

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Homem urbano moderno, cada vez mais, sente uma necessidade de retorno aos ambientes naturais ou rurais, quer seja em busca dos valores da natureza ou simplesmente para apreciação cênica da paisagem. Esta necessidade de se relacionar de um modo mais próximo à natureza liga o Homem moderno aos seus mais remotos ancestrais, lembrando que para esses, a compreensão dos recursos associados a uma paisagem era um fator determinante de sucesso e sobrevivência de suas comunidades. Hoje também, embora de uma maneira bem mais sutil, um bom relacionamento com a paisagem é de fundamental importância para o nosso desenvolvimento, quer seja de ordem econômica, social ou cultural.

Apesar disso, a nossa geração vem presenciando grandes transformações nas paisagens do nosso planeta, devido ao impacto da atividade humana sobre meio-ambiente, a qual vem operando em magnitudes, taxas e escalas espaciais sem precedentes. Por exemplo, TURNER II et al. (1994) lembram que pelo menos metade da superfície terrestre livre do gelo já foi alterada por diversos usos da terra e que a quantidade de água desviada anualmente para o uso humano chega a $\frac{1}{4}$ da média anual do total do escoamento superficial. Ainda, segundo os mesmos, a quantidade de metano na troposfera já dobrou e o nível de dióxido de carbono aumentou de 25% desde a era pré-industrial.

Como explicam estes autores, as causas dessas impressionantes mudanças globais possuem duas origens fundamentais: A primeira consiste no aumento do metabolismo industrial, através dos diversos processos de fluxos de energia e material resultantes da extração, transformação e usos dos recursos naturais. Já a segunda refere-

se aos processos de mudança do uso e da cobertura do solo no planeta. Nesse último aspecto, os principais usos do solo, do ponto de vista econômico e de extensão espacial, incluem a agricultura nas suas diversas formas, a pecuária, o povoamento, a urbanização e as atividades de extração de recursos naturais. Como resultado, esses e outros tipos de uso do solo vêm alterando as coberturas de vegetação natural e semi-natural da Terra a uma escala global.

Nesse sentido, uma grande pressão tem ocorrido nos trópicos visando à ocupação das áreas de florestas primárias. As conseqüências desse processo de destruição das florestas tropicais são várias, incluindo desde a redução significativa da base de recursos genéticos (biodiversidade) da biosfera (HAINES-YOUNG et al., 1993), até a alteração do clima global, pela emissão de CO₂ e água (WOODWELL, 1984) ou pela mudança do albedo da Terra (VERSTRAETE et al., 1990). Impactos significativos poderão também ser sentidos devido à degradação dos solos, alteração dos regimes hídricos e aumento do fluxo de sedimentos (TURNER II et al., 1994).

Dentro desse contexto, destaca-se a Amazônia Brasileira, por possuir a maior floresta tropical intacta do planeta (SKOLE et al., 1994), a qual hospeda mais da metade das espécies vegetais do mundo (MORAN et al., 1994). De acordo ainda com estes últimos autores, o seu tamanho continental e a sua alta taxa de evapotranspiração fazem com que ela tenha uma influência marcante no clima global.

No entanto, apesar da sua importância, têm sido presenciadas crescentes ameaças a esse rico bioma, que surgiram na região a partir do início da década de 70 com a implantação de vários projetos governamentais e privados, visando a ocupação e colonização dessas vastas áreas virgens. Dessa forma, novas fronteiras agrícolas foram expandidas, substituindo a outrora floresta amazônica por áreas de pastagens e culturas. Isto fez com que o Brasil tivesse a maior taxa de desmatamento do mundo, a qual

chegou a alcançar na década de 80, segundo algumas estimativas, de 1.5×10^6 a 2.0×10^6 ha/ano (FAO 1993, MYERS 1991, SKOLE; TUCKER 1993).

