variante desta técnica descrita anteriormente foi relatada por Crapper e Hynson (1983), os quais realizaram a superposição e o registro de transparências negativas das bandas (MSS) 4, 5 e 7 da passagem mais antiga do LANDSAT sobre transparências positivas das bandas (MSS) 4, 5 e 7 da passagem mais recente. A cada um destes canais superpostos foram atribuídos os seguintes filtros no "viewer": filtro vermelho para a banda 4, filtro azul para a banda 5 e filtro verde para a banda 7. A imagem na tela resultante desta combinação foi então fotografada com filme em preto e branco e também com filme colorido.

Na fotografia em preto e branco as áreas alteradas foram reconhecidas por tons claros ou por tons escuros, contra um fundo neutro. Já na fotografia colorida foi possível determinar em qual ou em quais bandas as alterações ocorreram.

Com a utilização das transparências MSS devidamente realçadas pelo processo Diazochrome (Carneiro, 1980), ao invés de transparências MSS comuns, poderá ocorrer uma melhora significativa das técnicas visuais anteriormente descritas.

Entretanto, essas técnicas visuais apresentam algumas desvantagens, tais como, baixa qualidade do registro entre as transparências, variações nas condições atmosféricas entre elas e variações no processamento fotográfico que as gerou.

Alternativamente a essas técnicas, existem várias técnicas digitais (auxiliadas por computador), onde estas desvantagens são em sua maioria eliminadas ou pelo menos minimizadas.

## 2.6.2 - TÉCNICAS DIGITAIS

### 2.6.2.1 - SUPERPOSIÇÃO DE IMAGENS

Nesta técnica, as imagens de um dado canal, oriundas de passagens diferentes, são superpostas. No monitor de vídeo do sistema de análise as cores verde e azul são atribuídas à imagem de uma passagem e a cor vermelha à imagem da outra passagem. Após os ajustamentos das cores, as áreas onde não ocorreram alterações aparecerão em tons de cinza, enquanto as áreas onde tenham ocorrido alterações serão realçadas por uma das cores (Banner and Lynham, 1981; Eyton, 1983; Foresti et alii, 1984; Howarth and Boasson, 1983).

Segundo Banner e Lynham (1981), a combinação dos canais 5 de imagens de passagens diferentes do LANDSAT mostraram um grande potencial na detecção de desmatamentos ou cortes de florestas. A superposição de imagens do canal 5 é uma forma simples e efetiva de detectar alterações causadas pelas atividades urbanas (Howarth and Boasson, 1983).

#### 2.6.2.2 - COMPARAÇÃO PÓS-CLASSIFICAÇÃO

Nesta técnica são realizadas duas classificações, uma para cada passagem e posterior comparação entre as classificações (Weismiller et alii, 1977; Rubec and Thie, 1978; Stow et alii, 1980; Howarth and Wickware, 1981).

A comparação pode ser feita por um processamento simples que compara as classificações utilizando pares de classes especificadas pelo analista, gerando como resultado uma fita com as indicações das áreas com alterações. Desta forma, as classes "alterações" derivadas e definidas pelo analista são identificadas espectralmente por técnicas de reconhecimento de padrões. Com a devida codificação dos resultados da classificação para a data 1 e para a data 2, o analista pode produzir os "printouts" ou mapas que mostram uma matriz de alterações (Weismiller et alii, 1977).

Esta técnica é talvez a que apresenta uma maior fonte de erros. Além das variações existentes nas imagens, entre os valores de um dado "pixel" ou grupo de "pixels", para os alvos que não sofreram alterações, somam-se ainda os problemas inerentes às classificações, como por exemplo os erros nas classificações das imagens de uma data ou de ambas as datas, por causa dos "pixels" não necessariamente coincidentes.

#### 2.6.2.3 - CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL/ESPECTRAL

Nesta técnica, dois conjuntos de dados multitemporais do LANDSAT são classificados, isto é, 8 canais (4 canais de cada passagem) são analisados por técnicas de reconhecimento de padrões.

Utilizando dados de mesma época do ano, porém em anos diferentes e considerando que os dados foram coletados sob condições semelhantes, é possível identificar as alterações, considerando-se que as classes onde ocorreram modificações tenham diferenças estatisticamente significativas daquelas onde não ocorreram alterações.

Weismiller et alii (1977), comparando qualitativamente a técnica de classificação multitemporal com a de comparação pós-classificação, que foi utilizada como padrão para comparar as outras técnicas testadas, encontraram os resultados mais discordantes de todo o trabalho. Mesmo assim, enfatizam que "a classificação multitemporal possui um potencial ainda não desenvolvido, apesar de ser de todas as técnicas a mais complexa".

#### 2.6.2.4 - DIFERENÇA MULTITEMPORAL ENTRE IMAGENS

Nesta técnica é realizada uma subtração entre o conjunto de dados de diferentes passagens, na mesma banda espectral, onde uma imagem-diferença é formada pela subtração entre o valor de um "pixel" da passagem 1 pelo valor de "pixel" correspondente na passagem 2. Esta técnica utiliza a seguinte equação:

$$D_{ijk} = X_{ijk}(T1) - X_{ijk}(T2) + 127, \quad (2.8)$$

[modificada de Weismiller et alii (1977)]

onde

D = valor da diferença entre canais,

i = linha,

j = coluna,

k = canal,

X = valor do nível de cinza do "pixel",

T1 = passagem 1,

T2 = passagem 2,

127 = constante somada para produzir uma imagem positiva, considerando uma amplitude de 128 níveis de cinza.

Assim, os valores da imagem-diferença podem variar entre 0 e 254, onde o valor médio 127 indica não haver alterações entre as imagens (Nelson, 1982).

Após a realização desta transformação, os dados multitemporais obtidos da diferença são então classificados (Weismiller et alii,

1977) ou utilizado outro procedimento com fatiamento (slicer), relatado por Stauffer e Mac Kyney (1978) e por Nelson (1982). Nelson (1982) também referencia a utilização desta técnica, com variado grau de sucesso, por outros pesquisadores (Toll et alii, 1980; Ingram et alii, 1981) na detecção de alterações em regiões urbanas.

#### 2.6.2.5 - REGRESSÃO DE IMAGENS

Esta técnica assemelha-se à diferença multitemporal, onde a principal diferença consiste na utilização da transformação dos quadrados mínimos (regressão) com a finalidade de minimizar a interferência causada pelos efeitos aditivos e multiplicativos.

A equação a seguir mostra como pode ser realizada esta técnica:

$$R_{ij} = Y_{ij} - (a + b \times X_{ij}), \quad (2.9)$$

[modificada de Colwell (1983)]

onde

$R_{ij}$  = resíduo da regressão,

$Y_{ij}$  = imagem da passagem posterior,

$X_{ij}$  = imagem da passagem anterior,

$a$  = intersecção,

$b$  = coeficiente angular que serve para ajustar as diferenças entre as variâncias,

$i, j$  = já definidos na Equação 2.8.

Nesta técnica são calculadas as diferenças entre as médias e as variâncias nos valores dos "pixels" para as diferentes datas. O valor esperado de  $R(i, j) = 0$  indica não haver alteração. Os "pixels" com valores de  $R(i, j)$  diferentes de 0 indicam mudança nos seus valores de radiância, mostrando as possíveis alterações.

A principal vantagem desta técnica é o balanceamento de uma imagem em relação a outra, contudo, freqüentemente pode ocorrer uma

degradação dos dados sobre as alterações na imagem que foi balanceada, além de sua implementação ter um custo mais elevado do que o da diferença multitemporal (Colwell, 1983).

#### 2.6.2.6 - RAZÃO MULTITEMPORAL ENTRE IMAGENS

Esta técnica é semelhante à anterior, pois ambas comparam os valores de níveis de cinza de um dado "pixel" em duas passagens diferentes. Contudo, ao invés da subtração destes valores de níveis de cinza, realiza-se a razão entre estes níveis, isto é, os valores de "pixels" que representam a energia refletida gravada numa banda do MSS são divididos pelos valores de mesmos "pixels" da mesma banda, porém, numa outra passagem. A equação abaixo mostra como pode ser realizada esta transformação.

$$R_{ijk} = \frac{X_{ijk} (T1)}{X_{ijk} (T2)} \quad (2.10)$$

[modificada de Nelson (1982)]

onde

R = razão multitemporal,

X, i, j, k, T1, T2 já foram definidos anteriormente na Equação 2.8.

É importante salientar que os valores de razão multitemporal entre os "pixels" são valores contínuos e variam entre 0 e  $+\infty$ , onde o valor médio esperado 1 para aquele "pixel" numa dada banda significa que não ocorreu alteração.

#### 2.6.2.7 - DIFERENÇA MULTITEMPORAL ENTRE INDICES VEGETATIVOS

Nesta técnica são comparadas medidas de densidades de vegetação entre passagens diferentes. Banner e Lynham (1981) utilizaram a seguinte diferença multitemporal para determinar desmatamento ou corte em florestas:

$$DVI = VI(1980) - VI(1978), \quad (2.11)$$

[modificada de Banner and Lynham,(1981)]

onde

$$VI = a \left[ \frac{MSS7 - MSS5}{MSS7 + MSS5} \right] + b$$

DVI = diferença de Índices vegetativos.

Estes autores afirmam ainda que a utilização desta técnica com este tipo de índice vegetativo resultou em numerosos erros de omissão e inclusão, pois realçam a vegetação rasteira existente no interior dos cortes ou desmates mais antigos. Mesmo assim, afirmaram que o índice vegetativo deveria ser utilizado para monitorar a competição da vegetação dentro das áreas cortadas.

Nelson (1982 e 1983), comparando a transformação obtida pela Equação 2.12 com outras duas técnicas (diferença e razão multitemporal) já descritas anteriormente, relata que a diferença multitemporal de índices vegetativos utilizada classifica com mais exatidão as áreas de desfolha (devido à infestação de lagartas) do que as outras duas técnicas.

$$DR_{ij} = \frac{X_{ij7, 1976}}{X_{ij5, 1976}} - \frac{X_{ij7, 1977}}{X_{ij5, 1977}} + C, \quad (2.12)$$

[modificada de Nelson,(1982)]

onde

i = linha,

j = coluna,

X = valor do nível de cinza do "pixel",

5,7 = canais do MSS,

C = constante arbitrária somada para produzir uma imagem real positiva.

É importante notar que nesta técnica a imagem resultante é também uma imagem contínua como a razão multitemporal e não uma imagem discreta como a diferença multitemporal.

Howarth e Boasson (1983) afirmaram que o "Índice vegetativo é excelente para identificação de alterações em áreas com vegetação que ficaram sem vegetação ou vice-versa e, ao mesmo tempo, dá uma clara definição dos limites urbanos e da rede de estradas".

#### 2.6.2.8 - TRANSFORMAÇÃO DAS PRINCIPAIS COMPONENTES

A utilização desta técnica envolve a combinação de 4 canais do MSS de uma passagem do LANDSAT com outros 4 canais do MSS de outra passagem. Estes dados são considerados como um único conjunto de dados multidimensionais e são analisados com a técnica de transformação das principais componentes (TCP),

Na comparação destes conjuntos de dados com a finalidade de analisar alterações temporais ocorrerá uma alta correlação entre os dois conjuntos de 4 canais. As partes da cena onde ocorrem ausência de correlação são as que apresentam alterações. Assim sendo, a utilização da TCP transforma os dois conjuntos de 4 canais em 8 eixos ortogonais, onde a primeira e a segunda componente representam as áreas onde não ocorreram alterações, a terceira, a quarta e a quinta componentes são as que contêm as informações úteis sobre as alterações (Byrne et alii, 1980).

#### 2.7 - ESTATÍSTICA "KAPPA", UMA MEDIDA DE CONCORDÂNCIA PARA MATRIZES DE ERROS

Medidas de concordância relativa entre as categorias (classes) de uma matriz de erros ou entre matrizes de erros podem ser realizadas através de um método não-paramétrico denominado estatística K, proposto por Cohen (1960), visto em Bishop et alii (1975) e em Fleiss (1981).

Congalton e Mead (1983), Congalton et alii (1983), Benson e De Glória (1985) utilizaram este método para avaliação da concordância entre matrizes de erros geradas a partir da comparação entre os dados de verdade terrestre e os dados resultantes das classificações.

Congalton et alii (1983) citam ainda que a estatística K pode ser utilizada para avaliar a concordância entre as classes dentro de cada matriz separadamente, determinando se o grau de concordância entre cada uma delas é significativamente maior do que zero, pois quando valor de K é maior que zero indica haver concordância entre as categorias.

Para utilização deste método na avaliação do grau de concordância entre matrizes de erros, geradas por algoritmos de classificações diferentes, ou entre uma dada matriz de erros, gerada pela comparação entre duas classificações, supõe-se que estas duas classificações sejam independentes e admite-se que para uma delas obtiveram-se N elementos em cada uma das K classes, produzindo-se a matriz de erros (Tabela 2.3) das proporções observadas  $P_{ij} = x_{ij}/N$ , onde  $x_{ij}$  é o conteúdo de cada cela da matriz de erros normalizada, isto é, o  $\sum x_{ij}/N = 1$ .

Alternativamente, outros métodos de normalização mais complexos podem ser utilizados, como por exemplo o ajustamento proporcional iterativo (iterative proportional fitting), onde a proporção de cada cela da matriz é calculada em função de um peso dado pelo conteúdo das outras celas (Bishop et alii, 1975; Congalton and Mead, 1983).

TABELA 2.3

MATRIZ DE ERROS NORMALIZADA

		CLASSIFICAÇÃO 1					
		1	2	3	...	K	
classificação 2	1	$P_{11}$	$P_{12}$	...		$P_{1k}$	$P_{i+}$
	2	$P_{21}$					
	3	.					
	:	.					
	.	.					
	k	$P_{k1}$				$P_{kk}$	
		$P_{+i}$					1
$\sum P_{i+}$ = somatório da linha, $\sum P_{+i}$ = somatório da coluna.							

Desta forma, segundo Fleiss (1981), a medida de concordância  $\hat{K}$  é dada pela Equação 2.13:

$$\hat{K} = \frac{p_0 - p_g}{1 - p_g}, \quad (2.13)$$

[modificada de Fleiss (1981)]

onde

$p_0 = \sum_{i=1}^K p_{ij}$  é a proporção total da concordância observada,

$p_g = \sum_{i=1}^K p_{i+} p_{+i}$  é a proporção total da concordância esperada ao acaso.

Segundo Fleiss (1981), se houver uma concordância completa, o valor de  $\hat{K} = 1$ ; se a concordância observada é maior ou igual à concordância esperada ao acaso, o valor de  $\hat{K} > 0$  e se a concordância observada é menor ou igual à concordância esperada ao acaso, o valor de  $\hat{K} < 0$ .

Landis e Koch (1977) caracterizaram diversos valores de  $\hat{K}$  com relação ao grau de concordância e sugeriram que para a maioria das aplicações os valores de  $\hat{K}$  superiores a 0,75 representam excelente grau de concordância. Os valores de  $\hat{K}$  situados entre 0,40 e 0,75 representam um grau de concordância regular e os valores de  $\hat{K}$  inferiores a 0,40 representam baixo grau de concordância.

Fleiss (1981) mostra ainda que para testar a hipótese de que as classificações não são concordantes (são independentes), isto é, testar se o valor de  $\hat{K}$  é igual a 0 (zero), utilizam-se os escores reduzidos ( $z$ ) através da Equação 2.14:

$$Z = \frac{\hat{K}}{s}, \quad (2.14)$$

[modificada de Fleiss (1981)]

onde

Z = escore reduzido,

K = medida de concordância,

s = desvio padrão de K, calculado pela Equação 2.15:

$$s = \frac{1}{(1 - p_d) \sqrt{n}} \sqrt{p_d + p_d^2 - \sum_{i=1}^K p_{i+} \times (p_{i+} + p_{+i})}, \quad (2.15)$$

onde p já foi definido na Equação 2.14 e  $p_{i+}$ ,  $p_{+i}$  já foram definidos na Tabela 2.3.

Segundo Fleiss (1981), para uma avaliação da concordância entre uma determinada categoria dentre aquelas que compõem a tabela de contigência, o valor de  $\hat{K}$  é calculado pela Equação 2.16:

$$\hat{K} = \frac{2(axd - bxc)}{p_1q_2 + p_2q_1}, \quad (2.16)$$

[modificada de Fleiss (1981)]

onde os elementos a, b, c, d,  $p_1$ ,  $q_1$ ,  $p_2$  e  $q_2$  são definidos pela Tabela 2.4:

TABELA 2.4

ELEMENTOS DA EQUAÇÃO 2.16

Classificação 2	CLASSIFICAÇÃO 1			
		CLASSE DESEJADA	TODAS AS OUTRAS	
	Classe desejada	a	b	
Todas as outras	c	d	$q_1$	
		$p_2$	$q_2$	1

É interessante observar que o valor de  $\hat{K}$  calculado para todas as categorias pela Equação 2.13 é a média ponderada dos valores

de  $\hat{K}$  calculados para cada categoria (classe) pela Equação 2.16, onde os pesos são os denominadores de cada  $\hat{K}$  calculado, isto é, os valores  $p_1q_2 + p_2q_1$  de cada categoria (Fleiss, 1981).

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA TESTE

##### 3.1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA TESTE

A área teste, com 13.500 ha, na parte oeste da fazenda Mutum, está localizada no município de Ribas do Rio Pardo, Estado do Mato Grosso do Sul (Figura 3.1). Está compreendida no eixo entre as cidades sul-mato-grossenses de Campo Grande e Três Lagoas, sendo cortada pela BR-262 na direção leste-oeste. Esta área é abrangida pela Folha Rio de Janeiro da Carta do Brasil ao milionésimo (IBGE, 1972) e pelas Folhas Cachoeira Branca (SF 22 V-A-V) e Santa Alda (SF 22 V-A-IV) da Carta do Brasil na escala 1:100.000 (Brasil, Ministério do Exército, DSG, 1973). Encontra-se entre os paralelos  $20^{\circ}15'11''$  e  $20^{\circ}24'46''$  de latitude sul e os meridianos  $53^{\circ}18'76''$  e  $53^{\circ}32'02''$  de longitude oeste e está contida nas imagens 240/74 e 224/74 dos satélites LANDSAT 2 e 5, respectivamente.

##### 3.1.2 - FISIONOMIA DA ÁREA TESTE

A área teste apresenta-se com a seguinte paisagem: nas áreas onde a vegetação natural não foi alterada ou sofreu pouca alteração, encontram-se as formações do tipo cerrado. As áreas onde a vegetação natural foi removida, encontram-se ocupadas por reflorestamentos com espécies do gênero *Eucalyptus*. Estes reflorestamentos possuem diferentes classes de idades e, quanto ao seu estado fitossanitário, apresentam desde talhões com plantio homogêneo até talhões totalmente destruídos.

Constatou-se no trabalho de campo uma grande infestação de formigas cortadeiras (gênero *Atta spp*) nas áreas parcialmente e/ou totalmente destruídas. Em outros casos, a degradação de alguns locais foi devido a incêndios e/ou à ocorrência de geadas, e nas áreas degradadas mais antigas observou-se um avançado processo de regeneração natural.

