

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**Modelagem Dinâmica na Projeção de Uso do Solo em função
da Rede Viária de Transportes**

Daniella Farias Scarassatti

**Campinas
2007**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

Daniella Farias Scarassatti

**Modelagem Dinâmica na Projeção de Uso do Solo em função
da Rede Viária de Transportes**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Comissão de pós-graduação da Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Estadual de Campinas, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil, na área de
concentração de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Digenes Cortijo Costa

Campinas
2007

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

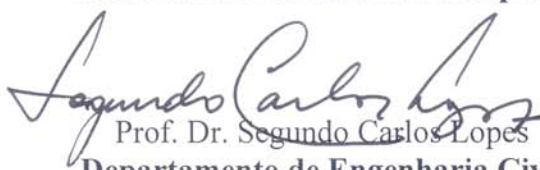
**Modelagem Dinâmica na Projeção de Uso do Solo em função
da Rede Viária de Transportes**

Daniella Farias Scarassatti

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:


Prof. Dr. Diogenes Cortijo Costa
Presidente e Orientador(a)
Universidade Estadual de Campinas


Prof.ª Dra Emilia Wanda Rutkowski
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Universidade Estadual de Campinas


Prof. Dr. Segundo Carlos Lopes
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de São Carlos

Campinas, 30 de julho de 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sca71m Scarassatti, Daniella Farias
Modelagem dinâmica na projeção de uso do solo em
função de rede viária de transportes / Daniella Farias
Scarassatti.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Diógenes Cortijo Costa
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Solo - Usp -
Planejamento. 3. Automato celular. I. Costa, Diógenes
Cortijo. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Dynamic modeling of land use projection as a function of network
transportation

Palavras-chave em Inglês: Dynamic Models, Geographic Information Systems, GIS,
Land use

Área de concentração: Transportes

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Emilia Wanda Rutkowski e Segundo Carlos Lopes

Data da defesa: 30/07/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Ao Dárcio pelo companheirismo, incentivo e paciência e aos meus filhos, Breno e Caio pela compreensão e carinho.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, meus avós, meu irmão e meus tios,

Ao professor Diógenes Cortijo Costa pelo estímulo, confiança e amizade,

Ao professor Orlando Fontes Lima Junior por ter despertado o tema que iniciou a dissertação,

À Maria pelo apoio com os meninos,

Aos colegas da SEPLAMA, especialmente a Marílis, Rogério, Fernando e José Ricardo pela colaboração nas informações e a disponibilização de mapas,

Aos engenheiros Ricardo Almeida, Daniel da EMDEC, que também ajudaram na coleta de dados,

À engenheira Silva Longhi, ao Robert May que de alguma forma contribuíram para este trabalho,

Obrigada a todos!

RESUMO

SCARASSATTI, Daniella F. **Modelagem Dinâmica na Projeção de Uso do Solo em função da Rede Viária de Transportes**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2007. 103p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2000.

As inovações tecnológicas presentes na sociedade contemporânea, como as redes de comunicações e transportes, têm proporcionado uma profunda transformação na produção dos espaços urbanos e colocam o desafio de formular modelos que traduzam a mecânica da organização espacial das cidades. É cada vez mais freqüente a integração de modelos dinâmicos no ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas para promover simulações e gerar representações de processos espaço-temporais. Neste contexto, modelagens dinâmicas utilizadas para o planejamento urbano têm se mostrado um campo promissor na identificação de possíveis trajetórias de expansão urbana e de suas tendências, auxiliando o poder público local no direcionamento de ações na gestão da cidade. É a proposta deste trabalho obter avaliações integradas de fatores, como a rede viária de transportes, que procurem explicar as mudanças de uso do solo. Para este propósito foi utilizado o *software* Idrisi Kilimanjaro 6.02 que possui funções como modelagem de processos e simulação baseado em cadeia de Markov e autômatos celulares. Foram identificadas duas regiões do município de Campinas, SP, escolhidas por suas peculiaridades na dinâmica de uso e ocupação do solo. As modelagens prospectivas das áreas de estudo são comparadas permitindo-se avaliar a metodologia e precisar suas contribuições e limites.

Palavras chaves: Sistema de Informação Geográfica, uso do solo, autômato celular.

ABSTRACT

Technological innovations, such as transport and communication networks, have deeply transformed urban space and have imposed model conceptions that reflect the real city organization in contemporary society. In order to perform simulations and to generate spatial-temporal process representations, the integration of dynamic models in Geographic Information Systems has been frequently applied. In this context, dynamic models represent a propitious field in urban planning to identify urban expansion trends, as well an appropriate tool that supports local public policies aimed at the urban management. The purpose of this work is to obtain integrated evaluations about factors, such as network transportation, that can explain land use transformations. In order to investigate the applicability of dynamic models on the land use projections, Markov Chain algorithms complemented with cellular automata were performed on Idrisi Kilimanjaro 6.02 software. Two areas in Campinas City, Brazil, were chosen based on their different land use and occupation. The comparison of the prospective modeling applied to these areas permitted the evaluation of the methodology, according to its contribution and limitation.

Key words: Geographic Information Systems, land use, cellular automata

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 - Campinas - divisão em macrozonas	13
Figura 2.2 - Linhas de Desejo de Transporte	14
Figura 2.3 - Fluxos de comunicação pela <i>internet</i>	15
Figura 3.1 - Hierarquia das localidades centrais	25
Figura 3.2 - Rede Urbana no Brasil	27
Figura 3.3 - Sistema de Lösh de territórios hexagonais	28
Figura 3.4 - Modelo de Burgess das zonas concêntricas da estrutura social e espacial urbana	29
Figura 3.5 - Modelo de Hoyt dos setores.....	30
Figura 3.6 - Modelo de Harris e Ullman dos núcleos múltiplos.....	31
Figura 3.7 - Estágios de análises dos sistemas regionais.....	33
Figura 3.8 - Representação de dados <i>raster</i> ou vetoriais.....	36
Figura 3.9 - Representação de dados <i>raster</i>	37
Figura 3.10 - Colônias de células - Jogo da Vida	43
Figura 3.11 - Dimensões dos autômatos celulares	44
Figura 3.12 - Especificações de AC unidimensionais.....	45
Figura 3.13 - Especificações de AC bidimensionais.....	46
Figura 4.1 - AC baseado em fractais.....	47
Figura 4.2 - Módulo <i>Markov</i> no Idrisi 6.02	50
Figura 4.3 - Módulo <i>ca_Markov</i> - Idrisi 6.02	51
Figura 4.4 - Diagrama de Venn	52
Figura 4.5 - Funções <i>Fuzzy</i> - Idrisi 6.02	53
Figura 4.6 - Regras de vizinhança Von Newman.	54

Figura 5.1 - Município de Campinas e regiões de estudo	58
Figura 5.2 - Campinas :Principais eixos viários.....	63
Figura 5.3 - Campo Grande - uso real do solo:1984-1995	70
Figura 5.4 - Barão Geraldo- uso real do solo: 1984-1999	71
Figura 5.5 - Campo Grande - Distância das vias.....	74
Figura 5.6 - Barão Geraldo - Distância das vias.....	74
Figura 5.7 - Área de influência aos Pólos Geradores de Tráfego no Campo Grande através da função <i>fuzzy- j-shaped</i>	75
Figura 5.8 - Área de influência dos Pólos Geradores de Tráfego em Barão Geraldo através da função <i>fuzzy- j-shaped</i>	76
Figura 5.9- potencial de aptidão das categorias.....	79
Figura 5.10 - Barão Geraldo - potencial de aptidão das categorias	80
Figura 5.11 - Campo Grande - Probabilidade de transição das categorias de uso do solo obtidas através do módulo <i>Markov</i>	83
Figura 5.12 - Barão Geraldo - Probabilidade de transição das categorias de uso do solo obtidas através do módulo <i>Markov</i>	84
Figura 5.13 - Campo Grande – Projeção estocástica para o ano 2006.....	85
Figura 5.14 - Barão Geraldo - Projeção estocástica para o ano 2006.....	85
Figura 5.15 - Campo Grande - Projeção e uso real do solo - 2006	88
Figura 5.16 - Barão Geraldo - Projeção e uso real do solo - 2006	89
 Anexo A - Pólos Geradores de Tráfego.....	 103
Anexo B - Levantamento de uso e ocupação do solo urbano	104
Anexo C - Levantamento de uso e ocupação do solo urbano	105

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

	Pág.
Tabela 2.1 - Matriz de proximidade espacial entre as macrozonas.....	13
Tabela 3.0.1 - Diferenças entre representações <i>raster</i> e vetorial.....	38
Tabela 5.1 - Base de dados	73
Tabela 5.2 - Escala de peso dos fatores	76
Tabela 5.3 - Campo Grande - Média Ponderada Ordenada para o uso comercial	78
Tabela 5.4 - Barão Geraldo - Média Ponderada Ordenada para o uso comercial.....	78
Tabela 5.5 - Matriz de probabilidade de transição:Campo Grande	81
Tabela 5.6 - Matriz de probabilidade de transição:Barão Geraldo	82
Gráfico 5.1 - Campo Grande - Comparação entre a predição de usos do solo em 2006 através do <i>ca_Markov</i> e o uso do solo.....	90
Gráfico 5.2- Barão Geraldo - Comparação entre a predição de usos do solo em 2006 através do <i>ca_Markov</i> e o uso do solo.....	90

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS	v
CAPÍTULO I	1
1.1. Introdução e Justificativa	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodologia	4
1.4. Estruturação do trabalho.....	5
CAPÍTULO II	7
2.1. Transformações nas formas de produção na sociedade contemporânea	7
2.1.1. O meio técnico-científico-informacional.....	7
2.1 2. Globalização.....	9
2.2 Propriedades da Rede no espaço.....	11
2.3 Cidades e o planejamento	15
2.3.1 Modelagem espacial	19
CAPÍTULO III	21
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1. Modelos	21
3.2. Modelos Urbanos.....	23
3.3 Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e Modelos Dinâmicos.....	34
3.4. Autômatos Celulares.....	41
3.5. Especificações dos Autômatos Celulares	43

CAPÍTULO IV.....	47
MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL.....	47
4.1. Aplicações de Autômatos Celulares em estudos urbanos.....	47
4.2. Idrisi e o módulo <i>ca_Markov</i>	49
CAPÍTULO V.....	56
APLICAÇÃO DO MODELO.....	56
5.1. O município de Campinas.....	56
5.2. Campinas : breve trajetória de apropriação do espaço.....	59
5.2.1.Caracterização do sistema viário do município.....	62
5.3.1. Campo Grande.....	64
5.3.2. Barão Geraldo.....	65
5.4. Identificação das variáveis.....	67
5.5. Processamento dos dados.....	68
5.6. Avaliação por múltiplos critérios.....	73
5.7 Projeção estocástica - Cadeia de <i>Markov</i>	81
5.8. Análise dos resultados.....	86
CAPÍTULO 6.....	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	103
Anexo A - Pólos Geradores de Tráfego.....	103
Anexo B - Levantamento de uso e ocupação do solo urbano – 2005 – EMPLASA ..	104
Anexo C - Levantamento de uso e ocupação do solo urbano - 2005.....	105

CAPÍTULO I

1.1. Introdução e Justificativa

Os intensos e continuados avanços tecnológicos presentes na sociedade contemporânea têm proporcionado novas formas de produção, novos padrões de vida, ocasionando uma profunda transformação nos processos sociais e econômicos que atuam na produção dos espaços urbanos. Tais mudanças colocam o desafio de formular modelos que traduzam a mecânica das inter-relações presentes no território.

Nestes termos, as teorizações de Dupuy (1997) dispõem sobre uma abordagem de análise do espaço urbano centrada no conceito de rede. A idéia de rede não se configura como um único objeto, mas como uma concepção global que expressa a organização espacial. A idéia de rede procura englobar outros enfoques de certos tipos de relações entre o espaço, o tempo, a informação e o território, elementos essenciais das sociedades atuais. Nesta perspectiva, uma rede é um conjunto de pontos em ligação, constituídas de cidades, as vias de comunicações terrestres, marítimas, aéreas, cabos telefônicos, ondas hertzianas, enfim, redes que possuem sua própria dinâmica e produzem visíveis influências no território.

A forma tradicional de planejamento apresenta uma territorialidade definida por limites, local onde se exerce poderes - econômico, político e técnico, encontrando-se nesse modelo várias deficiências em sua concepção e utilização. Em uma outra vertente, o território projeta-se como um espaço cujo alicerce são as redes materiais e digitais, e exerce um outro tipo de poder que, de acordo com sua eficácia, transcende

fronteiras, assegurando a circulação de pessoas, bens e informação. Os estudos de Graham e Marvin (2001) distinguem como componentes de estruturação urbana dois sistemas de redes: as redes de serviços materiais e as redes digitais de telemática.

O que se verifica nos dias atuais, é uma difusão de inovações concentradas em regiões dotadas de um ambiente propício para as novas tecnologias de um serviço sobre os demais. Não obstante, esses fatores geram uma superposição de redes, com espaços que produzem nódulos privilegiados ou contribuem fortemente ao desencadeamento de processos de segregação urbana. Diante de tais evidências, como garantir o acesso aos serviços proporcionados por estas infra-estruturas, otimização dos investimentos públicos respectivos e mesmo a transformação desejada e desejável das formas de ocupação do território, são questões ainda não equacionadas de maneira adequada. As conseqüências são muitas e vão desde o aumento das assimetrias em termos de dotação e cobertura de infra-estrutura dos diferentes territórios e espaços urbanos, até o peso elevado dos investimentos e dos custos de exploração de infra-estruturas que os municípios têm de suportar sem o correspondente retorno em termos de utilização.

Diversos são os estudos para análise de estruturas urbanas e suas transformações, que por meio de construções simplificadas da realidade, procuram atuar como guia para o planejamento territorial. A partir do esforço teórico da Escola de Ecologia Humana da Escola de Sociologia Urbana de Chicago¹, os modelos matemáticos desenvolvidos em conjunto com tecnologias computacionais permitiram uma maior capacidade de manipulação e armazenamento de grande volume de dados para a identificação das estruturas urbanas e predição de padrões de fluxos e ocupações. No entanto, esses modelos detêm de maneira geral, análises voltadas a um campo específico de investigação, como o modelo de transportes de Lowry ou o modelo de localização residencial de Clark (ALMEIDA, 2004).

¹A Escola de Chicago procurava, a partir das investigações da biologia sobre plantas e animais sob os novos preceitos da ecologia, que enfatizava a interdependência de espécies e a relação do indivíduo com o meio ambiente, explicar as complexidades da comunidade urbana e descobrir padrões de regularidade. (CLARK, 1985, *apud* KNEIB, 2004).

Atualmente, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) juntamente aos processamentos matemáticos permitem armazenar, manipular e visualizar informações de caráter geográfico, como também formular e analisar modelos de distribuição espacial relativos à localização de variáveis, à investigação e predição de dinâmicas espaço-temporais.

Os modelos dinâmicos procuram gerar representações realistas de processos espaço-temporais e, desta maneira representam um campo propício para promover prognósticos. Estes modelos procuram obter resultados que emergem da dinâmica verificada nos sistemas urbanos. Uma abordagem mais integradora das questões urbanas sob a ótica da modelagem dinâmica observada nos estudos desenvolvidos por Batty e Xie (1994), Clarke *et al* (1997), e White and Engelen (1997) são importantes para a realização dessa investigação ao utilizar modelos de múltiplas perspectivas, capazes de trabalhar em ambientes de planejamento com vários objetivos e possibilitam modelagens de comportamentos e fenômenos sociais. São aplicações que utilizam recursos de Autômatos Celulares (AC) cujos métodos de modelagem constituem em promissoras aplicações nas análises de processos simulação de mudanças urbanas. A modelagem dinâmica de autômatos celulares é baseada nas teorias dos sistemas complexos, sistemas organizáveis cujos resultados emergem através de uma dada dinâmica instaurada.

As análises voltadas a modelos dinâmicos no ambiente de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) procuram obter avaliações integradas sobre mudanças e dinâmicas territoriais que combinem fatores explicativos de seu desenvolvimento como a rede viária de transportes. Estes estudos tornam-se instrumentos relevantes essencialmente para o poder público no planejamento urbano, na definição das diretrizes de desenvolvimento de regiões e a possibilidade de quantificar probabilidades de possíveis trajetórias e cursos de ação na gestão do território.

Neste contexto está inserida esta dissertação, ao abordar o conceito de rede na caracterização e compreensão da estruturação urbana e na utilização de uma ferramenta de modelagem dinâmica baseada em Autômatos Celulares, aliados a métodos de projeção estocástica. Como estudos de caso para a aplicação dessas metodologias utilizaram-se duas regiões da cidade de Campinas - SP, o distrito de Barão Geraldo e a região do Campo Grande, que retratam as distintas formas de ocupação e transformação no espaço urbano em função da estruturação da rede viária de transportes e variáveis como os Pólos Geradores de Tráfego.

1.2 Objetivos

Ao indicar tendências de uso do solo e áreas com potencial de urbanização, o objetivo geral é proporcionar ferramentas que auxiliem as atividades de planejamento urbano.

Como objetivo específico propõe-se, utilizando-se avaliações integradas de fatores que procurem explicar as transformações do uso do solo, demonstrar a aplicabilidade dos modelos dinâmicos nos estudos urbanos. Para isso foi utilizada a função de análise espaço-temporal que oferece um Sistema de Informação Geográfica em formato *raster* (SIG Idrisi Kilimanjaro 6.02) aplicada em áreas identificadas para o estudo, para simular cenários de mudança de uso do solo em função da estruturação da rede viária de transportes.

1.3 Metodologia

Esta pesquisa se baseia metodologicamente em identificar os determinantes da realidade na estruturação do espaço urbano. Procurou-se discutir o conceito de rede, especificamente no espaço intra-urbano, destacando o sistema viário como a infraestrutura urbana mais ligada à produção do ambiente construído na delimitação da intensidade de desenvolvimento de determinados setores urbanos. Em seguida é

realizado um estudo bibliográfico sobre os métodos que envolvem a problemática de análises espaciais no planejamento urbano, em especial os modelos dinâmicos. Por fim é utilizada, em um estudo de caso, uma ferramenta de modelagem em SIG (Idrisi 6.02) que possui rotinas de operações baseadas em: cadeia de *Markov*, para predição do uso do solo; análise multicritério das variáveis explicativas da mudança de estado e um elemento espacial de contigüidade baseado em autômato celular (AC). Os resultados das simulações efetuadas são apresentados e então é discutida a aplicabilidade do modelo dinâmico.

1.4. Estruturação do trabalho

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. O Capítulo 1 contém a parte introdutória, a importância do trabalho e seu objetivo.

O capítulo 2 apresenta os condicionantes que fundamentam as mudanças na configuração do território; a importância das redes na estruturação do espaço de fluxos materiais, como a rede viária de transportes e os fluxos imateriais; e seu reflexo na dinâmica das cidades. Em seqüência são discutidos os problemas do planejamento urbano em produzir uma ordem espacial das novas coerências da cidade que é um espaço gerado a partir da organização em rede. Em conclusão são colocadas as realizações teóricas advindas do conceito de emergência, ou seja, sistemas complexos, como proposta de análise da estrutura complexa que é a cidade.

O Capítulo 3 aborda o desenvolvimento histórico dos modelos urbanos, e a importância dos autômatos celulares (AC) integrados no ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), como modelos dinâmicos para promover simulações e gerar representações dos fenômenos emergentes, como os padrões verificados nas cidades.

É abordado no Capítulo 4 o uso de AC nas modelagens dinâmicas urbanas e identificadas pesquisas sobre essa temática. Em seguida é introduzido o modelo utilizado na dissertação.

No Capítulo 5 é desenvolvida a modelagem dinâmica espacial em um estudo de caso para simular a transformação do uso do solo. Primeiramente são introduzidas as duas regiões escolhidas para o estudo de caso, Campo Grande e Barão Geraldo, localizadas no município de Campinas, escolhidas pelas diferenciadas dinâmicas de uso e ocupação do solo e bem caracterizadas pelas novas formas de produção do território. Em seqüência são identificadas e justificadas as variáveis, tendo como fator preponderante a acessibilidade a rede viária na transformação e desenvolvimento urbano. Posteriormente descreve-se a elaboração da base de dados espaciais para sua utilização no modelo. Por fim, processa-se a modelagem e em seguida é apresentada a discussão dos resultados.

Finalmente o Capítulo 6 procura-se reunir de maneira conclusiva os tópicos tratados nos capítulos anteriores, ressaltando os principais aspectos e analisando as contribuições do trabalho e discutidas as contribuições deste trabalho para o tema modelagem dinâmica espacial.

CAPÍTULO II

2.1.Transformações nas formas de produção na sociedade contemporânea

A história atual é marcada por dois condicionantes que abrangem por completo sua formação e suas configurações específicas: o meio técnico-científico-informacional e a globalização, ambos consequência direta da excepcional inovação tecnológica e do movimento de reorganização e ajuste do modo de produção capitalista (SANTOS e SILVEIRA, 2001). A combinação destes eventos provocou profundas mudanças, nos últimos vinte anos, e sua identificação é importante para o entendimento de qualquer componente das sociedades atuais.

2.1.1.O meio técnico-científico-informacional

Na definição de critérios para caracterização do período atual, estabeleceu-se como referência as proposições de Santos (1996) quanto ao uso do território a partir da evolução das redes técnicas, ou seja, a acessibilidade viária, distribuição de energia elétrica, hídrica e de telecomunicações, que associadas ou não entre si asseguram a circulação de pessoas e mercadorias, a velocidade de transmissão de informações e a ocupação de áreas urbanas (TAVARES, 2001, p. 401).

A importância dessa análise fundamenta-se em retratar, ao longo do tempo, as sucessivas divisões de trabalho, os diversos circuitos de produção, que a cada período histórico revelam diversas combinações técnicas e sociais de trabalho. Observa-se a

cada momento, a imposição de valores, lógicas, modernizações e conseqüentemente, o surgimento de espaços e sociedades diferentes (SANTOS e SILVEIRA, 2001).

O conceito de redes ao longo da história articula-se com o desenvolvimento crescente das tecnologias de comunicação e informação e consiste em tema necessário para a compreensão do período atual, como também sua relação com o território (RAFFESTIN, 1993).

Os estudos de Dias (1997) apontam para essa mesma linha de análise ao abordar o tema redes técnicas e urbanização, recuperando-o desde a segunda metade do século XIX. Coloca ainda a confluência da história das redes técnicas com a história das inovações tecnológicas em resposta às demandas sociais que surgem em determinados locais e em determinados momentos. Esse é o sentido do surgimento, por exemplo, das redes de transportes como a ferrovia e a rodovia, das redes de comunicações, como a telegrafia, a telefonia e a teleinformática; ou ainda das redes de energia, como energia elétrica, os gasodutos, os oleodutos.

Cada um dos três séculos passados foi dominado por uma tecnologia. O século XVIII foi a etapa dos grandes sistemas mecânicos que fizeram a Revolução Industrial. O século XIX foi à época da máquina a vapor. Durante o século XX e o atual a tecnologia principal tem sido a tecnologia para a coleta, processamento e distribuição de informação. Entre outros desenvolvimentos, observa-se a instalação de rede telefônica no mundo todo, a invenção da rádio e da televisão, o desenvolvimento da indústria de computador, assim como a operação de satélites em órbita (DIAS, 1997).

A partir da intensificação da circulação, que resulta em interações com novas formas de organização da produção, a questão das redes reapareceu de outra forma, renovada pelas descobertas e avanços de outros campos disciplinares.

Correa (1989, 1994, 1997a, 1997b, 2001) destaca uma linha de investigações sobre a estrutura das redes urbanas, principalmente nos países em desenvolvimento. Em sua obra, propõe um resgate das principais contribuições teóricas

produzidas, como a teoria das localidades centrais e a utilização de teorias quantitativas sobre redes, desenvolvidas por geógrafos nos anos 60/70, numa tentativa de explorar a utilidade destas na realidade brasileira.

Ainda segundo Correa (2001), a expressão rede urbana é mais usada para evocar os fluxos de toda natureza, das mercadorias às informações que existem entre os pontos do território, contemplando não só estrutura bens e serviços e indivíduos, em um dado momento, como também os fatores econômicos e sociais que determinaram tal estrutura ao longo de um processo de desenvolvimento. Suas características variam conforme o tamanho dos centros, a densidade no espaço regional, nas funções que desempenham a natureza, intensidade, periodicidade, forma e alcance espacial de suas interações.

2.1 2. Globalização

O termo globalização é utilizado para descrever o recente processo de desenvolvimento do capitalismo, refletindo o aprofundamento de algumas tendências já embrionárias nos anos 70 e 80.

A emergência de um mundo globalizado se refere ao ajuste do capital em um novo regime de acumulação flexível, resultado da substituição da rígida produção em massa (fordismo)², na transformação do espaço transnacional, proporcionando uma maior flexibilidade na localização das indústrias, articulando as redes de fluxos econômicos globais (FERNANDES e NEGREIROS, 2001).

² O fordismo é um modelo de produção em massa em estruturas totalmente verticalizadas que revolucionou a indústria e foi implementado por Henry Ford para a indústria automobilística na primeira metade do século XX.

Harvey (2000) observa que a profunda recessão de 1973 provocou uma redefinição do modelo fordista do pós-guerra, iniciando uma série de processos:

Caracteriza-se pelo surgimento de setores de produção inteiramente novos, novas maneiras de fornecimento de serviços financeiros, novos mercados e, sobretudo, taxas altamente intensificadas de inovação comercial, tecnológica e organizacional. A acumulação flexível envolve rápidas mudanças dos padrões do desenvolvimento desigual, movimento no emprego no chamado setor de serviços, bem como conjuntos industriais completamente novos em regiões até então subdesenvolvidas(...) Ele também envolve um novo movimento que chamarei de compressão do espaço-tempo(...) no mundo capitalista - os horizontes temporais da tomada de decisões privada e pública se estreitaram, enquanto a comunicação via satélite e a queda dos custos de transporte possibilitaram cada vez mais a difusão imediata dessas decisões num espaço cada vez mais amplo e variegado (1993, p. 140).

Os ganhos de produtividade com a evolução tecnológica e pela expansão dos mercados permitiram o aparecimento de corporações que atuam em todo o planeta, numa estreita relação da produção com a atuação no setor de serviços.

Essa nova dinâmica desencadeou relações espaciais singulares, acarretou uma distinção dos lugares, proporcionada pela rentabilidade e investimentos oferecidos, e provocou novas interações espaciais na sociedade e em sua economia. Evidencia-se mais do que nunca a produção do espaço às necessidades de acumulação (SANCHES, 2001). Os circuitos espaciais de produção demonstram o uso diferenciado de cada território pelas empresas, instituições, indivíduos e permitem compreender a hierarquia dos lugares desde a escala regional até a escala mundial (SANCHES, 2001). Verifica-se nos dias de hoje que essas substituições sucessivas se dão com uma maior rapidez, para atender principalmente as relações de competição.

Diversos autores (VELTZ, 1991, BORJA e CASTELLS, 1997, SOJA, 1993 e SASSEN, 1998) atestam que esse novo espaço econômico produz redes técnicas e financeiras com vários centros, e resulta em uma nova forma de organização, mais

horizontal, na medida em que sucedem as estruturas burocráticas verticalizadas. As relações horizontais se verificam em cidades com o mesmo nível de desenvolvimento e, portanto estabelecem cooperações através de tecnologias de informações e produzem intercâmbios ou troca de sinergias. Já as relações verticais consistem em relações entre hierarquias, ou relações de subordinações hegemônicas.

Em uma economia de fluxos, cada cidade seria o “nó” de uma grande rede internacional. Neste contexto, as cidades seriam centros de comando e gestão, sem a intermediação das esferas regional e nacional, na medida em que, segundo Santos e Silveira (2001), os fluxos tornam-se mais importantes, pois a circulação prevalece sobre a produção propriamente dita. Nesta linha de pensamento configura-se uma rede, “um espaço de fluxos” em substituição ao “espaço de lugares” (COMPANS, 1999).

2.2 Propriedades da Rede no espaço

Como visto anteriormente, o conceito de redes ao longo da história articula-se com o desenvolvimento crescente das tecnologias de comunicação e informação, e consiste em tema necessário para a compreensão do período atual, como também sua relação com o território (RAFFESTIN, 1993).