Para avaliação do desmatamento amazônico, diversos trabalhos têm empregado análises detalhadas de imagens de satélite. Neste propósito, SKOLE et al. (1994) estimaram um total de $230\,000 \text{ km}^2$ de áreas desmatadas até o ano de 1988, quantidade que correspondia a 6% da Amazônia Legal, mas que poderia chegar até 27% em alguns Estados. Para o início da década de 90, INPE (1992) e SKOLE; TUCKER (1993) mostraram que a taxa de desmatamento chegou a cair para $\cong 1.0 \times 10^6$ ha/ano, representando a metade do que era no decorrer dos anos 80. Mesmo assim, SKOLE; TUCKER (1993) calcularam que o total de área atingida pelo desmatamento já poderia ter alcançado $310\,000 \text{ km}^2$ até a data de publicação do respectivo artigo. Estes autores reconheceram também que essa estimativa poderia ultrapassar $588\,000 \text{ km}^2$, ou seja 15% da Amazônia Legal, se fosse considerado o efeito de margem em 1 quilômetro adentro das áreas adjacentes ao desmatamento. Por sua vez, o Projeto de Levantamento das Áreas Desflorestadas da Amazônia Legal (PRODES) indicou um valor bruto de $469\,978 \text{ km}^2$ de desmatamento já atingido até o ano de 1994 (INPE; FUNCATE, 1996), sendo que os seus dados mais recentes - agosto de 1996 - estimam um total de $517\,069 \text{ km}^2$ (MCT, 1998). Nesse aspecto, os últimos levantamentos do PRODES destacam o recrudescimento do desmatamento amazônico, mostrando um incremento das taxas anuais para 1.489×10^6 ha/ano - biênio 92/94, 2.906×10^6 ha/ano - 94/95 e 1.8161×10^6 ha/ano - 95/96.

O exame do quadro acima não deixa dúvida que essas transformações já são profundas e inexoráveis, levando-nos a citar MORAN et al. (1994), que ressaltam que o desmatamento da Amazônia representa hoje não só uma questão de preocupação, mas sobretudo de alarme internacional. Por outro lado, a atenção às altas taxas de

desmatamento não se pode sobrepor ao fato que enquanto pecuaristas, colonos, madeireiras e a atividade de mineração avançam sobre áreas intactas de floresta, muitas áreas previamente desmatadas estão sendo abandonadas, dando início ao processo de regeneração e crescimento da vegetação secundária. Como resultado do avanço desse complexo de atividades humanas sobre a floresta amazônica, surge então uma paisagem¹ formada por um mosaico de pastagens - o uso dominante do solo em áreas desmatadas - entre remanescentes de florestas primárias e áreas de abandono, ocupadas por uma vegetação secundária em diversos estágios de sucessão (FEARNSIDE, 1985; FEARNSIDE, 1986; UHL, 1987; UHL et al., 1988a; UHL et al., 1988b; NEPSTAD et al., 1991; MORAN, 1993; MORAN et al., 1994; SKOLE et al., 1994; FEARNSIDE, 1996).

Nesse âmbito, o entendimento da dinâmica da paisagem amazônica requer então a compreensão do sistema de processos de conversão e de uso do solo, abandono de áreas previamente utilizadas para agricultura e pastagens e a resultante cadeia de sucessão vegetal. Esse estudo deve, ainda, focar a escala e velocidade em que essas mudanças afetam os sistemas biológicos, econômicos e sociais locais, e sobretudo desvendar as suas forças motrizes. Sobre este propósito, SKOLE et al. (1994) lembram que, ainda que se concorde que os fatores sócio-econômicos e ambientais se interagem provocando o desmatamento das florestas tropicais, a compreensão dos processos de desmatamento e de sua subsequente dinâmica tem sido inadequada devido à falta de medidas acuradas de suas taxas², de sua extensão geográfica e de seus padrões espaciais e da ausência de modelos de seus mecanismos causais. Estes mesmo autores observam

¹ Este trabalho refere-se à paisagem, como uma unidade distinta e mensurável, definida pelo arranjo espacial formado pelo conjunto de elementos dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo.

² Entenda-se como taxas as proporções de conversão entre os diferentes tipos de uso e de cobertura do solo em um certo período de tempo.

que, um estudo da evolução do uso e ocupação do solo amazônico deve ser encarado através de diferentes escalas de tempo e espaço, incluindo a dinâmica em nível local, padrões geográficos regionais e condições internacionais.