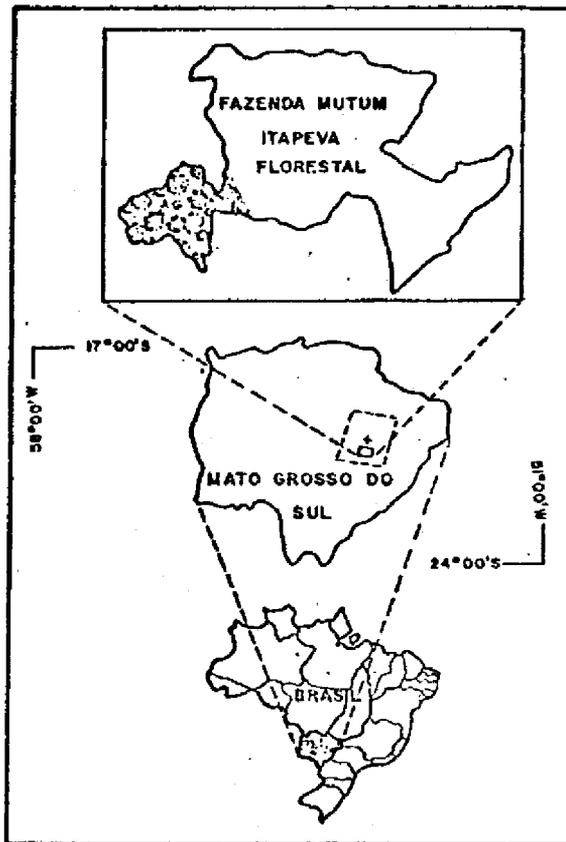


Fig. 3.1 - Localização da área teste.

### 3.2 - ASPECTOS GERAIS DA REGIÃO

#### 3.2.1 - CLIMA

A região onde está contida a área de estudo possui um clima subquente úmido com um ou dois meses secos, nos quais a temperatura média do mês mais frio é inferior a  $18^{\circ}\text{C}$  e a do mês mais quente está em torno de  $24^{\circ}\text{C}$ . No inverno, são comuns mínimas diárias muito baixas, inclusive inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ , acompanhadas de geadas nas noites limpidas. O índice pluviométrico está em torno dos 1250 mm, sendo o regime de chuvas caracteristicamente tropical, com precipitação máxima no verão e mínima no inverno. O total de chuva acumulada durante o ano se precipita de novembro a março, sendo novembro, dezembro e janeiro o trimestre mais chuvoso (IBGE, 1977).

### 3.2.2 - SOLOS

Segundo mapa esquemático de solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro Oeste do Brasil (EMBRAPA, 1975), os solos são do tipo AV 10, isto é, 1) areias quartzosas vermelhas e amarelas, fase cerrado, relevo plano suave ondulado e 2) latossol vermelho escuro, textura média, fase cerrado, relevo suave ondulado. Estes solos apresentam teor de suprimento de nutrientes muito baixo e moderada deficiência de água.

### 3.2.3 - VEGETAÇÃO

De acordo com o trabalho realizado pela EMBRAPA (1975), a região encontra-se recoberta pelas formações do tipo cerrado, nos seus diversos aspectos, desde as formações campestres às florestais. Nos estratos arbóreos e arbustivos são mais comuns as seguintes espécies: a lixeira (*Curatella americana*), o pau terra (*Qualea spp*), o pau santo (*Kielmeyera coriacea*), o barbatimão (*Stryphodendron barbatimão*), o pequi (*Caryocar brasiliense*), o araticum (*Annona coriacea*), o murici (*Byrsonima sp*), o jatobá do campo (*Hymenaea stygnocarpa*), a cabiúna do cerrado (*Dalbergia violacea*).

Além destas espécies arbóreas e arbustivas, existe também um estrato herbáceo que forma uma cobertura regular e pouco densa no cerrado, porém, quase desaparecendo no cerradão. Neste estrato sobressaem as gramíneas, dentre as quais podem-se citar: o capim flexa (*Tristachya leiostachia*), o capim flexinha (*Tristachya chrysotryx*) e o capim barba de bode (*Aristida pallens*). Aparecem também a palmeira acaule indaiá (*Attalea exigua*), o cajueiro do campo (*Anacardium sp.*), malpigiáceas, melastomatáceas, mirtáceas, bromeliáceas, leguminosas e várias outras.

No cerradão são comuns as espécies componentes dos estratos superiores comuns do cerrado e também algumas espécies mais secas, comuns às florestas tropicais, como por exemplo a sucupira da mata (*Bowditchia sp.*), o jatobá (*Hymenaea sp.*), o angico (*Piptadenia sp.*).

Com relação às formações campestres, sua fisionomia é tão marcante que a sua ocorrência numa dada área é facilmente observada e de limitada.

Vale a pena observar que as regiões próximas à área teste, com vegetação natural pouco alterada, apresentam a seguinte paisagem: as ondulações do terreno encontram-se cobertas pelos agrupamentos dos campos cerrados; nas depressões do terreno, quando cortadas por alguns córrego, ocorrem os campos de várzea, e a mata ciliar e, quando aparentemente secas, são ocupadas também pelos campos cerrados.

#### 3.2.4 - USO ATUAL DO SOLO

Atualmente na região onde se situa a área teste podem-se destacar as seguintes atividades básicas: 1) o reflorestamento incentivado e 2) a pecuária extensiva. As atividades agrícolas são poucas, provavelmente por causa da baixa fertilidade dos solos.

Com relação ao reflorestamento pode-se afirmar que é uma atividade recente na região, com cerca de 15 anos, na qual geralmente são encontrados grandes maciços plantados com espécies de Eucalyptus. Em algumas propriedades da região encontram-se também áreas reflorestadas com Pinus, embora em menor escala.

Estes reflorestamentos apresentam-se em diversos graus de desenvolvimento, e com relação à sua qualidade, encontram-se desde talhões com plantios homogêneos até áreas totalmente destruídas.

### 3. DADOS UTILIZADOS

#### 3.3.1 - DADOS ORBITAIS DO LANDSAT

Para a realização deste trabalho foram utilizados os dados apresentados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1

LISTAGEM DOS DADOS MSS E TM UTILIZADOS

ORBITA/ PONTO	SENSOR/ SATÉLITE	CANAIS	APRESENTAÇÃO	DATA	ESCALA
240/74	MSS/2	5 e 7	Papel	25.07.80	1:250.000
240/74	MSS/2	5 e 7	Papel	09.07.81	1:250.000
224/74	MSS/4	5 e 7	Papel	26.09.83	1:250.000
224/74	MSS/5	5 e 7	Papel	18.07.84	1:250.000
224/74	TM5	3,4,5	Papel	18.07.84	1:250.000
240/74	MSS/2	4,5,6,7	CCT	25.07.80	-
224/74	MSS/5	4,5,6,7	CCT	18.07.84	-
224/74	TM/5	3,4,5	CCT	18.07.84	-

3.3.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Foram utilizadas as fotografias aéreas infravermelhas coloridas (filme Kodak Aerochrome 2443), no formato de 23x23cm, na escala 1:20.000, obtidas sobre a área teste pela missão realizada no início de junho de 1984 e também fotografias aéreas em preto e branco no formato 70mm e coloridas no formato 35mm, obtidas verticalmente com auxílio de um suporte capaz de ser instalado em aeronaves leves (Apêndice D).

3.3.3 - DADOS AUXILIARES

Para a identificação de acidentes geográficos, cidades, estradas e informações gerais sobre a área teste, utilizaram-se os seguintes mapas e cartas:

- Carta do Brasil ao milionésimo (IBGE, 1972),
- Carta do Brasil na escala 1:100.000 (Brasil, Ministério do Exército, DSG, 1973).
- Mapa geral da Fazenda Mutum com os projetos de reflorestamento alocados.

### 3.4 - TRABALHO DE CAMPO

Foi realizado um sobrevôo, no período de 1 a 10 de outubro de 1984, a fim de obter as fotografias aéreas de pequeno formato (35 e 70 mm), com a finalidade de recobrir o restante da área teste não coberta pelo aerolevante em junho de 1984 e propiciar uma avaliação do estado de fitossanidade dos povoamentos. Também foram coletados dados de campo, na sede da fazenda Mutum e nos arquivos da Delegacia Estadual do IBDF em Campo Grande - MS, referentes aos diversos tipos de alterações que ocorreram na área teste no período de julho de 1980 a setembro de 1984.

### 3.5 - CLASSIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

Utilizando as informações de verdade terrestre adquiridas em trabalhos anteriores (Hernandez Filho et alii, 1980; Hernandez Filho e Shimabukuro, 1981; Hernandez Filho et alii, 1982) e também aquelas levantadas no trabalho de campo, em conjunto com as fotografias aéreas, com as imagens das passagens anteriores e com as imagens TM, foi realizada pelo sistema MAXVER (INPE-DSC-LTID, 1985) uma classificação temporal/espectral supervisionada entre as imagens MSS (canais 5 e 7) de 25/07/80 e MSS (canais 5 e 7) de 18/07/84, devidamente amostradas e registradas. Nesta classificação foram determinadas as classes de alterações sendo denominada classificação de referência, usada para uma posterior avaliação da imagem gerada pela técnica de detecção de alterações utilizada neste trabalho.

O procedimento utilizado foi a classificação por máxima verossimilhança, sendo inicialmente adquiridos os parâmetros de 14 diferentes classes que representavam 14 tipos diferentes de alterações. Estas classes foram definidas em função das informações obtidas na análise visual das fotografias aéreas, das imagens MSS de outras passagens e da imagem TM.

Em função destas classes, foi realizada uma primeira classificação. Posteriormente, as amostras correspondentes as 14 classes foram agrupadas em função de suas semelhanças, conseguindo-se com isto três

grandes classes que representavam as áreas alteradas com relação ao aumento ou à redução da fitomassa.

### 3.6 - METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram necessárias as seguintes etapas: escolha dos dados, transformação dos dados, análise dos dados e exatidão dos resultados.

#### 3.6.1 - ESCOLHA DOS DADOS

Na escolha dos dados foram considerados os seguintes aspectos:

- a quantidade de dados de campo disponível na imagem mais antiga (25/JULHO/1980) e na mais recente (18/JULHO/1984), sendo utilizadas também as informações contidas nos trabalhos de Hernandez Filho et alii (1980 e 1982) e de Hernandez Filho e Shimabukuro (1981);
- intervalo de tempo entre as imagens, de modo que permitisse a detecção das áreas reflorestadas degradadas;
- imagens de mesma época do ano a fim de minimizar as diferenças sazonais entre os alvos e as diferenças nas condições de iluminação das cenas, considerando-se que as condições atmosféricas tenham maior probabilidade de ser semelhantes em imagens da mesma época do ano;
- as bandas MSS 5 e 7 foram utilizadas pois são as que podem conter mais dados sobre a cobertura vegetal.

#### 3.6.2 - TRANSFORMAÇÕES DOS DADOS

##### 3.6.2.1 - REAMOSTRAGEM E REGISTRO DE IMAGENS

Devido às diferenças entre as características geométricas e variações nas atitudes dos satélites, as imagens foram reamostra

tradas através do programa REAMOS (INPE-DSC-LTID, 1985) e posteriormente registradas pelo sistema de registro, SISREG (INPE-DSC-LTID, 1985). Para avaliar a qualidade do registro foi utilizado o programa REGMED (Apêndice A) que determina a precisão do registro através do desvio médio, calculado para um arquivo de pontos de teste. As coordenadas são calculadas para os pontos de teste através do polinômio gerado, pelo programa OBTCOE, do sistema de registro, com os mesmo pontos de controle utilizados no registro das imagens.

### 3.6.2.2 - NORMALIZAÇÃO PARA EFEITOS ADITIVOS

Para a redução dos efeitos aditivos baseou-se no método do valor mínimo do histograma (Chavez Jr., 1975). Assim sendo, determinou-se o menor valor do nível de cinza da imagem onde está contida a área teste, utilizando o programa ONEPIXEL (INPE-DSC-LTID, 1985) e procurando este menor valor nas áreas mais escuras ou de reflectância nula, ampliadas na relação 1:1, isto um "pixel" na imagem que corresponde a um ponto no monitor de vídeo do Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais (I-100). Este menor valor foi então subtraído de todos os "pixels" da imagem através do programa SUBTRA (INPE - DSC - LTID, 1985). Estes valores foram determinados antes da Reamostragem, porém sua redução foi realizada posteriormente.

Para determinar este menor valor, utilizou-se o seguinte critério:

- escolheu-se uma área bem escura na imagem, preferindo aquelas que teoricamente teriam reflectância 0(zero), como por exemplo água límpida e profunda, sombras de nuvens ou de relevo, etc.;
- ampliou-se a área escolhida com o programa ESCALA (INPE - DSC - LTID, 1985) na relação 1:1, isto é, um "pixel" na imagem para um "pixel" no vídeo do I-100, determinando-se o menor valor do nível de cinza dos "pixels" daquela área;
- repetiu-se este procedimento várias vezes em outras áreas bem escuras até encontrar o menor valor para cada canal.

### 3.6.2.3 - NORMALIZAÇÃO PARA EFEITOS MULTIPLICATIVOS

Com relação aos fatores que afetam multiplicativamente o sinal útil (já visto anteriormente), foram normalizados através da razão de canais (Kriegler et alii, 1969; Vincent, 1972) que no caso da razão MSS7/MSS5, é um indicador de fitomassa (Tucker, 1979; Colwell, 1974) e propicia um realce nas áreas cobertas com vegetação.

### 3.6.2.4 - TRANSFORMAÇÃO DOS NÚMEROS DIGITAIS EM VALORES DE REFLECTÂNCIA

Os números digitais MSS do LANDSAT foram transformados em valores de reflectância (Robinove, 1982) pela seguinte equação:

$$\rho = \frac{\tau}{E \cdot \sin \text{ALFA}} * \frac{\text{DN}}{255} * (\text{LMAX} - \text{LMIN}) + \text{LMIN}, \quad (3.1)$$

[modificada de Robinove (1982)]

onde

$\rho$ ,  $\tau$ , E, ALFA, DN, LMAX, LMIN já foram definidos no Capítulo 2, Seção 2.4.

Esta transformação foi realizada a fim de equalizar as respostas dos sensores entre os satélites LANDSAT-2 e LANDSAT-5, já que os valores mínimos e máximos de radiância detectada pelos sensores de um satélite são diferentes dos valores detectados por outro satélite. A transformação dos valores digitais em valores de reflectância gera valores com um sentido físico (Robinove, 1982) e reduz consideravelmente a variabilidade entre os dados multitemporais (Nelson, 1985).

### 3.6.2.5 - DIFERENÇA MULTITEMPORAL ENTRE RAZÕES DE REFLECTÂNCIA

Das técnicas de detecção de alterações discutidas no Capítulo 2 (Seção 2.6), a diferença multitemporal entre índices vegetativos foi escolhida pelos seguintes aspectos:

- por ser a diferença multitemporal a técnica mais utilizada com variado grau de sucesso, por diversos autores (Nelson, 1982,

1983; Weismiller et alii, 1977; Howart and Boasson, 1983; Banner and Lynham, 1981; Toll et alii, 1980; Ingran et alii, 1981).

- porque o RVI (Ratio Vegetation Index) é, a princípio, uma razão de canais, que pode ser utilizada na redução dos efeitos multiplicativos, além de ser um indicador da fitomassa;
- por ocorrer uma redução de dimensionalidade, isto é, das quatro imagens iniciais, é gerada somente uma que contém dados sobre as alterações, facilitando a análise posterior.

Assim sendo, para comparação entre as cenas e a detecção das alterações, utilizou-se a diferença multitemporal entre as razões dos valores de reflectância do MSS 7/MSS 5 (REF 7/REF 5), a qual gera uma imagem-diferença (ID) como produto final das transformações. A equação abaixo ilustra como foi produzida a imagem-diferença.

$$ID = \frac{REF_i}{REF_j}(k) - \frac{REF_i}{REF_j}(k) + OF, \quad (3.2)$$

[modificada de Nelson (1982)]

onde

ID = imagem-diferença,

REF<sub>i</sub>, j = número digital transformado em valor de reflectância numa da banda (i) ou (j),

k = data da passagem,

OF = valor arbitrário para não ocorrer número negativo.

Para representação desta imagem no vídeo do I-100, é necessária a soma de uma constante arbitrária (OFFSET), a fim de não ocorrerem valores negativos e também, como a representação no vídeo do I-100 é feita em 8 bits, isto é, em 256 níveis de brilho, é interessante a multiplicação desta imagem por uma outra constante arbitrária (GANHO), de forma a utilizar toda amplitude disponível (256 níveis) para a representação da imagem.

As transformações apresentadas nas Seções 3.6.2.3, 3.6.2.4 e 3.6.2.5 foram realizadas através do programa DIREF (Apêndice B).

### 3.6.3 - ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi realizada através de um fatiamento (slicer) realizado pelo programa SLICE (INPE, DSC, LTID, 1985) da imagem-diferença (ID) resultante das transformações das Seções 3.6.2.3, 3.6.2.4 e 3.6.2.5, determinando-se as classes de alterações. Para determinar os limites das classes utilizaram-se como critério os desvios padrões em torno da média (Stauffer & MacKynney, 1978; Nelson 1982).

### 3.6.4 - EXATIDÃO DOS RESULTADOS

Para determinar a eficiência da técnica de detecção de alterações utilizada neste trabalho, realizou-se uma comparação feita pelo programa MATERR (Apêndice C), digital ponto a ponto, para um conjunto de pontos, definidos pelo cursor, entre a classificação resultante do fatiamento da imagem-diferença com a classificação de referência, gerando uma matriz de erros.

Nesta matriz de erros foi calculada a concordância entre as classificações através da estatística Kappa (K), também realizada pelo programa MATERR.

A fim de ilustrar o foi descrito anteriormente a Figura 3.2 mostra o fluxograma da metodologia utilizada, com suas etapas e os procedimentos dentro de cada uma delas.

