

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO  
E REGIONAL**

**DINÂMICA INTRA-URBANA:  
ALEATORIEDADE E EMERGÊNCIA DE PADRÕES ESPAÇO-  
TEMPORAIS**

**Eliane Constantinou**

**Orientador: Prof. Romulo Krafta PhD.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como pré-requisito para a obtenção do Título de Doutor.

**Porto Alegre, agosto de 2007.**

*Dedico este trabalho para Paulo e Pedro.*

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento da pesquisa e a elaboração da tese envolveram a colaboração de muitas pessoas, onde cada colaborador fez-se importante em determinado segmento do trabalho. Dentre as muitas pessoas que me auxiliaram neste percurso, devo os mais profundos agradecimentos àqueles que sempre estiveram ao meu lado, primeiramente ao meu orientador, Rômulo Krafta, por acreditar em mim. Agradeço também aos professores Maria Cristina Lay e Simone Zarpelon Leão, do PROPUR, Valério Patta Pillar, do PPGECO; e Suzi Camey, do Departamento de Estatística do Instituto de Matemática da UFRGS, pelo suporte e colaboração que se fizeram fundamentais em diversos momentos. A minha gratidão, as colegas de Departamento, Rita Maria Pillar Kessler, Silvana Jung de Stumpfs e Helena Maria Cabeda Petrucci, que sempre me incentivaram; e a funcionária do Propur, Mariluz Grando, pelo auxílio sempre oportuno. Para finalizar, não poderia esquecer a minha querida família: Paulo Ruwer, Pedro Constantinou Ruwer, Marie Constantinou e Panaiotis Demetre Constantinou; Obrigada pelo afeto e compreensão.

## RESUMO

O estudo investiga a dinâmica da transformação intra-urbana sob o enfoque teórico da auto-organização, explorando a possibilidade de existência de padrões espaço-temporais no fenômeno de alocação de tipologias funcionais (estoques construídos e atividades) ao longo de um século, no bairro Santana de Porto Alegre-RS-Brasil. A transformação das tipologias funcionais e a auto-regulação do fenômeno locacional são estudadas sob o enfoque da aleatoriedade envolvida nas localizações espaciais das variáveis tipológicas dentro de uma rede espacial de estrutura viária consolidada, permitindo, desta forma, identificar regras micro-espaciais que estabeleçam conversões entre as tipologias funcionais ao longo do tempo. Parte-se da hipótese básica de que o fenômeno de alocação das unidades de forma construída e atividades abastecem-se da informação contida no cenário urbano presente para o estabelecimento locacional futuro, ou seja, a alocação de uma tipologia funcional em um lote depende do estado tipológico alocado neste lote no período imediatamente anterior.

A exploração desses padrões espaço-temporais é realizada através de um método exploratório que parte da representação estrutural da base física da rede de lotes através da Teoria dos Grafos, explorando o comportamento entre as tipologias funcionais no tempo, através da utilização de Cadeias de Markov, e inferindo a respeito da auto-regulação do sistema com medidas de Entropia de Kolmogorov e Informação de Shannon. A partir desta descrição obtêm-se as matrizes de transição de cada intervalo de tempo correspondente entre duas décadas, chegando a um total de nove matrizes, e três matrizes médias representando o comportamento do fenômeno locacional no sistema em três fases distintas. As limitações referentes a resposta espacial do modelo markoviano são superadas através da espacialização das regras de transição na rede celular irregular através do programa ArcView Gis 3.3. As regras são obtidas a partir de matrizes condicionais de transições construídas a partir da dependência temporal do estado do lote no tempo  $t+1$  com o seu estado no tempo  $t$  e com o estado da sua vizinhança no tempo  $t$ .

A espacialização das regras de transição no ArcView Gis 3.3 representa a última etapa do modelo e permite a validação do método proposto, através da comparação dos locais com maior probabilidade de mudança apresentados pelo modelo com os locais onde de fato ocorreram as conversões entre os tipos de unidades de forma construída e atividades. Nesta etapa também são possíveis diferentes explorações como a predição de estados futuros, descrição de diferentes tipos de comportamentos entre os diferentes tipos de estoques e atividades, e inferência de zonas mais ou menos instáveis às transformações. A investigação demonstra que o estado tipológico atual condensa toda a história sistêmica definindo a qualidade de markovicidade ao fenômeno locacional, possibilitando a inferência de possíveis estados futuros e patamares de estabilidade sistêmica através dos padrões comportamentais estabelecidos dentro da rede espaço-temporal. O estudo amplia o conhecimento a respeito do fenômeno locacional e colabora para o desenvolvimento de modelos aplicados ao planejamento urbano, dirigidos para a gestão do uso do solo e da qualidade ambiental urbana.

## *ABSTRACT*

The study investigates the dynamics of intra-urban transformation using the theoretical perspective of self-organization and exploring the possibility of space-time patterns in the phenomenon of built form change in the span of a century in Porto Alegre, Brazil. The succession of built form and the self-regulation of the locational phenomenon are both studied by the perspective of the randomness of the spatial positioning of typological variables in a spatial network with consolidated road infrastructure. This allows for the identification of micro-spatial rules which establish conversions among the built form units throughout time. The basic hypothesis is that the phenomenon of built form allocation feeds from the information contained in the urban scenario for future locational establishment. Therefore, the allocation of a built form unit in one lot depends on the typological state of the lot in the period immediately before.

The investigation of these space-time patterns is undertaken using the investigative method based on the structural representation of the physical base of the lot network (through the Graph Theory), exploring the behaviour of the built form types in time (through the Markov Chains) and inferring about the self-regulation of the systems (using Kolmogorov Entropy and Shannon Information measures). From this description, one can obtain the transition matrices of each corresponding time period between two decades, reaching a total of nine matrices and three medium matrices, representing the behaviour of the system's locational phenomenon in three separate phases. The limitations regarding the spatial response of the markovian model are overcome through the spatialization of the transition rules in the irregular cellular network through the program ArcView Gis 3.3. The rules are obtained through conditional transition matrices built from the temporal dependence of the state of the lot in time  $t+1$  with its state in time  $t$  and with the state of its neighbors in time  $t$ .

The spatialization of the transition rules in ArcView Gis 3.3 represents the final stage of the model and allows the validation of the method proposed through the comparison of the locations with higher probability of change presented by the model with the locations where there were in fact conversions between types of built units and activities. In this stage, different explorations are also made possible through the prediction of future states, description of different types of behaviors among the different types of stocks and activities and the inference of zones that are more or less unstable regarding transformations. The study increases the comprehension of the locational phenomenon and collaborates for the development of models applied to urban planning directed towards the management of soil use and urban environmental quality. The investigation demonstrates that the current typological state condenses all the systemic history, granting the locational phenomenon the quality of markovicity, thus allowing the inference of possible future states and systemic stability platforms through the behavioural patterns established in the space-time network.

## SUMARIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1.INTRODUÇÃO</b>	
1.1 Tema da pesquisa.....	1
1.2 Objetivos da Pesquisa.....	4
1.3 Estrutura da Tese.....	5
<b>2 RELAÇÕES ESTRUTURAIS</b>	
2.1 Introdução .....	7
2.2 Sistema de Objetos e Morfologia Urbana.....	8
2.3 Teoria dos Grafos e Representação Estrutural .....	13
2.4 Relações Estruturais e os Modelos Urbanos.....	16
2.4.1 Modelos em Rede .....	18
2.4.2 Modelos Configuracionais Urbanos.....	23
2.5 Conclusões. ....	29
<b>3 RELAÇÕES COMPORTAMENTAIS</b>	
3.1 Introdução .....	31
3.2 Representação Comportamental .....	32
3.3. Sistema de Ações e Modelos do Comportamento.....	34

3.4 Relações Comportamentais e Sociedades Artificiais.....	38
3.5. Conclusões .....	48
<b>4 RELAÇÕES ALEATÓRIAS</b>	
4.1 Introdução .....	51
4.2 Aleatoriedade e Complexidades.....	51
4.2.1 Processos Estocásticos e Cadeias de Markov.....	56
4.2.2 Medidas de Complexidade e Auto-Organização.....	58
4.3 Modelos Urbanos e Auto-Organização.....	60
4.3.1 Antecedentes Teóricos dos Modelos de Auto-Organização .....	60
4.3.2 Modelos Urbanos do tipo Celular Autômato.....	65
4.4 Conclusões .....	74
<b>5 METODOLOGIA</b>	
5.1 Introdução .....	77
5.2 Modelo Conceitual .....	78
5.3 Operacionalização do Modelo Exploratório.....	86
5.3.1 Modelagem Dinâmica.....	86
5.3.2 Abstração do Sistema Espaço-Temporal .....	87
5.3.2.1 Relações Estruturais.....	88
5.3.2.2 Relações Comportamentais.....	91
5.3.3 Modelo Exploratório.....	93
5.3.3.1 Sub-Modelo Descritivo.....	95
5.3.3.2 Sub-Modelo Extrapolatório.....	99
5.3.3.3 Sub-Modelo Exploratório.....	99
5.3.3.4 Operacionalização do método.....	99
5.4 Conclusões .....	103
<b>6 ESTUDO DE CASO: O BAIRRO SANTANA</b>	
6.1 Introdução .....	104
6.2 Descrição do sistema espaço-temporal.....	105
6.2.1 Delimitação da área e Legislação.....	105
6.2.2 Abstração do Sistema Espacial.....	107
6.2.3 Definição das Variáveis de Estudo.....	110

6.2.4 Construção do Banco de Dados.....	118
6.3 Exploração da Transformação Intra-Urbana.....	121
6.3.1 Descrição e Extrapolação .....	121
6.3.2 Espacialização.....	141
6.3.2.1 Espacialização Matriz Exterior.....	142
6.3.2.2 Espacialização Matriz Condicional.....	149
6.4 Conclusões.....	161
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A PESQUISA</b>	
7.1 Introdução.....	162
7.2 Método Desenvolvido Frente ao Problema de Estudo.....	163
7.2.1 A Validade do Método.....	163
7.2.2 O Alcance e os Limites do Método para Avaliar a Transformação Intra-Urbana.....	167
7.3 Contribuições Promovidas pela Pesquisa.....	169
7.4 Possíveis Desdobramentos do Método Proposto.....	174
7.5 Recomendações para Trabalhos Futuros .....	175
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>177</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>192</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>198</b>
<b>ANEXO 3 (em cd).....</b>	<b>206</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura	2.1	Transformação da “ <i>Big World</i> ” (a) em uma “ <i>Small World</i> ”(b).....	21
Figura	2.2	Representação sintática do espaço urbano.....	24
Figura	2.3	Grafo urbano - forma construída e espaço público.....	27
Figura	3.1	Adaptação modelo transacional de Bandura.....	36
Figura	3.2	Modelo de transmissão de mensagens.....	37
Figura	3.3	Modelo de Gibson, 1966.....	37
Figura	3.4	Modelo simplificado do comportamento.....	38
Figura	4.1	Modelo teórico de Burgess.....	63
Figura	4.2	Modelo teórico Hoyt.....	63
Figura	4.3	Esquema de abstração do real crescimento da cidade.....	65
Figura	4.4	Regras de transição em modelos celulares.....	66
Figura	4.5	Vizinhanças em Modelos do tipo Autônomos Celulares.....	67
Figura	4.6	Esquema Modelo Allen.....	68
Figura	4.7	Crescimento da geometria fractal.....	70
Figura	4.8	Auto-organização dos Padrões Morfológicos.....	70
Figura	4.9	Esquema Modelo Alberti e Waddell.....	74
Figura	5.1	Esquema do Modelo Conceitual.....	82
Figura	5.2	Esquema relacional do Meio Interior e Exterior.....	82
Figura	5.3	Adaptação do esquema de Haykin.....	83
Figura	5.4	Fluxograma geral do modelo exploratório.....	85
Figura	5.5	Esquema gráfico da construção das adjacências.....	89
Figura	5.6	Esquema gráfico da construção da vizinhança local.....	89

Figura 5.7	Esquema gráfico da construção das coletividades tipológicas...	90
Figura 5.8	Esquema das coletividades do sistema e dos vizinhos relacionais.....	90
Figura 5.9	Esquema das ações sobre os objetos de uma mesma coletividade....	92
Figura 5.10	Fluxograma da Operacionalização do Modelo Exploratório.....	102
Figura 6.1	Foto Aérea da área de estudo.....	105
Figura 6.2	Diferentes Níveis de Vizinhaça.....	108
Figura 6.3	Grafo Geral do Bairro Santana.....	109
Figura 6.4	Exemplo da tipologia funcional 1.....	113
Figura 6.5	Exemplo da tipologia funcional 2.....	113
Figura 6.6	Exemplo da tipologia funcional 3.....	114
Figura 6.7	Exemplo da tipologia funcional 4.....	114
Figura 6.8	Exemplo da tipologia funcional 5.....	115
Figura 6.9	Exemplo da tipologia funcional 6.....	115
Figura 6.10	Exemplo da tipologia funcional 7.....	116
Figura 6.11	Exemplo da tipologia funcional 8.....	116
Figura 6.12	Exemplo da tipologia funcional 9.....	117
Figura 6.13	Exemplo da tipologia funcional 10.....	117
Figura 6.14	Exemplo da tipologia funcional 11.....	118
Figura 6.15	Gráfico de complexidade tipológica.....	123
Figura 6.16	Gráfico da Entropia dos pontos espaciais.....	127
Figura 6.17	Gráfico da Entropia dos pontos espaciais .....	127
Figura 6.18	Grafo dos estados tipológicos (20 à 40).....	128
Figura 6.19	Grafo dos estados tipológicos (40 à 70).....	129
Figura 6.20	Grafo dos estados tipológicos (70 à 2000).....	130
Figura 6.21	Gráfico da extrapolação de estados (meio interior 10 a 40).....	131
Figura 6.22	Gráfico da extrapolação de estados (meio interior 40 a 70).....	132
Figura 6.23	Gráfico de extrapolação de estados (meio interior 70 a 2000)....	132
Figura 6.24	Gráfico da simulação da evolução do sistema.....	133
Figura 6.25	Gráfico de extrapolação dos estados até o ano 2120.....	134
Figura 6.26	Gráfico da Freqüência da vizinhança tipológica coletividade 4...	138
Figura 6.27	Mapa das permanências e conversões da tipologia 4 .....	142

Figura 6.28	Mapa do potencial da vizinhança p/ permanência da tipologia 4(t) .....	144
Figura 6.29	Mapa do potencial da vizinhança p/ conversão da tipologia 4 para tipologia 5 (t).....	144
Figura 6.30	Mapa do potencial da vizinhança p/ conversão da tipologia 4 para tipologia 7(t).....	145
Figura 6.31	Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 8(t).....	146
Figura 6.32	Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 9(t).....	147
Figura 6.33	Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 10(t).....	147
Figura 6.34	Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 2(t).....	148
Figura 6.35	Mapa do potencial dos lotes para permanência ou conversão para a tipologia 1.....	151
Figura 6.36	Mapa do potencial dos lotes para permanência ou conversão para a tipologia 2.....	151
Figura 6.37	Mapa do potencial dos lotes para permanência ou conversão para a tipologia 3.....	152
Figura 6.38	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 4....	153
Figura 6.39	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 5....	154
Figura 6.40	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 6....	155
Figura 6.41	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 7....	155
Figura 6.42	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 8....	156
Figura 6.43	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 9....	156
Figura 6.44	Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 10..	157
Figura 6.45	Mapa do cenário do sistema na década de 2000.....	158
Figura 6.46	Mapa do cenário previsto para a década de 2000.....	158
Figura 6.47	Mapa comparativo entre as conversões previstas e as ocorridas na década de 2000.....	160
Figura 7.1	Gráfico das ações aplicadas sobre as tipologias funcionais no último estágio evolutivo do sistema espaço-temporal.....	166

## LISTA DE TABELAS

Tabela	5.1 Exemplo da formatação do banco de dados.....	93
Tabela	5.2 Tabela relacional de lotes e vizinhanças .....	93
Tabela	5.3 Exemplo da tabela de dados quantitativos .....	94
Tabela	5.4 Matriz quadrada - <i>MI</i> - <i>meio interior</i> .....	96
Tabela	5.5 Matriz quadrada - <i>ME</i> - <i>meio exterior</i> .....	97
Tabela	5.6 Matriz quadrada - <i>matriz condicional</i> .....	98
Tabela	5.7 Seleção da coletividade tipológica na matriz condicional.....	101
Tabela	5.8 Tabela dbase do ArcView 3.3.....	101
Tabela	6.1 Planilha relacional entre lotes e agregações espaciais.....	110
Tabela	6.2 Exemplo do cadastro imobiliário de 1989.....	112
Tabela	6.3 Tabela de estado dos lotes e vizinhos em corte temporal.....	119
Tabela	6.4 Tabela com o estado dos lotes e ações sofridas.....	119
Tabela	6.5 Tabela de transformação de estados relacionada ao corte temporal.....	120
Tabela	6.6 Tabela de estado da adjacência entre vizinhos.....	121
Tabela	6.7 Matriz meio interior década 10 à 40.....	122
Tabela	6.8 Matriz meio interior década 40 à 70.....	122
Tabela	6.9 Matriz meio interior década 70 à 2000.....	122
Tabela	6.10 Matriz meio exterior da coletividade 1 da década 70 à 2000.....	135
Tabela	6.11 Matriz meio exterior da coletividade 2 da década 70 à 2000.....	135
Tabela	6.12 Matriz meio exterior da coletividade 3 da década 70 à 2000.....	135
Tabela	6.13 Matriz meio exterior da coletividade 4 da década 70 à 2000.....	136
Tabela	6.14 Matriz meio exterior da coletividade 5 da década 70 à 2000.....	136

Tabela	6.15	Matriz meio exterior da coletividade 6 da década 70 à 2000.....	136
Tabela	6.16	Matriz meio exterior da coletividade 7 da década 70 à 2000.....	136
Tabela	6.17	Matriz meio exterior da coletividade 8 da década 70 à 2000.....	137
Tabela	6.18	Matriz meio exterior da coletividade 9 da década 70 à 2000.....	137
Tabela	6.19	Matriz meio exterior da coletividade 10 da década 70 à 2000...	137
Tabela	6.20	Matriz meio exterior da coletividade 11 da década 70 à 2000...	137
Tabela	6.21	Seleção de informações da coletividade (4) da matriz condicional total.....	140
Tabela	6.22	Espacialização das probabilidades de transição da matriz condicional.....	149

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Tema da pesquisa

Até os anos 90 a discussão da constituição da ordem espacial urbana estava pautada na literatura sobre duas perspectivas extremistas, de um lado a “modernidade racionalista” representada pelos planos diretores urbanísticos, e do outro a “mão invisível urbana”, representada pelo mecanismo da livre escolha dos indivíduos, quando então as teorias de auto-organização põem em cheque à dupla “*perversidade urbana intrínseca*” e “*ordem contra o caos*”, apresentando um novo universo de definição conceitual de cidade, de processo urbano e de planejamento urbano. (Krafta,1998, p01)

A cidade, dentro desta nova visão, aparece como um complexo sistema adaptativo capaz de produzir uma ordem emergente. O complexo aponta para as características de um sistema que surgem e são decorrentes das inter-relações entre as partes que o compõem, produzindo uma organização comprometida com a globalidade (Batty,1994 ,2005). O adaptativo está relacionado à capacidade do sistema em aprender com o tempo, e reagir às necessidades específicas e mutantes do ambiente.