Do discorrido acima, constata-se a crescente necessidade de obtenção de dados sobre a dinâmica espacial na Amazônia, aliada sobretudo ao desenvolvimento de novos métodos, capazes não só de mapear, mas também de analisar padrões espaciais gerados por essas mudanças, para assim determinar a importância dos processos envolvidos, e com isso possibilitar a construção de modelos confiáveis que operem à escala da paisagem³. Modelos, que através da simulação ou reprodução do desenvolvimento dos padrões de mudanças, poderão nos auxiliar na compreensão das complexas interações desses sistemas espaciais.

Nesse sentido, temos presenciado nestas duas últimas décadas um vertiginoso avanço da informática, que propiciou o desenvolvimento e refinamento de poderosos conjuntos instrumentais voltados ao mapeamento, análise e representação de fatos relacionados à Terra. Esse conjunto de tecnologias, conhecido como Geoprocessamento⁴, compreende, dentre outras coisas, o desenvolvimento e uso de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas (SIG).

Em um estudo da dinâmica de ocupação e de uso do solo amazônico, o sensoriamento remoto aparece, numa primeira instância, como um avançado conjunto instrumental voltado ao mapeamento e monitoramento das mudanças ambientais, ou seja como um ótimo instrumento de diagnose e síntese. No entanto, uma investigação mais profunda sobre os mecanismos causais das mudanças de um sistema ambiental, no

³ Modelos com abrangência de dezenas de quilômetros ou mais de extensão.

⁴ Segundo RODRIGUES (1990) "Geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento, e uso, de sistemas que as utilizam".

qual se interagem os padrões espaciais formados pelo arranjo dos elementos da paisagem⁵ em conjunto com as forças ou fatores formadores da paisagem, requer capacidades analíticas avançadas, como as disponíveis em um ambiente SIG. Tendo em vista que a tecnologia dos SIGs atingiu uma relativa maturidade em termos de funcionalidade e capacidade de análise, a ênfase atual passou então a centrar na construção de sofisticados modelos de representação de sistemas espaciais, usando-se desse rico ambiente criativo.

Nesse aspecto, a Ecologia de Paisagem, uma disciplina ainda emergente, pode trazer grandes contribuições a este tipo de estudo. Tendo como papel principal o enfoque da heterogeneidade espacial como força motriz dos padrões e processos ecológicos, a Ecologia de Paisagem busca a compreensão da dinâmica da heterogeneidade espacial e do efeito da atividade humana como um fator de organização da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986 e TURNER; GARDNER, 1991). Com essa abordagem, diversas pesquisas já foram desenvolvidas, objetivando compreender os processos que regulam o desenvolvimento de paisagens, a citar: KRUMMEL et al. (1987), TURNER; RUSCHER (1988), TURNER (1988), TURNER (1990a), DALE et al. (1993), DALE et al. (1994) e GILRUTH et al. (1995). Portanto, pode-se assim dizer que, enquanto o Geoprocessamento reflete o desenvolvimento tecnológico das últimas duas décadas, a Ecologia de Paisagem passou a ser vista como uma rica fonte de modelos teóricos a serem implementados em um SIG. A este respeito, SKLAR; COSTANZA (1991) destacam que uma nova era se vislumbra à modelagem de sistemas ecológicos:

⁵ Diferente do conceito de unidades de paisagem (sistemas ambientais formados por um conjunto único de vegetação, solo, relevo e clima), elementos da paisagem referem-se aos diferentes tipos de uso e cobertura do solo presentes em uma paisagem (Cf. FORMAN; GODRON, 1986).

"O advento dos supercomputadores e do processamento paralelo, junto com a pronta acessibilidade das séries temporais de imagens de sensoriamento remoto, combinados com a maturidade da Ecologia, têm nos levado a realizar algumas das primeiras promessas de modelagem matemática de ecossistemas. A chave é a incorporação do espaço como também do tempo nos modelos a um nível de resolução que é significativo a uma miríade de problemas ecológicos" (SKLAR; COSTANZA, 1991).