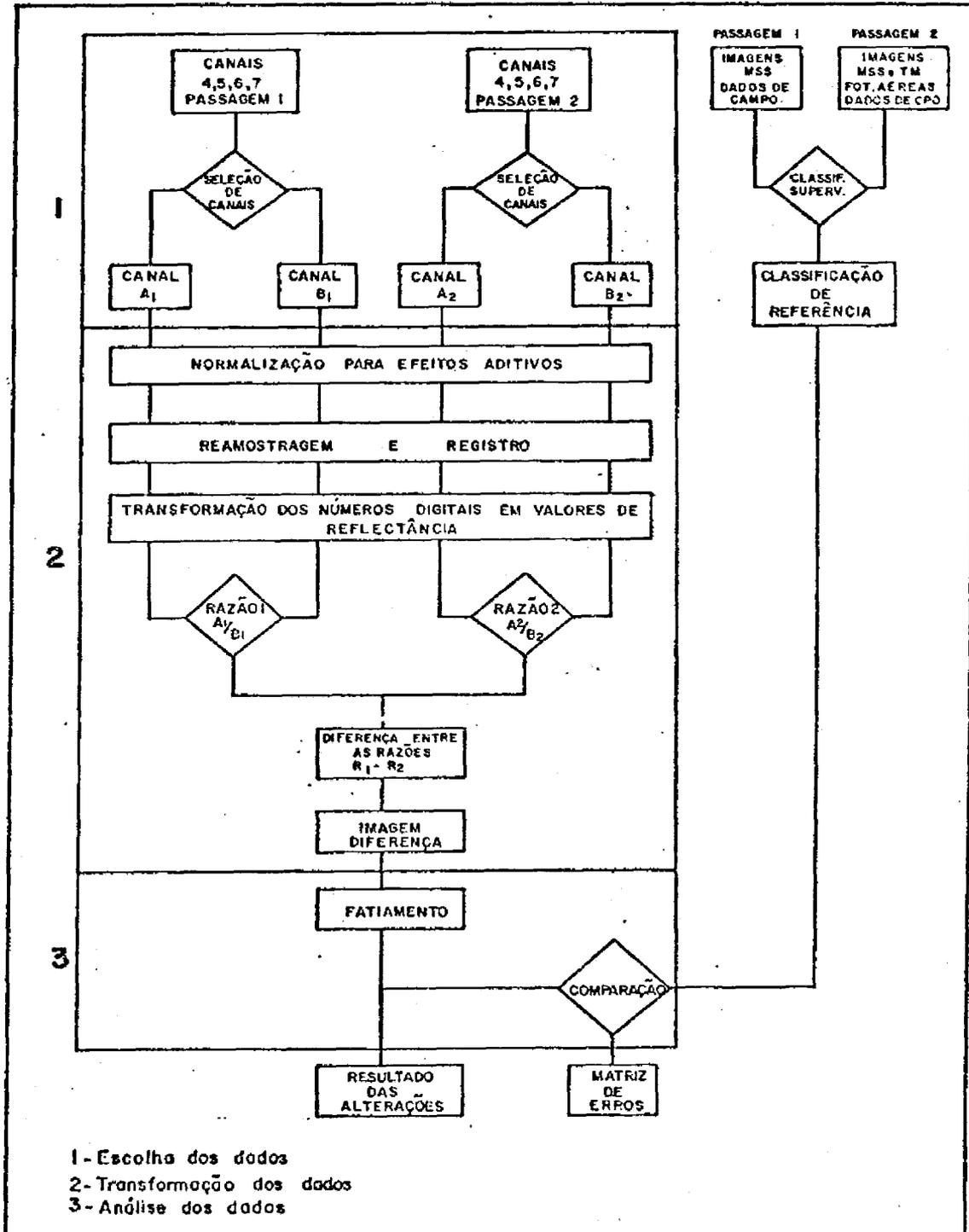


Fig. 3.2 - Fluxograma da metodologia.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 - NORMALIZAÇÃO DAS DIFERENÇAS GEOMÉTRICAS ENTRE AS IMAGENS

##### 4.1.1 - REAMOSTRAGEM E AMPLIAÇÃO DAS IMAGENS

Em virtude das diferenças nas características geométricas das imagens, devido às diferenças entre os sensores MSS que as originaram (Tabela 2.2), ambas as imagens utilizadas foram reamostradas. (Programa REAMOS) numa grade de 60x60 metros entre as seguintes coordenadas da imagem:  $X1 = 1.047$ ,  $Y1 = 1.597$ ;  $X2 = 1.585$ ,  $Y2 = 1.985$ , para a imagem de 25/junho/1980 e  $X1 = 1.921$ ,  $Y1 = 1.624$ ,  $X2 = 2.459$ ,  $Y2 = 2.012$ , para a imagem de 18/julho/1984.

O tamanho da grade de 60x60 metros foi escolhido para que as imagens se tornassem geometricamente compatíveis com a imagem do TM (18/julho/1984) que, por sua vez, foi ampliada (Programa ESCALA) na relação 4:1, isto é, 4 "pixels" na imagem representando 1 "pixel" no vídeo.

Com este procedimento, a escala no vídeo de aproximadamente 1:102.000 tornou-se a mesma para todas as imagens.

Como a reamostragem altera o valor original do "pixel" (Verdin, 1983), em troca de uma correção geométrica, e como diversas transformações foram realizadas considerando os valores de "pixels" alterados, decidiu-se verificar se estas alterações nos valores dos "pixels" eram, ou não, estatisticamente significativas.

Para tanto, foram escolhidas em uma das passagens (18/junho/1984) duas amostras, sendo uma localizada em região de bordas e a outra em região considerada de tonalidade homogênea (sem muita alteração nos valores de brilho).

Estas amostras foram então ampliadas por dois processos, um através do programa ESCALA, que faz a ampliação da imagem por simples repetição de "pixels", e o outro através da reamostragem realizada pelo programa REAMOS.

Foi realizada uma razão de canais entre os canais 5 e 7, para todos os elementos das duas amostras ampliadas pelos dois processos. Optou-se por utilizar as razões de canais, porque as transformações desenvolvidas no trabalho envolviam razões e, por conseguinte, os dados utilizados nos testes aproximar-se-iam mais dos dados gerados pelas transformações.

Utilizou-se o teste Z, bilateral, ao nível de 0,01, para testar a existência de diferença significativa entre as médias, isto é, para testar a hipótese de que as médias das duas populações não diferiam entre si. A Tabela 4.1 mostra os resultados destes testes, os quais estão contidos no Apêndice E.

TABELA 4.1

TESTES PARA AVALIAR AS DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS DAS AMOSTRAS  
EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE AMPLIAÇÃO DE IMAGENS UTILIZADO

DIFERENÇA DE MÉDIAS	LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA	Z CALCULADO	TESTE DE HIPÓTESE $H_0: \mu_A = \mu_B$
AMOSTRA 2 - AMOSTRA 1 escala reamostr.	ÁREA DE BORDA	-0,5	ACEITA $H_0$
AMOSTRA 4 - AMOSTRA 3 escala reamostr.	ÁREA COM TEX TURA LISA	1,18	ACEITA $H_0$

Como os resultados demonstraram que não houve diferença significativa entre as médias das amostras ampliadas pelos dois processos, considerou-se que para o trabalho desenvolvido a alteração do valor inicial do "pixel" seria irrelevante.

Entretanto, deve-se salientar que, dependendo do tipo de análise digital que está sendo realizada, a alteração do valor inicial do "pixel" não pode ser desconsiderada.

#### 4.1.2 - REGISTRO DAS IMAGENS

Nas comparações multitemporais, como também em outros tipos de análise digital, é importante que os pontos que representam o mesmo objeto nas duas passagens coincidam espacialmente.

Assim sendo, foi realizado o registro (Sistema de Registro, SISREG) das imagens das duas passagens utilizadas. Considerou-se como padrão a imagem de 25/julho/1980 e como distorcida a imagem de 18/julho/1984.

Para realização do registro foram escolhidos os seguintes pontos de controle (Capítulo 2, Seção 2.4.1), cujas coordenadas são mostradas na Tabela 4.2. Estes pontos foram utilizados na obtenção dos coeficientes do polinômio. Os pontos mostrados na Tabela 4.3 foram utilizados para avaliar a qualidade do registro, que é o resultado da saída do programa REGMED (Apêndice A).

TABELA 4.2

#### PONTOS UTILIZADOS NO REGISTRO

DESCRIÇÃO DOS PONTOS	COORDENADAS DOS PONTOS (x,y)			
	IMAGEM DISTORCIDA		IMAGEM-PADRÃO	
	(x)	(y)	(x)	(y)
1 REG	392	330	398	312
2 REG	420	236	422	212
3 REG	190	230	194	212
4 REG	152	218	154	202
5 REG	184	132	186	112
6 REG	238	116	238	94
7 REG	130	86	132	66

Continua

Tabela 4.2 - Conclusão.

DESCRIÇÃO DOS PONTOS	COORDENADAS DOS PONTOS (x,y)			
	IMAGEM DISTORCIDA (x) (y)		IMAGEM-PADRÃO (x) (y)	
8 REG	32	144	32	126
9 REG	100	286	106	272
10 REG	120	308	124	296
11 REG	150	350	154	336
12 REG	200	328	204	314
13 REG	252	392	258	378
14 REG	250	344	254	330
15 REG	270	246	274	232
16 REG	360	154	362	130
17 REG	390	142	394	116
18 REG	462	84	464	58
19 REG	292	66	296	40
20 REG	12	358	18	350
21 REG	260	290	264	272
22 REG	378	216	382	192
23 REG	86	104	86	84
24 REG	206	206	210	186

TABELA 4.3

PONTOS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO REGISTRO

DESCRIÇÃO DOS PONTOS	COORDENADAS DOS PONTOS (x,y)					
	PADRÃO (x) (y)		DISTORCIDA (x) (y)		AJUSTADA (x) (y)	
1 TST	314	102	312	126	312	126
2 TST	408	144	406	168	405	168
3 TST	426	84	424	111	424	111
4 TST	461	122	459	148	458	148
5 TST	264	60	262	84	262	84
6 TST	68	406	64	412	63	414
7 TST	324	182	320	204	321	203
8 TST	450	230	446	254	446	252
9 TST	40	268	35	280	36	280
10 TST	240	244	235	262	236	261
11 TST	460	154	458	180	457	179
12 TST	368	158	364	182	365	181
13 TST	500	66	498	96	498	95

Continua

Tabela 4.3 - Conclusão.

DESCRIÇÃO DOS PONTOS	COORDENADAS DOS PONTOS (x,y)					
	PADRÃO (x) (y)		DISTORCIDA (x) (y)		AJUSTADA (x) (y)	
14 TST	352	150	348	173	349	173
15 TST	272	218	269	236	268	237
DESVIO MÉDIO EM X = 0,67 "pixels". DESVIO MÉDIO EM Y = 0,87 "pixels". DESVIO PADRÃO EM X = 0,49 "pixels". DESVIO PADRÃO EM Y = 0,74 "pixels".						

Em geral, supõe-se que a transformação capaz de mapear uma imagem na outra é aproximada por um polinômio (Schowengerdt, 1983; Mascarenhas e Velasco, 1984). No caso do registro realizado, foram testados desde polinômios de 1º grau até o 4º grau, sendo que o registro de melhor qualidade (Tabela 4.4) foi obtido com o polinômio de 1º grau. Neste caso, pode-se dizer que as distorções entre as imagens registradas foram devidas, possivelmente a deslocamentos ou diferença de escalas (Schowengerdt, 1983).

O resíduo do polinômio utilizado no registro foi determinado através do programa REGMED, utilizando os mesmos pontos de controle escolhidos para o registro. Desta forma, o desvio do resíduo calculado foi de 0,96 "pixels" na linha e de 1,08 "pixels" na coluna. A análise de resíduo pode auxiliar na escolha dos pontos de controle, porque se os desvios de alguns pontos estimados pelo polinômio forem maior que um da do limite previamente estipulado, esses pontos poderão ser eliminados ou substituídos. Desta forma, interativamente, poderão ser determinados no vos polinômios, mais precisos, para o mapeamento da imagem.

Com os valores obtidos, a precisão do registro pode ser considerada boa, no que tange à detecção de alterações, pois foram obtidos desvios menores de 1 "pixel".

No registro de imagens, os novos valores dos "pixels" são interpolados. Portanto, a imagem da passagem de 18/julho/1984 sofreu dois processos de interpolação, um na reamostragem e o outro no registro. Assim sendo, decidiu-se verificar, da mesma forma que na reamosvalores originais dos "pixels".

Os resultados deste teste são mostrados na Tabela 4.4 e revelaram não existir diferença significativa entre as amostras compara das.

TABELA 4.4

TESTES PARA AVALIAR AS DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS DAS AMOSTRAS EM  
FUNÇÃO DAS ALTERAÇÕES GEOMÉTRICAS PROVOCADAS PELO REGISTRO

DIFERENÇA DE MÉDIAS	LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA	Z CALCULADO	TESTE DE HIPÓTESE $H_0: \mu_A = \mu_B$
AMOSTRA 4 - AMOSTRA 5 escala reamostr.	ÁREA TEXTURA LISA	-2	ACEITA $H_0$

4.2 - NORMALIZAÇÃO DAS DIFERENÇAS RADIOMÉTRICAS ENTRE AS IMAGENS

4.2.1 - NORMALIZAÇÃO PARA EFEITOS ADITIVOS

Com a utilização do método do valor mínimo do histograma (Chavez Jr., 1975), foram determinados os valores digitais apresentados na Tabela 4.5, os quais foram considerados como efeitos aditivos (sinal não-desejado).

TABELA 4.5

VALORES DIGITAIS CONSIDERADOS COMO EFEITOS ADITIVOS

PASSAGEM	VALORES DIGITAIS	
	MSS CANAL 5	MSS CANAL 7
25/JUL/1980	10	3
18/JUL/1984	11	4

Com a subtração destes valores nos respectivos canais, considerou-se que as imagens utilizadas estavam normalizadas para os efeitos aditivos, isto é, foram desconsiderados os dois últimos termos ( $L_a + R$ ) da Equação 2.2, a qual foi admitida como:

$$L = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) G(\lambda) \left[ T_B(\lambda) T_Z(\lambda) \rho(\lambda) \text{sen}\beta \right] d\lambda. \quad (4.1.)$$

Com esta transformação ocorreu uma melhora na qualidade visual da imagem, realçando os objetos em cena. Este realce foi inversamente proporcional ao comprimento de onda ( $\lambda$ ). Desta forma, nos canais de menor comprimento de onda o realce tornou-se mais perceptível, o que é facilmente explicado pelo fato de os efeitos do retroespalhamento atmosférico diminuírem gradativamente da região do visível para o infravermelho.

4.2.2 - NORMALIZAÇÃO PARA EFEITOS MULTIPLICATIVOS

Os efeitos multiplicativos afetam de forma aproximadamente igual em bandas de comprimento de onda relativamente estreitas e adjacentes (Vincent, 1972; Lillesand and Kiefer, 1979). Adotando tal conceito, estes efeitos foram então normalizados através da razão entre os canais MSS 7 e MSS 5, já transformados em valores de reflectância.

Desta forma, com base na Equação 4.1, considerou-se que as imagens resultantes representam a razão entre a reflectância dos objetos da região do infravermelho pela região do vermelho (Figuras 4.1 e 4.2). Cada "pixel" destas imagens resultantes é o resultado da seguinte transformação:

$$\frac{\rho_7}{\rho_5} = \frac{\frac{\pi \cdot L(7)}{E(7) T_{\beta}(7) T_z(7) \text{sen}\beta}}{\frac{\pi \cdot L(5)}{E(5) T_{\beta}(5) T_z(5) \text{sen}\beta}} = \frac{L(7)}{E(7)} \cdot \frac{E(5)}{L(5)} \quad (4.2)$$

É interessante notar que, no caso da razão de canais utilizada, apesar de realçar a fitomassa, os canais não abrangem bandas de comprimentos de onda adjacentes e o canal 7 especialmente não é uma banda tão estreita quanto as outras. Isto sugere que em trabalhos futuros seja avaliada a razão entre os canais MSS6/MSS5, a qual segundo Maxwell (1976), visto em Tucker (1979), apresentou resultados mais significativos sobre densidade de fitomassa que as razões MSS7/MSS5. Comparando estas razões em termos de redução dos efeitos multiplicativos, a razão MSS6/MSS5 poderá ser mais efetiva, pois neste caso a banda 6 além de ser mais estreita do que a banda 7 é adjacente à banda 5.

#### 4.3 - TRANSFORMAÇÃO DOS VALORES DIGITAIS EM VALORES DE REFLECTÂNCIA

Para a transformação dos valores digitais das imagens MSS em valores de reflectância, utilizando a Equação 3.1, foram utilizados os seguintes valores médios de calibração das radiancias mínima e máxima detectadas pelos sensores, apresentados na Tabela 4.6.

TABELA 4.6

VALORES DE RADIÂNCIA MÍNIMA E MÁXIMA DETECTADOS PELOS SENSORES  
MSS DOS SATÉLITES LANDSAT 2 E 5

	LANDSAT 2		LANDSAT 5	
	L MÍNIMA	L MÁXIMA	L MÍNIMA	L MÁXIMA
MSS 4	0,08	2,63	0,04	2,59
MSS 5	0,06	1,76	0,03	1,70
MSS 6	0,08	1,52	0,04	1,50
MSS 7	0,11	3,91	0,06	3,80

L = radiância em mw.cm.sr

FONTES: Robinove (1982); NASA (1984).

Contudo é importante lembrar que esta é uma equação de aproximação para representar a reflectância de um objeto deve ser utilizada com cautela, pois quando se utiliza somente esta equação (sem outras transformações, como por exemplo a razão de canais), em imagens com ângulo de elevação solar muito baixo, isto é, cerca de 5 graus, ela gera números representativos da reflectância, maiores do que 1, o que é fisicamente inaceitável.

Além disso, para realizar esta transformação, as CCTs de verão estar previamente calibradas segundo os valores de radiâncias mínima e máxima detectadas pelos sensores dos satélites, sendo que esta calibração é realizada durante a produção das CCTs.

As transformações mencionadas nas Seções 4.2 e 4.3 foram realizadas visando minimizar as diferenças radiométricas existentes na aqueles "pixels" que correspondem a um mesmo alvo, sem alterações ou com alterações não-detectáveis pelos sensores MSS, devido, é claro, à baixa resolução radiométrica e espacial destes sensores.

Para avaliar os efeitos das transformações sobre os dados, foi analisado, também no Apêndice F, o coeficiente de variação do

desvio entre amostras que se correspondem espacialmente nas duas passagens.

Da mesma maneira que nos testes anteriores, foram utilizadas amostras "razão" que foram comparadas antes e depois da realização de cada uma das transformações. Para tanto, foram escolhidos dois conjuntos de amostras, uma numa área onde não ocorreu alteração nas duas passagens e o outro numa área de alteração, isto é, onde ocorreu variação no valor radiométrico dos "pixels" de uma passagem para outra.

Com relação ao conjunto de amostras da área sem alteração, a Figura 4.1 mostra como se comportou o coeficiente de variação (CV) dos desvios entre os elementos das amostras após cada transformação.

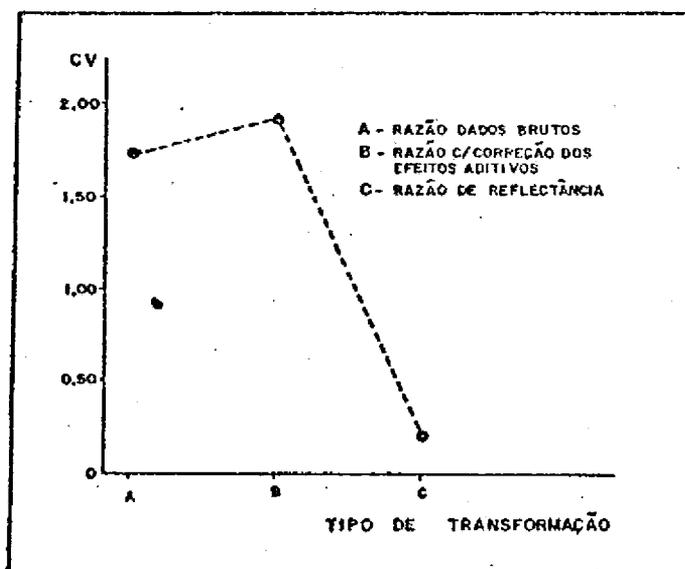


Fig. 4.1 - Gráfico dos coeficientes de variação dos desvios para a amostra da área sem alteração.

Observou-se que em relação ao CV dos dados "razão" brutos, após a primeira transformação (razão dos dados com redução dos efeitos aditivos), ocorreu um ligeiro aumento do CV que decresceu bruscamente após a segunda transformação (razão de reflectância).

Na primeira transformação, o aumento do coeficiente de variação pode ser explicado pelo fato de os efeitos aditivos mascararem os dados contidos nas imagens e, conseqüentemente, com sua redução, aumentam as diferenças existentes entre as imagens.