A noção de redes expande-se por diversas áreas de conhecimento assim como nas relações encontradas em elementos na natureza. Verificam-se nas diversas abordagens sobre conceitos de redes pontos em comum, como por exemplo, um princípio sistêmico, no qual ao se analisar uma rede, cada fator que a compõe não deve ser analisado isoladamente e sim como um todo.

As redes correspondem a segmentos de linhas que são interconectadas, como a rede hídrica, a rede viária e as linhas de telecomunicações. De um modo geral, a análise das redes pode ser definida como o estudo dos problemas espaciais

relacionados a linhas, referindo-se à estrutura de conexidade e aos deslocamentos possíveis entre os pontos contidos nos segmentos de linhas.

Uma propriedade verificada por Dupuy (1996) seria a nodalidade, que distingue os nós da rede do ponto de vista de sua capacidade de se relacionar com o sistema. A conexidade permite caracterizar a rede de relações entre subsistemas de uma rede territorial ou as comunicações físicas permitindo a comunicação entre pontos, células, cidades, pessoas, empresas, instituições. A conexidade é uma propriedade essencial da rede, pois garante a coesão dessas relações (excludentes ou includentes) territoriais e remete a idéia de circulação. Um exemplo de rede fortemente conexa seria a rede viária dos países desenvolvidos. (DUPUY, 1996).

Os espaços podem ser de bases materiais ou não e referem-se originalmente às relações entre formas de objetos, de sua geometria, bem como às relações dos movimentos dos objetos. Nele se estabelecem as direções dos movimentos, as relações de posição dos objetos. Villaça (1998) distingue os espaços que envolvem deslocamentos, as localizações, e os que não envolvem deslocamentos, os objetos em si. Nestes últimos, o espaço é dado por relações visuais ou por contato direto, nas localizações, as relações se dão através dos transportes (de produtos, e energia, de pessoas), das comunicações e da disponibilidade de infra-estrutura.

No primeiro caso o espaço é denominado absoluto, isto é “*uma estrutura para localizar pontos, trajetórias e objetos*” (COUCLELIS, 1997, p.169). Os índices de autocorrelação espacial são exemplos de dimensionamento no espaço absoluto. Neste caso, um dos instrumentos básicos é a matriz de proximidade espacial, cujo cálculo é feito em função da distância euclidiana entre objetos ou a existência de uma fronteira entre eles (PEDROSA, 2003). A figura 2.1.e tabela 2.1 exemplificam o conceito de espaço absoluto através de uma matriz de proximidade espacial que relaciona as macrozonas (regiões) do município de Campinas. Ao se relacionar a macrozona 4(quatro) com a macrozona 2 (dois), é dado o valor 0 (zero), pois não há limites em comum entre elas. Já para as regiões que têm limites em comum, como as macrozonas 4 e 5 é dado o valor 0,5 (meio).

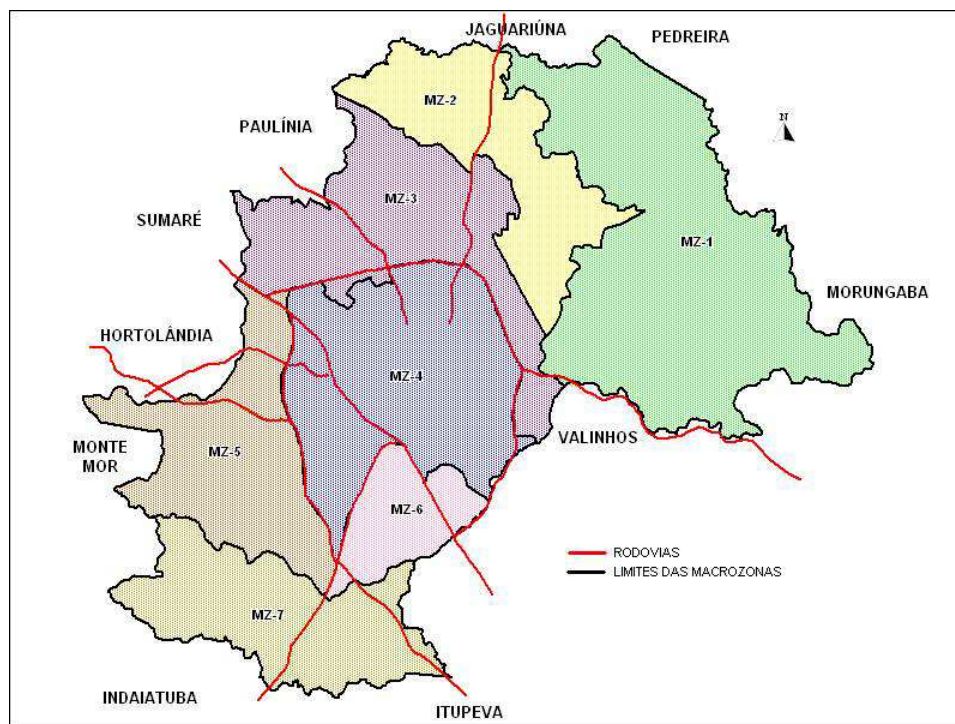


Figura 2.1 - Campinas - divisão em macrozonas
 Fonte: Prefeitura Municipal de Campinas, 1995

MZ	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0,5	0,5	0	0	0	0
2	0,5	0	0,5	0	0	0	0
3	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0	0
4	0	0	0,5	0	0,5	0,5	0
5	0	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5
6	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5
7	0	0	0	0	0,5	0,5	0

Tabela 2.1 - Matriz de proximidade espacial entre as macrozonas.
 Elaboração própria

A figura 2.2 demonstra o desejo de tráfego entre diferentes bairros no município de Campinas, exemplificando o conceito de espaço relativo. Os nós representam os bairros e as linhas, o desejo de tráfego, a relação origem/destino é estabelecida com base em relações de conexidade e acessibilidade. A largura das linhas é proporcional ao total de viagens de automóveis, ônibus ou caminhão em determinado período.

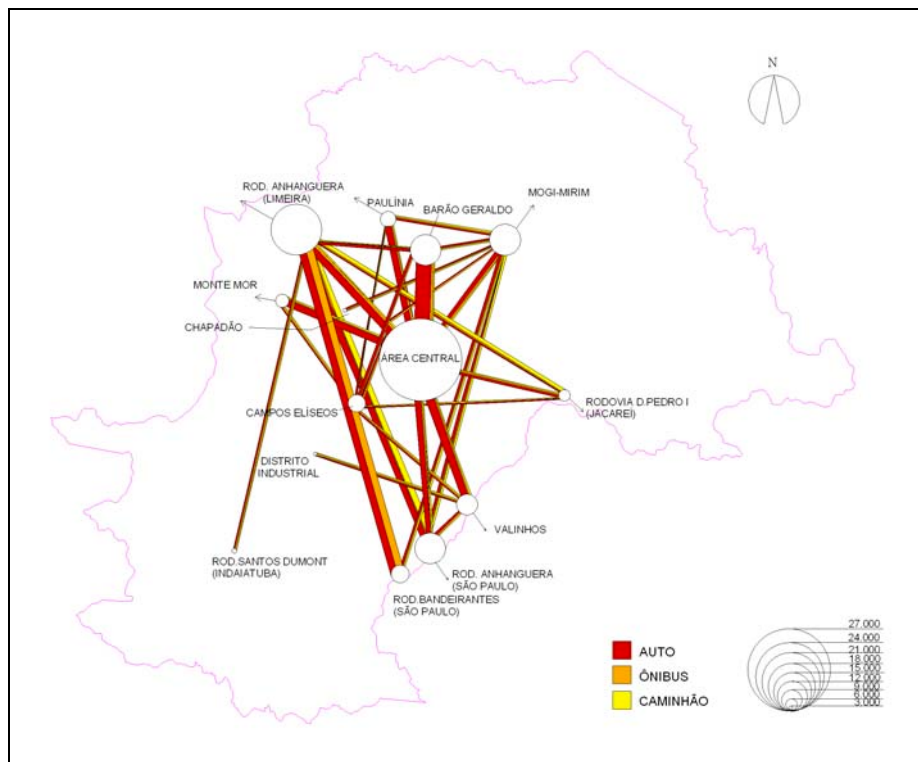


Figura 2.2 - Linhas de Desejo de Transporte
 Fonte: Prefeitura Municipal de Campinas, 1991, p.8

Santos (1996) destaca também que o termo rede compreende a interação entre o que é fixo e o que fluxo, distinguindo o fixo como o espaço geográfico, a estrutura, os assentamentos, os complexos industriais. Os fluxos consistem na dinâmica e se apresentam em duas instâncias:

- ✓ Fluxos materiais, como a rede de estradas, por exemplo;
- ✓ Fluxos imateriais, que consistem nos transportes, informação, movimentação de capital (figura 2.3).



Figura 2.3 - Fluxos de comunicação pela *internet*
Fonte: <http://www.cybergeography.com/atlas/geographic.html>

Uma visão atual da rede envolve ainda, como propõe Santos e Silveira (2001) o conhecimento da idade dos objetos (idade mundial da respectiva técnica), a longevidade (idade local do respectivo objeto), a quantidade e distribuição, uso e relações (modalidades de controle e regulação que esses objetos mantêm com outros fora da área).

2.3 Cidades e o planejamento

No período de maximização das economias de escala (fordismo), o planejamento urbano nas cidades européias vinha a refletir a divisão social do trabalho. Como consequência desse espelhamento tem-se um urbanismo funcionalista, característica da sociedade industrial, por meio dos zoneamentos e dos grandes conjuntos habitacionais para os trabalhadores e a classe média das cidades.

No Brasil, o urbanismo do século XX estava sintonizado com o pensamento internacional. O estado, chamado desenvolvimentista, é o gestor único e protagonista

das estratégias econômicas, integradoras, com fortes investimentos de infra-estrutura, como o desenvolvimento dos transportes e comunicações (FERNANDES e NEGREIROS, 2001). O rearranjo da forma do território ocorrido a partir dos anos 50 é em grande parte, devido à expansão rodoviária e ao desenvolvimento do transporte aéreo que criam nodalidades de nova qualidade.

Atualmente, as grandes cidades são profundamente tocadas pelo processo de globalização. Primeiramente, porque a maior integração da economia internacional se reflete no espaço urbano através do influxo de bens, pessoas e capital, e em segundo lugar, pelos desafios ambientais colocados pelo acréscimo da pressão demográfica e das atividades econômicas.

Compans (1999) expõe que, no período atual, o urbanismo reflete a divisão social do trabalho, a qual não é dominada somente pelo setor industrial, mas do terciário avançado. Coloca ainda que, com a recente dispersão geográfica das funções de comando, inovação e gestão nas cidades, os novos imperativos do urbanismo passaram a ser:

- ✓ construção de redes de comunicação em fibra ótica - que permitem uma maior qualidade e segurança na transmissão de dados - fornecidas em instalações apropriadas para escritórios e sedes de empresas, os chamados “edifícios inteligentes”;
- ✓ criação de distritos financeiros nas estações terrestres de telecomunicações (teleportos), que propiciem economias de aglomeração e externalidades positivas para este setor;
- ✓ modernização e/ou construção das infra-estruturas de transporte de alta velocidade, como aeroportos trens de alta velocidade, para assegurar a mobilidade e a acessibilidade física;
- ✓ provisão residencial - permanente e transitória - destinada às novas camadas profissionais médias e aos quadros executivos das empresas, como hotéis residências de luxo, condomínios fechados ou novos equipamentos comerciais, culturais, esportivos e de lazer.

Tais reflexos produzem permanentes modificações no uso e na ocupação do solo nas cidades. Estas transformações advêm do direcionamento dos investimentos tanto públicos, como a abertura de novas vias, como privados, lançamentos de empreendimentos. No entanto, as prioridades de investimentos públicos na urbanização e expansão urbana geralmente estão voltadas às intervenções públicas pontuais, fragmentadas e subordinadas aos interesses privados. Assim, a provisão de recursos e gestão pública em equipamentos públicos e infra-estruturas tornam-se muitas vezes críticas, reforçando-os como papéis negligenciadores das transformações verificadas na legislação, regulamentação, no planejamento e gestão (JACOBS, 2000).

As estratégias políticas então executadas geraram e ainda geram nos grandes centros urbanos, a segregação socioespacial e resultaram em uma apropriação diferenciada do espaço urbano, concentração de renda, exclusão e desequilíbrio socioambiental, comprometendo o processo de expansão sustentável das cidades.

O urbanismo atual, funcionalista, trata o território aureolar, definido por zonas, de limites, fronteiras, enfim meios que se praticam o poder. Porém, essa prática do urbanismo não consegue produzir efetivamente uma ordem espacial e adaptar o social às condições da sociedade urbana contemporânea (DUPUY, 1996).

Um outro conceito é a compreensão de um território reticular, que transcende os zoneamentos, e oferece novas coerências às cidades (DUPUY, 1996). Alguns exemplos apontados por esse autor refletem esse pensamento, temas atuais como as plataformas multimodais de frete, cuja rede de comunicação logística permite o transporte da mercadoria de um modal a outro, são hoje em dia cada vez mais utilizadas. As redes logísticas ilustram perfeitamente um modo particular de espaço que é gerado a partir de uma organização econômica em rede. Esta detém uma natureza complexa de funções, fluxos e nós que extrapolam o território, e segundo Dupuy (1996), esta configuração não condiz com uma organização em zonas baseadas em limites e fronteiras.

O desafio atual consiste em ter capacidade de compor espaços de fluxos determinados pela inclusão nas redes mundiais, com a consolidação de centralidades existentes no âmbito local, e assim provocar uma melhora de desempenho da estrutura urbana em seu conjunto. Elaborar uma leitura da estrutura de relações que contemple a configuração e dinâmica das distribuições espaciais bem como suas condições de centralidade, que serão necessariamente alteradas pelas intervenções, é necessário ao planejamento urbano. O espaço urbano é um sistema aberto a decisões internas e externas, a dinâmica de mudança é influenciada pelo capital e resulta em uma constante tensão entre demanda, oferta e decisões sobre a organização do espaço (BUZAI e BAXENDALE, 2006).

Nesta leitura é importante a análise das condições entre os diferentes setores urbanos identificáveis, as distintas localizações, os padrões que organizam certas zonas com maior intensidade do que outras, as transições do espaço público ao privado, as passagens de espaços abertos públicos a espaços fechados públicos, transformações de usos residenciais para comerciais, expansão urbana etc.

Nesta perspectiva, as infra-estruturas urbanas, no domínio da rede viária associada aos seus reflexos urbanísticos, constituem uma janela adequada para compreender este processo de transformação, pois envolvem desdobramentos sobre a forma urbana e sobre a equidade social (RAMOS e FERNANDES, 2003) e refletem-se diretamente na dinâmica da cidade.

A rede viária é um elemento estruturador da cidade e é um de seus elementos essenciais. De todas as principais funções do sistema viário, as de fornecer acesso, e garantir a livre circulação de seus usuários, são sem dúvida as mais importantes. Ele estabelece o tamanho de quadras, delimita bairros e regiões. Enfim, nenhum outro elemento da composição material urbana é tão permanente quanto o conjunto de suas ruas (DEBATIN NETO, 1998). Existe uma estreita ligação entre os grandes projetos urbanos, os padrões de uso do solo e o sistema viário e de transportes, já que as metas

de garantia de mobilidade e acessibilidade a estes mesmos projetos estão totalmente ligadas à necessidade de se realizar uma previsão de capacidade da infra-estrutura viária.

2.3.1 Modelagem espacial

Os sistemas de modelagem espacial geralmente utilizam métodos para modelar que envolvem aquela cidade bem diferente das manifestações contemporâneas. Concebida inicialmente como um único centro, a cidade é reestruturada pelos automóveis, serviços e a tecnologia de informação. Além do mais, a cidade deve contemplar também enfoques de certos tipos de relações entre o tempo e espaço. Em cada lugar há diferenças na maneira como os diversos atores e suas ações utilizam o tempo e o espaço, sujeitos também às rugosidades da composição social e do território (MOURA, 2003).

Como observado por Moura (2003) *“a ciência atualmente está diante do desafio de trabalhar com sistemas complexos com variáveis que interagem e estão em constantes mutações”*. Interações baseadas pela teoria do caos, teoria que constata a dinâmica dos fenômenos espaciais e seus desdobramentos, por vezes complexos, ocorridos a partir de uma simples alteração de uma variável. No caso das cidades, o uso do solo e o deslocamento são definidos como um estado de organização, isto é, parâmetros de ordem que emergem através de fluxos de energia e matéria.

Segundo Johnson (2003) um padrão emergente é verificado quando várias entidades independentes criam uma organização complexa, aparentemente sem uma estratégia ou autoridade centralizada. Quando vários eventos sejam nos meios naturais, físicos e sociais são examinados em determinado espaço de tempo, percebe-se como a posição inicial (ou características, texturas) destes afeta a próxima posição (mudança de características, texturas). Cita ainda, por exemplo, como bairros ou favelas surgem através do comportamento coletivo com vida própria, isto é forças que desempenham um papel fundamental na estruturação das cidades, as forças de baixo para cima

(*bottom-up*), apesar das cidades serem rigorosamente definidas por forças de cima para baixo (*top-down*), como por exemplo, as leis de zoneamento.

O autor destaca as realizações teóricas para trabalhar a ciência de auto-organização, ou seja, os padrões emergentes de organização, através das contribuições de teóricos como Allan Turing, com estudos que enfocam as interações entre células em um único organismo e suas especificações nos primeiros computadores, ou Engels, na observação de padrões no cenário urbano em Manchester ou ainda Jane Jacobs com sua crítica ao planejamento tradicional, ao não distinguir padrões emergentes dentro do complexo organismo que é a cidade.

Os padrões emergentes das cidades verificados por Johnson (2003) têm sido contemplados em recentes estudos de modelagens, como colocam Polidori e Krafta (2005), exploram as possibilidades dos Autômatos Celulares (AC) e procuram reproduzir a ação dos diversos produtores do espaço urbano.

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Modelos

A análise de uma realidade introduz a necessidade de representá-la e manipulá-la de alguma maneira. Desta forma, a utilização de modelos produz uma representação simplificada da realidade e procura apresentar uma complexidade reduzida a níveis aceitáveis, através de códigos que relacionam o objeto real observado a representação do modelo.

O termo modelo apresenta pelo menos três usos diferentes: como nome implica uma representação, como adjetivo um ideal e como ação exibe um padrão. No uso científico incorpora-se uma parte de cada um destes significados; na construção de modelos é criada uma representação idealizada da realidade a fim de relevar algumas de suas propriedades (HAGGET, 1976). Consistem em apoios conceituais para a compreensão, na medida em que representam uma imagem ou uma concepção simplificada e aparentemente racional para se investigar uma fonte de hipóteses de trabalho que serão contrastadas com a realidade.

Os modelos têm diferentes tipos de linguagens e formatos e cada um detém uma especificidade em aplicações classificadas, geralmente em três grupos (MEREDITH *et al*, 1985).

Os modelos físicos demonstram as representações físicas atuais, são uma redução análoga ao original. Já os modelos gráficos são produzidos em desenhos esquemáticos, como desenhos em perspectivas, curvas e gráficos, demonstrando as relações entre dois ou mais parâmetros. Por sua vez, os modelos matemáticos simulam o problema em termos matemáticos, valendo-se de representações por meio de símbolos ou linguagem (lógicos matemáticos).

Em uma forma simples, o modelo matemático, classificado em determinístico ou estocástico-probabilístico, pode ser expresso em uma única expressão matemática, ou ser estruturado em complexos sistemas, os quais são viabilizados atualmente por computadores, capazes de calcular milhares de equações em pouco tempo.

Adicionalmente, os modelos possuem uma classificação geral baseada pelo uso (NOVAES 1982, MEREDITH *et al*, 1985). Um modelo é comportamental quando o objetivo é encontrar as características de resposta ou determinar a resposta do sistema para uma série de componentes e estrutura do sistema.

Modelos de decisão são utilizados quando se procura selecionar as melhores alternativas ou estratégias. Através de alternativas definidas de acordo com critérios estabelecidos, são demonstradas as soluções mais favoráveis.

Modelos descritivos procuram detalhar especificações envolvidas para determinada realização ou testar teorias com a finalidade de compreender somente a estrutura do sistema. Segundo Novaes (1982), um modelo exploratório é um modelo descritivo que engloba a análise paramétrica de seus diversos estados através da variação dos elementos do sistema e de suas relações. Quando perfazem um processo de evolução de um sistema ao longo do tempo, isto é, há a variável tempo, os modelos exploratórios são denominados preditivos ou de simulação, também denominados modelos dinâmicos.

A partir de um conjunto de condições iniciais, a evolução ao longo do tempo e no espaço pode ser completamente prevista em um modelo determinístico de dinâmica.

Já o modelo de dinâmica estocástico-probabilístico, diante de uma regra definida e imutável, utiliza uma variável aleatória na geração de diferentes resultados a cada vez que é testado.

Ao se representar uma realidade, os modelos devem ser concebidos sobre lógicas apropriadas, para se evitar processos de generalização que resultem em simplificações inadequadas da realidade. Os processos de ajustes ou calibração, avaliando-se os parâmetros envolvidos, são fatores a serem verificados a fim de reduzir a possibilidade de aplicação de subjetividades (MOURA, 2003).

3.2. Modelos Urbanos

As análises das estruturas espaciais, através de modelos urbanos que introduziram conceitos de otimização e eficiência, foram desenvolvidas inicialmente por Von Thünen, Burgess, Hoyt, Ulmann, Christaller, Lösch e Lowry.

O modelo de Von Thünen (1826) procura explicar como a renda fundiária influencia a acessibilidade dos produtores agrícolas ao mercado consumidor. Esse primeiro estudo foi destinado a realizar uma situação de equilíbrio espacial de um ciclo econômico baseado na produção, distribuição e consumo. Ao observar o funcionamento de um mercado agrícola, estuda a estruturação do estado total em função das relações com o mercado urbano vizinho (DELLE DONE, 1979). São concebidos anéis concêntricos em torno da cidade, onde serão distribuídas as diferentes produções agrícolas, levando em conta os custos de transportes.

Enquanto Von Thünen estava preocupado com a localização das atividades agrícolas em torno das cidades e Weber (1929) sistematizava a sua teoria da localização industrial, Christaller (1930) procurou estudar as causas pelas quais as

cidades se organizavam em uma espécie de rede. A razão da existência de cidades pequenas e grandes e o porquê de sua distribuição irregular são os pontos centrais de seu estudo (ABLAS, 1982).

A partir da definição de alguns conceitos como centralidade, bens de serviços, região complementar, distância de mercado etc, é construído um modelo estático para a determinação do sistema de lugares centrais a partir da observação do comportamento das pessoas em relação à oferta de bens e serviços no interior das cidades. O lugar central seria uma região em que a densidade de localização da população e das atividades econômicas é maior que em uma região complementar ou área de influência.

As hipóteses do modelo de Christaller e a Teoria dos Lugares Centrais são (ALVES e MARTINS, 2001):

- ✓ espaço isotrópico (estrutura triangular);
- ✓ a oferta localiza-se em pontos (lugares centrais);
- ✓ a procura é feita pela população dos pontos e das regiões complementares;
- ✓ os bens e serviços têm importância variável, definida pela sua área de influência, dependentes da frequência da sua procura e do limiar mínimo de procura;
- ✓ a hierarquia dos bens oferecidos pelos centros está associada à hierarquia dos centros, sendo que a posição hierárquica de cada centro se define pelo bem por ele fornecido, que tem maior área de influência;
- ✓ um centro que desempenha funções de ordem superior desempenha também todas as funções de ordem inferior.

Os princípios de organização espacial de Christaller são (figura 3.1)

- ✓ **mercado ($k=3$)** - as áreas mercado variam de setor para setor, dependendo do tipo de bem oferecido. Diferentes setores se conjugam para formar um sistema regional de cidades;

- ✓ **transportes (k=4)** - procura otimizar as vias de comunicação; cada centro de nível superior tem uma região complementar equivalente a quatro regiões complementares de centros elementares. A distribuição dos lugares centrais é mais favorável quando a maior parcela possível de lugares centrais encontra-se sobre a mesma linha de tráfego que liga duas cidades de ordem superior, sendo essa linha estabelecida como a ligação mais barata entre as duas cidades consideradas (ABLAS, 1982). De acordo com o princípio de transporte, os lugares centrais devem estar alinhados nas estradas que irradiam de um lugar central e podem ser considerados como centros do sistema;

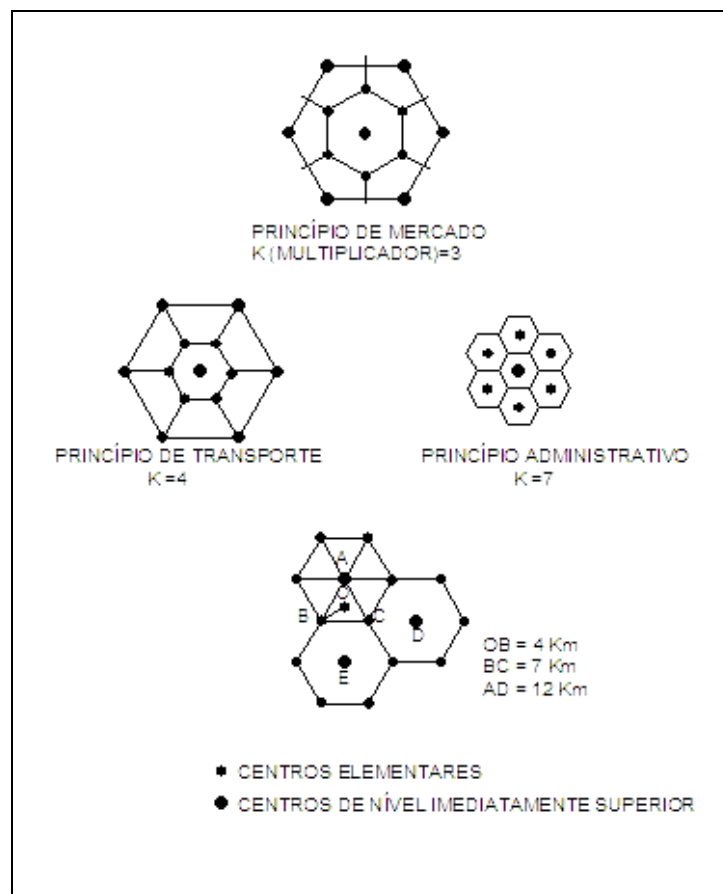


Figura 3.1 - Hierarquia das localidades centrais
Fonte: Adaptado de Delle Done, 1979

- ✓ **político administrativo (k=7)** - procura garantir que cada centro de nível superior englobe na sua totalidade as regiões complementares dos centros elementares que estão na sua dependência; cada centro de nível superior tem uma região complementar equivalente a sete regiões complementares de centros elementares. O princípio da separação territorial administrativa é denominado de princípio sociopolítico. Segundo esse princípio, as comunidades devem ser separadas formando grupos que permitam a defesa mútua contra influências hostis.

O que determina a ordem do lugar central dentro do sistema será o número de tipos diferentes de bens que ela oferece, considerando o número de profissões ou funções ao invés de tipos diferentes de bens. (ABLAS, 1982). Christaller demonstra, através de sua teoria, a área atingida pela oferta de um determinado bem e chega a um sistema de lugares centrais baseados na abrangência dessas áreas. A perspectiva de sistema de lugares centrais será formada por um conjunto de áreas de mercado, no centro das quais se situam os lugares considerados. Essas áreas de mercado serão superpostas de tal forma que um lugar central de determinada ordem domina certo número de lugares centrais de diversas ordens inferiores.

A teoria do lugar central, como argumenta Ablas (1982) aparece efetivamente como uma abstração muito geral da realidade. No entanto, antes de uma teoria geral de localização e formação de cidade, ela é uma teoria da localização da atividade terciária, sendo, portanto mais limitada, uma vez que outros princípios de urbanização e de localização de atividades, principalmente industriais, são necessários.

Um exemplo de classificação de rede christalleriana são os estudos produzidos pelo IBGE sobre a rede urbana (figura 3.2). Consiste em uma classificação das cidades em metrópoles nacionais, metrópoles regionais, cidades importantes etc. Neste mapa são definidas as áreas de influência de cada nó da rede urbana nacional. Esse estudo está estritamente ligado à teoria de Christaller, a abrangência espacial da cidade

depende da influência que ela exerce e o grau de sofisticação que oferece nas várias áreas.