Diante desse desafio e das questões colocadas acima, é que este trabalho postula as suas principais hipóteses e questões:

1. É possível desenvolver modelos baseados em ambiente SIG que simulem a gênese e o desenvolvimento dos padrões espaciais gerados pela dinâmica de paisagem⁶ em áreas de ocupação recente amazônica?

2. Caso a primeira hipótese se mostre afirmativa, podem ser construídos esses modelos a partir, preferencialmente, de dados de sensoriamento remoto orbital? Ou seja, as variáveis espaciais identificadas nesses produtos, em conjunto com outros dados ancilares, podem dar a indicação de como e onde estão ocorrendo determinadas mudanças na paisagem e como isso permitir a elaboração de mapas, que assinalem os padrões das áreas sensíveis aos diferentes tipos de mudanças?

3. E, se esta última hipótese puder ser comprovada, quais seriam estas variáveis? Como selecioná-las? E de que modo elas poderiam ser combinadas, visando a elaboração de tais mapas?

4. Ainda, quais seriam as técnicas de sensoriamento remoto e como elas deveriam ser aplicadas para se mapear essa dinâmica de paisagem, obtendo-se assim os dados necessários para se construir os modelos em questão?

⁶ Entenda-se dinâmica de paisagem como as mudanças de uso e de cobertura do solo em extensão regional.

5. Por último, dado que se possa obter os mapas das áreas sensíveis aos diferentes tipos de mudanças, quais seriam então as técnicas e algoritmos necessários ao desenvolvimento, operação e validação do modelo espacial de simulação da dinâmica de paisagem?

As repostas as estas questões e a conseqüente formulação desta tese iniciam-se por um processo de identificação de um modelo conceitual de dinâmica de paisagem, baseado tanto na literatura científica sobre a ocupação recente da Amazônia e seus processos ambientais, como também em dados coletados de uma particular região de estudo, situada numa fronteira de colonização amazônica no norte do Estado do Mato Grosso (Fig. i.1). Esta servirá aqui como um rico material para os testes de hipóteses sobre o desenvolvimento, refinamento, calibração e operação do modelo espacial de simulação da dinâmica de paisagem, usando-se da tecnologia e capacidade de modelagem do Geoprocessamento.

A seleção desta particular região de estudo se justifica pela sua diversidade, tanto ambiental como em função da multiplicidade de agentes e de modelos de colonização, por ela fazer parte do arco de desmatamento crítico amazônico⁷ e também por este trabalho se inserir em um programa de pesquisa mais amplo realizado em conjunto pelo CEDEPLAR - *Centro de Demografia e Planejamento Regional* - e o CSR - *Centro de Sensoriamento Remoto* -, ambos pertencentes a Universidade Federal de Minas Gerais, que se intitula “Uso do Solo e Saúde na Amazônia”.

⁷ Extensão que tem início no nordeste do Pará, segue em direção sul, margeando o noroeste do Maranhão e Tocantins, entra pelo Mato Grosso e prossegue pelo norte, atravessando Rondônia, até o meio do Acre (MCT, 1988).

