



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

INPE-13115-TDI/1026

**A AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA  
ESTIMATIVA DE ÁREAS DESFLORESTADAS EM TRÊS  
PADRÕES DISTINTOS DE PAISAGEM**

Fernanda Gonçalves Miranda

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,  
orientada pelos Drs. Flávio Jorge Ponzoni e Lênio Soares Galvão, aprovada em  
17 de março de 2005.

528.711.7 (811)

MIRANDA, F. G.


A avaliação dos efeitos da resolução espacial na estimativa de áreas desflorestadas em três padrões distintos de paisagem / F. G. Miranda. – São José dos Campos: INPE, 2005.

74p. – (INPE-13115-TDI/1026).

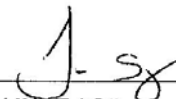
1.Amazônia. 2.Desflorestamento. 3.Resolução espacial.  
4.Filtragem espacial. 5.Sensoriamento remoto. Rondônia.  
I.Título.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestrado em Sensoriamento Remoto

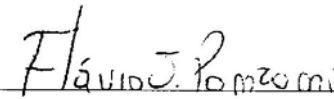
Dr. Yosio Edemir Shimabukuro

  
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

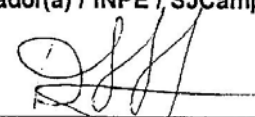
Dr. Lênio Soares Galvão

  
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

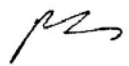
Dr. Flávio Jorge Ponzoni

  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Diógenes Salas Alves

  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Rubens Augusto Camargo Lamparelli

  
Convidado(a) / UNICAMP / Campinas - SP

Aluno (a): Fernanda Gonçalves Miranda

São José dos Campos, 17 de março de 2005



*“Os conferencistas designados não serão submetidos a nenhum tipo de teste e podem professar qualquer crença ou crença nenhuma, qualquer religião ou modo de pensar ou, como se diz às vezes, podem não ter religião, ou serem céticos, agnósticos ou livres-pensadores, desde que sejam homens respeitosos, autênticos pensadores, apreciadores sinceros e investigadores zelosos da verdade”.*

Adam Gifford, Last will and testament, 1887



*A meu marido e minha filha,  
por um mundo melhor.*





## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Flávio Jorge Ponzoni e Prof. Dr. Lênio Soares Galvão, pela orientação, dedicação, conhecimento compartilhado, sugestões e compreensão durante a realização dessa dissertação.

À Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

Aos professores do INPE, pelo conhecimento compartilhado.

Aos meus amigos: Paula (*in memoriam*), pela amizade, companheirismo, ajuda, risadas e por ter sido uma pessoa tão maravilhosa; Pierre, por ter sido meu amigo virtual durante as madrugadas de trabalho; Cleber, pela amizade e por toda a ajuda com geoprocessamento; Veraldo, sempre tão amigo e prestativo quando precisei de uma mãozinha e por me ajudar com as figuras que estão no texto.

Ao meu marido, Oswaldo, pelo amor, compreensão, companheirismo e apoio; à minha filha, Gabriela, que desde que nasceu, encheu esta dissertação de alegria; e à minha mãe, Helena, que foi mãe de minha filha durante os momentos em que precisei estar ausente para a realização desta dissertação.

Ao meu amigo, Paulo Eduardo Ubaldino de Souza, não só por ter feito o modelo que gerou este documento, mas por ser um grande amigo e de grande ajuda quando precisei dele.

Ao Dr. Diógenes Salas Alves, pelas sugestões e contribuições feitas a esta dissertação.

Ao Dr. Camilo Daleles Renó, pelas valiosas sugestões e contribuições quanto à análise estatística dos dados.

A Dra. Maria Isabel Sobral Escada, por ter cedido as imagens utilizadas nesta dissertação.

A todos os funcionários do INPE que, de alguma forma, me auxiliaram na realização deste trabalho, especialmente às secretárias, Etel e Angelucci, sempre tão gentis e prestativas.

Aos membros da banca, por todas as sugestões.



## RESUMO

O desflorestamento é o grande problema atual que afeta florestas do mundo todo, incluindo a Amazônia, cujo território vem sendo monitorado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desde 1974. Para tal finalidade, o INPE tem utilizado imagens geradas pelos sensores Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente, com resolução espacial de 30 metros. Visando uma maior autonomia na área de imageamento por satélite, o Programa Espacial Brasileiro prevê a construção de alguns satélites de sensoriamento remoto, com especificações diferentes daquelas dos satélites Landsat, incluindo diferentes resoluções espaciais. Isso lança uma dúvida sobre a comunidade usuária de dados gerados por projetos como o PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia) sobre a continuidade desses projetos. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar os efeitos da resolução espacial, no caso, 30, 60, 120 e 240 metros, na estimativa de áreas desflorestadas em três padrões distintos de paisagem (pequenas propriedades, médias e grandes propriedades e espinha-de-peixe) em uma região específica da Amazônia Legal brasileira. A metodologia consistiu em: (a) degradar espacialmente imagens TM/Landsat 5 com resolução espacial de 30 metros, obtidas nos anos de 1985 e 2000, para os novos valores de resolução espacial (60, 120 e 240 metros); (b) elaborar os mapas temáticos correspondentes (classes cobertura florestal, ausência de cobertura florestal e água), mediante aplicação de classificação supervisionada (MAXVER), seguida de inspeção visual, sobre as imagens das bandas TM3, TM4 e TM5; (c) obter os incrementos de desflorestamento para cada resolução espacial com o uso de 150 células, com distribuição espacial aleatória, sobrepostos nos mapas; (d) verificar a existência de relações lineares entre os valores de incrementos de desflorestamento obtidos a partir da resolução espacial de 30m e aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para 60, 120 e 240m; e (e) utilizar regressão linear múltipla para verificar a influência do padrão de desflorestamento (espinha-de-peixe, médias e grandes propriedades e pequenas propriedades) sobre as estimativas dos incrementos de desflorestamento, de acordo com a resolução espacial adotada. Os resultados obtidos indicaram ser pequeno o impacto da adoção de resoluções espaciais até 120 metros nas estimativas de incrementos de desflorestamentos da área de estudo para os três padrões de desflorestamento estudados. A degradação da resolução espacial produziu uma subestimativa dos pequenos incrementos de desflorestamento detectados na resolução espacial de 30 metros. Entretanto, os efeitos da degradação espacial sobre as estimativas de incremento de desflorestamento foram estatisticamente significantes apenas na resolução espacial de 240 metros e no padrão espinha-de-peixe.



## **THE EVALUATION OF SPATIAL RESOLUTION EFFECTS OVER ESTIMATES OF DEFORESTED AREAS AT THREE DIFFERENT LANDSCAPE PATTERNS**

### **ABSTRACT**

Deforestation is the major problem that affects forests all over the world, including the Amazon Rainforest, which territory has been monitored by National Institute for Space Research since 1974. For so, INPE has been using Thematic Mapper and Enhanced Thematic Mapper Plus images with 30 meters of spatial resolution, on board of Landsat 5 and 7 satellites respectively. Aiming to get a major autonomy in space imaging, the Brazilian Space Program expect to construct a few remote sensing satellites with different specifications than Landsat ones, including spatial resolution. This brings doubts to the user community of information obtained from projects like Amazon Gross Deforestation Estimation Project about the continuation of those projects. The main goal of this research was to evaluate the spatial resolution effects (30, 60, 120 and 240 meters) over the estimate of deforested areas at three different landscape patterns (small properties, medium and large properties and fishbone pattern) in a specific region of the Legal Brazilian Amazon. The methodology consisted in: (a) spatial degradation of TM/Landsat 5 images with 30 meters of spatial resolution, obtained in 1985 and 2000, to the new spatial resolution values (60, 120 and 240 meters); (b) elaboration of the corresponding thematic maps (categories forest, non-forest and water), applying supervised classification (MAXVER), followed by visual inspection, on the images of the bands TM3, TM4 and TM5; (c) to obtain the increasing deforestation estimation for each spatial resolution using 150 cells with random spatial distribution, over positioned on the maps; (d) to verify the existence of linear relationships between the values of deforestation increasing estimation obtained from 30 meters spatial resolution and those resulting from 60, 120 and 240 meters; and (e) to utilize multiple linear regression for verifying the influence of the deforestation pattern (fishbone, small properties and medium and large properties) over the estimation of deforestation increasing estimation, according to the adopted spatial resolution. The results indicate to be minimum the impact of the spatial resolutions adopted until 120 meters on the estimation of deforestation increasing in the study area for the deforestation patterns studied. The spatial resolution degradation produced an underestimation of the small deforestation increasing detected on 30 meters spatial resolution. However, the effects of the spatial resolution adoption on the deforestation increasing estimation were statistically significant only in the 240 meters spatial resolution and in the fishbone pattern.



## SUMÁRIO

Pág.

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>17</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>19</b>
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>19</b>
2.1 Histórico da ocupação do Estado de Rondônia .....	19
2.2 Avaliação de desflorestamento utilizando dados de Sensoriamento Remoto .....	22
2.3 Resolução espacial e filtragem .....	25
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>33</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
3.1 Área de estudo .....	33
3.2 Metodologia.....	37
3.2.1 Degradação da resolução espacial .....	38
3.2.2 Elaboração dos mapas temáticos .....	39
3.2.3 Obtenção dos incrementos de desflorestamento.....	41
3.2.4 Análise estatística dos dados .....	41
3.2.4.1 Relação entre incremento de desflorestamento e resolução espacial .....	41
3.2.4.2 Análise de regressão múltipla.....	42
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
4.1 Degradação da resolução espacial das imagens e mapas temáticos .....	43
4.2 Análise estatística dos dados .....	47
4.2.1 Relações entre incremento de desflorestamento e resolução espacial.....	47
4.2.2 Análise de regressão múltipla.....	57
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>63</b>
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>65</b>
<b>APÊNDICE A</b> .....	<b>71</b>





## LISTA DE FIGURAS

2.1 – IFOV angular ( $\alpha$ ), mostrando a projeção XY no solo. ....	26
3.1 – Localização da área de estudo no Estado de Rondônia. A composição colorida compreende as bandas TM3 (R), TM4 (G) E TM5 (B) da imagem TM/Landsat 5 obtida em 15 de julho de 2000. ....	34
3.2 – Porção da área de estudo mostrando o padrão espinha-de-peixe. A composição colorida e a data são as mesmas da FIGURA 3.1.....	35
3.3 – Porção da área de estudo mostrando o padrão de médias e grandes. A composição colorida e a data são as mesmas da FIGURA 3.1.....	35
3.4 – Porção da área de estudo mostrando o padrão de pequenas propriedades. A composição colorida e a data são as mesmas da FIGURA 3.1.....	36
3.5 – Fluxograma da metodologia aplicada.....	37
4.1 – Representação das imagens e mapas do padrão espinha-de-peixe para cada data analisada e valores de resolução espacial adotados .....	44
4.2 - Representação das imagens e mapas do padrão de médias e grandes propriedades para cada data analisada e valores de resolução espacial adotados. ....	45
4.3 - Representação das imagens e mapas do padrão de pequenas propriedades para cada data analisada e valores de resolução espacial adotados. As formas azuis as imagens de 1985 em 30, 60 e 120 metros correspondem a um ruído e não a desflorestamento. ....	46
4.4– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os três padrões de desflorestamento foram considerados em conjunto na obtenção dos resultados. ....	49
4.5– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os resultados correspondem ao padrão de desflorestamento espinha-de-peixe. ....	51
4.6– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os resultados correspondem ao padrão de desflorestamento de médias e grandes propriedades. ....	52
4.7– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os resultados correspondem ao padrão de desflorestamento de pequenas propriedades. ....	53
4.8– Variações nos valores de: (a) coeficiente de determinação ( $R^2$ ); (b) inclinação da reta; e (c) de intercepto, para os três diferentes padrões de desflorestamento, em função da resolução espacial. ....	54

4.9– Comparação entre as retas de ajuste de dados para os três padrões de desflorestamento e o conjunto deles obtidos em: (a) 60 metros; (b) 120 metros; e (c) 240 metros. A palavra LINEAR na legenda indica o tipo de linha de tendência adotada. ....	56
4.10 – Comparação entre o total de incremento de desflorestamento medido nas imagens para o conjunto dos três padrões de desflorestamento (150 células) e para cada padrão separadamente (50 células cada), em função da resolução espacial. ....	60

## LISTA DE TABELAS

3.1 Matriz de cálculo para a degradação em 60 metros, com 02 iterações. ....	38
3.2 Matriz de cálculo para a degradação em 120 metros, com 08 iterações. ....	38
3.3 Matriz de cálculo para a degradação em 240 metros, com 30 iterações. ....	39
4.1 – Resumo dos valores de $F_{obs}$ e $F_c$ para as resoluções espaciais de 60, 120 e 240 metros, respectivamente. ....	57
4.2 – Equações da reta obtidas a partir dos dados da análise de regressão linear múltipla. ....	58
4.3 – Estimativa dos valores mínimo e máximo de incremento de desflorestamento, observado em 30 metros (dados em <i>itálico</i> ), nas resoluções espaciais de 60, 120 e 240 metros. As equações de regressão da TABELA 4.2 foram usadas nos cálculos. ....	59
A.1– Valores das 50 células das áreas desflorestadas (em hectares) obtidas para o padrão espinha-de-peixe, nas duas datas analisadas, para os quatro valores de resolução espacial adotados. ....	71
A.2 – Valores das 50 células das áreas desflorestadas (em hectares) obtidas para o padrão de médias e grandes propriedades, nas duas datas analisadas, para os quatro valores de resolução espacial adotados. ....	72
A.3 – Valores das 50 células das áreas desflorestadas (em hectares) obtidas para o padrão de pequenas propriedades, nas duas datas analisadas, para os quatro valores de resolução espacial adotados. ....	73



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas atuais que afeta os biomas florestais em todo o mundo é o desflorestamento. Esse problema atinge de forma dramática a Amazônia, cujo território vem sendo monitorado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através de imagens de satélite, desde 1974. De acordo com o último relatório apresentado por este instituto, as estimativas finais da taxa média do desflorestamento bruto para o período 2002/2003 são da ordem de 23.750 km<sup>2</sup>/ano (INPE, 2004).

As imagens mais recentes utilizadas para este monitoramento são dos sensores Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), colocados a bordo dos satélites americanos Landsat 5 e 7, respectivamente. Estes sensores operam com uma resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias. A partir dos dados por eles gerados, são elaborados mapas temáticos mediante aplicação de uma metodologia específica definida no âmbito do Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (PRODES), desenvolvido pelo INPE, com o objetivo de viabilizar o cálculo anual da taxa de desflorestamento desta região.

Visando uma maior autonomia na área de imageamento por satélite, não só da região amazônica, como de todo o território nacional, a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), prevê a construção de alguns satélites de sensoriamento remoto. O Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR-1), por exemplo, ainda em discussão, foi planejado para monitorar a região Amazônica e adquirir dados em órbita equatorial em intervalos de duas horas, o que minimizaria o problema de cobertura de nuvens (Kono *et al.*, 2003). O uso de três câmeras, caracterizando um amplo campo de visada, produziria uma variação no tamanho do pixel de 50 metros ao nadir até 250 metros a 15° de latitude sul, cujos efeitos sobre as estimativas de desflorestamento precisam ser melhor avaliados. Dados com diferentes resoluções espacial e temporal estão sendo adquiridos pelos sensores a bordo do satélite *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS-2),

variando de 20 metros / 26 dias para a Câmara Imageadora de Alta Resolução (CCD), até 260 metros / 5 dias para o Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI) (INPE, 2004). Portanto, cada um destes satélites contém ou conterão sensores que apresentam resoluções diferentes daquelas dos sensores TM / Landsat 5 e ETM+ / Landsat 7. Isso lança uma dúvida sobre a comunidade científica e usuária dos dados gerados por projetos como o PRODES: qual o impacto que essas novas especificações dos sensores acarretariam na continuidade de projetos desta natureza?