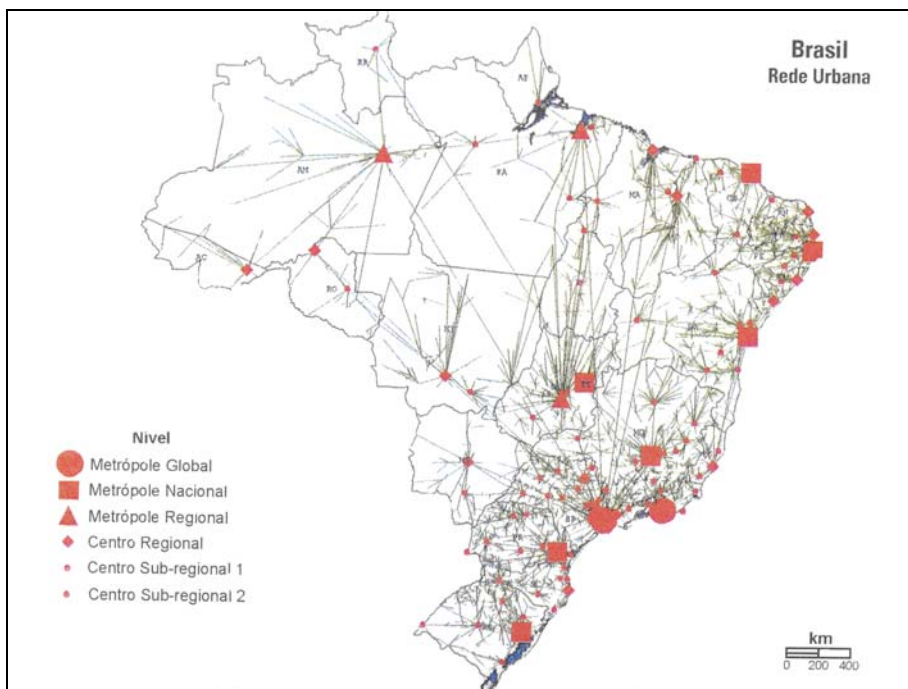


Figura 3.2 - Rede Urbana no Brasil
Fonte: IPEA, IBGE, NESUR/UNICAMP, 1999, p.356

Aperfeiçoando as teorias de Thünen e Weber, Augusto Losch organiza o espaço reproduzindo a imagem geométrica de uma região econômica, racionalmente organizada a partir das localizações ótimas das atividades dadas pela maximização dos lucros. Em um regime de concorrência, considerando que as dimensões ótimas da empresa e da área de mercado relativa a diferentes bens serão diferentes, tem-se uma complexa rede de áreas de mercado e um alto grau de especialização distribuídos de forma circular pelo território, conforme grau de economia e custos de transportes (centros e subcentros) (DELLE DONE, 1979). Essa forma proposta por Losch não é uma solução estável, a estabilidade só é alcançada através de uma forma hexagonal, semelhante a uma colméia (figura 3.3) (SOUZA, 2005).

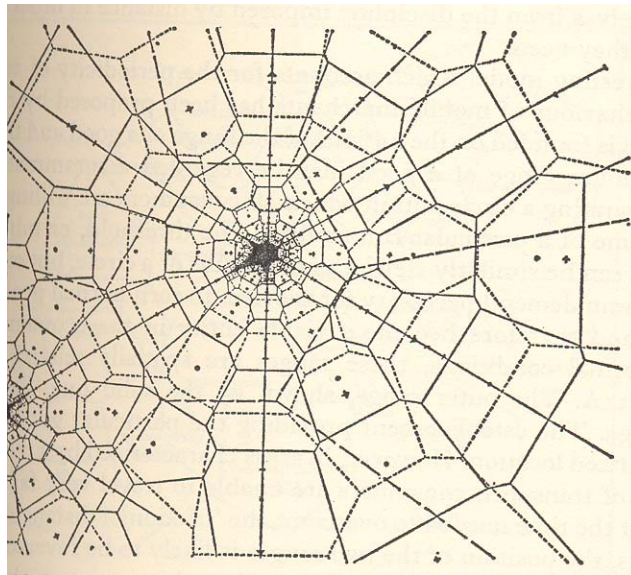


Figura 3.3 - Sistema de Lösh de territórios hexagonais
Fonte: HAGGET, 1967

Apesar do esforço de métodos de análise urbana, estas teorias têm dificuldade em considerar o conceito de espaço e de tempo em sua abordagem, pois são geralmente desenvolvidas a partir de uma firma ou de um consumidor hipotético e genérico, negligenciando, por exemplo, o papel do Estado (CAMPOS FILHO, 1989).

A Escola de Chicago de Sociologia Urbana procura reconhecer e explicar formas de desenvolvimento urbano por meio de modelos descritivos da estrutura intra-urbana para cidades americanas, como os modelos de Burgess (1925), Hoyt (1939) e Harris e Ullman (1945).

O modelo de Burgess (figura 3.4) a partir de um núcleo central de negócios que abriga comércio e serviços, considera a cidade ordenada por círculos concêntricos de densidade decrescente, com diferenciação de zonas que definem fatores de oposição à expansão da área urbana numa dada direção.



Figura 3.4 - Modelo de Burgess das zonas concêntricas da estrutura social e espacial urbana

Fonte: ALVES e MARTINS, 2001

A zona de transição é uma zona destinada à expansão da zona central onde ocorrem mudanças de usos, residenciais para comércio e serviços e as residências mais antigas se transformam em escritórios e pequenas fábricas. A zona 3 é formada por residências operárias, a zona 4 abriga residências para a classe média e a quinta zona é reservada aos habitantes de maior renda que exercem suas atividades no centro (KNEIB, 2004).

Hoyt (figura 3.5) complementa o estudo de Burgess, os números que aparecem no esquema de Hoyt possuem as mesmas identificações de Burgess (figura 3.4).

A estrutura se dá por setores a partir do ponto central, definidos pelas diferenças de acessibilidade geradas pela conformação do sistema de transportes, classes sociais e níveis de renda, e estes, por sua vez, determinam a variação do valor do solo de um setor para outro. Desta forma, famílias de alto/médio rendimento que têm acessibilidade em transporte privado e as famílias de baixo rendimento são sensíveis tanto ao custo de transporte como também pela proximidade do local de trabalho (ALVES e MARTINS, 2001).

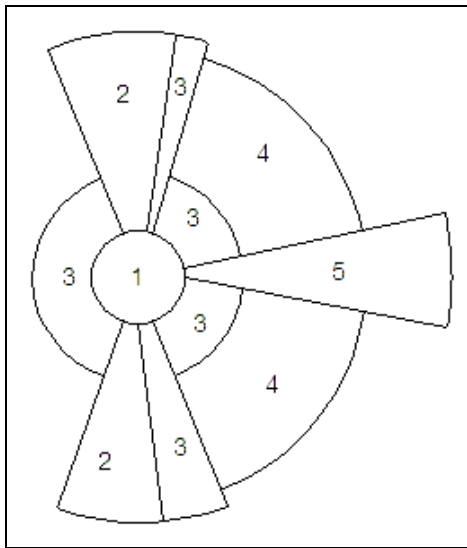


Figura 3.5 - Modelo de Hoyt dos setores
Fonte: ALVES e MARTINS, 2001

Harris e Ullman (figura 3.6) propõem uma estrutura celular com diversos centros, pois a impossibilidade de se pagar os custos de uma localização central impõe uma localização suburbana. Consideraram-se quatro fatores que justificassem a formação de vários núcleos (ALVES e MARTINS, 2001):

- ✓ necessidades especializadas de certas atividades;
- ✓ tendência de algumas atividades em repelir-se;
- ✓ tendência geral de aglomeração de atividades complementares;
- ✓ capacidade de rendimento de atividades, que as forcem a agrupar-se em setores.

O esquema de numeração é o mesmo dos modelos anteriores, acrescidos do núcleo 6, localidade para indústrias pesadas, o núcleo 7 que indica um novo centro, o 8 indica um núcleo residencial suburbano e o 9 um subúrbio industrial (ALVES E MARTINS, 2001).

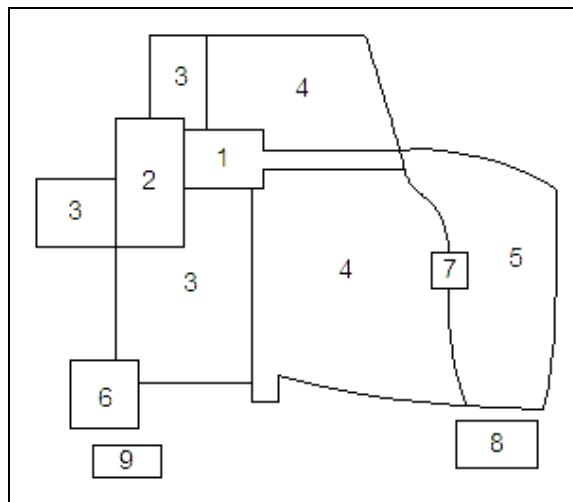


Figura 3.6 - Modelo de Harris e Ullman dos núcleos múltiplos
Fonte : ALVES e MARTINS, 2001

A Segunda Guerra Mundial propiciou um ambiente que gerou uma tendência generalizada de se criar meios de compreensão compartilhados entre diferentes campos de conhecimento. É nesse cenário que se desenvolve o que é denominada Revolução Quantitativa ³ nas Ciências Sociais (Sociologia, Geografia, Economia, Ciências Políticas, Planejamento Urbano).

Na década de 50, como observa Almeida (2003), estudos pioneiros de modelos de planejamento de transportes surgem nos Estados:

Os problemas da organização espacial já não podiam ser encarados como meras necessidades descritivas, mas assentavam, fundamentalmente, na procura de soluções que permitissem otimizar a utilização do espaço terrestre, de modo que a própria organização espacial das atividades humanas se tornasse mais eficaz em si e nas relações que sempre se estabeleceram com o espaço envolvente.

Com o objetivo de alcançar a eficiência nos serviços, as modelagens basearam-se em uma análise sistêmica, no entanto, os modelos quantitativos apresentam-se

³ Escola Quantitativa é uma vertente da Geografia que adotou o neopositivismo como base filosófica e aplicou a matemática nos estudos geográficos. A estatística, a teoria de sistemas e dos modelos foram amplamente utilizados nesta escola (LEITE e ROSA, 2006)

particularizados, isto é, detêm-se em análises de um dado setor da estrutura da cidade como planejamento de transportes, mercado imobiliário etc. (CAMPOS FILHO, ALMEIDA, 2003).

Um primeiro modelo relacionando transporte e uso da terra, utilizado para a cidade de Pittsburgh, foi desenvolvido por Ira Lowry nos anos 60. Esse modelo foi amplamente usado nos países da Europa e possui uma formulação bem simples. O modelo de Lowry supõe um crescimento regional e urbano (ou seu declínio) em função da expansão (ou contração) do setor básico econômico. Desta maneira, o emprego no setor básico influencia a distribuição espacial da população e do emprego do serviço. O nível de influência é relacionado aos custos de transporte, ou a fricção do espaço. Quanto mais elevada a fricção do espaço, mais próximo está dos lugares de emprego (básico e não-básico) e das áreas residenciais. Suas principais suposições são (RODRIGUES, 2004):

- ✓ o setor residencial, e assim o uso de terra urbano são uma função do emprego. Esta função tem efeitos multiplicadores calculados pelos empregos básicos e não-básicos. Cada trabalho é ligado a um número de população;
- ✓ o emprego total é uma função do emprego no setor básico. O emprego de varejo é resultado de efeito multiplicador do setor básico;
- ✓ a posição da população é uma função dos custos envolvidos para ir ao seu lugar do trabalho, baseada na função do espaço.

Estudos de estruturas locacionais urbanas, advindos da Escola Quantitativa, são empreendidos por Hagget, Chorley, Echenique, concebendo o crescimento urbano como um todo. Estes estudos apontaram tais estruturas como sistemas abertos, nos quais uma região nodal, um conjunto de objetos (cidades, populações etc) está relacionado por meio de movimentos de circulação (dinheiro, migrantes etc) e as cargas de energia vêm através das necessidades biológicas e sociais da sociedade. Diferentemente dos sistemas fechados, nos abertos há uma dinâmica evidente no intercâmbio de várias cargas de energia. São considerados os estudos dos

movimentos, ou seja, os canais os quais se efetuam, as redes e os nós desta e sua organização em uma hierarquia com uma integração das zonas, ou superfícies.

Hagget (1976) faz um estudo sistemático sobre a construção, utilização, tipos de modelos desenvolvidos para a análise locacional dos sistemas regionais no território (figura 3.7). Os estágios de análises dos sistemas regionais definidos por esse autor são: os movimentos, as redes, os nós, as hierarquias e superfície; que poderiam representar respectivamente, os fluxos migratórios de populações, rede viária de transportes, as cidades, importância das cidades e sua área. Esses estudos retomam de certa maneira, os modelos de Thünen, Losch, Christaller e estudos advindos dessas teorias.

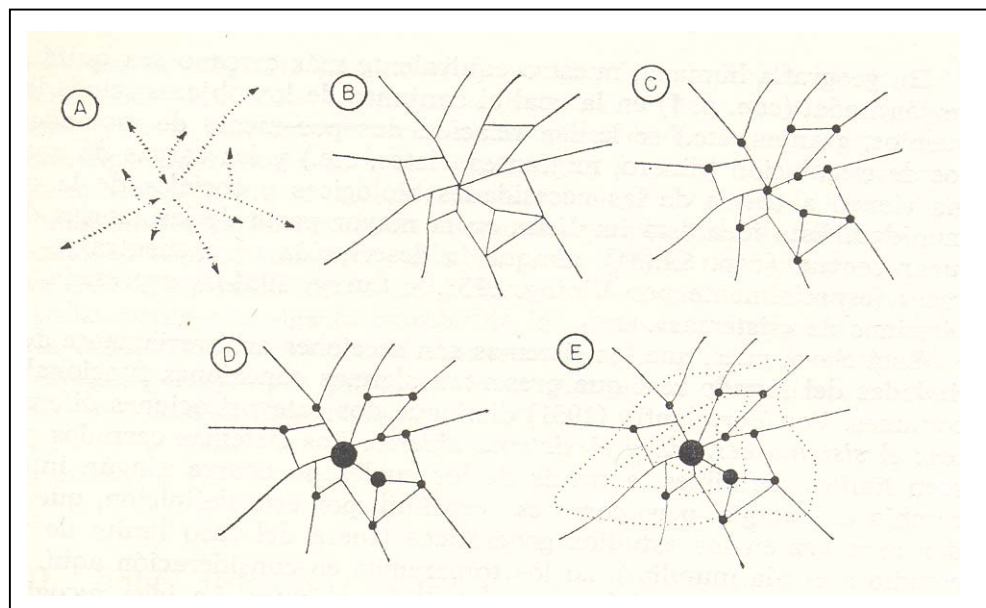


Figura 3.7 - Estágios de análises dos sistemas regionais.
A. movimentos, B. redes, C.nós, D.hierarquias, E.superfícies
Fonte: HAGGETT, 1976

Os modelos matemáticos, desenvolvidos a partir da ampliação das bases geométricas, surgiram conjuntamente ao desenvolvimento de tecnologias de computação e apostavam na capacidade de manipulação e armazenamento de grande quantidade de dados para a descrição de estruturas urbanas e predição de padrões de fluxos e ocupações (ECHENIQUE, 1975). Trabalhos de Bunge (1967), Hagget (1965),

Garrisson y Marble (1967), Cole e King (1968), Harvey (1969) e Chorley (1973) exemplificam aplicações de diversas metodologias estadísticas que propõem análises modelares e sistêmicas de temas sobre a distribuição espacial (BUZAI e BAXENDALE, 2006).

De maneira geral, os modelos de localização espacial idealizam a estrutura espacial com localizações ótimas de atividades, levando em conta custos de transportes, maximização dos lucros, pressupondo somente o agente econômico, negligenciando aspectos da população e suas necessidades, ou ainda sem uma visão histórica do processo (SOUZA, 2005).

Apesar do esforço em abordar um campo geral nas diversas dimensões do crescimento urbano e do refinamento matemático, inúmeras críticas foram feitas à Escola Quantitativa, pelos métodos matemáticos utilizados na formulação dos modelos espaciais. Contudo, este tema foi retomado por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), dando um novo estímulo a esta escola.

3.3 Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e Modelos Dinâmicos

3.3.1. Sistemas de Informações Geográficas

As profundas modificações do final do século XX, na era do gerenciamento disciplinado de informações (SILVA, 1999) propiciaram uma ampla aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) por diversas áreas de estudo para as mais variadas finalidades. A característica fundamental de um SIG dos demais sistemas que trabalham com a informação espacial, é a sua capacidade de análise espacial, que possibilita trabalhar as relações espaciais das entidades da base de dados geográfica.

Cabe destacar que os SIGs são ferramentas computacionais para Geoprocessamento, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, possibilitando

automatizar a produção de documentos cartográficos. Sendo assim, o termo Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistema que as utiliza (Rodrigues, 1991) ou como coloca SILVA (1999) é uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano e regional.

Segundo Piumento (2006) ao se definir um SIG é importante destacar os seguintes elementos:

- ✓ é um sistema de informação destinado a suportar os processos de tomada de decisões;
- ✓ trabalha com uma base de dados que possui informação espacial;
- ✓ apresenta funções especializadas de captura, armazenamento, transformação, modelagem, análise e apresentação de dados espaciais para problemas de natureza geográfica.

Dentre as características técnicas dos SIGs, as principais e mais importantes destacadas por Piumento (2006) são :

- ✓ organizam a informação geográfica em camadas;
- ✓ armazenam informações descritivas dos elementos geográficos;
- ✓ desenvolvem análises espaciais sobre os dados.

Silva (1999) destaca quatro tipos de dados que fazem parte de um sistema geográfico de banco de dados para um SIG:

1. dados textuais - referem-se à descrição mais concisa de fatos do mundo real, evitando-se qualquer caráter interpretativo;

2. dados numéricos - correspondem ao atributo, variável ou categoria não espacial de determinado fato;
3. dados matriciais ou raster - consistem na representação gráfica do mundo real através de *pixels* (*picture element*) ou células com forma poligonal regular, geralmente quadradas, que são definidos pelas suas posição em relação às colunas e linhas de uma malha (figura 3.8);
4. dados vetoriais - e a representação gráfica do mundo real sendo a unidade fundamental o par de coordenadas x,y (figura 3.9).

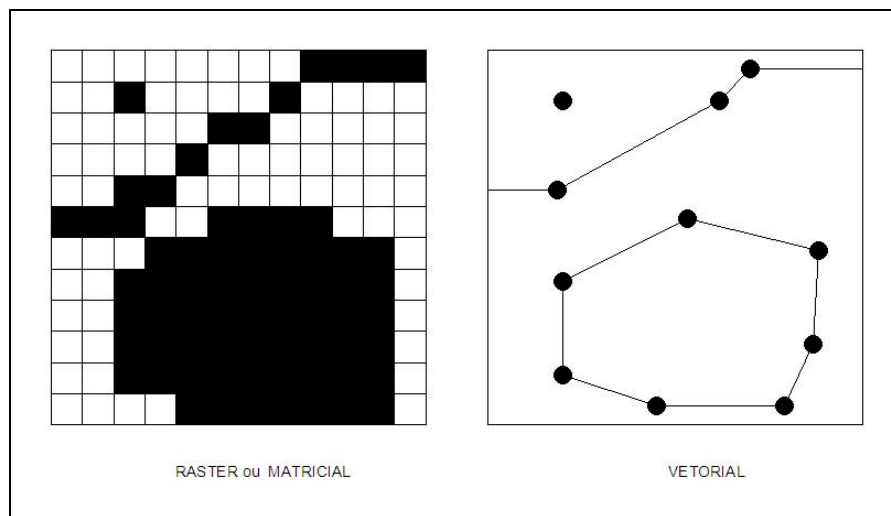


Figura 3.8 - Representação de dados *raster* ou vetoriais
Fonte : MAGUIRE e DANGERMOND,1991

O modelo *raster* baseia-se na criação da base de dados geográficos, na incorporação de capas temáticas superpostas ou *layers*, onde cada um representa um tema e contém os dados necessários para seu tratamento. Cada *layer* é formado por uma matriz de células contínuas identificadas por um número digital como dado que indica uma categoria temática incluída em seu interior (BUZAI, 2007). A figura 3.9 ilustra uma representação *raster* através de uma matriz de 10 linhas e 10 colunas sobre a qual estão codificadas duas categorias: 1, para pasto e 2 para bosques.

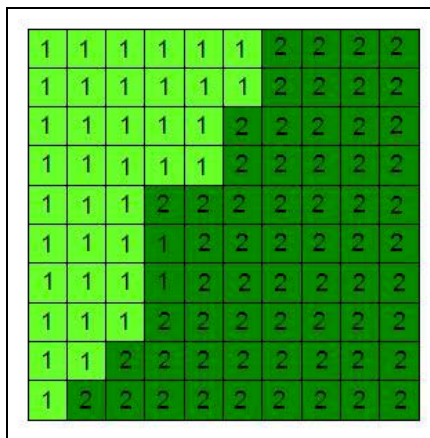


Figura 3.9 - Representação de dados *raster*
Fonte: SILVA, 1999

As entidades pontos, linhas e polígonos como verificados na figura acima (figura 3.9), são entidades cartográficas básicas de dados vetoriais, podem ser estruturados, classificados e associados a base de dados alfanumérica.

Existem diversas diferenças de uma representação de dados em formato *raster* (ou matricial) e os dados vetoriais, sendo que a escolha de determinada representação dependerá da finalidade do uso de um SIG. Algumas diferenças são apontadas por Wermersch (tabela 3.1):

Aspecto	Representação <i>Raster</i>	Representação Vetorial
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos espaciais devem ser inseridos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis
Ligação com banco de dados	Associa atributos apenas a classes de mapas	Facilita as associações de atributos a elementos gráficos
Análise, simulação e modelagem	Melhor representação dos fenômenos com variação contínua do espaço Operações de modelagem e simulação são facilitadas	Representação indireta de fenômenos contínuos. Álgebra de mapas é limitada
Escalas de trabalho	Mais adequado para pequenas escalas	Adequado tanto para grandes como para pequenas escalas
algoritmos	Processamento mais rápido e eficiente	Problemas com erros geométricos.
armazenamento	Por matrizes	Por coordenadas

Tabela 3.1 - Diferenças entre representações *raster* e vetorial
Fonte: WERMERSCH, 2006

Ao se trabalhar com um Sistema de Informação Geográfica parte-se de um mundo real, produzindo um modelo analógico alicerçado na base empírica. Através desta base, executados alguns procedimentos de modelagem cartográfica e análise espacial, os dados espaciais são obtidos e podem ser trabalhados juntamente às aplicações de modelos matemáticos (BUZAI e BAXENDALE, 2006). Os SIGs trabalhados em conjunto aos processamentos matemáticos permitem além das funções anteriormente descritas, de caráter geográfico, também formular e analisar modelos de distribuição espacial relativos à localização de variáveis e à investigação e predição de dinâmicas espaço-temporais. A aplicação de modelos estocásticos como Cadeia de *Markov*, Monte Carlo e modelos de interação, modelo gravitacional, estudos de origem/destino juntamente a um SIG proporcionam uma otimização da espacialização dos fenômenos urbanos, pois informações obtidas podem ser relacionadas a outras adquiridas em outros modelos (MOURA, 2003) e/ou incorporando-se dados socioeconômicos, sociais etc.

Buzai e Baxendale (2006) distinguem cinco conceitos básicos de análise geográfica que se transformam em fundamentais ao se realizar uma análise que englobem dados sociais, econômicos com Sistemas de Informações Geográficas:

- ✓ localização – considera que todos os atributos e entidades estudados têm uma determinada localização na superfície terrestre. A posição pode ser medida como espaço absoluto, que não varia com o tempo, e espaço relativo, constituídos por sistemas de medição que permitem a mudança de posição;
- ✓ distribuição – considera o conjunto de entidades estudadas junto a seus atributos e dividem-se de forma específica sobre a superfície terrestre. As distintas características medidas em entidades de natureza espacial geralmente não se distribuem homogeneamente.
- ✓ associação – considera o estudo do grau de semelhança – diferença entre os distintos atributos das unidades espaciais e o comportamento de difusão dos diferentes atributos na relação de contigüidade; um coeficiente de correlação serve para medir qual é o nível de semelhança da distribuição das variáveis dentro das unidades espaciais da área em estudo;
- ✓ interação – considera as relações do espaço com as localizações, distâncias e fluxos horizontais como fundamentais. Ao se tentar medir a estrutura do espaço geográfico, o conceito de acessibilidade, por exemplo, é importante, pois se realizam diversos cálculos da rede de circulação, que podem resultar um espaço dividido em mosaicos de áreas de influência, relações entre pontos de oferta e demanda na cobertura de serviços;

- ✓ evolução – incorpora a variável temporal e a permanente transição de um estado a outro. Em relação aos SIGs o conceito de evolução espacial pode ser considerado em dois aspectos: o estado das configurações sobre a cartografia apresentada com determinada resolução temporal (mapa xadrez) e o estudo da difusão espacial que tem representações cartográficas nas simulações temporalmente contínuas.

3.3.2. Modelos Dinâmicos

Um dos eventos mais promissores no estudo de análise espacial são os modelos dinâmicos, cuja principal característica é descrever a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo. Um sistema dinâmico pode representar uma superfície ou espaço vetorial e uma regra que determina como cada elemento movimenta-se neste espaço. Ao se aplicar as regras, ocorre a mudança de estado (dinamismo):

Os modelos dinâmicos em SIG realizam a simulação numérica de processos do mundo real, dentro do qual o estado de uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações em suas forças direcionadoras (BURROUGH, 1998, apud AMEIDA, 2003).

Os modelos dinâmicos têm sido utilizados recentemente na modelagem da dinâmica urbana. A estrutura espacial urbana é abordada a partir de um nível microscópico, dividindo-se o espaço urbano em células que podem estar vazias ou ocupadas por distintos tipos de atividades, como comércio, indústrias, habitação, parques etc. A dinâmica das células é governada por regras de transição, fundamentadas em variáveis como uso do solo, localização espacial entre outros. Estas características consistem nos elementos dos autômatos celulares.

3.4. Autômatos Celulares

Autômatos celulares (AC) têm sido aplicados em diversas áreas de conhecimento científico como a biologia, hidrologia, meteorologia entre outras. Isto se explica em grande parte pelo fato de que essas abstrações serem de fácil manuseio computacional e apreensão lógica, capazes de gerar dinâmicas que replicam processos tradicionais de mudanças por difusão, mas que ao mesmo tempo, contêm complexidade suficiente para simular padrões inusitados e surpreendentes como aqueles encontrados em fenômenos emergentes, isto é, as teorias advindas de sistemas complexos.

Autômatos celulares (AC) são idealizações de sistemas físicos cujas dimensões do espaço e tempo são discretas, e as quantidades físicas assumem uma finita gama de valores discretos. Os autômatos celulares correspondem a engenhos compostos por conjuntos de células, que através de uma regra de transição imprimem determinados movimentos assemelhando-se a seres animados. A teoria que sustenta um autômato define que uma célula sozinha não pode fazer muito sem a interação com as outras

O estado inicial de um autômato celular está intrinsecamente relacionado ao conteúdo inicial das células. Qualquer valor (normalmente entre zero e um) pode ser atribuído a cada célula, e a partir dessa regra é desencadeado o processo de evolução do autômato.

Outro aspecto a se ressaltar nos autômatos celulares é a sua imensa dependência de seus estados iniciais. Uma pequena modificação no estado inicial de um autômato celular pode provocar uma grande modificação em sua evolução. É interessante verificar que modelos muito simples para as células resultam em comportamentos globais muito complexos.

Uma agregação de células elementar é denominada de configuração do autômato. A configuração muda ao longo do tempo, do presente estado para um estado seguinte, e sua dinâmica é determinada por regras de transformação pré-determinadas, mas que podem ser alteradas. O autômato celular explora como os

elementos de um sistema interagem uns com os outros. Este fato revela uma importante característica de que os conceitos usados na construção do autômato podem ser usados para modelar comportamentos complexos do mundo natural (químico, físico e biológico) além de fenômenos sociais (crescimento populacional, população x alimento, planejamento urbano) (O' SULLIVAN e TORRENS, 2004). Este ambiente possibilita a criação de modelos discretos do fenômeno, ao alocar os tipos de objetos às suas células e sobre estas especifica regras simples para descrever a interação entre os objetos.