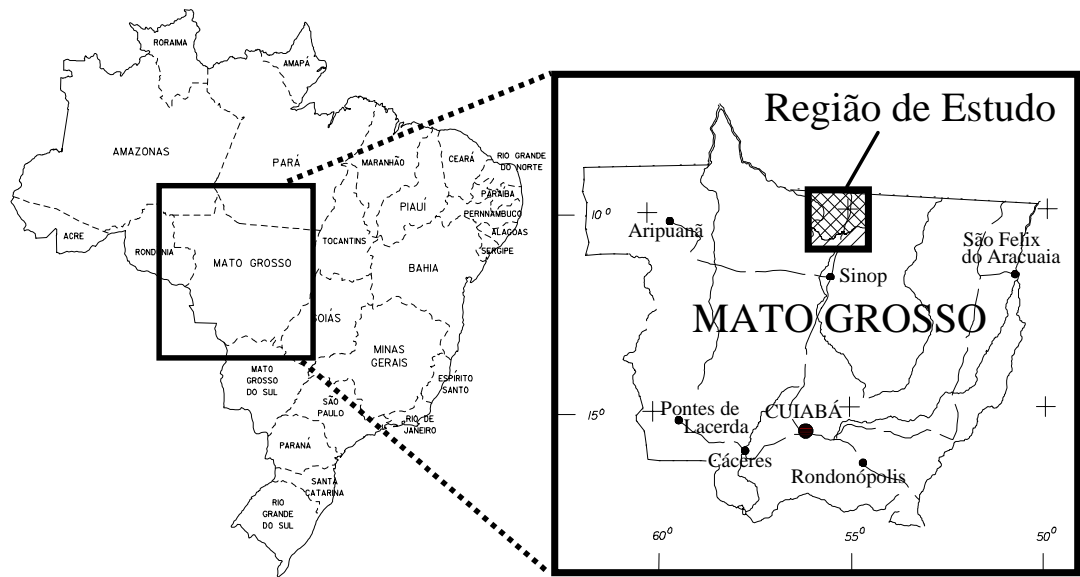


Fig. i.1 - Localização da região de estudo no Estado do Mato Grosso.

OBJETIVOS

Considerando o exposto acima, este trabalho tem por objetivo *cerne o desenvolvimento de um modelo espacial de simulação de mudanças da paisagem da região de estudo, tendo como base o universo de dados apresentados pelo sensoriamento remoto orbital.*

A ênfase deste trabalho não se centra na universalidade do modelo em questão, mas sim no conjunto de técnicas e metodologias a serem desenvolvidas para obtenção do mesmo. Por conseguinte, a estratégia de operacionalização deste modelo busca, numa primeira instância, desenvolver e aprimorar métodos de mapeamento e análise da dinâmica da paisagem, para, numa segunda etapa, desenvolver, aprimorar e implementar técnicas de construção, parametrização e operação de modelos espaciais de simulação de mudanças. Para tanto, este trabalho baseia-se em estudos prévios, como reportados pela literatura da Ecologia de Paisagem, buscando integrar a parte conceitual da mesma com as tecnologias do sensoriamento remoto orbital e dos sistemas de

informações geográficas. Em conseqüência, são também elencados os seguintes objetivos:

1. Descrever a evolução da paisagem da região de estudo, em função dos seus padrões geográficos e agentes intervenientes, e com isso elaborar um modelo conceitual de dinâmica da paisagem para esse tipo de fronteira de colonização amazônica, destacando as principais variáveis espaciais que influenciam as mudanças na paisagem.

2. Desenvolver metodologias de aplicação de sensoriamento remoto orbital para o mapeamento e análise da dinâmica de paisagem.

3. Desenvolver, aprimorar e avaliar técnicas de construção, parametrização, operação e validação de modelos de simulação da gênese e desenvolvimento dos padrões espaciais⁸ de mudanças da paisagem.

Portanto, é contribuição maior deste trabalho, aliar as técnicas de sensoriamento remoto orbital aos instrumentos analíticos do SIG, visando o aprimoramento da arte de construção e operação de modelos espaciais de simulação de dinâmica de paisagem, modelos estes que deverão incorporar propriedades cibernéticas, tais como o efeito de interação com a vizinhança, retroalimentação, mecanismos estocásticos e probabilidades espaciais de transição⁹ com característica dinâmica. Nesse sentido, este trabalho não só usa de técnicas já disponíveis em SIGs para a modelagem de dados cartográficos, como também aprimora a aplicação de técnicas de estatística multivariada para a parametrização e calibração do modelo em questão, e sobretudo, desenvolve seus próprios algoritmos, baseados em técnicas de processamento de imagens e de álgebra de mapas, para serem usados na reprodução dos padrões espaciais de mudanças.

⁸ Trama formada pelo arranjo espacial de um conjunto repetitivo de elementos de paisagem, em função da estrutura da paisagem.

⁹ Probabilidade de um determinado elemento de paisagem, numa certa localização geográfica, se converter em um novo tipo.