Deste modo, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar os efeitos da resolução espacial, no caso, 30, 60, 120 e 240 metros, na estimativa de áreas desflorestadas em três padrões distintos de paisagem (pequenas propriedades, médias e grandes propriedades e espinha-de-peixe) em uma região específica da Amazônia Legal brasileira.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 Histórico da Ocupação do Estado de Rondônia

Dos 8,5 milhões de km<sup>2</sup> que o Brasil possui em sua extensão territorial, 5 milhões de km<sup>2</sup> são cobertos pela Amazônia Legal, ou seja, 60% do território nacional. Embora a Amazônia possua essa área tão extensa, sua importância advém do fato dela possuir uma das maiores reservas minerais do mundo, como é o caso de Carajás, que tem depósitos de manganês, cobre, bauxita, níquel, ouro e zinco. Aliado a isso, está o potencial hidrelétrico da região, caracterizado pela grande quantidade de rios que a cortam, a alta diversidade biológica e o alto potencial para extração de produtos madeireiros e não-madeireiros. No contexto desse ambiente complexo, mais de 140 tribos indígenas, muitas comunidades ribeirinhas e outros grupos tradicionais usam a floresta em modos de produção que exigem a ocupação de várias áreas de terra (por meio, por exemplo, da agricultura itinerante). A recente ocupação da Amazônia deve ser vista no contexto da acumulação de capital e da modernização, e não em termos de desenvolvimento, pois a apropriação recente dos seus recursos naturais renováveis e não-renováveis, promovida pelos capitais nacional e internacional, resultou numa destruição maciça do seu patrimônio natural e na marginalização da maioria das populações locais. Deve-se enfatizar nesse processo a ideologia dos vinte anos de regime militar (1964-1984), segundo o qual o chamado “vazio demográfico”, deveria ser ocupado a qualquer custo, clara dimensão geopolítica, expressa em realizações como o Programa de Integração Nacional (PIN), a construção da Transamazônica e a Perimetral Norte, que foram parcialmente terminadas. A fim de ocupar a região, o Governo estimulou a chegada de camponeses sem-terra do nordeste e do sul. Centenas de milhares de colonos de áreas temperadas foram atraídas para a região amazônica, sem o conhecimento de práticas agrícolas adequadas a um ambiente de floresta tropical. Parte destes novos colonos chegou espontaneamente, atraída pela propaganda de terras

baratas, e parte chegou à região através de assentamentos organizados, como foi o caso do Estado de Rondônia, localizado no extremo oeste da Amazônia, e que interligou-se com sul do Brasil através dos 1500 quilômetros da BR-364 (Porto-Velho – Cuiabá, abrindo 243.000 km<sup>2</sup> para sua ocupação, através de assentamentos organizados) (Diegues, 1999).

Antes da chegada dos primeiros europeus no século XVII, a região do atual Estado de Rondônia havia sido ocupada há milhares de anos por povos indígenas. Do período colonial até meados do século XX, a ocupação luso-brasileira da região se fazia marcar por atividades de exploração intermitentes, por disputas territoriais entre os reinos da Espanha e Portugal, e pelos ciclos de “altos e baixos” nas mercadorias extrativas, principalmente a borracha (Millikan, 1999). Este autor ressalta que apesar de explorar em alta escala o trabalho migrante e de destruir os povos indígenas, a maior parte destas atividades não resultou na destruição em ampla escala das florestas tropicais de Rondônia. Na verdade, no início dos anos 70, a maior parte da vegetação primária, em que predominavam vários tipos de floresta tropical, entremeadas de áreas de savana, pastos naturais e outros tipos de vegetação, ainda estava intacta. Até a década de 60, o acesso físico a Rondônia dependia de transporte fluvial, resultando em longas viagens de barco a esta remota região.

O desflorestamento rápido da região pode situar-se a partir da década de 70. Por volta de 1975, quando se tornaram acessíveis os dados dos sensores do satélite Landsat, estimava-se que 1.261,5 km<sup>2</sup> das florestas tropicais haviam sido desflorestados, o que corresponderia a 0,5% da área total do Estado. Em 1980, a área desflorestada cumulativa era avaliada em 7.579,3 km<sup>2</sup>, ou seja, 3,1% da área total de Rondônia (Fearnside, 1982). Durante esta década, o desencadeamento do desflorestamento rápido em Rondônia esteve estreitamente associado à emergência da região como frente agrícola muito importante na Amazônia brasileira, processo catalisado pela construção da rodovia Cuiabá – Porto Velho, estrada que penetrava na mata ligando a fronteira noroeste com a região mais industrializada do centro-sul do Brasil (Millikan, 1999).



Se comparado com o resto da Bacia Amazônica, pode-se dizer que Rondônia possui solos altamente férteis, porém, somente 9% da área total do Estado possui solos com potencial para safras anuais e perenes a níveis relativamente baixos de insumos e que só 2% deles são solos de alta fertilidade, aptos para maior parte dos usos agrícolas (Furley, 1980). A maior parte dos solos de Rondônia, assim como o restante da Amazônia, se encontra severamente limitado por fatores como baixa fertilidade, alta acidez e toxicidade ao alumínio, pequena capacidade de troca catiônica e poucas aptidões para a drenagem, estando os solos férteis pontilhados entre os solos de qualidade inferior (Millikan, 1999).

As políticas fundiárias contribuíram para padrões muito desiguais de posse da terra, legitimando o uso do desflorestamento como meio de estabelecer acesso e controle sobre a terra, e estimularam também a expansão de um mercado privado, de criadores de gado, altamente especulativo na fronteira. Grandes especuladores conseguiram assegurar seu acesso a grandes propriedades, baseando-se na prática do desflorestamento e da formação de pastos como meio de estabelecer direitos fundiários (Millikan, 1999).

Durante a década de 80, o Estado de Rondônia foi o foco de uma importante iniciativa financiada pelo Banco Mundial: o programa POLONOROESTE, que foi criado pelo governo brasileiro em 1981, tendo como centro o asfaltamento da BR-364, um objetivo estratégico do governo federal. Incluía também o apoio à colonização por pequenos agricultores, a proteção dos frágeis ecossistemas da região e as comunidades indígenas (IBDR, 1981).

Durante os primeiros anos da década de 80, o desflorestamento em Rondônia aumentou dramaticamente. Em 1982, a área desflorestada alcançou 5,4% (13.955 km<sup>2</sup>) da área total do estado. Em 1985, aproximadamente 11,3% (27.658 km<sup>2</sup>) do Estado haviam sido desflorestados (Malingreau e Tucker, 1988). Como já foi dito, por volta de 1987, o desflorestamento cumulativo em Rondônia foi calculado em 4,2 milhões de hectares (17,1% da área total do estado) (Fearnside, 1989).

Um estudo preliminar financiado em 1986 pelo Banco Mundial cobrindo 2,2 milhões de hectares em Rondônia, revelou que 46% da terra desflorestada (representando em torno de 30% da área pesquisada) eram usados para pastagens. Aproximadamente 30% da terra desflorestada eram plantados para fornecer safras anuais, enquanto outros 16% eram abandonados ou convertidos em “capoeira”. Por outro lado, apenas 8,5% haviam sido plantados para obter safras perenes (Millikan, 1999).

Segundo Pedlowski *et al.* (1997), os principais responsáveis pelo desflorestamento em Rondônia são os pequenos fazendeiros, os criadores de gado, os mineradores e os madeireiros. Cada qual a seu modo e de acordo com seus interesses financeiros, trazem mudanças no uso do solo e, portanto, impactos diferenciados.

## **2.2 Avaliação de Desflorestamento Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto**

A tecnologia de sensoriamento remoto tem sido cada vez mais utilizada na avaliação de impactos ambientais causados pelo desflorestamento. Dentre as principais utilizações de dados de satélites estão a geração de mapas temáticos para o monitoramento de grandes regiões de florestas, como é o caso do Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (PRODES) (Duarte *et al.*, 1999) e o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica e Ecossistemas Associados (Fundação Pró SOS Mata Atlântica, 2001), além de outras iniciativas de âmbito mais regional.

O Atlas dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica é uma iniciativa da Fundação Pró SOS Mata Atlântica, em conjunto com o INPE, tendo o mérito de ser o primeiro mapeamento da área original e da distribuição espacial dos remanescentes florestais desse bioma realizado no país a partir de imagens de satélite (Fundação Pró SOS Mata Atlântica, 2001).

Já o PRODES é considerado o maior projeto de monitoramento de florestas do mundo utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite. O objetivo do PRODES é fazer um levantamento da interferência humana, representado pelos desflorestamentos, sobre a Floresta Amazônica, dentro dos limites da Amazônia Legal Brasileira. Para isto, empregam-se imagens TM/Landsat recebidas na estação de

recepção de dados de Cuiabá, Mato Grosso. Essas imagens são classificadas e interpretadas. A comparação de imagens obtidas em anos sucessivos permite, então, avaliar o desflorestamento em um determinado período de tempo.

No início, todo o trabalho era feito sobre imagens analógicas que eram interpretadas visualmente por equipes de profissionais treinados. O resultado dessa interpretação era submetido à apreciação de um único profissional que procurava conferir critérios únicos na interpretação das imagens. Seguiam-se os trabalhos de digitalização dos mapas temáticos elaborados e a contabilização das áreas desflorestadas.

Atualmente o PRODES vem sendo conduzido a partir do uso de imagens em formato digital e a metodologia inclui o emprego de técnicas de processamento digital aliadas à inspeção visual das imagens. A vantagem dessa mudança metodológica reside na precisão da definição e no posicionamento geográfico dos polígonos de desflorestamento (Duarte *et al.*, 1999).

O PRODES baseia-se no emprego das imagens das bandas espectrais 3, 4 e 5 dos sensores Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) do satélite Landsat. Após o georreferenciamento das imagens originais são geradas as imagens-fração a partir do modelo linear de mistura espectral (Shimabukuro e Smith, 1991). Definindo-se qual imagem fração apresenta melhores resultados visuais, ela deve ser segmentada, seguindo-se a classificação digital não supervisionada (Duarte *et al.*, 1999).

O mapa temático gerado a partir da aplicação das técnicas anteriormente mencionadas é submetido à inspeção visual com o objetivo de identificar possíveis inconsistências e erros de classificação, os quais são imediatamente corrigidos, e este mapa passa então a ser parte do Banco de Dados Digitais da Amazônia (BADDAM).

Além do PRODES, o INPE faz parte do LBA (Large Scale Biosphere\_atmosphere Experiment in Amazônia), uma iniciativa internacional de pesquisa liderada pelo Brasil. Esta iniciativa dará ênfase a observações e análises que ampliarão a base de conhecimentos sobre a Amazônia em seis áreas: Física do Clima, Armazenamento e

Trocas de Carbono, Biogeoquímica, Química da Atmosfera, Hidrologia, e Usos da Terra e Cobertura Vegetal. O programa está delineado para tratar das questões principais levantadas na Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas. O LBA proporcionará uma base de conhecimentos voltada ao uso sustentável da terra na Amazônia. Para tal, dados e análises serão utilizados para definir o estado presente do sistema Amazônico e sua resposta a perturbações atuais, e serão complementados com resultados de modelos para proporcionar um entendimento quanto a possíveis mudanças no futuro (LBA, 2005).

Mudanças dos Usos da Terra e da Cobertura Vegetal, de vegetação nativa e cultivos agrícolas e regeneração subsequente, serão quantificadas e relacionadas a causas físicas e sócio-econômicas. Estudos de desmatamento e alteração de florestas, em escala Amazônica, serão realizados utilizando-se dados de satélite e de levantamentos de censos estatísticos. Estudos de caso serão realizados para ilustrar de que modo as mudanças dos usos da terra afetam a cobertura vegetal. Pesquisas para definir as condições e os fatores externos que causam essas mudanças enfocarão o desenvolvimento de modelos preditivos de mudanças de cobertura vegetal e usos da terra (INPE, 2005).

Ainda sobre o desflorestamento na Amazônia, principalmente no Estado de Rondônia, várias pesquisas foram feitas. Saatchi *et al.* (1997) e Rignot *et al.* (1997) mapearam o desflorestamento na Amazônia, no Estado de Rondônia, utilizando um método alternativo com imagens de radar, por ser este independente da cobertura de nuvens, fumaça entre outros fatores. Os autores atingiram precisão de mapeamento entre 72 e 93%, estando as principais dificuldades encontradas na separação de sucessões primária e secundária da floresta, na biomassa residual e no mapeamento durante estações chuvosas. Escada e Alves (2001) estudaram a compartimentação da paisagem em unidades de ocupação no Estado de Rondônia, com base na história de ocupação e na geomorfologia local, com o objetivo de tentar entender melhor como se dá esse processo de desflorestamento e que tipo de mudanças ele acarreta na paisagem. Alves *et al.* (1998a) fizeram uma classificação dos diversos padrões de desflorestamento presentes no Estado de Rondônia, datados de 1995, obtendo o resultado de 1,2 milhões

de hectares de área desflorestada o que corresponde a 35% da área de estudo. Alves *et al.* (1998b) fizeram uso de 5 algoritmos diferentes para classificação de imagens para determinar qual seria o melhor para mapear desflorestamento, concluindo que todos eles têm resultados excelentes para fins de mapeamento de desflorestamento. Ferraz *et al.* (2005) fizeram um estudo do desflorestamento de uma bacia hidrográfica do Estado de Rondônia de 1984 a 2002, com previsão para os próximos 10-15 anos do que irá ocorrer neste local caso não sejam tomadas providências para parar o desflorestamento. Os autores sugerem que sejam tomadas medidas como redução de atividades que levem ao desflorestamento, implementação de áreas de preservação permanente ao longo de rios e controlar a transição de usos da terra, não só para esta área de estudo mas para áreas similares a esta.

Todos os trabalhos mencionados exploraram produtos de sensoriamento remoto que se caracterizam por fundamentarem-se nos domínios espectral, espacial e temporal. Entende-se que na identificação e na quantificação de superfícies desflorestadas os domínios espacial e temporal assumem relativa maior importância, uma vez que a discriminação espectral de áreas desflorestadas é facilitada pela freqüente grande diferença de brilho existente entre superfícies florestadas e não-florestadas, para a maioria das faixas espectrais exploradas em sensores de monitoramento ambiental. Pensando exclusivamente na resolução espacial, espera-se que sua interferência se manifeste tanto em valores totais absolutos de desflorestamentos, quanto na identificação de uma área mínima, sendo este último fator de fundamental importância em trabalhos que envolvem a fiscalização dos recursos florestais.

### **2.3 Resolução Espacial e filtragem**

A resolução espacial de um sistema de imageamento não é um conceito fácil de ser definido. Pode ser medido de diferentes formas, dependendo da finalidade a que se destina. A medida mais comumente utilizada, baseada nas propriedades geométricas do sistema de imageamento, é o *Instantaneous Field of View* (IFOV) de um sensor. Ele é definido como a área no solo que, em teoria, é vista pelo instrumento de uma dada altitude em um dado instante no tempo. O IFOV torna-se menor em altitudes mais

baixas e aumenta conforme aumenta a altitude. Pode ser medido como um ângulo ou pela distância equivalente XY no solo (Mather, 1999) (FIGURA 2.1).