Na segunda transformação, a conversão dos dados para reflectância e a razão de canais minimizaram as diferenças radiométricas e os efeitos multiplicativos e, por conseguinte, fizeram com que fosse reduzido o CV do desvio entre as amostras.

Com relação ao conjunto de amostras da área onde ocorreram as alterações, a Figura 4.2 mostra que os coeficientes de variação modificaram-se muito pouco (observe a escala do gráfico) durante as transformações. Mesmo assim, pode ser observado um ligeiro aumento nos coeficientes de variação, antes e depois das transformações.

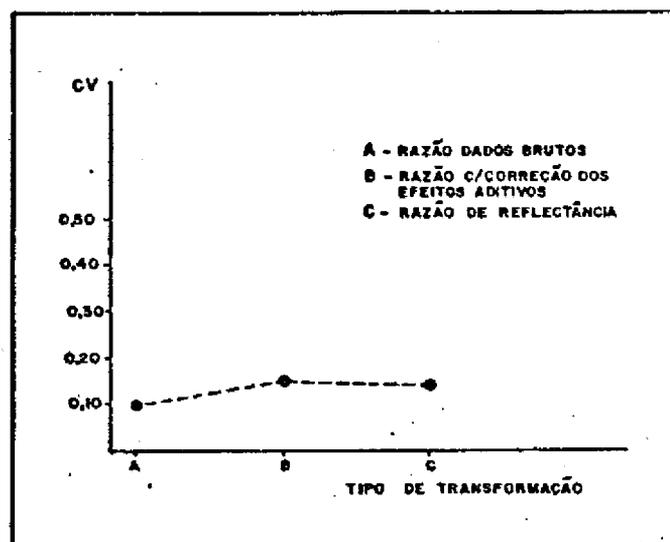


Fig. 4.2 - Gráfico dos coeficientes de variação dos desvios para a amostra da área com alteração.

Esses resultados indicam que é perfeitamente justificável a utilização das imagens transformadas, pois, no caso das amostras das áreas não-alteradas, estas tornaram-se mais parecidas entre si, e no caso das amostras da área com alterações, estas tornaram-se ligeiramente mais diferenciadas.

A fim de ilustrar os resultados obtidos das transformações realizadas nas imagens (Seções 4.2; 4,3) as Figuras 4.3 e 4.4 mostram as razões de reflectâncias entre as imagens MSS 7/MSS 5 e MSS 7/MSS 5 das passagens de 25/julho/1980 e 18/julho/1984, respectivamente.



Fig. 4.3 - Imagem-razão de reflectância MSS 7/MSS 5 da área teste na passagem de 25 de julho de 1980,

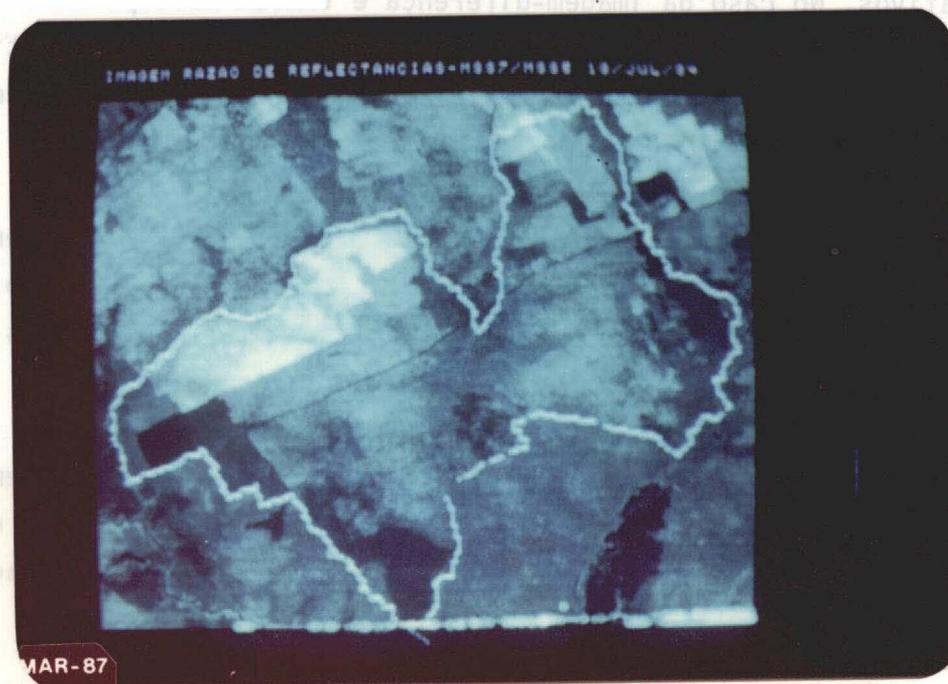


Fig. 4.4 - Imagem-razão de reflectância MSS 7/MSS 5 da área teste na passagem de 18 de julho de 1984.

#### 4.4 - DIFERENÇA MULTITEMPORAL ENTRE RAZÕES DE REFLECTÂNCIA

A imagem-diferença multitemporal resultante desta transformação (diferença multitemporal de razões de reflectância) possui as seguintes características:

- uma imagem real, contínua que varia entre  $-\infty$  e  $+\infty$ , onde a média esperada zero indica não haver alteração.
- as alterações da fitomassa estão distribuídas de forma contínua em torno da média, onde as alterações menos significativas estão mais próximas da média e as alterações mais significativas no final da distribuição em ambos os lados,

Para a representação de uma imagem no vídeo do I-100, é necessário que seus elementos sejam inteiros e positivos. Para tanto, de

ve ser somado um valor (OFFSET) de forma que sejam eliminados os valores negativos. No caso da imagem-diferença é também multiplicado um outro valor (GANHO), para ser possível a representação da imagem, utilizando-se toda a amplitude de variação do sistema de análise digital que vai de 0 a 255 níveis de cinza (8 bits).

Assim sendo, a média esperada da imagem-diferença multitemporal, que representa os "pixels" onde não houve alteração, é igual ao  $OFFSET \times GANHO$  e as classes de alterações estão distribuídas em torno da média, entre 0 e 255 níveis de brilho.

A Figura 4.5 mostra a imagem-diferença multitemporal de razões de reflectância da área teste, com média igual a 44 e desvio padrão igual a 5,92. Esta imagem também poderia ser chamada imagem-diferença multitemporal de índices vegetativos.



Fig. 4.5 - Imagem-diferença multitemporal de razões de reflectância.

O baixo contraste observado é comum nas imagens resultantes de diferenças multitemporais (Colwell, 1983), o que obviamente prejudica a sua análise visual. Como alternativa, estas imagens podem ser normalmente analisadas através do fatiamento (slicer), que é uma técnica de classificação bem simples.

As áreas cujos níveis de cinza são iguais à média representam áreas não-alteradas. As áreas mais escuras (abaixo da média) representam as alterações referentes ao ganho de fitomassa, isto é, áreas desmatadas e/ou gradeadas que foram reflorestadas e/ou houve rebrota da vegetação natural, no caso o cerrado. As áreas mais claras (acima da média) representam as alterações referentes à perda da fitomassa, isto é, áreas reflorestadas que foram degradadas, destruídas ou cortadas e as áreas de vegetação natural (cerrado) que foram desmatadas ou gradeadas.

#### 4.5 - CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM-DIFERENÇA MULTITEMPORAL

A técnica de análise utilizada foi o fatiamento (slicer), e foram determinados os limiares para as separações entre as três classes de alterações da seguinte forma: de 0 até a média - 1/2 desvio padrão = alterações referentes ao ganho de fitomassa; a média + ou - 1/2 desvio padrão = não-alterada; da média + 1/2 desvio padrão até o fim da distribuição = alterações referentes à perda de fitomassa.

A Figura 4.6 mostra a imagem-diferença multitemporal da área teste, fatiada nas seguintes classes: classe 1, alterações referentes ao ganho de fitomassa; classe 2, sem alterações; classe 3, alterações referentes a perda de fitomassa.

Para o estabelecimento destes limiares, poderiam ser utilizados dois procedimentos. O primeiro é um procedimento estatístico desenvolvido por Ingram et alii (1981), visto em Colwell (1983), onde o limiar T é calculado pela Equação Univariada 4,3:

$$T = \bar{y} \pm t_{\alpha, n-1} \cdot s \sqrt{\frac{n+1}{n}}, \quad (4.3)$$

[modificada de Colwell (1983)]

onde

T = limiar inferior e/ou superior,

s = desvio padrão da amostra,

n = tamanho da amostra,

y = média das diferenças entre cenas,

t = valor da distribuição "t" de Student para n-1 graus de liberdade.

No segundo é realizada uma aproximação empírica do limiar. Ela consiste no ajuste iterativo dos limiares em função da observação prévia ou pré-determinada das áreas onde ocorreram ou não alterações.

Consultando uma tabela que contenha a distribuição "t" de Student (Costa Neto, 1977), observou-se que o menor valor de "t" é de 1,282 e corresponde a  $\alpha = 0,10$  para infinitos graus de liberdade.

Paralelamente observando a Equação 4.3, constatou-se que para qualquer valor de s, o limiar T seria igual a  $\bar{y} \pm 1,28 + s$ , isto é, à média + ou - 1,28 vezes o desvio padrão.

Assim sendo, ocorreria um acréscimo no valor do desvio padrão somado à média de pelo menos 1,28 vezes (caso fosse utilizado este valor de "t"), devido à margem de segurança da pelo valor de "t".

Como na imagem-diferença multitemporal gerada neste trabalho, procurou-se minimizar as variações entre as cenas devido a fatores externos às alterações propriamente ditas. Concluiu-se que os limiares deveriam ser calculados em função de valores inferiores a um desvio padrão em relação à classe não-alterada.

Assim sendo, optou-se pelo segundo procedimento na determinação dos limiares estabelecidos anteriormente para as classes, conforme

pode ser visto na Figura 4.6. Esta figura apresenta a imagem-diferença multitemporal fatiada nas seguintes classes: 1) alterada devido à redução de fitomassa (azul); 2) alterada devido ao aumento de fitomassa (verde); 3) não alterada (amarelo).

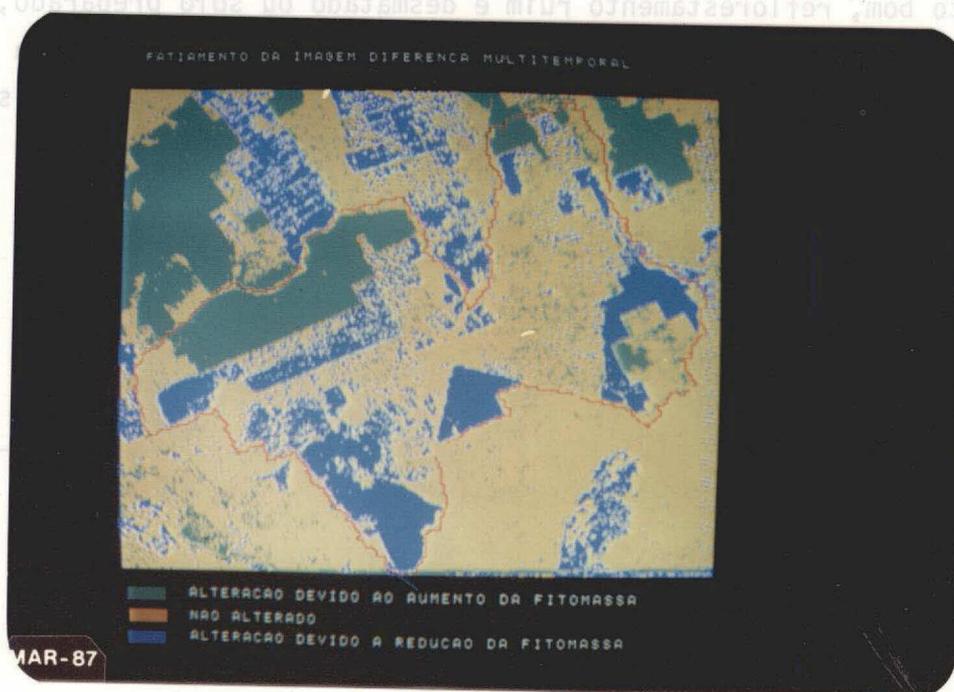


Fig. 4.6 - Fatiamento da imagem-diferença multitemporal.

#### 4.6 - CLASSIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA

Esta classificação foi desenvolvida para ser comparada com a classificação resultante dos procedimentos efetuados neste trabalho, visto que o desenvolvimento de uma classificação de verdade terrestre, utilizando as fotografias aéreas e os outros dados de campo disponíveis, não seria interessante em virtude da defasagem nas datas de aquisição destes dados com relação às imagens utilizadas. Além disto, encontraram-se problemas operacionais com relação à digitalização das fotografias aéreas e dos mapas, afastando-se a possibilidade de realizar a classificação de verdade terrestre.

Com a utilização das mesmas imagens, foi realizada uma classificação temporal/espectral, supervisionada, através do Sistema MAXVER, onde foram determinadas, a princípio, 14 classes de alterações resultantes da combinação entre as seguintes classes: cerrado, reflorestamento bom, reflorestamento ruim e desmatado ou solo preparado, ou ainda povoamento totalmente destruído nas duas passagens. A Tabela 4.7 mostra as 14 classes resultantes da combinação das classes iniciais definidas para cada passagem.

TABELA 4.7

COMBINAÇÃO DE CLASSES DEFINIDAS PARA A  
CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL/ESPECTRAL

CLASSES	MSS/1980		MSS/1984	
1	CERRADO	C	CERRADO	C
2	REFLOR.BOM	R	REFLOR. BOM	R
3	REFLOR.RUIM	S	REFLOR. RUIM	S
4	DESM./PREP.	D	DESM./DESTR.	D

---

COMBINAÇÃO DE CLASSES UTILIZADAS NA AQUISIÇÃO DAS AMOSTRAS

---

CLASSIFICAÇÃO 1	CLASSIFICAÇÃO 2
CC - CERRADO 80/CERRADO 84 RR - REF. BOM 80/REF. BOM 84 SS - REF. RUIM 80/REF. RUIM 84 DD - DESM/PREP.80/DESM/DESTR. 84	CC - NÃO ALTERADA
CS - CERRADO 80/REF. RUIM 84 DS - DESM./PREP. 80/REF. RUIM 84 DC - DESM./PREP. 80/REF. BOM 84 CR - CERRADO 80/REF. BOM 84 DR - DESM./PREP. 80/REF. BOM 84	CS - GANHO DE FITOMASSA
CD - CERRADO 80/DESM./DESTR. 84 RC - REF. BOM 80/CERRADO 84 SC - REF. RUIM 80/CERRADO 84 RD - REF. BOM 80/DESM./DESTR. 84 SD - REF. RUIM 80/ DESM./DESTR. 84	CD - PERDA DE FITOMASSA

Na fase da classificação que correspondeu à aquisição das amostras para cada uma das classes da Tabela 4.7, cada uma delas foi escolhida de acordo com a análise visual das imagens MSS e TM, em conjunto com as fotografias aéreas e com os dados disponíveis.

Para esta análise visual foi estabelecida uma chave de interpretação, mostrada na Tabela 4.8, em função do aspecto apresentado pelas quatro classes iniciais nas imagens MSS e TM utilizadas.

TABELA 4.8

CHAVE DE INTERPRETAÇÃO PARA AS IMAGENS MSS E TM UTILIZADAS

CLASSES	CANAIS		TM 5
	MSS 5 e TM 3	MSS 7 e TM 4	
CERRADO	cinza-médio ao cinza-claro	cinza-médio ao cinza-claro	cinza-escuro ao cinza-médio
REF. BOM	cinza-escuro cinza-escuro	cinza-claro cinza-médio	cinza bem escuro ao cinza escuro
REF. RUIM	mosqueado ao cinza-médio	mosqueado ao cinza-claro	cinza-escuro mosqueado
DESM./PREP. DESTR.	cinza-claro mosqueado	cinza-claro mosqueado	cinza muito claro mosqueado

A classe "cerrado" representa todos os tipos de cerrado encontrados na região onde está contida a área teste.

A classe "reflorestamento bom" representa os povoamentos florestais com idade superior a três anos, os quais apresentam uma cobertura homogênea, isto é, a densidade de cobertura medida com uma grade de pontos nas fotografias aéreas foi superior a 70%.

A classe "reflorestamento ruim" representa os povoamentos florestais com idade superior a três anos, os quais apresentam uma cobertura heterogênea com várias clareiras, cuja densidade de cobertura medida da mesma maneira foi inferior a 70%.

A classe "desmatada, e/ou preparada e/ou destruída" representa as áreas que foram recentemente desmatadas ou preparadas para plantio (em relação às datas das imagens) e aqueles povoamentos florestais destruídos ou em fase avançada de degradação.

A diferenciação quanto aos tipos desmatado e/ou preparado, desmatado e/ou destruído, ou ainda entre preparado e/ou destruído foi realizada a partir da análise do aspecto temporal das imagens.

Um outro ponto importante a observar é que as combinações de classe não-mostradas referentes ao desenvolvimento ou à degradação dos povoamentos e do "cerrado" foram incluídas dentro daquelas classes que as representam, em função do aumento ou da redução da fitomassa. Um exemplo disto seria a classe "reflorestamento bom/reflorestamento ruim", incluída na classe "reflorestamento/cerrado", tendo em vista que os tons de cinza que caracterizam as áreas reflorestadas, cujo estado fitossanitário é ruim, confundem-se com aqueles que caracterizam o cerrado, diferindo apenas do "mosqueado", em geral não presente nas áreas de cerrado. Esta confusão ocorre também pelo fato de que no interior das clareiras encontradas dentro das áreas de "reflorestamento ruim" normalmente ocorre a regeneração do cerrado, que é a vegetação original da região.

A Tabela 4.9 mostra a matriz e o desempenho de classificação obtidos nesta primeira classificação.

TABELA 4.9

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO E DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO PARA AS 14 CLASSES

***MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO***														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. CC	67,4	0,0	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,5	0,0	0,0
2. RK	0,0	98,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
3. SS	18,5	0,0	71,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	2,8	0,0
4. DP	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5. CS	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6. IS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7. BC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8. CK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9. DR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10. CN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11. KC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,7	0,0	0,0	8,3
12. SD	8,0	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,0	2,0	0,0
13. SV	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	92,0	0,0
14. RD	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	0,0	0,0	91,0
DESEMPENHO MÉDIO DM=									85,5%					
ABSTENÇÃO MÉDIA AM=									0,1%					
CONFUSÃO MÉDIA CM=									14,4%					

Posteriormente as amostras correspondentes as 14 classes foram englobadas, de acordo com sua semelhança (relacionada com o aumento ou redução da fitomassa), em três grandes classes. Com estas classes foi realizada uma nova classificação, cujo desempenho e a matriz de classificação são apresentados na Tabela 4.10.

TABELA 4.10

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO E DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO  
OBTIDOS NA SEGUNDA CLASSIFICAÇÃO

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO			
	1	2	3
1 CC	97,3	0,7	1,2
2 CS	8,7	91,9	0,0
3 CD	6,3	0,0	93,9
DESEMPENHO MÉDIO DM = 95,1%			
ABSTENÇÃO MÉDIA AM = 0,3%			
CONFUSÃO MÉDIA CM = 4,5%			

Esta experiência mostrou que com este tipo de classificação foi possível detectar uma gama de alterações (14 classes) que ocorreram num dado período de tempo, com desempenho satisfatório e compatível com as normas de reconhecimento para mapas, o qual pode ser visto na Tabela 4.9. Entretanto, muito tempo foi necessário para adquirir as áreas de treinamento, mesmo de posse da quantidade de dados disponíveis e do conhecimento prévio da área teste.