Alan Turing, nos anos 30, desenvolveu a Máquina Universal (*Universal Turing Machine* - MT), cujas especificações formam o princípio no qual o AC foi criado, como também o princípio de funcionamento dos modernos computadores digitais. A Máquina Universal é essencialmente a mesma especificação das propostas dos computadores atuais, e consiste uma máquina com uma fita, na qual pode-se gravar um número finito de estados dividido em células entre um e zero. A partir da leitura de cada um desses estados é possível demonstrar, na seqüência, resultados adequados a alguma questão formulada. A MT teve importância fundamental no desenvolvimento das áreas de computabilidade, teoria dos autômatos e análise de algoritmos (TORRENS, 2001).

Na década de 40, Newman através da Teoria do Jogo (*Game Theory*) e Ulman interessaram em explorar se as características de auto-reprodução dos autômatos biológicos poderiam ser reduzidas em formulações matemáticas, enfim se as forças que governam sua reprodução poderiam ser reduzidas a regras lógicas (TORRENS, 2001). Ulman desenvolveu, a partir do crescimento do cristal, uma rede infinita, na qual cada quadrado desta rede definiria uma célula. Um conjunto de células dentro de uma rede poderia ser entendido como um organismo. Cada célula da rede poderia ser essencialmente, uma máquina separada de estados finitos que agiria de acordo com um conjunto estabelecido de regras. O desenho de uma rede se modificaria na medida em que ocorressem passos discretos. Uma célula deteria a informação, determinando seu estado e, a cada estágio de tempo, consideraria as regras estabelecidas para definir seus estados nos momentos seguintes.

O Jogo da Vida (*Game of Life*) é um autômato celular criado pelo matemático John Conway. O simulador continha células com três objetivos: nenhuma colônia de células iria crescer para sempre, algumas colônias deveriam crescer aleatoriamente e o terceiro objetivo seria garantir que as colônias poderiam levar muito tempo para desaparecer ou estabilizar (figura 3.10). O próximo estado de cada posição ocupável pela célula seria em função dos estados anteriores de suas vizinhas e dela própria.

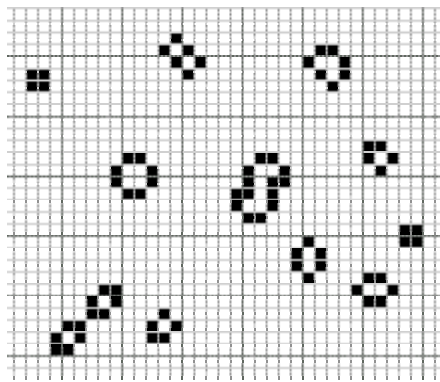


Figura 3.10 - Colônias de células - Jogo da Vida
Fonte: <http://www.di.ufpe.br/>

3.5.Especificações dos Autômatos Celulares

Os quatro elementos básicos de AC são (COUCLELIS, 1997):

- ✓ células - são objetos do universo de modelagem que podem assumir diferentes formas, quadradas, retangulares, hexagonais e dimensões uni, bi ou tridimensionais (figura 3.11). Esses objetos devem manifestar algum tipo de adjacência ou proximidade entre si;

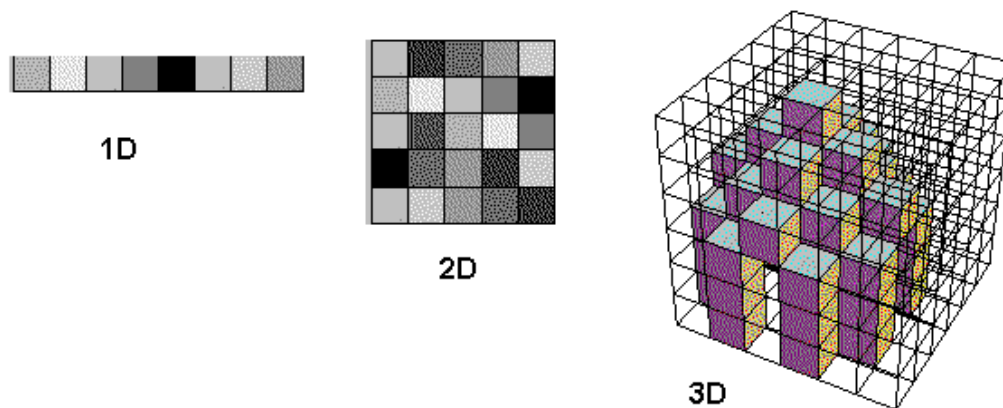


Figura 3.11 - Dimensões dos autômatos celulares

Fonte :<http://www.di.ufpe.br/>

- ✓ estados da célula - atributo único (discreto) apresentado por cada célula em um intervalo de tempo considerado. Na MT os estados são definidos em modo binário (zero ou um) e no modelo de AC de Newman procura provar a existência de 29 estados de célula.
- ✓ vizinhança - compreende a região em que se localiza o AC, na qual um finito desenho de estados são inseridos. Podem assumir diferentes formatos, cruz ou vizinhança de Newman, janela 3 x 3, vizinhança de Moore (figura 3.13), entre outros e seus estados e configurações condicionarão a mudança ou a permanência dos estados atuais das células sob sua influência;
- ✓ regras de transição - especificam o comportamento das células a cada instante de tempo (passo ou duração) baseando-se em regras estabelecidas. As regras são uniformes e aplicam-se indistintamente a toda célula, estado ou vizinhança. As regras de transição são geralmente formuladas com “se”, “então” e “mais” para a evolução dos resultados.

Um autômato celular é um conjunto de células identicamente programadas que interagem entre si. As dimensões de autômatos mais comumente usadas são a unidimensional e a dimensional.

Em um autômato celular unidimensional, o próximo estado de uma célula depende do estado dela própria e de suas duas vizinhas (figura 3.12). Normalmente, só existem dois estados possíveis para cada célula: 0 ou 1 ou *verdadeiro* ou *falso*.

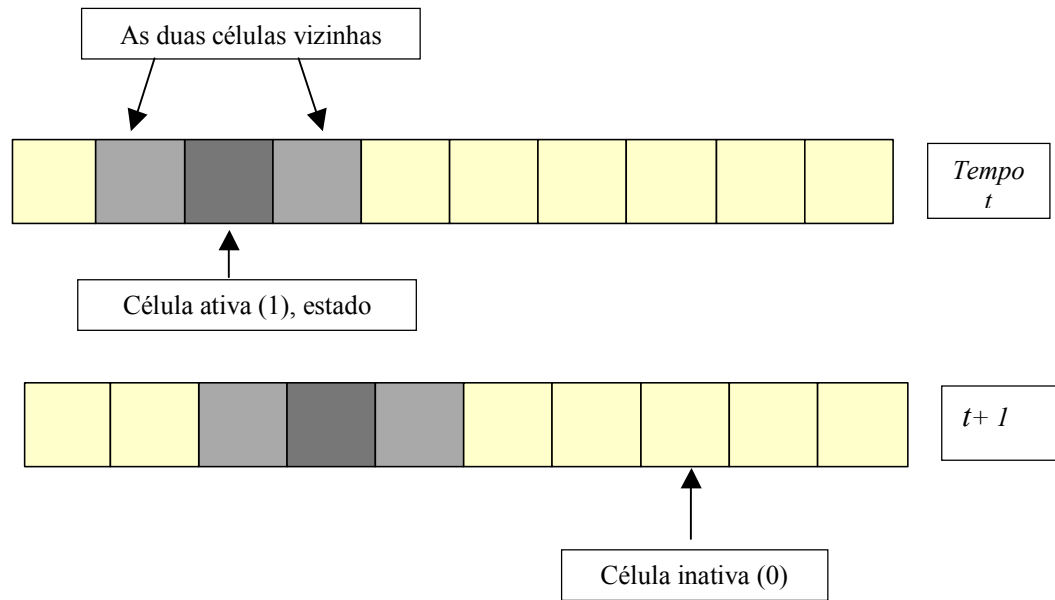


Figura 3.12 - Especificações de AC unidimensionais.
 Fonte: <http://www.geosimulation.org/geosim/>

A formulação dos AC de duas dimensões (figura 3.13) é semelhante ao unidimensional, a célula simples estende-se a uma dimensão adicional, uma vizinhança celular com mais elementos (TORRENS, 2001).

O modelo mais conhecido de AC bidimensional é o Jogo da Vida (*Game of Life*). Somente dois estados de possibilidades são permitidos no jogo da vida: viver ou morrer.

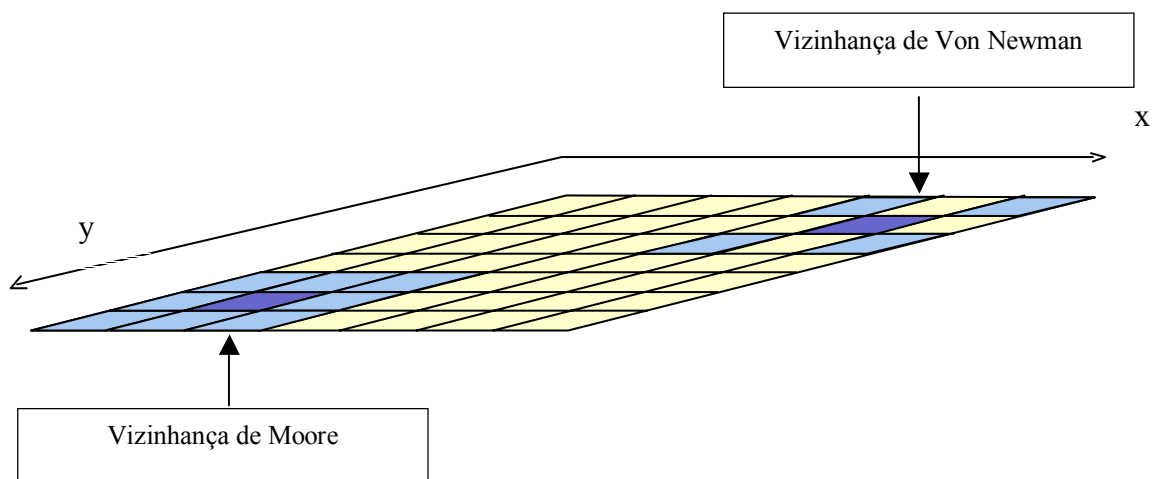


Figura 3.13 - Especificações de AC bidimensionais
 Fonte: <http://www.geosimulation.org/geosim/>

As vizinhanças da AC Jogo da Vida são especificadas como a vizinhança de Moore (figura 3.13), definido por nove células. As regras de transição são simples, são três regras que governam a dinâmica (vida) do jogo: nascer, morrer e sobreviver. A regra de nascimento determina que deva nascer (poderá transitar do estado morte para vida) se houver três células “vida” nas células da vizinhança. Células morrem (elas transitam do estado “vida” para uma morte) entre níveis de tempo se eles existirem mais três vidas na vizinhança. As células morrem pela exposição de duas vidas na vizinhança. A regra de sobrevivência especifica que a célula vida deve viver no próximo nível de tempo se houver duas ou três células vivas na vizinhança (TORRENS, 2001).

CAPÍTULO IV MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL

4.1. Aplicações de Autômatos Celulares em estudos urbanos

Os estudos de Tobler foram precursores na aplicabilidade de modelos de autômatos em modelos ditos urbanos. Couclelis, influenciada por Tobler continuou essa especulação, quando então as aplicações de autômatos começaram a se consolidar e passaram a ser melhoradas conceitualmente, como as noções de fractais (figura 4.1), entropia, criticalidade etc (BATTY *et al*, 1997). Como coloca Almeida (2003), apesar dos AC lidarem com a emergência observável em fenômenos complexos, possuírem grande flexibilidade para fazer frente aos diversos processos dinâmicos e revelarem uma incrível simplicidade operacional, eles são limitados, a princípio, em vista de restrições impostas pela maior parte de suas suposições teóricas.

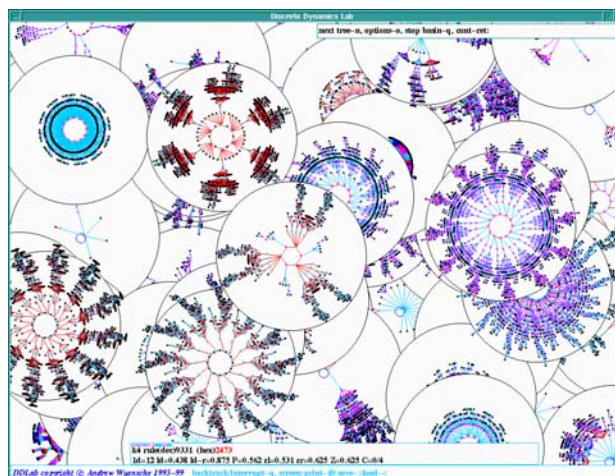


Figura 4.1 - AC baseado em fractais
Fonte: <http://www.ddlab.com>

Em resposta a essas limitações Couclelis (1997) propõe uma série de melhoramentos a serem incorporados em modelos de AC, os quais representam uma possibilidade técnica para se relacionar uma ou todas as suposições de AC convencionais.

Os trabalhos de Wolfram no campo de sistemas complexos também foram adicionados aos autômatos celulares e proporcionaram pesquisas sobre temas relacionados à complexidade, como caos, fractais e criticalidade auto-organizável. (ALMEIDA, 2003).

Segundo Almeida (2003) as primeiras abordagens em ambientes urbanos de AC consistiam em processos metodológicos simples ou regras *booleanas* para as funções de transição. Acrescenta ainda que nos anos 90 ocorreram visíveis melhoras nas articulações analíticas de fatores de micro e macro escala espaciais dos modelos urbanos de AC, essencialmente pela assimilação de aspectos ambientais, socioeconômicos e políticos.

Polidori (2004) em sua pesquisa identifica atributos urbanos, naturais e institucionais que atraem ou oferecem resistência ao processo de urbanização como o potencial do crescimento celular para a cidade de Pelotas, Brasil.

Almeida (2003) propõe uma metodologia de simulação de uso do solo urbano dos municípios de Bauru e Piracicaba através de um modelo de autômatos celulares construído por parâmetros obtidos mediante métodos estatísticos empíricos (pesos de evidência e regressão logística), adotando variáveis biofísicas e socioeconômicas na análise da forma urbana.

Buzai e Baxendale (2006) também utilizam AC ao analisar o processo de auto-organização espacial junto às teorias de sistemas complexos e ao relacionar os comportamentos de evolução local que produzem a distribuição espacial da cidade de Buenos Aires.

Algumas considerações acerca dos trabalhos de modelagens do crescimento urbano são discutidas por Polidori e Krafta (2006), como a dificuldade dos modelos para explicitarem as teorias subjacentes à lógica de produção do espaço urbano. Sendo predominantemente estocásticos, alguns modelos são aplicáveis somente a um determinado local, exigem do usuário experiência em programação, pois as plataformas computacionais são sofisticadas e estes modelos estão disponíveis apenas nos países e instituições de origem.

4.2. Idrisi e o módulo *ca_Markov*

O Idrisi é um Sistema de Informação Geográfica e um *software* para processamento de imagens em formato *raster*, desenvolvido pela *Graduate School of Geography* da *Clark University*. Possui vários módulos, aplicáveis para monitoramento do meio ambiente e gerenciamento de recursos naturais, detecção de mudanças e análises de séries temporais, análises multicritério e multiobjetivos, suporte a tomada de decisões, análises de indecisão - como a análise *fuzzy* -, mapeamento derivativo e modelagem de processos e simulação (EASTMAN, 1997).

As rotinas *Markov* e *ca_Markov* presentes no Idrisi Kilimanjaro 6.02 consistem em técnicas para análise preditiva de séries temporais de mudança de categoria de uso do solo e de contigüidade espacial baseados em algoritmos de cadeia de Markov e AC.

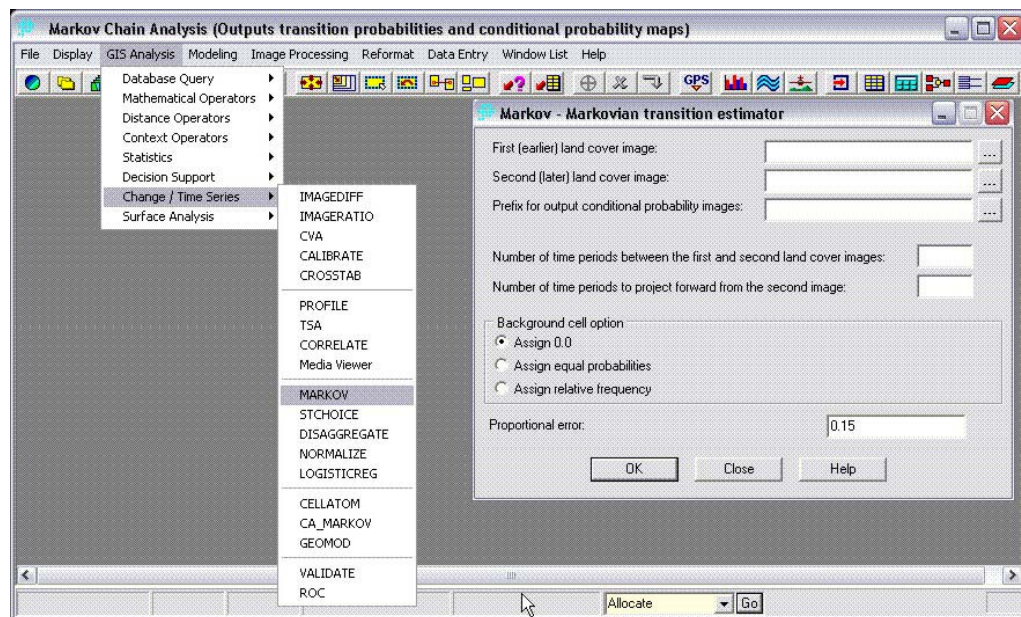


Figura 4.2 - Módulo *Markov* no Idrisi 6.02

O módulo *Markov* (figura 4.2) pode ser aplicado a partir de dois mapas (imagens *raster*) em dois períodos diferentes com os mesmos grupos de categoria de uso do solo. São especificados os períodos temporais entre estas duas imagens (por exemplo, 10 anos, 10 dias etc) e o período a ser projetado a partir da segunda imagem. Os seguintes *outputs* são produzidos (ESTMAN, 2003 a):

- ✓ matriz de probabilidade de transição que expressa a probabilidade de cada *pixel* de uma dada categoria de uso do solo poderá mudar (ou não) para outra categoria no próximo período;
- ✓ uma matriz de áreas de transição que expressa a área total em células esperadas;
- ✓ um grupo de imagens de probabilidades condicionais (uma dada categoria de uso do solo que demonstra a probabilidade de cada *pixel* designado para a categoria no próximo período).

O módulo *ca_Markov* é uma função que foi incluída na versão do SIG Idrisi Kilimanjaro 6.02 como módulo experimental e combina (figura 4.3):

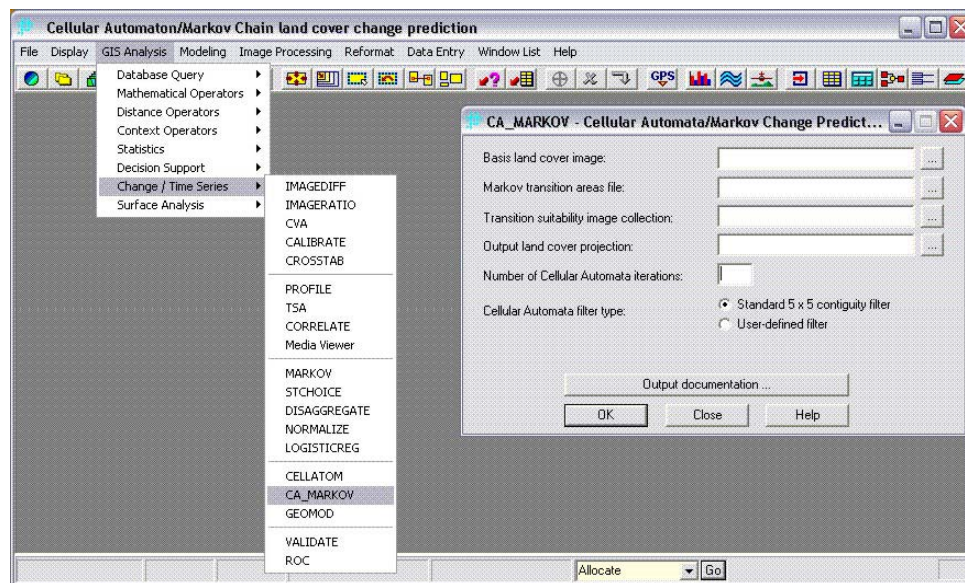


Figura 4.3 - Módulo *ca_Markov* - Idrisi 6.02

- ✓ análise das variáveis explicativas da mudança de estado (mapas de aptidões);
- ✓ predição da cobertura de solo; Cadeia de *Markov*;
- ✓ um elemento espacial de contigüidade baseado em autômatos celulares (AC) (ESTMAN, 2003).

Os mapas de aptidões são obtidos através da análise multicritério, conduzida a partir de critérios (fatores e/ou restrições) que podem amenizar ou realçar a aptidão (importância relativa) de uma alternativa específica para um propósito, no caso dos fatores, ou define um limite rígido para a atuação das variáveis identificadas como restrições (WEBER *et al*, 1998).

As restrições mantêm um caráter *booleano* nas interações entre dados espaciais. Ao se utilizar um operador algébrico de mapas tipo *booleano* são gerados mapas binários aptos (1) ou não aptos (0) que permitem realizar cruzamentos entre dois ou mais planos de informação. A análise *booleana* utiliza os operadores *<not>*, *<and>*, *<or>* e *<xor>*, demonstradas graficamente na figura 4.4 por meio do diagrama de Venn. As zonas excluídas da análise podem corresponder ao fundo não útil da imagem, como as categorias de dados incompatíveis com a analisada ou também às classes ou

intervalos daquelas variáveis significativas cuja ausência de uma categoria seja comprovada (PAEGELOW *et al*, 2003).

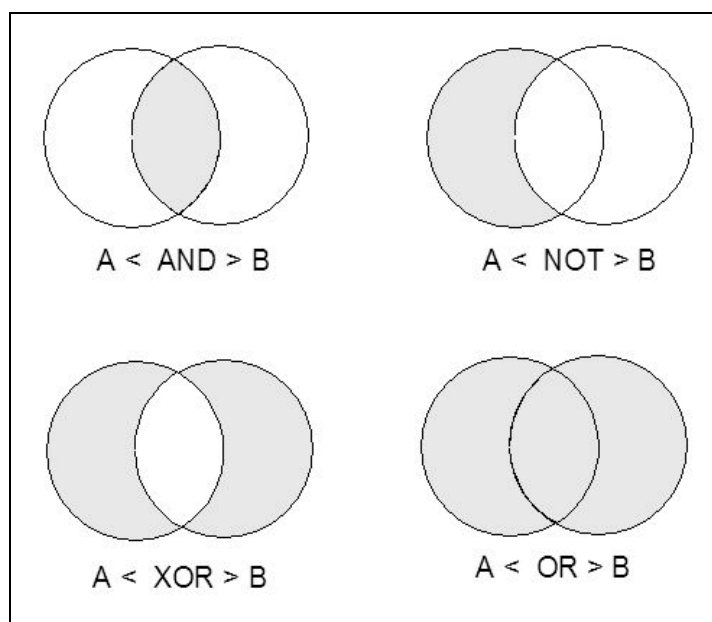


Figura 4.4 - Diagrama de Venn
Adaptado de SILVA, 1999, pág 192

Os fatores são mapas que resultam de ponderações dos diferentes fatores de influência a dado fenômeno. É dada uma lógica de importância em uma escala de 0 (inapta) a 255 (muito apta) bytes, indicando a maior ou menor aptidão do *pixel* (PAEGELOW *et al*, 2003). Enquanto que a operação *booleana* baseia-se na lógica de identificação de resultados extremos (apto/inapto), as técnicas de avaliação por critérios múltiplos permitem utilizar todo o potencial de fatores como superfícies contínuas de aptidão.

Um dos processos utilizados para a geração dos mapas de fatores é a lógica *fuzzy* (ou nebulosa ou incerteza). A lógica *fuzzy* é uma operação que está mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural e faz parte da lógica matemática de análise dos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado (SILVA, 1999). São quatro as funções *fuzzy* presentes no Idrisi (figura 4.5), em cada função são

estabelecidos pontos de controle (eixo x) que refletem a função de decréscimo/acrécimo do escore de aptidão (eixo y).

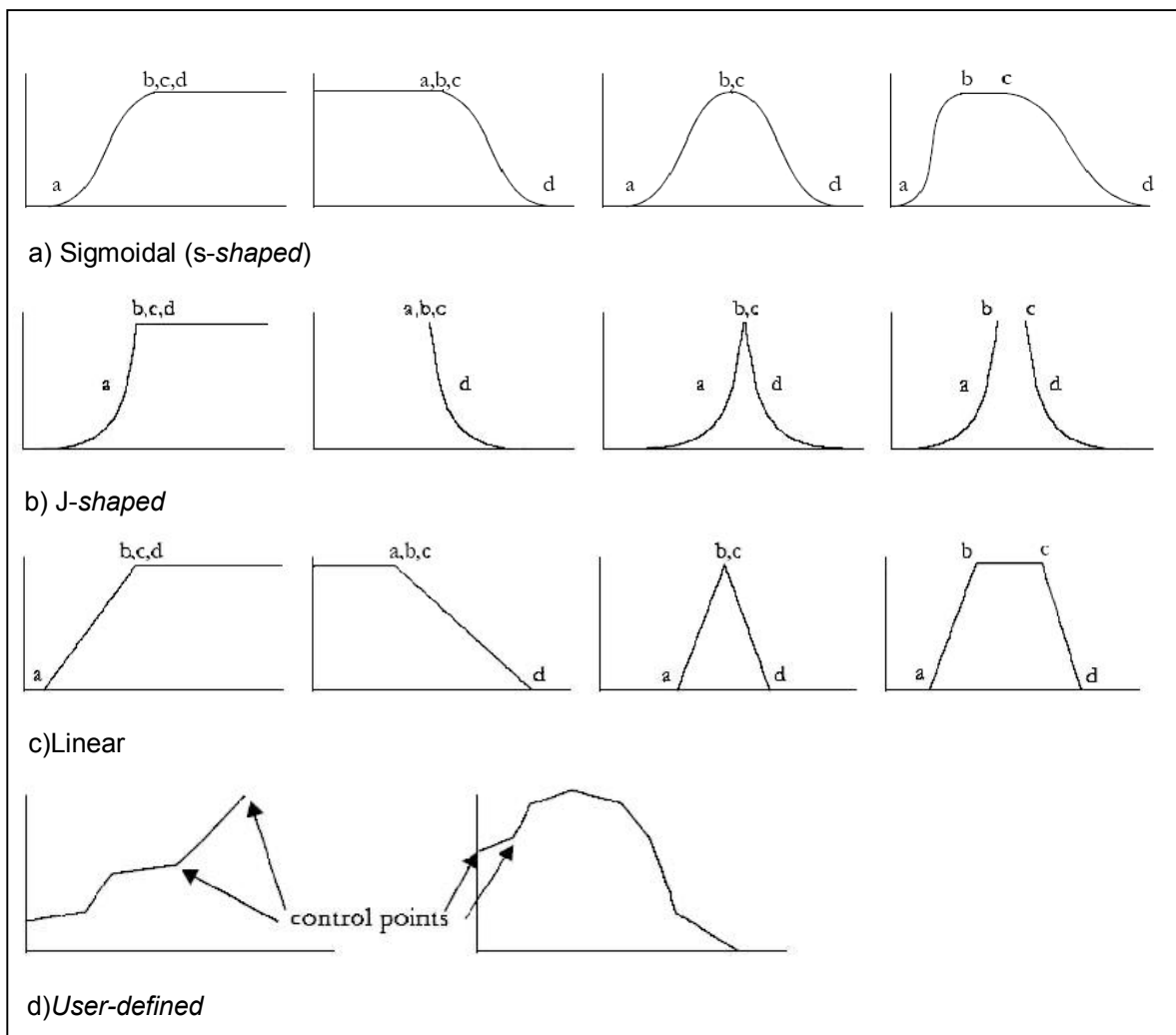


Figura 4.5 - Funções Fuzzy - Idrisi 6.02
Fonte: ESTMAN, 1997

Os métodos de agregação por critérios múltiplos presentes no Idrisi são: a: Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination - WLC*) e Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average - OWA*). Em ambas as técnicas os critérios são padronizados e ponderados do mesmo modo, no entanto, na OWA é possível a compensação dos fatores, dando a possibilidade de dar um peso e compensá-los, aceitando-se algum risco e assim exercer algum controle sobre o

processo (EASTMAN, 1997). Esta medida permite que um fator favorável compense outro desfavorável durante a avaliação (WEBER *et al* 1998).

