



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS - DCF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS - PPGCIFA

DINÂMICA DA PAISAGEM DO PROJETO DE ASSENTAMENTO
TARUMÃ MIRIM: UMA CONTRIBUIÇÃO
TEMPORAL E PREDITIVA

JURIMAR COLLARES IPIRANGA

MANAUS
2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS E AMBIENTAIS

JURIMAR COLLARES IPIRANGA

DINÂMICA DA PAISAGEM DO PROJETO DE ASSENTAMENTO
TARUMÃ MIRIM: UMA CONTRIBUIÇÃO
TEMPORAL E PREDITIVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em Gestão Ambiental e Áreas Protegidas na linha de pesquisa Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica aplicados às Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Lizit Alencar da Costa, DSc.

MANAUS
2009

Ficha Catalográfica
Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Ipiranga, Jurimar Collares

164d Dinâmica da paisagem do Projeto de Assentamento Tarumã
Mirim: uma contribuição temporal e preditiva / Jurimar Collares
Ipiranga. - Manaus: UFAM, 2009.

141 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) —
Universidade Federal do Amazonas, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Lizit Alencar da Costa

1. Sensoriamento remoto 2. Políticas públicas 3. Modelagem
dinâmica espacial I. Costa, Lizit Alencar da II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

CDU 528.8:316.334.55(811.3)(043.3)

JURIMAR COLLARES IPIRANGA

DINÂMICA DA PAISAGEM DO PROJETO DE ASSENTAMENTO
TARUMÃ MIRIM: UMA CONTRIBUIÇÃO
TEMPORAL E PREDITIVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em Gestão Ambiental e Áreas Protegidas na linha de pesquisa Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica aplicados às Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovado em 12 de fevereiro de 2007.

Prof. Lizit Alencar da Costa, DSc.

Profº Francisco Adilson dos Santos Hara, DSc.

Profº José Luiz de Souza Pio, DSc.

A Jandir Ipiranga (Pai), Iolanda Collares Ipiranga (Mãe – em Memória), Lucília Collares Ipiranga (Irmã), Jandir Ipiranga Junior (Irmão), Lenise Collares Ipiranga (Irmã), Rosana Carvalho Ipiranga (Esposa), Bárbara Carvalho Ipiranga (Filha) e Susana Carvalho Ipiranga (Filha) pelo apoio incondicional na conquista deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo pela existência.

À Universidade Federal do Amazonas e colegas do Departamento de Ciências Florestais pelos esforços e dedicação que possibilitaram este trabalho.

Ao meu Orientador Prof^o. Lizit Alencar da Costa, DSc. Pelo incentivo e ensinamentos.

Ao meu saudoso Co-orientador Prof^o. Eduardo Coutinho da Cruz, DSc. Por sua partida precoce para o Oriente Eterno (em memória).

Ao meu Co-orientador Prof^o. José Luiz de Souza Pio, DSc. Por sua ajuda incondicional e ensinamentos.

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), pela disponibilização das informações que consubstanciaram este trabalho.

As amigas e técnicas do INCRA, Heloisa e Soraya pela atenção e presteza nas informações sobre o PA Tarumã Mirim.

Ao casal fraterno, Prof^a. Maria Nifa Mendonça dos Santos, MSc. e Luiz Coutinho dos Santos Neto, pelo apoio, contribuições e ajuda incondicional nos momentos cruciais deste trabalho.

Ao meu amigo Eng^o. Civil Francisco Furtado por sua ajuda inestimável.

Ao meu amigo Eng^o. Florestal Leandro Monteiro, MSc. Pelo apoio incondicional.

Aos amigos que direta e/ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta Dissertação, que representa uma conquista em minha jornada acadêmica.

*“Só há vento favorável, para quem sabe
aonde quer ir.”*

Homero

RESUMO

A modelagem dinâmica espacial destaca-se por ter a capacidade de apresentar a evolução da paisagem do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim de forma preditiva, auxiliando os estudos quanto ao uso dos recursos naturais, ordenamento territorial e possibilitando uma visão da existência ou não de políticas públicas pontuais. Pois, o planejamento de um assentamento rural deve levar em consideração o uso da terra e os seus impactos positivos ou negativos gerados nesse processo. A evolução da paisagem desde a sua criação do PA em março de 1992, possibilita entre os anos 1995 a 2003 uma projeção estocástica para o ano 2011 de forma preditiva, capaz de informar as taxas de crescimento e supressão da vegetação exercida pela ação antrópica. Utilizaram-se duas cenas da órbita 231 e ponto 062 dos anos de 1995 e 2003, devidamente recortadas da área de estudo e aplicando a Teoria de Cadeias de Markov, apoiada em técnicas de sensoriamento remoto que delimitou a área, classificou-se o uso da terra e cobertura vegetal, fez-se a tabulação cruzada das classes mostrando a transição entre elas, as probabilidades de mudanças e a projeção do uso da terra para o ano de 2011. Dos 42.910,760 ha destinados para assentamento e agricultura familiar, em 1995 data início do estudo para modelagem preditiva, foi levantado pela classificação do uso da terra na ordem de 1,119.60 ha, em 2003 3,075.30 ha e uma projeção de uso para 2011 10,023.30 ha, e a supressão da cobertura vegetal em 1995 47,069.10 ha, em 2003 45,113.40 ha e a projeção de supressão vegetal para 2011 (simulação) é da ordem de 38,165.40 ha desflorestados. O estudo revelou em sua modelagem da dinâmica do uso da terra para cenários futuros, uma situação de caráter preocupante que deve ser reavaliada e receber especial atenção em relação aos impactos positivos e negativos no entorno e na rede hidrológica, preconizados no plano de controle ambiental e proteção das matas ciliares.

Palavras chave: Modelagem dinâmica espacial, sensoriamento remoto, assentamento, políticas públicas.

ABSTRACTS

The space dynamic modelling technique stands out by its capacity to show the landscape evolution of the Tarumã Mirim Stablishment Project in a predictive way, assisting studies on the use of natural resources, territorial planning and allowing a view of the presence or absence of specific public policies. That is because the planning of a rural settlement must take into account the land use and its positive or negative impacts generated in this process. The evolution of that landscape since the creation of the PA, in march 1992, makes possible a stochastic projection for 2011, even it was made during the erlier period of 1995 to 2003. That projection was able to report growth rates and removal of vegetation carried out by human action. It was used two scenes of the orbit 231 and section 062 of the years 1995 and 2003, properly cut from the area of study and applying the Markov Chains Theory, supported by remote sensing technique that delimited the area. It was classified the land use and land cover. It was made the cross-tabulation of the classes showing the transition between them and the probability of changes and projection of land use for 2011. From 42,910.760 hectares intended for settlement and farming family in 1995, wich is the baseline time for predictive modeling, it was identified by the classification of land use in order to 1,119.60 ha, in 2003 3,075.30 ha and a projection of land use for 2011 about 10,023.30 ha, and the removal of vegetation cover in 1995 47,069.10 ha, in 2003 45,113.40 ha and the projection of vegetation removed for 2011 (simulation) is about 38,165.40 hectares deforested. The study revealed in its modeling of the dynamics use of land for future scenarios, a concerning situation that should be reviewed and demands a special attention referred to positive and negative environmental and hydrological network, recommended in the plan for environmental control and protection of ciliary forests.

Key-words: Dynamic spatial model, remote sensing, settlement, public politics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.....	21
Figura 2: Modelo de Hexágonos de Crisaller, mostrando um padrão de povoados localizados.....	39
Figura 3: Tipos de difusão espacial: por expansão, realocação e processo combinado de expansão e realocação.....	39
Figura 4: Efeito de barreira de reflexão causada pela Serra do Curral, que direcionou a expansão urbana de Belo Horizonte para N e NO.....	41
Figura 5: Ondas de Difusão, vistas em perfil.....	43
Figura 6: Modelo de difusão de Hägerstrand em 5 gerações.....	45
Figura 7: Dados monitorados por três tipos de modelos: a) modelo total de paisagem, b) modelo distribucional de paisagem e c) modelo espacial de paisagem.....	48
Figura 8: Exemplo de modelo de mosaico.....	51
Figura 9: Fluxograma e componentes principais do modelo DELTA.....	59
Figura 10: Perímetro e Localização da Área de Estudo.....	70
Figura 11: Área de Estudo.....	72
Figura 12: Fluxo Metodológico.....	76
Figura 13: Recorte da cena 231/062 de 1995 delimitando a área de estudo.....	78
Figura 14: Recorte da cena 231/062 de 2003 delimitando a área de estudo.....	78
Figura 15: Classificação segundo o uso da terra e cobertura vegetal da cena 231/062 de 1995.....	79
Figura 16: Classificação segundo o uso da terra e cobertura vegetal da cena 231/062 de 2003.....	79
Figura 17: Imagem de 1995 no formato RASTER (*GRID) pronto para receber a tabulação cruzada.....	81
Figura 18: Imagem de 2003 no formato RASTER (*GRID) pronto para receber a tabulação cruzada.....	82
Figura 19: Classificação Cruzada entre 1995 e 2003.....	83
Figura 20: Rotina do Estimador de Transição Markoviana entre 1995 e 2003.....	84
Figura 21: Módulo experimental de cenários futuros CA_MARKOV2011.....	85
Figura 22: Projeção da Cobertura da Terra CA_MARKOV2011, Simulação Preditiva.....	86
Figura 23: Ocupação antes da criação da Assentamento Tarumã Mirim em 1986.....	88
Figura 24: Classificação espaço-temporal do PA Tarumã Mirim em 1995.....	89
Figura 25: Classificação espaço-temporal do PA Tarumã Mirim em 2003.....	90
Figura 26: Mapa da Tabulação Cruzada CROSSTAB9503 entre os anos de 1995 e 2003.....	93
Figura 27: Projeção da Cobertura da Terra para o ano de 2011.....	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da antropização e supressão da vegetação entre 1995 a 2011.....	91
Gráfico 2: Percentual das transformações de antropização e supressão da vegetação entre 1995 a 2011.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da Tecnologia de SIG.....	22
Tabela 2: Campo médio de informação de Hägestrand.....	43
Tabela 3: Tabulação cruzada entre as classes de 1995 e as classes de 2003.....	94
Tabela 4: Tabulação cruzada proporcional.....	94
Tabela 5: Matriz da Probabilidade de Transição.....	95
Tabela 6: Matriz de Expectativa de Transição.....	95

LISTA DE SIGLAS

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PA – Projeto de Assentamento

LANDSAT – Satélite de Sensoriamento Remoto Terrestre

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	V
AGRADECIMENTO	VI
EPIGRAFE	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE GRÁFICOS.....	XI
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE SIGLAS	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.1. ESTUDOS TEMPORAIS.....	5
3.2. CADEIAS DE MARKOV.....	10
3.3. SENSORIAMENTO REMOTO.....	14
3.4. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – SIG.....	17
3.5. DINÂMICA DE PAISAGEM.....	33
3.5.1. MODELAGEM DE MUDANÇAS NA PAISAGEM.....	33
3.5.2. CONTRIBUIÇÃO INTERDISCIPLINAR AOS MODELOS DE PAISAGEM.....	36
3.5.3. MODELOS DE MUDANÇAS NA PAISAGEM.....	46
3.5.3.1. MODELOS SEGUNDO OS NÍVEIS DE AGREGAÇÃO E ESTRUTURA.....	47
3.5.3.2. MODELOS ESTOCÁSTICOS.....	51
3.5.3.3. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE DINÂMICA DE PAISAGEM.....	60
3.5.3.4. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADO AO ESTUDO DA DINÂMICA DE PAISAGEM...	61
4. MATERIAIS E MÉTODO.....	67
4.1. LOGÍSTICA DA PESQUISA.....	67
4.2. A ESTRUTURA DA PESQUISA.....	67
4.3. A COLETA DOS DADOS.....	68
4.3.1. A AMOSTRAGEM.....	68
4.4. ÁREA DE ESTUDO.....	69
4.5. AS TÉCNICAS ADOTADAS PARA PESQUISA.....	72
5. RESULTADOS.....	77
5.1. ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	77
5.2. SIMULAÇÃO PREDITIVA ENTRE 2003 A 2011.....	80
6. DISCUSSÃO.....	87
6.1. ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	87
6.2. SIMULAÇÃO PREDITIVA.....	92
7. CONCLUSÃO.....	97
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica da paisagem possibilita o acompanhamento dos sistemas antropizados e suas transformações espaciais ao longo do tempo. O tema desponta como assunto de especial interesse em pesquisas relacionadas ao meio ambiente, ordenamento territorial e políticas públicas. Esta evolução da paisagem gera grandes preocupações tanto no âmbito do gerenciamento territorial como na predição de seu estado em 10, 20 ou 30 anos Soares-Filho *et al* (2002).

A ocupação desordenada da terra sem o emprego de técnicas adequadas de manejo de solo e de vegetação conduz à degradação ambiental, que por sua vez acarreta mudanças no uso e na cobertura vegetal. O conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos gestores. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que suas tendências possam ser acompanhadas e analisadas.

Desta forma, o caráter dinâmico dos processos de produção, consumo, exploração, transporte e de permanência sócio-econômica dos assentados traduz a necessidade da coleta e análise de dados volumosos de uma forma ágil, sendo ainda desejável, o desenvolvimento de estudos integrados. Dentre as abordagens para estudos ambientais com ações integradas de investigação, observa-se uma otimização nos resultados obtidos com o uso combinado de modelos de simulação, técnicas de análise de fenômenos temporais, produtos e técnicas de sensoriamento remoto, sistema de tratamento de imagens e SIG.

Neste contexto afirma Worbyos (1995), o tempo é constituído de eventos hierárquicos, e pode produzir transformações sobre uma determinada entidade geográfica como, por exemplo: o seu surgimento, seu desaparecimento ou mesmo a união de entidades espaciais. Claramunt (1994), diz que estas transformações são chamadas de fenômenos temporais.

Por sua vez, o uso de modelos de simulação visa auxiliar o entendimento dos mecanismos causais e processos de desenvolvimento de sistemas ambientais, e assim determinar como eles evoluem diante de um conjunto de circunstâncias. Em um processo de simulação, é modelada a dinâmica de um sistema, reproduzindo-se, em ambiente computacional, a complexidade de seu mecanismo de desenvolvimento, que opera através de processos de troca de materiais, energia, informação e espécie/estado entre os componentes ou elementos do meio ambiente. Neste ponto, Lévy (1998) destaca que, dentre os gêneros aportados pela cibercultura, a simulação preditiva ocupa um lugar central, constituindo um importante dispositivo heurístico, que só se tornou viável graças ao recente desenvolvimento científico, tanto na área de informática como também na modelagem de sistemas Soares-Filho et al. (2002).

Dentro dos diversos propósitos, modelos de simulação espaciais têm se tornado um importante instrumento de auxílio ao ordenamento territorial. Dessa forma, qualquer planejamento regional ou estratégia de conservação ambiental que não leve em conta o fator tempo está fadado ao insucesso. Contudo, modelos de simulação podem ser usados para promover idéias comuns, como no exemplo das mudanças globais e suas conseqüências ao planeta. Portanto, modelos espaciais de simulação que realisticamente reproduzem padrões espaciais de mudanças, são hoje requisitos para o entendimento e avaliação de complexas questões ambientais em escala local, regional e global.

Neste contexto, o sensoriamento remoto constitui-se numa técnica de grande utilidade, pois permite em curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações espaciais, espectrais e temporais.

Além disso, o advento dos satélites de sensoriamento remoto tem favorecido, nos últimos anos, a realização de levantamentos à distância de variações físicas e químicas da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas, favorecendo, principalmente, os mapeamentos e monitoramentos sazonais da superfície da Terra. Segundo Jensen (1986) e Novo (1989) a visão sinóptica e os aspectos multiespectral e multitemporal dos sensores orbitais, aliada ao crescente desenvolvimento de sistemas computacionais (*hardware e software*) de tratamento digital de imagens, caracteriza o sensoriamento remoto como uma tecnologia imprescindível no estudo espacial, espectral e temporal e na análise das variações ambientais terrestres, em combinação com dados de aerofotogrametria e Geodésia, com os recentes recursos do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e aliado às novas técnicas de processamento e aos novos sensores, as imagens de satélite oferecem possibilidades, ainda pouco exploradas, de gerarem informações sinópticas e precisas para a avaliação e evolução de diversas variações temáticas da superfície terrestres.

Neste sentido, este trabalho visou conhecer o passado, o presente e de forma preditiva (simulação) o futuro do processo de ocupação e cobertura da terra do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim, usando as tecnologias mais modernas existentes no momento. Assim, o estudo temporal entre 1995 e 2003 e a simulação preditiva entre 2003 a 2011, utilizando a teoria de Cadeias de Markov implementada na função de modelagem do SOFTWARE IDRISI KILIMAJARO, mostrou as mudanças espaço-temporal do uso e cobertura da terra da área em estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. **Geral:** Avaliar a dinâmica da paisagem e perspectivas do Assentamento Tarumã-Mirim, utilizando as técnicas de Análise Multitemporal e Cadeia de Markov para a Modelagem Preditiva.

2.2. Específicos:

- a) Realizar Análise Multitemporal para caracterização e quantificação das transformações do uso da terra no assentamento Tarumã Mirim no período de 1995 a 2003, por meio de técnicas de sensoriamento Remoto;
- b) Gerar uma simulação preditiva (2003-2011) da evolução da dinâmica do uso da terra do assentamento Tarumã-Mirim, usando a técnica de Cadeia de Markov presente em Sistema de Informações Geográficas – SIG.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Estudos Temporais

O Brasil, país de dimensão continental, apresenta grande diversidade espaço-temporal quanto à ocupação de suas terras: agricultura, pastagem, reflorestamento, vegetação natural, urbanização, mineração, entre outras, cada um deles apresentando características e dinâmicas específicas. Apesar da imensidão deste território e da dinâmica do uso das terras, o país, pela escassez de recursos financeiros, não prioriza realizações de censos e cadastros fundiários (numéricos e cartográficos) com a frequência necessária, com informações úteis sobre o uso das terras e dos sistemas de produção agrícola. Os censos agrícolas são realizados a cada 10 anos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o cadastro das propriedades agrícolas, elaborado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) encontra-se desatualizado.

Por outro lado, existe uma carência de metodologias que possam agilizar e disponibilizar as informações sobre o conhecimento do uso e ocupação das terras e da tipologia dos sistemas de produção de maneira mais atual. O processo de conhecer a ocupação, levantar o uso atual das terras, identificar os parcelares agrícolas, tipificar os produtores rurais e caracterizar os vários sistemas de produção atuando e interagindo entre várias propriedades rurais a nível municipal, de comunidades rurais ou de bacias hidrográficas é uma tarefa complexa. Já o levantamento e a caracterização de sistemas de produção, de forma convencional, têm-se limitado à escala da propriedade rural, geralmente com análise estatística univariada (pelo tamanho das propriedades agrícolas), sem enfoque sistêmico, sem

levar em consideração informações espaciais, tais como, localização das propriedades, tipo do solo, relevo, aptidão agrícola e/ou extrativista dentre outros, como forma de garantir melhor confiabilidade dos dados coletados, por meio de checagens das informações numéricas com as espaciais (cartográficas). Em geral, este tipo de levantamento tem alto custo financeiro, envolve muito tempo (principalmente por não levar em conta dados espaciais sobre a localização precisa das propriedades rurais) e, quando os dados são publicados, freqüentemente já estão desatualizados.

Dentro deste contexto, é praticamente impossível administrar políticas públicas sem planejar. Tal planejamento requer uma base segura de informações mais atual e confiável, principalmente no que se refere às informações quantitativas. Neste caso, é imprescindível gerar, para fins de planificação e desenvolvimento rural, informações que identifiquem as diversas variáveis relacionadas ao uso das terras, dos parcelares agrícolas e dos sistemas de produção. Este processo de investigação pode ser facilitado pela utilização de imagens de satélites de alta resolução espacial, que podem gerar dados passíveis de serem geocodificados, ou seja, integrados, relacionados e espacializados nos sistemas de informações geográficas (SIG's). Ademais, a geocodificação destes dados embasará a estruturação de sistemas de informação que possam dar apoio à decisão mais racional quanto ao planejamento e desenvolvimento rural na escala da administração municipal regional.

Estudos da cobertura vegetal e do uso da terra na Amazônia, utilizando imagens orbitais, têm sido relatados com freqüência na literatura. Os trabalhos pioneiros de Tardin *et al.* (1979), Shimabukuro *et al.* (1982) e Santos *et al.* (1983) foram realizados com imagens do sensor MSS Landsat (sensor “*Multispectral Scanner Subsystem*” do satélite Landsat). Sano *et al.* (1989) utilizaram as imagens TM Landsat (sensor “*Thematic Mapper*” do satélite Landsat) no formato digital para o mapeamento do uso das terras, fazendo a caracterização e quantificação de classes de paisagem em dez municípios do nordeste paraense. Barroso *et al.*

(1993), usando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, mostraram a importância dessas técnicas na detecção de mudanças no uso da terra por transformações antrópicas ocorridas na cobertura vegetal para áreas de projeto de assentamento na região de Paragominas (Estado do Pará). Alves & Skole, (1996) e Moran *et al.* (1994) usaram a análise multitemporal e o armazenamento periódico dos dados de sensoriamento remoto da Amazônia para entendimento dos diferentes padrões de regeneração secundária, além das mudanças da cobertura e do uso da terra.

Na região amazônica, a parte leste do Estado do Pará foi tradicionalmente a mais afetada por problemas ambientais, devido, em grande parte, à sua posição geográfica, facilitando o avanço das frentes pioneiras de colonização. A microrregião Bragantina apresenta certa peculiaridade, por ser uma das mais antigas áreas de colonização na Amazônia, este processo ocorreu com maior intensidade a partir do final do século XIX com a construção da estrada de ferro Belém-Bragança.

Em virtude de empreendimentos colonizadores feitos principalmente por meio de migrantes nordestinos que se estabeleceram para o desenvolvimento da pequena agricultura, a paisagem local ficou desde então marcada por forte grau de antropização. O sistema agrícola, em geral praticado, foi conduzido em pequenas propriedades com culturas temporárias, sendo comum a prática do consórcio e o uso da vegetação secundária como elemento de pousio. Neste sistema, a vegetação secundária é incorporada periodicamente à área agrícola através dos processos de corte e queima, pois conforme Denich (1991), tal formação desempenha a função de acumular na fitomassa os nutrientes a serem liberados através da queima, além de ser importante no controle das ervas daninhas instaladas durante a fase de cultivo.

Desta forma, o caráter dinâmico dos processos de produção e exploração econômica traduz a necessidade da coleta e análise de dados volumosos de uma forma ágil, sendo ainda desejável, o desenvolvimento de estudos integrados. Dentre as abordagens para estudos

ambientais com ações integradas de investigação, observam-se bons resultados obtidos com a combinação de técnicas e produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Watrin et al. (1996) destacam que a análise de dados históricos com o uso daquelas ferramentas vem sendo realizada na Amazônia como instrumento auxiliar de planejamento regional e de acompanhamento do impacto das atividades de ocupação e desenvolvimento. No âmbito da Amazônia Oriental, são significativas as contribuições dos trabalhos desenvolvidos por Brondízio *et al.* (1993), Morán *et al.* (1994), Alencar *et al.* (1996) e Watrin *et al.* (1996).

A questão agrária é um dos grandes desafios encontrados em nosso país. Desde a década de 1930 que os conflitos pela posse da terra geraram diversas batalhas em diferentes regiões do Brasil, a exemplo do movimento dos atingidos pelas barragens de Sobradinho e Itaparica, que consistia em exigir terras próximas às margens do lago Silva (2001). Esse e outros embates ocorridos mostraram o quanto era necessário reavaliar as formas de distribuição de terras no país. Foi a partir desses episódios que surgiram novas políticas de redistribuição da terra, que buscavam inclusive delinear metas para que as famílias assentadas pudessem viver de maneira independente, mantendo-se a partir daquilo que a terra poderia lhes proporcionar. O Rio Grande do Norte se destaca quanto ao número de concessões de terras adquiridas pelo Governo Federal, mas apesar de todos os esforços, a intermitência e escassez de incentivos financeiros, a falta de apoio e orientação técnica, a morosidade do processo de assentamento em geral e a falta d'água no nordeste em particular são os principais responsáveis pelo insucesso de alguns assentamentos distribuídos no Estado, como em outras regiões nordestinas. Além do elevado número de assentamento, Mossoró também é palco das atividades da fruticultura irrigada, da exploração de petróleo, das indústrias salineiras e dos assentamentos rurais, que totalizam 26 e representam mais de 10% dos assentamentos criados no Estado. A análise ambiental em bases cartográficas das transformações sócio-espaciais

ocorridas a partir desses eventos é relevante para entender as mudanças e impactos introduzidos no meio ambiente.

Análise de dados espaciais envolve uma descrição apurada de dados relacionados à processos operando no espaço, bem como a exploração de padrões e relações em tais dados e a busca de explicação para tais padrões e relações. Cabe, portanto, fazer uma distinção entre os métodos que são essencialmente voltados para a visualização de dados espaciais – aqueles que são exploratórios; aqueles voltados para resumir e investigar padrões e relações espaciais; e aqueles que contam com especificação de um modelo estatístico e a estimação de parâmetros, a saber:

Visualizar dados espaciais é requerimento essencial em todo tipo de análise de dados, é a habilidade de ver a distribuição de dados. Gráficos de dispersão e outras modalidades gráficas são ferramentas importantes para o analista que busca compreender padrões espaciais, formular hipóteses e testá-las. Neste sentido na análise de dados espaciais, o mapeamento cumpre uma função muito importante. Equivalente do gráfico de dispersão.

Quando se explora dados espaciais se observa métodos exploratórios de análise que buscam realizar boas descrições dos dados, auxiliando o analista a desenvolver hipóteses sobre tais dados; tais técnicas são marcadas por uma série de afirmações a priori sobre os dados e muitas são desenhadas especificamente para serem robustas, ou seja, resistentes a influência de valores extremos.

No contexto da análise de dados espaciais, os métodos exploratórios podem ser empregados no formato de mapas, enquanto outros podem envolver gráficos convencionais. Portanto, a diferença do agrupamento anterior se dá pelo nível de sofisticação empregada.

Ao modelar dados espaciais busca-se testar certas hipóteses ou estimar, com alguma precisão a extensão e a forma que certas relações estabelecem. Modelos estatísticos estão implícitos em todas as formas de inferência estatística e teste de hipóteses, apesar do termo

modelo não ser utilizado explicitamente nos textos de estatística elementar. Como os modelos estatísticos estão voltados para fenômenos que são estocásticos (que são sujeitos a incertezas e variabilidade, ou governados pelas leis da probabilidade), utiliza-se uma linguagem que nos permite representar tal incerteza matematicamente. Por isso se faz uso do conceito de variável aleatória e a sua distribuição de probabilidade.

3.2. Cadeias de Markov

A teoria de cadeias de Markov foi introduzida em 1906 por A. A. Markov a partir do conceito de cadeias com um parâmetro discreto e número finito de estados Chiang (1980).

Em sua investigação de experimentos conectados, A. A. Markov formulou o princípio de que o "futuro" é independente do "passado" quando o "presente" é conhecido (Arnold, 1974). Em outras palavras, Cox e Miller (1978) afirmam que: “se o estado presente do sistema é conhecido, a probabilidade de qualquer estado futuro pode ser determinada sem referência ao passado”.

Chiang (1980) cita que, em 1937, Kolmogorov estendeu a teoria para o caso não enumerável, J. L. Doob em 1945 e Paul Levy em 1951 introduziram as cadeias com parâmetros contínuos, outros autores como W. Feller e K. L. Chung também contribuíram para o avanço da teoria de Markov.

Cox e Miller (1978) também descrevem com muita propriedade os processos de Markov com estados discretos em tempo contínuo, e processos de Markov em tempo contínuo com espaço de estado contínuo, assim como os processos não Markovianos. Os processos de Markov em que somente mudanças contínuas de estado ocorrem são chamados processos de difusão.

Nesse sentido, processo de Markov em tempo discreto ou cadeia de Markov são processos estocásticos que consistem de uma sequência de eventos, cada um tendo um número finito de resultados possíveis.

As cadeias de Markov têm uma grande aplicação em diversas áreas, tais como: engenharia industrial, economia, biologia, psicologia, sociologia e meteorologia Hoyos (1980); genética Chiang (1980); sucessão de populações animais Usher (1969).

O modelo matricial com repartição de indivíduos por classe é conhecido como modelo de Leslie (1945). Lebreton & Miller citados por Favrichon (1995) afirmam que os cálculos

demográficos deste tipo remontam à Fibonacci (1228). É um modelo simples, mais preditivo e empírico do que mecanístico. Para Frontier e Pichot-Viale citados por Favrichon (1995), este modelo representa a evolução cinética do povoamento pelas “forças” (como em física) que determinam às variações de abundância de uma população, sendo estas todas as causas possíveis de variação demográfica: reprodução, mortalidade e crescimento.

Childress, *et al* (1996) concordam que modelos matriciais de Markov foram propostos e usados para simular a dinâmica numa variedade de sistemas ecológicos como comunidades de pastagem, zoobentos marinho, “garrigue” de carvalho, florestas, recife de coral, e paisagens (savana mesquite) dinâmicas de uso da terra, revisão geral, e especificamente para sistemas sucessionais. Também usado em simulação da dinâmica de transição de componentes de um sistema ecológico comumente entre classes discretas diferentes, como grupos de idade, tipos de vegetação, ou localizações espaciais. A maioria dos modelos de Markov é baseado em uma única matriz de transição; e são caracterizados como modelos tipicamente estacionários ou homogêneos Childress, *et al*. (1996).