Poder-se-ia ter escolhido qualquer uma das técnicas de detecção de alterações descritas no Capítulo 2; todavia a classificação temporal/espectral foi escolhida por ser, segundo Weismiller et alii (1977), a técnica mais complexa e com um potencial a ser ainda desenvolvido e também porque, com o auxílio dos dados disponíveis, aliados ao conhecimento prévio da área teste, poder-se-iam determinar diversas classes de alterações devido à grande flexibilidade na aquisição e na análise das amostras de cada classe, possível com o sistema de classificação utilizado.

Isto reafirma que a classificação temporal/espectral é realmente um procedimento complexo, a qual pode ser utilizada em regiões onde exista uma disponibilidade suficientemente grande de dados para supervisioná-la. A não-existência destes dados auxiliares pode eventualmente inviabilizar a utilização deste tipo de classificação.

A Figura 4.7 mostra a classificação de referência resultante da classificação temporal/espectral, na qual podem ser identificadas as mesmas classes de alteração já definidas no parágrafo referente à Figura 4.6.

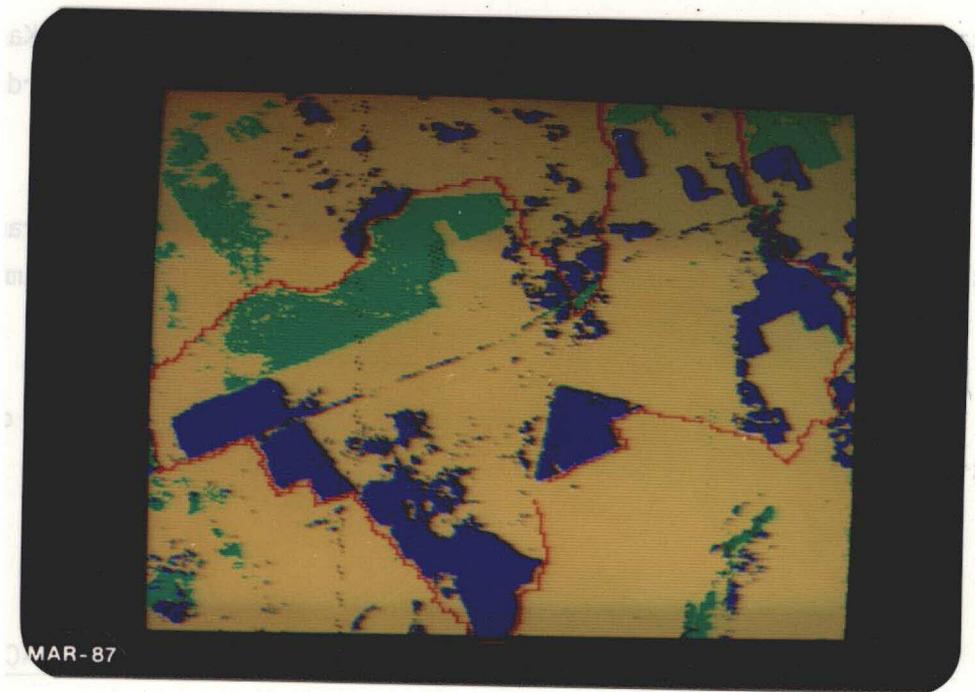


Fig. 4.7 - Classificação temporal/espectral em três classes.

#### 4.7 - EXATIDÃO DOS RESULTADOS

Para a comparação entre as duas classificações, é necessário que as classes dentro de cada uma delas sejam representadas pelo mesmo valor digital, o que foi realizado pelo programa de geração de cores GERCOR (INPE-DSC-LTID, 1985).

Desta forma, a comparação entre as duas classificações foi realizada pelo programa MATERR (Apêndice C) utilizando um método não-paramétrico, tendo em vista o não-conhecimento da distribuição dos parâmetros de cada uma das classes.

Assim sendo, na matriz de erros gerada pela comparação entre a classificação de referência e a imagem-diferença multitemporal, foram calculados o grau de concordância entre as duas classificações e o grau de concordância entre cada classe isoladamente dentro das classi

ficações. Estes cálculos foram realizados pela estatística "Kappa" (Capítulo 2, Seção 2.7), utilizada para avaliar o grau de concordância entre as categorias (classes) de uma dada matriz de erros.

Os pontos que produziram a matriz de erros foram adquiridos de forma sistemática, não só dentro da área teste, mas também em toda a área classificada.

A Tabela 4.11 mostra os resultados dos valores de "Kappa" estimados não só para a matriz de erros, mas também para cada classe.

TABELA 4,11

RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA ENTRE AS CLASSIFICAÇÕES

CLASSES OU CATEGORIAS								
1 - ALTERAÇÕES REFERENTES AO GANHO DE FITOMASSA								
2 - NÃO-ALTERADA								
3 - ALTERAÇÕES REFERENTES À REDUÇÃO DE FITOMASSA								
MATRIZ DE ERROS				MATRIZ DE ERROS NORMALIZADA				
	1	2	3		1	2	3	
1	745	706	0	1	0,1545	0,1464	0,0000	
2	1	1938	173	2	0,0002	0,4019	0,0359	
3	0	173	1086	3	0,0000	0,0359	0,2252	
$\hat{K} = 0,65$								
ANÁLISE POR CATEGORIA (CLASSE) SEPARADAMENTE								
CATEGORIA 1		CATEGORIA 2		CATEGORIA 3				
1	OUTRAS(X)	2	OUTRAS(X)	3	OUTRAS(X)			
1	0,1545	0,1464	2	0,4019	0,0361	3	0,2252	0,0359
X	0,0002	0,6989	X	0,1823	0,3797	X	0,0359	0,7389
$\hat{K} = 0,60$		$\hat{K} = 0,57$		$\hat{K} = 0,81$				
TESTE DE HIPÓTESE (AO NÍVEL DE 0,01)								
H 0: $\hat{K}=0$ (não existe concordância)								
H 1: $\hat{K}>0$ (existe concordância)								
Z crítico (unilateral) = 2,33								

Continua

Tabela 4,11 - Conclusão.

CATEGORIA 1 ... Z calculado = 45,19; rejeita H0
CATEGORIA 2 ... Z calculado = 41,47; rejeita H0
CATEGORIA 3 ... Z calculado = 56,53; rejeita H0

Os valores de concordância obtidos podem ser considerados, de acordo com Landis e Koch (1977), como regulares para todas as classes, sendo que na classe 3 o grau de concordância foi um pouco maior que nas outras duas. O teste de hipótese realizado indica a existência de uma concordância significativa entre as classificações comparadas.

Para esta avaliação, partiu-se da premissa que "a ocorrência de um alto grau de concordância entre as classificações indicaria que ambas as técnicas comparadas detectavam com exatidão as alterações ocorridas na cobertura vegetal". Logo, com os resultados obtidos, não foi possível aceitar integralmente a proposição acima.

Em virtude destes resultados, decidiu-se analisar visualmente alguns pontos dentro das classes, em cada uma das classificações de "detecção de alterações", comparando-as com as imagens-razão de reflectância multitemporal das duas passagens utilizadas.

Esta análise revelou que alguns pontos nas classes onde ocorreu um aumento ou redução parcial da fitomassa foram englobados na classe "não-alterada" pela segunda classificação temporal/espectral, enquanto na classificação da imagem-diferença multitemporal, eles foram incluídos nas respectivas classes, de acordo com o tipo de alteração.

Como exemplo, a transformação da classe "reflorestamento bom" (R) na passagem anterior, para a classe "reflorestamento ruim" (S) na passagem posterior, foi englobada na classe "não-alterada" pela segunda classificação temporal/espectral e na classe "alterada com perda de fitomassa" pela outra. Este exemplo pode ser facilmente verificado observando as Figuras 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

Assim sendo, somando os valores de concordância obtidos pelo procedimento estatístico com o que foi constatado na análise visual, os resultados indicam, neste caso, que a classificação da imagem-diferença multitemporal apresentou melhor desempenho quando comparada com a classificação temporal/espectral.

Entretanto, a classificação temporal/espectral é uma técnica com grande potencial, no que se refere ao número de classes de alterações, para ser utilizada na detecção de alterações, quando existem dados disponíveis para auxiliar a classificação.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia desenvolvida para a detecção de alterações permitiu detectar as alterações significativas da cobertura vegetal, em função do ganho ou da perda de fitomassa.

Com a reamostragem, as imagens obtidas de satélites e de sensores diferentes (LANDSAT 2 MSS; LANDSAT 5, MSS e TM), puderam ser comparadas, visto que ocorreu uma normalização nas suas características geométricas.

Com o registro de imagens, foi possível corrigir as diferenças na localização dos mesmos objetos nas imagens de passagens diferentes, fazendo-os coincidir espacialmente com uma precisão média em torno de 1 "pixel".

A transformação dos números digitais em valores de radiância e/ou reflectância para as imagens MSS LANDSAT, obtidas de diferentes satélites, é aconselhável, pois através dela consegue-se uma normalização das variações entre as características radiométricas das imagens geradas por cada um deles. No caso deste trabalho, esta transformação diminuiu a variabilidade para as áreas onde não ocorreram alterações, facilitando a comparação multitemporal realizada. Entretanto, esta transformação poderia ser dispensável, quando forem comparadas imagens MSS, de um mesmo satélite, obtidas em um período onde ocorreram recalibrações nos sensores.

Com o fatiamento da imagem-diferença multitemporal da razão de reflectância entre os canais MSS 5 e MSS 7 (MSS 7/MSS 5), foi possível obter informações das mudanças ocorridas na densidade de fitomassa (aumento ou redução), permitindo caracterizar as alterações que ocorreram nos povoamentos florestais e na vegetação circunvizinha da área teste.

A comparação da classificação resultante do fatiamento com a classificação de referência, revelou a existência de concordância significativa (ao nível de 0,01) entre elas. Assim sendo, pode-se afirmar que, pelo menos para os pontos coincidentes na comparação, ambas as classificações evidenciaram "realmente" as alterações ocorridas na cobertura vegetal no período de tempo entre as imagens.

A "diferença de imagens" foi escolhida por ser uma técnica eficiente e também de fácil implementação. Assim sendo, desenvolveu-se uma variante desta técnica, na qual levou-se em consideração, além do realce da fitomassa (Capítulo 2), a normalização das características radiométricas dos sensores (transformação em reflectância), com o intuito de aumentar ainda mais a eficiência na detecção das alterações em relação à técnica escolhida.

Em face dos resultados obtidos, recomenda-se o desenvolvimento de novas metodologias, utilizando-se as imagens multiespectrais do "TM" e do "SPOT", baseadas nesta e em outras técnicas de detecção de alterações, para serem utilizadas na detecção de alterações da superfície do terreno, não só na área dos recursos florestais, mas em outras áreas afins.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFORD, W.; BARKER, J. *LANDSAT 4 multispectral scanner (MSS) subsystem radiometric characterization*. Silver Spring, MD., Feb. 1983, (CSC-435-D-404). S.N.T.
- ANDERSON, J.R. Land use and land cover changes; a framework for monitoring. *Journal for Research of United States Geological Survey*, 5(2): 143-153, Mar-Apr, 1977, p. 143-153.
- BANNER, V.A.; LYNHAM, T. Multitemporal analysis of LANDSAT data for forest cutover mapping: a trial of two procedures. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 7., Winnipeg, Manitoba, Canada. Sep. 8-11, 1981. *Proceedings*. Ottawa, Canadian Aeronautics and Space Institute [1981]. p. 233-240.
- BENSON, A.S.; DE GLORIA, S.D. Interpretation of thematic mapper and multispectral scanner data for forest surveys. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 51(9): 1281-1289, Sept. 1985.
- BISHOP, Y.; FIENBERG, S.; HOLLAND, P. *Multivariate analysis; theory and practice*. Cambridge, MA. MIT Press, 1975, 575p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. Diretoria de Serviço Geográfico. *Carta do Brasil; escala 1:100.000*, Rio de Janeiro, 1973,
- BYRNE, G.F.; CRAPPER, P.F.; MAYO, K.K. Monitoring land cover change by principal component analysis of multitemporal LANDSAT data. *Remote Sensing of Environment*, 10(10): 175-184, Oct, 1980.
- CÂMARA NETO, G. Métodos de interpolação em imagens digitais por meio de técnicas de projeto de filtros F.I.R. São José dos Campos, INPE, 1982a. 121p. (INPE 2663-TDL/120).
- CÂMARA NETO, G. *Programa REAMOS*. São José dos Campos, 1982. Programa disponível em disco, fita e listagem para utilização no I-100, no arquivo de documentação de software do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais - INPE-DSC-LTID.
- CARNEIRO, C.M.R. *Curso básico de sensoriamento remoto*. Brasília, PNUD/FAO/IBDF, 1980. 198p. (Série Técnica N.6). Apostila publicada no projeto FAO/BRA/78/003.

- CHAVEZ JÚNIOR, P. Atmospheric, solar, and MTF corrections for ERTS digital imagery, IN: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY CONVENTION, Phoenix, AZ. Oct, 1975. *Proceedings*. S.N.T:
- CONGALTON, R.G.; MEAD, R.A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 49(1): 69-74, Jan., 1983.
- CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.G.; MEAD, R.A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(12): 1674-1678, Dec., 1983.
- CRAPPER, P.F.; HYNSON, K.C. Change detection using Landsat photographic imagery. *Remote Sensing of Environment*, 13( ):291-300, Sept., 1983.
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 3(3): 175-183, 1974.
- COLWELL, R.W. *Manual of remote sensing*. Falls Church, VA., American Society of Photogrammetry. 1983. 2v.
- COSTA NETO, P.L. de O. *Estatística*. São Paulo, Edger Blucher, 1977.
- DUGGIN, M.J. Factors limiting the discrimination and quantification of terrestrial features using remotely sensed radiance. *International Journal of Remote Sensing*, 6(1): 3-27, Jan., 1985.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Mapa esquemático dos solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro Oeste do Brasil*. Rio de Janeiro. 1975. (Boletim técnico N.17).
- EYTON, J.R. Landsat multitemporal color composites. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(2): 231-235, Feb, 1983.
- FLEISS, J.L. *Statistical methods for rates and proportions*. New York, NY. J.Wiley, 1981.
- FORESTI, C.; OLIVEIRA, M.L.D. de.; NIERO, M.; LIMA, U.M.B.; PARREIRAS, E.M.M.F. The use of image registration technique in Brasilia's urban growth monitoring. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 18., Paris, Oct. 1-5, 1984. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, 1984, v,1, p.613-620.

- GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. Washington D.C., National Academy of Sciences, 1970.
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais utilizando-se dados Landsat*. São José dos Campos, INPE, Jun. 1978. (INPE-1271-TPT-089).
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; SANTANA, C.C. de *Relatório de atividades do Projeto IBDF/INPE (Subprojeto Reflorestamento) durante o ano de 1978*. São José dos Campos, INPE, dez. 1978. (INPE-1408-NTE/141).
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; MEDEIROS, J.S.; SANTANA, C.C. de; ALVES, E.C.M. *Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (Subprojeto Reflorestamento) durante o ano de 1979*. São José dos Campos, INPE, Jan. 1980. (INPE-1664-RPE/104).
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; *Monitoramento de áreas reflorestadas através dos dados Landsat*. São José dos Campos, INPE, jun. 1981. (INPE-2091-RPE/321).
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; MEDEIROS, J.S. de; ASSIS, O.R. de *Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (Subprojeto Reflorestamento) durante o ano de 1981*. São José dos Campos, INPE, Jun. 1982. (INPE-2434-RTR/094).
- HOLBEN, B.N.; JUSTICE, C.O. The topographic effect on spectral response from Nadir-Pointing sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46(9): 1191-1200, Sept., 1980.
- HOWARTH, P.J.; WICKWARE, G.M. Procedures for change detection using Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(3): 277-291, Mar., 1981.
- HOWARTH, P.J.; BOASSON, E. Landsat digital enhancements for change detection in urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 13(5): 149-160, 1983.
- INGRAM, K.J.; KNAPP, E.; ROBINSON, J.W. *Change detection technique development for improved urbanized area delineation*. Silver Springs, MD. Computer Science, 1981. (C.S.C./TM-81/6087).

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Carta do Brasil ao milionésimo*. Rio de Janeiro. 1972.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Geografia do Brasil. Região Centro-Oeste*. Rio de Janeiro, 1977.
- JUSTICE, C. An examination of the relationships between selected ground properties and Landsat MSS data in an area of a complex terrain in Southern Italy. IN. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. Fall meeting. Albuquerque, NM, 1978. *Proceedings*. p. 303-328.
- KOWALIK, W.S.; MARSH, S.E.; LYON, R.J.P. *The effect of several atmospheric corrections on Landsat 5/4 ratios*. Palo Alto, CA. Stanford Univ. 1978. 41p. (SRLS. Technical report 78-15).
- KRIEGLER, F.J.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F.; RICHARDSON, W. Preprocessing transformation and their effects on multispectral recognition. IN. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT., 6., Ann Arbor, MI, Oct. 13-16, 1969. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Willow Run Lab., 1969, p. 97-117.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Suporte Computacional. Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais, (INPE-DSC-LTID). *Sistemas de tratamento de imagens digitais; manuais de usuário*, São José dos Campos, Nov., 1985.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. New York, N.Y.; John Wiley, 1979, 612p.
- LANDIS, J.; KOCH, G.G. The measurements of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33(3): 159-174, Mar., 1977.
- LINTZ Jr., J.; J. SIMONETTI, D. *Remote sensing of environment*. Reading, MA. Addison - Wesley, 1976. 694p.
- MALILA, W.A. Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. IN: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, AND SOIL INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING AND SOIL SURVEY. 6, Purdue University, West Lafayette, ID., June, 3-6, 1980, *Proceedings*. New York, NY, IEEE, 1980, p.326-335.

- MASCARENHAS, N.D.A.; VELASCO, F.R.D. *Processamento digital de imagens*. São Paulo, USP. Instituto de Matemática e Estatística, USP. São Paulo. 1984. 2v. Livro apresentado na Quarta Escola de Computação, USP, IME, São Paulo, 12 a 20 de julho de 1984.
- MIDDLETON, E.M.; LU, Y.C. Evaluating the radiance transformation for normalizing Landsat data. IN: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 8., Purdue University, West Lafayette, ID., July, 7-9, 1982. *Proceedings*. West Lafayette, ID., Purdue Research Foundation, 1982. p. 326-335.
- MIDDLETON, E.M.; LU, Y.C. Using the solar elevation angle and radiance conversion to normalize forest spectral signatures. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 17., Ann Arbor, MI, May, 9-13, 1983. *Proceedings*. Ann Arbor, MI., ERIM, 1983. v.2 p. 895-905.
- NASA, *Landsat to ground station interface description*; Revision 8. Washington, DC. 1984.
- NELSON, R. Defining temporal window for monitoring forest canopy defoliation using Landsat. IN: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY ACSM-ASP, Meeting, Washington, D.C., 1981. *Technical Papers*. p-367-387. S.N.T.
- NELSON, R. *Detecting forest canopy change using Landsat*. Greenbelt, MD. 1982. 80p. (NASA/GSFC. Agristars TM 83918),
- NELSON, R. Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(9): 1303-1314, 1983.
- NELSON, R. Reducing Landsat scene variability. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51(5): 583-593, 1985.
- PEARSON, R.L.; MILLER, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands Colorado. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, MI, Oct., 2-6, 1972. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Willow Run Lab., 1972. p. 1355-1379.