Estes métodos são utilizados para entender problemas de decisão e para construir regras de avaliação de critérios e combinações. Uma das vantagens destas rotinas é de se trabalhar não somente com variáveis quantificáveis, mas também aproveitar na análise, conhecimentos e experiências de técnicos sobre o critério considerado. O conjunto de mapas de aptidões resultante destes procedimentos é empregado para alimentar o módulo *ca_Markov*.

A análise de contigüidade baseia-se em procedimentos matemáticos que envolvem o atributo de um determinado *pixel* e os atributos dos *pixels* vizinhos (SILVA, 1999). Utilizando os *outputs* da Cadeia de *Markov*, especificamente o arquivo *transitions áreas file* e a coleção de mapas originados pela análise multicritério, o módulo *ca_Markov* aplicará um filtro contínuo, baseado nas regras de vizinhança de Von Newman (figura 4.6) (ESTMAN, 2003 b). O número total de interações será o mesmo definido no módulo *Markov*. Se a projeção estocástica foi estimada anteriormente em 10 anos para o futuro, a aplicação do *ca_Markov* deverá ter 10 interações.

		1		
	1	1	1	
1	1	1	1	1
	1	1	1	
		1		

Figura 4.6 - Regras de vizinhança Von Newman.
Elaboração própria

O filtro AC desenvolverá um fator de ponderação espacialmente explícito para cada mapa de aptidão de cada categoria de uso do solo, ponderando mais intensamente em áreas com uso do solo existentes. Esse procedimento assegurará que a mudança ocorra próxima a classes de uso do solo e não casualmente, funcionando

como uma máscara, multiplicando esse resultado para um mapa de aptidão para derivar um novo mapa de adequação como *input*. Se mais de uma interação é especificada, por exemplo, 10 interações, cada período irá alocar 1/10 da área ideal desejada para solução e acrescentará 1/10 para cada período a suceder. No final de cada período, cada categoria de uso do solo é filtrada, e então multiplicada para cada mapa de adequação original para outro mapa de aptidão para um determinado período (ESTMAN, 2003 b).

O produto obtido desse processo é uma imagem (mapa) que contempla a mudança de tipos de uso do solo ou um processo de crescimento em áreas com maior aptidão próximas às áreas de um determinado uso já existente.

CAPÍTULO V

APLICAÇÃO DO MODELO

Nesta parte do trabalho são apresentadas e caracterizadas as regiões do município de Campinas escolhidas para a aplicação do modelo. Inicialmente será discutido o processo de desenvolvimento da cidade objeto de estudo, com ênfase na estruturação da rede viária de transportes. Em seguida serão identificadas e caracterizadas as formas de ocupação das duas regiões do município escolhidas para aplicação do modelo. Os seguintes módulos do *software* Idrisi foram utilizados: a) avaliação multicritério, b) módulo de projeção estocástica cadeia de *Markov* (*Markov*), c) cadeia de Markov junto a função de autômato celular (*ca_Markov*).

5.1. O município de Campinas

Campinas, localizada no estado de São Paulo, e sede de Região Metropolitana de Campinas (RMC) ⁴ consolida-se como um importante pólo de desenvolvimento industrial. Apresenta a mais expressiva concentração do interior de São Paulo e tem observado evolução significativa nas últimas décadas (CAIADO *et al*, 2002).

Da diversificação da indústria e do comércio e da qualidade do setor de serviços, aliadas à sua complexa infra-estrutura de transportes e telecomunicações, que

⁴ Instituída em 2000, os municípios que compõem a Região Metropolitana de Campinas são Americana, Artur Nogueira, Campinas, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Hortolândia, Itatiba, Jaguariúna, Monte Mor, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara do Oeste, Santo Antônio de Posse, Sumaré, Valinhos e Vinhedo.

proporcionam a intensificação dos fluxos produtivos, o município de Campinas detém um grande poder de influência sobre uma vasta região do estado de São Paulo.

Além da excelente infra-estrutura de transportes, instituições de ensino e pesquisa, o município possui uma gama extensa de serviços de apoio à produção, como também um pólo terciário de alta tecnologia. Tem um papel de destaque nas atividades comerciais de grande porte, de abastecimento e serviços especializados.

Diante deste contexto, Campinas está inserida na tendência geral de formação de aglomerações urbanas que se manifesta em diversos pontos do território e atualmente expressa uma grande mudança na forma de organização urbana, possibilitada pela tecnologia, permitindo uma produção industrial da cidade por novas combinações entre o poder público e a iniciativa privada (GONÇALVES e SEMEGHINI, 2002).

Campinas contribui com 5,9% do PIB nacional (IPEA, 2006), apesar de se constituir em um território privilegiado para a reprodução do capital, atraindo investimentos de vários setores da economia (SCARASSATTI e SERRA, 2002), a cidade apresenta um intenso quadro de dualidade na base material da vida social e do desenvolvimento urbano (SERRA *et al*, 2005). Os resultados dessa dinâmica desigual são verificados, entre outros, pelo número de indivíduos habitando em condições precárias e irregulares, que segundo a Secretaria Municipal de Habitação da Prefeitura Municipal de Campinas (2002), é de cerca de 15% da população, em um universo de pouco mais de um milhão de habitantes. São famílias residentes em favelas ou ocupações em áreas de risco ambiental, próximas a cursos d'água ou encostas sujeitas a desmoronamentos.

Para os objetivos do presente trabalho foram selecionadas duas regiões do município de Campinas, escolhidas por representarem distintas características de desenvolvimento e por produzir diferenciadas formas de uso e ocupação do solo. Estas

regiões estão destacadas na cor azul na figura 5.1: o distrito de Barão Geraldo, localizado na porção norte e a região do Campo Grande, na porção oeste do município.

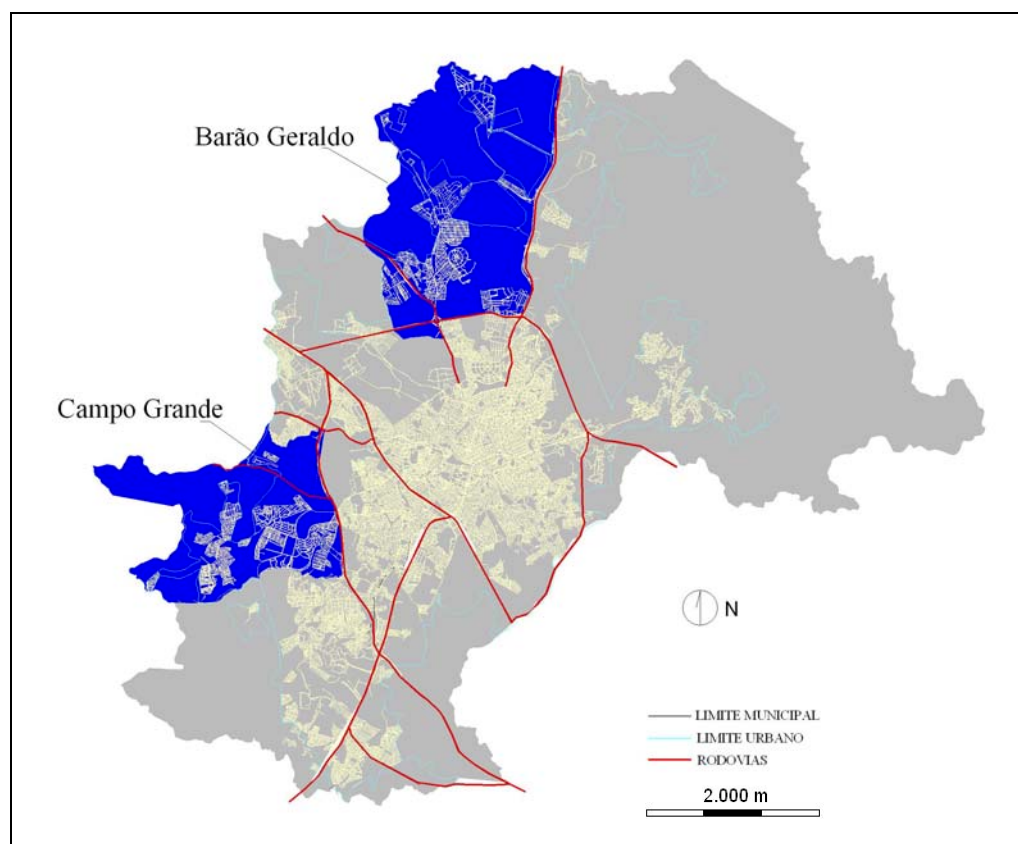


Figura 5.1 - Município de Campinas e regiões de estudo
Fonte : PMC, 1991

A porção sudoeste apresenta um padrão de urbanização caracterizado pela precariedade e/ou irregularidade dos assentamentos urbanos. Em outra direção, no vetor norte a ocupação urbana tem características diferentes da porção sudeste, com predomínio de habitações das camadas de renda média e alta e com a localização de grandes centros de consumo de porte regional.

5.2. Campinas : breve trajetória de apropriação do espaço

O sistema de transportes constitui-se em uma rede densa e articulada envolvendo rodovias, ferrovias. Em termos aeroportuários, a região de Campinas conta com o Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas, importante aeroporto nacional de carga, além de possuir um grande valor estratégico para a região.

Tanto a infra-estrutura, localização privilegiada, como fatores ambientais e socioeconômicos favoreceram o processo de desenvolvimento na região. Campinas deteve a cada ciclo de desenvolvimento econômico ao longo de sua história, características de centro logístico na rede de caminhos e acessos, unindo os centros produtores e distribuidores (EMPLASA, 2005). Essa característica reflete-se na ocupação urbana de seu território e adquire feições próprias a cada período.

A antiga vila do açúcar se transformou na cidade do café e a economia cafeeira conduziu a expansão e a transformação do território e das funções urbanas na cidade (SILVA, 1996). Na década de 30 e 40, o município tem um papel de destaque nos aspectos econômicos, sociais e consolida-se como principal região do interior. A dinâmica econômica do café dotou a região com uma infra-estrutura básica: rede de transportes (ferrovia e rodovias) e infra-estrutura urbana, serviços sociais básicos, educação e saúde (MARZOLA, 1991). Com o declínio do café, as alternativas econômicas capitalistas como o algodão e cana-de-açúcar estimularam novas relações entre agricultura, indústria, comércio e serviços de apoio ao município. A partir dessa época, a expansão da indústria local e regional provocou uma demanda para atender ao circuito comercial, fato que propiciou a ampliação de serviços ligados à produção e maiores investimentos em infra-estrutura de transportes, comunicações e armazenagens.

Executado ao longo de vinte anos por diversos e sucessivos governos, o Plano de Prestes Maia foi voltado para a transformação radical do centro, com ênfase em questões viárias e estéticas a partir da década de 40 (CAIADO *et al*, 2002).

A cidade foi então estruturada por grandes avenidas a partir do centro, dando condições de acessibilidade para as regiões periféricas (PMC, 2006). Esta situação e, juntamente à inexistência de outros centros comerciais importantes em outras regiões reforçou o caráter radioconcêntrico da estrutura urbana, com progressiva sobrecarga nas vias de escoamento para os bairros periféricos e, principalmente, nas ruas centrais (PMC, 1991). Em 1950 os investimentos do governo em infra-estrutura nos setores produtivos de base e política de atração de grandes empresas estrangeiras provocaram uma alteração no padrão de acumulação. Como segundo pólo industrial do Estado, a partir de 1960, apresentava uma agricultura dinâmica e diversificada, uma rede urbana desenvolvida e uma malha de transportes eficiente. Esse cenário contribuiu para elevar o fluxo migratório, incrementando as taxas de crescimento demográfico (BAENINGER, 1996) e uma crescente demanda para moradias.

A expansão da cidade foi provocada nesse período pela implantação de conjuntos habitacionais populares, indústrias e equipamentos urbanos de grande porte em terras menos férteis, ambientalmente mais frágeis, na região sudoeste. Esse movimento gerou uma malha urbana extensa, o que encareceu e dificultou o provimento de infra-estrutura e equipamentos sociais urbanos (PMC, 1991).

A década de 70 caracterizou-se por forte intensificação do desenvolvimento urbano, industrial e agroindustrial. A proximidade de grandes cidades e o sistema viário constituíram-se em fatores preponderantes no desenvolvimento no município, permitindo ligação eficiente tanto com outras regiões produtoras de matérias-primas como também aos grandes mercados urbanos e os terminais de exportação (PMC, 1991). Campinas tornou-se um centro de caráter regional, com um crescimento físico-territorial marcado por intensa horizontalização e periferização. São implantadas, nesse momento, importantes ligações viárias entre a sede de Campinas e seus distritos. Tais ligações favoreceram a expansão da área urbana através da implantação de novos loteamentos.

O Plano Preliminar de Desenvolvimento Integrado – PPDI indicou novos eixos viários que estimulassem o crescimento no sentido norte-sul (Caiado *et al*, 2002). Os loteamentos voltados à população de alta renda foram resultados da implantação dos seguintes eixos viários: Via Norte-Sul e as interligações Campinas – Valinhos, Sousas e Barão Geraldo.

O Plano Diretor – Lei Complementar nº 4 - aprovado no ano de 1996 dividiu o município em 7 (sete) macrozonas, sobre as quais foram estabelecidas diretrizes de planejamento e gestão. Já a revisão do Plano Diretor finalizada em 2006 - Lei Complementar nº 15 - definiu 9 (nove) macrozonas:

- 1- Área de Proteção Ambiental - APA
- 2- Área de Urbanização Ambiental - ACAM
- 3- Área de Urbanização Controlada - AUC
- 4- Área de Urbanização Prioritária - AUP
- 5- Área Prioritária de Requalificação - APR
- 6- Área de Vocação Agrícola - AGRI
- 7- Área de Influência Aeroportuária - AIA
- 8- Área de Urbanização Específica - AURBE
- 9- Área de Integração Noroeste - AIN

Foi previsto ainda no Plano Diretor a elaboração de Planos Locais de Gestão Urbana para bairros ou conjuntos de bairros, com detalhamento das normas urbanísticas locais. A Lei 9.199/96 define o Plano Local de Gestão Urbana de Barão Geraldo, já a lei 10.850/01 dispõe sobre o Plano Local de Gestão Urbana da APA (Área de Proteção Ambiental) de Sousas e Joaquim Egídio. O Plano Local de Gestão Urbana do Campo Grande foi elaborado no ano de 1996, mais ainda não transformado em lei.

Caiado *et al* (2001) ponderam que apesar da produção do conjunto de planos urbanos e uma grande quantidade de leis, todo esse arcabouço consiste em um aparato legal complexo em termos de controle e eficácia. Acrescentam ainda, para os objetivos a que se destinam, não há garantia dos principais aspectos ligados à dinâmica do desenvolvimento da cidade estejam regulados.

Da mesma maneira, o zoneamento definido na lei de uso e ocupação do solo (lei 6.031/88) e suas alterações proporcionam uma rígida estrutura à cidade, não acompanhando sua dinâmica urbana.

5.2.1.Caracterização do sistema viário do município

A macro estrutura rodo-ferroviária presente na região metropolitana tem uma forma funilar e é reflexo da estruturação do núcleo inicial, com característica mononuclear, concentrando setores de serviços, comércio na região central da cidade, para onde convergem as principais vias arteriais.

A estrutura viária principal do município é constituída a partir das vias de ligação centro-periferia, classificada pela capacidade de tráfego e determinada pelo número de faixas, geometria do traçado e continuidade, como também as vias que coletam e distribuem o tráfego na área mais adensada, assemelhando-se a um sistema de vias anelares (PMC, 1991).

Os corredores estruturais do município são:

- Rodovia Santos Dumont;
- Avenida das Amoreiras;
- Avenida John Boyd Dunlop;
- Via Suleste;
- Avenida Brasil/Amarais;
- Rodovia Campinas /Paulínia;

- Rodovia Campinas/Mogi - Mirim;
- Avenida Moraes Salles/rodovia Heitor Penteado;
- Avenida Francisco de Paula Souza/Avenida Abolição

O anel mais externo do mapa (fig 5.2) refere-se ao contorno rodoviário da cidade e os principais eixos de penetração a ele direcionados. O tráfego de passagem que flui desses grandes eixos junto ao tráfego com destino à área contígua e interna ao anel, gera condições inadequadas de tráfego e não atende aos principais desejos de circulação. (PMC,1991).

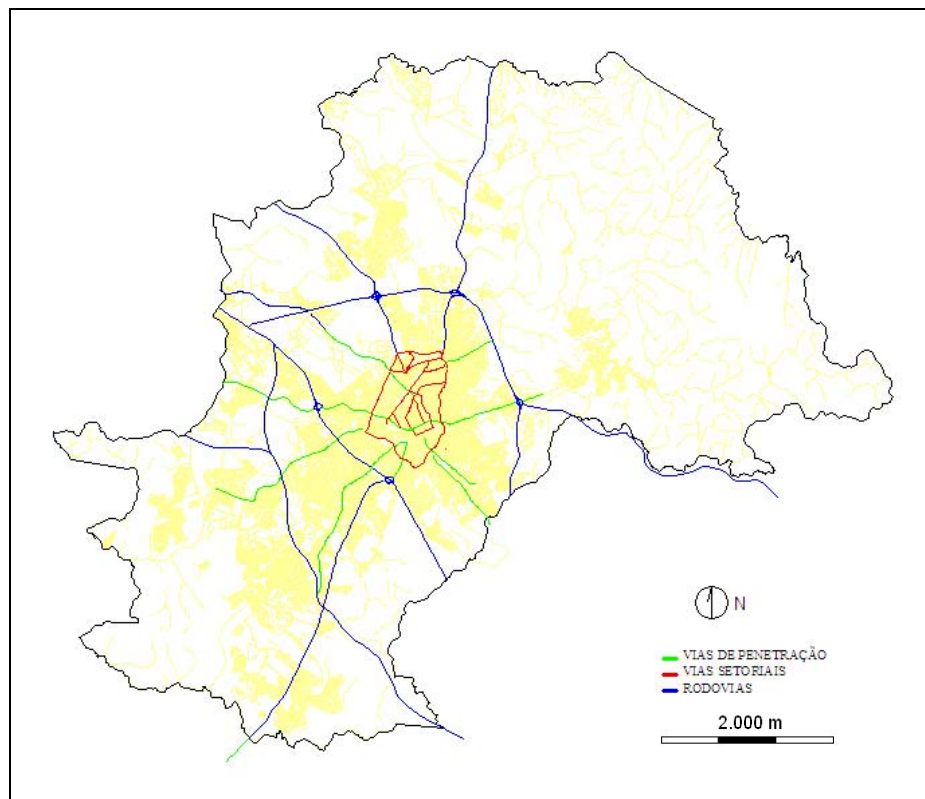


Figura 5.2 - Campinas :Principais eixos viários
Fonte: Prefeitura Municipal de Campinas, 1991

Tem-se atualmente no município um sistema viário que converge para a área central, com função polarizadora, situação que ocasiona em alguns locais saturação na capacidade viária (PMC, 1995).

Uma das características mais evidentes ao se observar o mapa da cidade de Campinas é a presença de uma malha urbana descontínua, resultado da intensa expansão horizontal, com a presença de grandes vazios e áreas de ocupação rarefeita.

5.3.1. Campo Grande

Esta região corresponde a cerca de 12% da área do município e sua maior parte encontra-se dentro do perímetro urbano. Conforme dados da Secretaria de Planejamento Meio Ambiente, sua população é de cerca de 99.405 habitantes (PMC, 2006) sendo 4% em área rural e 96% urbana. Segundo a Secretaria de Habitação da Prefeitura de Campinas esta região abriga 18% da população habitante em condições subnormais, isto é, favelas e ocupações do município. A Lei Complementar nº 15 (Plano Diretor) insere esta região na macrozona 5, Área Prioritária de Requalificação (APR), apresenta intensa degradação ambiental, concentração de população de baixa renda, carência de infra-estrutura, de equipamentos urbanos e de atividades terciárias, necessitando de políticas que priorizem investimentos públicos.

É característica marcante na região do Campo Grande a ocupação por grandes adensamentos populacionais, voltados predominantemente a moradias de baixa renda, em condições precárias de urbanização, carência de infra-estrutura de empregos e de serviços. A baixa ocorrência de atividades econômicas acarreta para a região pequena oferta de empregos e o conseqüente movimento pendular de deslocamento da população residente na busca por emprego (PMC, 1996). A ocupação é recente e descontínua, alternando vazios urbanos e loteamentos antigos ainda não totalmente ocupados, com loteamentos com alta densidade, favelas e várias invasões (PMC, 1996b).

A descontinuidade também é presente na estrutura viária, devido à presença de barreiras físicas na região como o Rio Capivari e Piçarrão e seus afluentes, a ferrovia (corredor de exportação da FEPASA), a Rodovia dos Bandeirantes e gasoduto Brasil - Bolívia. Esses condicionantes dificultam a circulação viária e a comunicação entre os

bairros e áreas vizinhas (PMC, 1996b). Basicamente todos os deslocamentos se verificam pela Avenida John Boyd Dunlop, praticamente única alternativa de acesso à região.

A legislação atual de uso e ocupação do solo também não incentiva a diversificação de atividades junto à moradia, e tampouco distribui a possibilidade de instalação de atividades produtivas. No que diz respeito às áreas a lotear, para uso habitacional, as regras não incentivam tipologias diferenciadas e mais adequadas a novos padrões de adensamento e de proteção ambiental (PMC, 1996b).

5.3.2. Barão Geraldo

O Distrito de Barão Geraldo abrange cerca de 17% da área total do município e tem uma população de 35.477 habitantes (PMC, 2006), com 10% da população rural, caracteriza-se por áreas de ocupação diversificada e tem se destacado nas últimas décadas por investimentos em empreendimentos de alto padrão, seja em serviços ou em habitação. Localiza-se, conforme diretrizes do Plano Diretor – lei complementar nº 15 de 2006 - parte na macrozona 2 (dois), Área de Controle Ambiental (AUC) e parte macrozona 3 (três), Área de Urbanização Controlada (AUP). Para a macrozona 2, a lei complementar define esta região para controle da urbanização e incentivo às características rurais através de critérios adequados de manejo das atividades agropecuárias de exploração mineral e de parcelamento do solo. Já a macrozona 3, com diferenciadas formas de urbanização, demanda controle e orientação para evitar processos de ocupação desordenados.

Grande parte de sua área possui córregos, ribeirões pertencentes à bacia do Ribeirão das Pedras, este desemboca na margem esquerda do ribeirão Anhumas. O Rio Atibaia, com sua planície de inundação ocupada em grande parte pelo loteamento Vale das Garças, é o elemento físico natural que limita ao norte o distrito.

A estrutura viária da região consiste de grandes eixos viários rodoviários que definiram a configuração de ocupação na região: a Rodovia Adhemar Pereira de Barros, Rodovia Milton Tavares de Lima, D. Pedro I (SP-65) e Estrada dos Amarais.

Sua ocupação tem se caracterizado pela fragmentação e descontinuidade física, mas ao mesmo tempo por empreendimentos de grande impacto em relação à demanda gerada, incluindo aí condomínios habitacionais de médio e alto padrão. A descontinuidade da ocupação tem consolidado diversas “ilhas físicas”, isto é conjunto de bairros isolados interligados pelo sistema viário, produzindo um território que estimula o uso do automóvel como forma preferencial de mobilidade.

A configuração espacial se deu com o crescimento do distrito por núcleos isolados interligados entre si através dos eixos rodoviários e com a área central da cidade. Além da marcante presença do sistema macro-viário como elemento estruturador da região, outros fatores foram determinantes para o processo de urbanização:

- ✓ a colonização agrícola (terras férteis)
- ✓ tendência de localização de empreendimentos de abrangência regional e ainda concentração de pólos de atração de demanda como a Universidade Estadual de Campinas, a Pontifícia Universidade Católica de Campinas, grandes equipamentos comerciais (Makro, Atacadão) e empreendimentos de ensino e pesquisa e alta tecnologia- Pólo de Alta Tecnologia da CIATEC.

Os campi da UNICAMP e PUCCAMP, ao mesmo tempo em que foram preponderantes para o crescimento do distrito, tornaram-se indutores de viagens que sobrecarregam o viário existente. Ao redor da Unicamp implantaram-se loteamentos de alta e média renda ocasionando uma valorização imobiliária expressiva da região.

Outros aspectos críticos do sistema de transporte é o predomínio do transporte individual motorizado em relação ao transporte coletivo nos deslocamentos verificados (aproximadamente 70% auto e 30 % coletivo) (PMC, 1996a).

Apesar da predominância de imóveis residenciais, o centro de Barão Geraldo vem recebendo grande número de estabelecimentos de comércio e serviços, que fazem com que esta região tenha uma relativa autonomia com relação ao centro de Campinas.

Os loteamentos mais antigos como o Jardim América, Vila Independência, Jardim Santa Genebra apresentam um sistema viário descontínuo e irregular enquanto que os mais novos como a Cidade Universitária e parte do Jardim Santa Genebra apresentam um traçado mais recente, porém com acessibilidade através das antigas estradas para a sua articulação.

5.4. Identificação das variáveis

A acessibilidade ao sistema viário foi identificada como um fator para compor o método de avaliação por critérios múltiplos. Como dito anteriormente, a infra-estrutura viária guarda correlação direta na compreensão do processo de transformação das cidades, pois envolvem desdobramentos sobre a forma urbana e sobre a equidade social, refletindo diretamente na dinâmica da cidade (DEBATIN NETO, 1998).

Embora não seja a única condição para promover o desenvolvimento urbano de uma região, um local com alta acessibilidade será mais atrativo para concentração de empregos, moradias e serviços.

Desta maneira, para cada região sob análise, identificaram-se as vias que apresentam importância estratégica na circulação. Foram selecionadas aquelas que carregam considerável volume de veículos, conduzem tráfego de passagem, enfim vias com grande potencial de utilização.

Os Pólos Geradores de Tráfego (PGTs), conforme Grando (1986) são empreendimentos que, mediante a oferta de bens e/ou/serviços, geram ou atraem um grande número de viagens, causando reflexos na circulação de tráfego do entorno, em termos de acessibilidade e fluidez do tráfego. De maneira geral, os impactos desses empreendimentos no ambiente urbano são pouco considerados em estudos. Kneib (2004) aponta que na área de influência dos PGTs, são verificados a médio e longo prazo alterações nos padrões de uso do solo, como densidade, atividades, medidas relevantes a se observar. Desta maneira, para as finalidades de nosso estudo, considerou-se os PGTs como elementos que impulsionam as alterações de padrões de uso do solo, junto a sua área de influência.

5.5. Processamento dos dados

Algumas considerações devem ser feitas nesta etapa do trabalho, em relação às dificuldades enfrentadas na aquisição dos dados, com informações deficientes, como também em sua padronização em imagens TIFF para inserção no Idrisi.

Para a geração das imagens (tabela 5.1) que alimentaram o módulo de projeção estocástica (*Markov*), foram utilizados mapas de uso real do solo produzidos através de levantamentos realizados pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura de Campinas. Esses mapas foram elaborados sobre a base cartográfica obtida analogicamente na escala 1:2.000 no ano de 1982, base oficial da Prefeitura Municipal de Campinas. Os períodos de simulação foram definidos em função dos mapas existentes no município. Como ambas as áreas objeto de estudo, a região do Campo Grande e o distrito de Barão Geraldo, possuíam levantamentos que originaram mapas de uso real do solo nos anos de 1984 e 1995, adotaram-se para a série multitemporal estes dois períodos, considerando-se como intervalo de tempo o período de 11 anos.