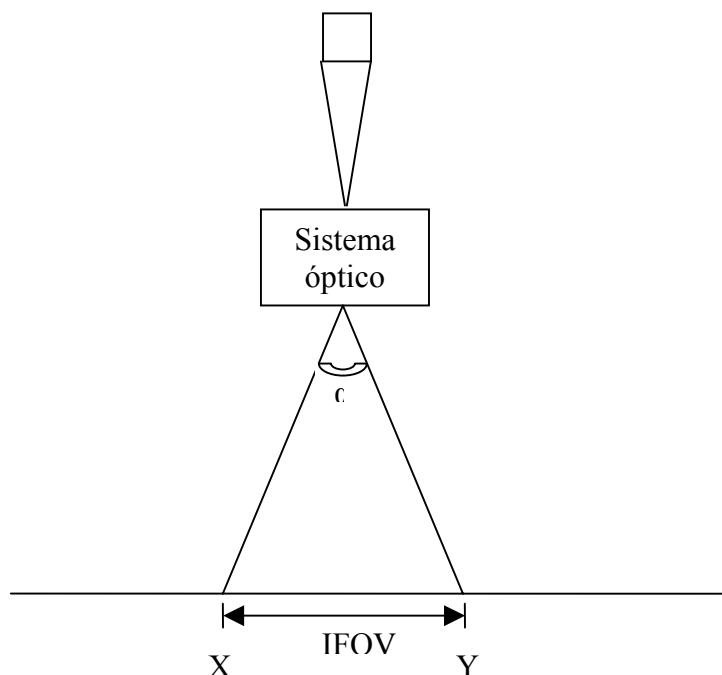


FIGURA 2.1 – IFOV angular ( $\alpha$ ), mostrando a projeção XY no solo.

Durante o processo de aquisição, o sistema de imageamento pode causar degradações da imagem devido aos efeitos cumulativos dos instrumentos ópticos (difrações, aberrações, erros de focalização) e um movimento na imagem induzido pelo movimento do satélite. Tipicamente, essa degradação pode ser modelada por um sistema linear caracterizado por sua Função de Espalhamento Pontual (FEP) ou por sua Função de Transferência de Modulação (FTM) no domínio da frequência (Bensebaa *et al.*, 2005).

A FEP pode ser aproximada por uma função Gaussiana e ela mede o quanto um sistema óptico espalha a imagem a partir de um ponto, o que possibilita uma avaliação objetiva do parâmetro de resolução espacial do sistema de imageamento. Em sensoriamento remoto, esse parâmetro de resolução espacial é conhecido como *Effective Instantaneous Field of View* (EIFOV) e possibilita uma comparação entre diferentes sensores (Bensebaa *et al.*, 2005).

Os imageadores instalados a bordo de satélites de observação da Terra, como o TM/Landsat ou o CBERS, produzem elementos de imagem que correspondem a elementos de cena quadrados, de acordo com a projeção geométrica dos seus detectores quadrados na superfície da Terra. Designa-se pela variável IFOV o lado do elemento de cena, e por  $(\delta_1, \delta_2)$  o par de distâncias entre dois elementos de cena consecutivos correspondentes respectivamente às linhas e colunas da imagem ou ainda o par de passos definindo a grade regular de amostragem (Banon, 1990).

Admitindo que estes imageadores podem ser representados por filtros separáveis e gaussianos, é possível estabelecer uma relação de proporcionalidade entre o par de EIFOVs e o par  $(\delta_1, \delta_2)$ ,

$$EIFOV_1, EIFOV_2 = (k_1, k_2)(\delta_1, \delta_2), \quad (2.1)$$

para os imageadores possuindo as mesmas características de atenuação da FTM na metade do seu par de frequências de amostragem  $(\frac{1}{2\delta_1}, \frac{1}{2\delta_2})$  (Banon, 1990).

Ainda de acordo com este autor, sejam  $h = (h_1, h_2)$  a FEP do filtro separável e gaussiano representando o comportamento espacial do imageador e  $(\sigma_1^2, \sigma_2^2)$  seu par de variâncias.

Seja  $\zeta$  a transformada de Fourier. Por definição o EIFOV relativo à direção  $i$  verifica a expressão

$$|\zeta(h_i)|\left(\frac{1}{2EIFOV_i}\right) = \frac{1}{2}, \quad (2.2)$$

em outros termos, o EIFOV é dado por

$$EIFOV_i = (2|\zeta(h_i)|^{-1}\left(\frac{1}{2}\right))^{-1}, \quad (2.3)$$

onde  $|\zeta(h_i)|^{-1}(\cdot)$  representa a função inversa de  $|\zeta(h_i)|(\cdot)$ .

A característica de atenuação da FTM na metade da frequência de amostragem,  $\frac{1}{2\delta_i}$ , relativa à direção  $i$ , e denotada por  $\gamma_i$  é dada por

$$\gamma_i = |\zeta(h_i)| \left( \frac{1}{2\gamma_i} \right) \quad (2.4)$$

Por hipótese,  $h_i$  é uma função gaussiana, i. é

$$h_i(x_i) = \frac{1}{\sigma_i(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \exp - \frac{1}{2} \cdot \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} (x_i \in R), \quad (2.5)$$

neste caso

$$|\zeta(h_i)|(v_i) = (\zeta(h_i))(v_i) = \exp - 2\pi^2 \sigma_i^2 v_i^2 (v_i \in R), \quad (2.6)$$

e

$$|\zeta(h_i)|^{-1}(u_i) = \frac{1}{\pi\sigma_i} \left[ \frac{1}{2} \log \frac{1}{u_i} \right]^{\frac{1}{2}} (u_i \in R), \quad (2.7)$$

assim, para  $i=1, 2$ , têm-se as seguintes relações, a partir da definição de EIFOV<sub>*i*</sub>,

$$EIFOV_i = \left[ \frac{2}{\pi\sigma_i} \left[ \frac{1}{2} \log 2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{-1} \quad (2.8)$$

$$= \pi\sigma_i (2 \log 2)^{-\frac{1}{2}},$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\pi} (2 \log 2)^{\frac{1}{2}} EIFOV_i \quad (2.9)$$

a partir da definição de  $\gamma_i$ ,



$$\gamma_i = \exp - \frac{\pi^2 \sigma_i^2}{2\delta_i^2} \quad (2.10)$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\pi} \left[ 2 \log \frac{1}{\gamma_i} \right]^{\frac{1}{2}} \delta_i \quad (2.11)$$

Finalmente, para  $i=1,2$ , a partir de (2.9) e (2.11) têm-se

$$EIFOV_i = \left[ \frac{\log 1}{\frac{\gamma_i}{\log 2}} \right]^{\frac{1}{2}} \delta_i \quad (2.12)$$

i. é, as constantes  $k_i$  acima são dadas por

$$k_i = \left[ \frac{\log 1}{\frac{\gamma_i}{\log 2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

A relação (2.4) pode ser invertida

$$\gamma_i = \left( \frac{1}{2} \right)^{k_i^2} \quad (2.14)$$

Quando a distância  $\delta_i$  é igual ao IFOV, como, por exemplo, no caso dos imageadores MSS (somente nas colunas), TM e SPOT, tem-se, para  $i = 1,2$ , a partir de (2.12), a seguinte relação entre o IFOV e os EIFOVs

$$EIFOV_i = k_i IFOV \quad (2.15)$$

com  $k_i$  dependendo somente de  $\gamma_i$  como indicado em (2.13).

Juntando (2.9) e (2.15) tem-se a expressão

$$\sigma_i = \frac{1}{\pi} (2 \log 2)^{\frac{1}{2}} k_i IFOV \quad (2.16)$$

que será utilizada para fazer a degradação das imagens utilizadas nesta dissertação. (para outras definições, ler Banon, 1990).

Exemplificando o que foi dito acima, tomemos por base uma simulação feita para degradar a resolução da imagem de 30 para 60 metros que foi aqui utilizada:

$\delta_V = IFOV = 60\text{m}$  e  $k_1 = k_2 = 1,5$  para uma imagem na resolução do TM ( $\delta_U = 30\text{m}$ ).

O primeiro passo consiste em determinar-se  $\sigma_i$ , uma relação do EIFOV com o IFOV, que é calculado utilizando-se a equação:

$$\sigma_i = \frac{1}{\pi} (2 \log 2)^{\frac{1}{2}} * k_i * IFOV$$

Resolvendo-se a equação tem-se:

$$\sigma_i = 0,375 * 1,5 * 60$$

$$\sigma_i = 33,730, \text{ de onde se obtém o par } (\sigma_{V1}, \sigma_{V2}) = (33,730; 33,730).$$

O segundo passo consiste no cálculo do par de variâncias,  $(\sigma_{F1}^2, \sigma_{F2}^2)$ , da FEP (que representa o comportamento espacial do imageador):

$(\sigma_{F1}^2, \sigma_{F2}^2) = (\sigma_{V1}^2 - \sigma_{U1}^2, \sigma_{V2}^2 - \sigma_{U2}^2)$ , com  $\sigma_{U1} = 17\text{m}$  (desvio padrão do filtro que representa o imageador TM).

$$(\sigma_{F1}^2, \sigma_{F2}^2) = [(33,730)^2 - (17)^2; [(33,730)^2 - (17)^2]$$

$$(\sigma_{F1}^2, \sigma_{F2}^2) = (848,73; 848,73)$$

$$(\sigma_{F1}, \sigma_{F2}) = (29,133; 29,133)$$

Com  $\delta = 30\text{m}$ , tem-se:

$$n > \frac{3}{2\delta^2} * \max(\sigma_{F1}^2, \sigma_{F2}^2)$$

$$n > \frac{3}{2 * 30^2} \max(848,73)$$

$$n > 1,41$$

Portanto, se  $n$  deve ser um número inteiro maior do que 1,41,  $n$  deve ser 2.

Escolhendo-se  $n = 2$ , tem-se:

$$(\alpha_1, \alpha_2) = \left[ \frac{\sigma_{F1}^2}{2(n\delta^2 - \sigma_{F1}^2)}, \frac{\sigma_{F1}^2}{2(n\delta^2 - \sigma_{F1}^2)} \right]$$

$$(\alpha_1, \alpha_2) = \left[ \frac{29,133^2}{2(2 * 30^2 - 848,73)}, \frac{29,133^2}{2(2 * 30^2 - 848,73)} \right]$$

$$(\alpha_1, \alpha_2) = (0,4461; 0,4461)$$

Sendo  $a_i = \frac{1}{(1 + 2 * \alpha_i)}$  e  $b = \frac{\alpha_i}{(1 + 2 * \alpha_i)}$ , tem-se que:

$$a_i = 0,5285 \text{ e } b_i = 0,2358.$$

Portanto, a matriz correspondente à máscara utilizada para degradação de 60m é a seguinte:

$$[h_s] = * \begin{bmatrix} b^2 & ab & b^2 \\ ab & a^2 & ab \\ b^2 & ab & b^2 \end{bmatrix},$$

onde  $n$  representa o número de vezes que a máscara deve ser aplicada sobre a imagem para se obter o efeito e o valor de resolução espacial desejados. Sendo assim:



## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo refere-se a uma porção do Estado de Rondônia, compreendida pelas latitudes  $-62^{\circ}48'00''$ ;  $-61^{\circ}43'00''$ ; e longitudes  $-10^{\circ}28'00''$ ;  $-9^{\circ}23'00''$ . Trata-se de uma região incluída no chamado “arco de desflorestamento da Amazônia Legal” (INPE, 2004) e inclui diferentes padrões de ocupação da terra. A FIGURA 3.1 apresenta a localização da área de estudo no contexto nacional e um recorte da cena do sensor TM identificada pela órbita/ponto 231/67 sob a forma de uma composição colorida elaborada a partir das bandas TM3 (R), TM4 (G) E TM5 (B).

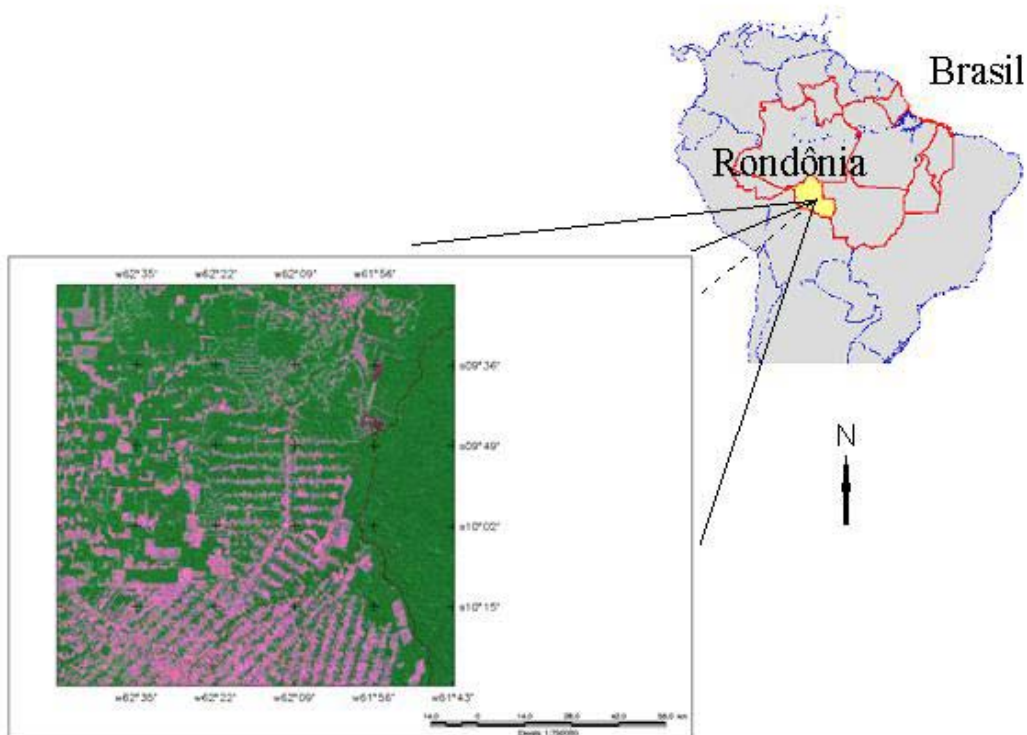


FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo no Estado de Rondônia. A composição colorida compreende as bandas TM3 (R), TM4 (G) E TM5 (B) da imagem TM/Landsat 5 obtida em 15 de julho de 2000.

Esta área foi escolhida por apresentar os três padrões diferenciados de desflorestamento encontrados na Amazônia em geral: o padrão de ocupação que segue o arruamento e as estradas, projeto de colonização linear, denominado espinha-de-peixe (FIGURA 3.2); o padrão de médias ou grandes propriedades (FIGURA 3.3); e o padrão de projeto de colonização irregular ou dendrítico, aqui denominado genericamente de pequenas propriedades (FIGURA 3.4).

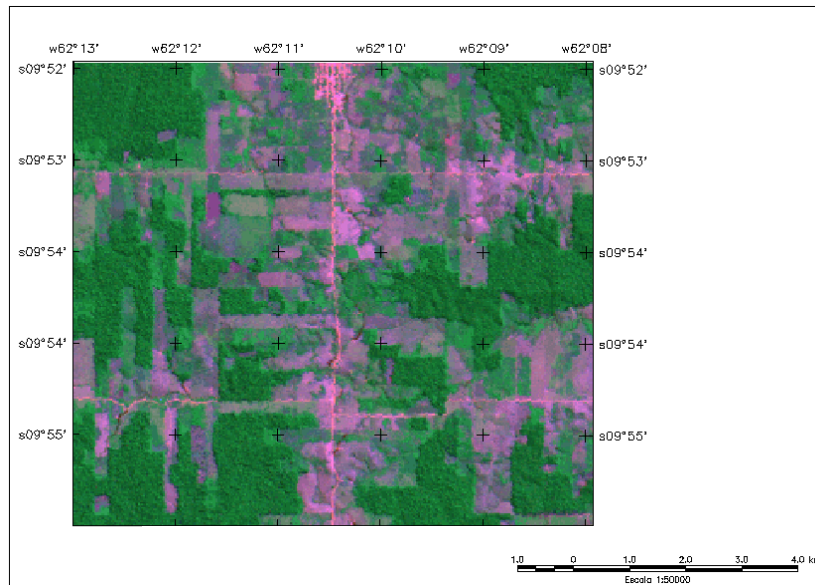


FIGURA 3.2 – Porção da área de estudo mostrando o padrão espinha-de-peixe. A composição colorida e a data são as mesmas da FIGURA 3.1.