- PEREIRA, M.D.B. *Correlação de fitomassa foliar de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS Landsat e por radiometria de campo.* São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3467-PRE/710).
- REEVES, R. *Manual of remote sensing.* Falls Church, VA., ASP, 1975. v.1.
- ROBINOVE, C.J. Computation with physical values from Landsat digital data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(5): 782-784, May, 1982.
- RUBEC, C.D.; THIE, J. Land use monitoring with Landsat digital data in southwestern Manitoba. IN: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 5., Victoria, 1978. *Proceedings*, S.N.T. p.136-149.
- RUDORF, B.F.T. *Dados Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar.* São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3744-TDL/202).
- SCHOWENGERDT, R.A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing.* New York, NY, Academic Press. 1983.
- SHEPARD, J.R. A concept of change detection. *Photogrammetric Engineering*, 30(7): 648-651, July, 1964.
- SLATER, P.N. *Remote sensing: optics and optical systems.* Reading, MA. 1980, Addison Wesley.
- STAUFFER, M.L.; MCKYNEY, R.L. *Landsat image differencing as an automated land cover change detection technique.* Greenbelt, MD, NASA, Goddard Space Flight Center, Aug., 1978. (NASA/CR 170476).
- STOW, D.A.; TYNEY, L.R.; ESTES, J.E. Deriving land use/land cover change statistics from Landsat: a study of prime agricultural land. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., San José, Apr., 23-30, 1980. *Proceedings*. Ann Arbor, MI. ERIM. 1980, p. 1227-1237.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing to quantitative approach.* West Lafayette, IN, Mac Graw Hill, 1978.
- SWITZER, P.; KOWALIK, W.S.; LYON, R.J.P. Estimation of atmospheric path radiance by covariance matrix method. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(10): 1469-1476, Oct., 1981.

- TARANIK, J.V. *Principles of computer processing of Landsat data for geological applications*. Sioux Falls, SD, 1978. 50p. (U.S. Geological Survey Open File Report, 78-117).
- TOLL, W.A.; ROYAL, J.A.; DAVIS, J.B. Urban area update procedures using Landsat data. IN: AMERICA SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, Fall Technical Meeting. Niagara Falls, NY, Oct., 7-10, 1980. *Technical papers*. Falls Church, VA, ASP, 1980. p. RS-1-E-1 - RS-1-E-17.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(5): 127-150, May, 1979.
- TUCKER, C.J. Radiometric resolution for monitoring vegetation. How many bits are needed? *International Journal of Remote Sensing*, 1(3): 241-254, Jul-Sep, 1980.
- VINCENT, R.K. An ERTS multispectral scanner experiment for mapping iron compounds. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. 8., Ann Arbor, MI, Oct., 2-6, 1972. *Proceedings*. Ann Arbor, MI. Willow Run Lab, 1972. p. 1355-1379.
- VERDIN, J. Corrected vs. uncorrected Landsat 4 MSS data. *Landsat Data Users Notes*, n.27, June, 1983. p. 4-7.
- WEISMILLER, R.A.; KRISTOFF, S.J.; SCHOLZ, D.K.; ANUTA, P.E.; MOMIM, S.A. Change detection in coastal zones environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(12): 1533-1539, Dec., 1977.



## APENDICE A

### PROGRAMA REGMED

Este programa calcula o desvio médio, o desvio padrão dos desvios e a raiz média quadrática entre as coordenadas consideradas como distorcidas e as novas coordenadas ajustadas para um arquivo de pontos de teste. Estes cálculos são realizados segundo o que foi apresentado no Capítulo 2, seção 2.4, sobre qualidade do registro.

As novas coordenadas ajustadas são calculadas através do polinômio gerado pelo programa OBTCOE, do Sistema de Registro SISREG (INPE-DSC-LTID, 1985), com o arquivo de pontos de controle utilizado no registro de imagens.

```
#
#
# PROGR/CLAS : REGMED - REG
#
# AUTOR      : FERNANDO AUGUSTO NITSUO II
#            : SOLANGE BUENO DE OLIVEIRA
#            : JOSE SIMAO DE NEZEIROS      JUL-85
#
# RESUMO    : CALCULO DA PRECISAO DO REGISTRO ATRAVES DO
#            : ERRO MEDIO QUADRATICO. AS COORDENADAS SAO
#            : CALCULADAS PARA OS PONTOS DE TESTE ATRAVES
#            : DO POLINOMIO GERADO NO PROGRAMA GETCOE DO
#            : SISTEMA DE REGISTRO SISREG.
#
#            : PDP 1145 / I-108.
#
# ENTRADAS  : ARQUIVO 'X'.COE, 'X'.TST
#
# SAIDAS    : ERRO MEDIO EM X, E EM Y, DESVIO PADRAO EM X E EM Y
#            : RAIZ MEDIA QUADRATICA.
#
# LINKEDICA : REG100=REG105, (200, 200)IML10/LB, F4POTS/LB
#            : //
#
#
```

```
PROGRAM REGMED
IMPLICIT      INTEGER(A-G,S-Z)
BYTE         A(74),FLN(14),DESCR(130,45)
DOUBLE PRECISION CX(45),CY(45)
REAL         TXY(45),VERSAO,COORD(4,45),SQD,THS
INTEGER*4    MCR
CHARACTER*29 RD
DATA        VERSAO/'1-80'/
DATA        RD(29:29)/'13'/
DATA        RD/'RUN (1,74)REG100/TASK=REG100'/
X DATA     MCR/'6MCR...'/
DEFINE      (BEGIN=())
DEFINE      (ENDB=())
```

```
#
#
# CALL ASSIGN(4,'TI:')
# CALL OUTPUT(27,12)
# WRITE(4,1)VERSAO
# 1  FORMAT(30X,'* REGMED R',A4,' *'/)
```

```
# LEITURA DO NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA
```

```
#
# REPEAT
# BEGIN
#   WRITE(4,7)
# 7   FORMAT('/'NOME DO ARQUIVO S/ EXTENSAO ')
#     CALL OUTPUT(7)
#     READ(4,51A)
# 6   FORMAT(74A11)
#     CALL FRONT(A,74)
#     IF(A(11).EQ.'X') GO TO 5999
```

```
ENDB
UNTIL (A(I).NE.' ')
KSZ=#
DO I=1,1#
BEGIN
  IF(A(I).EQ.' ') BREAK
  KSI=KSZ+1
  FLN(KSZ)=A(I)
ENDB
IF(FLN(KSZ).NE.' ') BEGIN
  KSZ=KSZ+1
  FLN(KSZ)=' '
ENDB

FLN(KSZ+1)='C'
FLN(KSZ+2)='D'
FLN(KSZ+3)='E'
KSZ=KSZ+3

#
# LEITURA DO ARQUIVO
#
CALL FDBSET(3,'GLD')
CALL ASSIGN(3,FLN,KSZ)
READ(3)IGRAU,NPMIN,(CX(I),I=1,NPMIN),(CY(I),I=1,NPMIN)
CALL CLOSE(3)
FLN(KSZ-2)='T'
FLN(KSZ-1)='S'
FLN(KSZ)='T'
CALL FDBSET(3,'OLD')
CALL ASSIGN(3,FLN,KSZ)
READ(3)COORD,DESCRI
CALL CLOSE(3)

#
# NUMERO DE PONTOS EXISTENTES NO ARQUIVO
#
TXY(1)=1.
NPONT=#
DO I=1,45
BEGIN
  IF ((COORD(1,I).EQ.(-1)).OR.(COORD(3,I).EQ.(-1)))NEXT
  NPONT=NPONT+1
ENDB
WRITE(4,3#)(FLN(I),I=1,14),NPONT
3# FORMAT(/' NO ARQUIVO ',14A1,' EXISTEM',I3,' PONTOS')
WRITE(4,32)
32 FORMAT(/,3I,'PADRAO',6X,'DISTORCIDA',6X,'AJUSTADA')

DO IP=1,NPONT
BEGIN

#
# CALCULA TERMOS DO POLINOMIO
#
JB=1
DO I=1,IGRAU
BEGIN
  DO J=1,I
  BEGIN
    JB=JB+1
```

```

      KB=JB-1
      TXY(JB)=COORD(1,IP)*TXY(KB)
    ENDB
    JB=JB+1
    TXY(JB)=COORD(2,IP)*TXY(KB)
  ENDB
*
* CALCULA POSICAO DO PONTO NA IMAGEM DE REFERENCIA
*
    RX=0.
    RY=0.
    DO I=1,NPMIN
    BEGIN
      RX=RX+TXY(I)*CX(I)
      RY=RY+TXY(I)*CY(I)
    ENDB
    PX=RX+0.5
    PY=RY+0.5
    WRITE(4,3)COORD(1,IP),COORD(2,IP),COORD(3,IP),COORD(4,IP),PX,PY
    FORMAT(/,4(F5.0,2X),2(I5,2X))
3)
    RXD=RXD+ABS(PX-COORD(3,IP))
    RYD=RYD+ABS(PY-COORD(4,IP))
    SQD=SQD+(PX-COORD(3,IP))**2+(PY-COORD(4,IP))**2
    ENDB
    RMXD=RXD/NPONT
    RMYD=RYD/NPONT
    TMS=SQRT((1./(NPONT-1.))*SQD)
    RXD2=0
    RYD2=0
    TXY(1)=1.
    DO IP=1,NFONT
    BEGIN
*
* CALCULA TERMOS DO POLINOMIO
*
    JB=1
    DO I=1,IGRAU
    BEGIN
      DO J=1,I
      BEGIN
        JB=JB+1
        KB=JB-1
        TXY(JB)=COORD(1,IP)*TXY(KB)
      ENDB
      JB=JB+1
      TXY(JB)=COORD(2,IP)*TXY(KB)
    ENDB
*
* CALCULA POSICAO DO PONTO NA IMAGEM DE REFERENCIA
*
    RX=0
    RY=0
    DO I=1,NPMIN
    BEGIN
      RX=RX+TXY(I)*CX(I)
      RY=RY+TXY(I)*CY(I)
    ENDB

```

```

PX=RX+0.5
PY=RY+0.5

RXD=ABS(PX-COORD(3,IP))
RYD=ABS(PY-COORD(4,IP))
RXD2=(RXD-RMXD)**2+RXD2
RYD2=(RYD-RMYD)**2+RYD2
ENDB
RSDX=SQRT(RXD2/(INPNT-1))
RSDY=SQRT(RYD2/(INPNT-1))
WRITE (4,63)RMXD,RMYD,RSDX,RSDY,TMS
63  FORMAT(//,' DESVIO MEDIO EM X = ',F5.2,' PIXELS'//,
          ' DESVIO MEDIO EM Y = ',F5.2,' PIXELS'//,
          ' DESVIO PADRAO EM X = ',F5.2,' PIXELS'//,
          ' DESVIO PADRAO EM Y = ',F5.2,' PIXELS'//,
          ' RMS = ',F5.2,' PIXELS')
READ(4,61A

9999  CALL SPANH(NCR,,,,,,,,RQ,29)
END
```



## APÊNDICE B

### PROGRAMA DIREF

Este programa transforma os valores digitais dos dados MSS dos satélites LANDSAT 2, 3, 4 e 5 em valores de reflectância, segundo a equação (Capítulo 2, Seção 2.4) proposta por Robinove (1982). Calcula a razão entre os canais 1 e 2 e a razão entre os canais 3 e 4 do I-100, gerando como resultado (no canal 4 do I-100) uma imagem-diferença multitemporal entre as razões de reflectância canal 1/canal 2 e canal 3/canal 4, calculando também o valor de um "offset" necessário para produzir uma imagem positiva.

As CCTs para serem utilizadas neste programa deverão ser calibradas segundo os valores de radiâncias máxima e mínima detectadas pelos sensores dos satélites (Robinove, 1982; Alford and Barker, 1983). As imagens contidas nestas fitas deverão ser, preferencialmente, normalizadas para os efeitos aditivos (radiância de trajetória).

C PROGRAMA : DIREF.FTN  
C  
C AUTOR : JOSE SINEAD DE MEDEIROS  
C  
C PROGRAMADOR : ELIANA MIGLIORANZA  
C  
C RESUMO : DIFERENCA DAS RAZOES DE CANAIS DE IMAGENS  
C DE PASSAGENS DIFERENTES PARA DIFERENTES  
C SATELITES  
C  
C ENTRADAS : IMAGEM EM 4 CANAIS  
C  
C SAIDAS : IMAGEM NO CANAL 2 - RAZAO DE REFLECTANCIA DATA 1.  
C IMAGEM NO CANAL 3 - RAZAO DE REFLECTANCIA DATA 2  
C IMAGEM NO CANAL 4 - IMAGEM - DIFERENCA  
C  
C  
C PDF 1145 / I-100  
C  
C LINKEDICAO : DIREF3=DIREF3(200,200)IMALIB/LB,F4POTS/LB  
C /  
C COMMON=DUPOR:RW  
C //  
C  
C OBS : ESTE PROGRAMA TRANSFORMA OS NUMEROS DIGITAIS EM  
C VALORES DE REFLECTANCIA PARA CANAIS MSS (DOIS  
C DE CADA DATA E DE SATELITES DIFERENTES) FAZ A  
C RAZAO DE CANAIS PARA QUALQUER DOIS CANAIS DE  
C UMA DATA GERA UMA IMAGEM DA DIFERENCA TEMPORAL  
C ENTRE AS RAZOES DE CANAIS REALIZADAS.

C VALORES DE RADIANCIA MINIMA E MAXIMA

C LANDSAT 2 MSS  
C  
C 4 0.08 2.63  
C 5 0.06 1.76  
C 6 0.08 1.52  
C 7 0.11 3.91

C LANDSAT 3 MSS  
C  
C 4 0.04 2.59  
C 5 0.03 1.79  
C 6 0.03 1.49  
C 7 0.03 3.83

C LANDSAT 4 MSS  
C  
C 4 0.04 2.38  
C 5 0.04 1.64  
C 6 0.05 1.42  
C 7 0.12 3.44

C LANDSAT 5 MSS

C 4 0.04 2.40

C 5 0.03 1.70

C 6 0.04 1.50

C 7 0.06 3.00

C DADOS DE IRRADIANCIA SOLAR

C 4 17.70

C 5 15.15

C 6 12.37

C 7 24.91

```
LOGICAL*1 A(74),BE1(0:511),BE2(0:511),BE3(0:511),BE4(0:511)
REAL REF(4), RADI(4,4,2),ER(4),CONE(4),CTWG(4),RAZ(2)
INTEGER L(4),LBAN(4)
COMMON/DUPOR/III(9),BE1,BE2,BE3,BE4
DATA RADI/ 0.00,0.04,0.04,0.04,0.06,0.03,0.04,0.03,0.00,0.03,
*          0.05,0.04,0.11,0.03,0.12,0.06,2.63,2.59,2.30,2.40,
*          1.76,1.79,1.64,1.70,1.52,1.49,1.42,1.50,3.91,3.03,
*          3.44,3.00/
DATA ER/ 17.70,15.15,12.37,24.91/

WRITE(6,300)
300 FORMAT(/,' LANDSAT (2,3,4 OU 5) E BANDA ( 4,5,6 OU 7) ',/,/)

DO 100 KANAL=1,4
  WRITE (5,301)KANAL
301  FORMAT('ENTRE LANDSAT E BANDA PARA O CANAL',I3,' ')
  READ (5,*) L(KANAL),LBAN(KANAL)
100  CONTINUE

WRITE (6,101)
101  FORMAT(/,'%ENTRE COM O GANHO E OFFSET PARA RAZAO 1>')
  READ (6,*) GA,OFA

WRITE (6,102)
102  FORMAT(/,'%ENTRE COM O GANHO E OFFSET PARA RAZAO 2>')
  READ (6,*) GB,OFB

WRITE (5,400)
400  FORMAT (/,'%ENTRE COM O GANHO DA IMAGEM DIFERENCA %')
  READ (5,*)G
```

C CALCULO DA RADIANCIA

```
DO 230 KANAL=1,4
  WRITE (5,223)L(KANAL)
223  FORMAT (/,'%LANDSAT=',I3)
  WRITE (5,224)LBAN(KANAL)
224  FORMAT (/,'%BANDA=',I3)
  WRITE (5,225)RADI (L(KANAL)-1,LBAN(KANAL)-3,1),
  RADI (L(KANAL)-1,LBAN(KANAL)-3,2)
225  FORMAT (1X,'%RADMN='F6.2,'%RADMAL='F6.2)
  WRITE (5,226)ER(LBAN(KANAL)-3)
```

```
226   FORMAT(1,'*IRRAD.SOLAR=',F5.2)
      *   CONE(KANAL)=RADI(L(KANAL)-1, LBAN(KANAL)-3, 2) -
        RADI(L(KANAL)-1, LBAN(KANAL)-3, 1)
      CTWO(KANAL)=RADI(L(KANAL)-1, LBAN(KANAL)-3, 1)*255
230   CONTINUE
```

OFF=0

DO 231 ILIN=1, 512

```
      CALL IRV(1, ILIN, BE1)
      CALL WAIT
      CALL IRV(2, ILIN, BE2)
      CALL WAIT
      CALL IRV(3, ILIN, BE3)
      CALL WAIT
      CALL IRV(4, ILIN, BE4)
      CALL WAIT
```

C CALCULO DA REFLECTANCIA

```
DO 231 KI=0, 511
  IV1=IBYTE(KI, BE1)
  IV2=IBYTE(KI, BE2)
  IV3=IBYTE(KI, BE3)
  IV4=IBYTE(KI, BE4)
  RAD1=IV1*CONE(1)+CTWO(1)
  RAD2=IV2*CONE(2)+CTWO(2)
  RAD3=IV3*CONE(3)+CTWO(3)
  RAD4=IV4*CONE(4)+CTWO(4)
  REF(1)=RAD1/ER(LBAN(1)-3)
  REF(2)=RAD2/ER(LBAN(2)-3)
  REF(3)=RAD3/ER(LBAN(3)-3)
  REF(4)=RAD4/ER(LBAN(4)-3)
```

C CALCULO DO OFFSET ATRAVES DA  
C DIFERENCA DA RAZAO DA REFLECTANCIA DOS  
C CANAIS 1, 2 E 3, 4.

```
      D=REF(1)/REF(2)-REF(3)/REF(4)
      D=ABS(D)
      IF (OFF.LT.D)OFF=D
```

231 CONTINUE

```
235   WRITE(6, 232)OFF
232   FORMAT(1/,'****OFFSET = ',F7.3' >)
```

```
      CALL OUTPUT(7)
      CALL OUTPUT(7)
      CALL OUTPUT(7)
```

```
233   READ(6, 233)A
      FORMAT(74A1)
      CALL FRONT(A, 74)
      IF (A(1).EQ.'40')GO TO 234
      K=0
      CALL REALFFIK,A,74,OFF)
      GO TO 235
```

```
234 DO 350 ILIN=1,512
      CALL IRV(1,ILIN,BE1)
      CALL WAIT
      CALL IRV(2,ILIN,BE2)
      CALL WAIT
      CALL IRV(3,ILIN,BE3)
      CALL WAIT
      CALL IRV(4,ILIN,BE4)
      CALL WAIT
```

C CALCULO DA REFLECTANCIA

```
DO 500 KI=0,511
  IV1=1BYTE(KI,BE1)
  IV2=1BYTE(KI,BE2)
  IV3=1BYTE(KI,BE3)
  IV4=1BYTE(KI,BE4)
  RAD1=IV1*COE(1)+CTWO(1)
  RAD2=IV2*COE(2)+CTWO(2)
  RAD3=IV3*COE(3)+CTWO(3)
  RAD4=IV4*COE(4)+CTWO(4)
  REF(1)=RAD1/ER(LBAN(1)-3)
  REF(2)=RAD2/ER(LBAN(2)-3)
  REF(3)=RAD3/ER(LBAN(3)-3)
  REF(4)=RAD4/ER(LBAN(4)-3)
```

C CALCULO DAS RAZOES

```
RAZ(1)=REF(1)/REF(2)
RAZA=RAZ(1)*GA+QFA
RAZ(2)=REF(3)/REF(4)
RAZB=RAZ(2)*GB+QFB
```

C DIFERENCA DA RAZAO DA REFLECTANCIA DOS CANAIS 1,2 E 3,4

```
D=((RAZ(1)-RAZ(2))+OFF)*G
BE1(KI)=IFIX(D)
BE2(KI)=IFIX(RAZA)
BE3(KI)=IFIX(RAZB)
```

```
500 CONTINUE
      CALL INV(2,ILIN,BE2)
      CALL WAIT
      CALL INV(3,ILIN,BE3)
      CALL WAIT
      CALL INV(4,ILIN,BE1)
      CALL WAIT
```

```
350 CONTINUE
      STOP
      END
```



## APÊNDICE C

### PROGRAMA MATTER

Este programa faz a comparação entre duas classificações (pode-se admitir que uma destas classificações seja a verdade terrestre) em dois canais do I-100.