Li (1996) verificou que os modelos homogêneos somente são aplicáveis quando o sistema a ser modelado tem ambas as probabilidades de transição consistentes ao longo do tempo e estados ou classes consistentemente disponíveis.

Os modelos para descrever o crescimento foram utilizados por Leslie (1945) em demografia humana, e adaptados ao problema do crescimento das árvores em floresta por Usher (1969). Estes modelos permitem descrever os povoamentos por classes de diâmetros a partir de processos Markovianos, podendo ser aplicáveis ao estudo da dinâmica de florestas naturais. Ressaltados por Bellefleur (1981) e Lippe *et al* (1985) que em alguns casos, as matrizes de transição não deram bons resultados, quando feitos para a sucessão de plantas.

Dentre os muitos tipos de modelos de crescimento para estudar o manejo de povoamentos florestais, Michie e Mcandless (1986) citam que os modelos de classe de diâmetro podem ser equações diferenciais não lineares ou modelos matriciais, estes modelos são conceitualmente simples, fáceis para estimar e provaram ser efetivos para determinar as durações de rotações econômicas.

Johnson, *et al* (1991) afirmam que o método Markoviano é poderoso e simples e tem sido amplamente usado para modelar o crescimento do diâmetro da árvore na floresta e em sucessão da vegetação florestal em geral. Roberts e Hruska (1986) classificaram os modelos de crescimento em diâmetro de povoamentos florestais segundo abordagens Markoviana e

não-Markoviana. Esta última abordagem inclui os métodos tradicionais de projeção da tabela do povoamento, Husch *et al*(1972). Assim também o uso das funções de distribuição probabilística tal como a de Weibull, que segundo Bailey e Dell (1973) para gerar distribuições de diâmetro futuras.

A evolução dinâmica temporal de florestas pode ser sumarizada e prognosticada eficientemente por matriz de transição. O modelo matricial de transição é um instrumento de prognose de eventos que caracterizam estados definidos de desenvolvimento que passam, a partir de um estado inicial, por uma sequência de estados, onde a transição entre os estados ocorre segundo certa probabilidade, e modelos Markovianos, aplicados a prognose volumétrica geram previsões periódicas determinísticas, em que pese o caráter probabilístico dos elementos da matriz de probabilidade de transição.

Childress, *et al* (1996) ressalta que os vários métodos para classificar a vegetação para uso em modelos de Markov foram descritos por Orloci e Orloci (1988) e que a análise multivariada também pode ser usada para produzir uma classificação empírica da vegetação em classes discretas.

Segundo Batistela (2001), um estudo da Dinâmica de Paisagem realizada nas regiões do Projeto de Assentamento Machadinho d'Oeste e do Vale do Anari, em Rondônia no ano de 2001, comprovou que o modelo de arquitetura tipo orgânica (seguindo o interlúvio) possui um índice de mancha mais larga em vantagem a do que possui arquitetura tipo espinha de peixe, em função da preservação da continuidade dos habitats florestais.

Como diversos autores obtiveram resultados diretamente aplicáveis ao estudo de processos dinâmicos de povoamentos florestais, está claro que os modelos matriciais são de suma importância para os profissionais em manejo florestais.

Características do Modelo Markoviano:

- Processo Estocástico.
- Aplicável a processos que se move numa sequência de passos através de conjunto de estados; bastante utilizados em ecologia e geografia.

- Simplicidade Operacional: probabilidades de transição podem ser facilmente estimadas com base em dados históricos. Não demanda grande quantidade de dados, que podem ser derivados de Sensoriamento Remoto.
- Aplicações: principalmente, para prever em determinada data, quanto de cada conversão ocorrerá.

$$S_{t+1} = P \times S_t$$

$$P = \begin{matrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{matrix}$$

$$S = s_1 \ s_2 \ \dots \ s_n$$

onde s_i é a quantidade de terra destinada a determinado uso.

- Normalmente, o processo é considerado estacionário e de primeira ordem (somente último estado é considerado);
- Não incorpora nenhum fator (“*driver*”) de mudança. Assume que as forças que atuaram para produzir os padrões observados vão continuar a atuar; não leva em conta vizinhança.
- Melhorias possíveis:
 - Remover hipótese de estacionariedade, permitindo alterações nos valores de probabilidade no tempo (o que exige domínio matemático e estatístico, e pode ser difícil a falta de dados para calibrar modelo);
 - Relacionar probabilidades de transição a variáveis exógenas independentes;
 - Restrições em relação a transições impossíveis;
 - Analisar a disponibilidade de terra para mudança.

3.3. Sensoriamento Remoto

A origem do sensoriamento remoto vincula-se ao surgimento da fotografia aérea. Assim, a história do Sensoriamento Remoto pode ser dividida em dois períodos: de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas, e outro, de 1960 aos dias de hoje, caracterizado por uma variedade de tipos de fotografias e imagens. O sensoriamento remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que integra os avanços da matemática, física, química, biologia e das ciências da terra e da computação. A evolução das técnicas de sensoriamento remoto e a sua aplicação envolvem um número cada vez maior de pessoas de diferentes áreas do conhecimento.

A história do sensoriamento remoto está estreitamente vinculada ao uso militar dessa tecnologia. A primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão. Em 1862, durante a guerra civil americana, o corpo de balonistas de um exército fazia o reconhecimento das tropas confederadas através de fotografias aéreas. A partir de 1909, inicia-se a fotografia tomada por aviões e na primeira Grande Guerra Mundial seu uso intensificou-se. Durante a II Grande Guerra Mundial houve um grande desenvolvimento do sensoriamento remoto. Nesse período, foi desenvolvido o filme infravermelho, com o objetivo de detectar camuflagem (principalmente para diferenciar vegetação de alvos pintados de verde), e introduzidos novos sensores, como o radar, além de ocorrerem avanços nos sistemas de comunicação. Posteriormente, durante o período da Guerra Fria, vários sensores de alta resolução foram desenvolvidos para fins de espionagem. Recentemente, com o fim da Guerra Fria, muitos dados considerados de segredo militar foram liberados para o uso civil.

Na década de 1960, as primeiras fotografias orbitais (tiradas de satélites) da superfície da terra foram obtidas dos satélites tripulados Mercury, Gemini e Apolo. A contribuição mais importante dessas missões foi demonstrar o potencial e as vantagens da aquisição de imagens orbitais, o que incentivou a construção dos demais satélites de coleta de dados meteorológicos

e de recursos terrestres. Com o lançamento do primeiro satélite meteorológico da série TIROS, em abril de 1960, começaram os primeiros registros sistemáticos de imagens da terra. Em julho de 1972, foi lançado o primeiro o primeiro satélite de recursos terrestres, o ERTS-1, mais tarde denominado de LANDSAT-1. Atualmente, além dos satélites americanos de recursos terrestres da série LANDSAT, existem outros como, por exemplo, os da série SPOT, desenvolvidos pela França. No Brasil, as primeiras imagens do LANDSAT foram recebidas em 1973. Hoje, o Brasil recebe, entre outras, as imagens do satélite CBERS, produto de um programa de cooperação entre o Brasil e a China.

No sensoriamento remoto a identificação e distribuição dos objetos ou materiais são feitas pelas suas diversas características espectrais expressas nas várias bandas de um sensor. Por sua vez, quanto maior for o número de imagens e bandas, que a complementem, maior será o volume de dados, tornando-se necessário o uso de técnicas automáticas de análise, que pela versatilidade própria dos computadores, introduz múltiplas formas de abordagem de dados Lillesand e Kiefer (1987).

Para Slater (1980), os sistemas sensores multiespectrais são idealizados para atender a uma multidisciplinaridade de aplicações. Ao especialista e usuário de sensoriamento remoto é exigido um mínimo de conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas dos diferentes materiais que compõem a superfície do terreno, pois a informação espectral que estará contida em cada elemento de resolução do terreno (pixel) será uma integração do conjunto de propriedades destes materiais (normalmente vegetação, solo, rocha e água). Portanto, para um entendimento melhor do conceito de sensoriamento remoto, devemos ter sempre em mente que todo o processo de observação e obtenção de informação está agrupado em três parâmetros intimamente correlacionados: resolução espacial, resolução espectral e resolução radiométrica.

Segundo Collwel (1983), dados de comportamento espectral da vegetação mostram que estudos relacionados com a diferenciação de solo e vegetação, diferenciação entre vegetação coníferas e decíduas, reflectância da vegetação verde, absorção de clorofila, diferenciação de espécies vegetais, levantamento de biomassa e medidas de umidade de vegetação predominam a utilização de janelas atmosféricas do visível (0,45 - 0,72 μm) e infravermelho próximo (0,76 - 1,75 μm). Estudos relacionados com estresse térmico em plantas e mapeamento termal predominam a utilização de faixas espectrais do infravermelho termal (8 - 14 μm).

O sensoriamento remoto ampliou a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamentos Curran (1985). Segundo Novo (1989), as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento remoto orbital são as seguintes: estímulo às pesquisas multidisciplinares; informações de áreas de difícil acesso; universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais; facilidade do recobrimento de grandes áreas (visão sinóptica); cobertura repetitiva com mesma hora local; grande quantidade de dados pontuais, sobre uma mesma área; transferência de dados Satélite/Terra em tempo real; e o aspecto multiespectral, isto é, a capacidade dos sistemas sensores gerarem produtos em diferentes faixas espectrais, tornando possível o estudo e análise de diferentes elementos, os quais são identificados em determinadas faixas do espectro.

Em anos recentes, com a perspectiva da popularização em um futuro próximo de dados provenientes de sensores hiper-espectrais aliada ao desenvolvimento de softwares e hardwares cada vez mais poderosos e acessíveis a um custo cada vez menor, vários modelos que atacam o problema da decomposição espectral ao nível de sub pixel têm sido sugeridos. Um dos modelos mais utilizados em dias atuais, e que tem servido como base para várias

adaptações foi proposto por Smith et al. (1987). Além de atacar o problema da decomposição espectral e avaliação das frações dos membros finais presentes em um dado pixel o modelo integra dados espectrais de laboratório no aprimoramento da calibração para a correção dos efeitos da atmosfera sobre o sinal gerado pelo sensor.

Quando aplicada ao sensoriamento remoto a análise de misturas tem sido utilizada para decompor as curvas espectrais em espectros dos membros finais presente em um dado pixel. Além disso, com a análise de misturas é possível medir a contribuição relativa de cada um dos membros finais Accioly et ali. (2001). Dessa forma a análise de misturas espectrais (AME) representa uma técnica especial de classificação de imagens que permite a classificação dos alvos ao nível de subpixel.

3.4. Sistema de Informações Geográficas - SIG

O gerenciamento de informações geográficas teve sua origem na metade do século XVIII, a partir do desenvolvimento da cartografia, foram produzidos os primeiros mapas com precisão, Antenucci (1991).

As pesquisas na área de Geoprocessamento tiveram início na década de 60, variando em terminologia de acordo com a área de aplicação a que se destinavam. Termos como *Land Information System (LIS)*, *Automated Mapping /Facilities Management (AM/FM)*, *Computer-Aided Drafting and Design (CADD)*, *Multipurpose Cadastre* e outros, foram usados para identificar sistemas, em diferentes áreas da atividade humana, que tinham como característica comum, o tratamento de informações georreferenciadas.

Os SIGs começaram a ser pesquisados paralelamente, e de forma independente, em diversos países como EUA, Canadá e Inglaterra. Desde a década de 60, a tecnologia de SIG tem sido utilizada em diferentes setores como agricultura, exploração de petróleo, controle de recursos naturais, sócio-econômicos e controle do uso e cobertura da terra.

Os primeiros SIGs eram dirigidos, principalmente, para o processamento de atributos de dados e análises geográficas, mas possuíam capacidades gráficas muito rudimentares. A partir das décadas de 70 e 80, o aumento na capacidade de processamento dos computadores, aliado à redução dos custos de memória e hardware em geral, influenciaram substancialmente o desenvolvimento dos SIGs. Também o desenvolvimento de dispositivos de alta tecnologia, como monitores de vídeo e “*plotters*” coloridos, contribuiu para disseminar o uso da tecnologia. Os primeiros sistemas comerciais começaram a surgir no início da década de 80, o sistema ARC/INFO da *Environment Systems Research Institute* (ESRI) foi um dos primeiros. A integração com a tecnologia de gerenciamento de banco de dados foi outro marco importante no desenvolvimento desses sistemas ESRI (1991).

Devido à sua ampla gama de aplicações, há diferentes formas de se caracterizar SIG Burrough (1987). Cada tipo de definição prioriza um aspecto distinto. O enfoque de banco de dados define SIG como um SGBD não convencional, geográfico, que garante o gerenciamento de dados geográficos. A abordagem *toolbox* considera SIG como sendo um conjunto de ferramentas e algoritmos para manipulação de dados geográficos, tal como a produção de mapas. O enfoque orientado a processos utiliza o fato de que SIGs são coleções de subsistemas integrados, onde dados espaciais passam por uma seqüência de processos de conversão, coleta, armazenamento e manipulação. Finalmente, diferentes definições priorizam a aplicação, caracterizando o sistema segundo o tipo de dado manuseado, ou a utilização, tais como sistemas espaciais para apoio à tomada de decisões ou sistemas para análise de dados geográficos.

As definições de SIGs refletem cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar duas importantes características de SIGs. Primeiro tais sistemas possibilitam a integração, numa única base de dados, de

informações geográficas provenientes de fontes diversas tais como dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno. Segundo, SIGs oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise.

Numa visão abrangente, pode-se considerar que um SIG tem os seguintes componentes: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados. A figura 1 indica o relacionamento entre estes componentes. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos estão usualmente presentes num SIG.

Existem quatro formas principais de entrada de dados em SIGs: a entrada de dados via caderneta de campo, a digitalização em mesa, a digitalização ótica e a leitura de dados na forma digital, incluindo a importação de dados em outros formatos. Historicamente, muitos levantamentos (topográficos, parâmetros de solos e outros) utilizam cadernetas de campo para armazenar os resultados, que naturalmente devem ser inseridos no sistema após um controle de qualidade. Com o advento do GPS (“*Global Position System*”), tornou-se possível realizar trabalhos de campo com alto grau de precisão e com registro digital direto. A digitalização de mesa ainda é o modo mais utilizado para a entrada de dados a partir de mapas existentes. É um processo usualmente custoso e demorado, envolvendo os passos de digitalização de linhas, ajuste de nós, geração de topologia e rotulação (identificação) de cada dado geográfico. A digitalização ótica é feita por dispositivos de varredura (scanners) e vem sendo cada vez mais utilizada. A tecnologia mais comum é baseada em câmaras CCD (*charge coupled devices*) sendo necessário o uso de dispositivos de boa resolução para se conseguir resultados de qualidade. Após a obtenção de dados em varredura são utilizados algoritmos de conversão para o formato vetorial, sendo que muitos destes requerem a intervenção humana

parcial. Na importação de dados digitais, é muito importante aproveitar o investimento já feito, eventualmente por outras instituições, na coleta e armazenamento de dados geográficos. No Brasil, as principais fontes de dados são as bases do IBGE, do INPE e do Centro de Cartografia Automatizada do Exército.

As funções de processamento são naturalmente dependentes dos tipos de dados envolvidos. A análise geográfica engloba funções como superposição, ponderação, medidas (área, perímetro), mapas de distância, tabulação cruzada, dentre outras. O processamento digital de imagens envolve funções como retificação, contraste, filtragem, realce e classificação. Modelos numéricos de terreno permitem a geração de mapas de declividade e aspecto, cálculo de volumes, análise de perfis, além da própria geração do modelo a partir de pontos esparsos ou linhas, entre outras funções. Operações sobre redes incluem caminhos ótimos, caminhos críticos e ligação topológica. Já as consultas aos bancos de dados podem ser espaciais ou não.

Os ambientes de visualização de um sistema são conseqüências do paradigma adotado para a interface. Quanto à produção cartográfica, alguns sistemas dispõem de recursos altamente sofisticados de apresentação gráfica, englobando a definição de uma área de plotagem, colocação de legendas, textos explicativos e notas de crédito. Já o aparecimento de padrões “de facto”, como o *PostScript* e o *HPGL*, vem facilitar o desenvolvimento de funções de plotagem.

Os dados de um SIG são geralmente organizados sob a forma de um banco de dados geográficos. Tradicionalmente, os SIGs armazenavam os dados geográficos em arquivos internos. Este tipo de solução vem sendo substituída pelo uso cada vez maior de SGBD.

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada,

edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento de um SIG operam sobre dados em uma área de trabalho definida pelo usuário. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados, que podem ser espaciais ou não.

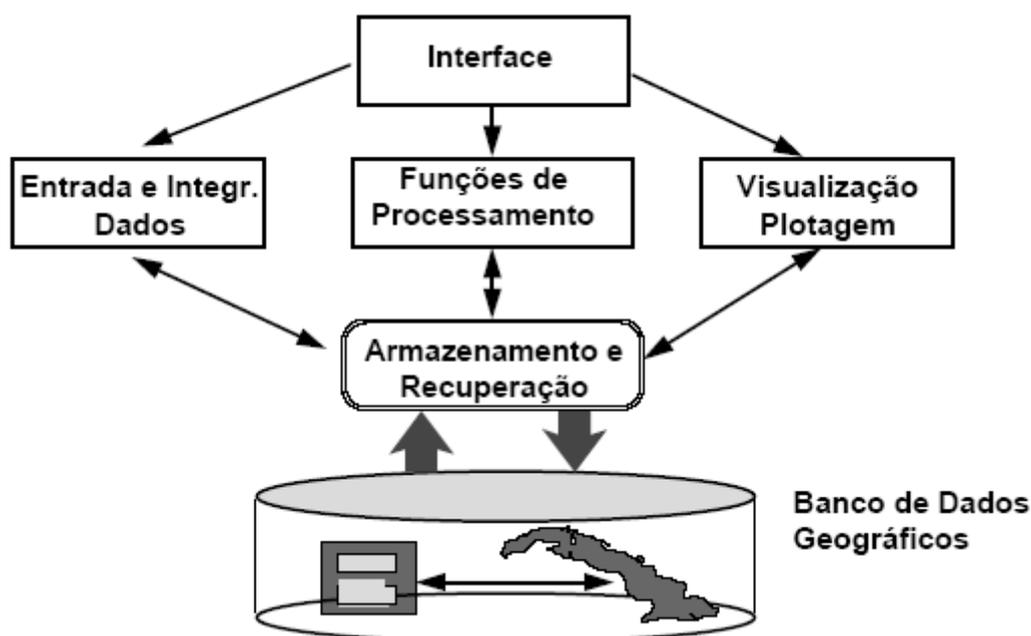


Figura 1: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica

Pode-se prever, para o final da década de 90, o aparecimento de uma terceira geração de SIGs, baseada em bibliotecas digitais geográficas ou centros de dados geográficos, caracterizada pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso através de redes locais e remotas, públicas ou privadas. Para esta terceira geração, o crescimento dos bancos de dados geográficos e a necessidade de seus compartilhamentos com outras instituições requerem recursos de tecnologias como bancos de dados distribuídos e federativos. Estes sistemas deverão seguir os requisitos de interoperabilidade, de maneira a

permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos. A terceira geração de SIG pode ainda ser vista como o desenvolvimento de sistemas orientados à troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade (“*society-oriented GIS*”).

Câmara (1995) considera a existência de três gerações de sistemas de informação geográfica, resumidos na tabela 1.

	1ª geração (1980-1990)	2ª geração (1990-1997)	3ª geração (1997 - ?)
tecnologia	CAD, cartografia	BD, imagens	sist. distribuídos
uso principal	desenho de mapas	análise espacial	centro de dados
ambiente	projetos isolados	cliente-servidor	multi-servidores
sistemas	pacotes separados	sistema integrado	interoperabilidade

Tabela 1: Evolução da tecnologia de SIGs

O domínio de aplicações em SIG está se ampliando cada vez mais, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta e as facilidades computacionais em geral. Um fenômeno geográfico pode ser analisado de forma e precisão diferentes dependendo do objetivo da aplicação. Assim sendo, um mesmo conjunto de dados armazenados poderá ter tratamentos distintos. Por exemplo, dados pluviométricos coletados em um conjunto de estações pluviométricas ao longo do tempo podem ser interpolados para determinar a distribuição de chuvas em certas regiões durante um período, visando planejar atividades de plantio. Os mesmos dados podem ser combinados com informações sobre a bacia hidrográfica das regiões, declividade e permeabilidade do solo, para auxiliar estudos de erosão. Esta característica causa um impacto direto na coleta, modelagem e armazenamento dos dados georeferenciados.

Por outro lado, cada aplicação requer a manipulação de fenômenos geográficos distintos, associados à diferentes características e propriedades que variam no espaço e no tempo. Além disso, os usuários SIG têm também uma grande variedade de perfis, como

cientistas especialistas em um determinado domínio do conhecimento (por exemplo, biólogos, geólogos, sociólogos), técnicos (engenheiros, arquitetos) ou especialistas em administração e planejamento urbano.

Em função desta amplitude de perfis de usuários, tipos de dados e necessidades das aplicações, SIG também precisam prover aos usuários e projetistas de aplicações um conjunto adequado de funções de análise e manipulação dos dados geográficos. A partir de tais necessidades, surgem diferentes especializações do termo SIG como LIS (“*Land Information Systems*”), NRIS (“*Natural Resource Information System*”), sis (“*Soil Information Systems*”). As classificações aplicam-se em: sócio-econômicas, envolvendo o uso da terra, seres humanos e a infraestrutura existente; ambientais, enfocando o meio ambiente e o uso de recursos naturais; e de gerenciamento, envolvendo a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar recursos para remediar problemas ou garantir a preservação de determinadas características, Maguire (1993).

Em princípio, a classe de aplicações determina a utilização de certas escalas, fontes de dados e, certamente, funções de análise. Aplicações sócio-econômicas são geralmente voltadas para escalas grandes (1:200 a 1:20.000), ocupando-se de problemas localizados. Aplicações ambientais, por sua vez, são em geral relacionadas a problemas em escalas menores (1:20.000 ou menores), com conseqüente perda de precisão de medida. Esta regra de escala, fonte e precisão dos dados nem sempre é aplicável: estudos ambientais podem se ocupar de regiões de pequena extensão, exigindo escalas maiores; estudos sócio-econômicos podem abranger migrações populacionais, em escala global. Em alguns casos, torna-se difícil determinar a classe de uma aplicação: por exemplo, o estudo do impacto ambiental devido a correntes migratórias envolve tanto fatores sócio-econômicos quanto físicos.

Aplicações sócio-econômicas tanto podem ser realizadas com o objetivo de planejamento (análise preliminar) quanto de avaliação de mudanças em uma região em

resposta a uma determinada política (análise posterior). Dentre as aplicações sócio-econômicas, segundo Ramirez (1994), distinguem-se os grupos de origem: uso da terra, incluindo cadastros rurais, agroindústria e irrigação; ocupação humana, envolvendo cadastros urbanos e regionais, sistemas para serviços de utilidade pública; e atividades econômicas, agrupando marketing e indústrias.

Enquadram-se na classe de aplicações sócio-econômicas os sistemas de informação sobre uso da terra e os sistemas para mapeamento automático/gerência de facilidades. Exemplos típicos são o acompanhamento e inventário de cadastros imobiliários rurais ou urbanos; definição de uma política para uso de solo; aplicações envolvendo serviços de utilidade pública (redes de telefonia, eletricidade, esgotos, transportes); sistemas de auxílio à navegação; estudos de marketing; e alocação de recursos em geral para manutenção ou expansão da infraestrutura de uma região.

Os dados utilizados em aplicações sócio-econômicas são frequentemente obtidos através de coletas censitárias, mapas urbanos digitalizados e fotografias aéreas. Aplicações que utilizam dados de censo, por exemplo, preocupam-se com distribuições estatísticas de populações em um certo espaço, associadas à infraestrutura existente. Neste caso, escalas menores são aceitáveis, dependendo da extensão da região estudada. Aplicações voltadas a planejamento de infraestrutura (por exemplo, rede de telefonia ou tráfego) exigem escalas de maior precisão: a colocação de um transformador em um certo ponto em uma rede elétrica deve ter precisão de metros; a definição de uma rota de ônibus urbano precisa levar em consideração a largura das ruas para prever pontos de engarrafamento e locais de manobra.

Um sistema de informação sobre uso da terra Dale (1993), ou LIS, abreviação de “*Land Information System*”, manipula basicamente limites de propriedades ou regiões, com mapas e descrições associados, contendo valor (de venda, aluguel, transferência, impostos, etc...), uso (rural ou urbano, vegetação, etc...), construções, infraestrutura (água, gás,

eletricidade, etc...), população e outros. Os dados em um LIS devem ser os mais atualizados e completos possíveis, devido às conseqüências sociais e econômicas que um registro mal feito acarreta, como disputas de terras e cobrança incorreta de impostos. O custo de levantamento destes dados é bastante alto, chegando até a superar o valor da terra em casos extremos, e o processo é muitas vezes lento.

Entre os benefícios advindos do uso do LIS, têm-se a redução dos casos de disputa de propriedades, a simplificação do processo de reforma agrária, o monitoramento do mercado de terras e uma maior eficiência na cobrança de impostos.

Por exemplo, o estudo Zube (1989) avalia um conjunto de mudanças em uma região rural nos EUA. Dados de questionários respondidos pelas comunidades da região foram inseridos em um SIG e analisados em conjunto com fatores como mudanças no uso de solo e na vegetação, obtidos a partir de fotos aéreas. A avaliação destes resultados permitiu a definição de novos critérios para expansão imobiliária na região.

Existe um crescente uso de SIGs pelos serviços de utilidade pública no mundo, desde ferramentas mais simples para mapeamento automático e gerência de facilidades (“AM/FM – *Automated Mapping and Facilities Management*”) até sistemas sofisticados, envolvendo simulação.

A natureza dos serviços de utilidade pública varia enormemente de país para país, refletindo-se nos SIGs utilizados. De modo geral, a indústria provê serviços para consumidores comerciais e domésticos, fazendo uso de alguma forma de mapeamento de sua rede. SIGs permitiram que estes registros geográficos fossem relacionados a dados alfanuméricos. O tipo de planta, a complexidade da rede e a sua taxa de crescimento e atualização influenciam a funcionalidade do SIG. Muitas plantas não possuem uma localização precisa de objetos, o que pode acarretar complicações, caso seja necessário sobrepor mapas.

Mahoney (1993) subdivide as aplicações relacionadas a serviços de utilidade pública em redes de fluxo, incluindo gás e água, e redes de cabos, incluindo eletricidade, telecomunicações e televisão a cabo. Uma outra forma de classificar tais aplicações consiste em distinguir entre redes subterrâneas e redes de superfície.

Os objetos de uma rede de fluxo correspondem geralmente a dutos, possuindo atributos como diâmetro, material de construção e idade de um duto. É essencial que exista conectividade nas ligações da rede no banco de dados para a análise da rede de fluxo. As redes de cabos são usualmente inferiores em tamanho, quando comparadas com as redes de fluxo. Registros de eletricidade são em geral separados por voltagem de transmissão e distribuição. Em telecomunicações, a rede deve manter registro da localização dos dutos físicos em redes subterrâneas, permitindo identificar até consumidores individuais. Em termos de planejamento, é necessário saber a disponibilidade de espaço nos dutos. Em televisão a cabo, os serviços são combinação de serviços para redes subterrâneas e redes de superfície.

O georeferenciamento dos registros de serviços de utilidade pública pode ser considerado de duas formas: através de um mapa básico topográfico, que funciona como um arcabouço espacial onde os dados são georeferenciados; ou a partir da localização dos dutos de fluxo ou cabos. O custo de aquisição de um mapa básico, a partir de um levantamento fotográfico aéreo, por exemplo, é geralmente bastante alto, chegando de 10 a 25% do custo total do projeto.

Usualmente, a altura é mantida nos próprios mapas, evitando a necessidade de se lidar com dados tridimensionais, como mapas de topografia, exceto quando operações de colocação de dutos são necessárias. A escala de trabalho varia de 1:200 a 1:10.000 nas áreas urbanas, admitindo-se escalas menores fora destas. As plantas geográfica e de registros podem ser armazenadas em um SIG em uma estrutura temporal, representando o presente, o passado e o planejado.

Sistemas de censo ajudam a monitorar mudanças nas características da população e são importantes para planejamento tanto a nível global quanto local.

Existem vários métodos de se realizar censos. Censos exaustivos são caros e usualmente feitos em intervalos de dez anos, quando uma série de perguntas relativas à vida dos habitantes são postas (renda, acesso a telefone, eletrodomésticos, etc...). Naturalmente, análises estatísticas derivadas durante o intervalo entre censos podem se tornar irreais devido à desatualização dos dados. Tradicionalmente, o papel de SIGs é grande no estágio de pós-processamento das informações, onde dados são analisados e facilmente espacializados gerando mapas.

Alguns países, como os escandinavos, mantêm seus dados constantemente atualizados, agregando informação de indivíduos, inclusive espacial, via endereço postal, em áreas relevantes administrativamente. Para isso, fontes de informação (nascimentos, casamentos, mortes, mudanças de casa) são devidamente registradas pelas autoridades. Uma terceira forma de se obter dados de censo explora a relação entre extensão de área ocupada e população, com a ajuda de cobertura por imagens de satélite e fotografias aéreas, detectando-se manchas urbanas, e utilizando SIGs. Esta técnica não fornece informações sócio-econômicas e é ineficiente para áreas rurais.

Merece destaque o sistema TIGER (*“Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing”*), do Census Bureau do EUA, que provê a mais detalhada rede de características e cobertura administrativa disponível no país Rhind (1993).

Algumas aplicações ambientais, conforme ressaltado por Fedra (1993), precedem o uso de computadores. A modelagem espacial de fenômenos hidrológicos, por exemplo, começou há mais de cem anos e o uso de técnicas analíticas em problemas biológicos e ecológicos foi iniciado nos anos 20. SIGs vieram agilizar este processamento.