As figuras 5.3 e 5.4 mostram os mapas de Barão Geraldo e Campo Grande nos dois períodos identificados com as categorias de uso real do solo relacionadas e identificadas. Para um melhor entendimento, as legendas foram padronizadas. No entanto, apesar de relacionadas nas legendas, algumas categorias de uso que não constavam nos mapeamentos obtidos não alimentaram o modelo dinâmico. Assim, as categorias lagos (7) e matas e bosques (8) não estão presentes na aplicação para a Região do Campo Grande e as categorias uso misto (9) e favelas e ocupações (10) para o Distrito de Barão Geraldo.

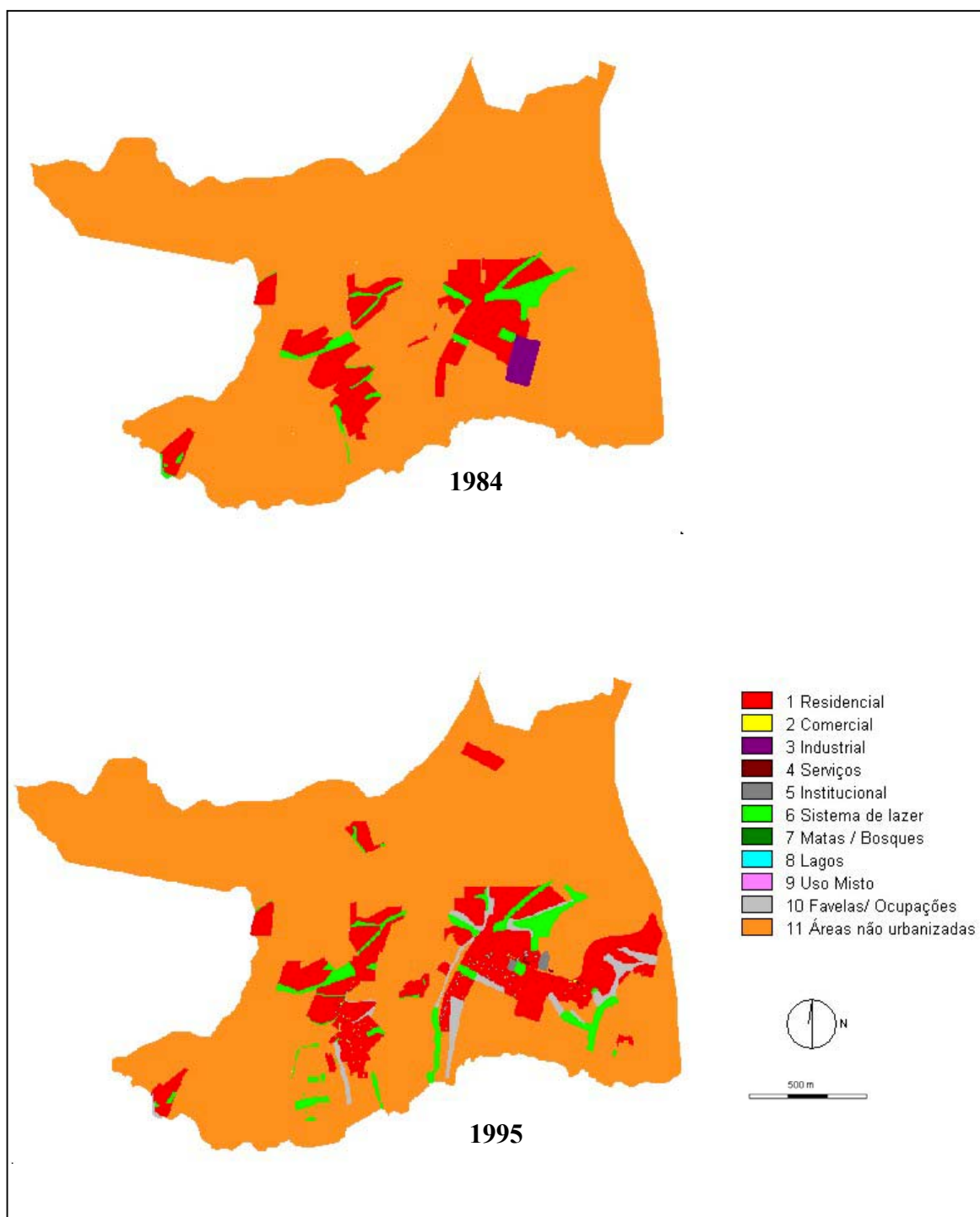


Figura 5.3 – Campo Grande - uso real do solo:1984-1995

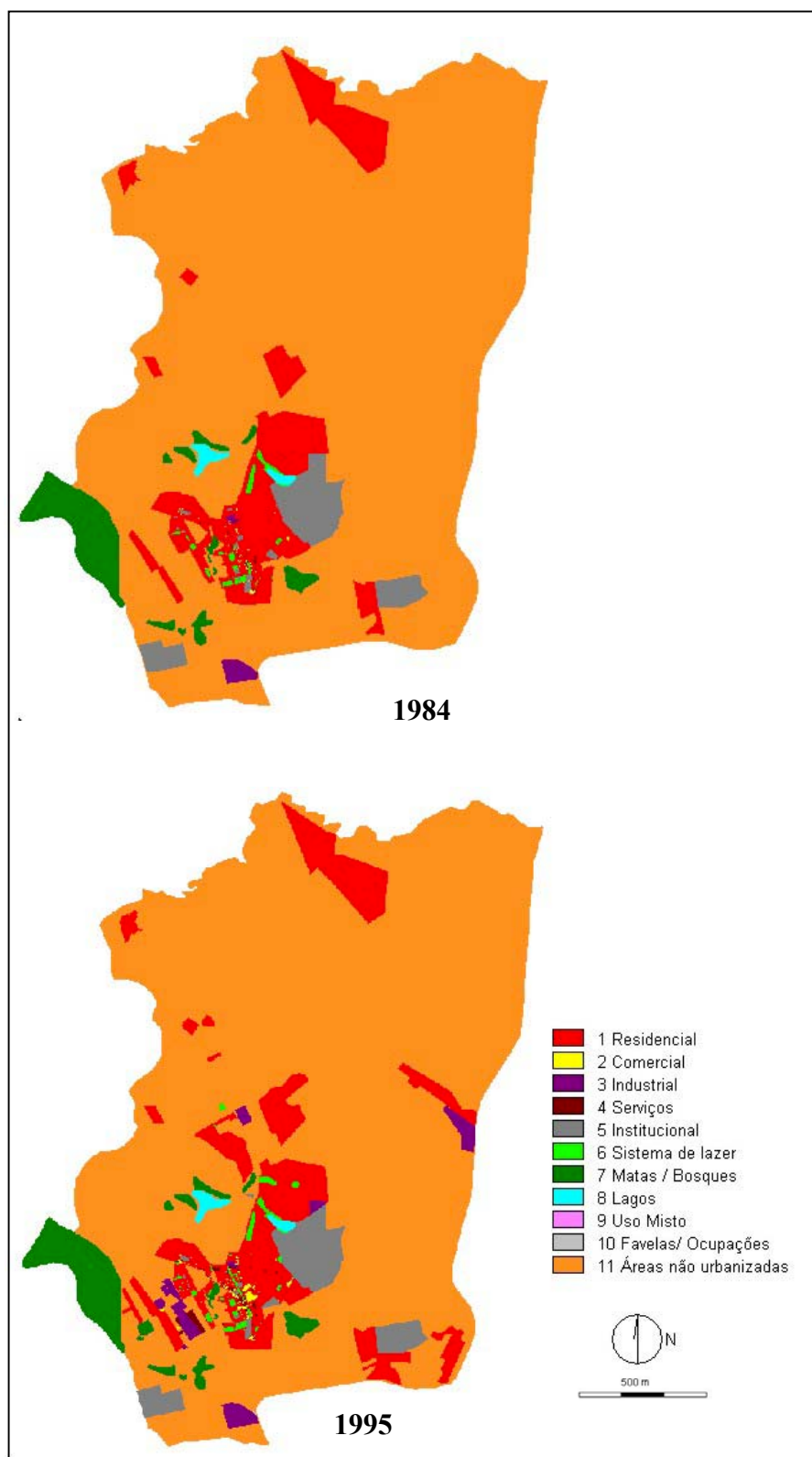


Figura 5.4 - Barão Geraldo- uso real do solo: 1984-1999

Os mapas de uso real do solo foram digitalizados e reconstituídos diretamente sobre a base digital (SANASA) comparando-os visualmente com as feições do mapa analógico. A não identificação da escala nesta base digital, utilizada atualmente pelos diversos órgãos da Prefeitura como também as concessionárias, deve-se ao fato de apresentar muitas inconsistências. É basicamente um produto resultante de reduções gráficas sem *as built* correspondente, sujeito aos erros de grafismo, enfim com inadequados procedimentos de atualização que originam problemas quanto à confiabilidade e precisão (COSTA *et al*, 2005).

As fotos do recobrimento fotogramétrico realizado em 1995 na escala 1: 5.000 complementaram as bases de dados digitais produzidas para o uso e ocupação do solo, utilizando pontos de controle para um melhor ajuste entre os mapas existentes.

Consideraram-se alguns critérios na elaboração destas imagens:

- ✓ os mapas obtidos foram transformados em uma resolução de *pixel* de 10m por 10m;
- ✓ não foram consideradas as áreas ocupáveis das vias;
- ✓ não se considerou o perímetro urbano, como também nenhuma outra norma e/ou restrições (como plano diretor, zoneamentos, restrições ambientais)

Os mapas temáticos de Pólos Geradores de Tráfego foram obtidos na Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente, produzidos para a revisão do Plano Diretor de Campinas no ano de 2006 (anexo I).

A tabela abaixo (tabela 5.1) apresenta resumidamente os mapas utilizados para gerar as imagens iniciais necessárias para desenvolvimento do modelo dinâmico:

Mapas de origem	Descrição
Base Cartográfica 1:2000 – 1982 (PMC)	Vias Lotes Quadras Matas, Bosques
Recobrimento aerofotogramétrico ano 1995- escala 1:5000	
Base de dados digital SANASA sem escala definida	Vias Lotes Quadras
Mapas Temáticos	Campo Grande: Uso Real do Solo – 1984-1985 Barão Geraldo: Uso Real do Solo – 1984 -1995 Vias mais significativas -2006 Pólos Geradores de Tráfego - 2006

Tabela 5.1 - Base de dados
Fonte: Elaboração própria

5.6. Avaliação por múltiplos critérios

Para alimentar o módulo *ca_markov* produziram-se mapas de critérios para cada categoria de uso real do solo. A partir dos critérios identificados, as restrições e fatores, foram necessários limitá-los a uma mesma escala de valores para compará-los. As restrições mantiveram os valores absolutos – apto/ não apto. Os mapas dos fatores foram reescalados e ponderados a um intervalo ente 0-255 (intervalo do byte), permitindo-se explorar a variedade de dados contínuos. Para os fatores foram gerados os seguintes mapas:

- ✓ fator distância das vias (figuras 5.5 e 5.6) - através da rotina *distance* reescalou-se a distância das vias escolhidas, em seguida foi empregada a rotina *fuzzy* para definir regras de decisão onde as áreas aptas e não aptas são medidas em valores contínuos. Utilizou-se a função monotonicamente decrescente em forma de *j (shaped)*. O primeiro ponto de controle é o valor de 100m, distância considerada mais propícia às alterações de uso do solo ou desenvolvimento urbano. A partir deste ponto

a aptidão começa a declinar do valor máximo até o valor de 300m, ponto estimado intermediário de inflexão da curva;

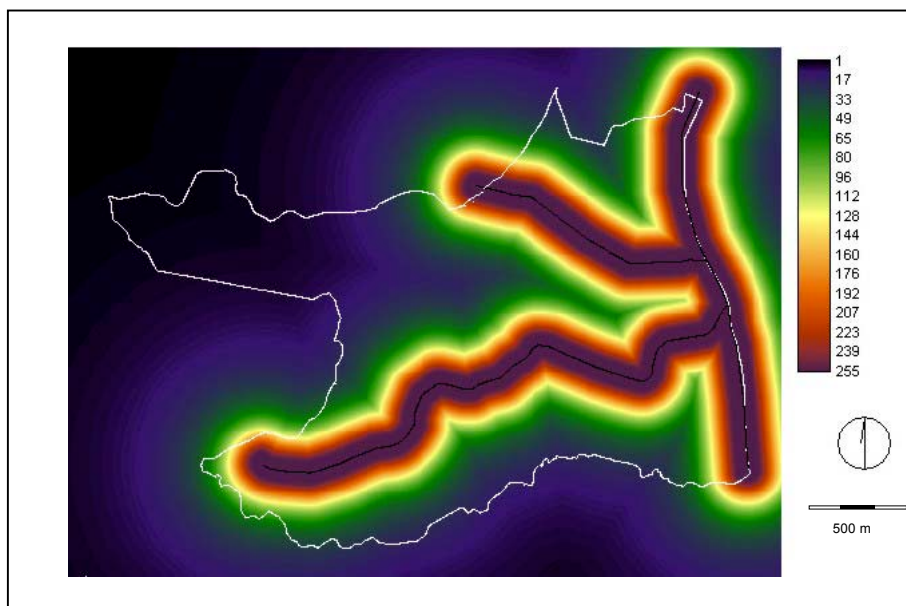


Figura 5.5 - Campo Grande - Distância das vias

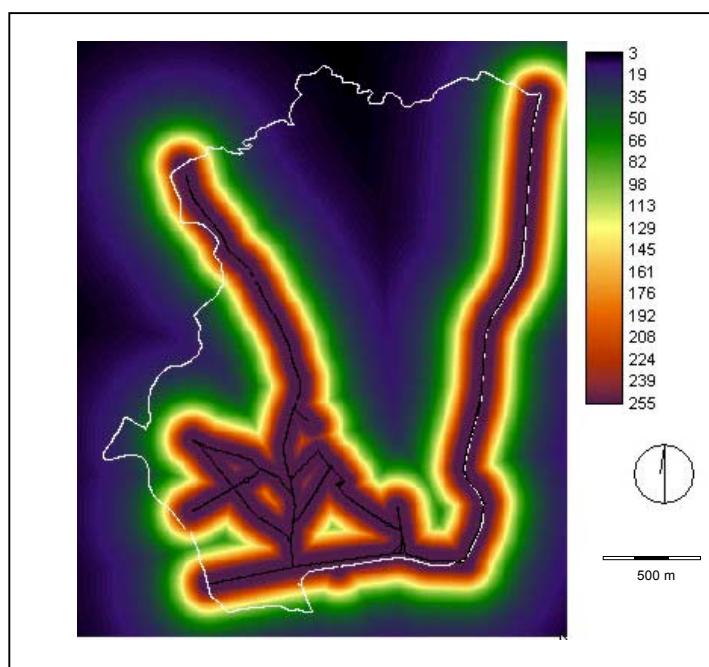


Figura 5.6 - Barão Geraldo - Distância das vias

- ✓ fator área de influência dos Pólos Geradores de Tráfego (figuras 5.7 e 5.8)
 - utilizou-se a rotina *distance*. O valor atribuído para as linhas isócotas⁵ foi de 300 m (segundo ponto de controle), tendo os empreendimentos (PGTs) como centro e o valor de até 100 m como área mais apta às alterações de uso do solo. Embora estes mapeamentos possuam deficiências, pois alguns PGTs não foram contemplados, algumas diferenças da dinâmica das duas regiões são verificadas: na região do Campo Grande foram mapeados somente os terminais de transporte coletivo urbanos, já no distrito de Barão Geraldo, estão identificados além do terminal de transporte coletivo, centros comerciais, universidades, hospitais.

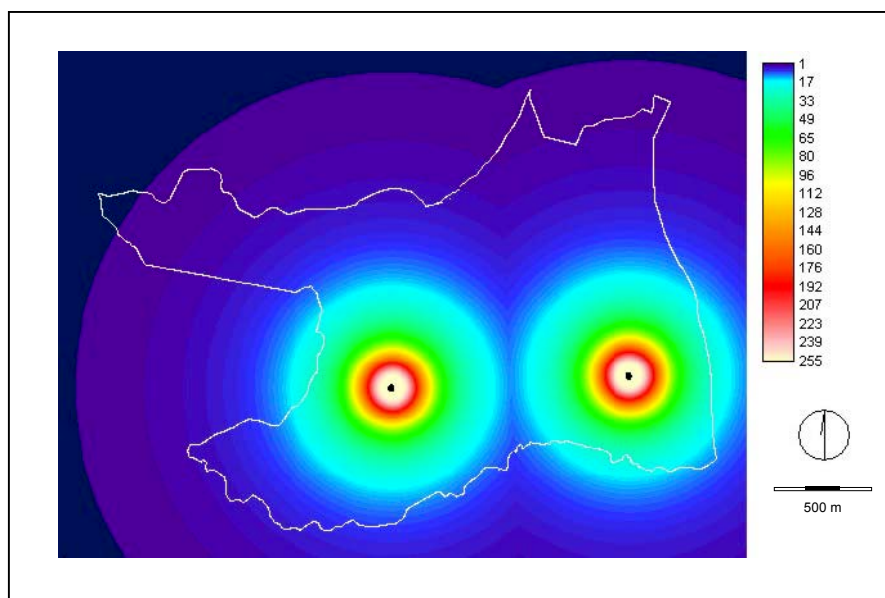


Figura 5.7 - Área de influência aos Pólos Geradores de Tráfego no Campo Grande através da função *fuzzy-j-shaped*

⁵ As linhas isócotas são linhas de distâncias iguais, baseadas na variável distância tendo como centro o Pólo Gerador de Tráfego.

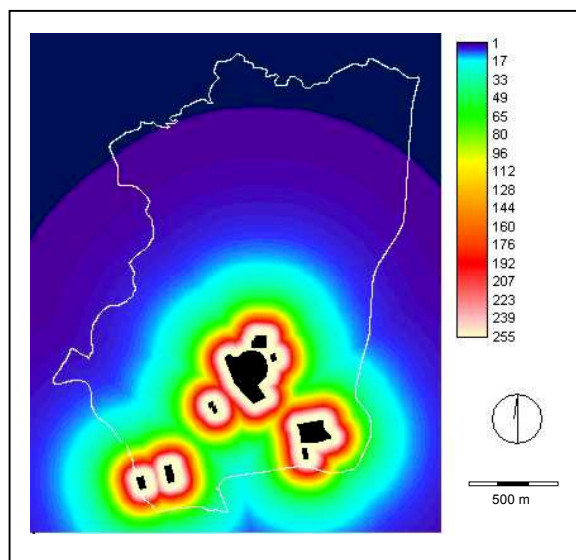


Figura 5.8 - Área de influência dos Pólos Geradores de Tráfego em Barão Geraldo através da função *fuzzy-j-shaped*

Depois de elegidos e padronizados, os fatores e restrições foram então inseridos na análise multicritério. Primeiramente foi necessário determinar o peso ponderado de cada um deles, o que foi feito através do módulo *weight*, adotando-se o peso 3 para o fator Pólos Geradores de Tráfego e peso 5 para o fator Distância das Vias. Para esse julgamento foi utilizada uma escala de valores ilustrada na tabela 5.2:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extremo	muito forte	forte	moderado	igual	moderado	forte	muito forte	extremo
← menos importante					mais importante →			

Tabela 5.2 - Escala de peso dos fatores

A combinação ponderada possibilita, no processo de agregação, dar diferentes pesos relativos para cada um dos fatores. É dada a importância relativa de cada fator em relação aos demais, através de pesos que são atribuídos a cada fator. Os pesos dos fatores controlam o grau de compensação entre os fatores, assim fatores com baixa aptidão (em um determinado local serão compensados por um fator com alta aptidão, como por exemplo, uma maior proximidade das vias.

O módulo *weight* verifica, no contexto da análise de decisão (método de derivação de pesos AHP - *Analitical Hierarchy Process*), a consistência da importância relativa dos critérios (fatores) por meio do autovetor principal da matriz de comparação pareada, a partir de um conjunto de peso de fatores (tabela 5.2). Este método foi desenvolvido por Saaty e incorporado ao IDRISI (EASTMAN, 1997).

Em seguida, os mapas de restrições e fatores foram então agregados utilizando para isso o método de Média Ponderada Ordenada (OWA). Para cada categoria de uso do solo foi elaborada uma tabela de média ponderada englobando os fatores e restrições. Nesta técnica, as restrições atuam como máscaras *booleanas* e os fatores são ponderados e compensados de acordo com sua importância relativa (EASTMAN, 1997).

As tabelas 5.3 e 5.4 demonstram, por exemplo, o conjunto de restrições e fatores definidos para a categoria comercial para a região do Campo Grande e Barão Geraldo, respectivamente. Na primeira coluna estão relacionados as restrições e os fatores, estes últimos ordenados conforme seu grau de importância. A segunda coluna refere-se às imagens de entrada para aplicar a função do Idrisi (terceira coluna), seguidos dos parâmetros utilizados para cada função (quarta coluna).

Restrições	Dados de origem	Função aplicada	Descrição
1	Uso do Solo 1995	Reclassificação	0= bosque, matas 1= para os demais usos
FATORES (Ponderações)	DADOS DE ORIGEM	FUNÇÃO APLICADA	DESCRIÇÃO
1° (34,14%)	PGT	Cálculo das distâncias e ponderação mediante lógica difusa (<i>fuzzy</i> , função <i>shaped</i>)	Ponderação segundo distancia do PGT (100m e 300 m)
2° (65,86%)	Vias mais significativas	Cálculo das distâncias e ponderação mediante lógica difusa (<i>fuzzy</i> , função <i>shaped</i>)	Ponderação segundo a distância (100 m e 300 m)

Tabela 5.3 - Campo Grande - Média Ponderada Ordenada para o uso comercial

RESTRICÇÕES	DADOS DE ORIGEM	FUNÇÃO APLICADA	DESCRIÇÃO
1	Uso do Solo 1995	Reclassificação	0= bosque, matas 1= para os demais usos
FATORES (Ponderações)	DADOS DE ORIGEM	FUNÇÃO APLICADA	DESCRIÇÃO
1° (34,14%)	PGT	Cálculo das distâncias e ponderação mediante lógica difusa (<i>fuzzy</i> , função <i>shaped</i>)	Ponderação segundo distância do PGT (100m e 300 m)
2° (65,86%)	Vias mais significativas	Cálculo das distâncias e ponderação mediante lógica difusa (<i>fuzzy</i> , função <i>shaped</i>)	Ponderação segundo a distância (100 m e 300 m)

Tabela 5.4 - Barão Geraldo - Média Ponderada Ordenada para o uso comercial

O resultado espacial deste método é verificado nas figuras (figuras 5.14 e 5.15), cujas imagens geradas expressam o potencial de evolução de aptidão para cada categoria. O intervalo de 0 a 255 identifica as regiões de menor a maior aptidão para cada categoria de uso do solo. O fundo não útil (inapto) de cada imagem é resultado da operação *booleana* das restrições específicas para cada categoria de uso do solo.

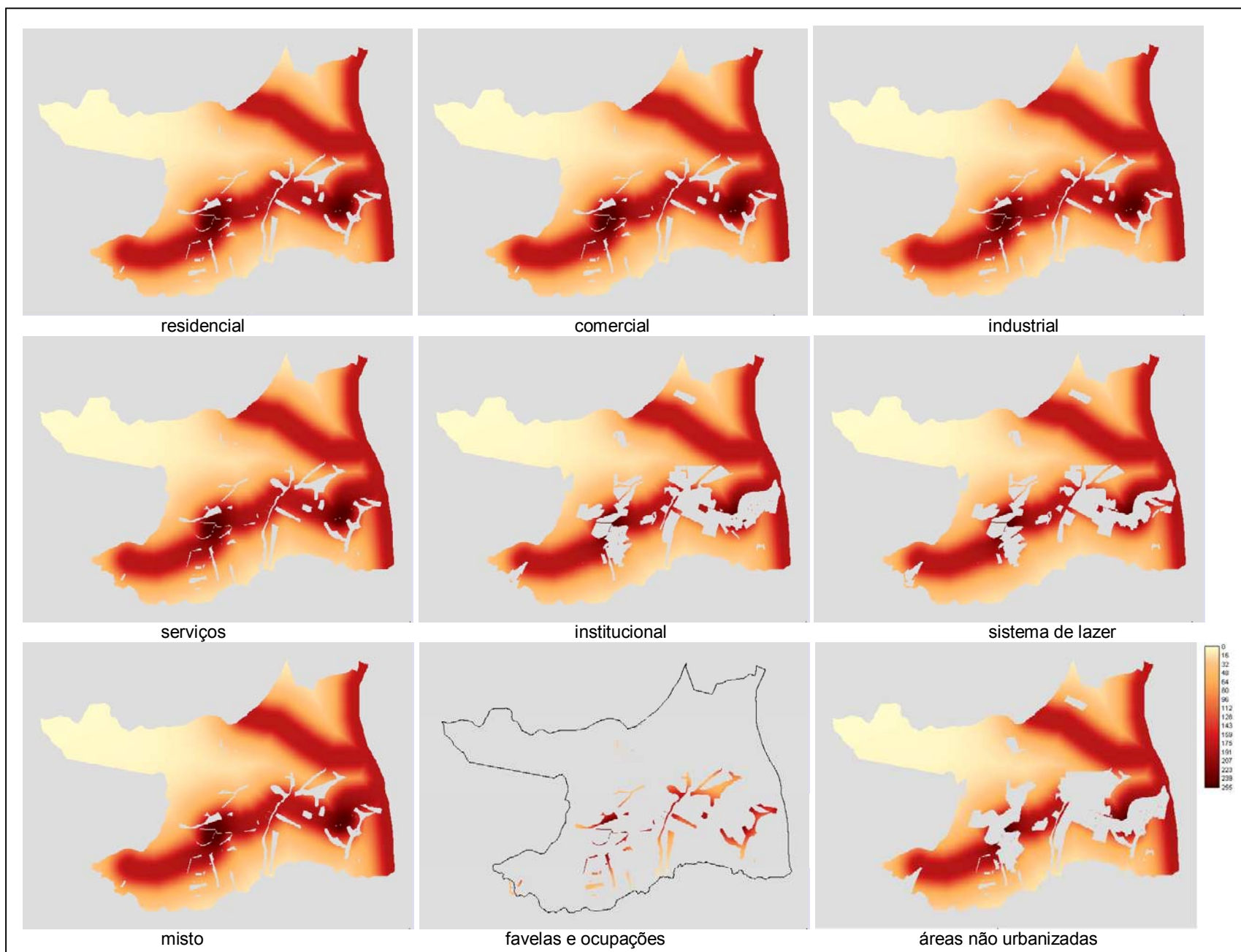


Figura 5.9- potencial de aptidão das categorias

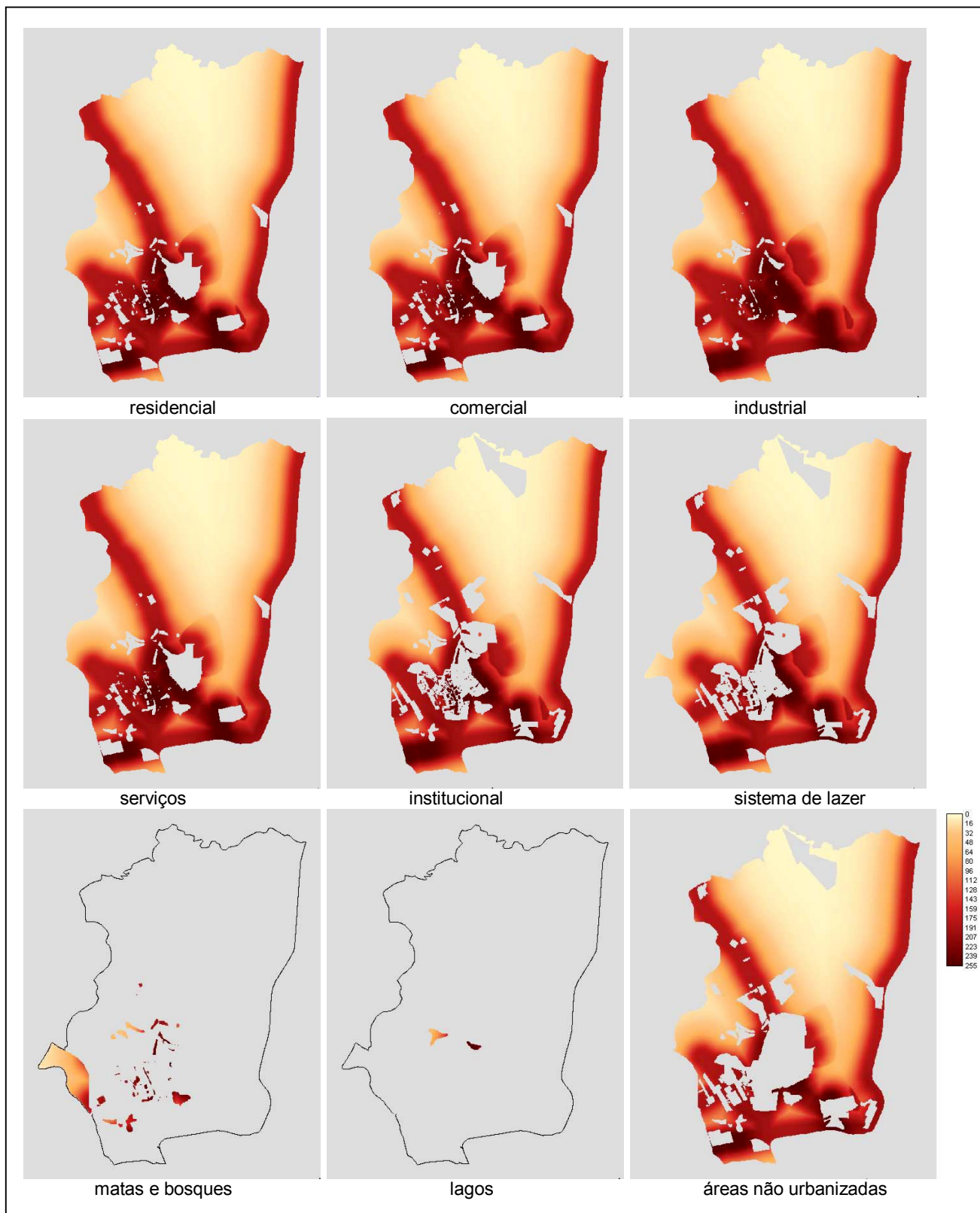


Figura 5.10 - Barão Geraldo - potencial de aptidão das categorias

5.7 Projeção estocástica – Cadeia de Markov

O módulo Markov simula a predição do estado de um sistema em um determinado tempo a partir dos estados precedentes. É um procedimento discreto em tempo discreto, cujo valor em tempo t_2 depende dos valores dos tempos t_0 e t_1 (modelo markoviano de segunda ordem).