Esta comparação é realizada ponto a ponto para um número qualquer de pontos, coletados pelo cursor de três formas diferentes: ponto central do cursor, todos os pontos dentro de uma área delimitada pelo cursor e amostragem aleatória automática, onde são coletados 1000 pontos dentro de uma determinada área do cursor.

É necessário que o número de classes sejam iguais nas duas classificações.

Este programa apresenta os seguintes resultados: matriz de erros; matriz de erros normalizada; somatório da diagonal; somatório total; precisão total; porcentagem de erros de inclusão e de omissão; análise de concordância entre as duas classificações comparadas, através da estatística "Kappa" para toda matriz e para cada categoria separadamente.

```
C          *****
C          * PROGRAMA MATERR *
C          *****
C
C
C AUTORES :JOSE SINEAO DE MEDEIROS
C          FLAVIO PONZONI
C          JOSE CARLOS MOREIRA
C
C          PDP-1145 / 1-100
C
C RESUMO  :COMPARACAO PIXEL A PIXEL DE UMA CLASSIFICACAO
C          CON UMA IMAGEM TEMATICA DE VERDADE TERRESTRE.
C
C
C ENTRADAS :IMAGEM CLASSIFICADA
C          IMAGEM DE VERDADE TERRESTRE
C
C
C SAIDAS  :MATRIZ DE ERROS
C          SOMATORIO TOTAL
C          SOMATORIO DA DIAGONAL
C          PORCENTAGENS DE ERROS DE INCLUSAO E OMISSAO
C          MATRIZ DE ERROS NORMALIZADA
C          ESTATISTICA KAPPA (MEDIDA DE CONCORDANCIA) PARA CADA CATEGORIA
C
C OBS     :PARA COMPARACAO ENTRE A CLASSIFICACAO E A IMAGEM
C          TEMATICA E NECESSARIO QUE ELAS SEJAM GERADAS PELO
C          PROGRAMA BERCOR COM OS SEGUINTE VALORES PARA OS
C          TEMAS:
C          TEMA 1=32 TEMA 2=64 TEMA 3=96 TEMA 4=128
C          TEMA 5=144 TEMA 6=160 TEMA 7=176 TEMA 8=192
```

```
INTEGER CIJ,VIJ,C1,C2,CURSOR(5)
DIMENSION X(10,10),SEL(10),COL(10),OMI(10),
* PROP(10,10),PCOL(10),PSEL(10),AA(10),AB(10),
* BA(10),TA(10),TB(10),BB(10),PO(10),PE(10),
* AKAPA(10),SPI(10),SO(10),ZE(10),PEE(10)
REAL CARACT(10),INC(10)
BYTE CAN1(512),CAN2(512),A(74)
LOGICAL FLAG
COMMON/DUPOR/IDR11B(9),CAN1,CAN2,CURSOR
```

```
C
C
C          L=2
C          NC= NUMERO DE CLASSES
C          NP= NUMERO DE PONTOS
C          CALL ASSIGN(6,'TI:')
C          CALL ASSIGN(5,'LP:')
C
C          DO 6 I=1,NC
C              DO 7 J=1,NC
C                  X(I,J)=0.0
C
C          CONTINUE
C          SEL(I)=0.0
C          COL(I)=0.0
```

```
6 CONTINUE
  SONT=0.0
  SQMD=0.0
C
C
WRITE(6,*)'ANTES DA UTILIZACAO DESTE PROGRAMA'
WRITE(6,*)'UTILIZE O PRGM GERCOR PARA GERAR OS TEMAS'
WRITE(6,*)'TEMA 1=32 TEMA 2=64 TEMA 3=96 TEMA 4=128'
WRITE(6,*)'TEMA 5=144 TEMA 6=160 TEMA 7=176 TEMA 8=192'
WRITE(6,*)'ENTRE NUMERO DE CLASSES'
READ (6,*)NC

WRITE(6,*)' ENTRE NUMERO DOS CANAIS '
WRITE(6,*)' ENTRE COM A CLASSIFICACAO NO PRIMEIRO CANAL '
WRITE(6,*)' ENTRE COM A VERDADE TERRESTRE NO SEGUNDO CANAL '
READ(6,*)C1,C2

WRITE(6,*)' TIPO DE AMOSTRAGEM'
WRITE(6,*)' 1 - ALEATORIA AUTOMATICA'
WRITE(6,*)' 2 - MANUAL - TODD CURSOR'
WRITE(6,*)' 3 - MANUAL - PONTO CENTRAL'
READ(6,*)N
IF(N.EQ.1)GO TO 81
IF(N.EQ.3)GO TO 1

2 WRITE(6,*)' POSICIONE O CURSOR (CR), OU (F)IN '
  NCLP=0
  READ(6,11)A
11 FORMAT(74A1)
  CALL FRNT(4,74)
  IF(A(1).EQ.' ')GO TO 20
  IF(A(1).NE.'F')GO TO 2
  FLAG=.FALSE.
  GO TO 23
20 CALL IRK(CURSOR)
  IXI=CURSOR(2)-2+CURSOR(3)-2
  IYI=CURSOR(4)-2+CURSOR(5)
  IXF=CURSOR(2)+2+CURSOR(3)-1
  IYF=CURSOR(4)+2+CURSOR(5)+1
  FLAG=.TRUE.
3 DO 21 LIN=IYI,IYF
  CALL IRV(C1,LIN,CAN1)
  CALL WAIT
  CALL IRV(C2,LIN,CAN2)
  CALL WAIT
  DO 22 J=IXI,IXF
    CIJ=IBYTE(J-1,CAN1)
    IF(CIJ.GE.30.AND.CIJ.LE.34)CIJ=1
    IF(CIJ.GE.62.AND.CIJ.LE.66)CIJ=2
    IF(CIJ.GE.94.AND.CIJ.LE.98)CIJ=3
    IF(CIJ.GE.126.AND.CIJ.LE.130)CIJ=4
    IF(CIJ.GE.142.AND.CIJ.LE.146)CIJ=5
    IF(CIJ.GE.158.AND.CIJ.LE.162)CIJ=6
    IF(CIJ.GE.174.AND.CIJ.LE.178)CIJ=7
    IF(CIJ.GE.190.AND.CIJ.LE.194)CIJ=8

    VIJ=IBYTE(J-1,CAN2)
    IF(VIJ.GE.30.AND.VIJ.LE.34)VIJ=1
```

```
IF(VIJ.GE.62.AND.VIJ.LE.66)VIJ=2
IF(VIJ.GE.94.AND.VIJ.LE.98)VIJ=3
IF(VIJ.GE.126.AND.VIJ.LE.130)VIJ=4
IF(VIJ.GE.142.AND.VIJ.LE.146)VIJ=5
IF(VIJ.GE.158.AND.VIJ.LE.162)VIJ=6
IF(VIJ.GE.174.AND.VIJ.LE.178)VIJ=7
IF(VIJ.GE.190.AND.VIJ.LE.194)VIJ=8
IF((CIJ.GT.8.OR.CIJ.LT.1).OR.(VIJ.GT.8.OR.VIJ.LT.1))GO TO 8
X(CIJ,VIJ)=X(CIJ,VIJ)+1.
GO TO 22
8 NCLP=NCLP+1
22 CONTINUE
21 CONTINUE
IF(FLAG)GO TO 2
GO TO 23
```

C AMOSTRAGEM MANUAL - PONTO CENTRAL

```
1 WRITE(6,*)' POSICIONE O CURSOR <CR>, OU (F)IM '
NCLP=0
READ(6,11)A
CALL FRONT(A,74)
IF(A(1).EQ.' ')GO TO 12
IF(A(1).NE.'F')GO TO 1
FLAG=.FALSE.
GO TO 23
12 CALL IRK(CURSOR)
IXI=CURSOR(2)
IYI=CURSOR(4)
FLAG=.TRUE.
LIN=IYI
CALL IRV(C1,LIN,CAN1)
CALL WAIT
CALL IRV(C2,LIN,CAN2)
CALL WAIT
CIJ=IBYTE(IXI-1,CAN1)
IF(CIJ.GE.30.AND.CIJ.LE.34)CIJ=1
IF(CIJ.GE.62.AND.CIJ.LE.66)CIJ=2
IF(CIJ.GE.94.AND.CIJ.LE.98)CIJ=3
IF(CIJ.GE.126.AND.CIJ.LE.130)CIJ=4
IF(CIJ.GE.142.AND.CIJ.LE.146)CIJ=5
IF(CIJ.GE.158.AND.CIJ.LE.162)CIJ=6
IF(CIJ.GE.174.AND.CIJ.LE.178)CIJ=7
IF(CIJ.GE.190.AND.CIJ.LE.194)CIJ=8
VIJ=IBYTE(IXI-1,CAN2)
IF(VIJ.GE.30.AND.VIJ.LE.34)VIJ=1
IF(VIJ.GE.62.AND.VIJ.LE.66)VIJ=2
IF(VIJ.GE.94.AND.VIJ.LE.98)VIJ=3
IF(VIJ.GE.126.AND.VIJ.LE.130)VIJ=4
IF(VIJ.GE.142.AND.VIJ.LE.146)VIJ=5
IF(VIJ.GE.158.AND.VIJ.LE.162)VIJ=6
IF(VIJ.GE.174.AND.VIJ.LE.178)VIJ=7
IF(VIJ.GE.190.AND.VIJ.LE.194)VIJ=8
IF((CIJ.GT.8.OR.CIJ.LT.1).OR.(VIJ.GT.8.OR.VIJ.LT.1))GO TO 9
X(CIJ,VIJ)=X(CIJ,VIJ)+1.
9 NCLP=NCLP+1
IF(FLAG)GO TO 1
GO TO 23
```

C AMOSTRAGEN ALEATORIA AUTOMATICA - TELA TODA

```
81  WRITE(6,*)' POSICIONE O CURSOR EM TODA TELA (CR) '  
    NCLP=0  
    READ(6,11)A  
    CALL FRONT(A,74)  
    IF(A(1).EQ.'1')GO TO 82  
    GO TO 81  
82  CALL IRK(CURSOR)  
  
    J1=0  
    I1=0  
  
DO 83 NPO=1,500  
  IXI=RAN(I1,J1)*(CURSOR(3)*4)+CURSOR(2)  
  IYI=RAN(I1,J1)*(CURSOR(5)*4)+CURSOR(4)  
  LIN=IYI  
  CALL IRV(C1,LIN,CAN1)  
  CALL WAIT  
  CALL IRV(C2,LIN,CAN2)  
  CALL WAIT  
  CIJ=IBYTE(IXI-1,CAN1)  
  IF(CIJ.LT.30.OR.CIJ.GT.194)GO TO 83  
  IF(CIJ.GE.30.AND.CIJ.LE.34)CIJ=1  
  IF(CIJ.GE.62.AND.CIJ.LE.66)CIJ=2  
  IF(CIJ.GE.94.AND.CIJ.LE.98)CIJ=3  
  IF(CIJ.GE.126.AND.CIJ.LE.130)CIJ=4  
  IF(CIJ.GE.142.AND.CIJ.LE.146)CIJ=5  
  IF(CIJ.GE.158.AND.CIJ.LE.162)CIJ=6  
  IF(CIJ.GE.174.AND.CIJ.LE.178)CIJ=7  
  IF(CIJ.GE.190.AND.CIJ.LE.194)CIJ=8  
  
  VIJ=IBYTE(IXI-1,CAN2)  
  IF(VIJ.LT.30.OR.VIJ.GT.194)GO TO 83  
  IF(VIJ.GE.30.AND.VIJ.LE.34)VIJ=1  
  IF(VIJ.GE.62.AND.VIJ.LE.66)VIJ=2  
  IF(VIJ.GE.94.AND.VIJ.LE.98)VIJ=3  
  IF(VIJ.GE.126.AND.VIJ.LE.130)VIJ=4  
  IF(VIJ.GE.142.AND.VIJ.LE.146)VIJ=5  
  IF(VIJ.GE.158.AND.VIJ.LE.162)VIJ=6  
  IF(VIJ.GE.174.AND.VIJ.LE.178)VIJ=7  
  IF(VIJ.GE.190.AND.VIJ.LE.194)VIJ=8  
  IF((CIJ.GT.8.OR.CIJ.LT.1).OR.(VIJ.GT.8.OR.VIJ.LT.1))GO TO 84  
  X(CIJ,VIJ)=X(CIJ,VIJ)+1.  
84  NCLP=NCLP+1  
83  CONTINUE  
  
23  NCLT=NCLT+NCLP  
DO 250 I=1,NC  
  DO 300 J=1,NC  
    SEL(I)=SEL(I)+X(I,J)  
300  CONTINUE  
    SQMD=SQMD+X(I,I)  
    SQMT=SQMT+SEL(I)  
250  CONTINUE  
    PREC=(SQMD/SQMT)*100  
DO 350 J=1,NC  
  DO 400 I=1,NC
```

```
          COL(J)=COL(J)+X(I,J)
400      CONTINUE
350      CONTINUE
        DO 730 I=1,NC
          DO 710 J=1,NC
            PROP(I,J)=X(I,J)/SOMT
            PCOL(J)=COL(J)/SOMT
710      CONTINUE
          PSEL(I)=SEL(I)/SOMT
700      CONTINUE
        SPD=0
        SPE=0

        DO 800 I=1,NC
          AA(I)=(PROP(I,1))
          AB(I)=PSEL(I)-AA(I)
          BA(I)=PCOL(I)-AA(I)
          TA(I)=1.-PSEL(I)
          TB(I)=1.-PCOL(I)
          BB(I)=TA(I)-BA(I)
          PQ(I)=2*((AA(I)*BB(I))-(AB(I)*BA(I)))
          SPD=SPD+PQ(I)
          PE(I)=PSEL(I)*TB(I)+PCOL(I)*TA(I)
          SPE=SPE+PE(I)
          AKAPA(I)=PQ(I)/PE(I)
          PEE(I)=1.-PE(I)
          SPI(I)=(PSEL(I)*PCOL(I))*(PSEL(I)+PCOL(I))+(TA(I)*TB(I))*
*          (TA(I)+TB(I))
          SD(I)=1./(PE(I)*SQRT(SOMT))*SQRT((PEE(I)+PEE(I)*PEE(I))-
*          SPI(I))
          ZE(I)=AKAPA(I)/SD(I)

000      CONTINUE

        TOTK=SPD/SPE

        DO 450 I=1,NC
          INC(I)=((SEL(I)-X(I,1))/SEL(I))*100
          ONI(I)=((COL(I)-X(I,1))/COL(I))*100
450      CONTINUE
C        WRITE(5,40)
C 40      FORMAT(///,50X,'LEGENDA',/,50X,7(1H-),/,30X,
C * 'NUMERO DA CATEGORIA',10X,'NONE',/,30X,19(1H*),10X,4(1H*),/)
C        DO 503 I=1,NC
C          WRITE(5,45) I,CARACT(I)
C 45      FORMAT(37X,12,20X,A6)
C 503     CONTINUE
        WRITE(5,46)
46      FORMAT(/////,' MATRIZ DE ERROS',/,1X,15(1H-),/)
        WRITE(5,*) ' CLASSIFICACAO'
        WRITE(5,57) (I,I=1,NC)
57      FORMAT(9X,20I8)
152     CONTINUE

        DO 600 I=1,NC
          WRITE(5,60) I,(X(I,J),J=1,NC),SEL(I)
60      FORMAT(6X,12,2X,15F8.0)
600     CONTINUE
        WRITE(5,66) (COL(I),I=1,NC)
```

```
66   FORMAT(/,5X,' TOTAL',2#F8.0)
      WRITE(5,65)SOMT,SOMO,PREC
65   FORMAT(////,' SOMATORIO TOTAL =',F6.0,/,', SOMATORIO DA'
*     ' DIAGONAL =',F6.0,/,', PRECISAO TOTAL =',F6.2,/,', PORCENTAGENS'
*     ' DE ERROS : INCLUSAO      OMISSAO')
      DO 655 I=1,NC
        WRITE(5,67) I,INC(I),OMI(I)
67   FORMAT(15X,12,F15.3,', 2',F15.3,', X')
655  CONTINUE

      WRITE(5,3000)
3000  FORMAT(////,27X,'ESTATISTICA KAPPA',//)
      WRITE(5,3050)
3050  FORMAT(5X,'NORMALIZACAO DA MATRIZ DE ERROS',/)

      WRITE(5,2002) (I, I=1,NC)
2002  FORMAT(19X,10(I7,1X))
      DO 2000 I=1,NC
        WRITE(5,2001)I,(PROP(I,J),J=1,NC)
2001  FORMAT(6X,12,2X,15(1X,F7.5))
2000  CONTINUE
      WRITE(5,3100)TOTK
3100  FORMAT(/,4X,'K = ',F6.4,////)

      WRITE(5,3200)
3200  FORMAT(4X,'ANALISE PARA CADA CATEGORIA',//)

      DO 2250 I=1,NC
        WRITE(5,3550)I
3550  FORMAT(/,15X,' CATEGORIA ',12,/)

        WRITE(5,2300)I
2300  FORMAT(15X,14,7X,' OUTRAS ')

        WRITE(5,2400)I,AA(I),AB(I),PSEL(I),BA(I),BB(I),TA(I),
*     PCOL(I),TB(I)
2400  FORMAT(6X,12,6X,3(F8.6,4X),/,4X' OUTRAS ',2X,3(F8.6,4X),/,
*     14X,2(F8.6,4X),2X,' I',//)
        WRITE(5,3445)AKAPA(I)
3445  FORMAT(4X,'K = ',F6.4,//)
      WRITE(5,3300)
3300  FORMAT(4X,'TESTE DE HIPOTESE AO NIVEL DE 0,01X',/,4X,
*     '(SCORES REDUZIDOS - TESTE UNILATERAL)',/)
      WRITE(5,3310)
3310  FORMAT(4X,'H0 : X=0 (NAO EXISTE CONCORDANCIA)',1X)
      WRITE(5,3350)
3350  FORMAT(4X,'H1 : X>0 (EXISTE CONCORDANCIA)',//)
      WRITE(5,3400)ZE(I)
3400  FORMAT(4X,'Z (TABELADO) = 2,33',
*     4X,'Z (CALCULADO) = ',F6.4,/)

      IF(ZE(I).GT.2.33)GO TO 1000
      WRITE(5,1100)
1100  FORMAT(4X,'ACEITA H0 ')
      GO TO 2250
1000  WRITE(5,1200)
1200  FORMAT(4X,'REJEITA H0 ')

```

- C.8 -

```
2250 CONTINUE
      WRITE(5,656)NCLT
656   FORMAT(/,4X,'TOTAL DE PONTOS NAO VERIFICADOS =',I6)
      STOP
      END
```

## APENDICE D

### SUPOORTE PARA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO

Foi desenvolvido um suporte que, instalado em aeronaves leves de asa alta permite a obtenção de fotografias aéreas verticais ou oblíquas.