As aplicações ambientais variam enormemente de área. Baseado em (Ramirez, 1994), distinguem-se dois grupos de origem: o meio ambiente, incluindo ecologia, clima, gerenciamento florestal e poluição; e o uso dos recursos naturais, envolvendo extrativismo vegetal, extrativismo mineral, energia, recursos hídricos e oceânica.

Enquadra-se em aplicações de meio ambiente a modelagem climática e ambiental, previsão numérica do tempo, monitoração do desflorestamento e monitoração da emissão e ação de poluentes. Ilustrando tipos aplicações de uso de recursos naturais têm-se identificação e mapeamento mineral e petrolífero, planejamento e supervisão de redes hidroelétricas, gerenciamento costeiro e marítimo, e sistemas de informação de recursos hidrológicos.

As aplicações podem ter abrangência em uma escala global, continental, regional ou até mesmo local. Aplicações ambientais são em geral relacionadas a problemas em escalas menores que as sócio-econômicas (1:20.000 ou menores), com conseqüente perda de precisão de medida. Os dados são principalmente obtidos através de sensoriamento remoto, como fotos de satélite ou imagens de radar, complementados por amostras coletadas no campo. Assim, por exemplo, a distribuição da vegetação em uma região não se ocupa de plantas individuais, mas das espécies dominantes.

SIGs auxiliam sistemas de informação de solos na catalogação de perfis de solo coletados, no mapeamento através de interpolação de dados gerando variações espaciais, e no uso dessas informações para análise e modelagem Burrough (1993). O uso de sistemas de informação de solos não está limitado apenas a grandes catálogos nacionais, mas aplica-se também a estudos locais, tais como estudos voltados para a agricultura em fazendas.

A primeira fase do desenvolvimento de um sistema de informação de solos consiste da catalogação de perfis. Perfis de solos são difíceis de registrar, pois, amostras são coletadas nos diversos horizontes que ocorrem na natureza. Porém, estes horizontes não são nem identificados, nem classificados de forma clara. Assim, o número de horizontes pode variar

enormemente, mesmo em uma única unidade de mapeamento. Sistemas voltados para catálogo de dados de solos estão entre os primeiros usos de SIGs, trazendo como benefício o desenvolvimento de padrões para catalogação.

A segunda fase do desenvolvimento de um sistema de informação de solos consiste na definição de métodos rigorosos para mapeamento. Embora o fenômeno da variação espacial contínua de propriedades de solos seja conhecido há bastante tempo, somente no final da década de 70 é que os cientistas de solos passaram a dedicar um esforço maior a técnicas de interpolação, incluindo métodos geostatísticos. A distribuição espacial de fenômenos geológicos, pontuais em uma escala regional, tais como depósitos de minerais e epicentros sísmicos, pode parcialmente ser explicada e prevista a partir de mapas e imagens mostrando variáveis geológicas, geofísicas e geotécnicas.

A terceira fase de quantificação de informações de solos inclui, em diferentes direções, o uso da informação para análise e modelagem e o uso de sistemas especialistas.

Atualmente, um grande desafio mundial é o programa de mudanças globais. Ele parte do pressuposto de que mudanças climáticas, de fauna, flora e recursos naturais só podem ser explicados em uma escala global, de forma interdisciplinar, envolvendo biólogos, ecologistas, geólogos, geofísicos e outros cientistas. Neste contexto, SIGs desempenham um papel fundamental. Com estes novos estudos interdisciplinares, que consideram a Terra como um sistema único completo, há necessidade da revisão de várias funções de um SIG, desde o simples tratamento de projeções cartográficas e problemas de representação até questões conceituais em modelagem de sistemas.

Este esforço mundial motivou uma coleta de dados em todo o planeta, com a cooperação de várias nações. Bancos de dados de dados temáticos globais estão sendo criados e integrados. Os dados globais podem ser divididos em três categorias: dados globais de referência, de longa duração, com escala temporal de décadas a séculos (por exemplo,

parâmetros climáticos, de solos, de densidade populacional); dados globais sinópticos para monitoração, de média duração, com escala temporal de meses a anos, refletindo mudanças globais em uma escala espacial e temporal (por exemplo, cobertura de neve, ventos e precipitação); e dados globais tipo séries temporais para monitoração, consistindo de séries temporais, índices de medidas ou médias para células (por exemplo, índice de vegetação e temperatura oceânica).

Existem vários programas globais que merecem destaque Clark (1993), três das quais são apresentadas a seguir.

A NASA possui uma iniciativa chamada “Missão do Planeta Terra”, que visa construir modelos do sistema terrestre de forma a permitir gerenciamento do clima global. É provavelmente o maior e mais completo dos programas globais. Os dados estão sendo coletados para diferentes regiões e em épocas distintas, sendo integrados de forma a permitir acesso em escala global por parte de cientistas, que construirão modelos matemáticos para avaliar a evolução dos diversos fenômenos de interesse.

O programa inclui a criação de uma infraestrutura de gerenciamento de dados georeferenciados, permitindo a usuários de diferentes perfis cooperarem em suas pesquisas relativas ao meio ambiente. Esta infraestrutura, chamada EOSDIS (“*Earth Observation System Data and Information System*”).

O “Programa de Mudanças Globais e Climáticas” do NOAA tem o objetivo de prover previsões confiáveis sobre mudanças climáticas globais e suas implicações regionais em uma escala de tempo que varia de meses a séculos. Para isso, são coletadas imagens de satélites meteorológicos, dados de estações terrestres, entre outros.

O ICSU (“*International Council of Scientific Unions*”), integrado por várias nações, possui o “Programa Internacional de Geosfera-Biosfera”, que visa entender e descrever os processos físicos, interativos e biológicos que regulam o sistema terrestre, o ambiente único

que provê a vida, as mudanças que estão ocorrendo neste sistema, e o modo como elas são influenciadas pelas ações humanas.

CORINE é um programa envolvendo 12 países da Comunidade Européia com o objetivo de desenvolver um banco de dados ambiental em escala continental. Sua criação foi uma reação aos problemas de chuvas ácidas, conservação da natureza e conflitos relativos ao uso da terra no Mediterrâneo. Mounsey (1993) discute o programa desde a sua criação, com as fases de análise de requisitos e entrada de dados, até os passos futuros.

Woodcock (1990) descreve vários projetos ambientais que utilizam SIGs nos EUA. Um exemplo é o estudo do impacto que mudanças de zoneamento trouxeram à qualidade da água em uma região, utilizando dados coletados durante 37 anos. Um segundo projeto é o uso de um SIG para determinar o traçado de estradas que atravessem parques nacionais, levando em consideração o gradiente dos terrenos, o número e tipo dos cursos d'água a serem cortados e a visibilidade do terreno. Outros exemplos incluem a adequação de áreas para criação de espécies em extinção, a previsão de mudanças naturais e o gerenciamento e monitoração de florestas nativas.

O projeto apresentado por Kliskey (1994) discute a avaliação de diversas regiões com relação à sua adequação para a criação de parques de vida selvagem na Nova Zelândia. As diferentes características de hidrografia, facilidades de transporte, infraestrutura e vegetação de cada região foram correlacionadas a fatores como quantidade de artefatos humanos, solidão, características naturais e distância de locais habitados. Com isso, determinou-se quais as áreas mais adequadas para estabelecer acampamentos, turismo ecológico e mesmo caçada. Certos fatores (por exemplo, distância) receberam peso distinto de acordo com o perfil das pessoas que desejariam utilizar tais facilidades.

Aplicações de modelagem hidrológica estão principalmente voltadas a estudos sobre a qualidade e a quantidade de água em uma determinada região. Os dados envolvem não

apenas informações sobre a geometria e topologia de bacias hidrográficas, lagos e correntes subterrâneas, mas também fatores como composição química, caracterização das populações da região analisada e fontes poluentes. O estudo do fluxo de correntes exige informações sobre declive, solo, cobertura vegetal, dentre outros. Dentre às aplicações relacionadas destacam-se o gerenciamento de bacias hidrográficas, modelagem de fontes subterrâneas e de erosão.

Administrações municipais, regionais e nacionais têm cada vez mais utilizado SIGs como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões, tanto para a definição de novas políticas de planejamento quanto para a avaliação de decisões tomadas. Como exemplo desta classe de aplicações há planejamento de tráfego urbano, planejamento e controle de obras públicas, planejamento da defesa civil. É crescente principalmente o uso de SIGs como apoio ao planejamento ambiental ou urbano. Em muitos casos, tal planejamento é auxiliado através do acoplamento de sistemas especialistas a SIGs.

(*Journal of Environmental Management*, 1993) enumera vários exemplos de protótipos que utilizam tal tipo de acoplamento, para estudos de impacto ambiental: o sistema EVA nos EUA, no caso específico de conseqüências de testes militares; o sistema italiano SILVIA e o sistema canadense SAGEE.

Worral (1994) discute as vantagens do uso de SIGs em diferentes níveis governamentais na Grã-Bretanha, mostrando a economia proporcionada. Esta economia é caracterizada como mensurável (no reuso de dados e na rapidez de geração de cenários para auxílio à tomada de decisões) ou intangível (benefícios à população, disponibilidade dos dados).

Maguire (1993) contém exemplos do uso de SIG para planejamento urbano, onde tais sistemas são usados para, por exemplo, identificar regiões de expansão urbana, determinar

localizações de prédios de serviços (corpo de bombeiros, delegacias de polícia) e definir locais de aterros sanitários.

O estudo de Longley (1994) mostra o uso de SIG na Grã-Bretanha para auxílio à avaliação de propriedades, visando análise de mercado e taxação governamental.

O gerenciamento de recursos agrícolas é outra área de destaque para SIGs. Assad (1993) apresenta inúmeros exemplos de aplicações na agricultura, tais como para análise de áreas de cultivo ou identificação de épocas de estiagem. O uso de SIG na agricultura é também discutido por Rocha (1995).

3.5.. Dinâmica da Paisagem

3.5.1. Modelagem de mudanças na paisagem

A paisagem está em contínua mutação, onde sua morfologia terrestre e vegetal pode mudar radicalmente pelos aspectos antrópicos e temporais. Com o propósito de investigar essa dinâmica, a Ecologia da Paisagem estuda a dinâmica ambiental.

Segundo Burrough (1991), tais evidências representam diversos aspectos no uso e cobertura da terra, integrando multidisciplinas na interpretação e análise das respostas em diversas naturezas, formatos e escalas.

Nas décadas de 60 e 70 ocorreram desenvolvimentos nas técnicas de mapeamento de dados espaciais computacionais. Na década de 80, segundo Berry (1993), o foco foi na capacidade analítica pelos atuais programas SIG.

A grande disponibilidade de dados de sensoriamento remoto representa um grande avanço na pesquisa de modelagem de processos ambientais e de mudanças na paisagem. Segundo Nyerges (1993) ressalta que “muito embora, a ligação do SIG com modelos de processos ambientais esteja apenas começando, a fertilização desses modelos já pode ser considerada como área de pesquisa de ponta e de temática prioritária”. Sendo assim, a

modelagem de processos ambientais da paisagem continua ainda a ser um grande desafio, tendo em vista as dificuldades em descrever algo que está em constante mutação. Nesse aspecto, Nyerges (1993) lembra também que a predição ambiental é uma das tarefas mais difíceis, requerendo a suposição dos mecanismos causais das mudanças, os quais são frequentemente desconhecidos.

Portanto, torna-se de fundamental importância o desenvolvimento de métodos de análise e de previsão de mudanças através do espaço geográfico, de modo a permitir uma melhor compreensão da dinâmica de paisagem, como, por exemplo, para discriminar mudanças ambientais que são devidas à variabilidade natural daquelas causadas pela intervenção antrópica. Neste contexto, o desenvolvimento desses modelos visa, sobretudo, compreender o comportamento dos sistemas ambientais, de modo a auxiliar a projeção dos seus cenários futuros. Como resultado, os modelos computacionais que realisticamente simulem processos espaciais servirão para a avaliação quantitativa e confiável das complexas questões ambientais em escalas locais, regionais e globais Steyaert (1993).

A arte de se construir modelos preditivos é conhecida como modelagem, termo que se refere ao processo de pesquisa que leva à geração do modelo (simulação) de um sistema. Este processo de desenvolver, então, através da definição de um conjunto de hipóteses ou predições, que poderão ser comparadas com médias do mundo real. Dependendo da concordância entre o observado e o resultado gerado, o modelo será aceito, rejeitado ou modificado de alguma maneira, para novamente ser testado.

Segundo Hugget (1980), consiste em “um arranjo não randômico de matéria e energia numa região do espaço e tempo físicos, a qual é organizada não-randômicamente em subsistemas coatuantes e inter-relacionados”. Ressalta ainda o autor, um sistema é composto por três ingredientes básicos, a saber: elementos, estados, e relacionamento entre os elementos e estados. Os elementos de um sistema ou componentes podem ser objetos físicos

ou conceitos, neste caso, definidos por palavras ou números. Os objetos físicos compõem um sistema concreto, enquanto conceitos são elementos de um sistema abstrato.

Cada componente de um sistema tem um conjunto de propriedades ou estados, que são chamados de variáveis de estado, em exemplo: número, tamanho, massa, cor, idade e preço. Variáveis de estado fora do sistema são conhecidas como variáveis exógenas e aquelas internas ao sistema como endógena. Sistemas que não tem variáveis exógenas são conhecidos como sistemas não forçados e sistemas com variáveis externas como forçados Hugget (1980). Ainda, a relação entre as variáveis de estado pode ser expressa verbalmente, estatisticamente ou matematicamente.

Segundo Steyaert (1993), os modelos podem ser classificados genericamente em três grandes grupos: escala ou réplica, conceitual e matemático. Um modelo em escala ou réplica consiste, em geral, numa redução análoga ao original. Por sua vez, os modelos conceituais modelam processos através da construção de blocos diagramas que mostram o sistema principal, processos e inter-relações qualitativas entre os subsistemas. Já os modelos matemáticos utilizam-se de sistemas de equações na construção do modelo. Modelos matemáticos podem ser classificados em determinísticos ou estocástico-probabilísticos (estatísticos).

Um modelo pode ser ainda considerado como descritivo, quando tem por objetivo apenas o entendimento da estrutura do sistema. Constituem “uma vitrine da realidade sem que se possa atuar sobre ela” Novaes (1982). Segundo este autor, um modelo descritivo que envolva a análise paramétrica de seus diversos estados, através da variação dos elementos do sistema e de suas relações, é denominado de modelo exploratório. Modelos exploratórios que incluem a variável tempo, com a projeção de alguns seus elementos básicos, são denominados preditivos ou de simulação. Estes são também considerados modelos dinâmicos, posto que descrevem o processo de evolução de um sistema ao longo do tempo.

Em um modelo determinístico de dinâmica, a evolução de um sistema no tempo e no espaço pode ser completamente prevista, desde que seja conhecido um conjunto de condições iniciais. Modelos determinísticos de dinâmica são representados por equações diferenciais que incluem pelo menos um termo derivado no tempo. Ambas as equações diferenciais totais ou parciais podem ser usadas Steyaert (1993).

Dessa forma, os modelos de dinâmica estocástico-probabilísticos utilizam variáveis aleatórias segundo uma lei imutável, mas que depende de fatores aleatórios ou de acaso Abler et al. (1971). Cada vez que um modelo probabilístico é rodado, um resultado diferente pode ser obtido.

Rodar um modelo é explorar o seu resultado em relação ao mundo real. Segundo Novaes (1982) alerta que: “É necessário conhecer a princípio certas variáveis cuja natureza é estabelecida a partir da teoria que substanciou a construção do modelo”. Sendo que um modelo é uma representação de uma realidade específica, pode-se então utilizar essa situação de referência para ajustar suas variáveis para que os resultados obtidos aproximem-se ao máximo dos valores observados. Este processo recebe o nome de calibração Novaes (1982). Os valores das variáveis, obtidos da calibração, passam então a constituir parâmetros fixos incorporados ao modelo.

3.5.2. Contribuição interdisciplinar aos modelos de paisagem

Várias disciplinas se utilizaram de modelos para descrever a evolução de padrões espaciais, como por exemplo: a Geografia, Ecologia, Demografia e Hidrologia. Os modelos atuais de paisagem incluem ou são derivados da experiência prévia dessas disciplinas na arte de modelar às feições do espaço geográfico.

Para fins de revisão, o trabalho de Sklar e Costanza (1991) traz uma descrição dos vários modelos que precederam os modelos de paisagem. Nesse contexto, uma grande

contribuição aos estudos de evolução dos padrões espaciais, sobretudo, os referentes ao uso e ocupação do solo, foi dada pelas ciências geográficas.

Os geógrafos desenvolveram modelos espaciais para avaliar mudanças culturais, sociais, populacionais e econômicas Sklar e Costanza (1991). Uma particularidade dos estudos de Geografia é que eles centram mais atenção nos aspectos espaciais dos processos e nos padrões resultantes, do que suas forças motrizes. Nesse sentido, a Geografia tem dado uma especial atenção aos modelos geométricos.

Os **modelos geométricos** usam a forma e projeto (design) para explicar um padrão espacial ou para produzir uma teoria generalizada sobre a estrutura espacial. Desse modo, eles observam a paisagem como se fosse um projeto geométrico e recursivo em várias dimensões. Uns dos melhores exemplos de modelos geométricos estão representados pelo modelo de paisagem econômica de Von Thünen e o modelo de lugares centrais, conhecido como de hierarquia de hexágonos de Cristaller Garner (1971).

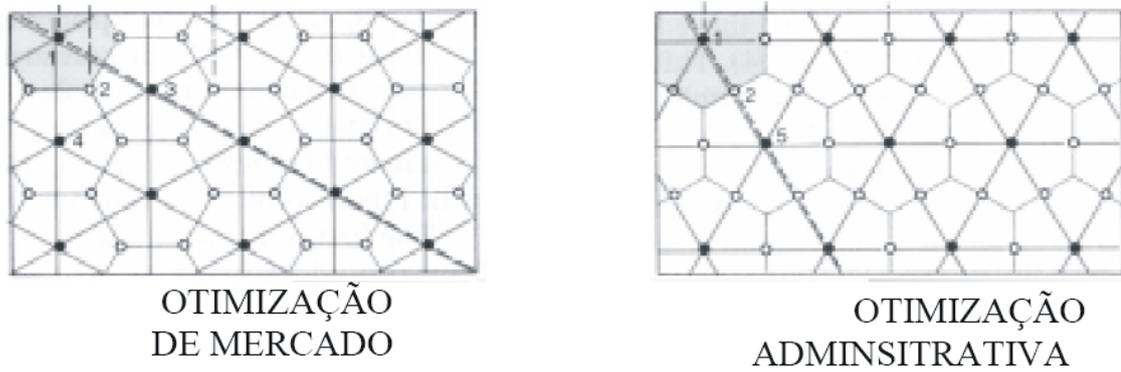
Exemplificando o modelo de Von Thünen, tem-se uma cidade (onde produtos agrícolas são vendidos) ao centro de um plano sem feições e uniforme de qualidade da terra agrícola. A paisagem resultante consiste, então, numa série de anéis concêntricos a essa cidade, onde as culturas com maiores benefícios econômicos se dispõem nas áreas mais internas. O lucro líquido consiste no retorno das colheitas menos os custos de produção e transporte. Esses benefícios irão diminuir a partir da cidade até serem zerados ao cruzar as fronteiras das “regiões selvagens” Parks (1991).

Paisagens mais complexas que os círculos concêntricos de Von Thünen foram posteriormente desenvolvidas, resultando em arranjos de estrelas, círculos assimétricos e hipérboles dispostas em função das rotas de transportes e barreiras geográficas.

Segundo Graner (1971), **modelos de hierarquia de hexágonos** ou de leis de Cristaller enfocam o conceito de regiões funcionais ou nodais. Isto se explica devido à tendência do ser humano em se aglomerar para obter vantagens de uma economia de escala, concentrando suas atividades em um lugar comum. Essas aglomerações surgem de uma força centrípeta atuando numa paisagem econômica. Os nós, nos seus vários tamanhos, se repetem numa hierarquia a partir de diferentes regiões focais, gerando uma partição do espaço na forma de redes regulares.

De acordo com Sklar e Costanza (1991), os **modelos demográficos** têm sido também usados na Geografia para prever o desenvolvimento urbano, mudança na distribuição de idades, difusão de epidemias e localização de assentamentos. Estes modelos estabelecem que, no progresso do tempo de t para $t + n$, um segmento de uma população, dentro de uma célula de uma grade, morrerá (fluxo negativo), nascerá (fluxo positivo), difundirá ou se aglomerará (fluxo negativo e positivo).

A Geografia tem dado bastante atenção aos **processos ou modelos de difusão**. Como lembra Graner (1971), um processo de difusão tem dois significados distintos na literatura geográfica. Segundo este autor, a difusão por expansão é o processo pelo qual, uma informação, material ou o que seja, se espalha de uma região para outra. Neste processo da expansão, a coisa a ser expandida permanece e mesmo se intensifica na região original e novas áreas são acrescidas. Já em um processo de difusão por realocação, as coisas que estão sendo difundidas deixam as áreas originais e se movem para as novas regiões, (Figura 2).



- lugares centrais
- lugares dependentes

Figura 2: Modelo de Hexágonos de Cristaller, mostrando um padrão de povoados localizados nas intermediações de vilas, que sofrem influências de regiões focais de cidades maiores.

Fonte: Hagget (1972)

Difusão por expansão pode ocorrer por contágio e hierárquico. Um processo de difusão contagioso depende de um contato direto, como no exemplo de uma doença que se transmite de um indivíduo para outro em uma população. Este processo é fortemente influenciado pela distância, posto que os indivíduos mais próximos têm uma probabilidade maior de contágio, ou seja, a ocorrência de um evento em um local aumenta a probabilidade do mesmo evento se repetir nessa vizinhança (Figura 3).

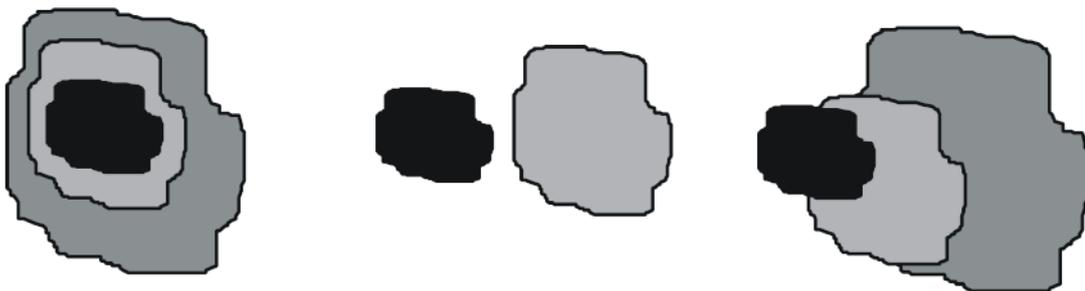


Figura 3: Tipos de difusão espacial: por expansão, realocação e processo combinado de expansão e realocação.

Fonte: Garner (1971)

Difusão hierárquica descreve a transmissão de uma coisa através de uma seqüência ordenada de classes ou hierarquias. Em geral, a difusão hierárquica ocorre a partir de centros

maiores para os menores, no exemplo da difusão de uma inovação. Existe, ainda um padrão de difusão hierárquica conhecida como “padrão Beatles”, no qual o movimento é lento a partir de um centro menor originário para um centro maior, se espalhando novamente com rapidez em direção a outros centros de diversos tamanhos Garner (1971).

O processo de difusão pode ser homogêneo no espaço ou ser orientado por efeito de nucleação ou mesmo ser do tipo competitivo, onde um local compete com outros em um processo de expansão espacial. Na difusão heterogênea, algumas direções se desenvolvem mais rapidamente do que outras, devido ao efeito de barreiras. Segundo Abler *et al.* (1971), uma barreira pode ser permeável, refletora ou causar a absorção do processo de difusão.

A questão de barreiras impõe também a consideração que o tempo e espaço possuem qualidades métricas que devem ser tratadas com cuidado. Como lembram Chorley e Hagget (1971), o tempo é uma unidade relativa em ciências sociais, na qual 10 anos não precisam ser iguais aos 10 anos seguintes, acontecendo a mesma coisa com a distância, que é medida de uma maneira especializada (em geral em termos de tradução de energia ou custo), como no exemplo da comparação da dificuldade de se percorrer uma distância numa região montanhosa em relação à sua equivalente numa região plana (Figura 4).

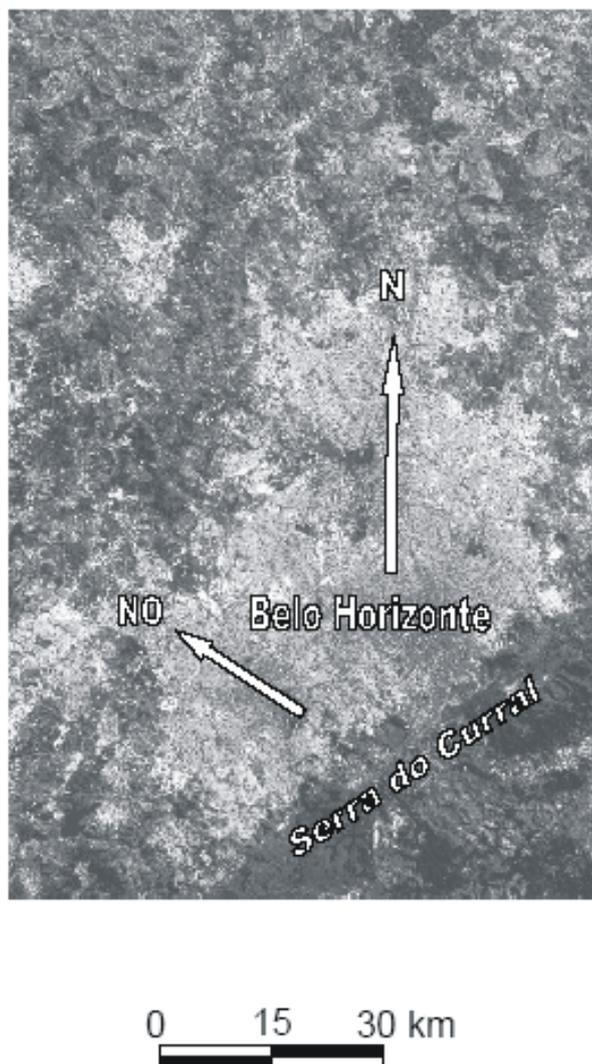


Figura 4: Efeito de barreira de reflexão causada pela Serra do Curral, que direcionou a expansão urbana de Belo Horizonte para N e NO.

Fonte: Imagem da Banda TM4, Landsat-5, dezembro de 1996.

Segundo Sklar e Costanza (1991), a difusão foi inicialmente modelada como um processo, no qual as probabilidades de transição são estabelecidas em função das características do movimento, tal como:

$$M_{ij} = f[ai, bj, cij]$$

Onde M_{ij} é a probabilidade de migração em função das características ai (exemplo densidade de população ou tamanho), características do destino bj (recursos) e relacionamento entre a origem e o destino cij (em exemplo, a distância).

Uma observação importante ao processo de difusão é que ele possui características não lineares, se caracterizando por uma curva logística composta por ondas de difusão. As ondas de difusão são vistas ocorrer em quatro estágios, em função da distância da fonte original de inovação e proporção de aceitadores da inovação.

O gráfico da Figura 5, mostra os principais estágios na velocidade de uma inovação por difusão. A taxa de inovação mede a proporção da população aceitando o item. O primeiro estágio marca o início da difusão. Centros de adoção são estabelecidos e há um forte contraste entre esses centros de inovação e as áreas mais remotas. Em um segundo estágio, uma forte força centrífuga é gerada pelo rápido crescimento em direção às áreas distantes, reduzindo-se os contrastes regionais gerados no primeiro estágio. No estágio condensado, o relativo aumento do número de aceitadores em todas as localidades é igual, não importando à distância ao centro de difusão. Por fim, o estágio de saturação é marcado por uma lenta e eventual diminuição do processo de difusão e ausência de contraste regional.

Hägerstrand em 1953 foi o primeiro a desenvolver um modelo de simulação de difusão. De acordo com Graner (1971), o trabalho de Hägerstrand descreve seis elementos essenciais da difusão espacial. O primeiro elemento é o meio ou ambiente onde o processo ocorre, este meio pode ser isotrópico ou heterogêneo, implicando que a difusão pode ser acelerar ou diminuir dependendo da direção. O segundo elemento é o tempo, que pode ser contínuo ou discretizado em fases ou períodos. O terceiro elemento no processo de difusão é o item a ser difundido, este item pode ser material, pessoas, informação, doença, etc. Os últimos elementos no modelo de Hägerstrand descrevem o padrão espacial do item a ser difundido, tais como os diferentes locais de origem e destino e os caminhos possíveis a serem percorridos pelo item.

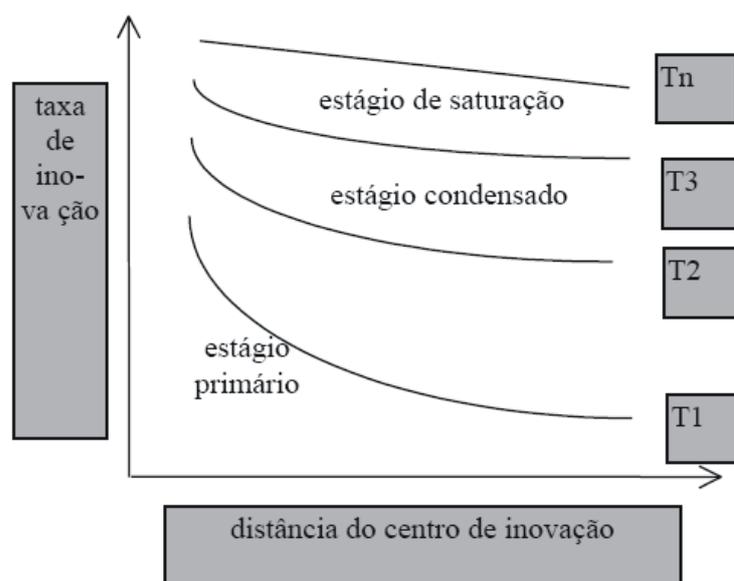


Figura 5: Ondas de difusão, vistas em perfil.