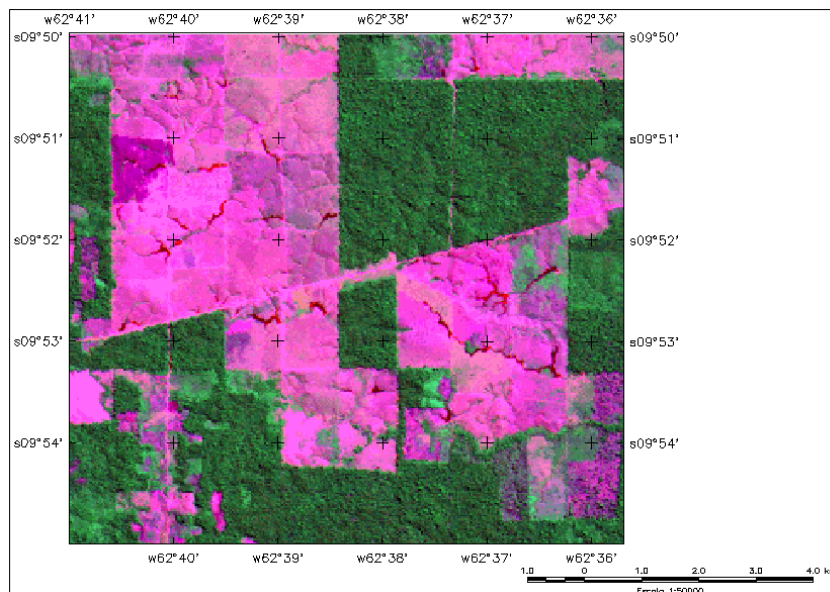


FIGURA 3.3 – Porção da área de estudo mostrando o padrão de médias e grandes. A composição colorida e a data são as mesmas da FIGURA 3.1.

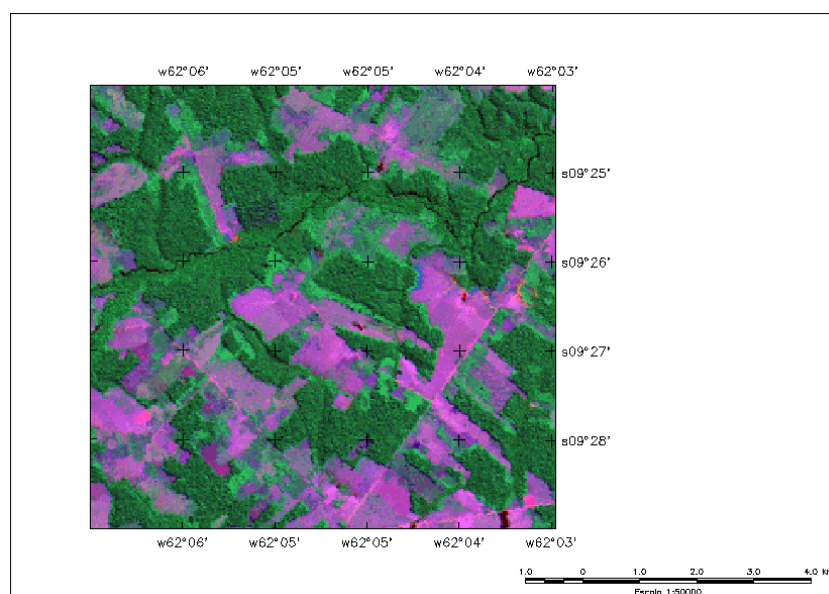


FIGURA 3.4 – Porção da área de estudo mostrando o padrão de pequenas propriedades. A composição colorida e a data são as mesmas da FIGURA 3.1.

Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático da região é do tipo Am com chuvas do tipo monção. Caracteriza-se por uma estação chuvosa que vai de dezembro a março, com precipitações anuais em torno de 2.000 mm, e uma estação seca bem definida nos meses de junho, julho e agosto. A temperatura média anual fica em torno de 24° C e a umidade relativa entre 80 e 85% (RADAMBRASIL, 1978).

O relevo em Rondônia apresenta elevações entre 70 a 600 metros, predominando na área de estudo relevo suave e a cobertura vegetal nativa da região é na sua maioria de Florestas Tropicais Densas ou Abertas (RADAMBRASIL, 1978).

Nesta área foram identificados e mapeados os seguintes tipos de solos: Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo álico, Latossolo Vermelho-Amarelo álico podzólico, Terra Roxa estruturada distrófica, Podzólico Vermelho-Escuro distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo álico, Podzólico Vermelho-Amarelo álico endoconcrecionário plíntico, Cambissolo álico, Gleí Pouco Húmico álico e distrófico, Solos Aluviais álicos e Solos Litólicos distróficos, além de áreas onde ocorrem significativamente afloramentos rochosos (Embrapa, 2001).



### 3.2 Metodologia

O fluxograma apresentado na FIGURA 3.5 mostra, de forma resumida, os passos metodológicos adotados nesta dissertação, e que serão explicados com maiores detalhes adiante:

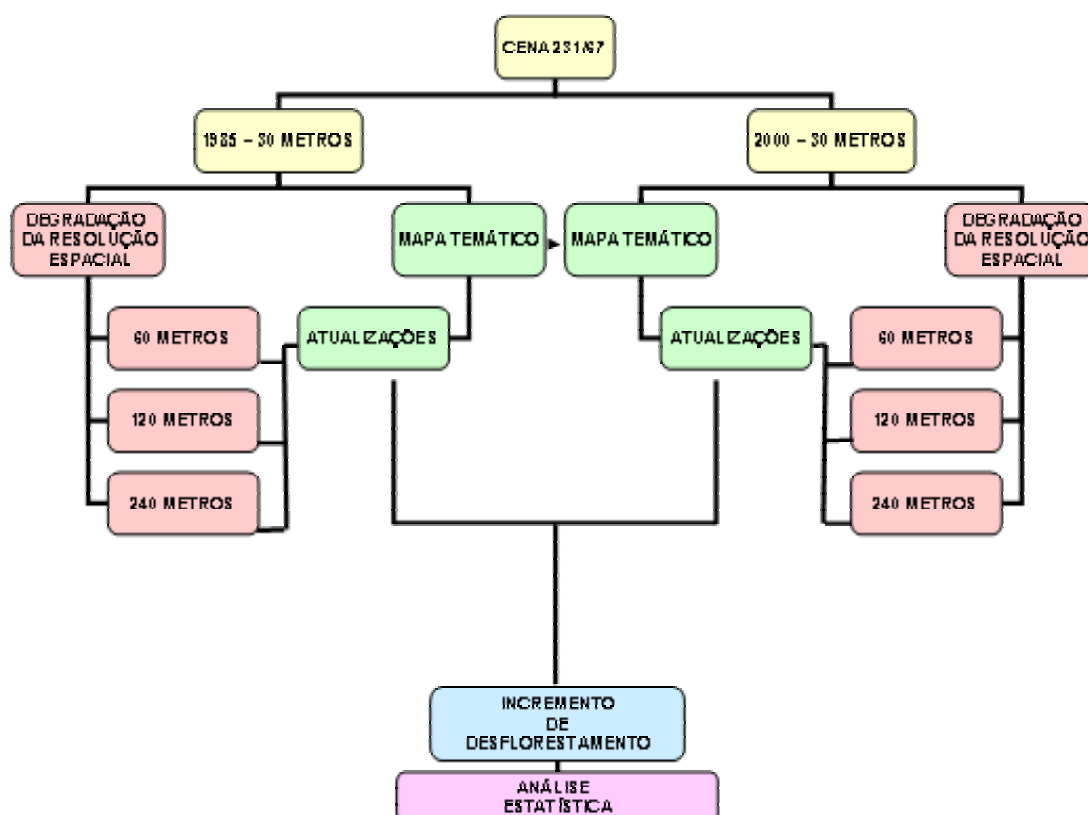


FIGURA 3.5 – Fluxograma da metodologia aplicada.

A metodologia utilizada nesta dissertação consistiu em 4 etapas distintas: degradação da resolução espacial das imagens; elaboração dos mapas temáticos; determinação dos

incrementos de desflorestamento levando em consideração duas datas de referência e análise estatística dos dados.

Foram utilizadas as imagens das bandas TM3, TM4 e TM5 referentes à órbita/ponto 231/67, datadas de 22/07/1985 e 15/07/2000 (FIGURA 3.1). Essas bandas foram escolhidas por apresentarem maior ganho no estudo da paisagem (Landsat, 2005).

O aplicativo utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING (Câmara, 1996), versão 4.0.1, desenvolvido pelo INPE.

### 3.2.1 Degradação da Resolução Espacial

A degradação da resolução espacial das imagens foi realizada utilizando-se a metodologia desenvolvida por Banon (1990), descrita anteriormente com detalhes na Fundamentação Teórica (Capítulo 2). Neste trabalho, a resolução espacial de 30m das imagens do sensor TM foi degradada para 60, 120 e 240m. As matrizes e o número de iterações para cada uma encontram-se dispostas abaixo:

TABELA 3.1 Matriz de cálculo para a degradação em 60 metros, com 02 iterações.

0,0556	0,1246	0,0556
0,1246	0,2793	0,1246
0,0556	0,1246	0,0556

TABELA 3.2 Matriz de cálculo para a degradação em 120 metros, com 08 iterações.

0,0876	0,1207	0,0876
0,1207	0,1664	0,1207
0,0876	0,1207	0,0876

TABELA 3.3 Matriz de cálculo para a degradação em 240 metros, com 30 iterações.

0,1100	0,1116	0,1100
0,1116	0,1132	0,1116
0,1100	0,1116	0,1100

Ao final da aplicação desses filtros, foram então geradas imagens que passaram a representar simulações das resoluções espaciais mencionadas. A partir dessas imagens foram então gerados os mapas temáticos que serviram como base de todo o trabalho.

### 3.2.2 Elaboração dos Mapas Temáticos

Uma vez tendo as imagens do sensor TM degradadas para as resoluções espaciais mencionadas anteriormente, foram elaborados os mapas temáticos (em cada resolução, incluindo a de 30m), somente para o ano de 1985.

Foram definidas três classes temáticas na elaboração dos mapas temáticos: **cobertura florestal**, **ausência de cobertura florestal** e **água**. A classe **cobertura florestal** corresponde a áreas de florestas primária, madura, ou em estágio avançado de regeneração. A classe **água** corresponde aos rios e alguns lagos e demais corpos d'água. A classe **ausência de cobertura florestal** corresponde a qualquer tipo de padrão de uso da terra, seja ele pastagem, solo, exposto, agricultura, edificações e formações florestais em estágios iniciais de regeneração, ou seja, qualquer área que não fosse considerada como cobertura florestal ou água. Estas classes não devem ser confundidas com aquelas utilizadas pelo PRODES.

A identificação dessas classes foi feita mediante aplicação de classificação digital, seguida de inspeção visual, sobre as imagens das bandas TM3, TM4 e TM5. Na classificação digital, foi aplicado o algoritmo MAXVER, procurando identificar as classes **cobertura florestal** e **água**. Os limites da classe **ausência de cobertura florestal** foram definidos por diferença daquilo que não foi identificado na etapa de

classificação digital, seguindo-se uma inspeção visual cuidadosa com o objetivo de corrigir eventuais imperfeições.

Apesar do objetivo do trabalho ser analisar o efeito da resolução espacial na estimativa de áreas desflorestadas, uma das partes mais importantes foi exatamente fazer uma boa classificação destas classes, para que não houvesse confusão entre elas e, com isso, uma estimativa errada das áreas desflorestadas. Por isso foi feita a opção por um classificador “pixel a pixel” (MAXVER), que utiliza informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas ao invés de um classificador por regiões (que utilizaria informação espacial que envolve os pixels e seus vizinhos na classificação). Utilizando a separação espectral entre as classes na classificação, por serem classes com resposta espectral bastante distinta, a possibilidade de confusão entre elas na classificação seria realmente muito pequena.

Uma vez que os mapas de 1985 foram concluídos (um para cada resolução espacial), estes foram atualizados a partir das imagens do mesmo sensor TM referentes ao ano 2000. Essa atualização foi realizada mediante um procedimento semelhante àquele empregado pelo PRODES, o qual consiste na classificação digital (utilizando novamente o algoritmo MAXVER) somente na classe **ausência de cobertura florestal** da imagem de 2000. É importante destacar que a amostragem dessa classe não-floresta foi realizada mediante a superposição dos limites da classe **ausência de cobertura florestal** obtidos em 1985, sobre as imagens correspondentes de 2000, procurando então identificar somente aqueles incrementos da classe em questão. Os limites da classe **ausência de cobertura florestal**, obtidos em 2000 foram então sobrepostos àqueles obtidos em 1985, resultando em uma única máscara temática dessa classe para o ano 2000. Seguiu-se a inspeção e edição visual com o objetivo de corrigir possíveis imperfeições geradas pela classificação digital. Uma vez que os limites da classe **ausência de cobertura florestal** foram definidos da forma mais fiel possível à realidade, foi confeccionado um mosaico a partir das classes **cobertura florestal** e **água** de 1985, gerando então mapas temáticos para o ano 2000.

### 3.2.3 Obtenção dos Incrementos de Desflorestamento

Foram então elaborados oito mapas temáticos, quatro para 1985 (um para cada uma das resoluções espaciais) e quatro para 2000. Com o objetivo de aplicar estatísticas na avaliação dos resultados foram elaborados planos de informação, também temáticos, compostos por células de 2km de lado. A distribuição espacial dessas células foi arbitrária e de forma a ocupar toda a área de estudo, sendo que 50 células foram distribuídas sobre cada um dos três padrões de desflorestamentos apresentados, totalizando então 150 células. As proporções de cada classe (**ausência de cobertura florestal, cobertura florestal e água**) foram então calculadas para cada célula sobre os mapas oriundos das diferentes resoluções espaciais (30m, 60m, 120m e 240m) nas duas datas distintas (22/07/1985 e 15/07/2000). Em seguida, foi calculado o incremento de desflorestamento no período de 1985 a 2000 dentro de cada célula. A partir dos resultados obtidos, procedeu-se a análise estatística dos dados.

### 3.2.4 Análise Estatística dos Dados

A análise estatística dos dados foi feita em duas partes, descritas a seguir:

#### 3.2.4.1 Relação entre Incremento de Desflorestamento e Resolução Espacial

A primeira parte consistiu na aplicação de regressões lineares entre os valores de incremento de desflorestamento obtidos a partir da resolução espacial de 30m e aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para 60, 120 e 240m. Este procedimento foi similar ao adotado por Mayaux e Lambin (1995), ao compararem os valores de estimativas de área de floresta tropical obtidos a partir dos sensores TM e AVHRR.

Gráficos de dispersão foram elaborados considerando o conjunto total de dados ( $n = 150$  células) e sua subdivisão segundo os padrões de desflorestamento de médias e grandes propriedades, pequenas propriedades e espinha-de-peixe ( $n = 50$  células para cada padrão). As variações nos parâmetros das equações das retas e no coeficiente de determinação foram então analisadas em função da resolução espacial.