O suporte foi desenvolvido para ser utilizado em aviões CESSNA (modelos, 170, 172, Skyline, 206, 210) e REGENTE (fabricação nacional) que permitem a instalação de uma ou duas câmaras de 35mm ou 70mm, ou ainda a possibilidade de ser utilizado, com algumas modificações, com uma câmara de vídeo-cassete.

A Figura D.1 mostra o suporte equipado com duas câmaras fotográficas, uma de 35mm e outra de 70mm. A Figura D.2 mostra o suporte com as câmaras, instalado num avião CESSNA 206, pronto para ser utilizado.



Fig. D.1 - Suporte equipado com duas câmaras fotográficas, uma de 35mm e outra de 70mm.



Fig. D.2 - Suporte instalado numa aeronave na posição de ser utilizado.

O equipamento é instalado no assoalho do avião, preso nos trilhos onde corre o banco do lado direito.

Em condições de uso, é necessária a retirada da porta do lado direito da aeronave para permitir que as câmaras (ou a câmara) fotográfica(s) basculhem de dentro para fora do avião para obtenção das fotografias, e vice versa, para a substituição dos filmes e eventuais regulagens.

## APÊNDICE E

### AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DOS VALORES ORIGINAIS DOS "PIXELS", ORIUNDAS DAS CORREÇÕES GEOMÉTRICAS E RADIOMÉTRICAS

#### E.1 - AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CAUSADAS PELAS CORREÇÕES GEOMÉTRICAS

Para comparação entre imagens MSS obtidas de satélites diferentes, é necessário, em primeiro lugar, realizar a reamostragem numa grade regular de dimensões comuns às imagens, a fim de normalizar as características geométricas entre elas e ampliá-las na mesma escala de trabalho desejada.

Após a reamostragem, torna-se necessário registrar uma imagem sobre a outra, de forma que os pontos que representam um mesmo objeto coincidam espacialmente em ambas. Na imagem registrada é realizada uma nova reamostragem para determinar o valor do nível de cinza dos novos pontos.

Desta forma, a imagem registrada sofre dois processos de reamostragem, onde estas transformações causam uma mudança no valor radiométrico inicial do "pixel" (Verdin, 1983), podendo até prejudicar as análises quantitativas realizadas posteriormente.

Assim sendo, foram realizados testes estatísticos para avaliar a existência de diferenças significativas nos "pixels"; resultados da "razão de canais" das imagens reamostradas e registradas.

Foram escolhidas duas amostras, uma localizada em área de bordas e a outra dentro de uma só classe. Estas amostras foram ampliadas por dois processos: o primeiro deles utilizando o programa ESCALA, que amplia pela simples repetição de "pixels", não alterando a informação radiométrica dos "pixels"; o segundo, utilizando o programa REAMOS, que faz a reamostragem numa grade de tamanho determinado pelo usuário.

A imagem 224/74 de 18/julho/1984 foi escolhida para os testes, realizando-se a reamostragem e o registro consecutivamente.

Para a escolha das amostras foram observados os seguintes passos:

- ampliação da imagem pelo programa ESCALA entre as coordenadas da imagem,  $X1 = 1921$ ,  $Y1 = 1624$ ;  $X2 = 2459$ ;  $Y2 = 2012$ ;
- ampliação da imagem pelo programa REAMOS entre as mesmas coordenadas anteriormente citadas;
- escolha das amostras de 36 pontos: AMOSTRA 1 (área de borda), programa REAMOS, cujas coordenadas (4 pontos centrais) são:  $X1 = 1971$ ,  $Y1 = 1863$ ;  $X2 = 1974$ ,  $Y2 = 1866$ ; AMOSTRA 2 (área de borda), programa ESCALA, de coordenadas idênticas às da amostra 1; AMOSTRA 3 (área lisa), uma só classe, programa REAMOS, cujas coordenadas (4 pontos centrais) são:  $X1 = 2443$ ,  $Y1 = 1868$ ;  $X2 = 2246$ ,  $Y2 = 1871$ ; AMOSTRA 4 (área lisa), programa ESCALA, de coordenadas idênticas às da amostra 3; AMOSTRA 5 (área lisa), mesma área da amostra 3, registrada na imagem de 25/julho/1980, cujas coordenadas transformaram-se em:  $X1 = 1369$ ,  $Y1 = 1841$ ;  $X2 = 1372$ ,  $Y2 = 1843$ .

Como no trabalho desenvolvido utilizam-se razões de refletância; para maior realidade do teste foram realizadas razões entre os canais 7 e 5 das amostras comparadas.

A existência de diferenças significativas nas razões de canais ampliadas pelo processamento normal (Programa ESCALA) e aquelas ampliadas pela reamostragem foi avaliada pelo teste Z, bilateral. Levou-se em consideração o nível de 0,01 para o qual o valor de Z crítico é igual a  $\pm 2,58$ .

A Tabela E.1 mostra os pares de amostras utilizadas nos testes, bem como os seus resultados.

TABELA E.1

PARES DE AMOSTRAS UTILIZADAS NOS TESTES, PARÂMETROS DAS  
AMOSTRAS E OS RESULTADOS DOS TESTES

AMOSTRA 1 - MSS 7/MSS 5						AMOSTRA 2 - MSS 7/MSS 5					
ÁREA DE BORDA											
1.66	1.47	1.09	1.11	1.15	1.10	1.66	1.66	1.00	1.20	1.10	1.10
1.78	1.58	1.16	1.13	1.08	1.06	1.81	1.81	1.17	1.06	1.06	1.06
1.77	1.77	1.35	1.08	1.08	1.04	1.67	1.80	1.31	1.08	1.08	0.98
1.73	1.84	1.54	1.21	1.11	1.04	1.67	1.80	1.31	1.08	1.08	0.98
1.70	1.88	1.75	1.31	1.15	1.10	1.57	1.88	1.48	1.26	1.12	1.12
1.64	1.88	1.88	1.51	1.12	1.06	1.52	1.72	1.92	1.31	1.12	1.02
Média = 1.38						Média = 1.34					
Desvio padrão = 0.31						Desvio padrão = 0.31					
Coeficiente variação = 0.23						Coeficiente variação = 0.23					
Z Calculado -0,5											
AMOSTRA 3 - MSS 7/ MSS 5						AMOSTRA 4 - MSS 7/MSS 5					
ÁREA DE TONALIDADE HOMOGÊNEA LISA											
1.76	1.92	1.76	1.76	1.76	1.83	1.63	1.76	1.96	1.76	1.76	1.76
1.72	1.84	1.72	1.72	1.76	1.64	1.63	1.76	1.96	1.76	1.76	1.76
1.65	1.65	1.72	1.72	1.69	1.82	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
1.85	1.65	1.65	1.79	1.69	1.73	1.82	1.82	1.82	1.83	1.83	1.82
1.84	1.83	1.83	1.83	1.60	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
1.76	1.76	1.83	1.76	1.76	1.76	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Média = 1.75						Média = 1.77					
Desvio padrão = 0.07						Desvio padrão = 0.08					
Coeficiente variação = 0.04						Coeficiente variação = 0.04					
Z calculado -1,18											
AMOSTRA 4 - MSS 7/MSS 5						AMOSTRA 5 - MSS 7/MSS 5					
ÁREA DE TONALIDADE HOMOGÊNEA LISA											
1.63	1.76	1.96	1.76	1.76	1.76	1.91	1.76	1.83	1.83	1.76	1.80
1.63	1.76	1.96	1.76	1.76	1.76	1.87	1.87	1.72	1.72	1.72	1.79
1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.72	1.87	1.72	1.65	1.72	1.91
1.82	1.82	1.82	1.83	1.83	1.82	1.87	1.87	1.72	1.65	1.79	2.09
1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.83	1.83	1.76	1.76	1.83	1.92
1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.76	2.00	1.76	1.76	2.04
Média = 1.77						Média = 1.81					
Desvio padrão = 0,08						Desvio padrão = 0.09					
Coeficiente variação = 0,04						Coeficiente variação = 0,05					
Z Calculado -2,00											

Visto que não foi encontrada diferença significativa (ao nível de 0,01) no valor das razões, causada pelos processos de ampliação de imagens, procedeu-se à avaliação descrita a seguir.

## E.2 - AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES CAUSADAS PELAS CORREÇÕES PARA OS EFEITOS ADITIVOS E MULTIPLICATIVOS E PARA A NORMALIZAÇÃO ENTRE OS SENSORES DOS SATÉLITES LANDSAT

A intenção desta análise foi verificar, já com as imagens devidamente reamostradas e registradas, que nível de diferença apresentavam as amostras das duas passagens antes e depois das transformações realizadas.

Para a realização desta análise foram escolhidas duas amostras; uma na imagem de 25 de julho de 1980 e a outra na imagem de 18 de julho de 1984, com a mesma localização espacial ( $X_1 = 1476$ ,  $Y_1 = 1653$ ;  $X_2 = 1479$ ,  $Y_2 = 1656$ ) e representando uma área que não sofreu alteração neste período de tempo. Outras duas amostras foram selecionadas da mesma forma ( $X_1 = 1369$ ,  $Y_1 = 1841$ ;  $X_2 = 1372$ ,  $Y_2 = 184$ ), porém, representando uma área onde ocorreu alteração no valor radiométrico dos "pixels".

Assim sendo, com estas quatro amostras escolhidas, foram realizadas as seguintes transformações: 1) razão entre canais dos dados brutos; 2) razão entre canais dos dados corrigidos dos efeitos aditivos; 3) razão entre canais dos dados corrigidos dos efeitos aditivos e transformados em reflectância (para normalização das diferenças entre os sensores).

Posteriormente, foram analisados os coeficientes de variação dos desvios entre os pares de amostras mostrados nas Tabelas E.2 e E.3, que foram calculados pela seguinte equação:

$$CV = \frac{s}{|d|},$$

onde  $s$  = desvio padrão dos desvios,  
 $d$  = média dos desvios.

TABELA E.3

AMOSTRA UTILIZADA NO CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE  
VARIACÃO DOS DESVIOS E OS SEUS RESULTADOS PARA A ÁREA SEM ALTERAÇÃO

AMOSTRA-2			ÁREA SEM ALTERAÇÃO					
RAZÃO MSS 7/MSS 5 DADOS BRUTOS			RAZÃO MSS 7/MSS 5 COM CORREÇÃO DOS EFEITOS ADITIVOS			RAZÃO MSS 7/MSS 5 DADOS TRANSFORMADOS EM REFLECTÂNGIA		
1980	1984	DESVIO	1980	1984	DESVIO	1980	1984	DESVIO
1,696	1,913	-0,217	2,769	3,333	-0,564	2,361	3,020	-0,659
1,762	1,760	0,002	2,891	2,857	0,234	2,418	2,852	-0,434
1,560	1,833	-0,273	2,400	3,077	-0,677	2,279	2,962	-0,683
1,609	1,833	-0,224	2,615	3,077	-0,462	2,301	2,962	-0,661
1,696	1,760	-0,064	2,769	2,57	-0,088	2,361	2,852	-0,491
1,696	1,800	-0,104	2,769	3,000	-0,231	2,361	2,944	-0,583
1,867	1,870	-2,030	2,643	3,000	-0,357	2,357	2,923	-0,586
1,905	1,870	0,035	3,364	3,000	0,364	2,506	2,923	-0,417
1,739	1,720	0,019	2,846	2,786	0,060	2,386	2,962	-0,576
1,783	1,720	0,063	2,923	2,786	0,137	2,410	2,962	-0,552
1,773	1,720	0,053	3,000	2,786	0,214	2,420	2,962	-0,542
1,905	1,792	0,113	3,364	3,000	0,364	2,506	2,923	-0,417
1,793	1,720	0,063	2,923	2,786	0,137	2,410	2,962	-0,552
1,783	1,870	-0,087	2,923	3,250	-0,327	2,410	2,980	-0,570
1,864	1,720	0,144	3,167	0,381	0,381	2,469	2,962	-0,493
1,864	1,654	0,210	3,167	2,600	0,567	2,469	2,714	-0,245
1,682	1,720	-0,038	2,833	3,786	-0,953	2,358	2,962	-0,604
1,783	1,913	-0,130	2,923	3,333	-0,410	2,410	3,020	-0,610
1,783	1,870	-0,087	2,923	3,000	-0,077	2,410	2,923	-0,513
1,708	1,870	-0,162	2,714	3,250	-0,536	2,381	2,980	-0,599
1,864	1,720	0,144	3,167	3,786	-0,619	2,469	2,962	-0,493
1,864	1,654	0,210	3,167	2,600	0,567	2,469	2,714	-0,245
1,773	1,792	-0,019	3,000	3,000	0,000	2,420	2,923	-0,503
1,565	2,087	-0,522	2,538	3,667	-1,129	2,277	3,196	-0,919
1,696	1,833	-0,137	2,769	3,077	-0,308	2,361	2,962	-0,601
1,696	1,833	-0,137	2,769	3,077	-0,308	2,361	2,962	-0,601
1,696	1,760	-0,064	2,769	2,857	-0,088	2,361	2,852	-0,491
1,696	1,760	-0,064	2,769	3,077	-0,308	2,386	2,962	-0,576
1,739	1,833	-0,094	2,846	3,077	-0,231	2,386	2,962	-0,576
1,609	1,917	-0,308	2,615	3,231	-0,616	2,301	3,058	-0,757
1,696	1,800	-0,104	2,769	3,929	-1,160	2,361	2,889	-0,528
1,696	1,760	-0,064	2,769	2,857	-0,086	2,361	2,852	-0,491
1,696	2,000	-0,304	2,769	3,500	-0,731	2,361	3,118	-0,757
1,696	1,760	-0,064	2,769	2,857	-0,086	2,361	2,852	-0,491
1,609	1,760	-1,151	2,615	2,857	-0,242	2,301	2,852	-0,551
1,696	2,043	-0,347	2,769	3,308	-0,539	2,361	3,096	-0,735
Desvio médio = 0,088 Desvio padrão = 0,0154 CV = 175%			Desvio médio = 0,023 Desvio padrão = 0,436 CV = 194%			Desvio médio = -0,56 Desvio padrão = 0,128 CV = 23%		

TABELA E.2

AMOSTRA UTILIZADA NO CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DOS DESVIOS E OS SEUS RESULTADOS PARA A ÁREA COM ALTERAÇÃO

AMOSTRA 1			ÁREA COM ALTERAÇÃO					
RAZÃO MSS 7/MSS 5 DADOS BRUTOS			RAZÃO MSS 7/MSS 5 COM CORREÇÃO DOS EFEITOS ADITIVOS			RAZÃO MSS 7/MSS 5 DADOS TRANSFORMADOS EM REFLECTÂNCIA		
1980	1984	DESVIO	1980	1984	DESVIO	1980	1984	DESVIO
3,250	1,304	1,946	6,200	1,371	4,289	2,716	1,922	0,794
3,250	1,082	2,168	6,200	1,289	4,911	2,716	1,842	0,874
3,474	1,060	2,414	7,000	1,256	5,744	2,796	1,804	0,992
3,941	1,060	2,881	9,143	1,256	7,887	2,911	1,804	1,107
3,190	1,160	2,030	5,818	1,385	4,433	2,701	1,928	0,773
3,000	1,261	1,739	5,454	1,543	3,911	2,608	2,077	0,531
3,333	1,210	2,123	6,091	1,500	4,591	2,784	2,035	0,749
3,143	1,082	2,061	5,727	1,289	4,438	2,680	1,842	0,838
3,047	1,200	1,847	5,545	1,470	4,075	2,639	1,989	0,650
3,421	1,222	2,199	6,889	1,500	5,389	2,774	2,022	0,752
3,722	1,667	2,055	8,000	1,405	6,595	2,848	1,936	0,912
3,421	1,239	2,182	6,889	1,514	5,375	2,774	2,044	0,730
3,450	1,229	2,221	6,600	1,486	5,114	2,810	2,011	0,799
3,350	1,204	2,146	6,400	1,447	4,953	2,758	1,989	0,769
3,200	1,200	2,000	6,100	1,470	4,630	2,695	1,989	0,706
3,315	1,222	2,093	6,667	1,500	5,167	2,720	1,924	0,796
3,667	1,149	2,518	7,875	1,389	6,486	2,826	1,924	0,902
3,526	1,227	2,299	7,111	1,515	5,596	2,817	2,034	0,783
3,421	1,188	2,233	6,889	1,432	5,457	2,774	1,957	0,817
3,632	1,311	2,321	7,333	1,618	5,715	2,871	2,124	0,747
3,580	1,326	2,254	7,222	1,628	5,594	2,849	2,156	0,693
3,368	1,261	2,107	6,778	1,543	5,235	2,753	2,078	0,675
3,250	1,149	2,101	6,200	1,389	4,811	2,716	1,924	0,792
3,231	1,227	2,004	5,636	1,515	4,121	2,660	2,034	0,626
3,789	1,125	2,664	7,667	1,351	6,316	2,946	1,883	1,063
3,737	1,295	2,442	7,555	1,606	5,949	2,925	2,115	0,810
3,526	1,306	2,220	7,111	1,579	5,532	2,817	2,116	0,701
3,580	1,208	2,372	7,222	1,459	5,763	2,850	1,989	0,861
3,500	1,146	2,354	6,700	1,378	5,322	2,842	1,915	0,927
3,450	1,227	2,223	6,600	1,545	5,055	2,810	2,069	0,741
3,650	1,250	2,400	7,000	1,513	5,487	2,916	2,032	0,884
3,650	1,224	2,426	7,000	1,474	5,526	2,916	2,010	0,906
3,500	1,224	2,276	6,700	1,474	5,226	2,842	2,010	0,832
3,400	1,204	2,196	6,500	1,342	5,158	2,786	1,895	0,891
3,700	1,224	2,476	7,100	1,474	5,626	2,937	2,010	0,927
3,450	1,224	2,226	6,600	1,474	5,126	2,810	2,010	0,800
Desvio médio = 2,29			Desvio médio = 5,29			Desvio médio = 0,810		
Desvio padrão = 0,22			Desvio padrão = 0,78			Desvio padrão = 0,117		
CV = 9,6%			CV = 14,7%			CV = 14,4%		