Fonte: Garner (1971)

No modelo de Hägerstrand, o efeito de vizinhança para simular padrões de difusão é incorporado na forma de um campo médio de informação. Os campos médios de informação podem ser descritos por janelas de contato que se movem em um espaço tesselar, cada uma consistindo numa matriz 5 por 5, cujas as células contém as probabilidades de difusão em função da distância.

0.0096	0.0140	0.0168	0.0140	0.0096
0.0140	0.0301	0.0547	0.0301	0.0140
0.0168	0.0547	0.4432	0.0547	0.0168
0.0140	0.0301	0.0547	0.0301	0.0140
0.0096	0.0140	0.0168	0.0140	0.0096

Tabela 2: Campo médio de informação de Hägerstrand.

Fonte: Hagget (1972)

Este modelo assume que a área sobre a qual a difusão ocorre consiste num plano uniforme dividido em células unitárias, com o mesmo número de população por célula. O tempo de intervalo consiste em unidades discretas de mesma duração com a origem da difusão colocada no tempo zero. Cada intervalo é denominado geração. Células com

mensagem, denominadas fontes ou transmissoras, são especificadas ou semeadas para o tempo zero. Por exemplo, uma única célula pode dar partida ao modelo. É dada então a condição inicial para a difusão. Células fontes transmitem informação somente uma vez em cada intervalo discreto. A transmissão ocorre somente por interação entre duas células, não é considerada a transmissão genérica – também conhecida por difusão por mídia de massa. A probabilidade de uma célula receber a difusão de uma célula fonte está relacionada com a distância de uma para outra e em função de fatores ambientais. Desse modo, a presença de florestas e lagos que obstruem o processo de difusão são representados no modelo na forma de barreiras entre duas células com diversos graus de permeabilidade.

A adoção da difusão por uma célula ocorre após uma única mensagem. Mensagens recebidas por uma célula que já adotou o item são consideradas redundantes e sem efeito. Mensagens recebidas por células fora da área de estudo são consideradas também sem efeito. Para cada passo de tempo, um campo médio de informação é novamente recentrado na célula fonte da vez. A localização da célula que receberá a mensagem é obtida por sorteio. O processo de difusão pode terminar a qualquer estágio ou quando todas as células da área de estudo tiverem recebido a informação (Figura 6).

Para rodar o modelo, Hägerstrand empregou a técnica de simulação de Monte Carlo. Como cada experimento ou jogada produz como resultado um padrão geográfico ligeiramente diferente, repete-se o experimento várias vezes para se obter uma solução aproximada para o modelo.

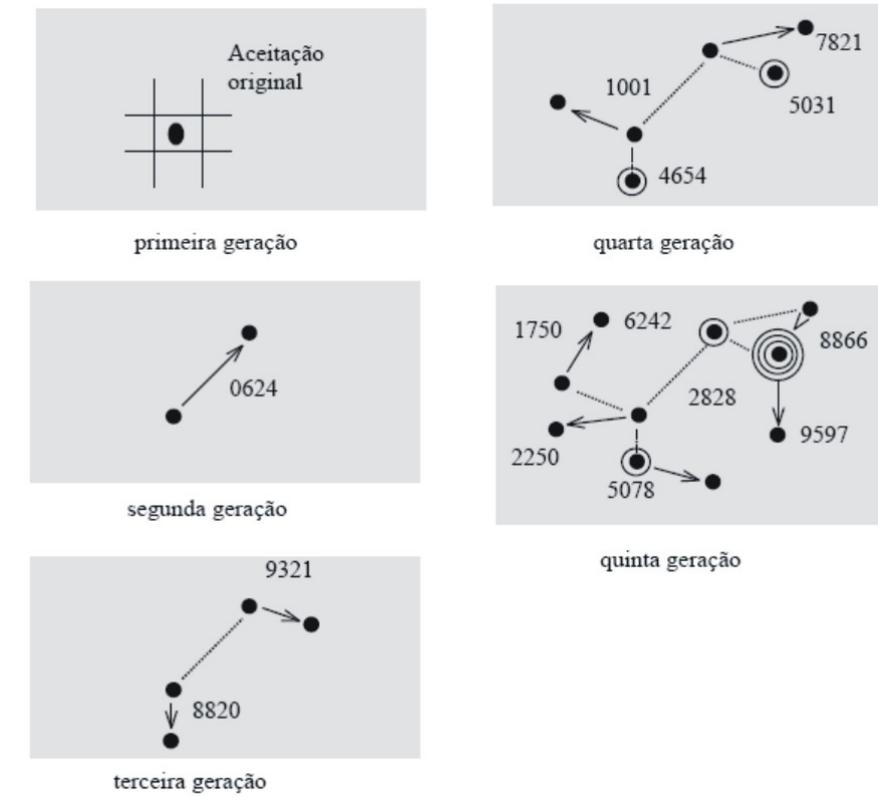


Figura 6: Modelo de difusão de Hagerstrand em 5 gerações. Os números referem-se aos contatos determinados pelo sorteio de números aleatórios; linhas tracejadas mostram interações da geração anterior e círculos indicam contatos internos ao próprio centro da janela

Fonte: Hagget (1972)

Por último, outra maneira usada pelos geógrafos pra descrever interações espaciais se dá pelo uso de modelos gravitacionais. Como lembram Sklar e Costanza (1991), a origem dos modelos gravitacionais remonta ao século XIX, sendo essas simples modificações das equações de Newton para gravidade, cuja interação espacial entre dois corpos declina com inverso da distância elevada a uma potência b .

$$T_{ij} = k W_i W_j / d_{ij}^b$$

Onde T_{ij} corresponde o fluxo previsto de i para j , k uma constante escalar, W_i a capacidade de partir de cada i , W_j a capacidade de atrair de cada j e d é a distância entre a origem i e o destino j .

Quanto aos modelos gravitacionais, muito embora, estes sejam descritivos, eles podem se tornar ferramentas muito úteis quando adaptados aos diferentes padrões de uso do solo e incorporados a modelos mais complexos de dinâmica espacial.

3.5.3. Modelos de mudanças na paisagem

Os modelos citados anteriormente são alguns exemplos apresentados no contexto de várias ciências. Esses modelos são úteis, sobretudo, para nos ajudar a compreender a organização do espaço geográfico. Neste propósito, a comunidade científica vem cada vez mais buscando respostas e extrapolações dos resultados de suas pesquisas através do espaço geográfico. Um raciocínio lógico nesta linha de pesquisa baseia-se na assertiva de que o processo natural ou humano quer sejam eles físicos, ecológicos, técnico-culturais, ou de outro tipo qualquer, são em certo grau, controlados pela organização espacial de seu conjunto ambiental. Tal organização espacial é chamada de paisagem.

Portanto, o objeto de pesquisa em paisagem é o estudo de sua trama espacial e seu papel em relação aos processos ambientais Gulinck et al. (1993). Nesses termos, uma paisagem se encontra em perpétua mutação, podendo a sua estrutura e composição mudar drasticamente através do tempo – incluindo o tamanho, número e configuração das manchas de seus elementos – e implicar em importantes ramificações quanto ao arranjo e interação de seus ecossistemas.

Essas idéias substanciaram o desenvolvimento de uma nova classe de modelos de simulação espacial, os quais incorporam os conceitos da Ecologia de Paisagem e com isso buscam explorar escalas ecológicas nunca antes alcançadas Sklar e Costanza (1991). Segundo estes autores, os modelos de simulação são utilizados para descrever fenômenos espaciais, prever a evolução temporal dos seus padrões e integrar escalas temporais e espaciais, tendo, portanto o potencial para:

1. Mapear o fluxo de energia, materiais e informação.
2. Designar áreas fonte, de absorção e recepção.
3. Produzir sucessão 2D e 3D.
4. Determinar limiares acumulados para substâncias antropogênicas.
5. Abordar questões de escala.

Por isso, a Ecologia de Paisagem fornece um quadro espacialmente explícito para a modelagem dos processos e mecanismos ambientais, porquanto seus modelos envolvem a simulação de atributos ecológicos através do tempo em subunidades de áreas com distinta localização e configuração Nyerges (1993). Neste contexto, os modelos de paisagem abrangem, em geral, quadros espaciais na ordem de dezenas de quilômetros para mais, como no exemplo da extensão de um município, e intervalos temporais da ordem de anos a dezenas de anos. Baker (1989) e Sklar e Costanza (1991) fornecem um extensa revisão de modelos de paisagem. Segundo Baker (1989), uma variedade de critérios podem ser usados na classificação de modelos de paisagem, dos quais os mais importantes são: nível de agregação, estrutura e tipo de matemática empregada.

3.5.3.1. Modelos segundo os níveis de agregação e estrutura

De acordo com Baker (1989), três tipos de modelos se distinguem dependendo do seu nível de detalhe ou agregação, a saber: modelos totais de paisagem, modelos distribucionais de paisagem e modelos espaciais de paisagem.

Modelos totais da paisagem calculam os valores de uma variável ou de um grupo de variáveis em uma paisagem particular como um todo, como no exemplo do número de elementos de paisagem em uma determinada região (Figura 7a). Já os modelos distribucionais tratam da distribuição ou proporção de valores de variáveis em uma

paisagem, como no exemplo das mudanças da distribuição em área dos elementos da paisagem de uma dada região (Figura 7b).

A avaliação de modelos distribucionais requer a determinação dos estados das variáveis que podem ser, dentre outros, classes de coberturas do solo e densidade ou tamanho de população de espécies. Contudo, os modelos distribucionais não fornecem informação sobre a localização e configuração desses estados na paisagem, sendo, portanto, menos detalhados, muito embora, mais simples de se desenvolver e usar do que os modelos espaciais, os quais requerem substanciais dados georeferenciados.

Atualmente, os modelos espaciais ganham cada vez mais importância, haja vista a grande disponibilidade de dados espaciais obtidos via sensoriamento remoto, associados a uma ampla capacidade de manipulação e análise fornecida pelos SIGs. Por conseguinte, os modelos espaciais, sendo os mais detalhados, são capazes de modelar o destino de subáreas da paisagem e sua configuração. Tais modelos espaciais podem, portanto, representar além do número e distribuição de elementos da paisagem, as suas configurações e localizações. Como saída, obtêm-se, então, mapas das mudanças espaciais (Figura 7).

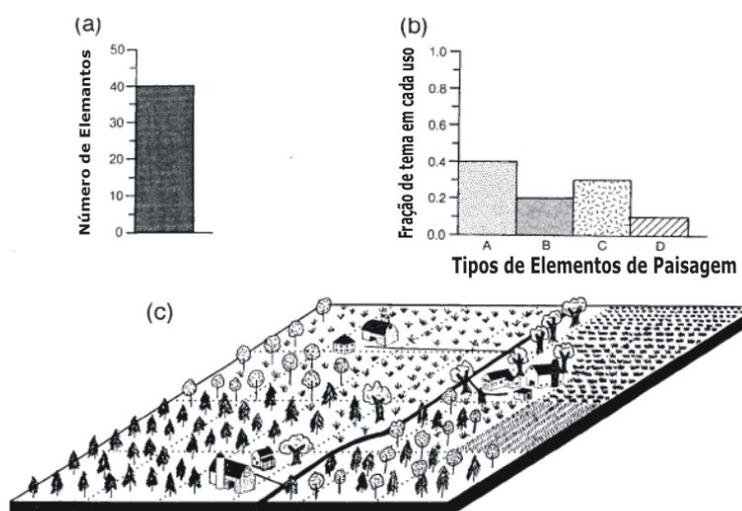


Figura 7: Dados monitorados por três tipos de modelos: a) modelo total de paisagem, b) modelo distribucional de paisagem e c) modelo espacial de paisagem.

No desenvolvimento de um modelo espacial, deve-se escolher o formato dos dados, que pode ser vetor ou raster, variáveis pra incluir no modelo, tamanho do pixel ou resolução vetorial e o algoritmo de mudança. Em geral, modelos espaciais de paisagem são representações 2D em formato matricial ou raster Baker (1989) e Nyerges (1993). Vide Figura 7c. Há algumas vantagens em representar uma paisagem usando-se de uma construção matricial ou raster. Em primeiro, a utilização de um SIG matricial possibilita uma maior flexibilidade na representação e tratamento do contínuo espacial: segundo, a modelagem dos processos ambientais se torna mais direto através de um modelo de dados em camadas Burrough (1991); terceiro, os SIGs matriciais são inteiramente compatíveis com imagem de satélite, grande fonte de dados para a modelagem de mudança de paisagem; quarto, existem várias pesquisas e programas de desenvolvimento que trabalham com dados no formato raster para análise dos padrões da estrutura da paisagem Baker e Cai (1992) e Mcgarigal e Marks (1995) por último, a representação matricial para um processo de simulação é mais fácil de se lidar matematicamente, posto que cada célula unitária do modelo possui o mesmo tamanho e forma, o que resulta numa maior facilidade e capacidade analítica – por exemplo, usando-se de álgebra cartográfica Tomlin (1990) -, além de tender ser mais rápida para avaliações de múltiplas camadas de dados cartográficos.

Baker (1989) sugere que uma maneira conveniente de se pensar sobre a modelagem de mudança consiste em imaginar uma paisagem composta por uma variedade de arranjos de elementos de paisagem sobrepostos a um sistema de grade, ou representação raster. Estados ou elementos de paisagem poderão, então, ser representados por pixels ou células com mesmo valor em uma única camada de informação. Uma questão pertinente à esta representação se refere a escolha do tamanho da célula ou pixel (grão da paisagem) em função da escala de observação. Para tanto, busca-se uma solução de compromisso, definindo-se um tamanho de pixel que atenda uma certa precisão cartográfica, capture a

frequência espacial do fenômeno modelado e ainda permita um desejável desempenho computacional.

Na representação matricial, a forma, configuração e tamanho dos elementos de paisagens não são modelados explicitamente, mas sim construídos para cada mancha que se faz representar por uns conjuntos de células contíguas de mesmo valor ou atributo. Assim, de acordo com Baker (1989), dois tipos básicos de modelos espaciais podem ser encontrados de acordo com a estrutura empregada, a saber: modelos em mosaicos e modelos em manchas (patches).

Os modelos em mosaico representam uma tecelagem do espaço geográfico, quer seja por células uniformes ou pixels, como acontece na maioria dos casos, ou por polígonos de vários tamanhos, no caso de modelos de triângulos irregulares Burrough (1991). No modelo de mosaico ou de pixel, uma mudança, no exemplo de uma cobertura do solo i pra outra j , é avaliada em separado para cada pixel (Figura 8). Já no modelo em mancha, as manchas são primeiro definidas por um conjunto de regras que agrupam pixels baseados no seu valor de categoria e vizinhança. Dessa maneira, agregados de pixels contínuos adjacentes, verticais e horizontais com condições de paisagens idênticas definem uma singular mancha, a qual recebe um identificador único. Cada mancha é então avaliada em separado pelo processo de mudança Flamm e Turner (1994). Segundo estes autores, uma diferença marcante entre as duas formulações é a escala na qual às mudanças são simuladas dentro de unidades homogêneas. Ou seja, ao nível de cada pixel na primeira ou, como visto na segunda, para cada mancha como um todo.

Tanto nos modelos de mosaico ou de mancha, cada uma de suas unidades contém um submodelo, que pode consistir em um modelo total ou distribucional de paisagem, ser univariado ou multivariado e usar matemática contínua ou discreta. Desse modo, os modelos espaciais podem reproduzir ou imitar a heterogeneidade espacial da paisagem. Como observa

Baker (1989), eles podem ainda ser aprimorados para incorporar interações entre células, efeitos de vizinhança e retro-alimentação, questões estas que serão abordadas por esta tese no capítulo referente à construção do modelo de simulação.

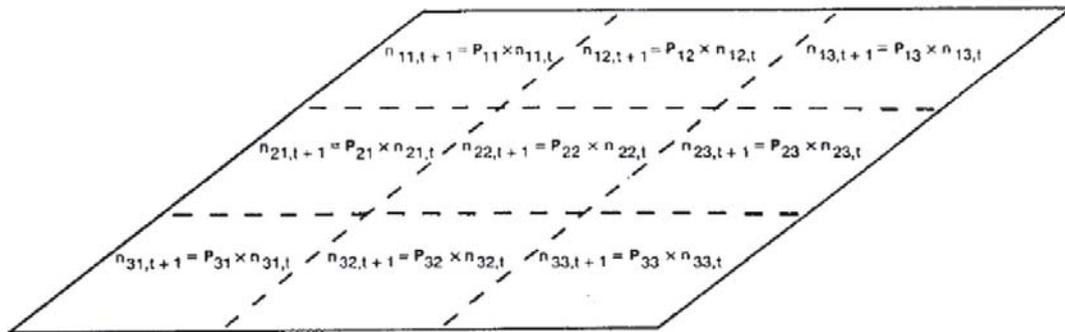


Figura 8: Exemplo de modelo em mosaico, cuja cada célula possui um submodelo particular de mudanças.

Fonte: Baker (1989)

3.5.3.2. Modelos estocásticos

Modelos distribucionais estocásticos de mudanças de uso do solo foram construídos no passado tendo como base cadeias de Markov Drewett (1969), Bell (1974) e Bell e Hinoja (1977). Além disso, essa técnica tem sido também empregada como uma ferramenta descritiva para se compreender e quantificar as mudanças em estudo de dinâmica de uso do solo, como nos exemplos de Hall et al. (1987), Gómez - Sal et al. (1993), Muller e Middleton (1994) e Fearnside (1996).

O processo básico de Markov pode ser sumarizado por:

$$\Pi(t+1) = P^n \cdot \Pi(t)$$

Onde $\Pi(t)$ é o vetor coluna, com n elementos, representando a condição do sistema em um tipo t particular (por exemplo, frações de terra em cada n_i tipo de uso do solo), $\Pi(t+1)$ é o vetor de ocupação nos n estados após o intervalo de tempo t +1 e P^n é a matriz de probabilidade de transição Hobbs (1983).

Nesse modelo, todos os estados passíveis de aparecer são usualmente denotados 1,2,3..n. Para cadeias de Markov de primeira ordem, P equivale a uma matriz de transição $n \times n$, cujo os elementos P_{ij} nas linhas representam a probabilidade de um determinado estado i permanecer no mesmo estado ou mudar para o estado j durante o intervalo de tempo de $t \rightarrow t+1$, de modo que

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, i = 1,2..n.$$

As probabilidades de transição são usualmente derivadas de amostras de transição relativas a certo intervalo de tempo. O estimador de máxima verossimilhança para as probabilidades de transição é dado por:

$$\hat{P}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^n n_{ij}}$$

Onde n_{ij} é o número de transições de estado i para j .

Como acontece na natureza, o processo de Markov modela a mudança de uso do solo de uma maneira multi-direcional, ou seja, parcelas de terra podem teoricamente mudar de uma categoria de uso de solo mutuamente exclusiva para uma outra em um tempo qualquer. Portanto, três categorias de uso do solo geram nove possibilidades diferentes de mudança, as quais são incorporadas na forma de:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix}$$

Desse modo, um modelo de Markov, como definido, requer apenas que seja especificado um número finito de estados e que sejam conhecidas as probabilidades de transição, nas quais as variáveis mudam de um estado para outro em um intervalo de tempo

discreto. Apesar dessa relativa simplicidade, diversas restrições e suposições se impõem ao emprego de modelos de cadeia de Markov para simulação de mudanças na paisagem.

Primeiro, assume-se que a cadeia de Markov é um processo de primeira ordem, o que significa que a transição de um estado t para outro estado em um tempo $t + 1$ depende somente nas probabilidades de transição e na distribuição corrente dos estados em um tempo t , sendo independente da distribuição desses estados em um tempo $t - 1$. Em outras palavras, o modelo assume que o futuro comportamento do sistema depende apenas de seu estado presente, sendo independente da trajetória que o trouxe ao presente estado Facelli e Steward (1990). Segundo, o modelo também assume que as interações são instantâneas, sendo irrelevante o tempo de permanência das variáveis em cada estado.

Estas duas suposições acima não significam que o sistema ignora o seu passado, mas que toda a informação do passado está concentrada no presente estado do processo Patoucheas e Stamou (1993).

Terceiro, supõe-se que as probabilidades de transição não mudam com o tempo. Ou seja, um processo markoviano é chamado estacionário ou homogêneo no tempo se e somente se $P(t) = P_{ij}$ para cada $t \in \mathbf{N}$, onde $\mathbf{N} = (0, 1, 2, 3, \dots)$. Se isto é verdade, interações consecutivas do vetor de estado pela matriz de transição n vezes resulta num vetor representando o estado do sistema ao tempo $(t+n)$. Se este vetor do sistema converge em direção a uma distribuição de probabilidade limite entre os possíveis estados do sistema, sem observar o seu estado inicial, a cadeia é dita ergódica ou estacionária Facelli e Steward (1990). Uma cadeia de Markov é ergódica se há um número finito de estado, sua dinâmica é aperiódica e não há estados absorventes (quando $P_{ij} = 1$). Se a cadeia é homogênea e ergódica, torna-se possível calcular o estado do sistema em um hipotético equilíbrio futuro. Como Bell e Hinoja (1977) demonstram isto pode ser obtido através da seguinte propriedade de uma matriz P .

$$P = HV^{-1}$$

Onde H é a correspondente matriz de autovetores, H^{-1} sua transposta e V a matriz de autovalores.

Desse modo, P^t pode ser decomposto em:

$$P^t = HV^t H^{-1}$$

Quando o 1º autovalor for igual a 1 e os outros menores do que 1, para $T \Rightarrow \infty$ obtêm-se:

$$P^\infty = H \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} H^{-1}$$

Cujo resultado corresponde à proporção de equilíbrio entre os estado do modelo. Segundo Facelli e Steward (1990), a razão entre o primeiro autovetor com o segundo autovalor pode ainda ser usada para se prever o tempo que o sistema leva para alcançar o equilíbrio.

Modelos de Markov podem também ser usados quando essas restrições mostradas acima não forem atendidas. Por exemplo, o requerimento de independência estrita pode ser relaxado para incluir processos nos quais as transições dependem de estados prévios, fato que resulta em cadeias de mais alta ordem e complexidade Facelli e Steward (1990). Um modelo de segunda ordem incluiria, portanto, n^2 estado em vez dos n estado de um modelo de primeira ordem. Estimativas das transições para tal modelo vão então requerer uma quantidade maior de dados derivados de observações de pelo menos dois intervalos de tempo após a observação inicial.

Depois, quando o tempo de permanência das variáveis em cada estado influírem nas transições, pode ainda se adotar modelos semi-markovianos, que também são estocásticos, mas com tempo de permanência variado. Nesses termos, a matriz de transição assume a seguinte forma Baker (1989):

$$Q = P_{ij} * F_{ij}(t)$$

Onde $F_{ij}(t)$ representa uma função de distribuição dos tempos de permanência dependentes dos estados i e j .

Contudo, como Baker (1989) observa, “a não estacionaridade não exclui o uso da abordagem de cadeia de Markov, posto que mesmo se as transições não forem realisticamente estacionárias, a estacionaridade pode ser assumida como um dispositivo heurístico para fornecer respostas sobre o que aconteceria se elas fossem”. Segundo este autor, outra abordagem para modelos não estacionários consiste em permutar entre diferentes matrizes estacionárias, muito embora nesse caso, deva-se modelar o processo de permutação.

Modelos de Markov podem ainda ser modelados para acomodar efeitos de alta ordem, como a influência de variáveis exógenas e endógenas, efeitos espaciais e heterogeneidade da paisagem Baker (1989). A contribuição das variáveis exógenas e endógenas para as transições, estacionárias ou não, podem ser modeladas usando a seguinte abordagem, na qual a equação nº18 passa a se modificada para:

$$\Pi(t+1) = P[f(t)] \Pi(t)$$

Dentro de uma revisão histórica, reconhece-se que as primeiras pesquisas de simulação espacial estocástica de mudança de uso do solo em uma paisagem utilizaram-se da abordagem de mosaicos, a citar: Turner (1987) e (1988) e Parks (1991).

Segundo Turner (1987), modelos em mosaicos refletem adequadamente as mudanças agregadas em uma paisagem, como a área total transicionada, no entanto deixam a desejar quanto às qualidades espaciais das mudanças. Ainda, de acordo com esta autora, modelos de simulação estocástica em estrutura simples de mosaico tendem a produzir paisagens altamente fragmentadas em oposto a uma paisagem real. Tal fato demonstra que a natureza das transições em uma paisagem não é estritamente markoviana, sugerindo ao

contrário um efeito de contágio ou dependência espacial com a sua vizinhança. Para superar essas dificuldades, Turner (1987) e (1988) desenvolveu um modelo de transição de uso do solo com influência espacial para uma paisagem da Geórgia (EUA). Simulações foram realizadas para cinco tipos de uso do solo para uma área de 12.698 ha, constituídas de células de 1 ha. A influência espacial foi incorporada de duas maneiras, através da influência 4 vizinhos ou 8 vizinhos na transição. Um índice de transição foi calculado modificando os P_{ij} obtido de uma série histórica de fotografias aéreas entre 1942, 1955 e 1989, em função dos números de vizinhos mais próximos no estado i (vide fórmula abaixo). Para esta autora, o modelo com quatro vizinhos mais próximos foi o que melhor simulou o agrupamento dos diversos usos do solo.

$$q_{ij} = n_{ij}/n$$

Onde n_{ij} é o número de células i adjacentes ao tipo j e n o número de células vizinhas.

Nessa linha de pesquisa, um método mais genérico para o cálculo das probabilidades dos vizinhos mais próximos P_{ij}^* é apresentado por Azevedo et al. (1995):

$$Y_{k,l}^i = \frac{\sum_{q=-a}^{q=+a} \sum_{r=-a}^{r=+a} X_{k+q,l+r}^i}{(2a+1)^2}$$

Onde, X^i representa o número de vizinhos no estado i , e a é um valor de deslocamento em torno de uma célula k, l (por exemplo, para $a=1$, o número de células é igual a 9). Desse modo $Y_{k,l}^i$ representa uma média entre i e l do número de elementos de cada classe de cobertura do solo em torno de k, l . P_{ij}^* , para uma vizinha especificada a , pode então ser calculado por:

$$P_{ij}^* = \frac{P_{\bar{v}} Y_j}{\sum_{i=1}^N Y_j P_{\bar{v}}}$$

Por sua vez, Parks (1991) utilizou um modelo baseado em Turner (1987) e (1988), no qual introduziu probabilidades de transição, primeiro, derivadas ao nível dos lotes rurais a partir de dados de censo agrícola e segundo, obtidas de relacionamentos entre essas mudanças e variáveis econômicas.

Já modelos em manchas estocásticos são desenvolvidos mais recentes Flamm e Turner (1994). Estes autores realizaram um trabalho de comparação entre dois modelos de transição, um primeiro baseado em mosaico e um segundo em manchas. Nesse trabalho, simulações foram rodadas aumentando-se gradativamente a quantidade de informação nas quais as transições foram baseadas. Segundo estes autores, ambos os modelos representaram adequadamente as mudanças espaciais simuladas quando suficiente informação foi adicionada; no entanto, o melhor modelo de simulação foi o modelo em mancha, que contém os limites das propriedades rurais na forma de uma camada adicional. Isto se explica devido ao fato de que as mudanças em uma paisagem rural estarem condicionadas às diferentes decisões de manejo do solo que ocorrem dentro do limite de cada propriedade.

Por fim, um interessante modelo de simulação de uso do solo que utiliza uma estrutura espacial em manchas é reportado pelos trabalhos de Southworth et al. (1991), Dale et. Al. (1993) e (1994). O modelo destes autores, intitulado DELTA (*Dynamic Ecological-Land Tenure Analysis*), foi desenvolvido para integrar aspectos sócio-econômicos da colonização amazônica e ecológico do desmatamento e liberação de carbono no Estado de Rondônia. O sistema do modelo estima os parâmetros e taxas de desmatamento sob diferentes políticas de imigração, práticas de manejo do solo e desenvolvimento de estradas Soutworth et al. (1991). O modelo Delta consiste em três submodelos ligados que simulam,

respectivamente, a difusão da colonização, mudança do uso do solo e liberação de carbono (Figura 9). Enquanto os efeitos ecológicos das mudanças do uso do solo são examinados neste modelo a uma escala micro-espacial ao nível do lote. Este modelo simula as conseqüências em termos de desmatamento e liberação de carbono, utilizando-se três cenários alternativos de práticas de uso do solo, os quais variam desde as práticas convencionais de uso do solo encontradas ao longo da rodovia transamazônica, primeiro caso – somente culturas anuais e pastagem para gado, a um terceiro caso representado por práticas inovadoras que usam uma diversidade de culturas associadas à rotatividade de áreas em pousio Dale et. al. (1994). Em particular, o modelo DELTA é visto por seus autores como “a playing game tool”. Ou seja, o modelo em si não visa simplesmente uma predição, mas sim é concebido para servir como um instrumento de investigação do destino da paisagem, no caso de uma região amazônica, a partir dos processos de decisão de uso do solo adotados por colonos com diferentes perfis. Nesse sentido, ele também pode ser considerado como um modelo de processos, apesar de rodar de modo estocástico.