### **3.2.4.2 Análise de Regressão Múltipla**

A segunda parte da análise estatística dos dados consistiu em três análises de regressão múltipla. Em cada análise, foi considerada como variável dependente, a resolução espacial de 30 metros e como variáveis independentes as resoluções espaciais simuladas (60, 120 ou 240 metros) e os três padrões de desflorestamento representados por variáveis qualitativas.

A análise de regressão múltipla, neste caso, serviu para verificar a influência do padrão de desflorestamento (espinha-de-peixe, médias e grandes propriedades e pequenas propriedades) sobre as estimativas dos incrementos de desflorestamento, de acordo com a resolução espacial adotada.

Através da análise de regressão, foi possível obter as equações que regem cada padrão de desflorestamento em cada valor de resolução espacial, seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que determinam a confiabilidade do modelo, sempre com  $p < 0,05$ .

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Degradação da Resolução Espacial das Imagens e Mapas Temáticos

As FIGURAS 4.1, 4.2 e 4.3 mostram um resumo do que foi feito em termos de imagens e mapas nesta dissertação.

A FIGURA 4.1 representa o recorte adotado para análise do padrão espinha-de-peixe. Na primeira coluna, aparece o valor da resolução espacial adotado em cada uma das linhas; na segunda coluna, tem-se a composição colorida 345 RGB para a imagem datada de 22 de julho de 1985, em cada um dos valores de resolução espacial adotados; a terceira coluna trás os mapas temáticos correspondentes às imagens de 1985; a quarta coluna tem a composição colorida 345 RGB para a imagem datada de 15 de julho de 2000, em cada um dos valores de resolução espacial e; a quinta coluna tem os mapas correspondentes às imagens de 2000.

As FIGURAS 4.2 e 4.3 têm as mesmas especificações da FIGURA 4.1 mas representam, respectivamente, os padrões de médias e grandes propriedades e o de pequenas propriedades.

Com base na inspeção destas figuras, podem-se observar diferenças marcantes dos mapas temáticos resultantes da resolução espacial de 30m, 60m e 120m com aquele obtido com a resolução espacial simulada de 240m. Com a degradação da resolução espacial de 30m para 240m, houve uma tendência à confusão entre as classes e à suavização de feições nas imagens. Polígonos menores foram englobados por sua vizinhança, assim como feições retas e estreitas desapareceram. De forma mais específica, pequenas áreas de desflorestamento foram englobadas pela classe **cobertura florestal**. Por outro lado, pequenas áreas de floresta, dispersas em grandes áreas desflorestadas, foram incorporadas pela classe **ausência de cobertura florestal**.

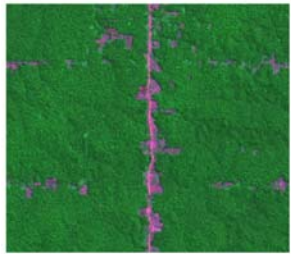
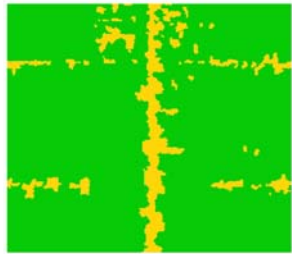
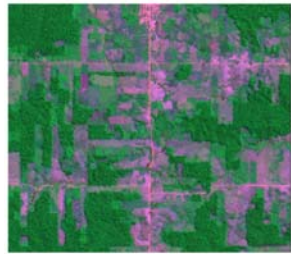
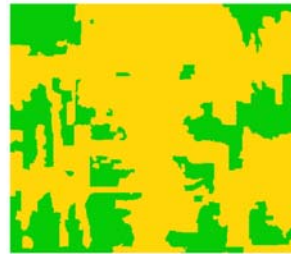
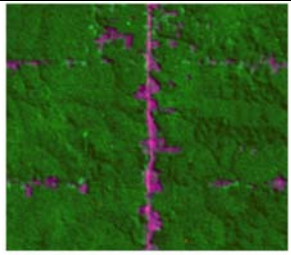
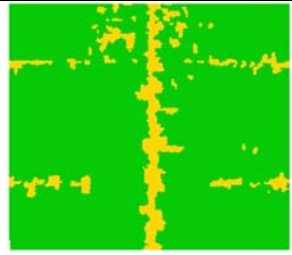
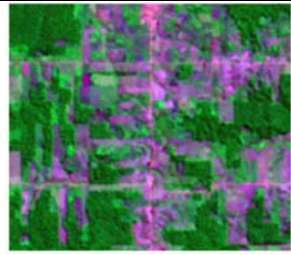
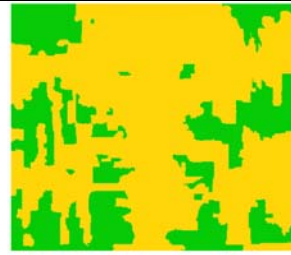
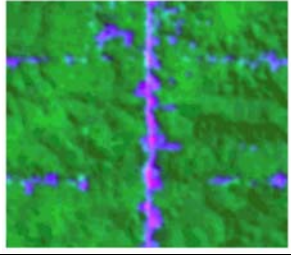
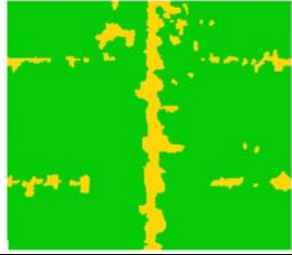
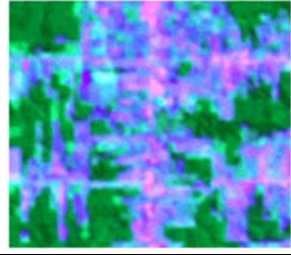
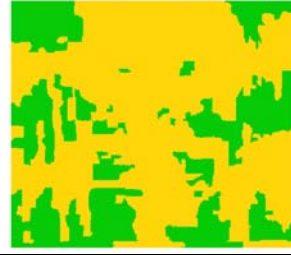
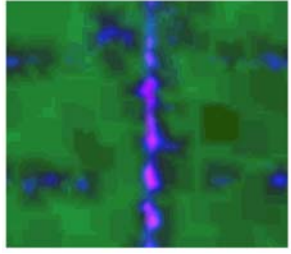
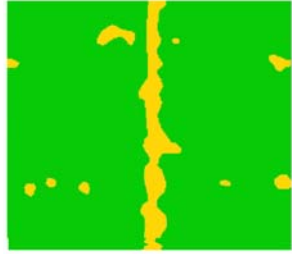
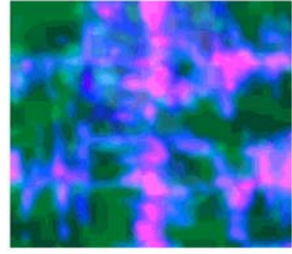

Resolução Espacial	Imagem 1985	Mapa 1985	Imagem 2000	Mapa 2000
30 metros				
60 metros				
120 metros				
240 metros				

FIGURA 4.1 – Representação das imagens e mapas do padrão espinha-de-peixe para cada data analisada e valores de resolução espacial adotados .



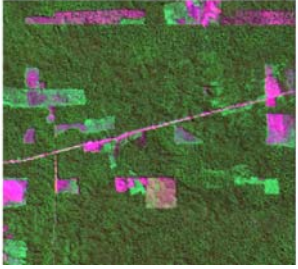
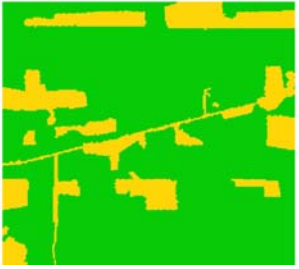


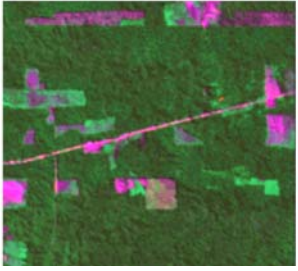
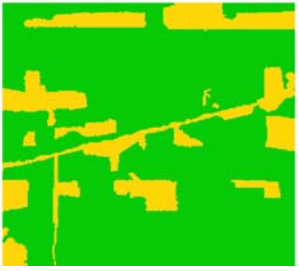
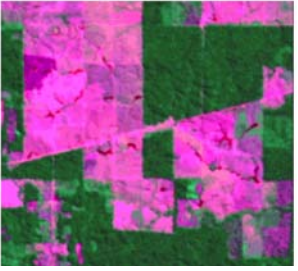

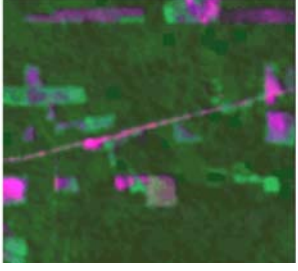
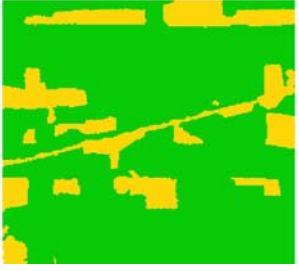


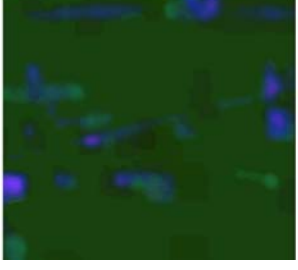
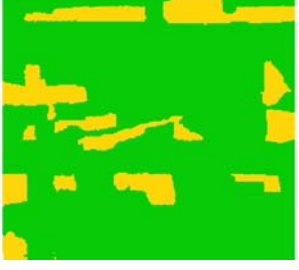
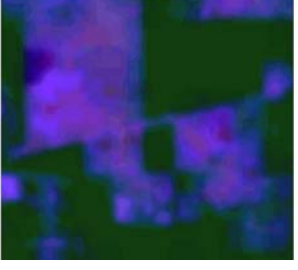

Resolução Espacial	Imagem 1985	Mapa 1985	Imagem 2000	Mapa 2000
30 metros				
60 metros				
120 metros				
240 metros				

FIGURA 4.2 - Representação das imagens e mapas do padrão de médias e grandes propriedades para cada data analisada e valores de resolução espacial adotados.

Resolução Espacial	Imagem 1985	Mapa 1985	Imagem 2000	Mapa 2000
30 metros				
60 metros				
120 metros				
240 metros				

FIGURA 4.3 - Representação das imagens e mapas do padrão de pequenas propriedades para cada data analisada e valores de resolução espacial adotados. As formas azuis nas imagens de 1985 em 30, 60 e 120 metros correspondem a um ruído e não a desflorestamento.

Os resultados das FIGURAS 4.1 a 4.3 são concordantes com os obtidos nos trabalhos de Ponzoni *et al.* (2002) e Ponzoni e Rezende (2002) em áreas de estudo localizadas na região Amazônica. Estes autores concluíram que quanto mais grosseira for a resolução espacial, maior será a tendência das feições terem suas bordas suavizadas e da confusão entre as classes, dificultando a elaboração dos mapas temáticos especialmente para valores simulados de resolução espacial superiores a 100m.

Em relação aos três padrões de desflorestamento estudados (médias e grandes propriedades, pequenas propriedades e espinha-de-peixe), a análise comparativa das FIGURAS 4.1 a 4.3 indica que o padrão espinha-de-peixe foi o mais afetado pela degradação da resolução espacial para 240m. Conforme esperado, isto se deveu às suas feições mais lineares que, no processo de degradação, foram incorporadas pelas áreas adjacentes de floresta.

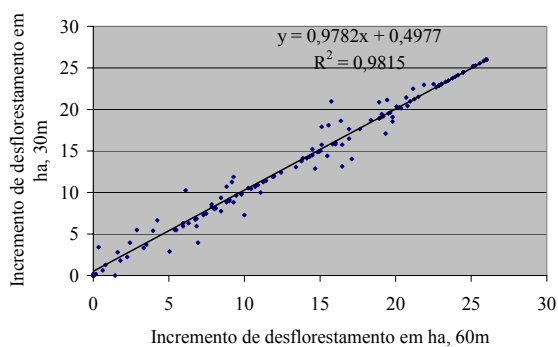
A discussão apresentada acima se refere ao efeito da degradação da resolução espacial sobre as feições da paisagem em um único momento no tempo. Vale salientar que o que se procura aqui é avaliar esse efeito sobre as estimativas de incrementos de desflorestamento, considerando as particularidades intrínsecas de cada um dos padrões de ocupação da terra em questão. Assim, todas as discussões que se seguem serão fundamentadas na dinâmica da paisagem ocasionada por tais incrementos.

## **4.2 Análise Estatística dos Dados**

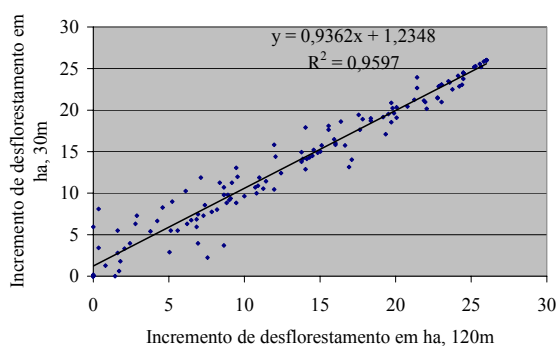
### **4.2.1 Relações entre Incremento de Desflorestamento e Resolução Espacial**

A FIGURA 4.4 mostra a relação entre os valores de incremento de desflorestamento obtidos a partir da resolução espacial de 30m e aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para 60, 120 e 240m, mediante o estabelecimento de equações de regressão linear com nível de confiança de 95%. Os resultados mostrados na FIGURA 4.4 foram obtidos a partir do conjunto total de dados ou a partir dos três padrões de desflorestamento juntos (valores de incrementos extraídos de 150 células). Todos os resultados foram dados com um nível de confiança de 95%. Com a degradação da resolução espacial, os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) diminuíram de 0,98

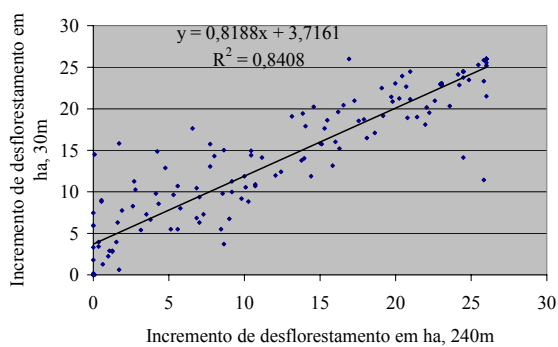
(30 *versus* 60m) para 0,96 (30 *versus* 120 metros), sofrendo uma redução mais forte na resolução de 240m ( $R^2$  de 0,84) em que se observou uma maior dispersão dos pontos no gráfico (FIGURA 4.4c). Os valores de intercepto aumentaram e foram sempre positivos, enquanto os valores de inclinação da reta diminuíram e foram inferiores a 1. Isto indica uma tendência de subestimação de pequenos incrementos de desflorestamento com a degradação da resolução espacial de 30m para 240m.



(a)



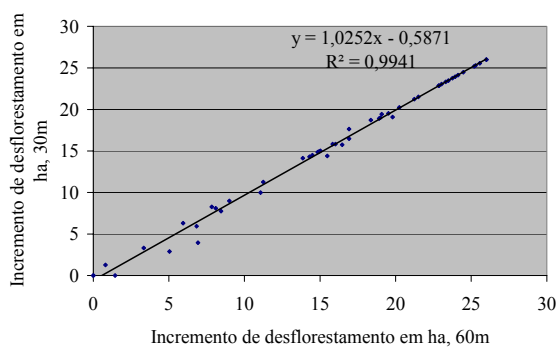
(b)



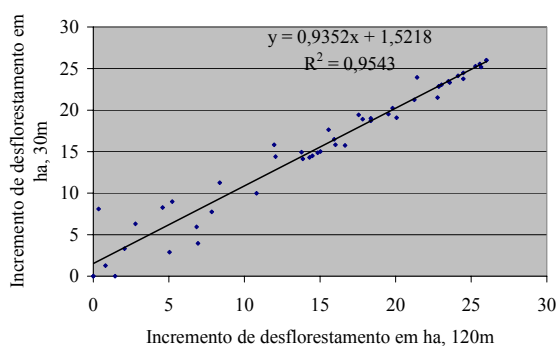
(c)

FIGURA 4.4— Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os três padrões de desflorestamento foram considerados em conjunto na obtenção dos resultados.