Ao investigarmos a organização de um sistema centramos a atenção no comportamento dos entes dentro do sistema, ou seja, na autonomia dos entes em relação ao sistema que se encontram inseridos. A autonomia apresenta-se como um dos temas centrais da sistêmica, e sem dúvida uma das suas questões fundamentais para entendermos a auto-organização; uma vez que, o interstício entre o livre-arbítrio e o controle total apresenta-se como fértil na geração de padrões,

mantendo o sistema, ao mesmo tempo em que possibilita o aparecimento de adaptações e de novos padrões (H.von Foerster,1959); (H. Atlan,1972, 1979); (Lorigny, 1992). Ao explorarmos o conceito da autonomia estamos investigando o grau de previsibilidade do comportamento de cada ente sistêmico em relação ao sistema, assim como também o ganho de informação destes entes ao longo do tempo e a geração de padrões.

Krafta (1994) define o processo de construção da cidade como turbulento e contraditório no presente, e aparentemente linear na perspectiva histórica, apontando para uma nova formulação de descrições abstratas complexas, delimitada através de uma dinâmica espacial e temporal heterogênea. *“A história urbana, assim vista como que através de uma lente teleobjetiva, é achatada, destituída e profundidade, trazida ao presente e traduzida em coeficiente de resistência a ser vencido”* (Krafta, 1994, p17).

Sobre esta nova visão de sistema urbano realiza-se o recorte desta pesquisa inserindo o tema e a proposição metodológica sobre as bases da Teoria da Complexidade e Auto Organização apresentadas nas definições de Prigogine (1977), Batty (1994, 2000), Krafta (1994, 1998) e Portugali (1996). O tema centra-se na investigação da dinâmica intra-urbana, inferindo a respeito do tipo de processo (regular, caótico ou estocástico) envolvido na transformação das unidades de forma construída e nas atividades urbanas, e na exploração dos padrões sócio-espaciais e temporais resultantes do comportamento complexo emergente desse processo. A proposição metodológica parte do conceito da autonomia das variáveis dentro da interdependência espaço temporal sistêmica, utilizando a abordagem da modelagem dinâmica espaço-temporal.

As variáveis envolvidas nesta pesquisa são os diferentes tipos de unidades de forma construída e atividades (*tipologias funcionais*), que passam por um processo crescente de especialização da forma e da função, devido a constante busca dos empreendedores imobiliários em produzir um aparente atendimento das necessidades e vontades de uma sociedade na busca de ascensão sócio-econômica. O movimento das ações humanas sobre as unidades de forma construída configura um novo arranjo entre os estoques construídos e atividades, gerando externalidades, que criam novos movimentos, em uma constante interação.

Assim as ações da sociedade sobre os as tipologias funcionais, refletem nas relações de cooperação, competição e assimilação entre os diferentes tipos de unidades de forma construída e as atividades nelas contidas.

Desta forma a exploração do comportamento das alocações dos estoques e atividades urbanas, e a emergência de padrões espaciais parte do conceito da autonomia dentro da interdependência espaço temporal sistêmica. A autonomia de cada variável (tipo de estoque construído e atividade) aparece diretamente relacionada às alternativas socioeconômicas que os indivíduos têm sobre o imóvel, e é definida a partir das limitações de transformação e/ou alocação daquela tipologia funcional. A limitação no processo de alocação pode ser definida através de duas etapas, a primeira se refere às *possibilidades* de conversão de cada estoque construído em outros, e a segunda etapa esta relacionada ao *momento* da conversão, ou seja, dado o estado da vizinhança no momento da conversão para que estado o estoque construído converteu-se.

O grau de autonomia de cada componente é responsável pela determinação de padrões comportamentais de alocação espacial, quanto menor a autonomia mais possível será determinar a alocação espacial, e mais estável o comportamento do sistema como um todo. Por outro lado quanto mais autônomo um comportamento, mais imprevisível é o conjunto de possibilidade de alocações, tornando o sistema mais propício a transformações. O comportamento estável dos entes de um sistema, aquele previsível, é o responsável pela manutenção da configuração atual, enquanto que as situações de imprevisibilidade, ou seja, de aleatoriedade locacional, são no nosso entendimento as impulsionadoras da mudança e conseqüentemente aquelas que possuem uma maior autonomia em relação ao sistema.

Parte-se da premissa de que o fenômeno da transformação das unidades de forma construída e das atividades é um processo que possui uma dinâmica temporal mais rápida que o da estrutura viária, se auto-organizando sobre essa estrutura fixa dentro de um determinado intervalo de tempo. Como o fenômeno de alocação de estoques urbanos caracteriza-se como um processo de dinâmica temporal rápida conjectura-se que a alocação dos diferentes tipos de estoques urbanos baseia-se no cenário presente estabelecendo uma relação temporal direta entre o estado presente e o futuro, ou seja, o comportamento de alocação espacial



futuro espelha-se no comportamento locacional presente. Desta forma tem-se como hipótese central a de que a materialidade da cidade reflete a aprendizagem espacial de uma dinâmica social interna configurando padrões sócio-espaciais entre estados temporais subseqüentes.

A pesquisa procura inovar na investigação da dinâmica sócio-espacial temporal das transformações intra-urbanas, mais precisamente na exploração do tipo de processo e dos padrões envolvidos na dinâmica da transformação das unidades de forma construída e atividades, através da proposição de um método com bases na Teoria da Auto-Organização aplicado a um sistema real. A inovação está centrada na possibilidade de carregar o modelo exploratório com uma base espacial e propriedades espaço temporais de um sistema real, utilizando uma rede celular heterogênea acoplada a um banco de dados em ambiente GIS, que permite a inserção de regras de transição endógenas e particularizadas ao sistema de estudo. Estas características promovem estudos futuros e sofisticações no modelo que poderão permitir aplicações na área do planejamento urbano, mais especificamente no gerenciamento do uso do solo e na qualidade ambiental urbana, através da possibilidade de explorar diferenciados padrões micro-espaciais na geração de macro cenários.

## **1.2 Objetivos da Pesquisa**

Centra-se na construção de um método exploratório baseado na Teoria da Auto-Organização, compondo o conceito da autonomia na esfera física (material) e informacional (imaterial), articulando: forma (estado espacial=rede espacial carregada com as tipologias funcionais) e conteúdo (comportamento social = ações sobre o estado espacial ao longo do tempo). O objetivo central está em investigar a evolução da organização sistêmica e explorar a interação entre os componentes do sistema e a emergência de padrões, diminuindo as incertezas a respeito dos locais onde ocorreram as transformações urbanas. O modelo exploratório deverá ser capaz de:

- ✓ descrever a dinâmica sistêmica (processo regular, estocástico ou caótico) do fenômeno de alocação urbana ao longo do tempo;
- ✓ identificar padrões sócio-espaço temporais na evolução sistêmica;
- ✓ explorar o processo de conversões tipológicas e a regulação do sistema ao longo do tempo;
- ✓ gerar regras de transição probabilísticas internas ao sistema e relacionadas a cada tipologia funcional em diferentes condições de vizinhança;
- ✓ descrever os tipos de comportamento (competitivo, assimilativo e cooperativo) entre as tipologias funcionais, e as suas relações com a regulação do sistema;
- ✓ extrapolar estados futuros do sistema a partir das regras de transição na rede espacial;
- ✓ espacializar as regras de transição na rede espacial possibilitando a visualização de padrões espaciais;
- ✓ demonstrar os locais de maior potencial para mudança/ permanência identificando as respectivas tipologias funcionais.

### **1.3 Estrutura da Tese**

A estrutura da tese foi composta de tal forma que a revisão bibliográfica encaminhasse claramente a proposição metodológica e a sua aplicação, no intuito de testar as hipóteses e cumprir os objetivos propostos. Parte-se do conceito de espaço definido como um sistema híbrido, composto por “*um sistema de objetos e um sistema de ações*” (Santos, 1996), de onde se constrói a estrutura da base teórica, através da caracterização dos elementos de composição do espaço (os objetos) aos condicionantes de modificação (as ações humanas e dos processos físicos ao longo

do tempo), para então posteriormente apresentarmos o modelo de exploração da dinâmica de transformação intra-urbana.

A revisão bibliográfica esta subdivida em três capítulos: o capítulo 2 denominado de “Relações Estruturais”, o capítulo 3 definido como “Relações Comportamentais” e o capítulo 4 nomeado de “Relações Aleatórias”. O capítulo 2, “Relações Estruturais”, fundamenta a construção e abstração do “sistema de objetos” da pesquisa, através da apresentação de modelos e aplicações que exploram as relações estruturais do sistema espacial urbano.

O capítulo 3, “Relações Comportamentais”, fornece as bases para a delimitação e elaboração do “sistema de ações” do fenômeno de estudo, através da definição de conceitos básicos de modelos comportamentais assim como suas aplicações em modelos baseados em agentes, como as simulações de sociedades artificiais.

O capítulo 4, “Relações Aleatórias”, procurar realizar a articulação entre os dois primeiros capítulos, através da interface entre modelos espaciais apresentados no capítulo 2 e modelos de agentes abordados no capítulo 3. Este capítulo aborda conceitos de aleatoriedade e complexidade e sua aplicabilidade em modelos urbanos baseados na Teoria da auto-organização.

O capítulo 5, “O Modelo Exploratório”, esta fundamentado nos capítulos anteriores e apresenta a proposição metodológica para a exploração do fenômeno de transformação das unidades de forma construída e atividades.

O capítulo 6, “O Bairro Santana”, apresenta a aplicação do modelo exploratório no bairro Santana da cidade de Porto Alegre. No capítulo 7, “Considerações finais da Pesquisa”, estão às discussões, contribuições e recomendações para estudos futuros. Finalmente são apresentados a Bibliografia e os Anexos.

# CAPÍTULO 2

## RELAÇÕES ESTRUTURAIS

### 2.1 Introdução

Quando nos referimos à cidade como sistema urbano, estamos abordando uma complexa rede de relações entre componentes, onde partes estão articuladas de maneira a exercer funções de inter-relações umas com as outras, estabelecendo uma dinâmica urbana regida pela lógica estrutural das partes com o todo. Desta forma qualquer mudança discreta nos componentes da estrutura ou nas suas inter-relações, gera uma nova rede de relações voltadas à realização das funções do conjunto. Uma abordagem sistêmica do urbano requer inicialmente o entendimento de sistema.

O conceito de *sistema* não deve ser confundido com o de *estrutura*. A estrutura é uma representação da articulação dos componentes em um determinado momento no sistema, e o sistema é o “todo”. O “todo” deve ser entendido como “mais do que a soma das partes”, pois a “soma das partes” num sistema refere-se, não a uma adição numérica das partes, e sim a uma agregação não organizada. (Buckey, 1971:69:70). As estruturas de um sistema podem ser:

*“ ....relativamente simples e estáveis, ou complexas e mutáveis; podem variar em apenas uma ou duas propriedades ou assumir muitos estados diferentes. As inter-relações entre eles podem ser mútuas ou unidirecionais, lineares ou intermitentes, e variar em graus de eficácia ou prioridade causal. As espécies particulares de inter-relações mais ou menos estáveis de componente, que se estabelece em qualquer tempo, constituem a estrutura particular do sistema nesse tempo, atingindo assim uma espécie de ‘todo’ com algum grau de continuidade e limites” (Buckey, 1971:68).*

Este capítulo fundamenta a construção e abstração da estrutura espacial do sistema de estudo e suas propriedades, definida como o “sistema de objetos”, através da Teoria dos Grafos e dos conceitos de adjacência aplicados nos Modelos de Redes e Modelos Configuracionais Urbanos. A representação da estrutura física do sistema de objetos segue uma rede de conexão única ao longo do tempo, uma vez que os lotes guardam uma posição estática na estrutura espacial, já as propriedades espaciais, representadas pelas unidades de formas construídas que ocupam os lotes, podem sofrer alterações através do “sistema de ações”, definindo diferentes estados sistêmicos.

Apresenta-se um breve histórico dos estudos tipológicos e morfológicos enfatizando a transformação destes conceitos com o avanço da ciência. Primeiramente a visão do objeto centra-se em estudos tipológicos e taxonômicos, que se restringiam às propriedades formais da arquitetura e do urbano, fixando-se em uma visão mecanicista na qual o sistema é explorado independentemente do seu entorno. Com o desenvolvimento computacional começam as investigações estruturais da forma arquitetônica e urbana, através da utilização da Teoria dos Grafos e de algoritmos, realizando os primeiros estudos exploratórios das relações estruturais. Seqüencialmente é incorporada a análise estrutural à formal envolvendo a exploração, análise e predição de processos urbanos partindo de medidas macro-espaciais da estrutura urbana como aquelas apresentadas nos Modelos de Redes e nos Modelos Configuracionais Urbanos.

## **2.2 Sistema de Objetos e Morfologia Urbana**

A morfologia urbana é definida por Kruger (1996) como uma disciplina que estuda e descreve a forma urbana nas suas características exteriores e físicas na sua evolução no tempo. Esta não se preocupa em explicar os fenômenos sociais, econômicos ou políticos envolvidos no processo de urbanização, pois estes elementos aparecem como explicação da forma urbana, mas não como objeto de estudo. Este autor esclarece que a ordem da organização espacial depende, essencialmente, do grau de semelhança das partes, ou relações que sejam capazes de fornecer uma “*gestalt*” imediata de uma determinada situação. Enquanto que a estrutura é o padrão subjacente, obtido pelo registro em movimento das sensações,

imagens e configurações que dependem, essencialmente, do arranjo das suas diferenças. Assim, define uma união do que seria o tipo (ordem) e a forma urbana (estrutura).

A morfologia urbana segundo Gebauer e Samuels (1981:1) define a cidade a partir de uma análise objetiva, considerando a cidade como um fato concreto, um organismo em evolução, e a interação entre as forças sociais e o espaço construído. Estas análises podem ser realizadas a partir dos elementos urbanos, suas relações e estrutura e/ou a partir das propriedades que contém, considerando-as como uma expressão dos valores sociais da cidade. Assim a linha morfológica de análise entende a reação espacial como produto da ação interdependente entre agentes sociais, centrando-se no espaço. Os estudos de morfologia urbana podem ser identificados duas correntes: a abordagem tipológica e a abordagem configuracional. A abordagem tipológica fornece uma análise figurativa da forma através de uma representação explícita e descritiva da forma construída, enquanto que a abordagem configuracional busca representar processos espaciais envolvidos na dinâmica social urbana.

A visão clássica de tipo e tipologia, dentro da abordagem tipológica, teve a sua gênese durante o Renascimento. Esta visão durante o Renascimento foi definida por Argan como um *“modo de organização do espaço e de pré-configuração da forma... referido a um conceito histórico do espaço e da forma”* (Argan,1961). Neste período, o tipo constituía-se não apenas uma dedução formal, mas um controle de projeção, de acordo com as exigências ideológicas da igreja e da prática, adotando o tipo como imagem. O estudo da tipologia até então baseado na catalogação dos tipos arquitetônicos de acordo com seus caracteres, dos particulares aos gerais, sofre uma ruptura durante a Revolução Industrial.

Com a industrialização e a construção em série e padrão, a habitação se converte em produto industrial como qualquer outro. O movimento moderno traz consigo uma abstração e uma redução da tipologia a tipos, como a *“célula tipo”* e a *“máquina de viver”*. O tipo arquitetônico não é definido mais em uma localização concreta, como no período pré-industrial, não representa mais uma relação com a cidade. Desta forma, ainda neste período, a noção de tipo continua confusa e vaga, designando objetos sujeitos a norma e escalas diferentes. Na Carta de Atenas, por

exemplo, a produção da cidade pós-guerra é referida a partir de objetos isolados, classificando a habitação em tipos, como “*tipo em y*” e “*tipo frontal*” dentre muitos outros. O conceito de tipo, neste período é convertido em modelo.

Com a crítica ao Movimento Moderno surgem novos estudos que procuram definir relações entre a arquitetura e a cidade. Estes estudos nos demonstram que a definição do tipo nunca pode ser a “*priori*”, como o modelo, mas sempre deduzida de vários exemplos, baseando-se mais no conjunto do que no prédio isolado. Surge então, com grande impulso, na década de sessenta os estudos sobre a temática da tipologia edilícia e a morfologia urbana, citando as contribuições de Muratori (1959), Cannigia (1979); Aymonino, (1975); Panerai (1983) dentre outros.

Muratori (1959) insere-se nos estudos tipos-morfológicos, desenvolvendo conceitos básicos como: o tipo arquitetônico não pode ser definido sem a sua concretização prévia no tecido urbano; o tecido urbano somente pode ser definido atendendo à sua inserção na estrutura urbana; a estrutura urbana somente pode ser pensada na sua dimensão histórica na medida em que depende do seu estado antecedente. Este autor caracteriza a forma urbana como estrutura global, e como um conjunto de disposições precisas locais, superando a noção utilizada até então de edifício isolado, realizado a partir do reconhecimento dos arquétipos. No seu estudo sobre Veneza demonstra a utilização de vários níveis de leitura do espaço urbano: o edifício como uma parcela construída e integrada ao solo e aos espaços abertos; e o agrupamento das parcelas revelando a organização elementar do tecido.

Argan (1961) define o tipo como uma abstração de um conjunto de edificações, onde se eliminam características específicas e mantêm-se os elementos comuns a todos os prédios da análise. Desta forma configura-se um esquema, o mais abstrato possível, que concentre o maior número de características comuns dos prédios que o geraram. As tipologias seriam então, os prédios que fazem referencia a um tipo, desta forma cada tipo está vinculado a um conjunto de tipologias.

Aymonino (1975) fundamenta a análise urbana moderna como “*a relação (dialética e não causal) entre a tipologia dos edifícios e a forma urbana*” Para

Aymonino, a morfologia urbana é o estudo que descreve e classifica as causas que contribuem para formação e modificação da estrutura física da cidade. Castex fundamenta a análise urbana a partir de uma retomada *“as bases de uma análise estrutural, de interpretar a cidade como uma organização, de demonstrar sua lógica, de descrever sua estrutura formal”* (Castex, 1980:16) Para este autor, estudar a forma urbana, é considerar a cidade na sua totalidade.

Caniggia (1979) procura identificar em seus estudos a existência de técnicas de organização do espaço humano. Ele preocupou-se com a manutenção da continuidade entre cada parte da cidade e a forma destas primeiras construções estendendo a forma do *“tipo básico”* ao *“tecido urbano”*. Define a agregação do tipo de construção, espaço adjacente e caminhos de acesso. O tipo básico é modificado de acordo com a variável social e as condições econômicas. Conclui que em tempos em que há crescimento econômico as construções tornam-se mais complexas com maior especialização das atividades, quando a economia decresce a recíproca é verdadeira. Nesta mesma linha, Waisman (1972) define o propósito da análise tipológica como o de:

*“...criar métodos que permitam estudar a totalidade das construções que constituem o entorno, de onde vem a necessidade de estabelecer relações estruturais, então o critério tipológico aparece definitivamente como o mais apropriado para organizar a vasta e variável série de fenômenos a considerar”*(Waisman, 1972:67).

Para Panerai a tipologia é o estudo dos tipos (por vezes pode ser entendida como o conjunto dos tipos estudados), *“um instrumento e não uma categoria,... é um dos instrumentos que permitem dirigir o estudo dos fenômenos urbanos”* (Panerai, 1983: 132). Enquanto que a tipologia edilícia é entendida como o marco construído, o conjunto construído de tipos, de uma cidade ou bairro permite caracterizar o tecido construído.