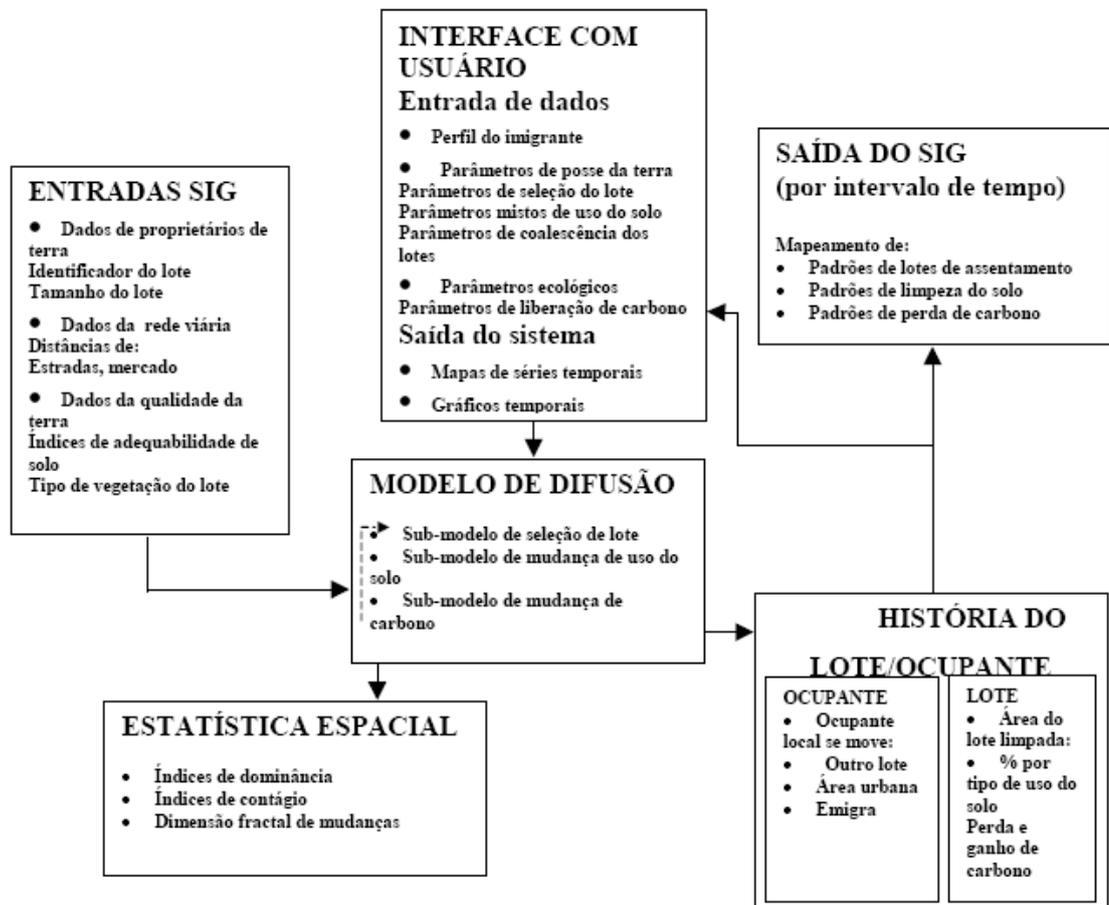


Figura 9: Fluxograma e componentes principais do modelo DELTA.

Fonte: Dale et. Al. (1993)

Pode-se então dizer que, muito embora, tenha-se tentado classificar, para fins de revisão e estudo, os modelos de acordo com essas diferentes taxionomias; a contínua evolução da arte de modelagem, permitindo que os modelos incorporem cada vez mais mecanismos cibernéticos, tais como retroalimentação e probabilidades de transição dinâmicas, estreitará ainda mais a delimitação entre os modelos baseados em processo dos modelos estocásticos. Ao mesmo tempo, o aprimoramento dos modelos em mosaico, através do desenvolvimento de algoritmos para interação com a vizinhança, fará com que eles se aproximem mais da estrutura de modelos em manchas.

3.5.3.3. Sensoriamento remoto aplicado à construção de modelos de dinâmica de paisagem

O caminho na construção de um modelo de dinâmica de paisagem consiste no mapeamento dos padrões mutáveis de uso e cobertura do solo da região escolhida para o estudo. Para tanto, são necessários métodos de levantamento que possibilitem identificar as mudanças na paisagem. Neste sentido, podem ser utilizados como fonte de dados: levantamentos de campo, mapas previamente existentes, fotografias aéreas, dados publicados por censos demográficos e agrícolas e sensoriamento remoto orbital. Dentre estes métodos, o desenvolvimento e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto orbital para o monitoramento de fenômenos e processos ambientais têm recebido atualmente uma especial atenção.

Em relação às suas diversas vantagens, pode-se dizer que, devido aos seus dados multiespectrais serem coletados de modo repetitivo, o sensoriamento remoto orbital oferece a oportunidade para a análise da dinâmica de vários fenômenos espaciais, em abordagens que variam de escalas locais e globais. Além disso, a natureza digital de suas imagens possibilita o emprego de algoritmos computacionais para o realce e classificação de padrões, facilitando assim o mapeamento de grandes extensões de um modo rápido e objetivo, o que faz com que essa tecnologia represente uma importante fonte de dados para o desenvolvimento, refinamento e calibração de modelos de dinâmica de paisagem.

O sensoriamento remoto orbital possibilita não só documentar a taxa e a expansão do desmatamento na Amazônia brasileira, como também, ele pode ser usado para categorizar os diferentes tipos de ocupação e uso do solo, através da análise da geometria, tamanho, localização e arranjo espacial das áreas desmatadas Scole *et al.* (1994); Tuomisto *et. al.* (1994) e Turner II *et. al.* (1994). Como resultado, índices de estrutura de paisagem, obtidos de imagens de sensoriamento remoto orbital, poderão ser usados não só para se monitorar as

grandes mudanças nas paisagens como também para se prever a evolução do padrão da paisagem. Ainda, o sensoriamento remoto orbital permite cartografar às unidades de paisagem, representadas por particulares conjuntos de formações vegetais, solo e relevo e por fim, seqüências de imagens multitemporais podem ser usadas para derivar estimativas das *probabilidades* ou *freqüência* de transição, que correspondem às taxas de mudança de uma categoria de uso do solo para outra ao longo de um período de tempo Hall *et al.* (1988) e Dunn (1991).

Portanto, é para o atendimento dos propósitos acima que esta dissertação se dedica ao desenvolvimento de metodologias de aplicação de sensoriamento remoto orbital. Assim, o mapeamento da dinâmica de paisagem do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim servirá para obter os dados necessários à parametrização e calibração do modelo de simulação do desenvolvimento dos padrões espaciais de mudanças, ajudando os gestores e as políticas públicas.

3.5.3.4. Sistema de informações geográficas aplicado ao estudo da dinâmica de paisagem

A importância do sensoriamento remoto para elaboração de modelos de dinâmica de paisagem é imprescindível. Contudo, não basta apenas obter uma grande massa de dados, é preciso analisá-lo dentro de um contexto espacialmente explícito. Nesses termos, pode-se dizer que como a distribuição espacial é inerente à disciplina Ecologia de Paisagem, os estudos das respostas dos processos e efeitos ecológicos ao nível da paisagem têm atraído cada vez mais a utilização do SIG como um instrumento de análise e modelagem de dados Brigewater (1993) e Johnston (1993). Assim, torna-se interessante considerar o relacionamento entre essa duas disciplinas. Enquanto os SIGs refletem o desenvolvimento tecnológico da última década, a Ecologia de Paisagem, devido à sua natureza mais teórica,

passa a ser vista como uma fonte de modelos para estes Bridgewater (1993) e Perez-Trejo (1993).

Segundo Taylor (1991), um Sistema de Informações Geográficas pode ser considerado como um conjunto de facilidades voltado à captura, armazenamento, verificação, integração, manipulação, análise e visualização de dados referenciados à Terra. Ainda, de acordo com Goodchild (1993), o SIG é visto como uma tecnologia de propósito geral capaz de manipular dados geográficos em formato digital no sentido de satisfazer as seguintes necessidades: 1) pre-processar dados de grandes coletas para adequá-los à análise, incluindo operadores de conversão, reformatação, mudança de projeção cartográfica, reamostragem e generalização; 2) permitir a análise e modelagem de dados, nas formas tais como descrição, integração, calibração, prescrição e prospecção; 3) realizar pós-processamento dos resultados, incluindo operações de reformatação, tabulação, geração de relatórios e mapas. As operações presentes nestas etapas acima podem ser agrupadas em três áreas funcionais denominadas por Berry (1993) como: cartografia digital, sistema de gerenciamento da base de dados e modelagem cartográfica.

A cartografia digital está presente em um SIG principalmente nas etapas de entrada – ou seja, no processo de codificação ou abstração digital das feições ou entidades da paisagem, editoração gráfica, visualização e produção de mapas. Por sua vez, o sistema de gerenciamento da base de dados focaliza os componentes de armazenamento e recuperação de dados do sistema, sendo capaz de organizar o grande conjunto de dados e recuperá-los através de operações de busca para produzir saídas na forma de relatórios ou mapas, como no exemplo de estatística de frequência entre variáveis especificadas. Já a modelagem cartográfica busca desenvolver novas visões entre os relacionamentos geográficos dos dados através do cruzamento e integração das variáveis espaciais.

Nessa etapa de modelagem cartográfica são então utilizadas linguagens de análises espaciais. Uma linguagem reconhecida para esse fim é a álgebra de mapas Tomlin (1990) e Berry (1993). Segundo Berry (1993), esta linguagem usa de uma seqüência de funções primitivas para realizar uma análise complexa de mapas. Nesse sentido, ela é semelhante à álgebra tradicional, na qual operadores primitivos (adição, subtração, exponenciação) são logicamente seqüenciados com variáveis para se formar uma equação. No entanto, na álgebra cartográfica, mapas inteiros representam as variáveis. O procedimento analítico envolve o processamento cíclico de mapas digitais (semelhante à resolução de parênteses de uma equação), usando-se de operações de processamento espacial. Desse modo, uma seqüência lógica, coerente para o desempenho de uma determinada análise cartográfica, envolve a recuperação de um ou mais mapas da base de dados, processamento desses dados como especificado pelo usuário, criação de um novo mapa contendo o resultado do processamento e o seu armazenamento para o processamento subsequente.

Além da capacidade matemática tradicional, a álgebra de mapas inclui primitivas de processamento cartográfico para transformar, combinar camadas, convolvê-las com filtros espaciais de várias maneiras, tais como máscaras de vizinhança, conectividade, proximidades e rotas ótimas, e ainda realizar certas análises estatísticas Berry (1993). Nestes termos, linguagens de álgebra de mapas podem ser encontradas embebidas em uma linhagem de SIGs, que inclui desde os precursores, como SIMAP (*Synagraphic Mapping System*) criado por Fischer em 1963 Burrough (1991), e outros como o *GRID*, *IMGRID* e *MAP*, até os mais populares como GRASS, IDRISI e ARC-INFO. Por isso, esses SIGs podem ser vistos como uma criativa caixa de ferramentas voltadas para o processamento de mapas, a qual segundo Berry (1993), incorpora conceitos fundamentais do espaço geográfico.

Neste contexto, a álgebra de mapas pode ser muito útil na exploração da distribuição espacial das variáveis que podem ter um papel importante na dinâmica da paisagem, a citar

relações corológicas – distância, adjacência e justaposição e tamanho das diferentes manchas, complexidade de padrões de uso do solo, como modelos de atração regional e arquiteturas de projetos de colonização, padrões de vegetação e solo, topografia, declividade e distância a fontes de semente, como no caso da sucessão vegetal. Será também mostrado nesta tese o emprego de operadores espaciais, concebidos sob a luz da álgebra de mapas, na simulação do desenvolvimento dos padrões espaciais de mudanças de paisagem.

Especificamente em relação aos modelos de simulação de paisagem, existem ainda três maneiras básicas que se pode usar um SIG. De acordo com Haines-Young (1993), estas são:

1 – sintetizar a condição média de parâmetros ou estados de uma célula ou uma mancha em um modelo; 2 – especificar parâmetros e estados pra a simulação ou construção de um submodelo para cada célula ou mancha, sem interação com a vizinhança; 3 – especificar parâmetros e estudos para um submodelo em cada célula ou mancha com interação entre elas, como por exemplo probabilidades de transição baseadas nos vizinhos mais próximos Turner (1987 e 1988).

Nesta linha de pesquisa, os SIGs podem também ser usados tanto para quantificar as mudanças na paisagem – pela sobreposição de mapas multitemporais-, como para integrar a quantidade de informação na qual as probabilidades de transição estão baseadas, por exemplo, em diferentes coberturas do solo, ecorregiões ou ecótopos, topografia, solo, história, relacionamentos de distâncias, regras de adjacências, forma e tamanho dos elementos da paisagem, etc.

Neste escopo, Flamm e Turner (1994) apresentam uma maneira simples de integração de todas as variáveis que governam as probabilidades de transição através de um modelo de camadas. Uma síntese da paisagem é formada por um modelo cartográfico, onde cada condição é representada por uma cadeia de números, por exemplo 326, onde 3 é uma

categoria de vegetação, 2 uso do solo e 6 representa o tipo de solo. Cada linha da matriz de probabilidades de transição contém P_{ijs} em função de um dado rótulo da condição da paisagem. Quanto mais camadas de dados são incluídas no mapa composto, maior é o número de condições distintas e mais extensa via ser a matriz de transição. Para conduzir a simulação, os rótulos das condições da paisagem no mapa composto são então casados com os valores equivalentes da condição da paisagem na matriz de transição.

A atual geração de GIS configura uma tecnologia estabelecida para armazenar, organizar, recuperar e modificar informações sobre a distribuição espacial de recursos naturais, dados geo-demográficos, redes de utilidade pública e muitos outros tipos de dados localizados na superfície da terra. Nesta área, um dos principais desafios para os próximos anos é transformar estes sistemas, essencialmente estáticos, em ferramentas capazes de prover representações realistas de processos espaço-temporais. A modelagem de grande quantidade de processos físicos, em aplicações como Geomorfologia, Estudos Climáticos, Dinâmica Populacional e Impacto Ambiental, requer que os GIS tenham capacidade de representar os tipos de processos dinâmicos encontrados em estudos de sistemas físicos e sócio-econômicos.

Neste contexto, a Modelagem Dinâmica Burrough (1998) procura transcender as limitações atuais da tecnologia de Geoprocessamento, fortemente baseada numa visão estática, bidimensional do mundo. O objetivo dos modelos dinâmicos em GIS é realizar a simulação numérica de processos dependentes do tempo, como nos modelos hidrológicos, que simulam o fluxo e transporte de água. Na definição de Burrough, “um modelo espacial dinâmico é uma representação matemática de um processo do mundo real em que uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações em suas forças direcionadoras”.

Tipicamente, GIS são desenvolvidos a partir de suposições pré-estabelecidas quanto a homogeneidade, uniformidade e universalidade das propriedades de seus principais componentes, que incluem o espaço e as relações espaciais, o tempo e o modelo matemático que descreve o fenômeno. Entretanto, para modelar processos dinâmicos em GIS com o nível necessário de realismo, estas suposições rígidas têm que ser flexibilizadas de tal forma que o sistema seja capaz de representar Couclelis (1997):

- O espaço como uma entidade não homogênea tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura.
- As vizinhanças como relações não estacionárias.
- As regras de transição como regras não universais.
- O sistema como um ambiente aberto a influências externas.

4. MATERIAIS E MÉTODO

4.1. logística da pesquisa

Após a aprovação do plano de dissertação em aula de qualificação, mais de vinte visitas foram realizadas na área do PA do Tarumã. Inicialmente as visitas foram feitas no prédio do INCRA, auxiliando o trabalho de mutuo interesse, georeferenciar a área de estudo nas variáveis de uso do solo e cobertura vegetal.

A identificação da área norteou e referenciou os pontos mais relevantes a nossa pesquisa. Neste momento realizamos a pré-aplicação do sistema de posição global, para se tentar detectar possíveis falhas sobre as imagens LANDSAT, denominado por Yin (2005) como pré-teste, para que as incursões tornassem claras, relevantes e objetivas, auxiliando de forma eficaz na obtenção dos dados primários.

Todo o estudo de campo exigiu cerca 05 visitas na área, pois se trata de uma área de poucas residências e diversos pontos diversificados (lotes) passíveis de inclusão Tal tarefa demandou cerca de 10 meses de trabalho compreendido entre novembro de 2004 a setembro de 2006.

4.2. A estrutura da pesquisa

Segundo Yin (2005), o estudo de caso busca coletar, apresentar e analisar dados de forma imparcial tendo como estratégia romper as fronteiras entre o fenômeno e o contexto que possam não estar claramente evidentes, no entanto essencialmente pretende preservar as individualidades existentes no fenômeno.

O método de abordagem, o estudo de caso, considera as complexas relações que determinam as diferentes formas de ocupação e permanência no ambiente, pelos seres humanos, no espaço rural, como exemplo o assentamento, o que justifica a adoção desta abordagem. Os preceitos teórico-metodológicos desse método diante ao levantamento e coleta de dados, são caracterizados pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de vários objetos, de maneira a permitir conhecimento amplo e detalhado dos casos. (GIL, 1991).

Além disso, observaram-se as organizações e as representações locais, as relações dos moradores com o ambiente e as ações públicas locais. No entanto, mais do que apontar reflexões conclusivas a respeito do tema proposto, este trabalho é, antes de tudo, um ensaio, cujo caráter é "aberto" em suas proposições.

Por trabalhar com "casos" e não com amostras representativas, o estudo de caso facilitou o entrosamento entre o observador e o observado e possibilitou a esta pesquisadora o vislumbre da experiência sentida pelo sujeito exposto ao fenômeno, permitindo uma maior profundidade na análise de cada situação e de cada fenômeno.

Por esta pesquisa estar intrínseca ao campo das ciências ambientais optamos a uma visão sistêmica onde os resultados estão diretamente ligados aos fatos sociais e não podem ser entendidos isoladamente e que é compreendido por Morin (2002) por estar presente a idéia de rede relacional: com suas partes isoladas o objeto transforma-se em sistema onde todas as partes inter-relacionam-se ao mesmo tempo em que se relacionam com o exterior, ou seja, as inter-relações ambientais.

4.3. A coleta dos dados

4.3.1. A amostragem

Preliminarmente em visita de reconhecimento da área via terrestre e aérea, o que demonstraram relativamente distintas no assentamento de forma a se poder obter as respostas

diante as categorias de interesse desse estudo: o espaço temporal e a modelagem espacial da área. Após a realização do georeferenciamento total do assentamento onde buscou-se identificar todas as áreas diversificadas no assentamento, tais como, pontos comerciais, escolas, igrejas, vicinais de maior e menor circulação de pessoas, projetos destinados a agricultura familiar (glebas). Outra técnica aplicada foram as entrevistas informais que propiciaram o diagnóstico funcional do conjunto, ou seja, moradias e locais agricultáveis e também áreas impactadas pelo abandono.

Após estas visitas iniciais foram elaborados e aplicados o questionário-formulário a título de pré-teste para que pudéssemos obter informações, tais que alcançássemos as respostas aos nossos objetivos específicos e, após adequações presentidas neste pré-teste alteraram estes questionamentos para aplicação junto aos assentados.

Posteriormente e considerando alguns critérios de interesse em nossa área determinamos áreas do conjunto onde algumas moradias poderiam ser alvo da pesquisa de campo.

4.4. Área de estudo

O Projeto de Assentamento Tarumã Mirim, criado pela Resolução N°. 184/92 de 20/03/1992, com área de 42.910,7601 ha. Situado entre os igarapés Tarumã Mirim e Tarumã Açu, seus limites a Leste e Oeste respectivamente, tendo como limites Norte e Sul, terras da União sob jurisdição da Superintendência da Zona Franca de Manaus (Figura 10) Perímetro e Localização da Área de Estudo. Esta área tem capacidade para assentar 1.042 famílias. A Figura 11 mostra Objetivando “promover” a sua ocupação, através da absorção de agricultores sem terras que viviam marginalizados em Manaus, evitando invasões ou especulações imobiliárias e possibilitando as condições para a integração ao processo produtivo regional. Estabelecendo assim, o desenvolvimento da agricultura familiar, a paisagem local ficou desde então marcada por forte grau de antropização. O sistema agrícola,

em geral praticado, foi conduzido em pequenas propriedades com culturas temporárias de subsistência, sendo comum a prática do consórcio e o uso da vegetação secundária como elemento de pousio. Neste sistema, a vegetação secundária é incorporada periodicamente à área agrícola através dos processos de corte e queima, pois conforme Denich (1991), tal formação desempenha a função de acumular na fitomassa os nutrientes a serem liberados através da queima, além de ser importante no controle das ervas daninhas instaladas durante a fase de cultivo.

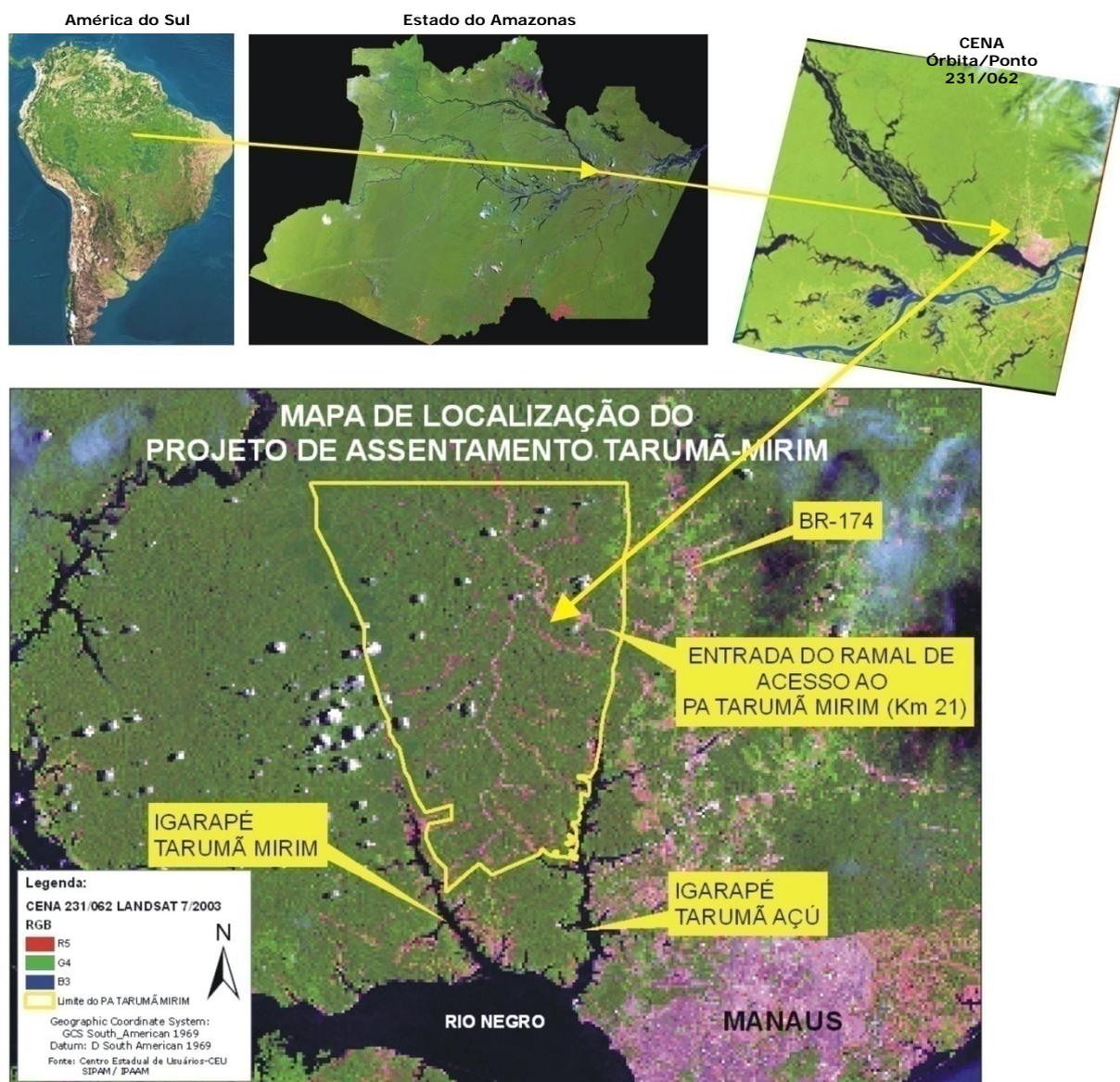


Figura 10: Perímetro e Localização da Área de Estudo.

Fonte: Centro Estadual de Usuários / CEU – INPE - SIPAM

Os dados sobre transporte, geologia, geomorfologia e relevo, solos, uso potencial da terra e aptidão agrícola foram gerados segundo RADAMBRASIL (1978).

O assentamento possui acessos rodoviários e fluviais pela rodovia federais BR-174 (que liga Manaus a Boa Vista / Roraima e por extensão à Venezuela) à altura do seu Km 21, o acesso é feito pelo Ramal do Pau Rosa, aproximadamente 9 km distante do eixo da rodovia. Na região A sudeste do PA dispõe apenas de ligação fluvial via igarapé Tarumã Açú, igarapé Tiú, igarapé Argola e a sudoeste tem acesso pelo Rio Negro e igarapé Tarumã Mirim.

A origem geológica da área do projeto de assentamento é de sedimentos terciários que formam o Grupo Barreiras, caracterizado por intercalações de arenitos, argilitos e subordinadamente conglomerados. Apresenta interflúvios tabulares e relevos do tipo aplainado, separados por vales de fundo plano e eventualmente por vales em “V”, mapeados com diferentes índices de dissecação. A intensidade de aprofundamento da drenagem é fraca. A ordem de grandezas das formas de dissecação varia de 250m a 750m (RADAMBRASIL, 1978). Com topografia em seqüências de platôs, encostas e baixios. O solo apresenta a seguinte estrutura: Latossolo Amarelo Álico com textura argilosa, muito argilosa a média nas áreas de relevo suave ondulado a ondulado nas imediações do Igarapé do Tarumã-Açú, Latossolo Amarelo Álico com textura argilosa nas áreas de relevo plano com bordos dissecados do platô central e Latossolo Amarelo Álico com textura média nas áreas de relevo suave ondulado e plano próximo ao Igarapé do Tarumã Mirim. No que se refere ao uso e potencial da terra, temos na produção de lavouras de baixo a muito baixo; a criação de gado em pastagens cultivadas apresenta baixa a muito baixo e a criação de gado em pastos naturais é insignificante; o extrativismo vegetal apresenta produção baixa na área como um todo; médio ao longo dos cursos d'água limítrofes; a exploração de madeira alto na área como um todo médio ao longo dos cursos d'água limítrofes. Aptidão agrícola apresenta aptidão regular para lavouras com manejos anuais e perenes.

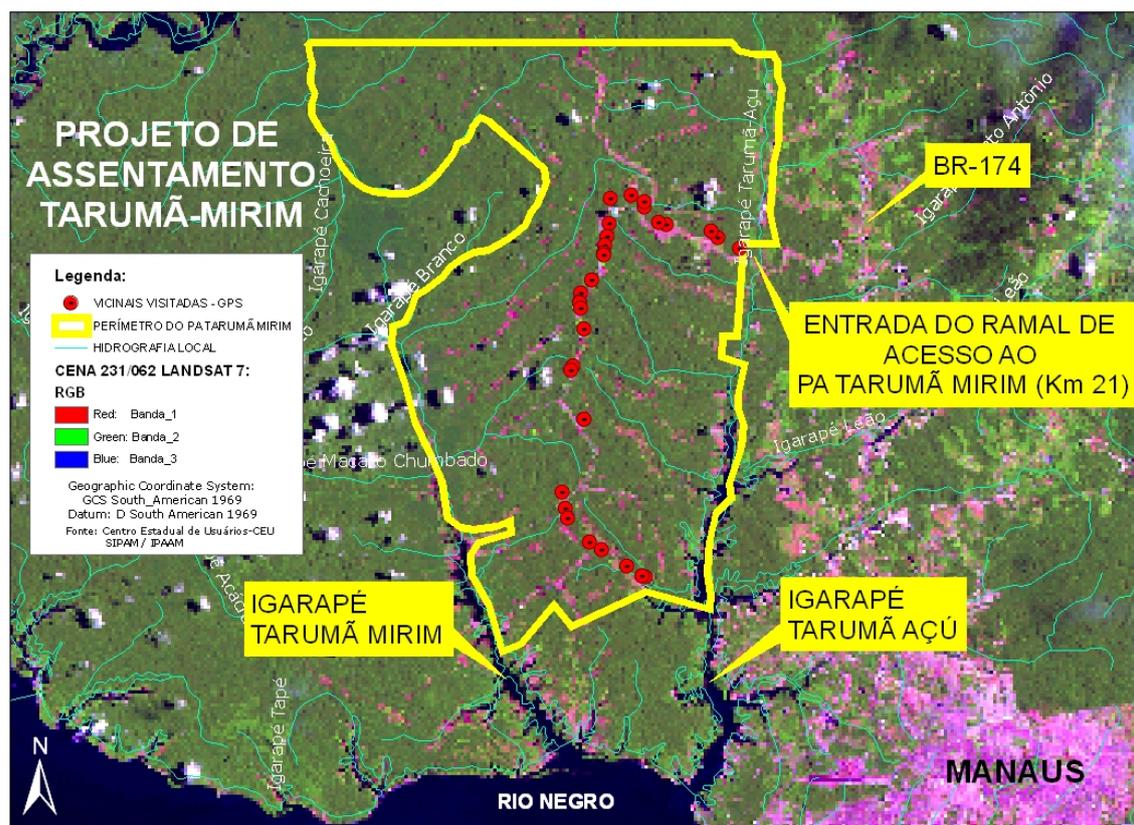


Figura 11: Área de estudo

Fonte: Pesquisa de campo (Imagem de Satélite ALNDSAT/2003).