Um outro aspecto importante deste trabalho, que deve ser colocado, consiste na abordagem adotada de construção do modelo de simulação, a qual não se restringe apenas a uma busca e avaliação de desempenho em função de seu poder preditivo, mas sim visa, de preferência, o desenvolvimento de um ambiente integrado de análise e simulação, que possibilite estimular aplicações criativas a fim de se testar hipóteses e buscar respostas sobre as interações dos diversos parâmetros e dos inúmeros fatores intervenientes nos processos formadores da paisagem. Ou seja, o modelo passa a ser visto como um dispositivo heurístico, que nos leva ao aprendizado do funcionamento e evolução desses sistemas espaciais, característicos das fronteiras de colonização recente amazônica.

Logo, não é a prognose do sistema se busca, posto que o fenômeno não é estável no tempo - o que torna a extrapolação de taxas passadas para o futuro meramente subjetiva -, mas sim reconhecer que, qualquer que seja a tendência da dinâmica, existirão padrões espaciais que poderão ser previstos usando-se do desenvolvimento proposto por este trabalho.

Pretende-se, assim, que a experiência de formulação, implementação e operação de um ambiente de simulação contribua para a melhor compreensão dos processos de uso e de ocupação do solo dessas regiões de fronteira de colonização amazônica. Por exemplo, os resultados do modelo em questão poderão ser úteis para substanciar futuras decisões de manejo e planejamento ambiental, que busquem otimizar o aproveitamento racional dos recursos naturais simultaneamente à preservação da diversidade ambiental. Uma área fértil de aplicação destes modelos será a avaliação da arquiteturas alternativas de projetos de colonização em função da resultante fragmentação da paisagem e conseqüente preservação da continuidade e extensão dos habitats originais e dos novos ecossistemas formados pelas áreas de florestas secundárias.

Ainda, este modelo poderá ser usado para se testar hipóteses tais como: - Está a região caminhando para um equilíbrio dinâmico¹⁰, ou para uma irremediável devastação ambiental, tendo em vista o atual ou mesmo alternativos modelos de desenvolvimento regional? Ou seja, mesmo que o modelo, por ora, centre-se apenas no desenvolvimento dos padrões geográficos, ele poderá ser acoplado no futuro a modelos sócio-econômicos para simular mudanças na paisagem diante de diferentes cenários¹¹ regionais.

Por último, deve-se ressaltar a contribuição deste trabalho ao desenvolvimento tecnológico, posto que o mesmo busca ampliar a nossa habilidade em reproduzir ou imitar processos ambientais através de ambientes computacionais¹². Desse modo, este trabalho de tese apresenta uma abordagem inovadora e inédita, por tratar-se de um assunto original e estratégico, principalmente no que tange a sua contribuição ao melhor entendimento das mudanças globais, tema prioritário de pesquisa internacional.

RESUMOS DOS CAPÍTULOS

O primeiro capítulo da tese traz uma revisão sobre a disciplina Ecologia de Paisagem, suas bases teóricas e os principais conceitos sobre os elementos que compõem a paisagem e formam a sua estrutura. O enfoque é dado aos métodos quantitativos (descritores) utilizados na caracterização da estrutura de paisagens, dos quais será selecionado um subconjunto a ser utilizado neste trabalho. Por último, são revistos o estado da arte e a classificação taxionômica dos modelos de mudanças na

¹⁰ Equilíbrio dinâmico ocorre quando a proporção ocupada pelos diferentes tipos de uso e de cobertura do solo permanece aproximadamente constante apesar das constantes conversões entre eles (Cf. FORMAN; GODRON, 1986).

¹¹ A palavra cenário se traduz aqui pela circunstância do evento.

¹² Neste aspecto, LÉVY (1998) destaca que "Entre os novos gêneros de conhecimentos carregados pela cibercultura, a simulação ocupa um lugar central. Numa palavra, trata-se de uma tecnologia intelectual que decuplica a imaginação individual e permite que grupos partilhem, negociem e refinem modelos mentais comuns, qualquer que seja a complexidade de tais modelos".

paisagem, incluindo a utilização do sensoriamento remoto e do SIG em estudos de dinâmica de paisagem e os métodos de construção, comparação e validação de modelos de simulação. As técnicas utilizadas nos trabalhos prévios são discutidas como suporte ao desenvolvimento das novas propostas deste trabalho. (Acompanhe na Fig. i.2 a estrutura de desenvolvimento da tese).