Panerai propõe um método para análise tipológica definindo alguns critérios para desenvolver uma análise tipológica, que variam segundo a natureza dos objetos estudados, constituindo a eleição destes de acordo com aqueles mais relevantes para a descrição do fenômeno estudado. O método didático apresenta indicações gerais para serem aplicadas em diferentes níveis, mas suficientemente



precisas para permitir uma prática real de análise. Distinguem-se quatro etapas no método de abstração.

A primeira se refere à definição do corpo, nesta etapa são definidos os níveis de análise de estudo, ou seja, a escala de desagregação; lote, prédio, quadra ou os próprios elementos do prédio, como as janelas, portas, tipos de telhados etc. Nesta etapa, também, escolhe-se a área de estudo e a amostragem. A segunda etapa é chamada de classificação prévia. Nesta realiza-se a observação minuciosa dos objetos, de onde se tenta descrever a manifestação das propriedades que os distinguem. A partir das respostas obtidas dos diferentes critérios mantidos, pode-se proceder a primeira classificação e re-agrupar os objetos por famílias que oferecem a mesma resposta para uma série de critérios. A terceira etapa encarrega-se da elaboração dos tipos, é obtida a partir da abstração racional reunindo as propriedades comuns dos objetos de uma família para definir o tipo. E o conjunto das propriedades não comuns marca as diferentes variações sobre o tipo. A quarta e última etapa é determinada através do conjunto de tipos e suas relações uns com os outros definindo a tipologia.

Em 1963, em Cambridge já se desenvolviam estudos preliminares sobre a forma construída, através de estudos a respeito das potencialidades das formas geométricas, explorando algumas tipologias arquitetônicas, como o bloco e a torre e identificando padrões formais. (Martin & March, 1964). Este período marcou o início das operações matemáticas mais complexas, e já se podiam encontrar indicações de relevância em estudos referentes à Teoria dos Grafos, Teoria dos Conjuntos, Teoria de Grupo e das Geometrias de Transformação. (March & Stedman, 1974).

Apesar da importância dos estudos do Tipo-Morfológicos, em termos classificatórios e taxonômicos, a limitação operacional dos métodos torna as análises bastante restritivas, dificultando a análise conjunta entre os dois conceitos colocados por Kruger (1996), ordem e estrutura. Desta forma verifica-se que os estudos tipológicos realizados até o final da década de sessenta limitam-se a conceitos de ordem, apesar de construir um quadro teórico para uma definição estrutural, não desenvolve um método operacional para realizá-las.

Somente a partir da década de 70, com o desenvolvimento da linguagem computacional, começam surgir as primeiras publicações referenciando a questão estrutural no estudo da forma, através da aplicação da Teoria dos Grafos. Alguns dos estudos realizados com o tema da forma urbana, no campo da estatística matemática, que contribuíram sensivelmente para o desenvolvimento do instrumental das relações estruturais do objeto arquitetônico e do seu sistema para esta pesquisa surgiram a partir do final da década de sessenta, com a representação de edifícios em diferentes graus de complexidade utilizando modelos matemáticos, ou quase matemáticos (March e Trace, 1968A).

## 2.3 Teoria dos Grafos e Representação Estrutural

Em pleno século XVIII, Euler formulou e resolveu o primeiro problema em topologia das redes, com a utilização do que hoje chamamos de Teoria dos Grafos. Estes estudos ficaram esquecidos por mais de um século, em meio a uma enorme produção científica de Euler, e só foram retomados no século XIX, quando surge o primeiro tratado de topologia matemática. Este tratado apresenta as propriedades e as posições relativas dos pontos, linhas e figuras, independentes da sua forma e grandeza, marcando o início do desenvolvimento da geometria não euclidiana.

A topologia também chamada como a “*geometria de posição*” rompe com todos os conceitos da geometria clássica, uma vez que todas as formas fundamentadas na geometria plana, do espaço euclidiano, são possíveis de ser representadas em uma só. Nesta geometria os comprimentos, ângulos e formas são infinitamente mutáveis, um quadrado pode ser deformado continuamente, até converter-se em um círculo, um círculo em um triângulo, um triângulo num paralelogramo. A Teoria dos Grafos pode ser definida como um ramo da matemática que estuda a posição e as relações entre pontos, linhas e superfícies, sem levar em conta a forma e o tamanho.

D’Arcy Wentworth Thompson (1961) desenvolveu o capítulo “*On the Theory of Transformations, or the comparison of related forms*”, em seu livro *On Growth and Form*, sobre morfologia biológica, onde demonstra vários tipos de deformações sobre a grelha de um sistema retangular de coordenadas. Baseando-se neste

estudo March e Steadman (1974) aplicaram a análise combinatória a plantas arquitetônicas organizadas em formas retangulares, chegando a resultados de generalização e limitação de arranjos retangulares. Estes estudos baseavam-se no cálculo combinatório, matéria que faz parte da Teoria dos Conjuntos, as quais apresentam dois tipos de formas de comportamento: os arranjos e as combinações. Outros pesquisadores acrescentaram estudos aos de Steadman e March, como: Mitchell (1988), Martin (1982), dentre outros, utilizando possibilidades de diferentes classes de desenhos retangulares para serem representadas em plantas de arquitetura e aplicações computacionais, como representações tridimensionais em diferentes níveis de detalhamento.

A utilização da Teoria dos Grafos na representação e manipulação de arranjos planos aplicados à arquitetura é encontrada na literatura da área podendo-se citar especialmente March e Steadman (1974), Steadman (1979, 1979), Mitchell (1988). Nestes estudos os grafos foram utilizados para representar uma variedade de estruturas espaciais, especulando os diferentes arranjos e combinações das estruturas representadas por um único grafo, chamados de grafos isomorfos. Também foram realizados estudos quanto à construção de grafos a partir de subgrafos de um mesmo sistema, isto é, uma descrição espacial de uma determinada forma sobreposta a outras descrições diferentes desta mesma forma.

Kruger (1979) desenvolveu um estudo utilizando uma descrição matemática da forma construída com ênfase na morfologia urbana, onde realizou abstrações da edificação dentro do terreno e as relações destes edifícios entre si reunidos em uma única base espacial. Neste estudo o autor obteve o desempenho das distâncias em diferentes variações de escala de análise, através de grafos matemáticos. As medidas são representadas através de mapas em rede, comparando as redes tradicionais a representações em grafos. As formas construídas são definidas como grafos matemáticos, representando como os prédios são conectados, como eles são relacionados com o entorno e como são conectados com a malha viária. As relações de adjacências entre os edifícios podem ser representadas pelas relações de conectividade entre formas construídas.

Desta forma o autor demonstra que qualquer Grafo "G" pode ser definido como um conjunto de elementos gráficos, uma coleção de pontos, linhas e

componentes estruturados de uma forma particular, e é neste sentido que este estudo torna-se de grande importância para o desenvolvimento da pesquisa aqui proposta. A desagregação realizada por Kruger demonstra grafos em escalas diferentes, porém estes grafos não estão conectados entre si, desta forma são obtidas medidas diferentes em cada escala, não havendo operações entre grafos. A desagregação desenvolvida por Kruger apresenta-se como:

Grafo "Gn"	Ponto ( Vn )
	Linha ( En )
	Componentes (Cn)

Kruger define o sistema urbano em cinco tipos de grafo, P1, P2, P3, P4 E P5.

Universo "Un"	P1 = edifícios soltos
	P2 = arcos (sem ciclo)
	P3 = tipo 1 só que conectado com a rua
	P4 = estrutura de quadras
	P5 = relações entre quadras de uma mesma cidade

Utilizando-se da Teoria dos Grafos para obter as medidas de conectividade e adjacências, Kruger (1979) realizou uma série de especulações para estabelecer padrões formais, utilizando a combinação entre diferentes tipos de grafos. A medida de distributividade é obtida através da seguinte equação:

$$(\mu = E - V + C) \quad (2.1)$$

*V = pontos*

*E = linhas*

*C = número de componentes*

A partir desta equação básica aplicam-se os axiomas definidos na teoria dos grafos, obtendo nove medidas de conectividade e três de adjacências, todas relacionadas aos universos delimitados para estudo, referenciando sempre a interpretação da medida utilizada à fórmula e a sua aplicação nos experimentos. Este estudo permitiu, pela primeira vez, a estimativa da localização dos edifícios da cidade, por tipologias de agregação, para a qual não havia explicação teórica baseada em evidência empírica. Essa abordagem, quando comparada com as maneiras mais tradicionais de analisar os problemas de agregação das formas construídas, não se baseia em analogias substantivas, mas sim formais de tipo

probabilístico, apresentando a vantagem de se fazerem previsões sob condições de incerteza.

A partir da Teoria dos grafos torna-se possível descrever a estrutura espacial urbana através de categorias predominantemente espaciais, e então avaliar o estado da forma urbana em um dado estado temporal. A Teoria dos Grafos está presente em modelos urbanos que medem a estruturação do sistema através de medidas de acessibilidade, sejam medidas de distância, topológicas, gravitacionais ou de oportunidade acumulada. Dentre os modelos urbanos que possuem a Teoria dos grafos como base salienta-se os modelos em rede da geografia e os modelos configuracionais urbanos. Essa metodologia representa a cidade através de um modelo configuracional urbano que considera o envolvimento entre *“a organização espacial do uso do solo e atividades sociais correspondentes e o comportamento econômico dos diferentes agentes”* (Krafta, 1993, p181).

## **2.4 Relações Estruturais E Os Modelos Urbanos**

O conceito de estrutura urbana desenvolvido é definido sob diferentes ângulos, dependendo do enfoque teórico que a define, porém observamos que nos modelos mesmo em abordagens disciplinares diferenciadas, a acessibilidade é um componente comum na definição deste conceito. O termo acessibilidade é amplamente discutido em todos os enfoques teóricos que tem como objeto de estudo a cidade, estabelecendo o uso de vários conceitos que se interligam intimamente às questões teóricas e práticas. Essas questões se referem à relevância dos conceitos em uma dada situação, e a interpretação da realidade é vista pelas variáveis de acessibilidade resultantes.

Desta forma a medição da acessibilidade está diretamente relacionada à definição deste conceito, pois existem inúmeras variáveis de acessibilidades definidas na literatura representando uma visão particular da realidade, com um objetivo também particularizado do estudo urbano. Pirie (1979) agrupa as medidas de acessibilidade urbana em quatro grupos: as medidas de distância, as medidas topológicas, medidas gravitacionais e medidas de oportunidade acumulada. Estas

medidas são quantitativas, encontradas nos modelos urbanos, que objetivam produzir subsídios para o planejamento e desenho urbano de nossas cidades.

a) as medidas de distancia são aquelas representadas por um mapa de acessibilidades onde podemos aferir cada ponto na malha, a partir de centróides em cada zona à distância, o tempo ou o custo de deslocamentos entre os pontos da malha. Assim, cada modo de transporte pode ser medido por um mapa de deslocamentos diferenciado a partir do custo, tempo ou das distancias de transporte utilizado e das vias onde é utilizado.

b) as medidas topológicas utilizam para a representação do mapa de acessibilidade as técnicas da Teoria dos Grafos. Desta forma, as medidas são obtidas a partir do número de ligações (links) a cada ponto (nó). O mapa de acessibilidades é representado pela quantidade de ligações associadas a cada nó ponderado pela média de ligações existentes em todos os nós da malha urbana.

c) as medidas gravitacionais também relacionam a distância, o tempo, ou o custo, porém o fazem através da intensidade de atividades na origem e no destino dos deslocamentos entre dois pontos. Neste caso, estas medidas utilizam como pressupostos, a frequência dos deslocamentos. Mais precisamente define-se que a acessibilidade de um ponto 1, para uma atividade 2, é diretamente proporcional ao tamanho da atividade 2 e inversamente proporcional a alguma função da distancia que separa 1 de 2.

d) as medidas de oportunidade acumulada definem a quantidade de oportunidades (serviços, empregos, equipamentos públicos, etc.) possíveis de serem acessadas segundo diversos tempos ou distancias de deslocamentos urbanos.

A teoria dos grafos está presente em modelos urbanos que medem a estruturação do sistema através de medidas de acessibilidade, sejam medidas de distância, topológicas, gravitacionais ou de oportunidade acumulada. Nestes modelos urbanos a abstração do sistema real é realizada através de desagregações espaciais em diferentes níveis, representadas por elementos - (pontos e linhas), (linhas e linhas) - de acordo com os objetivos e escalas de análise de cada modelo.

As diferentes medidas de conectividade e acessibilidade (centralidade, hierarquia, controle, assimetria) obtidas em cada modelo, são conseqüências dos procedimentos teóricos utilizados por cada um mantendo, porém, a adjacência como o princípio associativo comum na estruturação das medidas.

Centralizaremos a nossa revisão bibliográfica nos modelos que utilizam a Teoria dos Grafos como instrumento de análise das interações entre os componentes do sistema, por estes estarem particularmente relacionados ao tema desta pesquisa. Nestes modelos urbanos a abstração do sistema real é realizada através de desagregações espaciais em diferentes níveis, representadas por elementos - (Nós = vértices); (Conexão = linhas); (Regiões = polígonos) - relacionados com os objetivos e escalas de análise de cada modelo. As diferentes medidas de fluxo espaciais obtidas em cada modelo, são conseqüências dos procedimentos teóricos utilizados por cada um mantendo, porém, a adjacência como o princípio associativo comum na estruturação das medidas.

As revisões do tema da estrutura e de suas medidas quantitativas em modelos urbanos objetivam justamente, a exploração das desagregações espaciais possíveis e já utilizadas, buscando a construção do “sistema de objetos” e a análise das relações estruturais através de alguma medida e ou da conjunção de mais de uma, que possa vir a ser utilizada na proposição metodológica. Em suma é este capítulo que compõem a base teórica da construção do sistema de objetos e da abstração da estrutura espacial.

## **2.4.1 Modelos em Rede**

Os modelos em Rede da geografia foram os pioneiros na utilização da Teoria dos grafos nos estudos urbanos, e delinearam a extensão das relações de adjacência através das medidas topológicas, criando relações de conectividade, possibilitando grande avanço na abstração de sistemas urbanos, influenciando estudos de modelagem urbana da atualidade. Os modelos de análise de Redes em geografia com dimensão espacial e temporal tiveram início na década de 1960, através da medição de impactos econômicos e estimativos de efeitos multiplicadores de crescimento urbano provenientes de implantações industriais, como o crescimento

populacional e processos migratórios (Bermann, Chinitz and Hoover (1961); Tiebout (1962); Hirsch, 1964).

Donnelly, Chapin e Weiss (1968) realizam uma extensa investigação com fatores tradicionalmente utilizados como relacionados ao crescimento urbano. Os estudos investigam diferentes valores do solo e fatores de intervenção na tomada de decisão de uma família sobre a zona em que localizará a sua residência, são elas: o custo da mudança, a evolução das vantagens de acessibilidade, qualidades locacionais do ambiente. Os modelos utilizam um procedimento aleatório de simulação baseado no método de Monte Carlo para a localização de residências em zonas, e a probabilidade de conversão do uso do solo residencial proporcional ao valor de atratividade da zona. Os modelos têm característica de um modelo de consumo, e a principal aplicação é a de instrumentar estudos sobre os efeitos que as decisões políticas públicas podem ter sobre o desenvolvimento residencial.

Bartlett (1960A); Bailey (1964); Bharucha Reid (1960); Feller (1957); Dodd (1953) utilizam uma formulação estocástica aos modelos de crescimento da população através de cadeias de Markov. Estes processos apresentaram-se extremamente úteis na descrição e predição de fenômenos em que pressupõem a dependência entre um acontecimento e o imediatamente precedente. A técnica das cadeias de Markov apresenta um potencial considerável como auxílio na pesquisa de problemas de evolução na Geografia Humana, uma vez que permite tratar da dependência temporal dos acontecimentos dentro de um sistema espacial e social.

Clark (1965) examinou o movimento de unidades censitárias urbanas entre diferentes classes de alugueis, na exploração de um modelo de desenvolvimento regional, supondo as regiões como amostras entre diferentes sistemas de produção até chegar a um estado de produção absorvente (*é um estado terminal, ou seja, depois de penetrado, impossível deixa-lo*). Goodman (1961) desdobrou o modelo simples de Markov em um modelo “*migrante-residente*”, demonstrando possíveis desdobramentos de comportamento entre grupos (etários, e étnicos), entre regiões.

Taffe (1963) e Kansky (1967) desenvolveram modelos relacionados a evolução da rede de transporte e simulações da rede de comunicação respectivamente, utilizando as conexões dos grafos para determinar os números de



ligações e os fluxos ao longo dos percursos. Encontram-se, também, outros modelos relacionados a crescimento e evolução urbana como de localização industrial, como os de Muth (1961); Winsborough (1962); Fuchs (1962); Dodd (1953); e modelos de centralização e descentralização econômicos de Isard (1960).

Uma série de algoritmos foi desenvolvida para investigar árvores de caminho mínimo para centróides, porém o trabalho clássico sobre o menor caminho através da rede foi desenvolvido por Moore (1963). A rede de transporte urbano é codificada em termos de ligações, nós e centróides, onde todas as ligações são lidas no computador na forma de um único sentido. Shortreed e Wilson (1968) modificaram o algoritmo inicial de Moore e produziram um algoritmo de construção da árvore computacional mais eficiente, utilizando-se de três conceitos conhecidos como a tabela de árvore, a tabela de ligações e a listagem. (Moore apud Hutchinson, 1974).

Dentro dos modelos de uso do solo relacionados com planejamento de transportes, tem-se o Modelo de Metrôpoles de Lowry (1964) como referência composto basicamente por nove equações matemáticas, que se desenvolvem a partir de dados de entrada compostos pelo nível e localização da atividade industrial (medida como emprego básico); a partir destes dados o modelo deduz a população que depende deste emprego e distribui espacialmente sobre a área de estudo. A partir do valor e da localização dos empregos de comércio e serviço, o modelo deduz a população que depende destes novos postos de trabalho, e assim sucessivamente. O modelo se aplica de forma iterativa até alcançar uma solução estável para um *input* determinado de emprego do setor básico. Este modelo está baseado no conceito de que a acessibilidade entre atividades é determinante na distribuição do equilíbrio do uso do solo; utilizando-se como principais propriedades espaciais três setores globais de atividade: de um lado o emprego em indústrias básicas e atividades de comércio e serviços que atendem à população; e de outro lado o setor de domicílios ou de população.

Dentre algumas das alterações no modelo de Lowry podemos citar a de Batty (1970) que propôs um enfoque iterativo para a solução de equações que se referem às iterações internas do modelo que asseguram o atendimento às restrições zonais e as que se referem às interações externas que assegurar a estabilidade das

distribuições conjuntas entre população e emprego. Garin (1966) propôs uma formulação no modelo que evita a necessidade da solução iterativa para as equações reformuladas por Batty. As extensões propostas aperfeiçoaram as desvantagens existentes na re-locação das atividades, e ligações entre atividades.