A amostragem adotada nesta pesquisa foi do tipo probabilístico ou aleatório simples, porque todos os indivíduos da população selecionada tiveram a mesma probabilidade de serem selecionados para compor a amostra. (SILVA, 2006).

Nesta pesquisa foi amostrada o PA Tarumã Mirim cuja área possui 42.910,7601 ha com capacidade para assentar 1.042 famílias, (2001 *apud* SILVA, 2006) afirma que considera amostra uma parte, porção ou parcela, convenientemente selecionada da população que permite representá-la de forma consistente.

4.5. As técnicas adotadas para pesquisa

A coleta de dados na pesquisa foi realizada de duas maneiras: documentação direta e documentação indireta (SILVA, 2006).

A documentação direta referiu-se à pesquisa de campo realizada na área de estudo. Para Yin (2005), o uso mais importante do documento é corroborar e valorizar as evidências oriundas de outras fontes. É o levantamento de dados, propriamente dito, o qual se torna imprescindível em qualquer pesquisa, e que pode ser realizado de duas maneiras: pesquisa documental (fonte primária) e pesquisa bibliográfica (fonte secundária).

A característica da pesquisa documental, de acordo com assertiva de Marconi e Lakatos (2002) *apud* Silva (2006), é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos escritos ou não, construindo o que se denomina de fontes primárias.

Com o objetivo de se obter dados referentes à área da pesquisa foram levantados documentos existentes em arquivos públicos e particulares, em instituições públicas, além de sites da internet e com professores/pesquisadores.

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) disponibilizaram informações acerca do projeto de assentamento através de cópias do projeto original e entrevista. A internet foi uma eficaz ferramenta como uma das fontes para nossa pesquisa, dispôs de muitas informações sobre o assentamento.

Obtivemos informações na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA) disponibilizou informações sobre as questões ambientais locais, dentre várias legislações o Código Ambiental de Manaus e o Plano Diretor de Manaus.

Foram utilizadas imagens LANDSAT-TM disponibilizadas em meio digital o que auxiliou no georeferenciamento, a classificação e a geração de mapas. As imagens foram georreferenciadas através do Laboratório de Geoprocessamento da Pós Graduação do Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais/FCA/UFAM.

O Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) também forneceu uma imagem LANDSAT-TM a qual foi utilizada no trabalho sendo que todas as fontes de evidência foram

utilizadas e confrontadas com outras fontes de informação em busca da veracidade dos fatos. De acordo com Yin (2005), os registros podem ser tão importantes que podem se transformar no objeto de uma ampla análise quantitativa e de recuperação.

Esta pesquisa compreendeu técnicas de observação. Marconi e Lakatos (2000 *apud* Silva, 2006) concorrem que a Observação Direta Intensiva pode ser classificada: quanto aos meios, assistemática e sistemática; quanto à participação do observador (participante e não participante); quanto ao número de observações (individual e em equipe); e quanto ao lugar (na vida real e em laboratório). Neste contexto e dentro das características descritas pelos autores acima, foi classificada como Observação Indireta intensiva, Sistemática, Não participante, Individual e realizada na vida real.

Utilizamos também técnica de Observação Sistemática uma vez que as ações foram planejadas visando atender à hipótese e aos objetivos estabelecidos. E, as coletas e os registros dos dados foram previamente definidos, o que ajudou na estruturação do trabalho. A presença na área de estudo em períodos adversos proporcionaram o acompanhamento de fatos e dos fenômenos, facilitando assim a análise das relações socioambientais no assentamento.

Nosso estudo caracterizou-se como de observação não-participante porque mesmo em contato com a realidade, não houve integração com ela, apenas observação dos fenômenos sem, contudo participar. Ao mesmo tempo tratou-se como observação individual por ter sido realizada sempre nesta condição. Igualmente caracterizou-se como observação na vida real por ter sido realizada na própria área do assentamento, onde todos os dados referentes à pesquisa puderam ser levantados e registrados de acordo com a realidade encontrada, no momento em que se manifestavam.

Esta se tratou de uma das mais importantes técnicas de pesquisa segundo Yin (2005), pois afirmou sua importância como fonte de informação para um estudo de caso e conteve o objetivo de averiguar os fatos, determinar opiniões e posicionamentos para que a partir desses

se construísse o entendimento sobre a problemática. É uma técnica muito utilizada nas pesquisas de campo e de acordo com Gonçalves (2005) é eficaz, principalmente quando se deseja obter dados fidedignos na realização de uma pesquisa. Seu principal objetivo é na explicação de Andrade (2003) *apud* Gonçalves (2005):

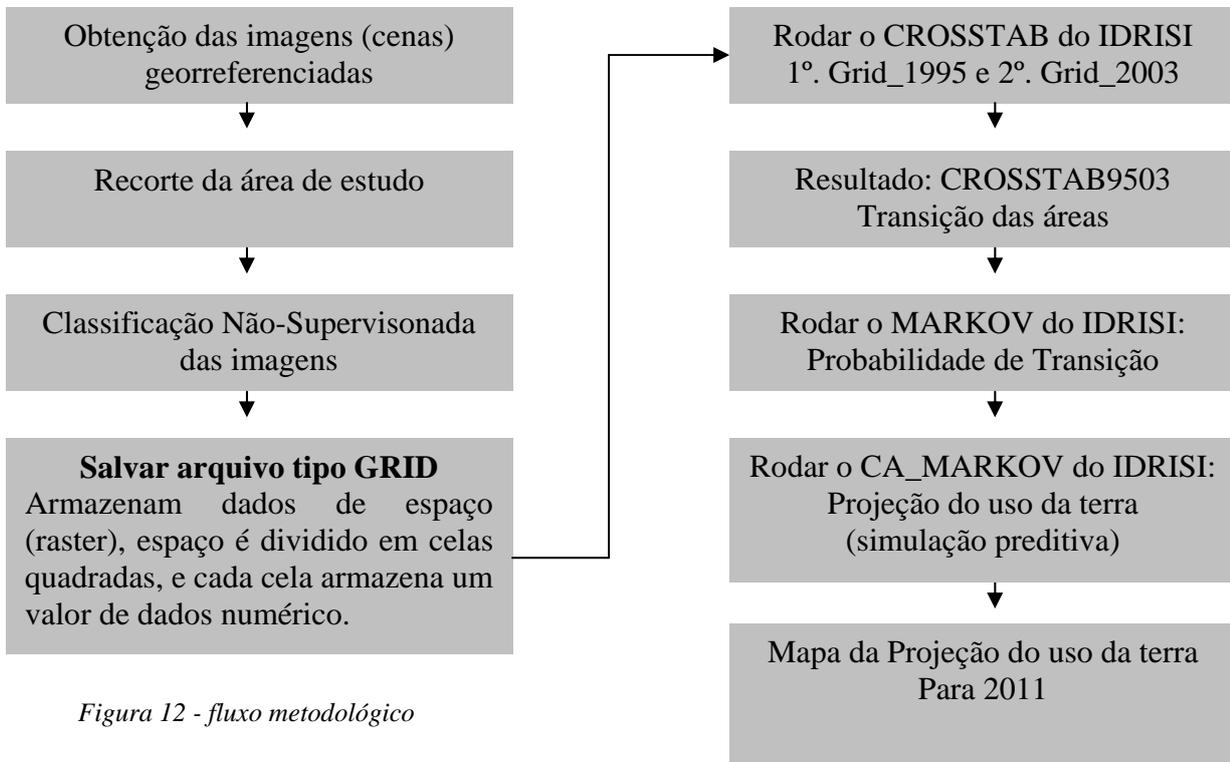
a) Averiguar os fatos e fenômenos; b) Identificar os fatos ou fenômenos; c) Determinar, pelas respostas individuais, a conduta previsível em certas circunstâncias; d) Descobrir os fatores que determinam ou influenciam opiniões, sentimentos ou condutas e que podem ajudar a comparar a conduta de uma pessoa no presente e no passado e deduzir seu comportamento no futuro.

Em nossa pesquisa adotamos a entrevista Estruturada, pois se baseou num roteiro previamente estabelecido na aplicação das variáveis, responsáveis pela explicação dos resultados da pesquisa (SILVA, 2006).

O registro fotográfico foi uma das técnicas pontuais deste estudo, pois foi utilizado como complemento no momento da transmissão das características do ambiente. Foram obtidos aproximadamente trezentos e cinquenta registros fotográficos o que facilitou a caracterização da área.

Partindo-se do princípio que os fenômenos de interesse não são puramente de caráter histórico, encontrar-se-ão disponíveis para observação alguns comportamentos ou condições ambientais relevantes (Yin, 2005).

Quanto à observação direta extensiva, esta foi realizada através de dois meios: a incursão motorizada e área, na qual podemos mostrar (Figura 11) os passos pelos quais as imagens LANDSAT-TM foram processadas.

Fluxo metodológico:*Figura 12 - fluxo metodológico*

5. RESULTADOS

5.1. Análise Multitemporal

A geração do mapa de uso e cobertura da terra foi desenvolvida a partir das imagens de satélite Landsat ETM - 5 e 7 (Enhanced Thematic Mapper) respectivamente dos anos de 1995 e 2003, correspondentes à Órbita/Ponto 231/062. Em seguida, foi aplicada uma máscara delimitando os limites do Assentamento Tarumã Mirim sobre a imagem, de modo a ser obtido um recorte localizado da área a ser estudada Figura 13 e Figura 14, depois, foram usadas técnicas de sensoriamento remoto para a Classificação Não-Supervisionada, as classes comparadas foram o uso da terra (antropização), cobertura vegetal, Figura 15 e Figura 16. Tal classificação foi escolhida pela dificuldade de informações sobre a aptidão da terra, análises do solo, atividades realizadas pelos assentados, informações cadastrais dos mesmos e dificuldades de acesso aos ramais (vicinais) do Assentamento Tarumã Mirim. Contudo, tal escolha deve-se também em função do Modelo Estocástico a ser implementado (Cadeia de Markov) para a apresentação da dinâmica da paisagem de forma preditiva, caracterizando o uso e cobertura da terra para cenários futuros.

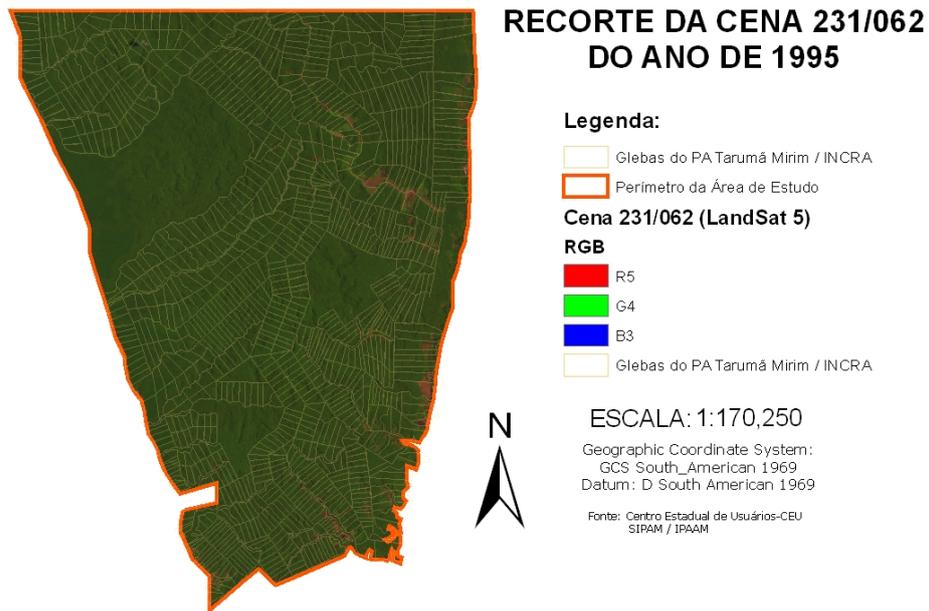


Figura 13: Recorte da Cena 231/062 de 1995 delimitando a área de estudo (LandSat 5 - TM)

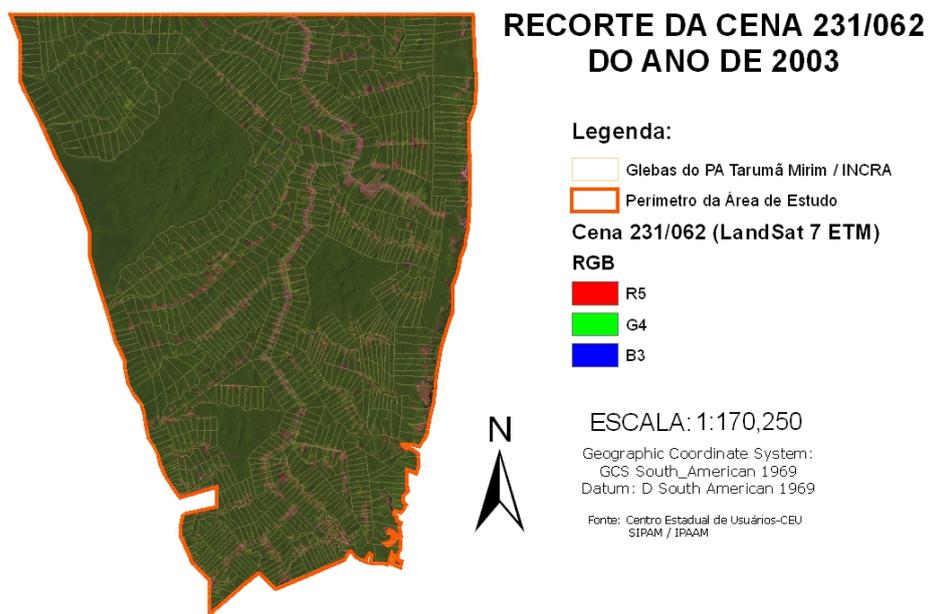


Figura 14: Recorte da Cena 231/062 de 2003 delimitando a área de estudo (LandSat 7 - ETM)

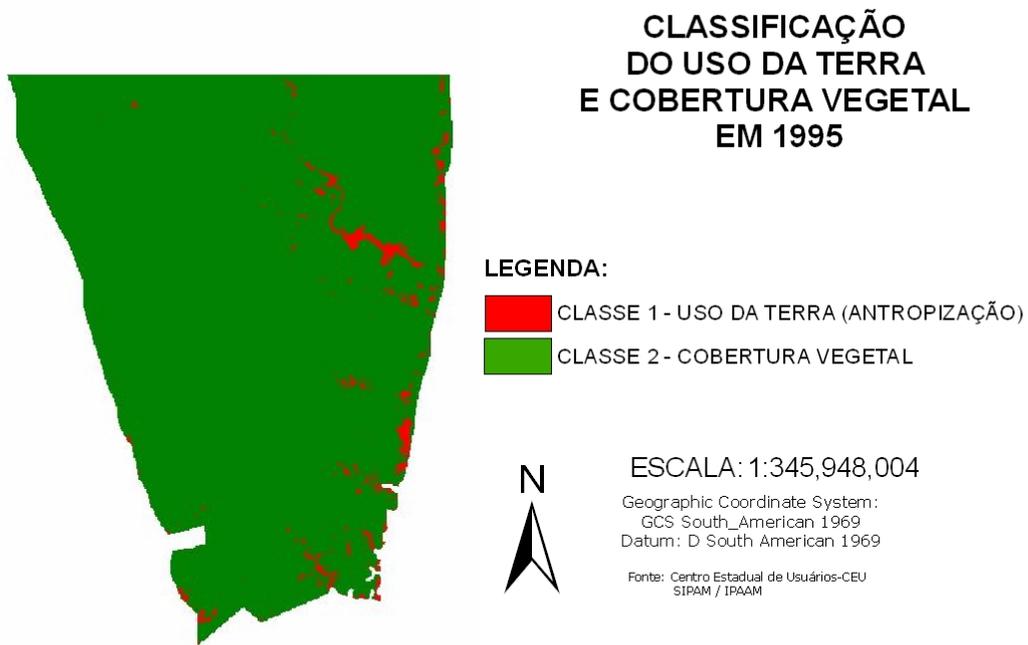


Figura 15: Classificação segundo o uso da terra e a cobertura vegetal da Cena 231/062 de 1995.

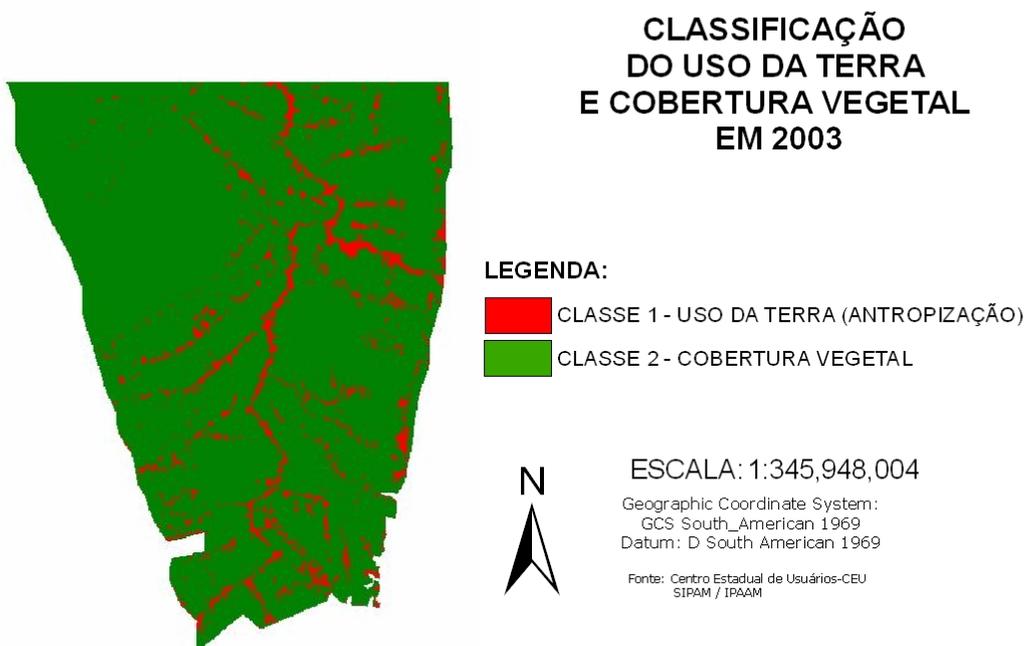


Figura 16: Classificação segundo o uso da terra e a cobertura vegetal da Cena 231/062 de 2003.

Nesse processo de classificação Não-Supervisionada utilizou-se o *software* (ArcGIS™ 9.0) em seu módulo SPATIAL ANALYST que decidiu, com base em regras estatísticas, quais as classes a serem agrupadas e quais os *pixels* pertencentes a cada uma.

5.2. Simulação Preditiva entre 2003 a 2011

Foi usado para a modelagem dinâmica da paisagem de forma preditiva o módulo de análise de SIG e a série de mudança de tempos dos anos de 1995 a 2003, os dois arquivos recortados e classificados foram exportados no formato *.GRID, extensão esta reconhecida pelo IDRISI e responsável pelas Características do GRID que pode ser mudado e que influenciam na visibilidade, cor e largura, a fonte e lugares de decimal das marcas como também os pontos por unidade de mapa, especifica do sistema de referência e unidades de referência (plane [default] / lat/long / utm / or specific name) e reference units (m [default] / ft / km / mi / deg / rad).

Os arquivos classificados da Figura 17 e Figura 18 do formato *.GRID, são carregados como arquivos do tipo RASTER LAYER, partindo-se então para a análise de SIG (GIS Analysis), questões de banco de dados (*Database Query*) e a execução do CROSSTAB, que é responsável pela tabulação cruzada dos usos da terra pelas duas imagens classificadas, capaz de acompanhar as mudanças da paisagem dos períodos de 1995 e 2003 de forma satisfatória. O CROSSTAB executa duas operações, a primeira é o *crossstabulation* de imagens no qual são comparadas as classes de uma imagem com a da segunda imagem e uma tabulação é mantida com o número das classes em cada combinação. O resultado desta operação é uma matriz que lista a tabulação soma como também várias medidas de associação entre as imagens.

A primeira destas medidas é o V de Cramer, um coeficiente de correlação que varia de 0.0 não indicando nenhuma correlação a 1.0 indicando correlação perfeita. Além disto, uma estatística de Chi-quadrado é produzida junto com os graus apropriados de liberdade de

forma que a significação do V de Cramer pode ser testado. Se o Chi-quadrado é significativo, o V de Cramer é significativo também.

Se as duas imagens têm o mesmo número de categorias exatamente, outra medida de associação chamada Kappa (também chamada KHAT ou o Kappa Index de Acordo-KIA) é produto. Isto também varia de 0.0 a 1.0 com a mesma interpretação. Só tem significado se as categorias nos dois mapas de 1995 e 2003 descreverem o mesmo tipo de dados com as mesmas classes de dados.

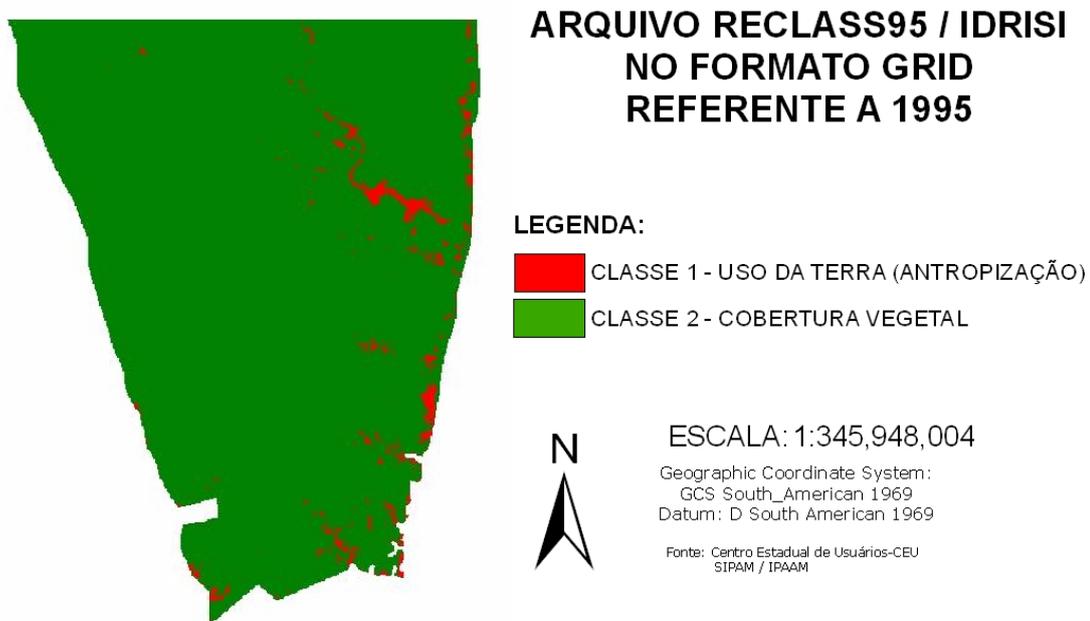


Figura 17: Imagem de 1995 no formato RASTER (*GRID) pronto para receber a tabulação cruzada.

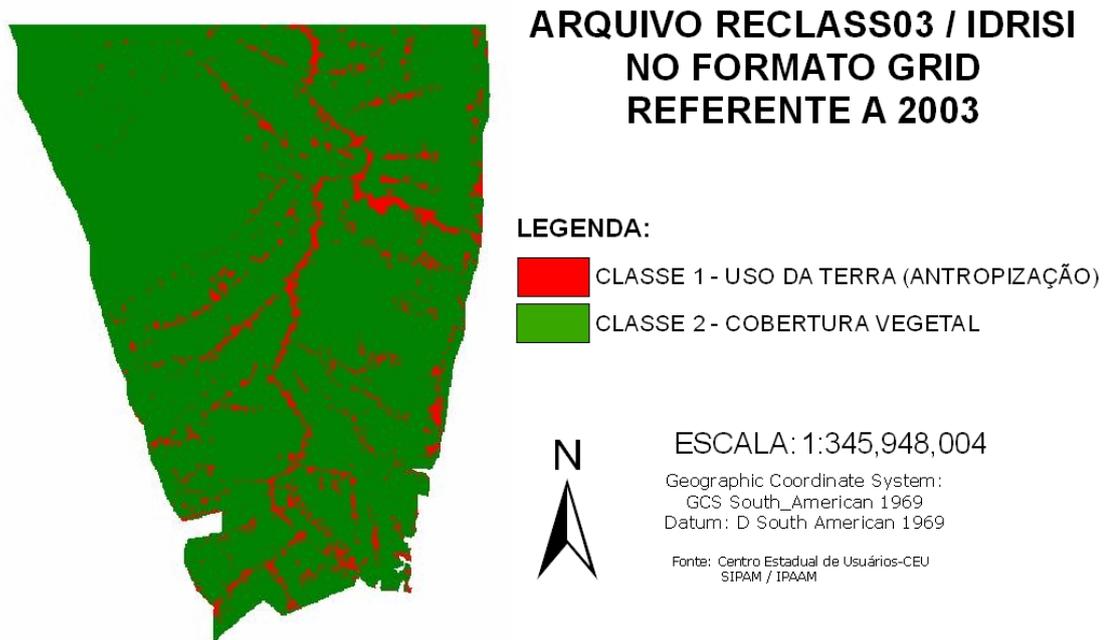


Figura 18: Imagem de 2003 no formato RASTER (*.GRID) pronto para receber a tabulação cruzada.

A segunda operação do CROSSTAB é a classificação cruzada (Figura 19). A classificação cruzada pode ser descrita como uma múltipla lista de exibição de todas as combinações do lógico e operação. O resultado é uma imagem nova que mostra os locais de todas as combinações das mudanças das classes entre si das imagens originais.

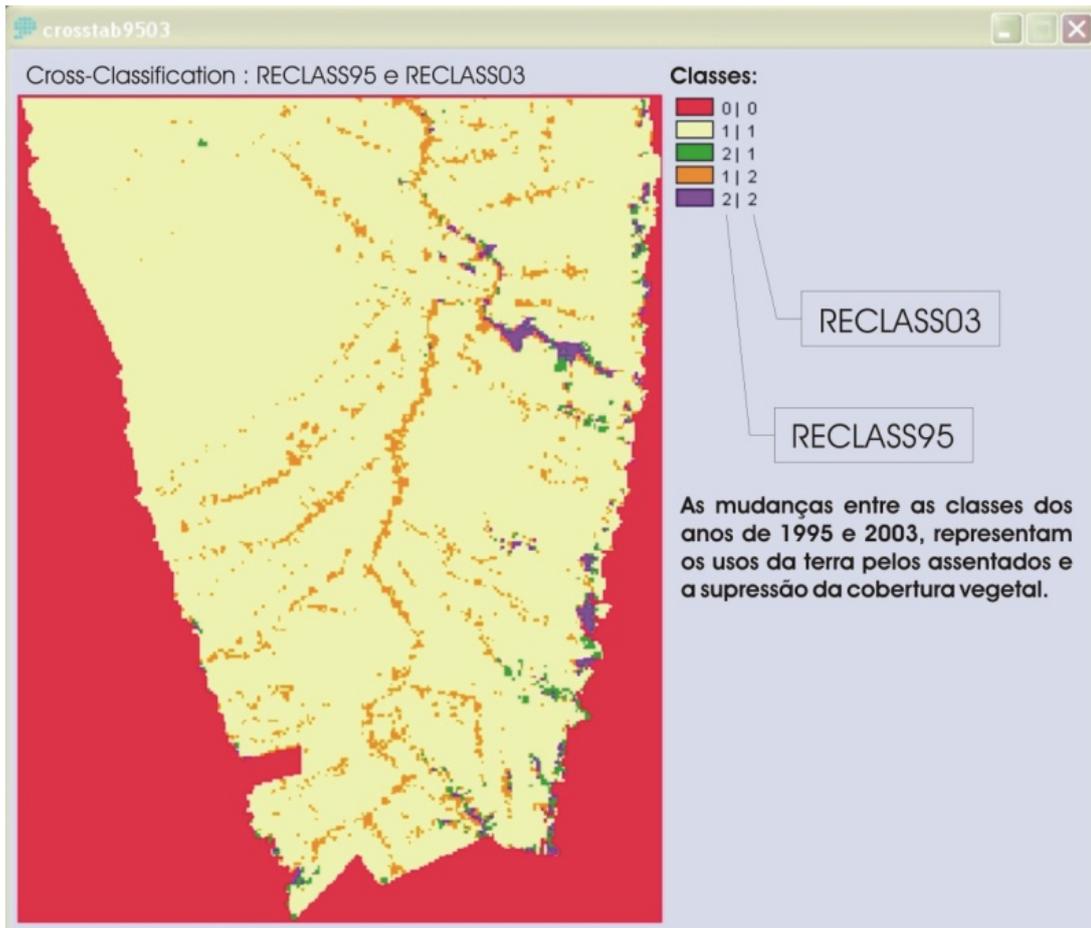


Figura 19: Classificação Cruzada entre 1995 e 2003.

Em seguida é aplicado Markov (GIS Analysis/Change/Time Series), módulo para prever as mudanças fundadas puramente no estado de uso de terra em 1995 e em mudança de uso de terra e precedendo em 8 anos entre 1995 e 2003 (Figura 20).