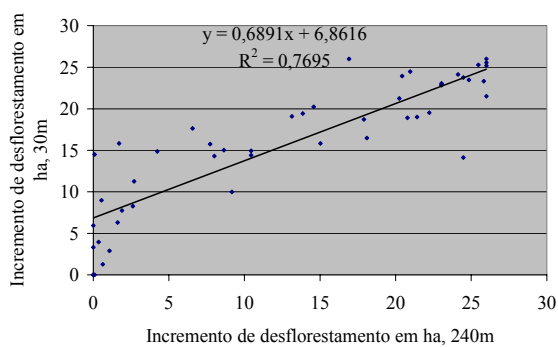
As relações entre os valores de incremento de desflorestamento obtidos a partir da resolução espacial de 30m e aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para 60, 120 e 240m são apresentadas separadamente nas FIGURAS 4.5, 4.6 e 4.7 para os padrões de desflorestamento espinha-de-peixe, médias e grandes propriedades e pequenas propriedades, respectivamente. Conforme indicado também na FIGURA 4.8, de forma similar ao observado para o conjunto total de dados (FIGURA 4.4), os valores de coeficiente de determinação e de inclinação da reta diminuíram para cada padrão de desflorestamento com a degradação da resolução espacial de 30m para 240m. Por outro lado, os valores de intercepto aumentaram. As mudanças mais substanciais nos parâmetros descritores das equações da reta ocorreram para o padrão espinha-de-peixe na resolução espacial de 240m, confirmando as observações anteriores da FIGURA 4.4.



(a)

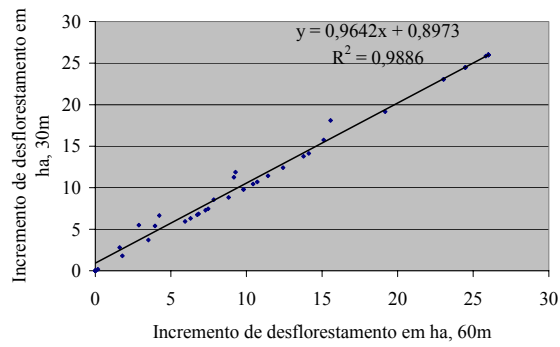


(b)

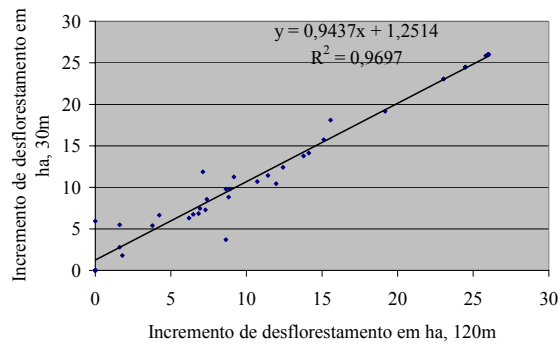


(c)

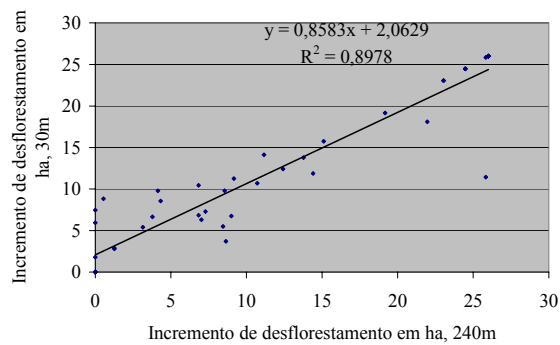
FIGURA 4.5– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os resultados correspondem ao padrão de desflorestamento espinha-de-peixe.



(a)



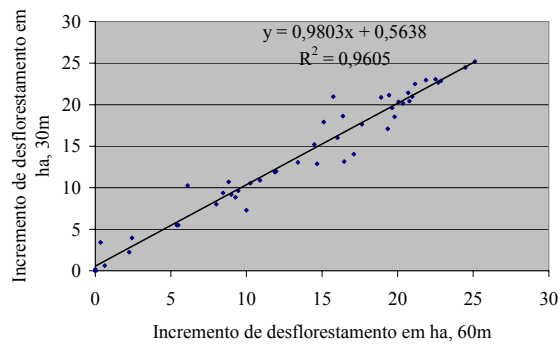
(b)



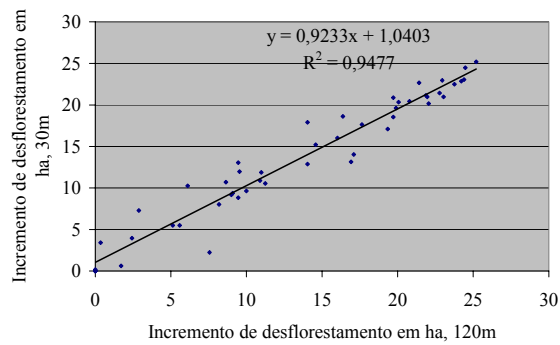
(c)

FIGURA 4.6– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os resultados correspondem ao padrão de desflorestamento de médias e grandes propriedades.

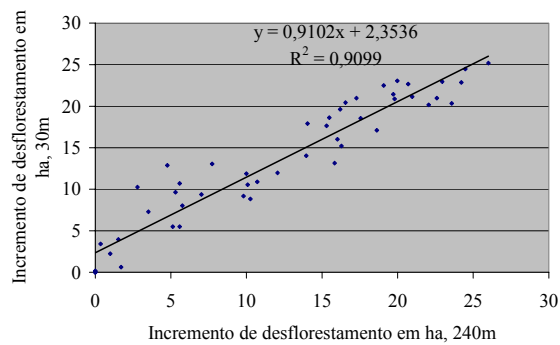




(a)

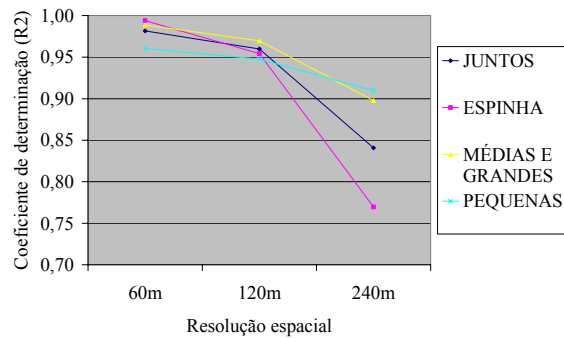


(b)

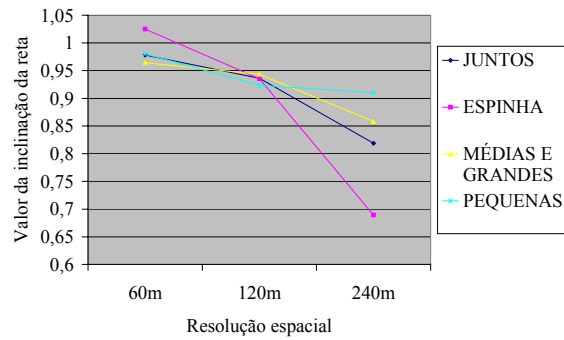


(c)

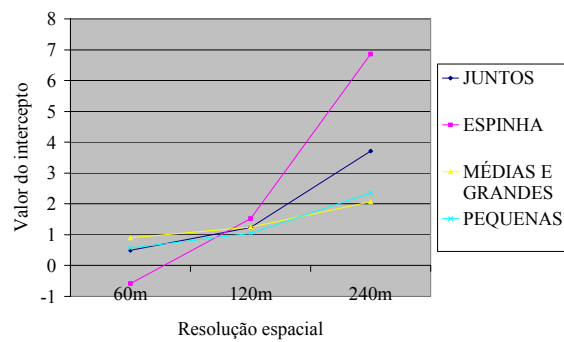
FIGURA 4.7– Relação dos valores de incremento de desflorestamento (período 1985-2000) obtidos a partir da resolução espacial de 30m com aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para (a) 60m, (b) 120m e (c) 240m. Os resultados correspondem ao padrão de desflorestamento de pequenas propriedades.



(a)



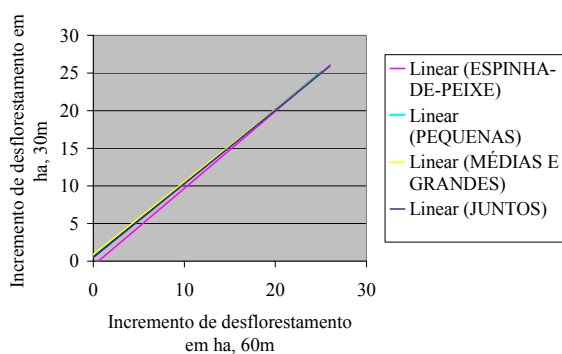
(b)



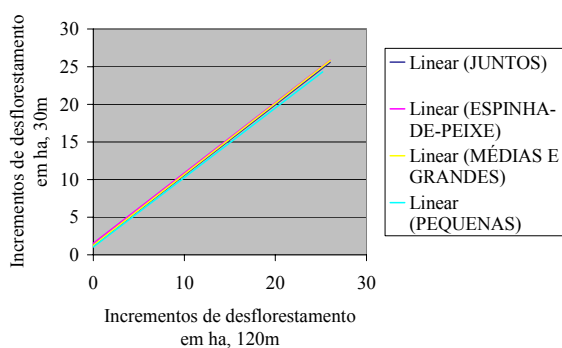
(c)

FIGURA 4.8– Variações nos valores de: (a) coeficiente de determinação ( $R^2$ ); (b) inclinação da reta; e (c) de intercepto, para os três diferentes padrões de desflorestamento, em função da resolução espacial.

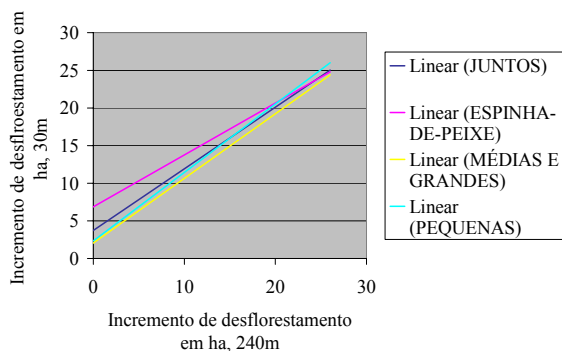
A FIGURA 4.9 mostra uma comparação somente entre as retas de ajuste de dados, obtidas anteriormente nas FIGURAS 4.4 a 4.7, para o conjunto total de dados e para cada padrão separadamente, em função da resolução espacial. Até a resolução de 120m, as retas mantiveram-se aproximadamente paralelas. O não-paralelismo das retas na FIGURA 4.9c indica que a relação dos valores de incremento de desflorestamento entre 30 e 240m, para o conjunto total de dados, é, em geral, resultante da superposição de duas relações distintas: a de espinha-de-peixe e a de pequenas/médias e grandes propriedades.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 4.9– Comparação entre as retas de ajuste de dados para os três padrões de desflorestamento e o conjunto deles obtidos em: (a) 60 metros; (b) 120 metros; e (c) 240 metros. A palavra LINEAR na legenda indica o tipo de linha de tendência adotada.

#### 4.2.2 Análise de Regressão Múltipla

Pela análise de regressão múltipla, desejou-se testar as seguintes hipóteses:

$H_0: \mu D = 0$  (a resolução espacial de 60, 120 ou 240 metros, não subestima o incremento de desflorestamento calculado a partir de 30 metros)

$H_1: \mu D > 0$  (a resolução espacial de 60, 120 ou 240 metros, subestima o incremento de desflorestamento calculado a partir de 30 metros), onde:

$\mu D$  é a diferença dos valores de incremento obtidos entre as resoluções espaciais de 30 metros e as demais. Assume-se que  $D_i = Y_i - X_i$ , onde  $i = 1 \dots 150$  é Normal, com média  $\mu D$  e variância  $\sigma^2 D$ .

A TABELA 4.1 apresenta os valores de  $F_{obs}$  e  $F_c$  em função da resolução espacial:

TABELA 4.1 – Resumo dos valores de  $F_{obs}$  e  $F_c$  para as resoluções espaciais de 60, 120 e 240 metros, respectivamente.

RESOLUÇÃO ESPACIAL	$F_{obs}$	$F_c$
60 metros	7837,06	2,605
120 metros	3521,26	2,605
240 metros	317,91	2,605

Pelos resultados mostrados na TABELA 4.1, sendo os valores de  $F_{obs}$  maiores do que os valores de  $F_c$ , obtidos através da tabela da distribuição de Fisher-Snedecor, rejeitou-se a hipótese  $H_0$ . Portanto, quando os três padrões de desflorestamento foram considerados em conjunto ( $n = 150$  células), pôde-se concluir que, de fato, todas as resoluções espaciais simuladas subestimaram o incremento de desflorestamento encontrado na resolução espacial de 30 metros no período de 1985-2000.

Assim sendo, a partir dos dados gerados pela análise de regressão, pôde-se elaborar as equações que definiram o comportamento de cada padrão em cada resolução espacial (TABELA 4.2):

TABELA 4.2 – Equações da reta obtidas a partir dos dados da análise de regressão linear múltipla.

<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>	<b>PADRÃO ESPINHA-DE-PEIXE</b>	<b>PADRÃO DE MÉDIAS E GRANDES PROPRIEDADES</b>	<b>PADRÃO DE PEQUENAS PROPRIEDADES</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>60 metros</b>	$y = \frac{x - 0,498}{0,978}$	$y = \frac{x - 0,498}{0,978}$	$y = \frac{x - 0,498}{0,978}$	0,981
<b>120 metros</b>	$y = \frac{x - 1,235}{0,936}$	$y = \frac{x - 1,235}{0,936}$	$y = \frac{x - 1,235}{0,936}$	0,960
<b>240 metros</b>	$y = \frac{x - 6,862}{0,689}$	$y = \frac{x - 2,254}{0,882}$	$y = \frac{x - 2,254}{0,882}$	0,867

A TABELA 4.2 indica que os três padrões de desflorestamento são regidos por uma mesma equação de regressão até a resolução espacial de 120 metros. Em 240 metros, o padrão espinha-de-peixe passa a ter um comportamento distinto dos outros dois padrões (médias e grandes propriedades e pequenas propriedades), sendo o principal fator responsável pela diminuição nos valores do coeficiente de determinação do conjunto dos dados de 0,981 (60 metros) para 0,867 (240 metros). Portanto, estes resultados sugerem que as diferenças observadas nos valores de incremento de desflorestamento, tendo como referência a resolução espacial de 30 metros, não são controladas pelos padrões de desflorestamento até a resolução espacial de 120 metros. O contrário ocorre em 240 metros, ou em algum valor de resolução espacial compreendido entre 120 e 240 metros, em que o padrão espinha-de-peixe passa a explicar as diferenças observadas.

A partir das equações da TABELA 4.2 e dos valores mínimo e máximo de incremento de desflorestamento observados na resolução espacial de 30 metros, foram calculados os valores correspondentes para as demais resoluções espaciais simuladas (TABELA 4.3).

TABELA 4.3 – Estimativa dos valores mínimo e máximo de incremento de desflorestamento, observado em 30 metros (dados em itálico), nas resoluções espaciais de 60, 120 e 240 metros. As equações de regressão da TABELA 4.2 foram usadas nos cálculos.