Os modelos de análise de redes em sistemas urbanos crescem a partir das revolucionárias descobertas de Watts and Strogatz (1998) e Barabási and Albert (2002). Eles encontram muitas redes do mundo real como a internet, as redes sociais e as redes biológicas que exibem estruturas livres de escala caracterizadas por um alto coeficiente de agrupamento e um comprimento médio bastante pequeno entre os trajetos. Nestas redes os nós têm grau proporcional ao número total de nós, as distribuições de graus (números de conexões dos vértices) seguem leis de potência (leis de Pareto, em linguagem estatística), e por isto estas redes são denominadas livres de escala. Uma das questões de grande interesse sobre estas redes é sobre sua conectividade, que quando possuem uma pequena distancia entre dois nós quaisquer escolhidos arbitrariamente são definidas como do tipo "*Small World*"

A figura 2.1(a) demonstra como uma grande rede grelha que contém cem milhões de nós, tende a possuir um valor médio alto de extensão de um nó para outro nó qualquer da rede. Esta situação pode ser transformada, se adicionarmos novos arcos busca-se muitos nós distantes para perto (classificando atalhos) como ilustra a figura 2.1(b). A redução da média da extensão do percurso entre nós encolhe a "*Big World*", transformando-a em uma "*Small World*".( Jiang, 2005)

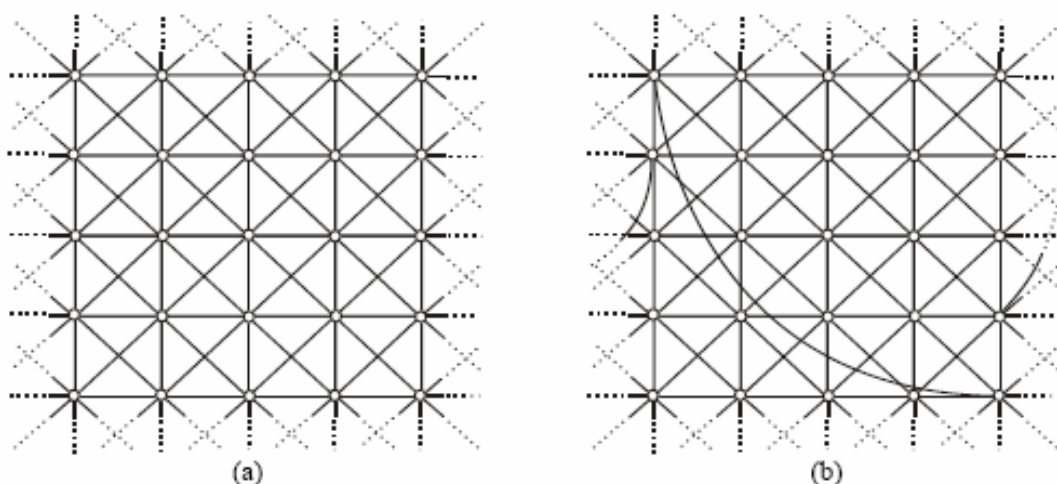


Figura 2.1(a) - "*Big World*"(fonte :Jiang, 2005) Figura 2.1(b) "*Small World*"(fonte :Jiang, 2005)

Distancia é um conceito básico da Teoria dos grafos e fundamental para redes *Small Worlds*. A distancia  $d(i,j)$  entre dois vértices  $i$  e  $j$  de um grafo é a mínima extensão do percurso conectado entre dois vértices. A distancia de um dado vértice  $v_1$  distante de todos os outros vértices é chamado extensão do percurso médio. E é definido por:

$$L(v_1) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq 1}^n d(1, j) \quad (2.2)$$

A soma média da extensão do percurso dos vértices individuais do grafo  $G$ ,

$$L(G) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(i, j), \quad (2.3)$$

Isto implica que a rede Small World possui uma estrutura muito eficiente para o fluxo de informação para o nível global. A eficiência do fluxo de informação ocorre também no nível local, no círculo da vizinhança imediata de nós. Os estudos de análise de redes em física aplicados ao urbano demonstraram que redes de sistema de vias urbanas correspondem a redes e *Livres de Escala* e do tipo *Small Worlds*.

Rosvall, Grönlund, Minnhagen, e Sneppen (2005) investigam a navegabilidade numa rede e a estrutura dessa rede. Avaliam como as diferentes tipologias de redes urbanas influenciam na média de informação necessária para realizar o deslocamento entre dois pontos sem perturbar o restante da rede. Utiliza uma representação dual da rede urbana com as ruas definidas como nós e as intersecções definidas como arcos. Assumem que o deslocamento pelo menor caminho garante o mínimo distúrbio possível no sistema e que a quantidade de informação mínima necessária para seguir o menor caminho é determinada pelo número e intensidade da ramificação dos nós ao longo do caminho.

Lammer, Gehlsen, and Helbing (2006) estudam as propriedades (comprimento, tempo médio de viagem, velocidade limite, direção do movimento) e implicações das características das redes das de vias urbanas de 20 grandes cidades alemãs verificando que a noção de distância está relacionada mais ao

tempo de viagem do motorista do que a extensão dos percursos. Isto implica que as rotas ao longo das vias mais rápidas parecem mais curtas do que as rotas ao longo das vias mais lentas em termos de tempo de viagem. Um destino distante, porém facilmente acessível, é virtualmente mais próximo do que um destino próximo com um tempo maior de acesso. Ocorre a virtual compressão das vias rápidas e dilatação das vias lentas resultando em uma deformação do espaço urbano.

Os estudos de rede urbanas desenvolvidos em modelos com base na física apresentam medidas de eficiência da rede quanto à transmissão de informação dentro da estrutura e categorização de padrões estruturais internos as redes. Estas análises são importantes na classificação das redes quanto à transmissão de informação dentro da rede permitindo a comparação entre diferentes sistemas urbanos, mas são deficientes quanto à exploração do processo de crescimento e transformação dessas redes uma vez que as análises não levam em consideração a escala temporal dentro dos sistemas estudados.

Os estudos de redes precedentes relacionados à geografia urbana investigam os temas de mudança de uso do solo, migração e transporte levando em consideração a escala temporal, através de análises através de cadeias de Markov e método de Monte Carlo, porém os sistemas são representados através de redes bastante simplificadas definidas basicamente por zonas, não explorando as particularidades da estrutura da rede na representação das medidas.

As relações estruturais apresentadas nos modelos de redes com ênfase no transporte associados ao uso do solo, por exemplo, são representadas através de medidas de acessibilidade obtidas a partir de pontos localizados de origens e destinos, nas quais são relacionadas às zonas de residência as zonas de emprego.

## **2.4.2 Modelos Configuracionais Urbanos**

Hillier e Hanson (1984) foram os pioneiros nos estudos morfológicos através da Sintaxe Espacial, seus experimentos verificam o convívio social dentro do espaço urbano, e comprovam que está intimamente ligado à configuração morfológica, isto é, que as relações e os processos sociais se apresentam através da configuração espacial, definindo uma lógica social a partir do espaço, o movimento natural, em

*“Natural Movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian moviment”*  
(Hillier et al, 1993:363).

Hillier define três condições básicas para caracterizar o objeto da morfologia urbana dentro da sintaxe espacial: 1) a forma física e espacial da cidade como objeto central de reflexão; 2) a fundamentação do estudo científico da forma urbana numa disciplina analítica; 3) a reunificação da arquitetura e do urbanismo numa disciplina única, onde a arquitetura reencontra a sua dimensão analítica e o urbanismo o interesse pela dimensão física e espacial.

A figura 2.2 demonstra a abstração do sistema real, realizada pelos estudos de Sintaxe Espacial: primeiramente em um mapa de figura-fundo, depois se representa o espaço convexo sobre os espaços públicos abertos demarcados no mapa de figura-fundo; e finalmente constrói-se o mapa axial através de segmentos de linha reta sobre o eixo dos espaços convexos.

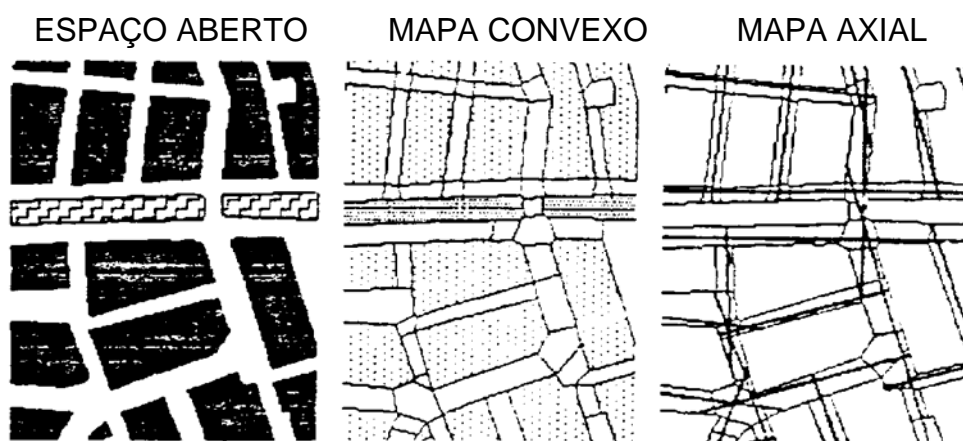


Figura 2.2- demonstra a representação sintática do espaço urbano- (Teklenburg, 1992: 02)

Hillier decompõem o sistema de espaços públicos abertos em espaços convexos. A partir disso, Hillier & Hanson criam o conceito de linhas axiais, que podem ser definidas como o menor número das maiores linhas retas capazes de cobrir todos os espaços convexos. A partir desta representação do espaço obtém-se uma série de medidas de desempenho urbano, sendo que a que vem sendo utilizada com mais frequência, e apresentando resultados mais consistentes, é a Real Relativa Assimétrica, chamada de Integração, que representa uma medida global do sistema.

$$RA = \frac{2(MD - 1)}{K - 2} \quad (2.4)$$

Onde:

- RA = Relativa assimetria;
- MD= Profundidade média;
- k = Quantidade de espaços do sistema

Já a medida de controle apresenta uma medida local. O controle refere-se ao grau de ligações que uma linha axial mantém com as imediatamente adjacentes. O controle da linha axial  $i$  ( $C_i$ ) é expresso por:

$$C_i = \sum_j (A_{ij} / \sum_j A_{ij}) \quad (2.5)$$

$A_{ij}$  = matriz de adjacências da linha axial  $i$  com a  $j$   
 se: diretamente adjacentes  $A_{ij}=1$   
 não adjacentes  $A_{ij}= 0$

Dentro da mesma linha de pesquisa, a Sintaxe Espacial, Teklenburg, Timmmerns, & Wagenberg.(1992), realizam predições dos padrões de movimento em áreas urbanas, diferenciada para os diferentes grupos sociais, pedestres adultos e crianças, ciclistas e motoristas de veículos automotores. Este estudo demonstrou padrões e aproveitamento do espaço urbano de maneiras diferenciadas entre os grupos analisados.

A medida de fluxo de pessoas ou carros é obtida ao longo das linhas axiais. Este método de observação foi derivado do movimento e é designado de *Transport and Road Research Laboratory*. Este estudo define três níveis físicos de integração a partir da mesma desagregação espacial utilizada por Hillier(1984), a linha. A primeira medida obtida é de caráter global, e apresenta-se como:

$$l_i = \frac{\ln\left(\frac{L-2}{2}\right)}{\ln({}_t D_i - L + 1)} \quad (2.6)$$

$l_i$  = *escore de integração da linha*  
 $n$  = *número total de interseções*  
 $L$  = *número de linhas axiais do sistema*  
 ${}_t D_i$  = *total da distancia topológica da linha*

A segunda medida de integração é chamada de integração parcial de fluxo espacial. Esta medida de fluxo espacial está relacionada a área de espaço público que está sendo analisada . Esta medida pode ser verificada na equação que segue:

$$r_y D_i = \frac{\sum_{j=1}^L y D_j}{L} - y D_i \quad (2.7)$$

$rD_i$  = *escore de integração parcial da linha relacionada ao fluxo*  
 $L$  = *número de linhas axiais do sistema*  
 $yD_i$  = *total de fluxos na linha*

A terceira e última medida de integração é chamada de integração local. Esta medida de integração está relacionada ao número de interseções que a linha que está sendo analisada possui. Assim, quanto maior o número de interseções, mais esta linha estará integrada ao sistema. A equação que permite a obtenção desta medida apresenta-se a seguir:

$$Ei = \left( \sum_{j=1}^n \frac{1}{S_j} \right) - 1 \quad (2.8)$$

$Ei$  = *escore de integração local da linha*  
 $n$  = *número total de interseções*  
 $S_j$  = *número total de interseções do sistema*

Os estudos baseados na análise sintática são rigorosos na caracterização da formação dos espaços, porém negligenciam fatores relacionados ao uso do solo e à ocupação das parcelas urbanas, variáveis fundamentais para caracterizar a morfologia do objeto urbano (Krüger,1996). Sob este aspecto, o Modelo de Centralidade de Krafta (1991) introduz os estoques construídos e as atividades urbanas carregando a rede urbana com o uso do solo urbano.

Assim, o Modelo de Centralidade produz a medida de diferenciação morfológica, na qual, para definir a centralidade. Krafta define o conceito de centralidade como: “*uma propriedade dos espaços públicos que consiste na capacidade de se localizar nos caminhos mais curtos entre todos os pares de porções de forma construída dentro de um determinado sistema urbano*” (Krafta,1994:5). A desagregação do sistema real é realizada através de linhas (espaços públicos) e volume (forma construída). (figura 2.3).

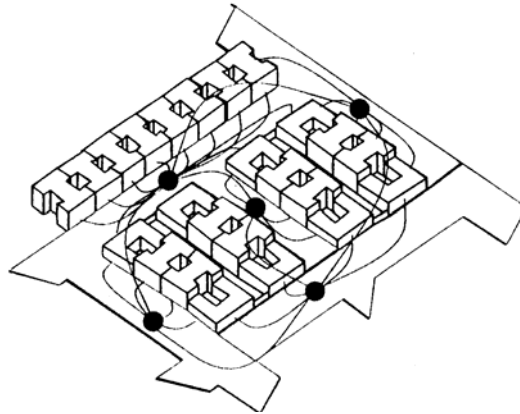


Figura 2.3- Grafo forma construída ligada ao espaço público – (obtido de Krafta, 1994:69)

Este sistema interconectado contém os carregamentos das porções de forma construída, identificando e calculando a tensão interna para cada par de porções de forma construída e a tensão geral para todos os pares de formas construídas alocadas nos caminhos mais curtos do sistema urbano. A partir da ligação entre todas as rotas possíveis entre um par de porções de forma construída, uma ou mais serão as centrais e, conseqüentemente, os espaços públicos abertos que se encontrarem nestas rotas serão considerados centrais. As tensões geradas por todos os pares de porções de formas construídas são atribuídas aos menores percursos entre cada par, de acordo com a seguinte equação:

$$t_{ij} = \frac{f_i f_j}{n} \quad (2.9)$$

$t_{ij}$  é a tensão entre os espaços  $i$  e  $j$ ;  
 $f_i$  e  $f_j$  são o quantidade de formas construídas em  $i$  e  $j$ ;  
e  $n$  é o número de caminhos mínimos entre  $i$  e  $j$ .

Em seguida as tensões entre os pares de formas construídas pertencentes aos percursos mais curtos são alocadas em:

$$t_{ij}(k) = \frac{f_i f_j}{n} p \quad (2.10)$$

$t_{ij}(k)$  é a fração de  $t_{ij}$  alocada ao espaço  $k$ ;  
e  $p$  é o número de vezes que o espaço  $k$  cai nos caminhos mínimos entre  $i$  e  $j$ .

Após, realiza-se o somatório de todos os valores de tensão e obtém-se a tensão geral de cada espaço através da equação:



$$t(k) = \sum_{i,j}^n t_{ij}(k), \quad i < j \quad (2.11)$$

$t(k)$  é o somatório de todos os valores de tensões alocadas em torno do espaço  $k$ .

Finalmente, a medida de centralidade é obtida através da soma de todas as parcelas de tensões geradas por todos os pares de formas construídas em um determinado espaço, conforme equação abaixo:

$$C_{A\dots D}(k) = t^I_{A\dots D} + t_{A\dots D}(K) \quad (2.12)$$

$C(k)$  é a medida de centralidade  $k$

$t^I$  é a tensão interna;

$t$  é a tensão entre os diferentes espaços considerados.

$A\dots D$  pares de forma construída de um determinado espaço

Em 1996 Krafta apresenta um *Modelo de Oportunidade Espacial*, onde as medidas de oportunidade representam relações entre os pontos de oferta em relação aos de demandas considerando o percurso mais curto. Infere-se neste modelo um diferencial em relação ao de Centralidade, uma vez que a conexão entre os pontos é direcionada, um ponto de partida a um ponto de chegada. O modelo de Oportunidade Espacial apresenta-se sob a equação:

$$SO_i = A_i + \sum_1^n \frac{A_j}{l_{ij}} \quad (2.13)$$

$SO_i$  é a medida de oportunidade espacial em  $i$ ;

$A_i$  é o atributo de  $i$ ;

$A_j$  é o atributo de  $j$ ;

$l_{ij}$  é o percurso mais curto entre  $i$  e  $j$ .

Os Modelos de Sintaxe Espacial mostram-se eficazes ao relacionar forma e conteúdo social, através da diferenciação espacial, e os modelos de Centralidade e Oportunidade Espacial (Krafta, 1994,1996) apresentam um refinamento, em relação aos demais, uma vez que conseguem incorporar os estoques construídos em suas medidas incorporando medidas relacionais da estrutura de objetos e do sistema como um todo.

## 2.5 Conclusões

O sucinto histórico dos estudos Tipo-Morfológicos nos fornece base para a classificação e a definição das tipologias funcionais a serem caracterizados no sistema de objetos, ou seja, auxiliam na definição das variáveis de forma e função das unidades de forma construída, aqui definido como objeto arquitetônico. A análise Tipo-Morfológica fornece um modelo figurativo das variáveis de estudo, enquanto que a Teoria dos Grafos utilizado nos Modelos Configuracionais e Modelos de redes auxiliam na construção de uma representação abstrata das relações formais e estruturais, permitindo várias escalas relacionais entre objetos e sistema, definindo grande parte da base teórica e metodológica deste trabalho, no que trata de escalas e padrões estruturais.

A transformação dos subsistemas espaciais em “*grafos*” permite a representação matemática de relações estruturais, conforme demonstra Kruger (1979), gerando medidas morfológicas que possibilitem a identificação de padrões formais: individuais a um nível de desagregação e/ou peculiares a mais de um nível de desagregação espaço-temporal. O padrão diz respeito à abrangência espacial ou temporal de uma variável que se estuda, dependendo da escala de análise (tamanho da unidade da amostra e a superfície amostrada, e isto implica em conhecer a escala espacial e temporal do fenômeno a ser estudado (Pielou, 1977)

O trabalho aqui proposto tem suas bases no estudo de Kruger apresentando algumas diferenças, enquanto Kruger representa a desagregação dos sistemas em pontos e linhas, explorando alternativas de desagregações espaciais incluindo operações com grafos, o proposto neste estudo utiliza uma base do tipo celular realizando as operações em matrizes para manipulação estatística e probabilística. Outra característica importante a ser considerada no trabalho apresentado por Kruger em relação a este que está sendo apresentado, é que o primeiro utiliza as características tipológicas como formador do grafo, ou seja, a adjacência entre edifícios só ocorre se estes estiverem construídos no limite de suas divisas, enquanto aqui consideramos a adjacência entre lotes para a formação da vizinhança, pois estamos tratando com a variável do uso do solo além da formal, ou seja, trata-se de uma variável tipológica e funcional, denominada como tipologia funcional.