O módulo de MARKOV analisa um par de imagens de cobertura da terra e produz uma matriz de probabilidade de transição, uma matriz de áreas de transição, e um jogo de imagens de probabilidade condicionais. A matriz de probabilidade de transição é um arquivo de texto (markov9503.txt) que registra a probabilidade que cada classe da cobertura da terra mudará para outra classe. A matriz de áreas de transição é um arquivo de texto que registra o número de pixels que é esperado que mude de cada tipo de classe de terra a um outro tipo de cobertura de terra em cima do número especificado de unidades de tempo. Em ambos estes

arquivos, representam as linhas das classes de cobertura de terra mais velhas e as colunas representam as categorias mais novas.

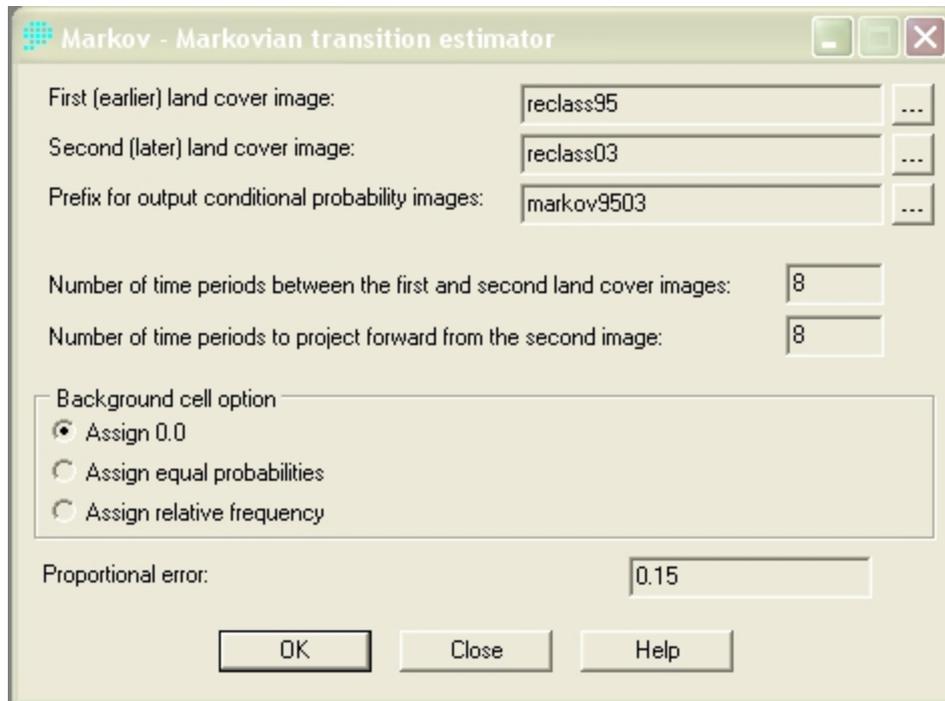


Figura 20: Rotina do Estimador de Transição Markoviana entre 1995 e 2003, produzindo uma matriz de probabilidade de transição.

Finalizando a modelagem dinâmica da paisagem de forma preditiva, o módulo CA_Markov por definição é um autômato celular sendo agente ou objeto que têm a habilidade para mudar seu estado fundados na aplicação de uma regra que relaciona o estado novo a seu estado prévio e esses de seus vizinhos. O filtro de CA desenvolverá um fator de espacialidade com objetivo de mudar o estado das classes baseado em seus vizinhos.

Para executar CA Markov é necessário alimentar a rotina com a imagem de uso da terra inicial (RECLASS03), o arquivo de transição de áreas Markoviana (markov9503transition_áreas), a imagem de conveniência de transição (MARKOV9503.RGF), definir o arquivo de projeção da cobertura da terra (CA_MARKOV2011.RST), indicar o número de repetições (períodos de tempo – 8 anos) entre o começo e o fim da projeção e o tipo de filtro para o automata celular de proximidade é de 5X5.

Após, alimentar o módulo CA_MARKOV com as variáveis necessárias para se obter o mapa de mudança da cobertura da terra (Figura 21), o modelo executará o processo estocástico que levou aproximadamente 35 minutos para realizar os relacionamentos entre as classes de 1995 com as de 2003, determinando assim às mudanças de estados (classes) e projetando o mapa das classes preditivas da modelagem dinâmica espacial do uso da terra e cobertura vegetal do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim (Figura 22).

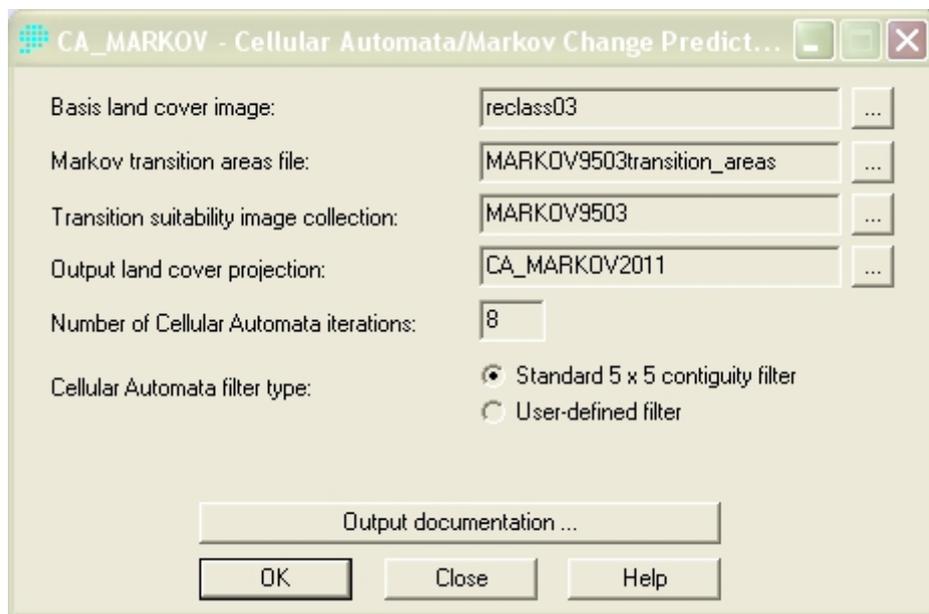


Figura 21: Módulo experimental de cenários futuros – CA_MARKOV2011.

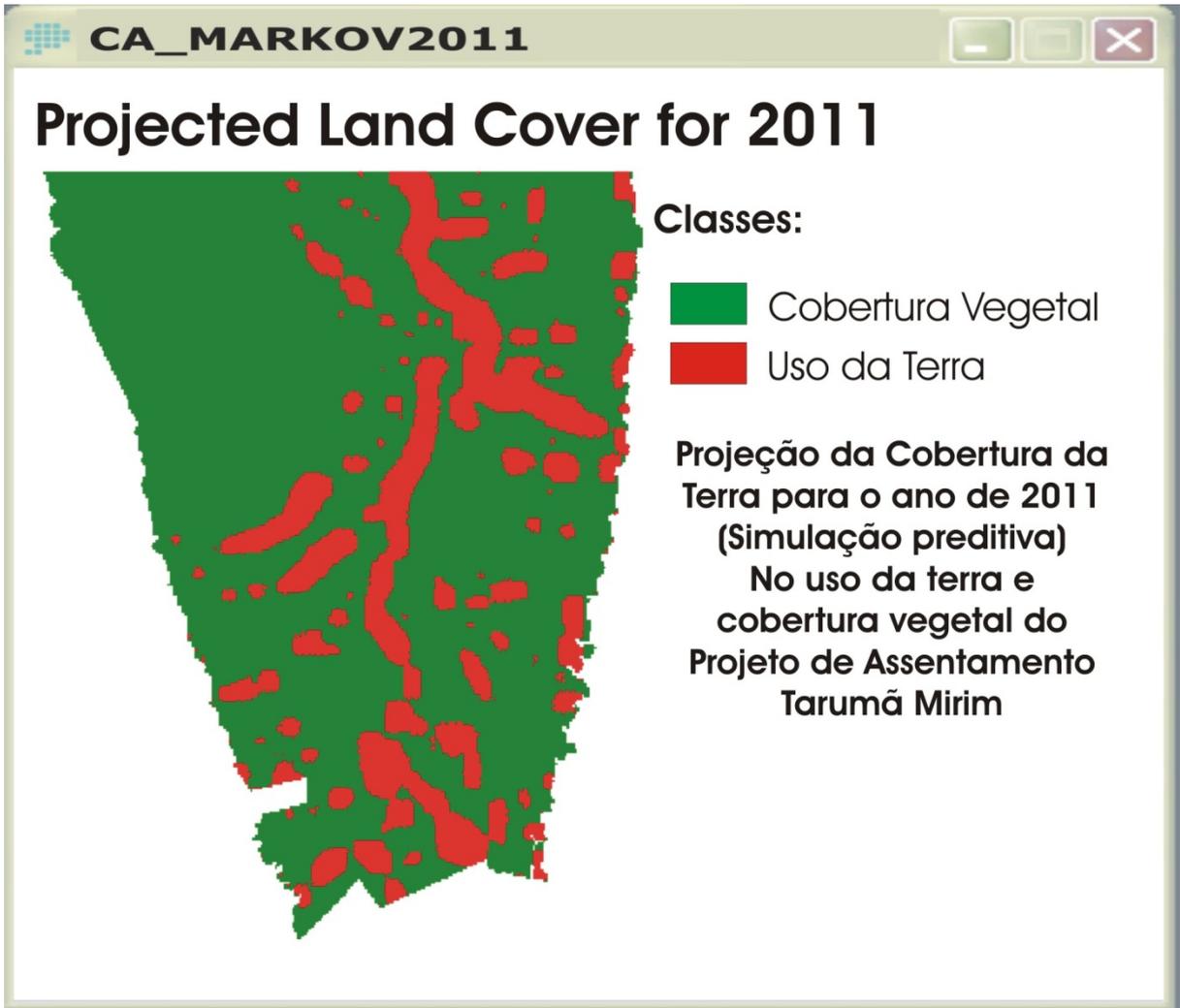


Figura 22: Projeção da Cobertura da Terra (CA_MARKOV2011) Simulação Preditiva.

Com isso, completa-se os passos para à obtenção de uma simulação preditiva entre 1995 e 2003 projetando as mudanças na paisagem (dinâmica espacial) para o uso da terra e seus reflexos na cobertura vegetal do Assentamento Tarumã Mirim para o ano de 2011, utilizando Autômato Celular.

6. DISCUSSÃO

6.1. Análise Multitemporal

A classificação das imagens de 1995 e 2003, ambas da Órbita/Ponto 231/062 possibilitou a definição de duas classes: uso da terra e cobertura vegetal. A ocupação ao longo das viciniais principais: Pau Rosa, Cooperativa e Caniço que acompanham os interlúvios, demonstram assertiva na escolha do modelo de arquitetura do tipo orgânica (seguindo o interlúvio) do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim. Porém, em 1995 ponto de partida para a análise multitemporal do Assentamento Tarumã Mirim, pode-se observar que 9 anos antes da criação do Projeto de Assentamento (criado pela Resolução N°. 184/92 de 20/03/1992) já havia a ocupação em 1986 de forma desordenada e uso dos recursos naturais sem planejamento (moradia, agricultura, extrativismo . . .) existente na área (Figura 23).

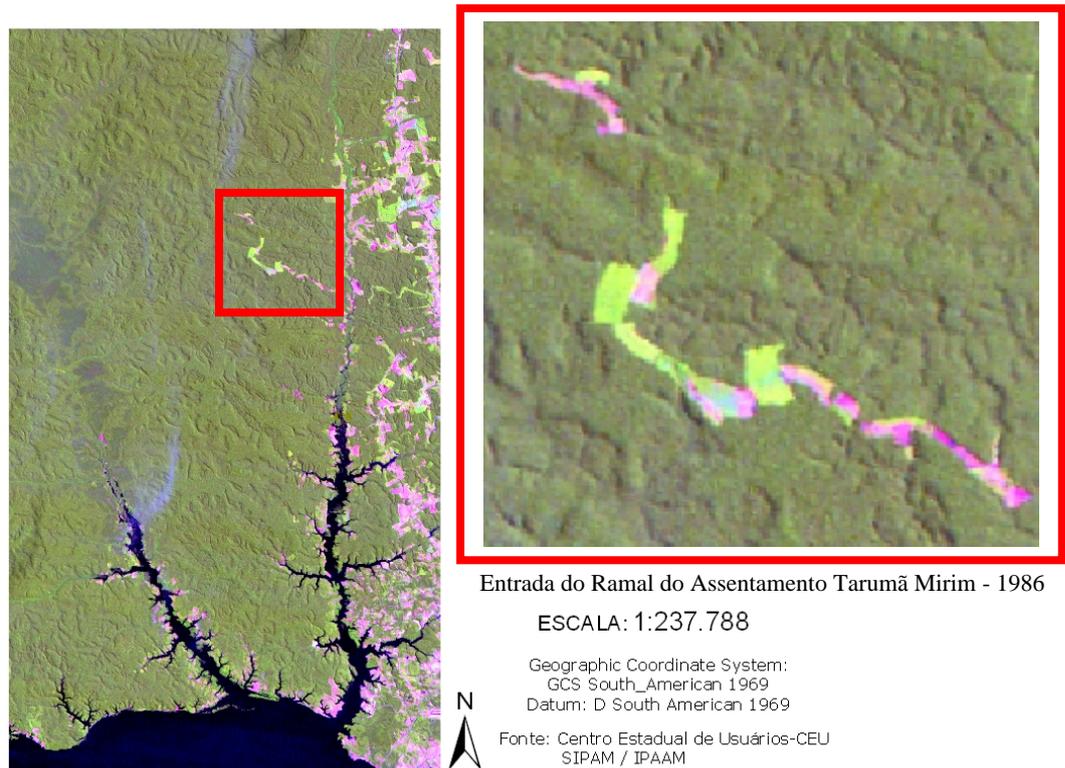


Figura 23: Ocupação antes da criação do Assentamento Tarumã Mirim em 1986.

Tal comprovação fez com que o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA cria-se o Assentamento Tarumã Mirim, com o propósito de promover o uso, regularização e proteção ambiental. A criação do assentamento pôde colaborar com a demanda de moradia na cidade de Manaus, que já estava sofrendo os primeiros focos de invasões e especulação imobiliária, bem como assentar famílias oriundas do êxodo rural e fluxo migratório ocorrido à época.

A interpretação visual da imagem está baseada em certos princípios de análise, onde estão incluídos os métodos para detectar, identificar e medir objetos observados a partir de uma perspectiva orbital, baseando-se na aplicação das bandas Landsat 5 TM, a saber:

Banda 3 (R=vermelho), Banda 4 (G=verde) e Banda 5 (B=azul) capazes de identificar respectivamente: Absorção alta de clorofila, distinção do solo e vegetação, reflexão alta da vegetação, determinação de massa orgânica, distinção terra/água, absorção mínima da água, determinação do conteúdo de água no solo e na vegetação e distinção de nuvens. Nesse

sentido pelas tonalidades de verde que variam até verde-escuro com textura rugosa, temos uma Floresta Ombrófila Densa, as de tonalidades de verde-claro, textura lisa e quase homogênea temos uma área de solo mais exposto, quando a classe é o rosa-avermelhado, temos a implantação de pasto, classe idêntica às demais áreas com tendência à exposição do solo, configura-se agricultura familiar e classes em tons de azuis celeste, para águas com bastante quantidade de sedimentos (Rio Solimões), ou preto para aquelas com menor quantidade de sedimentos (Rio Negro).

A delimitação da área de estudo, classificação das variáveis quantificadas e qualificadas possibilitou o acompanhamento da dinâmica do espaço-temporal da área do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim (Figura 24).

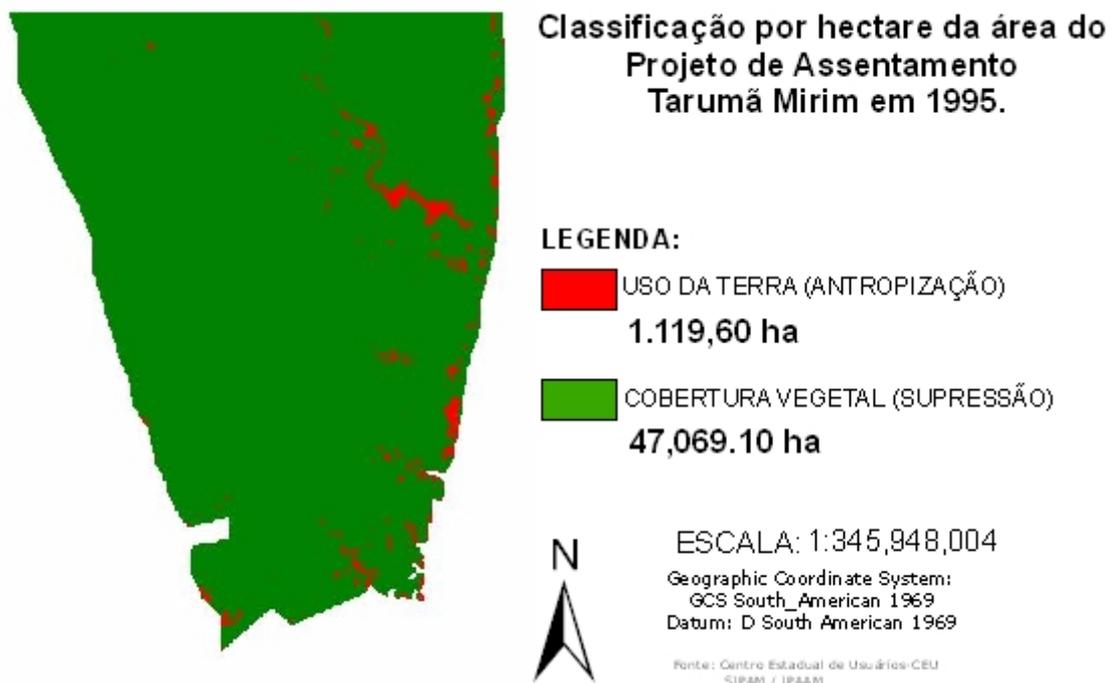


Figura 24: Classificação espaço-temporal do PA Tarumã Mirim em 1995.

A indicação no crescimento (antropização) do uso da terra de 1995 até 2003 foi da ordem de 1.955,70 ha, apresentando um bom índice no uso dos recursos naturais, devendo ser

levado em conta se as práticas agrícolas e florestais estão em conformidade com as da agricultura familiar, e dentro da legislação ambiental no que tange o licenciamento das atividades, sendo que o Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas – IPAAM, órgão este regulamentador e licenciador das atividades que direta ou indiretamente interagem com o meio ambiente. O crescimento está ocorrendo ao longo das vicinais e ramais, seguindo o interlúvio, conforme (Figura 25). A arquitetura usada é capaz de proporcionar menor degradação a área de preservação permanente para isso deve-se feito um levantamento apoiado em sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica para quantificação e qualificação das áreas que estão sendo impactadas e oferecendo risco a fauna, flora local e as áreas de preservação permanente (APP).

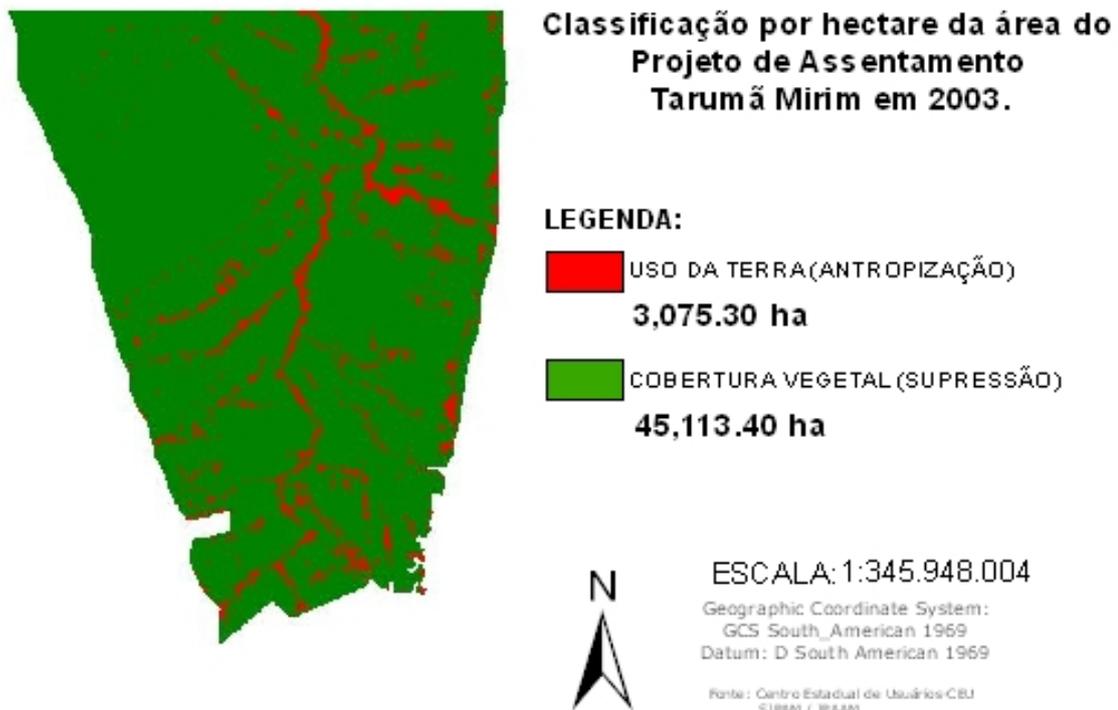


Figura 25: Classificação espaço-temporal do PA Tarumã Mirim em 1995.

A supressão florestal desde 1995 até 2003 foi da ordem de 1.955,70 ha, existem várias situações no uso dos recursos florestais, desde o desmatamento sem planejamento para implantação de cultura agrícola, tanques de piscicultura, pasto, construção de caieiras (produção de carvão). Existem ainda vários estágios sucessionais em andamento, como campinaranas e capoeiras, mas, existem áreas degradadas e abandonadas comprometidas pela erosão.

Outra situação muito alarmante é o desmatamento para implantação de projetos produtivos e em seguida o seu abandono por falta de planejamento, política de crédito rural e assistência técnica.

No Gráfico 01, observa-se às variações entre as classes temporais e os incrementos por área (ha) entre 1995 e 2003, com projeção preditiva para 2011, sinalizando crescimentos antrópicos e supressões na cobertura vegetal sem um planejamento consolidado com vistas as políticas agrárias e ambientais.

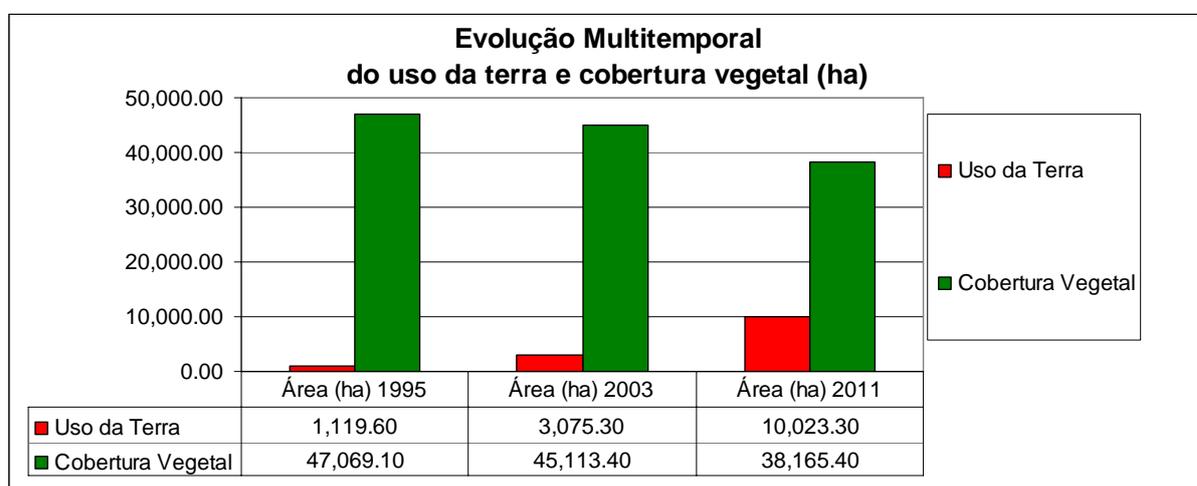


Gráfico 1: Evolução da antropização e supressão da vegetação entre 1995 a 2011.

Evidências quantitativas apontam que o Projeto de Assentamento Tarumã Mirim está aumentando o uso da terra (Agricultura Familiar) sem o devido planejamento, monitoramento e controle territorial, gerando a diminuição da cobertura vegetal e conseqüentemente interferindo na rede hidrográfica por meio de assoreamentos e voçorocas. Neste universo de

questionamentos, podemos levantar as seguintes questões: Quantas famílias estão assentadas? Qual a taxa de permanência no PA Tarumã Mirim? Quais as atividades efetivas de produção visando à agricultura familiar? Quais as políticas públicas existentes? Estes pontos de questionamentos deveriam explicar o contínuo crescimento e uso da terra, mas, as dificuldades institucionais locais e nacionais demonstram a baixa executabilidade das metas definidas pelo Governo Federal para o Plano Nacional de Reforma Agrária. E a supressão da vegetação sem planejamento sustentável dos recursos naturais existentes no PA Tarumã Mirim pode comprometer esse projeto de assentamento de forma irreversível.

No Gráfico 02, têm-se os percentuais do uso da terra e cobertura vegetal responsáveis pelos cenários atuais e futuros.

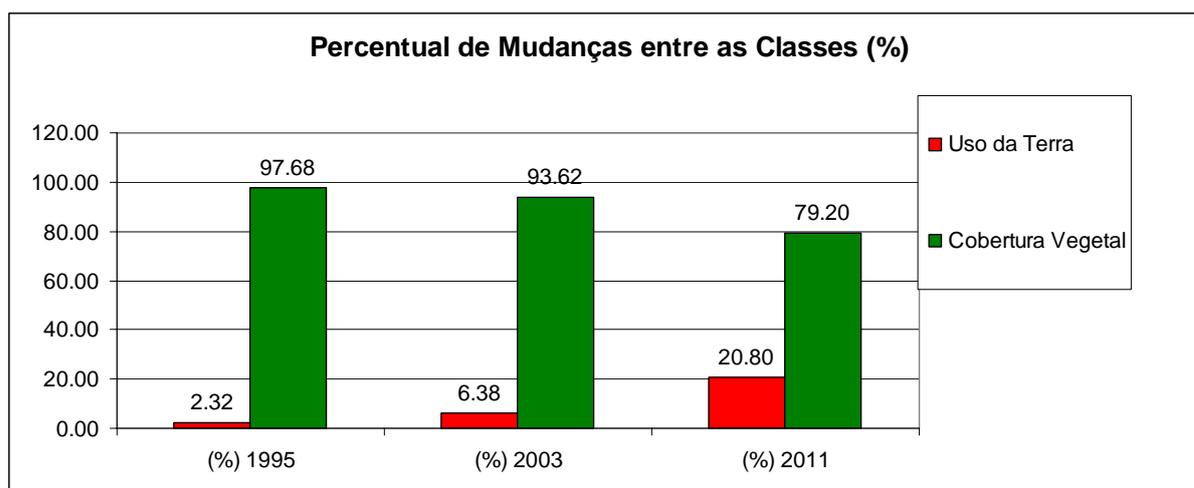


Gráfico 2: Percentual das transições de antropização e supressão da vegetação entre 1995 a 2011.

6.2. Simulação preditiva

A modelagem (GIS Analysis / IDRISI Kilimanjaro 14.01) da mudança do uso da terra e cobertura vegetal projetada para 8 anos no futuro (simulação preditiva), tendo como parâmetros dois períodos de tempos distintos (1995 e 2003) do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim, onde os mesmos representam probabilidades de mudanças para 2011 utilizando a Teoria da Cadeia de Markov, pode-se dizer que se o estado presente do sistema é

conhecido, a probabilidade de qualquer estado futuro pode ser determinado sem referência ao passado.

Após, a realização da Tabulação Cruzada (CROSSTAB) obteve-se a matriz das imagens e as associações das classes, demonstrando as possíveis transições entre o uso da terra, supressão vegetal, regeneração florestal e cenários futuros.

Na Figura 26, observam-se à evolução do uso da terra, cobertura vegetal ao longo das principais vicinais do Pau Rosa, Caniço e Cooperativa.