<b>Espinha-de-peixe</b>				<b>Latifúndio</b>				<b>Minifúndio</b>			
<i>30 metros</i>	<b>60 metros</b>	<b>120 metros</b>	<b>240 metros</b>	<i>30 metros</i>	<b>60 metros</b>	<b>120 metros</b>	<b>240 metros</b>	<i>30 metros</i>	<b>60 metros</b>	<b>120 metros</b>	<b>240 metros</b>
<i>1,26 ha</i>	0,78 ha	0,03 ha	-8,13 ha	<i>0,18 ha</i>	-0,32 ha	-1,13 ha	-2,35 ha	<i>0,18 ha</i>	-0,32 ha	-1,13 ha	-2,35 ha
<i>26,01 ha</i>	26,09 ha	26,47 ha	27,79 ha	<i>26,01 ha</i>	26,09 ha	26,47 ha	26,93 ha	<i>25,20 ha</i>	25,26 ha	25,60 ha	26,02 ha

A TABELA 4.3 indica que os valores mínimos de incremento de desflorestamento observados em 30 metros tendem a serem subestimados com a degradação da resolução espacial, especialmente para o padrão espinha-de-peixe na resolução espacial de 240 metros. Por outro lado, os valores máximos de incremento de desflorestamento tendem a serem levemente superestimados com a degradação da resolução.

Em uma segunda análise da TABELA 4.3, verifica-se o comportamento distinto do padrão espinha-de-peixe em relação aos outros dois padrões (médias e grandes propriedades / pequenas propriedades). Enquanto estes dois últimos padrões necessitariam de um incremento de 2,16 hectares para detecção de um incremento mínimo de 0,18 hectare, encontrada em 30 metros, na resolução de 240 metros, o padrão espinha-de-peixe necessitaria de um incremento de 6,86 hectares para detecção da área mínima de 1,26 hectare na resolução espacial de 240 metros. Este fato pode estar relacionado à geometria das áreas desflorestadas, como já foi dito anteriormente. Por apresentar feições estreitas e retas em suas áreas desflorestadas, o padrão espinha-de-peixe tende a ter suas áreas englobadas pelas áreas de floresta adjacentes. O mesmo não ocorre com tanta intensidade nos padrões de médias e grandes propriedades e pequenas propriedades.

A FIGURA 4.10 apresenta o incremento total de desflorestamento, medido nas imagens de referência (30 metros de resolução espacial) e degradadas (60, 120 e 240 metros), para os três padrões de desflorestamento em conjunto (150 células) e para cada padrão separadamente (50 células). O padrão espinha-de-peixe é o que apresentou maior total de incremento de desflorestamento, seguidos pelos padrões de pequenas propriedades e médias e grandes propriedades, respectivamente.

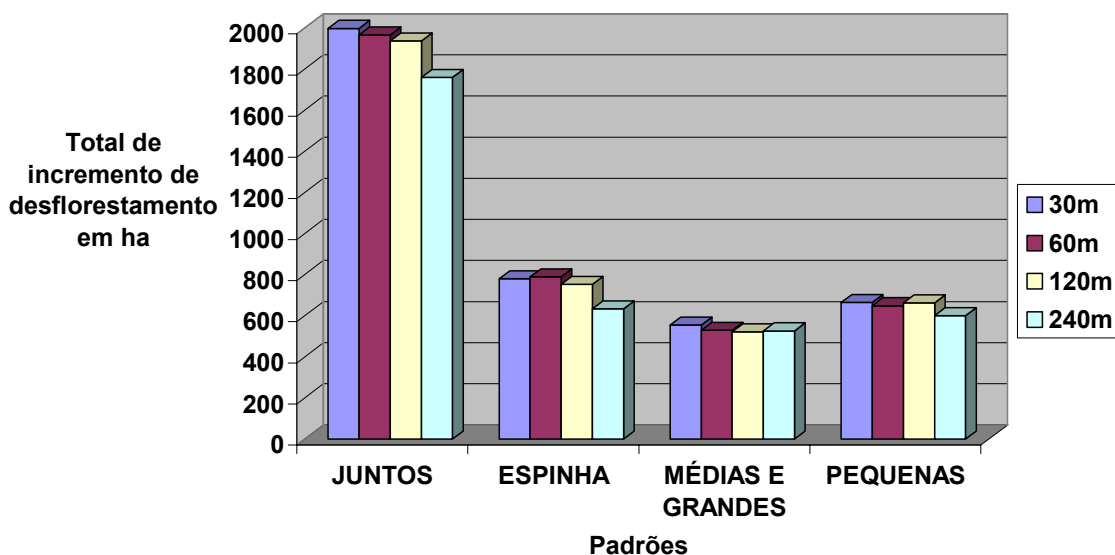


FIGURA 4.10 – Comparação entre o total de incremento de desflorestamento medido nas imagens para o conjunto dos três padrões de desflorestamento (150 células) e para cada padrão separadamente (50 células cada), em função da resolução espacial.

A FIGURA 4.10 confirma a tendência de subestimação do total de incremento de desflorestamento com a degradação da resolução espacial, especialmente para 240 metros. Considerando os três padrões de desflorestamento em conjunto, diferenças de



incremento de 1,60 %, 3,09 % e 11,95 % foram obtidas para as resoluções espaciais de 60, 120 e 240 metros, respectivamente, em relação ao valor medido na imagem de referência (30 metros).

A FIGURA 4.10 também indicou que a influência da degradação da resolução espacial de 30 metros para 120 metros foi pequena sobre as medidas de desflorestamento para os padrões, médias e grandes propriedades e pequenas propriedades no período estudado (1985-2000). Em 240 metros, o padrão espinha-de-peixe foi o mais sensível aos efeitos da degradação da resolução espacial. Tendo como base a imagem-referência (30 metros), as seguintes diferenças entre os incrementos de desflorestamento foram obtidas na resolução espacial de 240 metros: 5,16 % (médias e grandes propriedades), 9,61 % (pequenas propriedades) e 18,77 % (espinha-de-peixe). De acordo com os resultados da regressão múltipla, as diferenças estatisticamente significantes em 240 metros foram verificadas apenas para o padrão espinha-de-peixe.



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES

As seguintes conclusões foram obtidas no presente trabalho:

- As relações entre os valores de incremento de desflorestamento obtidos a partir da resolução espacial de 30m e aqueles resultantes da simulação da resolução espacial para 60, 120 e 240m mostraram uma diminuição nos valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e de inclinação da reta e um aumento nos valores de intercepto com a degradação da resolução espacial. Conseqüentemente, a degradação da resolução espacial de 30m para 240m produziu uma subestimativa dos pequenos incrementos de desflorestamento, especialmente para o padrão espinha-de-peixe devido às suas feições lineares que, no processo de degradação, foram incorporadas pelas áreas adjacentes de floresta;
- De acordo com a análise estatística, os efeitos da degradação espacial sobre as estimativas de incremento de desflorestamento foram significativos apenas na resolução espacial de 240 metros e no padrão espinha-de-peixe. Portanto, as diferenças observadas nos valores de incremento de desflorestamento, tendo como referência a resolução espacial de 30 metros, não foram controladas pelos padrões de desflorestamento até a resolução espacial de 120 metros. O contrário ocorreu em 240 metros, ou em algum valor de resolução espacial compreendido entre 120 e 240 metros, em que o padrão espinha-de-peixe passou a explicar as diferenças observadas;
- De acordo com os valores de incremento extraídos das células, o padrão espinha-de-peixe é o que apresentou maior total de incremento de desflorestamento no período 1985-2000, seguido pelos padrões de pequenas propriedades e médias e grandes propriedades, respectivamente. Considerando os três padrões de

desflorestamento em conjunto, diferenças de incremento de 1,60 %, 3,09 % e 11,95 % foram obtidas para as resoluções espaciais de 60, 120 e 240 metros, respectivamente, em relação ao valor medido na imagem de referência (30 metros). Na resolução espacial simulada de 240 metros, as seguintes diferenças entre os incrementos de desflorestamento foram obtidas em relação a imagem de referência (30 metros): 5,16 % (médias e grandes propriedades), 9,61 % (pequenas propriedades) e 18,77 % (espinha-de-peixe).

Em resumo, os resultados do presente trabalho indicam ser pequeno o impacto da adoção de resoluções espaciais de até 120 metros nas estimativas de incrementos de desflorestamentos da área de estudo para os três padrões de desflorestamento sob análise: espinha-de-peixe, médias e grandes propriedades e pequenas propriedades. Em 240 metros, ou talvez em algum valor de resolução espacial compreendido entre 120 e 240 metros e não avaliado no presente trabalho, os efeitos da degradação espacial sobre as estimativas de incremento de desflorestamento foram significativos apenas para o padrão espinha-de-peixe.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, D. S.; Pereira, J. L. G.; Souza, C. L.; Soares, J. V.; Yamaguchi, F. Classification of the deforested área in central Rondônia using TM imagery. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos, SP. **Anais...** São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. 1 CD-ROM, 1998 (a).
- Alves, D. S.; Pereira, J. L. G.; Souza, C. L.; Soares, J. V.; Moreira, J. C.; Ortiz, J. O.; Shimabukuro, Y. E.; Yamaguchi, F. Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor Landsat/TM para caracterização de áreas desflorestadas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos, SP. **Anais...** São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. 1 CD-ROM, 1998 (b).
- Asner, G. P.; Bustamante, M. M. C.; Townsend, A. R. Scale dependence of biophysical structure in deforested areas bordering the Tapajós National Forest, Central Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 507-520. 2003.
- Banon, G. J. F. Simulação de imagens de baixa resolução. **SBA: Controle e Automação**, v. 2, n. 3, p. 180-192. 1990.
- Bensebaa, K.; Banon, G. J. F.; Fonseca, L. M. G. On-orbit spatial resolution estimation of CBERS-1 CCD imaging system using higher resolution images. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia, 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2004. p. 827-834.
- Brown, D. G.; Duh, J. D.; Drzyzga, S. A. Estimating error in an analysis of forest fragmentation change using North American Landscape Characterization (NALC) data. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, n. 1, p. 106-117. 2000.
- Brown, I. F.; Martinelli, L. A.; Thomas, W. W.; Moreira, M. Z.; Ferreira, C. A. C.; Victoria, R. A. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 75, n. 1-3, p. 175-189. 1995.
- Câmara, C.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M. ; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers and Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403. 1996.
- Cao, C.; Lam, N. S. N. Understanding the scale and resolution effects in remote sensing and gis. In: Quattrochi, D. A., Goodchild, M. F. ( eds.). **Scale in remote sensing and GIS**. New York: Lewis Publishers, 1997. Cap. 3, p. 57-72.
- Coy, M. Rondônia: Frente pioneira e programa POLONOROESTE: O processo de diferenciação sócio-econômica na periferia e os limites do planejamento público. **Tubingen Geographische Studien**, n. 95 p. 253-270, 1987.
- Crippen, R. W. A simple spatial filtering routine for the cosmetic removal of scan line noise from Landsat TM P-tape imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, n. 3, p.327-331. 1989.

- Dale, P. E. R.; Chandica, A. L.; Evans, M. Using image subtraction and classification to evaluate change in subtropical inter-tidal wetlands. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 4, p. 703-719. 1996.
- Dale, V. H.; Pearson, S. M.; Offerman, H. L.; O'Neill, R. V. Relating patterns of land-use change to faunal biodiversity in the central Amazon. **Conservation Biology**, v. 8, n. 4, p. 1027-1036. 1994.
- Diegues, A. C (org). **Desmatamento e modos de vida na Amazônia**. São Paulo: NUPAUB . 146 p. 1999.
- Duarte, V. *et al.*. **Metodologia para criação do PRODES digital e do Banco de Dados Digitais da Amazônia** – Projeto BADDAM. São José dos Campos: INPE, 1999. (INPE-7032-PUD/035).
- Durieux, L.; Machado, L. A. T.; Laurent, H. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 1, p. 132-140. 2003.
- Eliason, E. M. ; Mc Ewen, A. S. Adaptive box filters for the removal of random noise from digital images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 56, n. 4, p. 453-458. 1990.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Localização e Caracterização**. Brasília, 2001. Disponível em: [www.machadinho.cnpm.embrapa.br](http://www.machadinho.cnpm.embrapa.br). Acesso em : 16 set. 2005.
- Escada, M. I. S. **Evolução de padrões de uso da terra na região centro-norte de Rondônia**. 155 p. (INPE-10209-TDI/899). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- Escada, M. I. S. ; Alves, D. S. Indicadores para a compartimentação da paisagem em unidades de ocupação em uma região de fronteira agrícola de Rondônia. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos : INPE - SELPER, 2001. 1 CD-ROM.
- Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A.; Filho, N. L.; Rodrigues, F. J. A.; Robinson, J. M. Tropical Forest burning in Brazilian Amazônia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. **Forest Ecology and Management**, v. 123, n. 1, p. 65-79. 1999.
- Fearnside, P. M. Deforestation and agricultural development in Brazilian Amazonia. **Interciência**, v 14, n 06, Nov/Dez, 1989.
- Fearnside, P. M. Deforestation in the Brazilian Amazon: how fast is it occurring? **Interciência**, v. 7, n 2, p 82-88. 1982.
- Ferraz, S. F. B.; Vettorazzi, C. A.; Theobald, D. M.; Ballester, M. V. R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management**, v. 204, n. 1, p. 67-83. 2005.

- Fundação Pró SOS Mata Atlântica. Disponível em:  
<[www.sosmatatlantica.org.br/atlas2001/index.asp](http://www.sosmatatlantica.org.br/atlas2001/index.asp)>. Acesso em: 13 set.2005.
- Furley, P. Development planning in Rondônia based on naturally renewable resources survey. In: Barbira-Scazzachio, F. (ed.). **Land, people and planning contemporary Amazonia**. Cambridge: Cambridge University Press. 1980. p. 37-45.
- International Bank for Reconstruction and Development (IBDR). **Integrated development of the northwest frontier**. Washington, 1981.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE.LBA). **Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite - Projeto Prodes**. Disponível em:  
<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> Acesso em: 16 set. 2005.
- Justice, C. O.; Markham, B. L.; Townshend, J. R. G.; Kennard, R. L. Spatial degradation of satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 9, p. 1539-1561. 1989.
- Kachigan, S. K. **Multivariate statistical analysis: a conceptual introduction**. 2 ed. New York: Radius Press, 1991. 303 p.
- Kalácska, M.; Sánchez-Azofeifa, G. A.; Rivard, B.; Calvo-Alvarado, J. C.; Journet, A. R. P.; Arroyo-Mora, J. P.; Ortiz-Ortiz, D. Leaf area index measurements in a tropical moist forest: a case study from Costa Rica. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 2, p. 134-152. 2004.
- Kono, J.; Quintino, M.; Rudorff, B.; Carvalho, H. The amazon rainforest monitoring satellite – SSR-1. **Acta Astronáutica**, v.52, n. 9-12, p. 701-708. 2003.
- Landsat Science **Data user s handbook**. Spatial Characteristics. Disponível em:  
[http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_htmls/chapter6/chapter6.html](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter6/chapter6.html). 2005.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Experimento da grande escala da biosfera-Atmosfera da Amazônia**. 2005. Disponível em:  
<<http://lba.cptec.inpe.br/lba/index.html>> Acesso em: 16 set. 2005.
- Malingreau, J. P.; Tucker, C. J. Large-scale deforestation in the southwestern Amazon basin of Brazil. **Ambio**, v 17, n 1, p. 49-55. 1988.
- Marceau, D. J.; Howarth, P. J.; Gratton, D. J. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 1. The scale and spatial aggregation problem. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 2, p. 93-104. 1994.
- Mather, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.. 292 p.
- Mayaux, P.; Lambin, E. F. Estimation of tropical Forest area from coarse spatial resolution data: a two-step correction function for proportional errors due to spatial aggregation. **Remote Sensing of Environment**, v 53, n. 1, p. 1-15. 1995.
- Millikan, B. A experiência contemporânea da fronteira agrícola e o desmatamento em Rondônia. In: Diegues, A. C (org). **Desmatamento e modos de vida na Amazônia**. São Paulo. 146 p. 1999. Cap. 4, p. 95-139.