Os conceitos e as medidas encontradas nos Modelos Configuracionais Urbanos são capazes de descrever subsistemas espaciais e sociais de um único sistema através de níveis locais e globais de desagregação espacial representados a partir de um único princípio associativo, a adjacência. Os Modelos Configuracionais tem base teórica e métodos operacionais desenvolvidos e amplamente testados, possibilitando a construção teórica e metodológica de um instrumento capaz de identificar as relações estruturais do espaço urbano relacionando forma e conteúdo. Os modelos de Krafta (1994,1996) potencializam ainda mais aqueles apresentados por, Hillier & Hanson (1984), e Teklenburg, Timmmerns, & Wagenberg (1992) uma vez que, insere a tridimensionalidade espacial, considerando os estoques construídos.

Este capítulo fundamenta toda a construção do sistema de objetos desenvolvido nesta tese, através da desagregação e descrição das relações estruturais do sistema espacial envolvidas na exploração da dinâmica da transformação sócio-espacial urbana. O capítulo que segue apresenta conceitos básicos da percepção ambiental, inteligência artificial e modelos baseados em agentes que fundamentam a construção do sistema de ações e das relações comportamentais utilizados na proposição do método exploratório.

# CAPÍTULO 3

## RELAÇÕES COMPORTAMENTAIS

### 3.1 Introdução

Este capítulo fundamenta a abstração e a construção das regras comportamentais do sistema de estudo, definidas a partir da representação do “sistema de ações” a cada intervalo temporal. A representação do sistema de ações a cada intervalo temporal possibilita a construção de regras comportamentais probabilísticas baseadas na conversão entre os estados tipológicos (unidades de forma construída e atividades) alocados nos lotes urbanos.

Neste capítulo são abordados os temas básicos da relação do homem com o ambiente, ou seja, como o homem percebe e comporta-se frente ao seu ambiente, tomando como base as suas necessidades, vontades e motivações. Apesar dos indivíduos serem os reais produtores da ação, neste estudo, limitamos a investigar o resultado da ação da sociedade sobre os objetos urbanos, sem entrarmos no processo perceptivo que orientou a ação. Ao investigar as ações representadas através da permanência, adaptação ou mudança das unidades de forma construída e das atividades nelas desenvolvidas explora-se a interação entre as variáveis durante o processo de alocação espacial através dos tipos de comportamentos (cooperação e competição) ao longo do tempo.

Apresentam-se alguns conceitos básicos envolvidos no processo da ação através de modelos teóricos do comportamento até a abordagem da Inteligência Artificial, para então, finalmente apresentarmos modelos baseados em agentes. Os modelos de agentes compõem o aporte teórico da investigação da modelagem do sistema de

ações, uma vez que partem de regras comportamentais simples e probabilísticas para investigar a emergência de padrões sociais entre agentes sistêmicos.

## **3.2 Representação Comportamental**

O primeiro passo para o entendimento dos diferentes enfoques sobre a temática comportamental é a definição de conceitos, para que então possamos entender a sua evolução teórica e a sua inserção no contexto da modelagem urbana. A percepção pode ser entendida como um processo informacional obtido sob circunstâncias definidas. Bartlett (1932) e Paul (1959) consideram a existência de uma seleção: dentro de uma massa de informações, o sujeito repara certas formas, detalhes e estruturas, uma mensagem chama atenção quando os elementos representam algum valor para quem as percebe. Esta seria a razão porque nos esquecemos de coisas, depende da sua importância para nós, pois ao mesmo tempo em que muitas coisas são esquecidas outras continuam na memória apesar do tempo. (Lang, 1987)

Yi-fu Tuan 1980 define a percepção tanto como resposta dos sentidos aos estímulos externos quanto uma atividade proposital, nos quais certos fenômenos são claramente registrados, enquanto outros retrocedem para a sombra ou são bloqueados. O mesmo autor define a atitude como uma postura cultural, uma posição que se toma frente ao mundo, possuindo maior estabilidade do que a percepção e é formada de uma longa sucessão de percepções, isto é, de experiências. A cognição dá-se com a aquisição, organização e o armazenamento do conhecimento. Esta focaliza nas questões do pensamento, do entendimento, lembrança, sentimentos e desenvolvimento mental (Lang, 1987).

A informação sobre o ambiente é obtida através de processos perceptuais que formam o “esquema” motivando as necessidades. Para Lang o “esquema” é parcialmente nato e parcialmente apreendido. Ela forma uma conexão entre percepção e cognição, construindo os processos perceptuais e as respostas. Conforme afirma Lang (1987) as pessoas demonstram uma larga capacidade para adaptar suas atividades e potencializar novas construções ambientais, adaptando a construção do ambiente a suas necessidades, e entendendo os novos valores

estéticos. O processo central para esta habilidade de adaptação se constituiu dos seguintes passos: entendimento, lembranças e generalização. A generalização apresenta-se como uma síntese de todo o processo de adaptação envolvendo os dois processos anteriores, o entendimento e as lembranças.

O processo de generalização da cognição é o responsável pela habilidade de entender como as coisas são relatadas em categorias e como são usadas essas categorias para o centro da existência humana. Podemos dizer que sempre subsistem resíduos de nossa percepção passada e esta experiência marca a percepção futura. A memória, ao re-agrupar as sensações e reduzir os elementos em forma de esquemas, cria símbolos que influenciam o comportamento.

A motivação é a força que está atrás do comportamento, relacionada diretamente à satisfação das necessidades humanas. Para Lang (1987) muitos dos nossos comportamentos são limites culturais, e isto depende dos padrões de satisfação em relação a determinado ambiente, e do sucesso dessas transações no passado. Dentro das experiências passadas, apreendidas ou esquecidas, está envolvida uma seleção de elementos de acordo com os significados que estes possuem para cada um de nós. Esta questão envolve o desenvolvimento de um novo esquema, para a exploração e criação do mundo.

A ação é a execução de um ato projetado, e o sentido da ação é o correspondente do ato projetado. E o ato supõe uma situação, sobre a qual se projeta a ação. Para conceituar o ato, citamos Parsons & Shils (1952), Rogers (1962) que consideram um ato formado de:

- 1) um comportamento orientado;
- 2) que se dá em situações;
- 3) que é normativamente regulado;
- 4) que envolve um esforço ou uma motivação, um ato é um comportamento orientado no sentido de atingir fins e objetivos.

Moles em sua obra "*Phenomenologie de L'action*" (1974, p.264) define a ação como um deslocamento visível do ser no espaço, criando uma alteração, uma modificação no meio ambiente. Um dos resultados da ação é, pois, alterar, modificar a situação em que se insere. A ação é um processo, uma vez que quando o agente modifica um objeto, também muda a si mesmo.

### **3.3. Sistema de Ações e Modelos do Comportamento**

As teorias do comportamento conjugam conceitos da antropologia, sociologia, psicologia e economia unidas sob o foco central do entendimento das atitudes, dos valores e das respostas humanas. Estas teorias quando em interface com a arquitetura e o urbanismo, centra-se na natureza do habitat humano, relacionando a estrutura física ao comportamento social, configurando um sub-grupo de disciplinas conhecidas como: psicologia ambiental, relações homem-ambiente, sociologia ambiental e ecologia humana e urbana (Lang 1984, p21).

Dentro de em uma abordagem específica do espaço urbano; envolvendo a psicologia, antropologia e ecologia surgem duas tendências para explicar as relações estabelecidas entre usuários e o espaço urbano, o comportamentalismo e o psiquismo. Os comportamentalistas, representados por Hull (1943) e Skinner (1953) propuseram um modelo relacional do homem e do ambiente bastante simplificado baseado em estímulo e resposta. Os autores afirmavam que cores, odores, sons, gostos e tato eram únicos dados dos sentidos, e que as respostas do homem estavam sujeitas a essas sensações primárias e internas, e em certos casos se tomava conhecimento somente do aspecto visual da percepção.

Mais tarde com as teorias cognitivas, foi demonstrado que a percepção era um fenômeno muito complexo, e que não era somente os sentidos que intervêm neste processo, a memória, a personalidade, a cultura e o tipo de transmissão e da mensagem também exerciam influências (Gibson 1966). Assim esta abordagem mecanicista do sistema, que reduz as decisões a necessidades fisiológicas primárias é substituída por estudos do processo perceptivo e da interação entre variáveis como intuição, experiência coletiva e fisiologia individual, pela tendência conhecida como psiquismo.

O psiquismo aborda estritamente os aspectos psicológicos das relações entre indivíduos e espaço urbano, dentro das escolas de análise da percepção que possuem como objeto de estudo o processo de obtenção de informações sobre algumas circunstâncias espaciais. Podemos classificar dois conjuntos básicos de teorias da percepção: uma focaliza a experiência sensorial e o outro a sensação

como atividade e sistema inter-relacionados. A Teoria da Gestalt, a Teoria Transacional e a Teoria da Informação são algumas das teorias pertencentes ao primeiro grupo, enquanto que a Ecológica pertence ao segundo grupo.

A Teoria da Gestalt acredita nas organizações espontâneas de impulsos sensoriais do cérebro, sugerindo um processo semelhante ao de um computador. Alguns nomes representantes desta teoria são Kohler (1929), Koffka (1935), Weigtheiner (1938), Ellis (1935). Com base na hipótese de que a percepção consiste em organizar e associar informações obtidas do meio, o objeto central de estudo da percepção é o modo como o sistema nervoso organiza as estimulações do meio (Lang, 1987).

Na Gestalt, a forma é fundamental. Os psicólogos desta teoria criaram uma lista de fatores que influenciam a percepção da forma, elas são “leis” de proximidade, similaridade, fechamento, abertura, área e simetria. Em síntese, a teoria da Gestalt sugere que todos nós percebemos e organizamos em figuras, não existindo associações subjetivas nos padrões visuais. Esta teoria influenciou a Teoria do Design (Keper 1944, Ushenko 1953, Saumarez 1964, Isaac 1971, Arnheim 1977), servindo como base para escritos sobre estética. (Moles, 1966)

A Teoria Transacional enfatiza o papel da experiência na percepção e enfoca a dinâmica do relacionamento entre pessoa / ambiente. *“Percepção faz parte do processo de vivência de cada um de nós, originando o seu próprio ponto de vista, criando para si um mundo em que... ele esforça-se para aumentar sua satisfação”* (William Ittelson; in Lang, 1987). Nesta teoria o processo de percepção tem os seguintes requisitos: a percepção é multi-modal, a percepção é ativa e não um processo passivo, a percepção não pode ser explicada em termos de respostas condicionadas pelo estímulo, a relação ambiente e pessoa são uma dinâmica, a imagem do ambiente depende da experiência da observação passada, bem como do motivo e necessidade, a percepção é governada por expectativas e predisposições (Lang, 1987).

Ittelson expõe que a “percepção” é descrita através de experiências ou estruturas sociais. A descrição experimental consiste de modos, sensações e auto-informação, enquanto que as estruturais envolvem informações que foram



percebidas em termos de estrutura física ou social do mundo. As associações transacionais (Ames 1960, Ittelson and Carr 1954), influenciaram estudos realizados por Walter Gropius (1947), Lewis Mumford (1952) e Clifford Moller (1968).

A importante contribuição da Teoria Transacional para a Teoria do Design Ambiental, é o reconhecimento da experiência como um elemento importante na percepção do ambiente. (Ittelson; in Lang, 1987). O modelo transacional de Bandura (1974, 1978) demonstra as relações entre o ambiente e os processos físicos e comportamentais, enfatizando as recíprocas influências entre o processo perceptivo, composto pelo ambiente e pelo processo psicológico e comportamental.

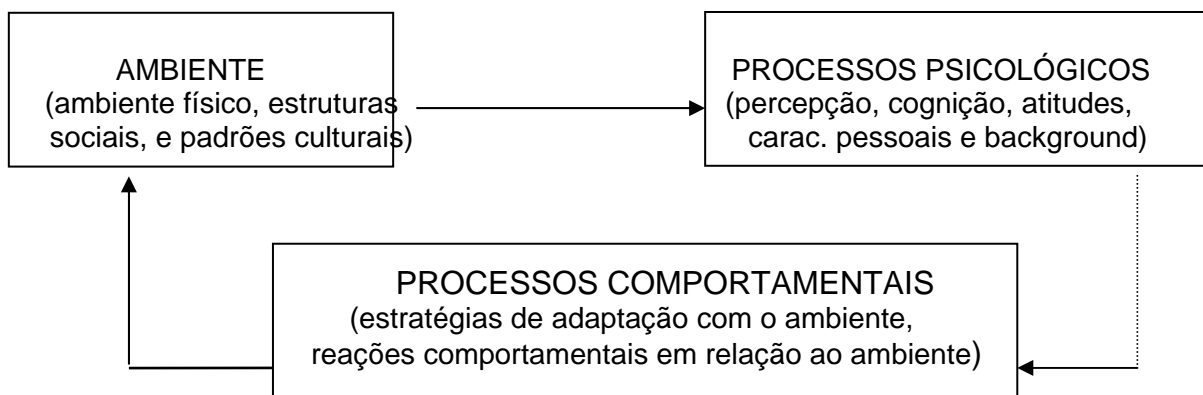


Figura 3.1 – Esquema Modelo Transacional de Bandura

Abraham Moles, criador da Teoria Informacional da Percepção, examina as condições de existência do homem em relação à cultura e à sociedade. Inicialmente esta teoria foi voltada para o estudo do comportamento estatístico dos sistemas de comunicação, devido à necessidade prática de quantificação da informação, para definir a capacidade de determinados canais (Pignatari, 1969). A Teoria Informacional é baseada no estudo de uma situação particular fundamental que a análise submete progressivamente a uma série de generalizações (Moles 1974). Nesta teoria temos de um lado o transmissor (entorno), o receptor (homem), os canais de propagação das mensagens no espaço físico (transmissão visual e sonora, por exemplo) e o espaço-temporal. (Eco, 1971).

A mensagem constitui-se em grupos de elementos conforme regras e estruturas preestabelecidas, que o sistema sensorial humano recebe sempre que se respeitam determinados níveis fisiológicos: sensibilidade, saturação e diferenciação.

Para perceber a transformação em um fenômeno, é preciso que a excitação sensorial alcance um grau de diferenciação (Bailly, 1978, pg. 70). (figura 3.2 ).

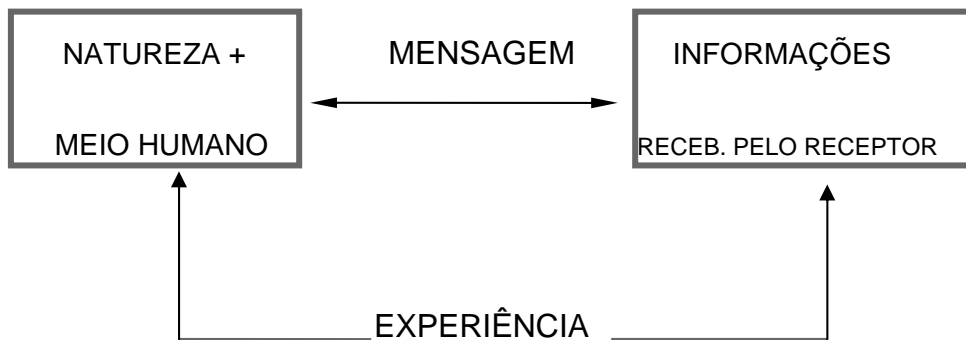


Figura 3.2 - Modelo de transmissão de mensagens (adaptada de Bailly, 1978 pg. 69).

Os primeiros trabalhos na linha ecológica foram realizados por Barker e Wright através da utilização de métodos probabilísticos durante os anos cinquenta, sendo que o nome mais representativo da tendência ecológica é James Gibson (1966, 1974, 1986). Este autor define a percepção como base de informação, além de reconhecer a realidade da experiência sensorial, e interpretar a percepção como produto do meio. O modelo de Gibson (1966) demonstra o processo básico envolvido na interação entre pessoas e seus ambientes, onde determinadas informações do real não são percebidas, como conseqüências de algumas relações de nossos sentidos na limitação do conhecimento. No processo de percepção o indivíduo, por ser pensante e dotada de memória, interfere biologicamente, uma vez que a informação recebe uma significação e um valor em relação com a personalidade e o meio cultural, social e econômico. (figura 3.3).

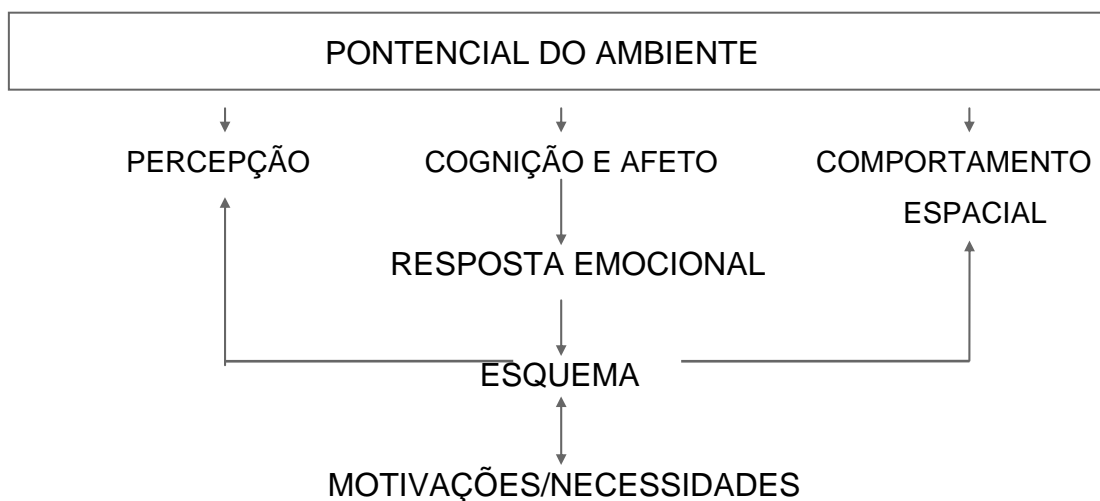


Figura 3.3-Modelo Gibson (1966 in Lang ,1987)

Para Bailly o processo de percepção é tanto consciente como inconsciente. A continuação deste mecanismo é a imagem residual que a pessoa transforma de acordo com os códigos de comunicação, em um modelo simplificado do real (Bailly 1978, pg. 43). A partir deste modelo simplificado se conduz a ação. Depois de o indivíduo filtrar as informações de acordo com a sua personalidade, e tensões que estão sujeitas e suas motivações toma uma decisão que pode levar ao comportamento, transformando as mensagens e ações que atuam indiretamente no mundo real.

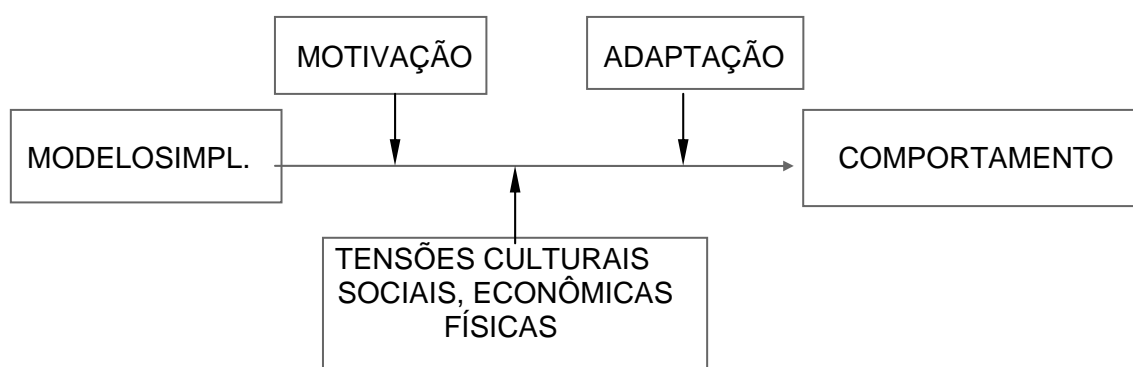


Figura 3.4 - Modelo simplificado do comportamento (Bailly, 1978, pg. 44).