Como a Ecologia de Paisagem centra-se no papel do Homem como fator principal da organização do espaço, dedica-se o segundo capítulo desta tese à história recente de ocupação da região de estudo em conjunto com a descrição de seus principais aspectos fisiográficos. É mostrada a evolução da paisagem original e descritos os seus processos de uso e de ocupação do solo. Os modelos de ocupação da região são revistos e contextualizados frente ao quadro de colonização amazônica, quer seja por pequenos colonos ou por grandes pecuaristas. Desse modo, são selecionadas e descritas em detalhe três subáreas dentro da região de estudo, devido as suas distintas paisagens, agentes de colonização e características de evolução. Como dito anteriormente, a área de estudo servirá como um rico material para os teste de hipóteses sobre o desenvolvimento do modelo de simulação. Por isto, este capítulo trata também da identificação das principais variáveis que irão substanciar a concepção de um modelo conceitual de mudanças, através da descrição dos modos de ocupação regional e dos processos ocorrentes de uso, degradação e abandono de áreas desmatadas, em conjunto com resultados de outros estudos *in situ* das barreiras ecológicas e processos envolvidos na sucessão vegetal. Como conclusão do capítulo é apresentado o modelo conceitual de mudanças adotado por este trabalho.

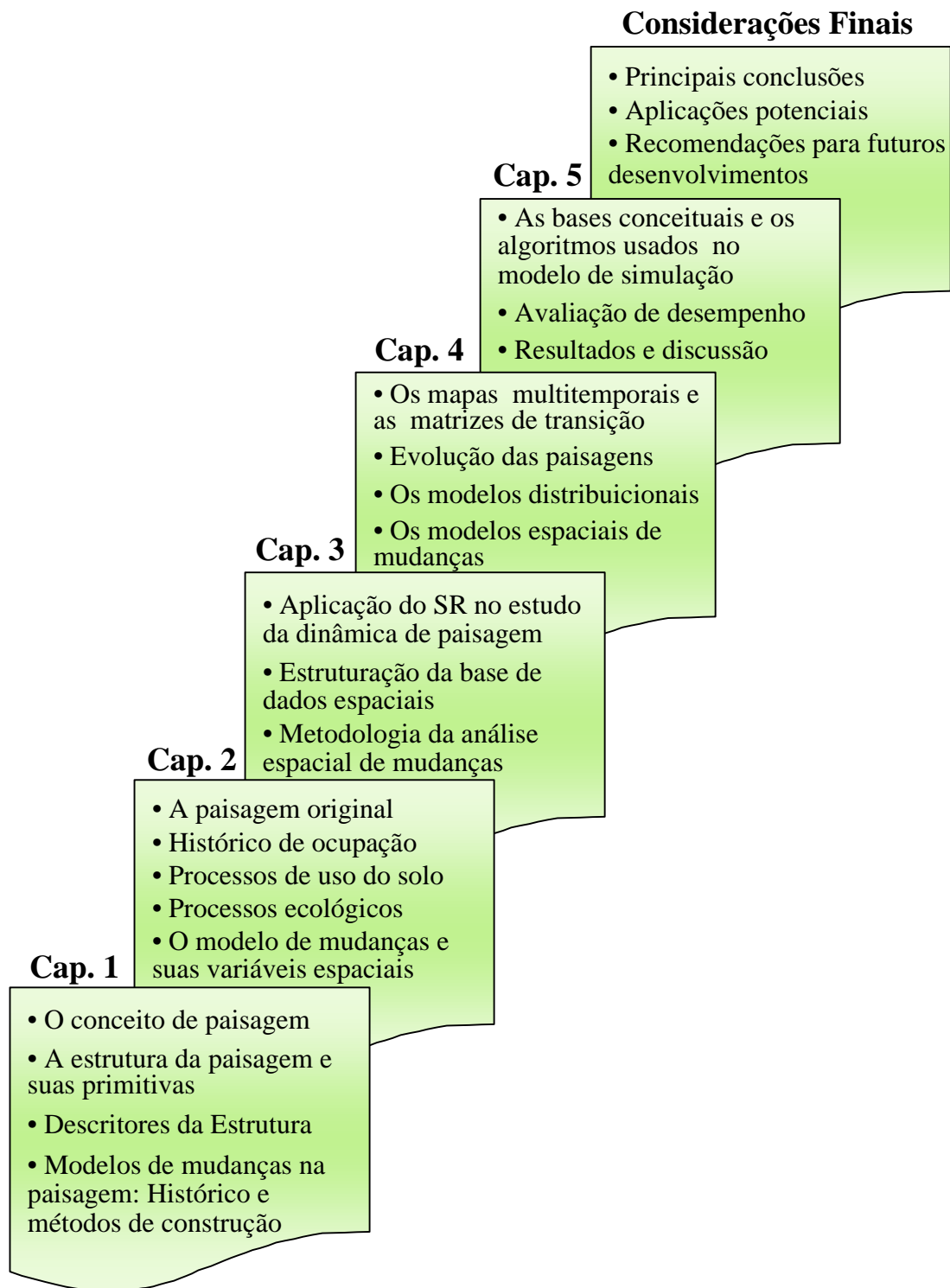


Fig. i.2 - Estrutura de desenvolvimento da tese.

O terceiro capítulo dedica-se à boa parte do desenvolvimento metodológico da tese. Em primeiro, são descritas as técnicas utilizadas para o mapeamento de mudanças na paisagem, sendo seus resultados mostrados à medida que são aplicadas. Outra parte relevante deste capítulo diz respeito à montagem do banco de dados espaciais necessário à operação do modelo de simulação. Nesta parte, são apresentadas as questões relevantes às etapas de coleta e conversão dos dados ancilares, os principais métodos envolvidos na estruturação do modelo cartográfico¹³ e algoritmos empregados no processamento de mapas¹⁴, visando a preparação das variáveis geográficas para utilização na análise espacial e no modelo de simulação. Por fim, são revistas as bases teóricas da técnica estatística de regressão logística utilizada para calcular as probabilidades espaciais de transição - parte do processo de parametrização e discretização do modelo de simulação em subunidades de área.