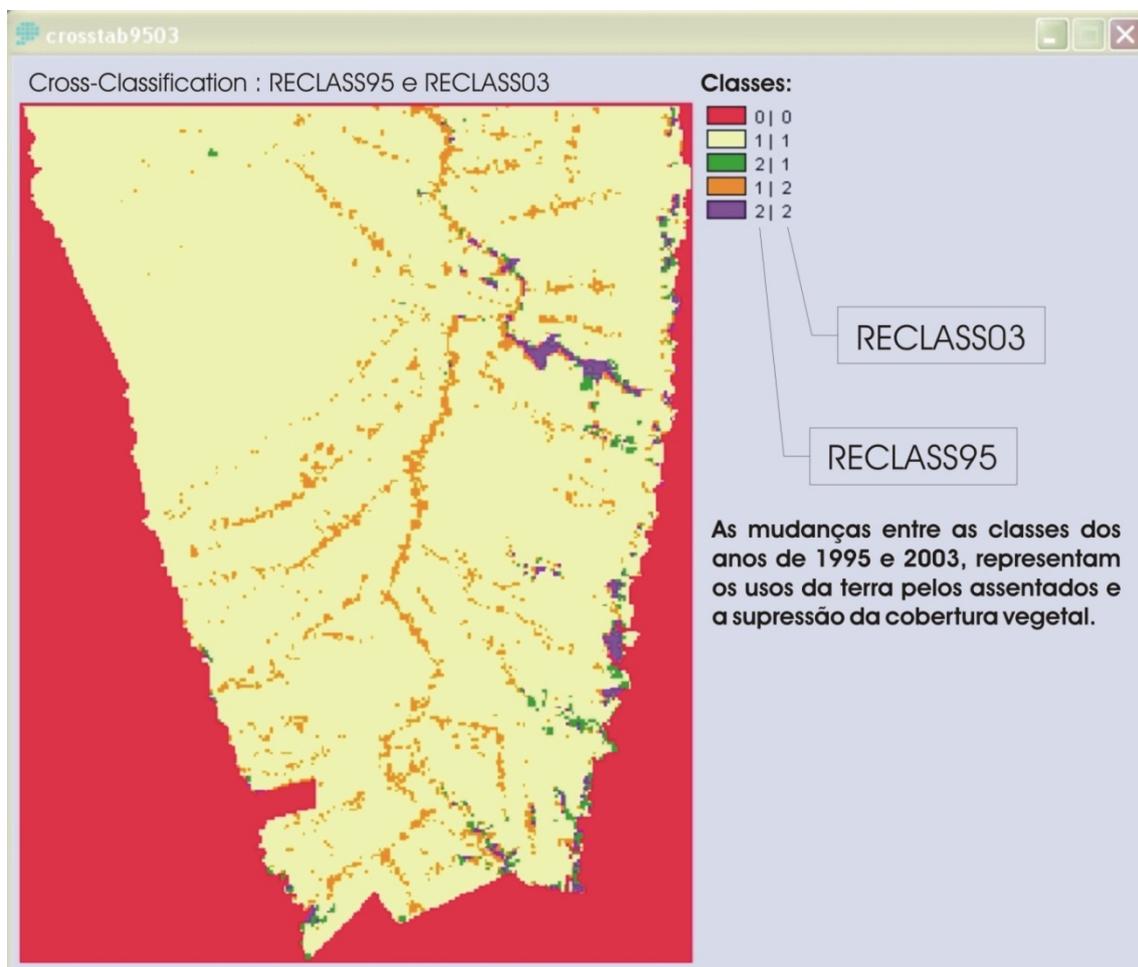


Figura 26: Mapa da tabulação cruzada (CROSSTAB9503) entre os anos de 1995 e 2003.

Em seguida, o IDRISI gerou a tabela – 2 capaz de apresentar a significância entre as mudanças ocorridas nas classes de uso da terra e cobertura vegetal, a tabela 2 trata da tabulação cruzada e a tabela 3 da tabulação cruzada proporcional entre 1995 e 2003.

Tabulação Cruzada de RECLASS95 (colunas) contra RECLASS03 (linhas):

Classes	0	1	2	Total
0	25817	0	0	25817
1	0	49431	695	50126
2	0	2868	549	3417
Total	25817	52299	1244	79360

Tabela 3 – Tabulação cruzada entre as classes de 1995 e as classes de 2003.

FONTE: IDRISI / Crosstab.

$$\begin{aligned} \text{Chi-Quadrado} &= 83862.57031 \\ \text{Graus de liberdade (df)} &= 4 \\ \text{V de Cramer} &= 0.7269 \end{aligned}$$

Tabulação Cruzada proporcional

Classes	0	1	2	Total
0	0.3253	0.0000	0.0000	0.3253
1	0.0000	0.6229	0.0088	0.6316
2	0.0000	0.0361	0.0069	0.0431
Total	0.3253	0.6590	0.0157	1.0000

Tabela 4 – Tabulação cruzada proporcional.

FONTE: IDRISI / Crosstab.

$$\text{Kappa} = 0.9059$$

O resultado da Tabulação Cruzada (CROSSTAB9503) descreve uma correlação significativa entre as imagens e suas mudanças de estados demonstrados pelo KAPPA = 0.90 (1.00=correlação ideal) e o V de Cramer = 0.72.

Em seguida foi executado o modelo Markoviano responsável pelos processos estocásticos, identificando a matriz de probabilidades de transição (Tabela 3) estimadas com base nos dados dos recortes das cenas de 1995 e 2003 e a matriz de expectativa de transição (Tabela 4). Todos derivados das técnicas de Sensoriamento Remoto.

Probabilidade de transição entre as classes :

Probabilidade de transição	Classe 1	Classe 2
Classe 1	80.34%	19.66%
Classe 2	62.49%	37.51%

Tabela 5 – Matriz da Probabilidade de Transição.

FONTE: IDRISI / Markov.

A expectativa de transição (Tabela 5) é o registro dos números de *pixels* que é esperado que mude de cada tipo de uso da terra e cobertura vegetal em cima do número especificado de unidades de tempo (8 anos).

Expectativa de Transição <i>Pixels</i>	Classe 1	Classe 2
Classe 1	40271	9855
Classe 2	2135	1282

Tabela 6 – Matriz de Expectativa de Transição.

FONTE: IDRISI / Markov.

Por último, foi executado Autômato Celular de Markov, a Figura 27 (CA_MARKOV2011) é um Autômato Celular combinado com Cadeia de Markov, onde a predição do procedimento que soma um elemento de proximidade de espaço como também conhecimento da distribuição provável de espaço de transições para Markov, matriz das classes, vizinhança, conjunto dos estados discretos, conjunto das regras de transição e o incremento discreto do tempo (2003).

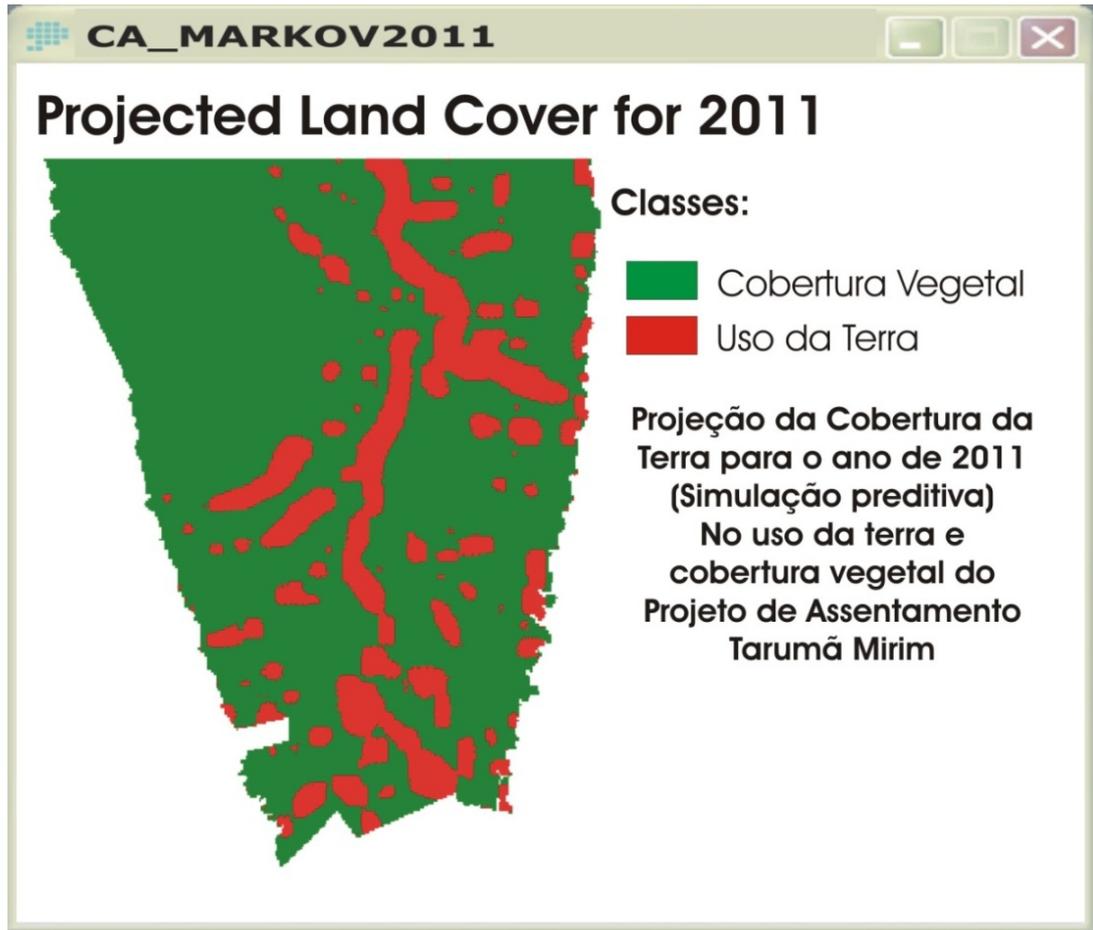


Figura 27: Projeção da Cobertura da Terra para o ano de 2011.

7. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos desta pesquisa não devem ser encarados como alarmistas e tampouco definitivos com relação ao uso da terra e cobertura vegetal no Projeto de Assentamento Tarumã Mirim, já que a Reforma Agrária e a Agricultura Familiar são as sementes de grandes mudanças. Durante muito tempo, a concentração de terras no Brasil foi responsável por um processo de exclusão dos pequenos agricultores, que ficaram à margem do crescimento econômico e da oferta de direitos sociais. Esse fato acabou provocando o empobrecimento da população rural e uma intensa migração das famílias do interior do estado para a cidade de Manaus. Mas, é sabido que somente a criação do projeto de assentamento não determina o seu sucesso, devendo ser levado em conta o estímulo do desenvolvimento sustentável, regularização fundiária, crédito fundiário, educação, seguridade e acesso a cultura, variáveis indispensáveis para o sucesso no uso da terra, escoamento da produção e aumento da oferta de emprego e alimentos no mercado consumidor local, estadual e nacional.

Tal situação revela que desde a sua criação no ano de 1992, a área destinada ao Projeto de Assentamento Tarumã Mirim, já sofria em 1986 antropização sem planejamento socioeconômico ambiental, este quadro de uso da terra e consecutivamente a supressão vegetal em prol do desenvolvimento rural, pode determinar uma degradação irreversível sem os cuidados necessários com os recursos naturais existentes.

O cenário preditivo (simulação do mundo real) para o ano de 2011 comprovou por meio do autômato celular com Markov o aumento nos incrementos nos usos da terra e o déficit na cobertura vegetal, alguns cenários quanto a sustentabilidade, meio ambiente e o real

papel do Projeto de Assentamento Tarumã Mirim, estão seriamente comprometidos em função da falta de um cadastro fundiário atualizado dos assentados, bem como, os usos da terra em suas modalidades de produção (roça, extrativismo, gado) e todas as políticas públicas voltadas a produção, incentivos e logística de escoamento.

Sendo assim, é de suma importância que o Instituto Nacional de Colonização Reforma Agrária – INCRA procure e firme parcerias com outros atores capazes de fortalecer e propiciar conhecimento e acompanhamento das atividades produtivas e perspectivas sócioeconômicas e ambientais respeitando e conservando os recursos naturais que possam vir a ser endêmicos e essenciais ao equilíbrio da biota.

Pois, se o cenário para o ano de 2011 (simulação preditiva) prevê um aumento de 20% no uso da terra, teremos uma taxa muito alta na supressão vegetal. Assim faz-se necessário, vários estudos paralelos quanto aos recursos hídricos (modelagem da hidrografia) como também a fiscalização pontual na concessão das posses (glebas) e respectivas famílias com perfil para a produção na agricultura familiar.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLER, R.; ADANS J.S.; GOULD, P. Spatial organization: the geographer's view of the world. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1971.

ABLER, R.; ADANS J.S.; GOULD, P. Spatial organization: the geographer's view of the world. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1971.

ACEVEDO, M.F.; URBAN, D.L.; ABLAN, M. Transition and gap models of forest dynamics. *Ecological Applications*, v.5, n.4, p.1040-1055, 1995.

ACCIOLY, L. J. O.; PACHÊCO, A.; COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; LOPES, O. F. Utilização da análise do erro proveniente da Análise de Mistura Espectrais (AME) na separação de classes de vegetação da Floresta Nacional do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1491-1497.

ALVES, D. S.; SKOLE, D. L. Characterizing land cover dynamics using multitemporal imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 4, p. 835-839, 1996.

ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEVANY, M. J.; ARCHER, H. (1991) –*Geographic Information System: a guide to the technology*. Chapman & Hall. New York.

ARNOLD, L. 1974. Stochastic differential equations: theory and applications. John Wiley & Sons, New York. 228 p.

BAILEY. R.L. & DELL, J.R. - Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest science**, Bethesda, 19: 97-104, 1973.

BAKER, W.L. A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, v.2, n.2, p.111-33, 1989.

BARROSO, L. V.; BROWN, I. F.; NEPSTAD, D. C. Dinâmica do uso da terra em assentamentos humanos na região de Paragominas, Amazônia brasileira, através de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informação. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7.; Congresso Florestal Panamericano, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 1993. v. 2, p. 338-340.

BATISTELA, M. 2001. Landscape change and land-use/Land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon. Tese de Doutorado. School of Public and Environmental Affairs, Indiana University. 318p.

BAUDRY, J. Interactions between agricultural and ecological systems at the landscape level. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.27, p.119-30, 1989.

BELL, E.J. Markov analysis of land use change – an application of stochastic process to remotely sensed data. *Socio-Economic Planning Science*, v.8, p.311-316, 1974.

BELL, E.J.; HINOJA, R.C. Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes. *Socio-Economic Planning Science*, v.11, p.13-17, 1977.

BELLEFLEUR, P. 1981. Markov models of forest - type secondary succession in Coastal British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, v.II. p.18-29.

BERRY, J;K; Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: GOODCHILD, M; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993. cap.7, p.59-73.

BERTRAND, G. Paysage et Géographie Physique Globale: esquisse methodologique. *Revue Géographique des Pyrenées et du Sud-Ouest*, v.39, n.3, p.249-72, 1968.

BRIDGEWATER, P.B. Landscape Ecology, GIS and nature conservation. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S., *Landscape ecology and spatial information systems*. Bristol, Taylor and francis, 1993. p.23-36.

BRONDÍZIO, E. S.; MORÁN, E. F.; MAUSEL, P.; Wu, Y. Dinâmica da Vegetação do Baixo Amazonas: Análise Temporal do Uso da Terra Integrando Imagens Landsat-TM, Levantamento Florístico e Etnográfico. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 7., Curitiba, 10-14 maio, 1993. *Anais*. São José dos Campos, INPE, 1993, v. 2, p. 38-46.

BUNCE, R.G.H.; JONGMAN, R.H.G. An introduction to Landscape Ecology. In: BUNCE, R.G.H.; PAOLETTI, R.M.G. *Landscape ecology and Agroecosystems*. Boca Raton, Lewis Publishers, London, 1993. Cap. 1, p.3-10.

BURROUGH, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for land Resources Assessment*. 3.ed. Oxford, Clarendon Press, 1991.

BURROUGH, P. A.. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press, 1987. 193p.

CÂMARA, GILBERTO *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*, São José dos Campos, 1995. 264p. Tese de doutoramento - INPE.

CHIANG, C. L. 1980. *An introduction to stochastic processes and their applications*. Robert E. Krieger Publ. Co. Huntington, New York. 517 p.

CHILDRESS, W. M.; CRISAFULLI, C. M.; RYKIEL JR., E. J. 1996. Comparison of markovian matrix models of a primary successional plant community. *Ecological Modelling*, v.107. p.93-102.

CHORLEY, R.J.; HAGGET, P. *Models in Geography*. London, Methuen, 1971.

CHRISTIAN, C.S.; STEWART, G.A. General report on survey of Katherine-Darwin region, 1946, Land Research Series, Canberra, v.1, CSIRO, 1953.

CLARAMUNT, C.F.; SEDE, M.H.; PRELAZ-DROUX, R.; VIDALE, L.; “ Sémantique et logique spatio-temporeles.” *In Revue internationale de géomatique*, volume 4, PP. 165-180, 1994.

COLWELL, R. N. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry, 1983.

COX, D. R.; MILLER, H. D. 1978. *The theory of stochastic processes*. London: Chapman & Hall. 398p.

CROSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento remoto*, IG/UNICAMP, Campinas, São Paulo, 1992. 170p.

CURRAN, P.J. *Principles of Remote Sensing*, New York, Longman, 1985.282 p.

DALE, V.H. AND GARDNER, R.H. Assessing regional impacts of growth declines using a forest succession model. *Journal of Environment Management*, v.24.p.83-93, 1987.

DALE, V.H. et al. Causes and effects of land-use change in central Rondônia, Brazil. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.59, n.6, p.997-1005, 1993.

DALE, V.H. et al. Modeling effects of land management in the Brazilian Amazonian settlement of Rondônia. *Conservation Biology*, v.8, n.1, p.196-206, 1994.

DENICH, M. *Estudo da Importância de uma Vegetação Secundária Nova para o Incremento da Produtividade do Sistema de Produção na Amazônia Oriental Brasileira*. (Tese de Doutorado) - Universidade George August de Göttingen (RFA), EMBRAPA/CPATU-GTZ, Eschborn, RFA, 1991. 284p.

DOLFFUS, O. *O espaço geográfico*. 3.ed. São Paulo, Difel, 1978.

DREWETT, J.R. A stochastic model of land conversion process – an interim report, *Regional Studies*, v.3, p.269-80, 1969.

FACELLI, J.M.; STEWARD T.A.P. Markovian chains and the role of history in succession. *TREE*, v.5, n.1, p.27-29, 1990.

FAVRICHON, V. 1995. *Modèle matriciel déterministe en temps discrets: application à l'étude de la dynamique d'un peuplement forestier tropical humide (Guyane Française)*. Lyon, Université Claude Bernard-Lyon I. These. 252 p. + anexos

FAVRICHON, V. 1995. Modélisation en forêt naturelle: les modèles à compartiments comme outils d'aide à l'aménagement forestier. *Bois et Forêts des Tropiques*, v.249, p.23-32.

FEARNSIDE, P.M. Amazonian deforestation and global warning: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's amazon forest. *Forest Ecology and Management*, v.80, p.21-34, 1996.

FIBONACCI. *Practica Geometriae* (1220), um compêndio de geometria e trigonometria.

FLAMM, R.O; TURNER, M.G. Alternative model formulation for a stochastic simulation of landscape change. *Landscape Ecology*, v.9, n.1, p.37-46,1994.

FORMAN, R.T.T.; GORDON, M. *Landscape Ecology*. New York, John

GILRUTH, P; MARSH, S.E., ITAMI, R. A dynamic spatial model of shifting cultivation in the highlands of Guinea, West Africa. *Ecological Modelling*, v.79, p.179-97, 1995.

GÓMEZ-SAL, A. et al. Patterns of change in the agrarian landscape in an area of cantabrian mountains (Spain)-Assessment by transition probabilities. In: BUNCE, R.G.H.; PAOLETTI, R.M.G. *Landscape Ecology and Agroecosystems*. Boca Raton, London, Lewis Publishers, 1993. Cap. 13, p.141-152.

GRANER, B.J. Models of Urban Geography and Settlement Location. In: CHORLEY, R.J.; HAGGET, P. *Models in Geography*. London, Methuen, 1971. Cap.9, p.304-55.

GULINK, H.; WALPOT, O; JANSSENS, P. Landscape structural analysis of central Belgium using Spot data. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. *Landscape ecology and spatial information systems*. Bristol, Taylor and Francis, 1993. Cap. 10, p.129-140.

HAGGET, P. *Geography: a modern synthesis*. 2.ed. New York, Harper & Row, 1972.

HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. Landscape Ecology and spatial information Systems. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. *Landscape Ecology and spatial information Systems*. Bristol, Taylor and Francis, 1993. Cap. 1, p.3-8.

HALL, F.G. et al. Landscape pattern and successional dynamics in the boreal forest. In: IGARSS '87, Ann Arbor, 1987. Proceedings. Ann Arbor, 1987. p.473-482.

HARVEY, D. *Expansion in Geography*, 3.ed. London, Edward Arnold, 1976.

HOBBS, R.J. Markov models in the study of post-fire succession in heathland communities. *Vegetation*, v.56, p.17-30, 1983.

HOYOS, A. 1980. Processos estocásticos e previsão. In: 4º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. Rio de Janeiro, 21 a 25 de julho.

HUETE, A. R. 1988. **Adjusting Vegetation Indices for Soil Influences. *International Agrophysics***. 4(4):367-376,1988.

HUGGET R. *Systems Analysis in Geography*. London, Oxford University Press, 1980.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York: John Willey & Sons, 1972. 410 p.

JENSEN, JOHN R. **Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1986, 486p.

JOHNSON, Z.B.; WRIGHT, D.W.; BROWN, C.J. et al. Effect of including relationship in the estimation of genetic parameters of beef calves. *Journal of Animal Science*, v.70, n.1, p.78-88, 1991.

JOHNSTON, C.A. Introduction to quantitative methods and modeling in Community, population, and landscape ecology. In: GOODCHILD, M; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993. Cap.25, p.276-283.

KESSEL, S.R. The Glacier National Park basic resources and fire ecology model. *Bulletin of Ecological Society of America*, v. 56, 1977. Série 49.

LILLESAND, T.M. AND KIEFER, R.W. 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 2nd edition, John Wiley & Sons Publishers.

LESLIE, P. H. 1945. The use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, v.33. p.183-212.

LÉVY, P. 1998. *Cyberculture*. Odile Jacob, France.

LI, S. 1996. *Phylogenetic tree construction using Markov chain Monte Carlo*. Ph. D. dissertation, Ohio State University, Columbus.

LUDEKE, A; MAGGIO, R.C.; REID, L.M. An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS. *Journal of Environmental Management*, v.31, p.247-59, 1990.

MACGARIGAL, K; MARKS, B.J. *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. Report PNW-GTR-351. Portland, U.s. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995, 122p.

MCHARG, I. *Design with nature*. New York, Doubleday/Natural History Press, 1971.

MÉAILLE, R.; WALD, L. Using geographical information system and satellite imagery within a numerical simulation of regional urban growth. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.4, n.4, p.445-56, 1990.

MICHIE, B.R. ; McCANDLESS, F.D. 1986. A matrix model of oak-hickory stand management and valuing forest land. *Forest Science*, v.32, n.3. p. 759-768.

MORAN, E. F. et al. Integration Amazonian Vegetation, Land-use, and satellite data. *BioScience*, v.44, n.5, p.329-38. 1994.

MULLER, R.M.; MIDDLETON, J.A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, v.9, n.2, p.151-157, 1994.

NAVEH, Z. Some Remarks on recent developments in landscape ecology as a transdisciplinary ecological and geographical science. *Landscape Ecology*, v.5, n.2, p.65-73, 1991.

NAVEH, Z.; LIBERMAN, A.S. *Landscape ecology: Theory and application*. New York, Springer Verlag, 1989. 356p. Série Environment Management.

NEEF, E. Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre, in *Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha*. Leipzig, Hermann Haack, 1967.

NOVAES, A.G. *Modelos de planejamento urbano, regional e de transportes*. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.

NOVO, E. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo. Edgard Blucher, 1989, 307p.

NYERGES, T. Understanding the scope of GIS: Its relationship to environmental modeling. In: GOODCHILD, M; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993. p.75-93.

ORLÓCI, L. "Community organization: recent advances in numerical methods", *Can.J.Bot.* 66, 2626-2633, (1988).

PACHOUCEAS, D.; STAMOU, G. Non homogeneous markovian models in ecological modeling: a study of zoobenthos dynamics in Thermaikos Gulf, Greece. *Ecological Modelling*, v.66, p.197-215, 1993.

PARKS, P.J. Model of Forested and Agricultural Landscapes: Integrating Economics. In: TURNER, G.M.; GARDNER R.H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology: The Analyses and Interpretation of Landscape Heterogeneity*. New York, Springer Verlag, 1991. p.309-322.

PENTEADO, O.M.M. *Metodologia Integrada no estudo do meio ambiente*. Geografia, Instituto de Geociências, UFMG, Belo Horizonte, 10, v.20, p.125-148, 1985.

PEREZ-TREJO, F. Landscape-response units: process-based self-organizing systems. In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. *landscape ecology and spatial information systems*. Bristol, Taylor and Francis, 1993. p.87-98.

PETCH, J.R.; KOLEJKA, J. Landscape Ecology in Czechoslovakia In: HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. *Landscape ecology and spatial information systems*. Bristol, Taylor and Francis, 1993. p.39-56.

RAVAN, S.A.; ROY, P.S. Landscape ecological analysis of disturbance gradient using geographic information system in the Madhav National Park, Madhya Pradesh. *Current Science*, v.68,n.3,p.309-315, 1995.

RIBEIRO, A.G. Estrutura e processos na interpretação da paisagem geográfica. *Boletim de Geografia Teorética*, v.15, p.112-115, 1985.

RISSER, P.G.; KARR, J.R.; FORMAN, T.T. Landscape Ecology, Directions and approaches. Illinois Natural History Survey Special Publication, v.2, n.18, p.12-31, 1983.

ROBERTS, M.R.; HRUSKA, A.J. 1986. Predicting diameter distributions: a test of the stationary Markov model. Canadian Journal of Forest Research, v.16, p.130-135.

SANO, E. E. et al. Levantamento do uso atual da terra através de imagens TM/Landsat na microregião de Tomé-Açu e alguns municípios das microregiões do Baixo Tocantins e Guajarina (PA). Belém: SUDAM-CHSRA/OEA, 1989. 67 p.

SANQUETTA, C.R.; NIEFER, I.A.; VOLPI, N.M.P.; MOROKAWA, T. 1997. Análises de sensibilidade e de risco em prognose volumétrica de florestas com matriz de transição. Rev. Setor Ciências Agrárias, v.16, n.(1-2). p.47-62.

SELMAN, P.; DOAR, N. An Investigation of the Potencial for Landscape Ecology to act as Basis for Rural Land Use Plans. Journal of Environmental Management, v.35, p.281-99, 1992.

SILVA, L. H. Assentamentos Massangana III e Chico Mendes-PB: formulação de políticas públicas. Revista GeoNotas. v. 5, n.4. out/ dez. 2001.

SKLAR, F.H.; COSTANZA, R. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: a review and Prognosis. In: TURNER, G.M.; GARDNER R.H. Quantitative methods in landscape ecology: the analyses and interpretatiton of landscape heterogeneity. New York, Springer Verlag, 1991. p.239-288.

SKLAR, F.H.; COSTANZA, R.; DAY, J.W. JR. Dynamic spatial simulation modeling of coastal wetland habitat succession. Ecological modeling, v.29, p.261-281, 1985.

SLATER, P.N. Remote sensing: optics and optical systems. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980. 575p.

SMITH, JOHN B., WEISS, STEPHEN F., AND FERGUSON, GORDON J. A Hypertext Writing Environment and Its Cognitive Basis, Proceedings of Hypertext '87, ACM Press, 1987.

SOTCHAVA, V.B. O estudo de geossistema. Métodos em questão, São Paulo, n.16, 1977. 51p.

SOARES, B.S.; PENNACHIN, C.; CERQUEIRA, G. 2002. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier. Ecological Modelling, (154):217-235.

SOUTHWORTH, F.; DALE, V.H.; O'NEILL, R; Contrasting patterns of land use in Rondônia, Brazil: simulating the effects on carbon release. International Social Science Journal, v.43, n.130, p.681-698, 1991.

STEYAERT, L.T. A. Perspective on the State of Environmental simulation modeling. In: GOODCHILD, M; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press, 1993. p.16-29.

SUKACHEV, V. N.; DYLLIS, N. V. Fundamentals of Forest Biocoenology. Edinburgh, Oliver and Boyd. 1964.

TARDIN, A. T. et al. Levantamento de áreas de desmatamento na Amazônia Legal a través de imagens do satélite Landsat. São José dos Campos: INPE, 1979. (INPE-1411-NTE/142).

TOMLIN, C.D. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1990.

TRANLEY, A.G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology, v.16, p.284-307, 1935.

TROLL, C. Geoforum, v.8, p.43-46, 1971.

TROLL, C. Luftbildplan and ökologische Bodenforschung. Z. Ges. Erdkunde. Berlin, v.241, n. 98, 1939.

TURNER, M. G.; GARDNER R.H. Quantitative Methods in Landscape Ecology: An Introduction. In: TURNER, G.M.; GARDNER R.H. Quantitative methods in landscape ecology: The analyses and interpretation of landscape heterogeneity. New York, Springer Verlag, 1991. p.3-16.

TURNER, M.G. Landscape Ecology: The effect of pattern on process. Annual Review of Ecology and System, v.20, p.171-197, 1989.

URBAN, D.L.; O'NEILL, R.V.; SHUGART JR., H.H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientist to understand spatial patterns. BioScience, v.37, n.2, p.119-127, 1987.

USHER, M.B. 1969. A matrix approach to the management of renewable resources with special reference to selection forests. Journal of Applied Ecology, v.6. p.355-367.

VINK, A.P.A. Landscape ecology and land use. London, Longman, 1983. 264p.

WATRIN, O. S.; SANTOS, J. R.; VALÉRIO FILHO, M. Análise da Dinâmica na Paisagem do Nordeste Paraense Através de Técnicas de Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 14-19 abril, 1996. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1996, CD-Rom.

WILKIE, D.S; FINN, J.T. A spatial model of land use and forest regeneration in the Ituri forest of northeastern Zaire. Ecological Modelling, v.41, n.3-4, p.307-323, 1988.

WORBOYS, "GIS: A Computing Perspective" Taylor et Francis, 1995.

ZONNEVELD, I.S. Land evaluation and Landscape Science. Enschede, The Netherlands, International Institute for Aerial Survey and earth Sciences., 1979.

ZONNEVELD, I.S. Land Evaluation and Landscape Science. Enschede, The Netherlands, International Institute for Aerial Survey and earth Sciences., 1979.

ZONNEVELD, I.S. Land evaluation and land (scape) science. ITC Textbook of photointerpretation, v.7. Enschede, ITC 106. 1972.

ZONNEVELD, I.S. The land unit – A fundamental concept in landscape ecology, and its application. Landscape Ecology, v.5, n.2, p.67-86, 1989.