Os modelos de comportamento da psicologia embasaram estudos dentro da economia e sociologia articulados com a Teoria dos Jogos e a Inteligência Artificial configurando os modelos baseados em agentes. Estes modelos simulam um sistema de ações sobre regras comportamentais obtidas a partir de estudos dos seres vivos, sobretudo insetos, mas também de animais com mecanismos cognitivos mais complexos, incluindo macacos, que partilham em larga medida similaridades com os humanos, ainda que com menor capacidade de cognição e raciocínio (Lewin, 1993).

### **3.4 Relações Comportamentais e Sociedades Artificiais**

A Teoria dos Jogos foi criada pelo matemático John Von Neumann em 1928 com a demonstração do teorema Minimax, porém a obra que serve como marco do surgimento desta teoria foi a publicação em 1944 de Von Neumann em co-autoria com Oskar Morgenstern e intitulada Theory of games and economic behavior. Nesta obra os autores apresentam a economia como uma ciência exata, traçando

paralelos com a física. Os fenômenos sociais são descritos através de formulações de modelos em forma de jogos retratados em um contexto de interação estratégica entre indivíduos. (Poudstone,1992). O estudo apresenta, inicialmente, os jogos não cooperativos, particularmente jogos de soma-zero, baseado em jogos como xadrez e pôquer. Neste tipo de jogo cada jogador estabelece as suas estratégias de forma que maximize seus ganhos e minimize suas perdas. Posteriormente são apresentados os jogos cooperativos, que são de grande importância para os estudos das Sociedades Artificiais, pois neles ocorre a transferência de utilidade, investigando as formas de cooperação entre os agentes.

Em 1945, Hebert Simon apresenta a crítica à racionalidade perfeita dos agentes econômicos e propõe o conceito de racionalidade limitada, esse questionamento atacou diretamente os pressupostos teóricos da teoria dos jogos. Melvin Dresher e Merrill Flood desenvolveram um instrumento em 1950 que introduziu o clássico jogo Dilema dos Prisioneiros, marcando uma das décadas mais produtivas em estudos sobre jogos repetitivos. Podemos citar como trabalhos desenvolvidos nesta década o de John Nash (1950/1953) que apresentou contribuição na área de jogos não cooperativos através da descoberta de um equilíbrio estratégico, o equilíbrio de Nash, e da teoria de barganha. Lloyd Shapley (1953) caracteriza axiomas para a associação de cada jogo cooperativo a um único resultado. Kuhn (1953) desenvolve uma extensa representação de jogos não cooperativos, permitindo a especificação de ordem exata que os jogadores devem tomar as decisões e formular os pressupostos sobre a informação possuída pelos jogadores em todas as etapas do jogo.

Na década de 60 são publicados trabalhos de grande importância para a ciência social e econômica, como a obra *"The strategy of conflict"* (1980) de Thomas Sheeling onde são apresentados os conceitos de tomada de decisão baseada em convenções sociais possuindo como base a informação incompleta. As primeiras aplicações econômicas da teoria dos jogos surgem com Shubik em 1962, em 1963 Geraed Debreu e H.Scarrf desenvolvem um modelo com número arbitrário de mercadorias e de tipos de comerciantes. No ano seguinte Robert Aumann formalizou o conceito de jogos infinitamente repetidos com informação incompleta.

Robert Axelrod conduziu um experimento do tipo dilema do prisioneiro, que está entre as mais importantes contribuições para a Teoria dos Jogos reportada no livro “The Evolution of the cooperation” de 1984. A hipótese da sua tese de doutorado era de que os indivíduos são conservadores, no sentido de cooperar no presente para assegurar a cooperação no futuro, seu trabalho objetiva testar um confronto de estratégias diante de regras estabelecidas e verificar qual que obtinha o melhor resultado, levando em consideração a evolução das regras de aprendizagem ao longo do jogo. Axelrod estava interessado nas circunstâncias que permitem a cooperação nos grupos dos agentes.

A investigação explora o comportamento cooperativo: primeiro, as estratégias cooperativas devem gerar o sucesso em um ambiente dado a fim ser adotado por agentes individuais. Em segundo, estas estratégias devem gerar o sucesso em ambientes em mudança de jogadores de aprendizagem para ser capazes de espalhar. Finalmente, as populações dos jogadores cooperativos estabelecidos devem ser imunes à adoção de formulários alternativos do comportamento. Axelrod simula um processo de aprendizagem permitindo que *um replicator dinâmico* mude a representação de estratégias do jogo entre gerações sucessivas, de acordo com benefícios relativos. Em populações de aprendizagem reais, os agentes adaptam seu comportamento de encontro aos oponentes que por sua vez estão também aprendem e mudam continuamente.

Aumann publica em 1981 “*Survey of repeated games*”, onde introduz de forma pioneira a aplicação da automação para descrever o comportamento dos jogadores, num jogo repetido, estudando o comportamento interativo da limitados jogadores dentro de um conjunto de estratégias restritas. Este trabalho oportunizou uma série de experimentos na área dos autômatos finitos. Em 1982, David Kreps e Robert Wilson ampliam a idéia do equilíbrio perfeito em sub-jogos na forma extensiva com informação incompleta, e o conceito de equilíbrio seqüencial, que é resultante da estratégia seqüencialmente racional dos jogadores, tornando uma tomada de decisão presente como parte integrante de uma estratégia em longo prazo.

Coleman 1986/1987 utiliza o dilema do prisioneiro para estudar a influência da estrutura social na eficácia das sanções. Em suas simulações divide uma

população de 100 indivíduos em subgrupos e combina os indivíduos nestes subgrupos para jogar o dilema do prisioneiro. Os indivíduos podem recordar um número dado dos sócios e de sua última ação e seguir uma estratégia que use esta informação. Coleman conclui que a cooperação emerge mais fácil em grupos pequenos.

Atualmente a Teoria dos Jogos nos remete aos recentes estudos de Inteligência Artificial e geração de Sociedades Artificiais, evoluindo as premissas básicas de seus primeiros modelos, demonstram que os agentes não possuem informação completa a respeito do seu meio ambiente urbano, acumulam conhecimento com as suas ações e/ou as ações de outros agentes. (Haykin, 2001)

A Inteligência Artificial (IA) *“pode ser definida como um ramo da ciência da comunicação que se ocupa da automação do comportamento inteligente”*. (Luger 2004, pg23), assim quando nos referimos à Inteligência Artificial (IA) estamos nos remetendo ao conceito de inteligência. A concepção de inteligência é humana e, nesse sentido, animal e biológica, no entanto a possibilidade de transportá-la para uma base plástica, artificial, define que esta deverá ser necessariamente diferente da humana, na medida em que o seu resultado provém da emergência de elementos totalmente diferentes dos encontrados nos humanos. A inteligência, tal como se entende, é essencialmente o fruto do cruzamento da uma base biológica com um complexo simbólico e cultural, impossível de ser reproduzido artificialmente. (Barone, 2003).

A inteligência artificial começou como um campo experimental nos anos 50 com pioneiros como Allen Newell e Herbert Simon, que fundaram o primeiro laboratório de Inteligência Artificial na Universidade de Carnegie-Mellon, e McCarty que juntamente com Marvin Minsky, que fundaram o laboratório de MIT AI em 1959. Um dos primeiros artigos a tratar da questão da inteligência de máquina foi escrito por Alan Turing (1950), denominado *“maquinismo computacional e inteligência”*. Historicamente a Inteligência Artificial (IA) apresentava-se em dois grandes estilos de investigação: em IA forte e IA fraca. A investigação em Inteligência artificial forte aborda a criação de formas de inteligência baseada em computador que consiga raciocinar e resolver problemas. A inteligência artificial fraca centra a sua investigação na criação de inteligência artificial que não é capaz de verdadeiramente

raciocinar e resolver problemas. O teste clássico para aferição da inteligência é o Teste de Turing.

O teste de Turing mede o desempenho de uma máquina aparentemente inteligente, em relação ao desempenho de um humano, indiscutivelmente o melhor e único padrão para comportamento inteligente. O teste foi chamado de “*jogo da imitação*”, o procedimento ocorre da seguinte forma: coloca-se a máquina e seu correspondente humano em salas separadas entre si e de um terceiro ser humano referido como o interrogador. Se o interrogador não conseguir distinguir entre as respostas da máquina do ser humano, então a máquina é dita inteligente (Luger 2004, pg31). Estes testes focalizam as pesquisas de inteligência artificial através de uma aproximação experimental com a psicologia, dando ênfase ao que poderia ser chamado de inteligência lingüística. (Rich,1983)

As principais abordagens de aprendizagem em máquina são subdivididas em três métodos: simbólico, conexionista e emergente. Os métodos de aprendizado simbólico são compostos por um conjunto de símbolos que representam entidades e relações de domínio, os algoritmos de aprendizagem simbólica tentam inferir generalizações novas, válidas e úteis que podem ser expressas usando esses símbolos. Dentre os métodos utilizados podem-se citar as buscas heurísticas e as árvores de decisão que dão ênfase do uso explícito de símbolos para solucionar problemas

As abordagens conexionistas representam o conhecimento como padrões de atividade em redes de pequenas unidades de processamento individuais. Este método inspira-se na arquitetura de cérebros de animais, as redes conexionistas aprendem modificando sua estrutura de pesos em resposta aos dados de treinamento. Em vez de realizar uma busca entre as possíveis generalizações fornecidas por uma linguagem de representação simbólica, os modelos conexionistas reconhecem padrões em dados e representam estes padrões dentro de sua própria estrutura. A abordagem conexionista é conhecida como modelos neurais, também conhecidos como de processamento paralelo distribuído (Haykin, 2004).

Enquanto que o método conexionista inspira-se no sistema neural biológico, o modelo emergente inspira-se em analogias genéticas evolucionárias. Os algoritmos genéticos começam com uma população de soluções candidatas para o problema. As soluções candidatas são avaliadas segundo sua habilidade de resolver ocorrências do problema: apenas as mais ajustadas sobrevivem e se combinam entre si para produzir a próxima geração de possíveis soluções. Assim vai emergindo soluções cada vez mais poderosas como ocorre no universo darwiniano.

Os modelos emergentes de aprendizagem simulam a adaptação da natureza, através de um processo simples de introdução de variações em gerações sucessivas e eliminando seletivamente os indivíduos menos ajustados, emergem numa população adaptações de crescente capacidade e diversidade. A evolução ocorre em populações de indivíduos corporificados, cujas ações afetam outros indivíduos e que, por sua vez, são afetados por outros indivíduos. Assim, as pressões seletivas não surgem apenas do ambiente externo, mas também de interações entre membros de uma população. A aprendizagem é obtida através de algoritmos e programação genéticos e evolucionários (Luger, 2004).

Dentro desta última abordagem surge o estudo de sociedades artificiais que se tornou um novo paradigma dentro da esfera da inteligência artificial (IA), mais especificamente na área que estuda os sistemas capazes de produzir inteligência. A sociedade artificial utiliza modelos baseados em agentes para simular e investigar estruturas sociais globais e o comportamento coletivo. São utilizados regras e mecanismos locais simples, sendo que a maioria de modelos artificiais da simulação do evento discreto da sociedade utiliza a evolução do tempo para dirigir as ações e as interações da paisagem e dos agentes. Os estudos de sociedades artificiais começaram com a investigação de sociedades de baixo nível cognitivo, procurando simplificar ao máximo as rotinas e as regras de transição dos estados, e aos poucos começaram a criar modelos mais robustos e com a inserção de um número maior de variáveis, a seguir são apresentados alguns estudos dentro desta área de simulação que se inserem dentro da aprendizagem emergente e a Teoria dos Jogos na composição das regras na tomada de decisão dos agentes.

Em 1988 Fudenberg e Kreps desenvolvem um estudo com o tema da aprendizagem, como os agentes aprendem o equilíbrio no paper intitulado "*Theory*



*of Learning, Experimentation and equilibria*". Neste estudo podemos intitular os nossos agentes como jogadores, que representam interesses individuais influenciados pelo grupo a que pertence. Como num sistema real cada agente possui um grau de vontade específico (e de liberdade definido, tanto para a mudança quanto para a permanência, buscando a maximização de desempenho, independente do tipo de função pretendida: morar, comercializar, servir).

Conte e Castelfranchi (1995) investigam como as normas controlam e reduzem o conflito e como influenciam as diferenças individuais. Simulam o movimento dos agentes em um mundo bidimensional comum na busca e obtenção de alimento através do ataque. São comparadas três circunstâncias diferentes: agressivo' (ataca sempre que os custos das alternativas são mais elevados), estratégico (somente ataca quando a força do seu oponente não for mais alta do que a sua) e normativo' (os agentes possuem o alimento que aparece em sua vizinhança e não podem ser atacados ao comer seus próprios alimentos). O estudo indica que o número dos ataques é menor e a força média dos agentes é mais elevada sob a circunstância normativa.

Castelfranchi, Conte e Paolucci (1998) dão seqüência ao trabalho de 1995 sobre o papel da reputação normativa. A simulação divide a população do agente em : (cego ou estratégico, cego ou normativo, estratégico ou normativo). O modelo expõe os agentes normativos com força média e mais baixa porque há umas vantagens custo-livres para transgressores. Os agentes aprendem com a interação direta quem são os agentes enganadores e os honestos. A estratégia normativa é mudada de tal maneira que é aplicada somente aos agentes honestos e testada no encontro com os agentes estratégicos.

Saam e Harrer (1999) estendem os estudos de Conte e de Castelfranchi (1995/1998) e demonstram que os resultados obtidos nestes estudos são válidos somente para sociedades com igualdade entre predadores e presas. Introduzem o patrimônio e renovação desigual dos recursos o que favorece os agentes com mais força. Neste caso, são as normas que causam um nível mais elevado de desigualdade. As simulações de Saam e de Harrer definem que as funções das normas dependem fortemente das condições na sociedade.

Schulz (1996) fornecem uma alternativa inovadora a uma geração mais antiga dos modelos baseados na Teoria dos Jogos, através de modelos baseados em Algoritmos Genéticos. Este autor argumenta que a maioria de modelos da Teoria dos Jogos aponta a evolução da cooperação no sentido equivocado, pois estes modelos prospectam as decisões no futuro, ou seja, calculam as alternativas possíveis frente aos resultados, enquanto que nas decisões diárias os indivíduos se fundamentam nas experiências passadas. Considera-se, por exemplo, que em uma população de agentes que cooperem sempre ou delatem sempre produzem um resultado coletivamente ótimo para os dois cooperadores, e o resultado coletivamente pior vai para os dois delatores. Entretanto, a melhor estratégia individual vai a um delator unilateral quando a vítima recebe a pior estratégia individual. A estratégia dominante em um único encontro é delatar, não importa o que o outro lado escolhe. A armadilha é que a escolha ótima para cada jogador pode conduzir ao que freqüentemente é o pior resultado coletivo. Schull argumenta que a questão da adaptação não é referenciada nos modelos, e só começa ser explorada com modelos genéticos.

Macy (1998) complementa as explicações de Schulz (1996) sobre as soluções da Teoria dos Jogos na questão do dilema do prisioneiro que requerem que o jogo esteja repetido. Ele argumenta que delatar não é a estratégia dominante no jogo repetido, uma vez realizadas as interações se abrem possibilidades para a cooperação se ambos os lados delatarem. A repetição motiva a cooperação colocando o jogo na "*sombra do futuro*" (Axelrod 1984:12). Na teoria de jogo analítica, o prospecto do encontro futuro conduz a jogadores inteiramente racionais a oportunidade de calcular o efeito que suas escolhas podem ter na melhor resposta do seu oponente, supondo que o oponente é também inteiramente racional e também realiza um cálculo similar da estratégia ótima no jogo futuro. Macy argumenta que, na vida diária, a maioria das competições ocorre entre competidores colocados de forma ocasional, e que os jogadores raramente calculam as conseqüências estratégicas de cursos de ação alternativos, mas simplesmente prendendo-se ao passado.

Bousquet et all (2001) centra a sua pesquisa no campo da gerência de recursos ambientais, focalizando-se na tomada de decisão coletiva. Neste ambiente

existem diversos atores que tem que coordenar e compartilhar de um ambiente comum e controlar os externalidades gerados por decisões individuais. O objetivo desse estudo é observar e simular as sociedades onde os agentes compartilham de um recurso comum, e possuem representações individuais do ambiente e negociam e trocam dentro de decisões coletivas em escalas espacial e temporal dada, conduzindo a uma compreensão melhor de sociedades existentes. Este jogo demonstra que o aumento da exploração de recursos compartilhados, apesar de ser uma escolha racional individual, é uma estratégia dominante para todos os jogadores, e pode conduzir a um resultado coletivo desastroso no que se refere à exploração dos recursos.

Terna (1998) realiza uma análise metodológica da publicação Axtell R. and Epstein J.M. (1996) modelo de simulação social conhecido como *Sugarscape* construído sobre as técnicas bottom-up. Verificadas as potencialidades e limitações do modelo, Terna propõe um incremento do modelo de autômatos celulares através de modelos baseados em agentes, gerando uma maior robustez no modelo original.

*Sugarscape* é um mundo definido bottom-up dos agentes - no contraste aos modelos representativos do agente na economia - onde os agentes são heterogêneos do ponto de vista de habilidades individuais (visão) e de necessidades (metabolismo). O açúcar, em *Sugarscape*, é distribuído variavelmente no espaço e é o único recurso para a vida dos agentes. O mundo, os agentes, o alimento, as regras e as ações podem ser ajustados por parâmetros. O mundo pode torna-se cada vez mais complicado, também as características do sistema e as instituições emergentes são cada vez mais interessantes e significativas. Um agente morre se seu estoque do alimento for zero; para funcionar experiências na distribuição de renda, um agente é suposto para morrer dentro de um tempo finito e é substituído por um agente novo. O mundo inicial é conseqüentemente muito simples, mas ao mesmo tempo permite que se verifique o efeito que as circunstâncias ambientais (a quantidade do açúcar e de sua taxa de renovação local; as regras locais para a busca do alimento) têm em migrações e na distribuição dos agentes ao longo das várias dimensões (espaço, riqueza, etc.).

O incremento do modelo, proposto por Terna, possibilita a utilização de funções e protocolos relacionados, onde a simulação seria guiada por eventos

endógenos ou exógenos. A estrutura abstrata é traduzida em um código de computador, onde a ocorrência de um evento (por exemplo, uma etapa simulada do tempo) provoque ações no formulário das mensagens emitidas aos agentes, que produzem por sua vez eventos e assim por diante. Desta forma são executadas estratégias de simulação, mais simplificadas, quando as seqüências de eventos são imprevisíveis e com árvores complexas das ações e das reações entre os vários componentes.