- Millington, C.; Velez-Liendo, X. M.; Bradley, A. V. Scale dependence in multitemporal mapping of forest fragmentation in Bolivia: implications for explaining temporal trends in landscape ecology and applications to biodiversity conservation. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 289-299. 2003.
- Neill, C.; Piccolo, M. C.; Steudler, P. A.; Melillo, J. M.; Feigl, B. J.; Cerri, C. C. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon basin. **Soil Biol. Biochem.**, v. 27, n. 9, p. 1167-1175. 1995.
- Neter, J.; Wasserman, W. **Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs**. Illinois: Richard D. Irwin Inc. 1974. 834 p.
- Numata, I.; Soares, J. V.; Roberts, D. A.; Leonidas, F. C.; Chadwick, O. A.; Batista, G. T. Relationships among soil fertility dynamics and remotely sensed measures across pasture chronosequences in Rondônia, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 446-455. 2003.
- Pan, J. J.; Chang, C. I. Destriping of Landsat MSS images by filtering techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, n. 10, p. 1417-1423. 1992.
- Pan, W. K. Y.; Walsh, S. J.; Bilsborrow, R. E.; Frizzelle, B. G.; Erlien, C. M.; Baquero, F. Farm-level models of spatial patterns of land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 101, n. 2-3, p. 117-134. 2004.
- Pedlowski, M. A.; Dale, V. H. **Land use practices in Ouro Preto d'Oeste, Rondônia, Brazil**. Tennessee: Oak Ridge National Laboratory, 1992. 12 p. (ORNL Technical Manuscript 3850)
- Pedlowski, M. A.; Dale, V. H.; Matricardi, E. A. T.; Silva Filho, E. P. Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v 38, n. 3-4, p. 149-157. 1997.
- Phat, N. K.; Knorr, W.; Kim, S. Appropriate measures for conservation of terrestrial carbon stocks – Analysis of trends of forest management in Southeast Asia. **Forest Ecology and Management**, v. 191, n. 1-3, p. 283-299. 2004.
- Ponzoni, F. J. ; Rezende, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira – PA. **Árvore**, v. 26, n. 4, p. 403-410. 2002.
- Ponzoni, F. J.; Galvão, L. S. ; Epiphanyo, J. C. N. Spatial resolution influence on the identification of land cover classes in the Amazon environment. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.74, n. 4, p. 717-725. 2002.
- Potter, C.; Davidson, E.; Nepstad, D.; Cravalho, C. R. Ecosystem modeling and dynamic effects of deforestation on trace gas fluxes in Amazon tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 152, n. 1-3, p. 97-117. 2001.
- RADAMBRASIL **Levantamento de Recursos Naturais**, Folha SC.20 – Porto Velho, vol. 16, Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL/DNPM, 663 p., 1978.



- Rignot, E.; Salas, W. A.; Skole, D. L. Mapping deforestation and secondary growth in Rondônia, Brazil, using imaging radar and thematic mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 2, p. 167-179. 1997.
- Saatchi, S. S.; Soares, J. V.; Alves, D. S. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 2, p. 191-202. 1997.
- Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. San Diego, CA: Academic Press. 2 ed. 1997. 522 p.
- Secretaria de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM/RO) **Desmatamento em Rondônia (1978 a 1993)**. Manus, 1996.
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, n. 29, p. 16-20. 1991.
- Townshend, J. R. G.; Justice, C. O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 2, p. 187-236. 1988.
- Vance, C.; Geoghegan, J. Temporal and spatial modeling of tropical deforestation: a survival analysis linking satellite and household survey data. **Agricultural Economics**, v. 27, p. 317-332. 2002.
- Walsh, S. J.; Butler, D. R.; Malanson, G. P. An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. **Geomorphology**, v. 21, n. 3-4, p. 183-205, 1998.
- Wessels, K. J.; De Fries, R. S.; Dempewolf, J.; Anderson, L. O.; Hansen, A. J.; Powell, S. L.; Moran, E. F. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Pará State, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, n.1, p. 67-83, 2004.
- Woodcock, C. E.; Strahler, A. H. The factor of scale in remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v.21, n. 3, p.311-332. 1987.



## APÊNDICE A

TABELA A.1– Valores das 50 células das áreas desflorestadas (em hectares) obtidas para o padrão espinha-de-peixe, nas duas datas analisadas, para os quatro valores de resolução espacial adotados.

<b>CÉLULA</b>	<b>85_30M</b>	<b>85_60M</b>	<b>85_120M</b>	<b>85_240M</b>	<b>00_30M</b>	<b>00_60M</b>	<b>00_120M</b>	<b>00_240M</b>
<b>C1</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C2</b>	8,01	7,56	8,55	6,39	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C3</b>	10,35	10,62	10,62	0,00	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C4</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,85	14,85	14,85	4,23
<b>C5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,40	15,48	12,06	10,44
<b>C6</b>	14,76	15,21	18,45	20,43	23,04	23,04	23,04	23,04
<b>C7</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	23,04	23,04	23,04	23,04
<b>C8</b>	4,32	4,32	4,59	0,00	14,31	15,39	15,39	9,18
<b>C9</b>	0,81	0,81	0,36	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C10</b>	4,50	4,50	3,24	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C11</b>	9,54	9,54	10,71	8,46	24,48	24,48	24,48	18,90
<b>C12</b>	0,45	0,45	0,45	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C13</b>	2,52	2,52	2,52	1,17	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C14</b>	2,61	2,61	2,25	0,00	25,92	25,92	25,83	25,83
<b>C15</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,31	14,31	14,31	8,01
<b>C16</b>	7,11	7,11	8,19	5,22	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C17</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C18</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,33	3,33	2,07	0,00
<b>C19</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	22,86	22,86	22,86	23,04
<b>C20</b>	0,18	0,18	0,18	0,00	23,04	23,04	23,04	23,04
<b>C21</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C22</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	5,94	6,84	6,84	0,00
<b>C23</b>	16,38	16,38	20,16	21,24	24,48	24,48	20,52	17,73
<b>C24</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	20,25	20,25	19,80	14,58
<b>C25</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	11,25	11,25	8,37	2,70
<b>C26</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	19,08	19,80	20,07	13,14
<b>C27</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,26	0,81	0,81	0,63
<b>C28</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,74	8,46	7,83	1,89
<b>C29</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,48	24,48	24,48	20,97
<b>C30</b>	15,48	15,48	19,26	21,60	24,48	24,48	24,48	22,14
<b>C31</b>	2,16	2,16	2,16	0,00	19,80	19,08	17,73	6,57
<b>C32</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	16,92
<b>C33</b>	0,36	0,36	0,36	0,18	25,65	25,65	25,65	25,65
<b>C34</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	21,24	21,24	21,24	20,25
<b>C35</b>	4,95	4,95	4,95	0,00	24,48	24,48	24,48	22,23
<b>C36</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	1,44	0,09
<b>C37</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,75	16,47	16,65	7,74
<b>C38</b>	0,72	0,72	0,00	0,00	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C39</b>	7,29	7,65	7,65	4,77	26,01	26,01	26,01	22,68
<b>C40</b>	18,18	18,54	21,69	22,86	24,48	24,48	24,48	24,48

Continua...

TABELA A 1- Conclusão.

<b>C41</b>	5,49	5,49	6,12	2,97	24,48	24,48	24,48	24,39
<b>C42</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,96	6,93	6,93	0,36
<b>C43</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,84	15,84	11,97	1,71
<b>C44</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,49	14,49	14,49	0,09
<b>C45</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,12	24,12	24,12	24,12
<b>C46</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,88	5,04	5,04	1,08
<b>C47</b>	5,04	5,40	6,75	9,27	24,48	24,48	24,30	23,13
<b>C48</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,84	16,02	16,02	15,03
<b>C49</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	15,03	15,03	15,03	8,64
<b>C50</b>	1,08	1,08	1,08	2,07	25,02	25,02	22,50	22,50

TABELA A.2 – Valores das 50 células das áreas desflorestadas (em hectares) obtidas para o padrão de médias e grandes propriedades, nas duas datas analisadas, para os quatro valores de resolução espacial adotados.

<b>CÉLULA</b>	<b>85_30M</b>	<b>85_60M</b>	<b>85_120M</b>	<b>85_240M</b>	<b>00_30M</b>	<b>00_60M</b>	<b>00_120M</b>	<b>00_240M</b>
<b>C1</b>	15,30	15,30	15,30	15,30	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C2</b>	2,97	4,59	4,59	4,59	2,88	2,88	2,16	0,00
<b>C3</b>	18,09	18,09	15,30	15,30	13,77	13,77	12,24	12,24
<b>C4</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C6</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	5,94	5,94	0,00	0,00
<b>C7</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	13,77	13,77	13,77	13,77
<b>C8</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C9</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C10</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C11</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C12</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	11,25	9,18	9,18	9,18
<b>C13</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C14</b>	17,64	17,64	17,64	17,64	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C15</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C16</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C17</b>	14,22	15,30	15,30	15,30	16,38	13,77	13,77	13,77
<b>C18</b>	12,06	12,06	12,06	12,06	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C19</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C20</b>	1,17	2,97	2,97	0,00	4,05	1,62	1,26	1,26
<b>C21</b>	10,26	10,89	10,89	10,89	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C22</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C23</b>	5,85	7,11	7,29	0,00	17,73	16,38	14,40	14,40
<b>C24</b>	7,11	7,11	7,11	7,11	15,66	14,94	14,49	11,43
<b>C25</b>	17,19	17,19	17,19	17,19	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C26</b>	13,77	15,21	15,21	15,21	19,17	19,17	18,99	18,36
<b>C27</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C28</b>	4,05	6,57	6,57	0,18	22,14	22,14	22,14	22,14
<b>C29</b>	5,76	5,76	0,45	0,45	9,45	9,27	9,09	9,09
<b>C30</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	23,04	23,04	23,04	23,04
<b>C31</b>	4,23	6,84	6,84	0,00	9,72	9,72	8,46	8,46

Continua...

TABELA A 2 – Conclusão.

<b>C32</b>	14,58	14,58	14,58	0,18	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C33</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C34</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	9,81	9,81	8,91	8,55
<b>C35</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,13	14,13	14,13	11,16
<b>C36</b>	7,29	7,29	7,29	7,29	7,47	7,47	6,30	6,30
<b>C37</b>	5,31	5,31	5,31	5,31	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C38</b>	14,04	14,04	12,51	11,43	24,48	24,48	24,48	18,27
<b>C39</b>	19,71	19,71	19,80	18,99	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C40</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	26,01	26,01	26,01	26,01
<b>C41</b>	9,00	9,00	9,00	8,37	15,66	13,23	13,23	12,15
<b>C42</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	1,80	1,80	0,00
<b>C43</b>	10,62	10,62	10,62	7,56	17,37	17,37	17,10	16,56
<b>C44</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	25,83	25,83	25,83	25,83
<b>C45</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,47	7,47	6,93	0,00
<b>C46</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	23,04	23,04	23,04	23,04
<b>C47</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	9,81	9,81	8,64	4,14
<b>C48</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	8,82	8,82	8,82	0,54
<b>C49</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,79	1,62	1,62	1,26
<b>C50</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA A.3 – Valores das 50 células das áreas desflorestadas (em hectares) obtidas para o padrão de pequenas propriedades, nas duas datas analisadas, para os quatro valores de resolução espacial adotados.

<b>CÉLULA</b>	<b>85_30M</b>	<b>85_60M</b>	<b>85_120M</b>	<b>85_240M</b>	<b>00_30M</b>	<b>00_60M</b>	<b>00_120M</b>	<b>00_240M</b>
<b>C1</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71	8,82	8,64	5,58
<b>C2</b>	0,90	0,90	0,00	0,00	23,94	23,40	24,39	19,98
<b>C3</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,04	17,10	17,10	13,95
<b>C4</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	8,82	9,27	9,45	10,26
<b>C5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	9,63	9,45	9,99	5,31
<b>C6</b>	1,53	1,53	0,00	0,00	24,03	22,68	23,76	19,08
<b>C7</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C8</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	16,02	16,02	16,02	16,02
<b>C9</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C10</b>	1,17	1,17	0,00	0,00	11,70	11,43	11,25	10,08
<b>C11</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C12</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>C13</b>	0,45	0,45	0,00	0,00	12,42	12,42	9,54	12,06
<b>C14</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	13,05	13,41	9,45	7,74
<b>C15</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	12,87	14,67	14,04	4,77
<b>C16</b>	7,20	7,20	6,93	0,90	24,84	24,84	24,57	16,20
<b>C17</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	7,29	9,99	2,88	3,51
<b>C18</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
<b>C19</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	21,15	19,44	21,87	20,97
<b>C20</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,25	2,25	7,56	0,99
<b>C21</b>	0,63	0,81	0,81	0,00	9,81	9,81	9,81	9,81
<b>C22</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	0,36	0,36	0,36

Continua...

TABELA A 3 – Conclusão.

<b>C23</b>	0,36	0,36	0,36	0,00	18,99	16,74	16,74	15,48
<b>C24</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	24,48	24,48	24,48	24,48
<b>C25</b>	3,24	4,77	0,36	0,00	24,21	20,52	22,32	17,28
<b>C26</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	22,86	22,86	24,21	24,21
<b>C27</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	17,91	15,12	14,04	14,04
<b>C28</b>	9,63	9,63	11,97	11,97	21,51	21,51	22,95	21,96
<b>C29</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	22,68	22,68	21,42	20,70
<b>C30</b>	0,81	0,81	0,81	0,00	26,01	25,92	26,01	26,01
<b>C31</b>	2,43	2,70	2,70	2,61	23,31	21,60	22,41	22,41
<b>C32</b>	0,63	0,63	0,63	0,36	21,06	21,42	21,42	16,92
<b>C33</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	10,89	10,89	10,89	10,71
<b>C34</b>	0,27	0,27	0,27	0,00	21,69	20,97	23,04	19,71
<b>C35</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	20,97	20,97	23,04	22,59
<b>C36</b>	7,56	8,46	8,64	5,94	22,77	22,95	23,22	22,23
<b>C37</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	5,49	5,40	5,58	5,58
<b>C38</b>	3,60	3,60	3,60	0,00	23,94	23,67	23,67	23,58
<b>C39</b>	20,43	20,43	20,88	20,88	25,92	25,92	26,01	26,01
<b>C40</b>	8,73	8,73	8,55	0,09	16,74	16,74	16,74	5,85
<b>C41</b>	1,08	1,08	0,00	0,00	1,71	1,71	1,71	1,71
<b>C42</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	9,36	8,46	9,09	7,02
<b>C43</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	13,14	16,47	16,92	15,84
<b>C44</b>	2,07	2,07	2,43	2,43	21,69	21,69	22,32	18,63
<b>C45</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	20,16	20,34	22,05	22,05
<b>C46</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	18,54	19,80	19,71	17,55
<b>C47</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	3,96	2,43	2,43	1,53
<b>C48</b>	0,63	0,63	0,63	0,00	10,89	6,75	6,75	2,79
<b>C49</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	17,10	19,35	19,35	18,63
<b>C50</b>	1,53	1,53	1,53	1,53	24,48	23,40	24,48	24,48