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos do mapeamento da dinâmica da paisagem da região de estudo. São mostradas as taxas e tendências do desmatamento e da regeneração florestal e avaliadas as estruturas da paisagens resultantes, tanto da região como um todo, como das subáreas características dos diferentes modelos de uso e de ocupação do solo. Projeções são também feitas usando-se de um modelo markoviano, o qual leva a um futuro equilíbrio hipotético, considerando que as taxas de transição entre os elementos da paisagem permaneçam imutáveis. Os resultados obtidos com as técnicas de regressão logística são, por sua vez, discutidos e criticados, tendo como base os modelos obtidos para cada uma das subáreas

¹³ Análogo ao conceito de Modelo Digital do Ambiente (XAVIER-DA-SILVA, 1982), o modelo cartográfico, segundo TOMLIN (1990), pode ser traduzido por uma pilha de mapas sobrepostos, na qual cada mapa representa a distribuição espacial de uma variável de interesse.

¹⁴ Cf. o conceito de álgebra cartográfica ou de mapas em TOMLIN (1990).

selecionadas. Consequentemente, nesse capítulo, são comparadas as subáreas selecionadas no tocante à evolução das estruturas das paisagens e aos seus resultantes modelos distribucionais e espaciais.

Já o quinto capítulo traz a descrição sobre a abordagem escolhida para a construção do ambiente de simulação. É discutido o enfoque do desenvolvimento do dispositivo heurístico, quer seja quanto às suas principais suposições ou tocante ao seu espectro de aplicações e possibilidades de investigação. São descritos os principais algoritmos desenvolvidos e usados em cada passo do programa, passando-se então aos seus resultados e avaliação de aderência do mesmo sob a luz da estrutura da paisagem e do método de múltiplas resoluções. Neste capítulo é ainda feita uma análise de seu desempenho e funcionalidade e discutida a sua validade.

Por fim, são enumeradas as principais conclusões alcançadas no desenvolver desta tese e tecidas as considerações finais e recomendações para futuros trabalhos, tendo em vista que nenhuma obra científica pode ser considerada acabada, mas sim apenas um passo na direção de uma melhor compreensão sobre o mundo em que habitamos.