Hegselmann & Krause (2002) supõe que um agente que confie nas opiniões de um grupo selecionado agrega estas opiniões adotando sua média. A análise é centrada principalmente em categorizar os estados finais do sistema de acordo com o número de conjuntos emergentes: assim, se um grupo responde da mesma forma então nós classificamos este caso como *o consenso*, se dois conjuntos aparecerem então se configura a *polarização* e, finalmente, se mais de dois grupos surgirem, então se define a *fragmentação das opiniões*. Os instrumentos do modelo partem do princípio do equilíbrio social: em termos sociais e psicológicos, isto significa que cada modelo conformista (expresso como opiniões médias entre agentes) conduz o sistema em um formulário de equilíbrio e uma posição estável e estagnada. Empiricamente, embora os agentes pareçam aspirar ao equilíbrio como objetivo, pode-se reconhecer que nenhum sistema social "*real*" alcança sempre este tipo de configuração.

Katerelos and Koulouris (2004) apresentam um modelo regulamentar dinâmico, a respeito do equilíbrio social sob a consideração de uma estrutura regulamentar interna dos agentes ("intra-individual") entre as opiniões diferentes a respeito da mesma interação social. Primeiramente, define-se uma descrição detalhada do modelo e defini-se parâmetros. Então, explora-se este modelo não-linear por uma série de simulações de computador para uma variedade de valores de parâmetro. Em seguida, são examinadas sob que circunstâncias o modelo exhibe a dependência sensível em circunstâncias iniciais e combinando os princípios psicológicos e sociais com tendências à certeza (estabilidade) obtendo uma incerteza (imprevisibilidade) a respeito do resultado do sistema.

Rosvall e Sneppen (2005) desenvolvem um modelo baseado na rede social de comunicação, investigando as conseqüências da manipulação da informação. O

presente modelo descreve jogo social onde o objetivo é ser central, e o vencedor é o agente com muitas conexões, que fornece comunicação rápida e eficiente para outros agentes. Neste estudo observou-se que agentes com ampla faixa de graus de comunicação, refletem a diversidade de possibilidades de resultados do jogo, e suscitam questões sobre se existe algumas estratégias específicas pelas quais os agentes podem melhorar suas posição na rede. Um agente torna-se altamente conectado quando desenvolve a capacidade de atrair novos links devido o fato de ser um fornecedor de novas informações a respeito de outros agentes.

Todos estes estudos dentro da temática das Sociedades Artificiais apresentam elementos que colaboram para exploração das relações comportamentais envolvidas no fenômeno de alocação das unidades de forma construída e na definição do sistema de ações do modelo proposto. Estes modelos baseados na Teoria dos Jogos e nos modelos de IA com aprendizagem do tipo emergente (*algoritmos genéticos e multi-agentes*) abordam questões da auto-organização social em sistemas complexos, centrando a operacionalização destas explorações e simulações em sociedades de nível cognitivo mais baixo do que a humana, mas que, no entanto apresentam possíveis introspecções na sociedade humana.

### **3.5. Conclusões**

Os modelos urbanos apresentados no capítulo anterior possuem um enfoque centrado na questão espacial, descrevendo a dinâmica processual basicamente através de fluxos sobre uma estrutura pré-estabelecida, enquanto que os modelos baseados em agentes ignoram a questão espacial e centram-se na organização social do sistema global a partir da interdependência entre os comportamentos individuais dos agentes. Estes modelos compõem uma dinâmica do tipo bottom up, onde os agentes movem-se livremente sobre uma estrutura espacial homogênea através de um processo temporal muito mais rápido do que nos Modelos da Sintaxe Espacial e nos Modelos de Redes da física e da geografia.

Os modelos teóricos da percepção ambiental dão subsídios para construção de modelos de comportamento e de tomada de decisão desenvolvidos na

Inteligência Artificial. Os estudos em Sociedades Artificiais relacionam a sociedade a sistemas simples com base biológicas, permitindo a partir da simplificação de regras comportamentais coletivas (competição, assimilação, cooperação, sucessão) a demonstração da formação de padrões advindos do nível de vizinhança para uma organização social global. A exploração das regras comportamentais simples envolvendo a aleatoriedade nas escolhas das ações dos agentes ao longo da evolução organizacional dos modelos do tipo Sociedades Artificiais possui suas bases na Teoria dos Jogos.

Dentre os estudos mais eminentes e de pode-se citar a interação do dilema do prisioneiro proposto por Robert Axelrod (1984). Axelrod demonstra através de uma aproximação evolucionária a emergência das regras comportamentais. De acordo com ele, a emergência de regras é dada através da introdução punições para aqueles indivíduos que as violarem os padrões estabelecidos. (Axelrod, 1986, p. 1097). Nesta versão os participantes escolhem a sua estratégia mutuamente e repetidamente, possuindo a memória do resultado do jogo anterior. A repetição do jogo em um período longo de tempo com muitos jogadores, cada um com estratégias diferentes, tende a um melhor resultado para os jogadores quando ocorrem mais estratégias cooperativas. Assim verifica-se que delatar não é a estratégia dominante no jogo repetido, a repetição motiva à cooperação, tornando cada jogada como uma antecipação para a estratégia da próxima (Axelrod 1984:12).

Esta experiência comprovou que um comportamento aparentemente cooperativo pode ter evoluído de mecanismos puramente individualistas, comportamentos que pela lei darwiniana levariam a seleção natural. Verifica-se, porém, que este jogo supõe a construção estratégica baseada na informação completa e no conhecimento perfeito da estrutura lógica da questão a ser tratada. A estratégia do jogo torna-se possível se cada lado souber que o outro não tolerará a denúncia, e cada lado sabe que outro sabe deste fato.

Salientam-se como de grande colaboração para este estudo os trabalhos de Schull (1996) e Macy (1998), que investigam a ordem social emergente e fornecem uma alternativa produtiva para os modelos baseados na Teoria de Jogo através de modelos evolucionários chamados de Sociedades Artificiais. Estes modelos partem da premissa de que a evolução da cooperação aponta para o lado oposto do

apresentado pelos modelos clássicos da Teoria dos Jogos. A cooperação diária emerge da associação de hábitos ao longo do tempo gerando uma conformidade inconsciente através das normas sociais. Se de um lado a cooperação diária emerge através da repetição da interação como na Teoria dos Jogos, ela depende não dos incentivos criados pela projeção da interação futura, mas dos hábitos da associação gerados pela exposição prévia a um problema já apresentado. Desta forma estes modelos sugerem que a cooperação é realizada em contextos subjetivos e não matemáticos ocorrendo de forma inconsciente e quase que automática, pois os indivíduos raramente calculam as conseqüências estratégicas dos cursos das suas ações em relação às ações futuras dos outros, mas tentam aprender com experiências anteriores.

Estes autores demonstram que da mesma forma que nós aprendemos a falar naturalmente, a cooperação aparece deliberadamente, pois sabemos que para obter algo que desejamos temos como padrão social seguir algumas convenções sociais. Os atuais estudos em Sociedades Artificiais articulam os conceitos da Teoria dos Jogos e das Teorias Comportamentais. Na questão específica da alocação de estoques construídos sobre a rede espacial ao longo do tempo, considera-se a sociedade decomposta em grupos com necessidades e motivações particularizadas que decidem suas localizações de forma independente, seguindo certas convenções comportamentais. Neste caso cada grupo está aberto a erros e a uma visão míope do sistema, pois cada grupo constrói as suas alternativas locais sobre o cenário presente não sabendo as futuras escolhas dos outros grupos.

Desta forma o estudo investiga as alternativas de alocação das unidades de forma construída (sistema de objetos) na rede espacial através da materialização (sistema de ações) das motivações e necessidades sociais, técnicas e econômicas dos diferentes grupos que compõem a sociedade. A emergência de padrões sócio-espaciais geradas através da interação entre o sistema de objetos e ações ao longo do tempo, deixa transparecer as relações de aleatoriedade envolvidas entre as relações comportamentais sobre as relações estruturais do sistema espaço-temporal.

# CAPÍTULO 4

## RELAÇÕES ALEATÓRIAS

### 4.1 Introdução

Este capítulo procura demonstrar a exploração das relações aleatórias através de conceitos de Complexidade e Auto-Organização aplicados em Modelos Urbanos. Os Modelos Urbanos citados apresentam enfoques variáveis para explorar a auto-organização sistêmica, o comportamento entre variáveis, a aprendizagem e a adaptação dentro do sistema. A articulação entre as relações estruturais e comportamentais para a investigação do fenômeno de transformação das unidades de forma construída dá-se através do conceito de aleatoriedade e complexidade desenvolvida ao longo deste capítulo.

### 4.2 Aleatoriedade e Complexidade

A teoria da complexidade caracteriza os sistemas como complexos quando estes apresentam uma dinâmica de interações não-lineares entre agentes e um alto paralelismo durante o processo dessas interações. Além disso, o comportamento dos agentes é mutável, onde qualquer perturbação, por menor que seja, pode desencadear profundas transformações no sistema, pois as variáveis ou agentes são altamente interdependentes. Nesse sentido, as estruturas, as articulações e a formação de hierarquias são o resultado das instabilidades próximas dos pontos de bifurcação – momentos no qual o sistema está prestes a adotar um novo caminho – e que proporcionam a emergência de novas formas, bem como a adoção de uma nova trajetória do sistema, que, desta forma, não busca a otimização ou a maximização (Allen e Prigogine, 1982; Christofolletti, 1998)



Muitos sistemas físicos dependem de maneira sensível das condições iniciais, quaisquer que sejam estas condições iniciais. A teoria das bifurcações, assim como aleatoriedade das catástrofes de René Thom, estuda os diferentes tipos de circunstâncias em que ínfimas variações de condições iniciais ou de parâmetros do sistema desencadeiam assintoticamente alterações qualitativas. Temos ao mesmo tempo determinismo e imprevisibilidade em longo prazo, uma vez que o conhecimento da condição inicial é afetado por certa imprecisão. Nestes sistemas não somos capazes de distinguir a condição inicial real de inúmeras condições iniciais imaginárias que estão próximas a ela, e não sabemos, por conseguinte, qual das predições possíveis é correta. Esta é a evolução histórica dos sistemas muito complexos, ocorrem tipicamente num sentido único, ou seja, são sistemas sem recorrência de estados. Por outro lado existem sistemas dinâmicos que possuem um comportamento misto, em que a predição em longo prazo é possível para certas condições iniciais, mas não para outras. Podes-se definir quando há dependência sensível das condições iniciais, e por quanto tempo podemos confiar nas predições sobre a evolução possível de um sistema, são sistemas moderadamente complexos. (Ruelle, 1993)

Buckley (1971 pg 92) coloca que à medida que os sistemas tornam-se mais abertos se tornam mais complexos, desenvolvem-se dentro dele processos de mediação que se tornam mais independentes e autônomos, e mais determinantes do comportamento. Passam a realizar as operações de:

- 1) ajustamento temporário do sistema as contingências externas;
- 2) direção do sistema para meios mais favoráveis;
- 3) reorganização permanente de aspectos do próprio sistema a fim de tornar-se mais eficazmente com o meio.

A questão coloca por Buckley sobre a autonomia e a independência, que tende a aumentar com o aumento da complexidade, parte do princípio que no tempo 0, quando o sistema possui um nível de imprevisibilidade muito alto, os comportamentos individuais dos seus entes são muito importantes, ou seja tem a capacidade de direcionar o sistema com maior facilidade do que, as inter-relações estão sendo construídas. Enquanto que com o amadurecimento do sistema as inter-relações entre seus componentes estão estabelecidas, nem tudo é imprevisível, mas

nem tudo é previsível, está configurada a complexidade. A auto-regulação, de acordo com Buckley (1971) pode ser definida como processos de morfogênese e morfostase. A morfostase se refere aos processos das trocas entre o sistema complexo e o meio, que tendem a preservar ou manter a forma, a organização e o estado do sistema. A morfogênese se refere aos processos que tendem a elaborar ou mudar a forma, a estrutura ou o estado de um sistema.

Ashby (1971) argumenta que para haver organização deve haver condicionalidade, ou seja, a relação entre duas entidades tornando o valor de um terceiro estado possível. Este fato supõe que para um conjunto de elementos ser organizado supõe a existência de coerções operando entre os elementos, de tal modo que só prevalecem entre eles certas interações, e não outras. Embora deva haver coerções na interação dos elementos, deve haver também certa liberdade de ação dentro dos limites das coerções, pois do contrário, termos apenas uma organização rígida, destituída de dinâmica. Então, frente um conjunto de elementos, pode-se definir como uma organização dinâmica, quando a cada elemento do sistema está associado um conjunto próprio de possibilidades de interação com os outros elementos do sistema (Ashby, 1971).

Na visão de Langton (1986), é da orientação dos componentes individuais numa escala inferior que surge uma espécie de propriedade global na escala superior, algo que não poderia ter sido previsto a partir do que se sabe das partes componentes. E essa propriedade global faz a retro-alimentação no sistema, influenciando o comportamento dos indivíduos que a produziram na escala mais inferior. A ordem seria resultante de um sistema dinâmico complexo como propriedades globais brotando do sistema gregário de indivíduos. A estabilidade seria uma propriedade emergente.

Constrói-se, então, o conceito de auto-organização como um sistema aberto e complexo, que se auto-organiza sem a necessidade de intervenção para conduzi-lo à ordem, que surge a partir de uma situação anterior, caótica, na qual não se conhece o comportamento das variáveis que compõem o sistema (Prigogine e Nicolis 1977; Haken 1983). Como consequência o sistema passa por constante evolução de modo não determinístico, isto é, tem a capacidade de realizar

mudanças estruturais, o que implica na adoção de novas trajetórias ao longo do tempo.

Daniel McShea (1991) define a ciência da complexidade como a combinação de forças internas e externas gerando uma maior complexidade como propriedade fundamental dos sistemas adaptativos complexos. McShea apresenta a lei da evolução de Spencer como uma Teoria internalista da complexidade, uma espécie de antecedente intelectual da ciência da complexidade, e complementa que o fator externo complementar de Spencer seria a Seleção. Desta forma McShea conclui que a visão de um mundo puramente Spenceriana é impulsionada pela dinâmica interna dos sistemas complexos: heterogeneidade a partir da homogeneidade, ordem a partir do caos, enquanto que a visão puramente Darwiniana é que a complexidade é construída unicamente pela seleção natural.

Para Le Moigne (1990) a noção de *“complexidade implica na imprevisibilidade possível, de emergência do novo, no interior do fenômeno que nós consideramos por complexo”*; ou seja, na aleatoriedade envolvida na evolução morfológica e comportamental do sistema. A relação de aleatoriedade revela-se a partir da conjugação de dois momentos distintos, o primeiro referente a possibilidade de acesso à escolha, e a segunda ao momento da escolha. Assim a relação aleatória manifesta-se na mesa de jogo, através dos jogadores que trazem consigo a relação aleatória.

Verifica-se nos estudos com base na Teoria dos Jogos, que a relação aleatória reside na aceitação, pelos atores humanos, dos termos do jogo que os une, pois sem eles, o acaso não existiria. No caso mais elementar dos jogos de azar, o jogo cara ou coroa, por exemplo, o acaso existe em um indeterminismo, verdadeiramente científico, mas que reside no movimento material da moeda e na ignorância em que o sujeito se encontra em relação ao seu estado final. O acaso dos jogos de azar apresenta-se como um fenômeno real, mas só existe através do homem, não se encontram na natureza, é um artefato.

Rulle (1993) nos coloca a complexidade diretamente relacionada à informação, ou seja, um objeto (físico ou intelectual) é complexo quando tem informação difícil de obter. A imprevisibilidade e a falta de informação nos remetem

ao acaso, ou como definimos as relações de aleatoriedade. A informação é equivalente à variedade necessária para transmiti-la. Ambas aumentam com a ampliação da complexidade. O primeiro resultado trazido pela Teoria da Informação é que a informação difere essencialmente da significação. A informação não é senão a medida da complexidade. (Moles, 1969, p 278).

De acordo com questões levantadas por Ruelle (1993), McShea (1991), Le Moigne (1990); Allen e Prigogine (1982); Christofolletti (1998); Prigogine e Nicolis (1977); Haken (1983), Ashby (1971) e Moles (1966); verifica-se que a aprendizagem é dependente do ganho de informação, e o ganho de informação só ocorre quando existe alguma incerteza no comportamento. Conclui-se que quanto mais estável o sistema, menores são as incertezas no comportamento das variáveis e menor é o ganho de informação a cada iteração; configura-se, então, a relação aleatória como a grande impulsionadora na criação de novas ordens sócio-espaciais.

Os estudos de Lorigny (1992) baseados na formalização da autonomia a partir da relação aleatória demonstram através da Teoria Estatística e do Cálculo das Probabilidades, freqüentemente utilizados, mas de maneira empírica, os fundamentos de uma base epistemológica sólida, que pode ser encontrada nos estudos da Inteligência Artificial, Sistemas Periciais, e Redes Neurais. Este autor apresenta a autonomia como um dos temas centrais da sistêmica, e sem dúvida uma das suas questões fundamentais para entendermos a auto-organização, pois para descrever uma organização, precisamos reconhecer a autonomia dos componentes sistêmicos. (E. Morin, 1980, p.100); (H.von Foerster, 1959); (H. Atlan, 1972, 1979).

A Ciência da Complexidade e a Teoria da Auto-Organização têm sido utilizadas como tratados teóricos alternativos, pois partem do princípio que podem ser utilizadas na análise dos sistemas naturais e sociais, apresentando variáveis que interagem e promovem constantes mudanças na estrutura interna desses sistemas. A complexidade e a aleatoriedade são investigadas através de um conjunto de teorias e modelos complementares apresentadas ao longo dos três capítulos de revisão bibliográfica, são elas: Teoria dos Grafos, Teoria das Redes, Modelos de Sintaxe Espacial, Probabilidade e Teoria dos Jogos, Teoria da Auto-Organização aplicada a Modelos Urbanos, Inteligência Artificial e Sociedades Artificiais.

## 4.2.1 Processos Estocásticos e Cadeias de Markov.

A teoria que explora o acaso é a teoria física das probabilidades e seus desdobramentos, a teoria dos processos estocásticos e a dinâmica estocástica, constituem a linguagem apropriada para a descrição dos fenômenos aleatórios. Elas estão apoiadas em dois conceitos fundamentais: o conceito de probabilidade e de variável aleatória. A determinação da distribuição de probabilidade que se deve atribuir aos resultados de uma experiência específica constitui-se em um problema fundamental que se deve ser resolvido pela construção de uma teoria ou de um modelo que descreva a experiência.

As cadeias de Markov são modelos de matrizes probabilísticas usadas para simular a dinâmica de sistemas no qual cada transição depende do estado imediatamente anterior. Os modelos markovianos não ignoram o passado, mas assumem que toda a informação do passado está concentrada no presente estado do sistema. A teoria das Cadeias de Markov foi desenvolvida pelo matemático Andrei Andreyevich Markov (1856-1922) em um artigo intitulado “Extension of the Limit Theorems of Probability Theory to a sum of variables connected in a Chain” (Markov, 1907 apud Balzter 2000).