Através desse módulo foram geradas: a matriz de áreas de transição (tabelas 5.5 e 5.6) e as imagens de probabilidades condicionais que relatam qual a probabilidade de cada tipo de uso do solo poderá ser encontrada para cada célula, depois de especificado o número de unidades de tempo, que neste caso é de 11 anos (figuras 5.16 e 5.17). Essas imagens foram calculadas como projeções após a entrada das duas imagens de uso do solo (anos 1984 e 1995) para cada categoria de uso do solo.

		1995 (%)									Total
		1	2	3	4	5	6	9	10	11	1984(%)
1984 (%)	1	0,7830	0,0160	0,0000	0,0122	0,0009	0,0310	0,0123	0,0540	0,0905	100,0
	2	0,0000	0,7792	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2208	100,0
	3	0,1501	0,0000	0,8499	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	100,0
	4	0,0187	0,0187	0,0187	0,8500	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	100,0
	5	0,0870	0,0000	0,0000	0,3478	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5652	100,0
	6	0,0189	0,0000	0,0000	0,0000	0,0354	0,6631	0,0000	0,2575	0,0251	100,0
	9	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,8500	0,0187	0,0187	100,0
	10	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,0187	0,8500	0,0187	100,0
	11	0,1198	0,0006	0,0028	0,0008	0,0034	0,0416	0,0000	0,0431	0,7878	100,0

Tabela 5.5 - Matriz de probabilidade de transição: Campo Grande
Categorias: 1: residencial, 2: comercial, 3: industrial, 4: serviços, 5: institucional, 6: sistema de lazer, 7: bosque e matas⁶, 8: lagos⁶, 9: uso misto, 10: favelas, 11: áreas não-urbanizadas.

⁶ Usos não utilizados na aplicação do modelo- vide pág. 69

		1995 (%)									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	11	1984 (%)
1984 (%)	1	0,8138	0,0584	0,0088	0,0380	0,0134	0,0627	0,0000	0,0000	0,0049	100,0
	2	0,1451	0,5186	0,0000	0,0852	0,0023	0,2200	0,0058	0,0000	0,0230	100,0
	3	0,0225	0,0084	0,8426	0,1236	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000	0,0000	100,0
	4	0,1597	0,1539	0,0249	0,6600	0,0000	0,0015	0,0000	0,0000	0,0000	100,0
	5	0,0766	0,0015	0,0907	0,0036	0,8121	0,0129	0,0000	0,0000	0,0026	100,0
	6	0,0443	0,0008	0,0000	0,0092	0,1312	0,8146	0,0000	0,0000	0,0000	100,0
	7	0,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8500	0,0000	0,0500	100,0
	8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1502	0,0000	0,0000	0,8498	0,0000	100,0
	11	0,1299	0,0008	0,0399	0,0049	0,0021	0,0012	0,0053	0,0000	0,8159	100,0

Tabela 5.6 - Matriz de probabilidade de transição:Barão Geraldo

Categorias: 1: residencial, 2: comercial, 3: industrial, 4: serviços, 5: institucional, 6: sistema de lazer, 7: bosque e matas, 8: lagos, 9: uso misto⁷, 10: favelas e ocupações⁷, 11: áreas não-urbanizadas

Após a aplicação do módulo *markov* e uma vez gerados os mapas de probabilidade para cada categoria de uso real do solo, utilizou-se o módulo de projeção estocástica (*st_choice*), que avalia para cada *pixel* a probabilidade de pertencer a uma outra categoria. Este procedimento produz um único mapa e apresenta um resultado das incompatibilidades entre elas (figuras 5.18 e 5.19).

⁷ Usos não utilizados na aplicação do modelo - vide pág. 69

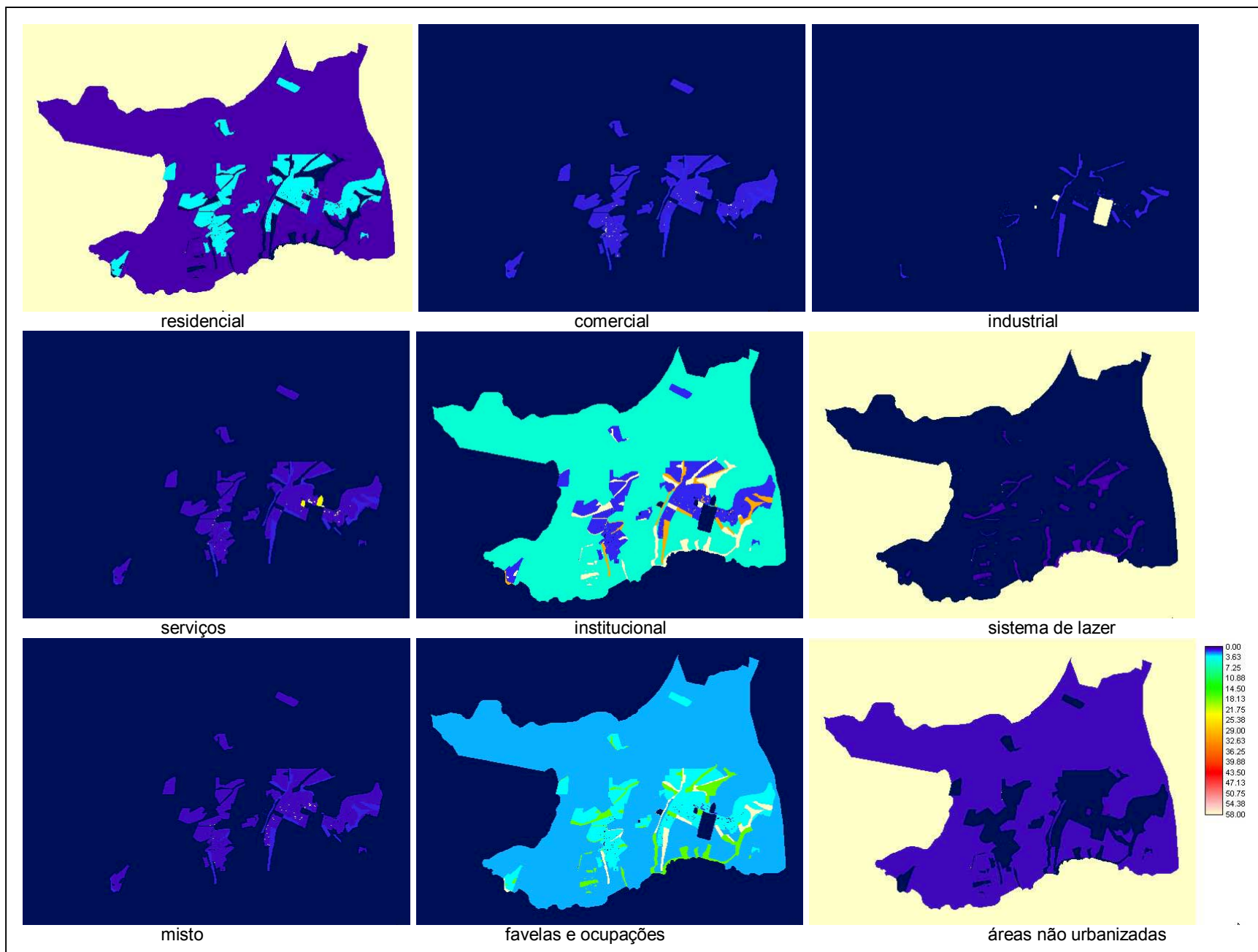


Figura 5.11 - Campo Grande - Probabilidade de transição das categorias de uso do solo obtidas através do módulo *Markov*

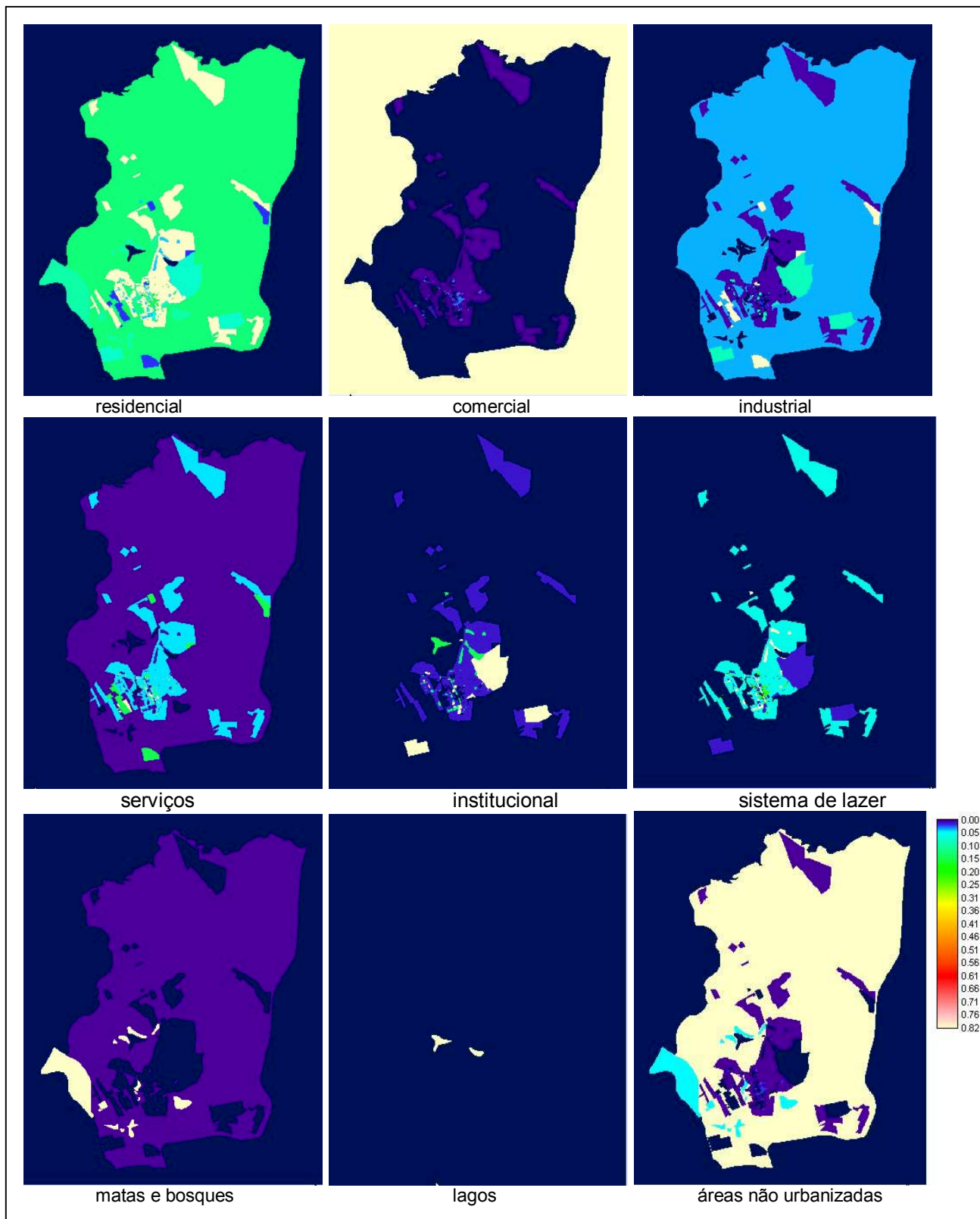


Figura 5.12 - Barão Geraldo - Probabilidade de transição das categorias de uso do solo obtidas através do módulo *Marko*

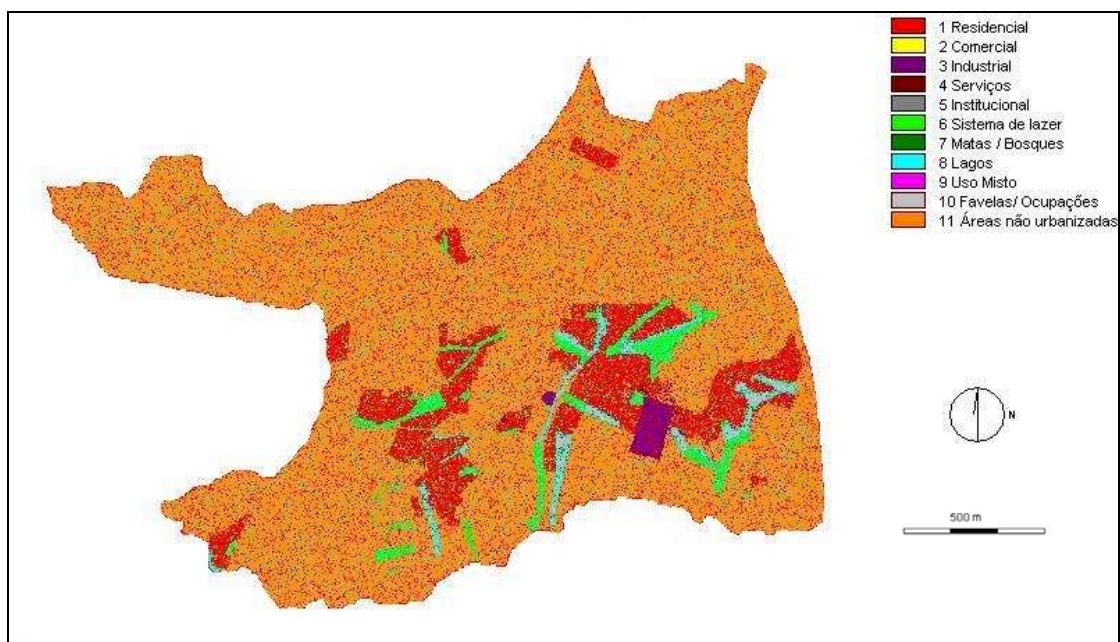


Figura 5.13 - Campo Grande – Projeção estocástica para o ano 2006

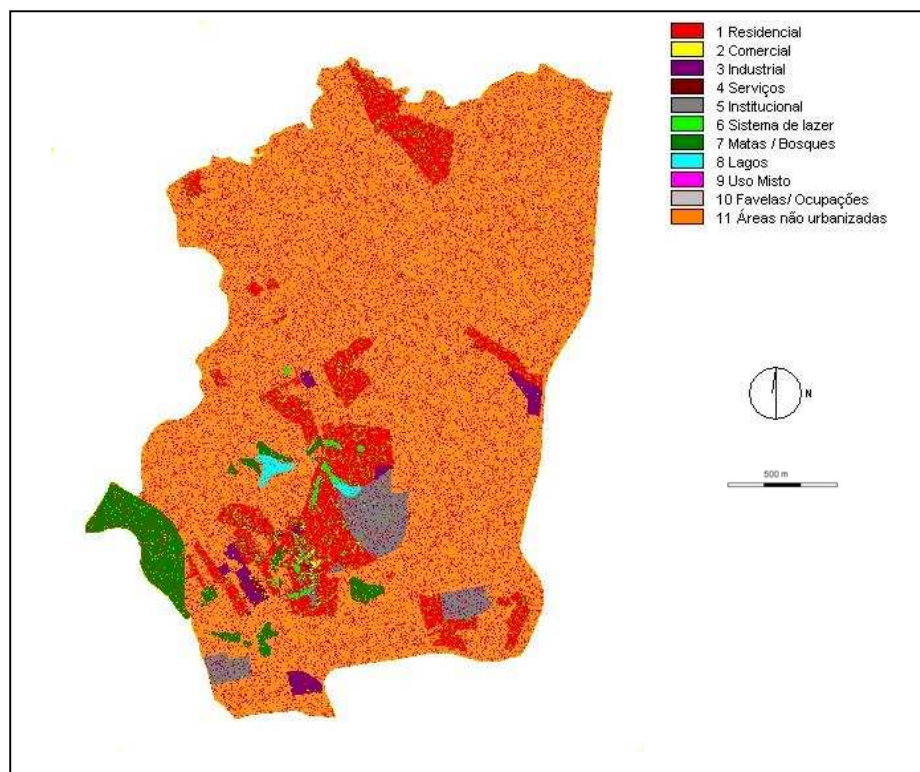


Figura 5.14 - Barão Geraldo - Projeção estocástica para o ano 2006

Neste procedimento constata-se visualmente (efeito serrilhado, não contínuo) algumas limitações do processo markoviano, pois os mapas de projeções estocásticas consideram um resultado intermediário dentre as probabilidades de transição entre os estados. As probabilidades são arbitradas e não levam em conta critérios que englobem variáveis explicativas da dinâmica de mudança (PAEGELOW *et al*, 2003). Significa que este procedimento não calcula as variáveis explicativas e descritivas, somente fundamenta-se na análise da dinâmica interna do sistema, ou seja, a evolução do comportamento de usos do solo.

5.8. Análise dos resultados

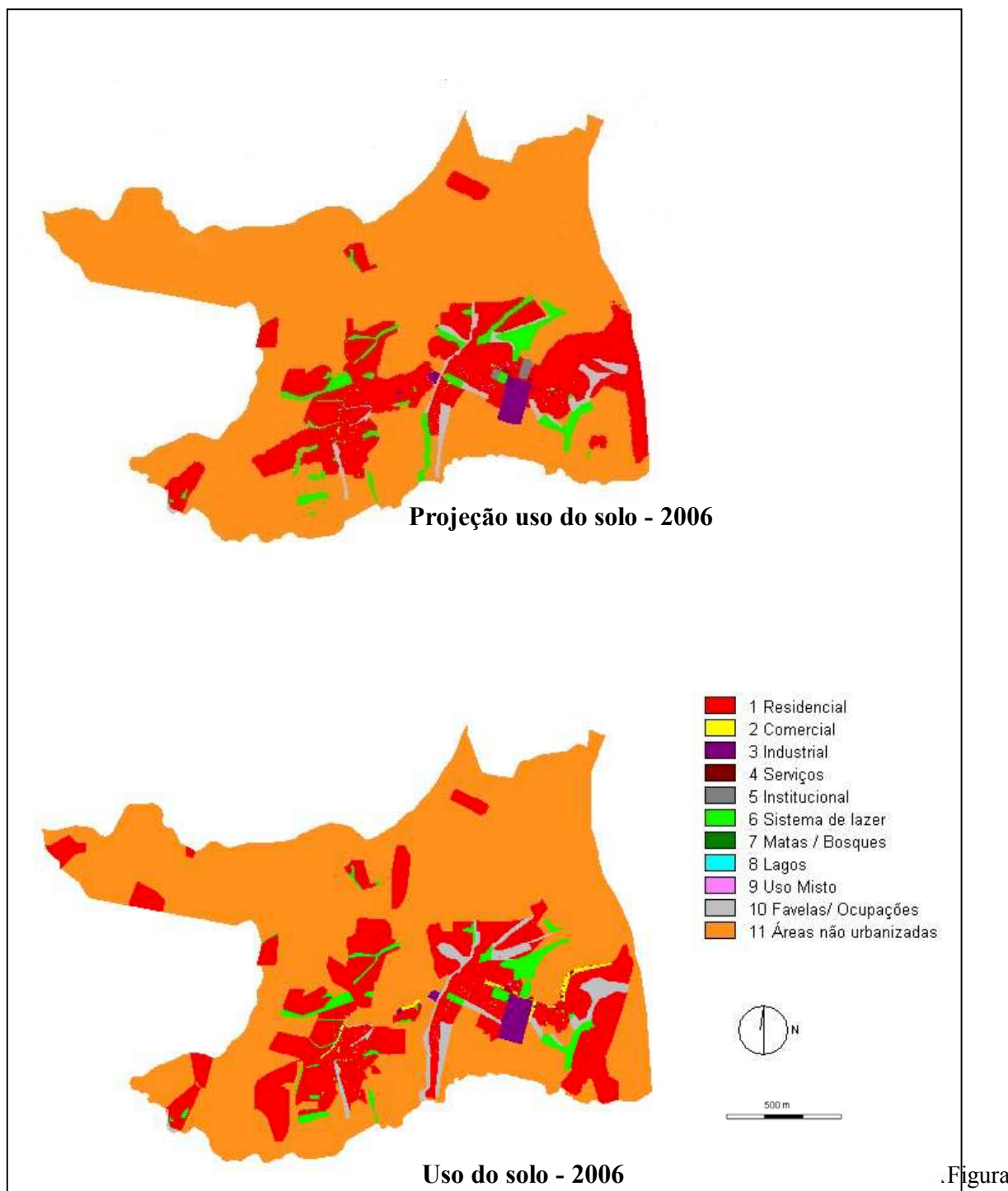
Os resultados dos processos anteriores confluem ao módulo de *ca_Markov*. Para se obter uma modelagem mais adequada às reais transformações de uso do solo, são inseridos neste módulo: a série cronológica de usos do solo (modelagem temporal que no presente estudo foi para um período de 11anos projetando-se para o ano de 2006), lógica de avaliação de multicritério (relaciona as categorias de usos do solo a um conjunto de variáveis que podem explicar e descrever sua dinâmica) e o elemento espacial de contigüidade baseado em autômatos celulares (PAEGELOW *et al*, 2003).

Para a validação do modelo, os resultados da simulação foram comparados com uma situação real de uso do solo para o ano de 2006. Como resultado inicial, embora uma comparação visual da projeção com a situação real apresente algumas distorções, os produtos obtidos podem ser considerados satisfatórios. As figuras 5.20 e 5.21 demonstram os resultados da projeção para o ano de 2006 junto à situação de uso do solo real em 2006, este último elaborado baseado em levantamento da Empresa de Planejamento Metropolitano - EMPLASA (2005) (anexo B e C), por meio de foto interpretação e trabalho de campo.

Diferentemente dos levantamentos de uso real do solo utilizados para a projeção estocástica, onde a referência foi o lote, o levantamento da EMPLASA considerou a quadra como unidade. Deste modo, se há duas ou mais categorias de usos existentes, estabeleceu-se somente a categoria de uso com maior predominância

na quadra. Ao se confrontar as projeções com a situação real, este fator embora não anule, no nosso entendimento, a validação, compromete a análise dos resultados.

As simulações realizadas em ambas as regiões (Campo Grande e Barão Geraldo) produziram imagens com um comportamento conservador do modelo, pois são constatadas a intensificação e concentração de usos comerciais e de serviços junto aos corredores viários e áreas de influência dos PGTs, regiões que detêm também um maior adensamento populacional. Esta dinâmica é maior em Barão Geraldo, justificada pela estrutura viária da região que propicia uma maior acessibilidade aos equipamentos urbanos da região.



5.15 - Campo Grande - Projeção e uso real do solo - 2006

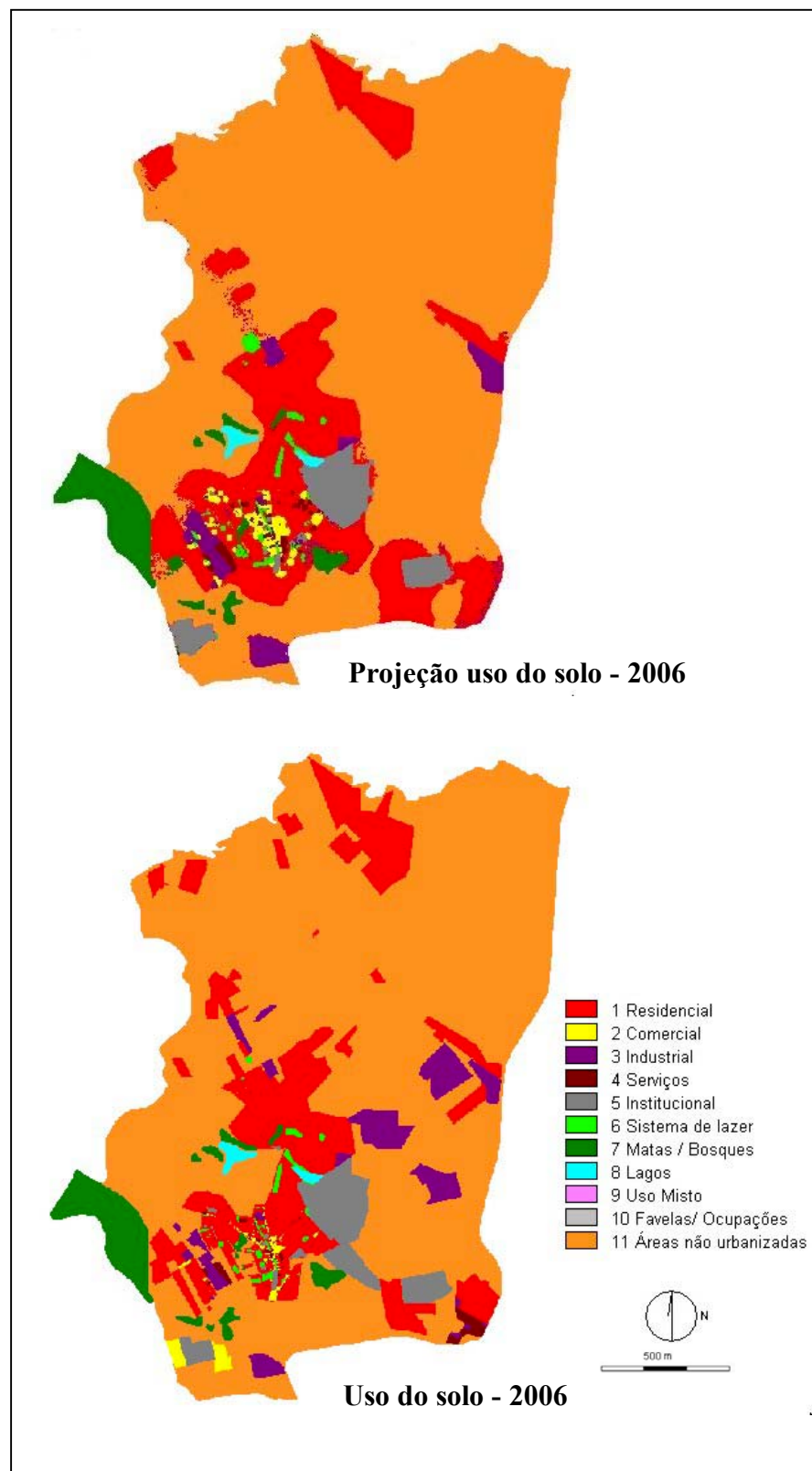


Figura 5.16 - Barão Geraldo - Projeção e uso real do solo - 2006

Nos gráficos 5.1 e 5.2 são comparados em valores absolutos, as áreas para cada categoria de uso do solo, entre os resultados das projeções de uso do solo com a função *ca_Markov* e a situação real de uso do solo para o ano de 2006.

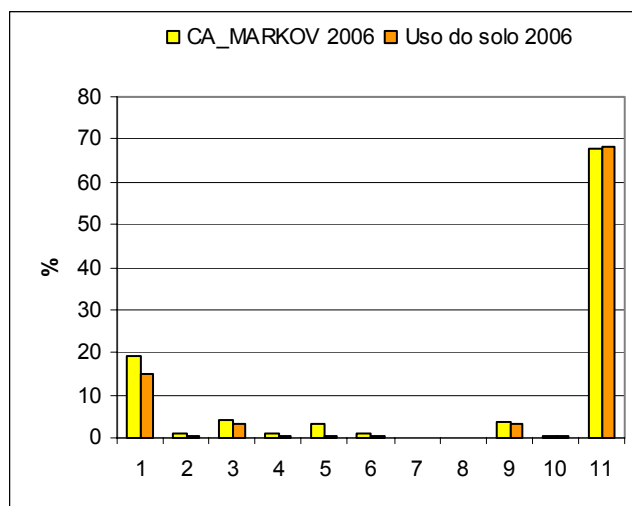


Gráfico 5.1 - Comparação entre a predição de usos do solo em 2006 através do *ca_Markov* e o uso do solo - Campo Grande.

Categorias: 1- residencial, 2- comercial 3 - industrial, 4 - serviços, 5 - institucional, 6 - sistema de lazer, 7 - matas e bosques, 8 – lagos, 9 – uso misto, 10 – favelas e ocupações, 11- áreas não urbanizadas

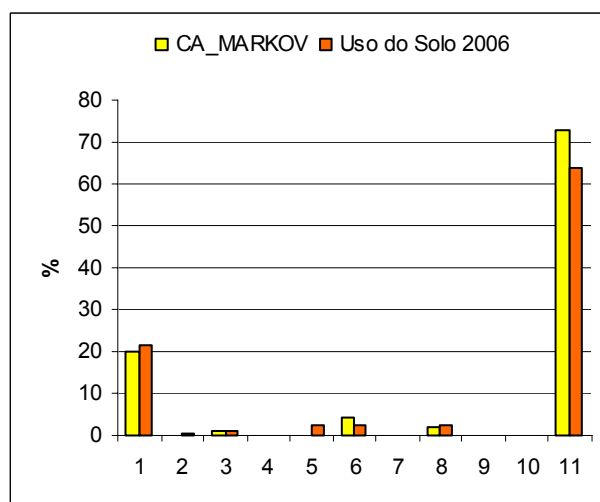


Gráfico 5.2 - Comparação entre a predição de usos do solo em 2006 através do *ca_Markov* e o uso do solo - Barão Geraldo

Categorias: 1- residencial, 2- comercial 3 - industrial, 4 - serviços, 5 - institucional, 6 - sistema de lazer, 7 - matas e bosques, 8 – lagos, 9 – uso misto, 10 – favelas e ocupações, 11- áreas não urbanizadas

Há de se comentar que como critério adotado, não foi considerado o limite do perímetro urbano definido pela legislação do município, isto é, as áreas definidas para a urbanização, apenas distinguiram-se as áreas não urbanizadas e usos do solo urbanos. Esta medida procurou identificar através da simulação a evolução dos usos emergentes da dinâmica local, independentemente das normas definidas nas leis do plano diretor e/ou nas leis de zonas de uso (zoneamentos). São observadas, por exemplo, algumas regiões próximas aos núcleos urbanos onde é projetada uma intensificação de ocupação residencial, principalmente no distrito de Barão Geraldo, local com forte pressão do setor imobiliário para urbanização das áreas rurais.

A tendência de ocupação da categoria favelas/ocupações, processos informais de ocupação do solo, geralmente estabelecidos em áreas públicas de sistema de lazer dos loteamentos do Campo Grande, mantiveram uma proximidade à situação de 2006.

As séries temporais apresentadas indicam as mesmas categorias de uso do solo, característica fundamental na projeção baseada em cadeias de *Markov* e consiste também em uma limitação deste algoritmo. As categorias de usos identificadas para o ano 1995 são as mesmas para 2006. Desta forma não se consegue precisar uma nova categoria se esta não estiver presente nos dois estados temporais (1984 e 1995).

De modo geral, comparando-se visualmente os resultados das duas regiões, a projeção para a região do Campo Grande foi mais fiel à situação de fato em 2006. A transformação global de usos para o Distrito de Barão Geraldo foi mais intensa na modelagem sobre a situação real em 2006.

Quanto às variáveis selecionadas, acredita-se que estas não esgotem ou expliquem por completo a complexidade da dinâmica urbana, entretanto, o método apresentado permite o tratamento e incorporação de temas que proporcionem um melhor ajuste à realidade.

As imagens obtidas através do modelo dinâmico aplicado junto a um Sistema de Informação Geográfica apresentaram a tendência de transformação de uso do solo e

crescimento do Distrito de Barão Geraldo e a região do Campo Grande, utilizando-se para isso: a predição estocástica baseada em cadeia de *Markov*, a contigüidade espacial com autômatos celulares e variáveis explicativas desenvolvidas por análise multicritério. Os resultados obtidos são aceitáveis e deste modo, conclui-se que a modelagem dinâmica pode ser usada como ferramenta para subsidiar o planejamento urbano e territorial e no auxílio para a tomada de decisão.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto a ampliação dos processos produtivos e dos requerimentos para a transformação da cidade no novo ciclo de econômico do capitalismo – globalização – tem proporcionado uma maior complexidade espacial e transformação urbana. Esta dinâmica por sua vez é estruturada pelas redes técnicas que definem o espaço, tempo e a intensidade de desenvolvimento do território e revelam a combinação em cada lugar, das condições econômicas e geográficas. Um de seus elementos materiais mais representativos e explicativos desta transformação no território é a rede viária de transportes.

Neste cenário, o planejamento urbano e territorial não dá conta de reproduzir uma organização espacial coerente com a organização propiciada pelas redes técnicas. Como também, os modelos espaciais empregados na análise dos fenômenos de transformação verificados nas cidades, geralmente trabalham em um campo específico de conhecimento, não consideram conceitos de tempo e espaço e, portanto acabam por não contemplar por completo a dinâmica do território.

O desenvolvimento tecnológico verificado nas últimas décadas assegurou as tecnologias digitais como ferramentas necessárias para representar os elementos presentes na superfície terrestre. Os Sistemas de Informações Geográficas estão incluídos neste contexto e são baseados em hipóteses pré-estabelecidas para descrever um dado fenômeno quanto aos seus aspectos espaciais, mais de maneira estática.

Se por um lado os SIGs se destacam em facilitar a aquisição, o tratamento de dados e sua espacialização, a combinação de análise multicritério, projeção estocástica, autômatos celulares em um ambiente SIG amplia as possibilidades para incorporar na modelagem de fenômenos ao longo do tempo, reunindo espacialidade absoluta e relativa, elementos quantificáveis ou não, por meio de procedimentos que permitem explorar conhecimentos empíricos da realidade das cidades. São modelos capazes de simular mudanças inesperadas e surpreendentes, como afirma Almeida (2003), como às observadas em fenômenos emergentes.

Desta maneira, podemos afirmar que a modelagem dinâmica, ao realizar a simulação de processos temporais dos fenômenos emergentes, procura suplantar as limitações dos SIGs por meio de análises integradas das transformações e dinâmicas das cidades junto aos fatores explicativos do desenvolvimento dependentes do tempo.

O *software* SIG Idrisi 6.02, embora com procedimentos um tanto complexos, mostrou-se uma ferramenta extremamente útil para a modelagem dinâmica urbana, através de módulos de apoio à decisão (análise multicritério), projeção estocástica e autômatos celulares. O método de análise multicritério possibilita um maior controle do processo de análise ao permitir que um fator favorável compense outro fator desfavorável, possui uma maior flexibilidade para alterar as variáveis a qualquer momento, e assim reavaliar o processo ou repeti-lo com a inclusão ou retirada de novos critérios. A projeção de cenários por meio de um modelo matemático de cadeia de *Markov* demonstra a probabilidade condicional de qualquer evento futuro com variáveis definidas em um espaço e tempo discretos. Ao se aplicar um filtro de autômato celular nas projeções resultantes do processo markoviano, são incorporadas também variáveis explicativas de mudança e assim é produzido um resultado espacialmente mais próximo à realidade verificada. Estas rotinas utilizadas demonstram as possibilidades de desenvolvimento de modelagens e suas diversas aplicações para o ordenamento, direcionamento, provisão de infra-estrutura, enfim às atividades relacionadas ao planejamento urbano e territorial.

Nesta perspectiva, a representação de processos dinâmicos espaciais com autômatos celulares é um campo promissor para abordagens de processos de transformação das cidades, principalmente quanto ao estudo dos fenômenos de transição no uso do solo e geração de cenários.

Embora seja relativamente recente e ainda tenha ainda uma trajetória a se seguir, a importância desse tema nos estudos de planejamento urbano está na capacidade de obter prognósticos, levando-se em conta os desdobramentos e condicionantes advindos dos processos socioespaciais. Como afirmam Souza e Rodrigues (2004) *“a construção de cenários é uma forma realista de fazer prognósticos, deve ser entendida como um processo aberto a determinação e indeterminação impostas pelos diversos agentes modeladores do território, possibilitando um planejamento consistente e a preparação de uma boa gestão pública”*.

Em conclusão, a presente dissertação propôs o emprego de um modelo de simulação de usos de solo baseado em experimentos de modelagem dinâmica espacial aplicada a situações reais, isto é, procurou-se identificar os principais vetores de crescimento e/ou tendências de transformações de usos do solo de duas regiões do município de Campinas. A rede viária de transportes foi considerada um fator importante a ser contemplado como elemento estruturador e transformador do território. Os resultados obtidos por meio de processos estacionários (cadeia de *Markov*) complementados com análises multicritérios e Autômatos Celulares mostraram-se proveitosos, embora outras variáveis explicativas de estruturação das cidades poderiam ser trabalhadas e incorporadas ao modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLAS, L. A. Q. *A Teoria do Lugar Central: bases teóricas e evidências empíricas: estudo de caso de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Econômicas, Universidade Estadual de São Paulo, 1982. 215p.

ALMEIDA, C. M. *Modelagem dinâmica espacial como ferramenta auxiliar ao planejamento: Simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP)*. 2003. 321p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, 2003.

ALVES, M. B.; MARTINS, A. N. *A Formação e o Desenvolvimento dos Centros e Sistemas Urbanos*. Lisboa: Centro de Investigações Regionais e Urbanas, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, 2001. 92p.

BAENINGER, R. *Espaço e tempo em Campinas: migrantes e a expansão do pólo industrial paulista*. Campinas, São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 1996. 148p. (Coleção campineira).

BATTY, M.; XIE Y. From cells to cities. In: *Environment and Planning*, London, England, n. 21, p. 31-48. 1994.

BORJA, J.; CASTELLS, M. *Local e global: la gestión de las ciudades en la era de la información*. Madrid: Taurus, 1997. 418p.

BUZAI, G. D. Sistemas de Información Geográfica: aspectos conceptuales desde la teoría de la Geografía. In: XI CONFERENCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 2007, Buenos Aires, Argentina. *Memórias da XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*, Luján, Argentina, 2007. p 29-75.

BUZAI, G. D.; BAXENDALE, C. A. *Análisis Socioespacial con Sistema de Información Geográfica*. Buenos Aires: Lugar Editorial Gepama, 2006. 400p.

CAIADO, A. S. C.; PIRES, M. C. S.; SANTOS, S. M. M.; MIRANDA, A. L. In: A.C. Brandão e W. Cano (orgs), *Diagnóstico socioeconômico da região metropolitana de Campinas*. Campinas: Fundação de Economia Campinas, 2002. 95p.

CAMPOS FILHO, C.M. *Cidades Brasileiras: seu controle ou o caos*. São Paulo: Nobel, 1989. 143p.

CHORLEY, R.; HAGGETT, P. *Models in Geography*. London: Methuen, 1967. 816p.

CHORLEY, R.; HAGGETT, P. *Modelos sócio-econômicos em Geografia*. Trad. MEDEIROS, A. V. Rio de Janeiro: Edusp, 1975. 274p.

CLARK, C. D. *Introdução à Geografia Urbana*. São Paulo: Difel, 1985. 286p.

CLARKE, K. C.; HOPPEN, S.; GAYDOS, L. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in San Francisco. In: *Environment and Planning B*, 24: p. 247-261. 1997.

COMPANS, R. O paradigma das Global Cities nas estratégias de desenvolvimento local. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, n. 1, p. 91-114, maio 1999.

CORREA, R. L. A. *A rede urbana*. São Paulo: Editora Ática, 1989. 96p.

_____. Hinterlândias, Hierarquias e Redes: uma avaliação da produção geográfica brasileira. In: CARLOS, A. F(org), *Os caminhos da reflexão sobre a cidade e o urbano*. São Paulo: Edusp, 1994. p. 323-359.

_____. *Trajetórias geográficas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997a. 302p.

_____. Interações Espaciais. In: CASTRO, I. E. et al. (orgs), *Explorações geográficas: percursos no fim de século*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997b. p. 279 -319.

COSTA, D. C.; AMARANTE, R. R; SCARASSATTI, D. F. Avaliação de bases cartográficas de cidades médias e grandes, face à ausência de metodologia de procedimentos para manutenção e atualização. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2005, Macaé, Rio de Janeiro. *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia*, Macaé, Rio de Janeiro, 2005 (CD).

COUCLELIS, H. From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for model Development and Implementation. In: *Environment and Planning B: Planning and Design*, London, England, n. 24, p. 165 -174. 1997.

DEBATIN NETO, A. *Política de Planejamento de Transportes e Desenvolvimento Urbano: considerações para cidade de Florianópolis*. 1998. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 1998.

DELLE DONNE, M. *Teorias Sobre a Cidade*. Trad. José Manuel de Vasconcellos. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1979. 255p.

DIAS, L.C. Redes: emergência e organização. In: CASTRO, I.E et al. (orgs), *Geografia: conceitos e temas*, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. p.141-162.

_____. Reflexões Sobre a Dinâmica Recente da Rede Urbana Brasileira. In: IX ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 2001, Rio de Janeiro. *Anais do IX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa*, Rio de Janeiro, 2001. 426-430p.

DUPUY, G. *L'Urbanisme des Réseaux, théories et méthodes*. Paris: Armand Colin Éditeur, 1997. 198p.

ECHENIQUE, M. L. *A estrutura do espaço urbano*. Trad. Francisco de Leon Molina. Barcelona: Gustavo Gilli, S.A.1975. 377p.

EASTMAN, J.R. *Guide to Gis and Image Processing*. Clark University, Worcester, MA, USA, 2003a. 328p.

_____. *Idrisi Kilimanjaro Tutorial*. Clark University, Worcester, MA, USA, 2003b. 271p.

_____. *Idrisi for Windows, User's Guide, version 2.0*. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA. 1997.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. *Por dentro da Região Metropolitana de Campinas*. Estado de São Paulo. 2005. (CD).

FERNANDES, A.C.; NEGREIROS, R. Economic developmentism and change within the Brazilian urban system. In: *Geoforum*, n. 32, Inglaterra: Elsevier, p.415 -435. 2001.

JACOBS, J. *Morte e vida nas grandes cidades*. Tradução Carlos S. Mendes Rocha. São Paulo: Martin Fontes, 2000. 510p.

GONÇALVES, M. F.; SEMEGHINI, U. Uma metrópole Singular. In: Fonseca, R. B. et al (org.) *Livro Verde: desafios para a gestão da região metropolitana de Campinas*. Campinas, São Paulo: Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas .2002. p 27- 51.

GRANDO, L. *A Interferência dos Pólos Geradores de Tráfego no Sistema Viário: Análise e Contribuição Metodológica para Shoppings Centers*. 1986. 189p. Dissertação (Mestrado em Transportes) - COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.

GRAHAM, S.; MARVIN, S. *Splintering Urbanism. Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the urban condition*. London: Routledge. 2001. 463p.

HARVEY, D. *A condição pós-moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural*. Trad. Adail Ubirajara Sobral, Maria Stela Gonçalves. São Paulo: Edições Loyola, 2000. 349p.

HAGGETT, P. *Análisis Locacional en la Geografía Humana*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S. A., 1976. 434p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA. *Dados macroeconômicos e regionais*. Disponível <<http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/ipeadata? 362720500>>, acesso em 20.09.2006.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. *Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil*. Campinas: Editora Unicamp, 1999. 444p.

JOHNSON, S. *Emergência, a dinâmica de rede em formigas, cérebros, cidades e softwares*. Tradução Maria C. P. Dias. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar, 2003. 231p.

KNEIB, E.C. *Caracterização de Empreendimentos Geradores de Viagens: contribuição conceitual à análise de seus impactos no uso, ocupação e valorização do solo urbano*. 2004. 182p. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

LEITE, M. E.; ROSA, R. Geografia e Geotecnologias no Estudo Urbano. In: Revista Caminhos de Geografia, v. 7, n. 17, p. 179-186, 2006. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. acesso em 13.mai.2007.

MAGUIRE, D; DANGERMOND, J. The functionality of GIS. In: MAGUIRE, D; GOODCHILD, M; RHIND, D. *Geographical information systems: principles and applications*. London: Longmans, 1991. p. 319-335.

MARQUES, E. C.; BICHR, R. M. Estado e espaço urbano: revisitando criticamente as explicações sobre as políticas urbanas. *Revista de Sociologia Política*, n.16, p.9-28, São Paulo, jun. 2001.

MARZOLA, N. *O processo de regionalização do estado de São Paulo a partir de 1950: Estudo de caso de Campinas*. 1991. 245p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Territorial) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

MEREDITH, D. D. *et al. Design and Planning of Engineering Systems*. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 384p.

MOURA, A. C. M. *Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano*. Belo Horizonte: Ed.da autora, 2005. 294p.

NOVAES, A.G. *Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1982. 290p.

O' SULLIVAN, D.; TORRENS, P. *Cities, cells, and complexity: developing a research agenda for urban geocomputation*. Disponível em: [http:// David O'Sullivan-grafos-cellular automata.htm](http://David O'Sullivan-grafos-cellular automata.htm). Acesso em 20.mar.04.

PAEGELOW, M.; CAMACHO OLMEDO, M. T.; MENOR TORIBIO, J. Cadenas de markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización del paisaje. In: *Geofocus (artículos)*, n. 3, p. 22-44. 2003.

PEDROSA, B. M. *Ambiente Computacional para Modelagem Dinâmica Espacial*. 2003. 71p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, 2003.

POLIDORI, M. *Crescimento urbano e ambiente. Um estudo explanatório sobre as transformações e o futuro das cidades*. 2004. 353p. Tese (Doutorado em ecologia) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004.

POLIDORI, M. C., KRAFTA, R. Simulando crescimento urbano com integração de fatores naturais, urbanos e institucionais. In: *GeoFocus (Artículos)*, n 5, p. 156-179, 2005.

PIUMENTO, M. Conceptos Básicos de Sistemas de Información Geográfica. In: *Curso de SIG aplicados a estudios urbanos* - Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. *Plano Diretor, Caderno de Subsídios*. Campinas, 2006. 302p.

_____. *Resoluções da 1ª. Conferência Municipal de Habitação*. Organização Prefeitura Municipal de Campinas. Campinas, 2002. 43p.

_____. *Plano Local de Gestão Urbana de Barão Geraldo*. Campinas, 1996a. 117p.

_____. *Plano Local de Gestão Urbana do Campo Grande*. Campinas, 1996b. 266p.

_____. *Campinas, Plano Diretor*. Campinas, 1995. 303p.

_____. *Campinas, subsídios para discussão do Plano Diretor*. Campinas, 1991. 289p.

RAFFESTIN, C. *Por uma Geografia de Poder*. Trad. Maria Cecília França. São Paulo: Editora Ática, 1993. 269p.

RAMOS, L.; FERNANDES, J. *Os PDM e a racionalização das redes de infra-estruturas*. Grupo de Estudos Territoriais. Universidade de Trás-os - Montes e Alto Douro. 2003.

RODRIGUES, J.P. *The Lowry Model*. In: Transport geography on the web. Disponível em <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch6en/meth6en/ch6m2en.html>. Acesso em 02.jul.2004.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990, 1-26p.

SANCHES, F. *Cidades reinventadas para um mercado mundial: estratégias trans-escalares nas políticas públicas.*, In: IX ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 2001, Rio de Janeiro. *Anais do IX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa*, Rio de Janeiro, 2001. 246-257p.

SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. São Paulo: HUCITEC, 1996. 384p.

SANTOS, M. E SILVEIRA, L. *O Brasil, território e sociedade no início do século XXI*. Rio de Janeiro: Editora Record, 2001. 471p.

SASSEN, S. *As Cidades na Economia Mundial*. São Paulo: Editora Studio Nobel. 1998.

SCARASSATTI, D.F.; SERRA, A.L. Problemática do espaço público: fechamento de loteamentos em Campinas. In: I Simpósio Nacional de Impactos Socioambientais Urbanos, Desafios e Soluções, 2002, Curitiba, Paraná. *Anais do I Simpósio Nacional de Impactos Socioambientais Urbanos, Desafios e Soluções*, Curitiba, Paraná, 2002 (CD).

SERRA, A.L.; SCARASSATTI, D.F.; GIARDINI, F.; KATZ, J. Políticas de intervenção em áreas de risco no município de Campinas. In: *Scripta Nova: Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. IX, n. 194 (75). Disponível em <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-194-75.htm>> acesso em 13.out.2006.

SILVA, A. *Sistemas de Informação Geo-referenciadas - conceitos e fundamentos*. Campinas, São Paulo: Editora Unicamp, 1999. 236p.

SOJA, E. *Geografia Pós Modernas*, Editora Zahar, Rio de Janeiro, Brasil, 1993.

SOUZA, M. T. *As teorias sobre localização das atividades econômicas e a estrutura espacial das cidades*. São Paulo: Editora Plêiade, 2005. Disponível em <<http://www.editorapleiade.com.br/detalhesartigos.php?cod=3>>. Acesso em 23.jul.2006.

SOUZA, M. L.; RODRIGUES, G. B. *Planejamento Urbano e ativismos sociais*. Rio de Janeiro: Editora UNESP, 2004. 136p.

TAVARES, M.G. *A Implantação da UHE-Tucuruí e o acesso à rede de energia elétrica no Estado do Pará/Amazônia*. In: IX ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 2001, Rio de Janeiro. *Anais do IX Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa*, Rio de Janeiro, 2001, p. 401-411.

TORRENS, P. *Can geocomputation save urban simulation? Throw some agents into the mixture simmer*. Center for Advanced Spatial Analysis. Working Paper Series. England, 2001. 37p.

VELTZ, P. New models of production organisation and trends in spatial development. In Benko, G.; Dunford, M. (org.) *Industrial Change and Regional Development*. London: Pinter/ Belhaven Press, 1991. p. 193-204.

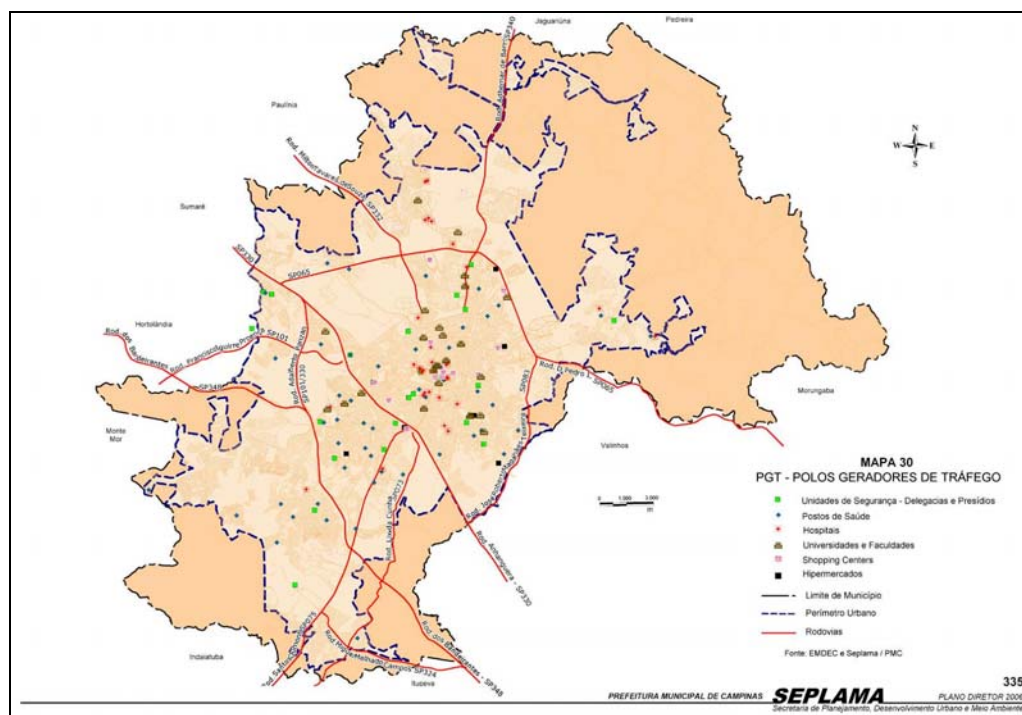
VILLAÇA, F. *O Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel, 1998. 373p.

WEBER, E. J.; HASENACK, H; NODARI, F. A.; REICHMAN, C. Análise de alternativas de traçado de uma estrada utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG. In: GIS BRASIL 98 IV CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 1998, Curitiba. *Anais do IV Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento*, Curitiba, Paraná, 1998.

WERMERSCH, F. G. *Sistemas de Informação Geográfica para gestão municipal integrada (comunicação oral)*. In: SEMINÁRIO REGIONAL SUDESTE SOBRE CADASTRO TÉCNICO TERRITORIAL MULTIFINALITÁRIO, 2006. Campinas: [s. n.] 1 a 4 de agosto de 2006.

WHITE, R.; ENGELN, G. Cellular Automata as the basis of Integrated Dynamic Regional Modelling. In: *Environment and Planning B and Design*, London, n. 24, p.165-174, 1997.

ANEXOS



Anexo A - Pólos Geradores de Tráfego
Fonte: SEPLAMA, 2006



CATEGORIAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Urbano
 Residencial Predominante
 Horizontal
 Vertical
 Condomínio ou Loteamento Fechado Ocupado
 Cond. ou Loteamento Fechado - até 10% Ocupação
 Condomínio Institucional
 Quilata com até 10% de Ocupação
 Loteamento de Chácara
 Favela
 Não Urbano

Comercial e de Serviço
 Comércio e Serviço
 Comércio Comercial
 Shopping e Supermercado
 Estação, Terminal ou Paragem de Transportes

Industrial e de Estoque e Transformação
 Industrial
 Distrito e Condomínio Industrial
 Mineração
 Usina Termo-Atômica

Misto
 Residência + Comércio e Serviço
 Residência + Industrial
 Residência + Comércio, Serviço e Industrial
 Comércio, Serviço e Industrial

Equipamento Social e de Serviço
 Educação
 Saúde
 Lazer, Esporte, Cultura e Turismo
 Institucional
 Especial
 Praça e Área Verde
 Equipamento de Infra-Estrutura
 Infra-Estrutura

Convenções Cartográficas

Colônias
 Via de Fôlego Dupla
 Via de Fôlego Simples
 Estrada
 Estrada de Ferro
 Ponte e Túnel
 Elevador
 Canal ou Barragem
 Lagoa e Represa
 Rio
 Alameda ou Caminho
 Linha Rodoviária
 Linha de TMC

Índice de Cobertura
 Índice de Cobertura
 Índice de Cobertura
 Índice de Cobertura

Região Metropolitana de Campinas
 Divisão de Fôlego

Carta Planimétrica
 Escala 1: 25 000
 Escala Gráfica

Governo do Estado de São Paulo
 Secretaria dos Transportes Metropolitanos
 Secretaria de Economia e Planejamento

AGE M CAMP
 Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA

Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA
 Carta da Região Metropolitana de Campinas
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO 2005

Folha 162
 SF-23-V-A-9-4-ME

Anexo B - Levantamento de uso e ocupação do solo urbano – 2005 – EEMPLASA
 Fonte: EEMPLASA, folha 162