O processo de Markov é um processo estocástico  $\{X_t\}$ ,  $t=0, 1, 2, \dots, n$  com espaço de estados “S” caracterizado pela ocorrência de um evento futuro dependente somente do evento que ocorreu no presente (Clarke e Disney, 1979), enquanto que uma seqüência de estados seguindo este processo é denominada de uma cadeia de Markov (Boldrini, 1980). A definição de probabilidade se faz construindo o conjunto de todos os possíveis resultados de uma determinada experiência, agrupando os em subconjuntos mutuamente excludentes. Se cada um dos subconjuntos for atribuído um número real não negativo tal que a soma deles seja igual a unidade, então estaremos diante de uma distribuição de probabilidades definida sobre o conjunto dos possíveis resultados. O conjunto de todos os possíveis resultados da variável aleatória  $X_t$  chama-se espaço de estados S de um processo estocástico. Considera-se S um conjunto finito que contenha todos os estados possíveis do processo. Uma família de variáveis aleatórias  $(X_t)$   $t \in T$  cada variável associada a um instante t possui uma distribuição de probabilidade  $f_t(x)$ .

$$P(X_{t+k} = i_{t+k} / X_{t+k-1} = i_{t+k-1}, \dots, X_t = i_t) = P(X_{t+k} = i_{t+k} / X_{t+k-1} = i_{t+k-1}) \quad (4.1)$$

$$\forall k \geq 1, k \geq 1 \text{ in } \in S,$$

A distribuição de propriedade de  $X_t$  é dada pelo vetor cujas componentes são as propriedades de ocorrência de cada estado em um dado instante  $t$ . A notação desse vetor é:

$$\pi_t = (p_0^t, p_1^t, \dots); \quad (4.2)$$

Onde  $p_i^t = p(x_t=i)$ .

O vetor  $\pi_t$  satisfaz as propriedades:

$$\sum_{i_k \in S} p_k^t = 1 \quad (4.3)$$

sendo  $p_k^t \geq 0, \forall i_k \in S$

Uma cadeia de Markov é dita estacionária ou homogênea se a probabilidade de transição é independente do tempo. A cadeia de Markov que não atende esta propriedade é denominada de não-estacionária. No caso não-estacionário tem-se uma seqüência de matrizes correspondentes às matrizes em respectivos instantes, ou seja; para  $m \geq 1$  que representa as probabilidades de transição  $m-1$  para o instante  $m$ . A distribuição de probabilidade de  $X_t$  é denotada por  $f^{(t)} = (f_0^t, f_1^t, \dots)$  e por  $f^{(0)}$  a distribuição inicial. Simplificando podemos dizer que a cadeia de Markov estacionária é um caso particular da não-estacionária (Clarke e Disney, 1979).

No estudo de cadeias markovianas é conveniente classificar os estados de modo a que se possam identificar certos tipos de cadeias para determinar os diferentes tipos de estados e as possíveis convergências de estado (Giacomelli, 1988). São as seguintes, essas definições:

(a) Suponha que o processo comece em algum estado  $j$ . Se  $k$  é um estado tal que  $p_{jk}^{(t)} > 0$  para algum  $n$ , então se diz que o estado  $k$  poderá ser alcançado do estado  $j$ . Se, além disso,  $p_{kj}^{(m)} > 0$  para algum  $m$ , o estado  $j$  poderá ser alcançado do estado  $k$ , e se diz que os estados  $j$  e  $k$  se comunicam.

(b) Se  $C$  é um conjunto de estados tal que nenhum estado fora de  $C$  pode ser atingido partindo de qualquer estado dentro de  $C$ , o conjunto  $C$  é dito como *fechado*.  $C$  tem a propriedade de que, uma vez que o processo o tiver penetrado não o

deixará mais. Se, além disso, cada par de estados dentro de  $C$  se comunicarem,  $C$  será chamado uma *classe de comunicação fechada*.

(c) Se um conjunto fechado contém somente um estado, esse estado é chamado um *estado absorvente*.

(d) Se uma cadeia Markoviana discreta não contém conjuntos fechados, com a exceção do conjunto de todos os estados, nesse caso, a cadeia é dita como *irredutível*. Uma cadeia será irredutível se todo estado puder ser alcançado partindo de qualquer estado.

## 4.2.2 Medidas de Complexidade e Auto-Organização

Muitas medidas têm sido propostas para caracterizar os diversos aspectos da complexidade dos sistemas podemos citar a Complexidade Algorítmica, Profundidade Lógica, Sofisticação, Excesso de Entropia ou Complexidade de Medida Efetiva, Complexidade Estatística, Complexidade Gramatical, e Medida da Auto-Organização Dinâmica (Mendes, 1995, 2001). Todas essas medidas envolvem grandezas associadas à estrutura probabilística do sistema dinâmico como os Expoentes de Lyapunov, Entropia de Kolmogorov-Sinai e Entropia de Shannon.

A complexidade de Kolmogorov foi formalizada por Andrei Kolmogorov (1965), Ray Solomonoff (1964) e Gregory Chaitin (1966) desenvolveram uma teoria da informação baseada no tamanho dos programas para a máquina de Turing. A complexidade de Kolmogorov é uma teoria da informação e da aleatoriedade, profunda e sofisticada que trata da quantidade e informação de objetos individuais, medida através do tamanho da sua menor descrição algorítmica. Os sucessivos estados percorridos pelo sistema a medida que ele evolui definem o seu comportamento. Os estados podem ser codificados por uma seqüência de números. Seja  $S$  a seqüência que descreve a evolução dinâmica do sistema. Seja  $M_N(S)$  o comprimento do menor programa que é capaz de reproduzir os primeiros  $N$  símbolos da seqüência  $S$ .  $M_N(s)$  inclui o tamanho do programa e o tamanho dos dados iniciais que são necessários para o programa gerar a seqüência  $S$ . Define-se então a complexidade algorítmica como o limite: (Mendes, 2001)

$$C(S) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{M_N(S)}{N} \quad (4.4)$$

Dada uma seqüência completamente aleatória, a menor descrição da seqüência é a própria seqüência, portanto a complexidade algorítmica de uma seqüência aleatória é máxima e não se pode comprimir informação. Desta forma a Complexidade Algorítmica é de fato uma medida de aleatoriedade e não de estrutura.

A noção de Complexidade Algorítmica que é aplicada sobre cada seqüência pode estar relacionada à Entropia de Kolmogorov Sinai, que é uma noção estatística que se aplica ao comportamento médio das órbitas de um sistema, sendo muitos casos coincidentes. As duas noções estão relacionadas em  $M_N(S)$ , em que  $c_1(N)$  é o comprimento da seqüência aleatória, e  $c_2N$  o comprimento dos dados,  $c_2N$  é a componente aleatória do sistema. Seja

$$M_N(S) = c_1(N) + c_2N \quad (4.5)$$

O Excesso de entropia, outra medida de complexidade, não se aplica a uma seqüência isolada, mas sim a uma distribuição estacionária de seqüências, definida a partir da entropia de Shannon. (Mendes, 2001) Shannon concebeu uma medida para medir a quantidade de variedade que uma cadeia de Markov apresenta a cada passo - **a entropia** - que se mostrou de importância fundamental em inúmeras questões relativas a transmissão incessante de informação.

Na matriz de transição de uma cadeia de Markov cada linha possui um conjunto de probabilidades que somam 1, possibilitando o cálculo de uma entropia para cada linha. Shannon define a entropia como a média das entropias das linhas (*de um passo da cadeia*), sendo cada qual pesada pela proporção na qual cada estado corresponde à linha, ocorre quando a seqüência se estabelece em seu equilíbrio. Desta forma a *medida de Shannon* permite comparar diferentes graus de variedade entre sistemas e quantidade de informação ou diminuição de incerteza através das diferentes entropias entre as mudanças das probabilidades de transição ocorridas entre um estado e outro. (Ashby, 1971)



Seja  $p_n(s_1...s_n)$  a probabilidade de observar o bloco  $s_1...s_n$  de comprimento  $N$ . Então a soma sobre todos os possíveis blocos de comprimento  $N$  de

$$H(N) = - \sum_{\{s_i\}} p_N(s_1...s_N) \log p_N(s_1...s_N) \quad (4.6)$$

dá a incerteza média (entropia) de um bloco de comprimento  $N$ . A incerteza média por elemento de seqüência será chamada de Entropia de Shannon. (Mendes, 2001)

$$h_s = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} H(N) \quad (4.7)$$

A diferença  $H(N)/N - h_s$  representa a informação adicional que é necessária para revelar a verdadeira entropia, uma vez que as seqüências possuem certas regras deterministas e certo grau de aleatoriedade. O excesso de entropia (Mendes, 2001) define-se como:

$$E = \sum_{N=1}^{\infty} \left( \frac{1}{N} H(N) - h_s \right) \quad (4.8)$$

Portanto o excesso de entropia mede a quantidade de informação que uma parte da seqüência contém a cerca da outra parte. Neste sentido é uma medida de correlação estatística e demonstra informações a respeito da complexidade estrutural da seqüência.

## 4.3 Modelos Urbanos e Auto-Organização

### 4.3.1 Antecedentes Teóricos dos Modelos de Auto-Organização

Sabe-se que, embora a representação dos sistemas complexos adaptativos tenha surgido aparentemente depois da Segunda Guerra Mundial, ela deve ser entendida como o ápice de uma ampla mudança na perspectiva científica que foi construída sobre os últimos séculos. Começando com Mettrie, fisiologista do século XVIII, com

seu ousado tratado de fisiologia “O Homem, Uma Máquina”, publicado em 1747, cujo conceito chave do sistema estava baseado na “organização”.

A luta continuou entre as concepções do mecanicismo e do vitalismo, porém com esforços periódicos para fundir os dois, enviados por estudiosos como Claude Bernard no século XIX, que abordou os mecanismos reguladores da máquina animal, apesar de serem somente exploradas suficientemente no século XX. Assim, somaram Herbert Spencer, Von Neumann, Ludwig von Bertalanffy, Anatol Rapoport e William J. Horvath; W. Ross Ashby, Donald T Campbell, Norbert Wiener, George Homans, Thomas C Shelling, George Mead, George Boole dentre tantas outras mentes consagradas e reconhecidas por suas reflexões sobre a temática do comportamento emergente, contribuindo para a Teoria da Auto-Organização.

Dentre os modelos elementares de estrutura urbana que vieram a influenciar os primeiros modelos urbanos baseados na Teoria da Auto-Organização salientam-se os ensaios teóricos e empíricos realizados na Escola de Chicago nas linhas sociológicas da Ecologia Urbana e da Psicologia Social. Os Ecologistas Urbanos mudaram a concepção de cidade que tínhamos até o início do século XX, introduziram uma visão de modelo de processo da sociedade, considerando a cidade como um sistema íntegro, ou seja, a cidade considerada como o ambiente natural da espécie humana. (Eufrásio, 1999).

Para os ecologistas urbanos a cidade é o habitat natural do homem e configura-se uma interação complexa, multifacetada e fluída, de intensidades variáveis de associação e dissociação, onde a sua representação é temporária e acumulativa. A Ecologia Urbana possui como premissa básica a de que a organização física e social da cidade parte de interações locais em nível de vizinhança, que se agrupam hierarquicamente formando grupos e comunidades dentro de uma unidade metropolitana maior. Desta forma configura-se uma estrutura abstrata do sistema, que se apresenta em constante processo de interação através da organização competitiva, onde a vizinhança é mais do que o elemento mais simples da estrutura urbana, configura-se como uma entidade que precede qualquer formação da cidade como estrutura organizada (Park, 1918 p 579-682 in Pierson, 1970).

A Teoria Ecológica conforme se verifica nas três importantes tentativas para projetar um modelo de cidade industrial: a Teoria das Zonas Concêntricas, de Burgess (1921-1929); a Teoria Setorial, de Hoyt (1939) e a Teoria dos Núcleos Múltiplos, de Harris e Ullman (1945) têm como objetivo a observação fundamental da competição como processo gerador da organização distributiva e ecológica da sociedade. A organização competitiva apresenta-se através da luta por sustento e por status e está subordinada a uma ordem moral, social e política, produto das outras formas de interação: conflito, acomodação e assimilação. Esses processos ecológicos funcionam ora como reguladores da estabilidade ora como motivadores de mudança social, e são classificados em quatro grandes tipos de interação-competição, conflito, acomodação e assimilação.

Park e Burgess definem a questão de ordem e de acomodação transitória através do processo competitivo, através da criação de uma ordem social impessoal, na qual cada indivíduo, sendo livre para perseguir seu próprio lucro, e num certo sentido compelido a fazê-lo, faz de todos os outros indivíduos um meio para aquele fim. Porém, ao fazê-lo, inevitavelmente contribui, através do intercâmbio mútuo de serviços assim estabelecido, para o bem estar comum (Pierson, 1970).

Para Burgess a desorganização urbana e social é de peculiar interesse no estudo da cidade, necessitando ser entendida como um aspecto de um processo de interação e ajustamento que eventualmente conduz à reorganização social. A teoria de Burgess (1921-1929) era uma abstração para mostrar o aspecto que a cidade teria se os transportes em todas as direções fossem bons e a competição pela terra estivesse baseada na rentabilidade econômica. Seu modelo abstrato apresenta a estrutura urbana através de cinco zonas distribuídas em círculos concêntricos, conforme demonstra figura 06. Burgess define três principais formas de organização das comunidades: a organização econômica, que inclui a distribuição do comércio e da indústria no interior de uma área urbana; a organização cultural, que inclui as formas voluntárias de associações nas comunidades, em escolas, centros sociais, igrejas e a organização política, que inclui os órgãos formais do governo.

Com base nas contribuições de seus antecessores, Hoyt (1939) busca representar a dinâmica urbana propulsada pelo processo de “sucessão” das classes de renda nos setores da cidade, formulando a sua teoria da estrutura urbana

denominada Teoria dos Setores (figura 4.2). Hoyt centraliza os seus estudos no uso do solo residencial, passando a representar a estrutura das áreas sociais da cidade através do critério da caracterização dos grupos sociais que as habitavam pelas suas categorias de renda. Este estudo constatou que no crescimento de uma cidade o movimento da área de altas rendas é o causa maior impacto na estrutura, direcionando o crescimento da cidade inteira na mesma direção (Pierson, 1970).

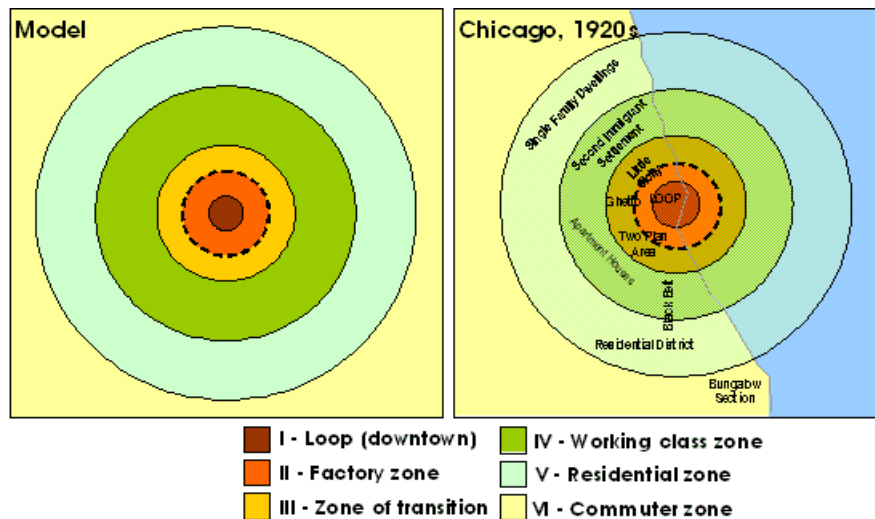


Figura 4.1- Modelo teórico de Burgess (<http://www.geographyjim.org/burgess.htm>).

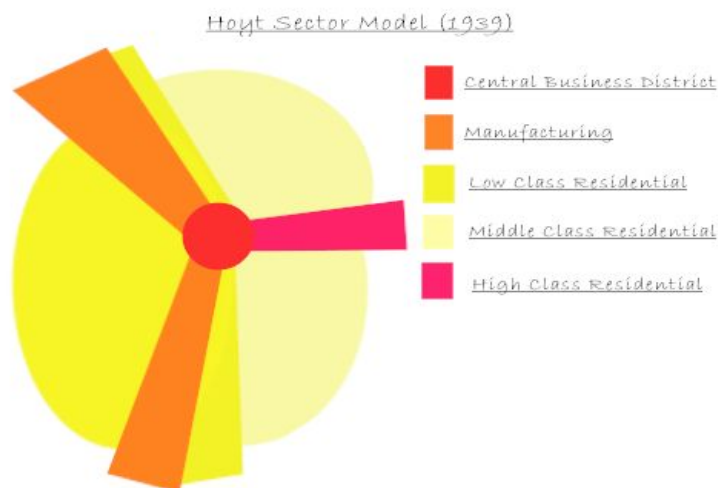


Figura 4.2-(Modelo teórico Hoyt in <http://www.geographyjim.org/burgess.htm>).

Harris e Ullmam (1945) formulam a Teoria dos Núcleos Múltiplos da Estrutura Urbana, onde destacam que, em muitas cidades, o padrão de uso se constrói não em torno de um único centro, mas em torno de diversos núcleos separados. Esta verificação foi averiguada em dois tipos de casos, a saber: no

primeiro, seriam cidades onde os núcleos existiram desde a sua origem, como no caso de Londres e, no segundo, seriam cidades que desenvolveram os núcleos a medida que cresceram, como é o caso de Chicago. Neste último caso os núcleos formaram-se a partir da migração de atratores urbanos dentro da estrutura da cidade. Harris e Ullman assinalam que as cidades se desenvolvem em padrões definidos, em resposta a necessidade econômica e social, para ele cada cidade é única no detalhe, mas se assemelha as outras em função do padrão.

Verifica-se que os modelos ecológicos são na sua maioria sob enfoques econômicos e sociais, estabelecendo hipóteses a respeito do comportamento humano, assim como sobre o modo como os homens relacionam-se com o seu meio. Os modelos de zonas concêntricas de Burgess, os setores de Hoyt e os núcleos múltiplos de Ullman abordam originalmente o problema essencial da idéia mental que o homem tem do seu meio e o seu papel na organização do espaço urbano (Bailly, 1973).

São muitas críticas direcionadas a Teoria Ecológica da cidade, desde as relacionadas à incapacidade de analisar os aspectos culturais, não incluindo a distinção entre os fenômenos conscientes e inconscientes, até aquelas que argumentam à definição da estrutura espacial da cidade prescindindo os processos ecológicos (Eufrásio, 1999). Mas não se pode negar que a Teoria Ecológica marcou uma nova visão da cidade, e desencadeou o entendimento de processo dentro do fenômeno urbano, através da inovadora tentativa de tratar as ciências naturais e sociais de forma conjunta, representando as interações sociais por meio de processos ecológicos, tais como: cooperação, competição, assimilação, adaptação e conflito. Acreditamos que esta tentativa conceitual colocou a visão ecológica como precursora no entendimento do fenômeno urbano como um sistema complexo adaptativo, capaz de se auto-organizar. Verificam-se citações aos estudos de Ecologia Urbana em várias publicações de interesse para a temática investigatório da organização do sistema urbano, pode-se citar dentre outras: Buckley (1971), em “A sociologia e a Moderna Teoria dos Sistemas”; Deal and D.Fournier (2001), em “Evolution of Urban Systems”; Buzai (2003), em “Mapas sociais Urbanos”; Batty (1994), em “Fractal Cities”; e Portugali (1997), em “Spatial Dissonance And Sociospatial Emergence” em Self-Organizing City.

Apesar da utilização da probabilidade do uso sendo uma função da distância do centro ter sido iniciada como padrão a partir de Alonso (1964), influenciando a Teoria Econômica, de alocação e estrutura urbana, de transporte e Geografia Humana ela já havia sido apresentada pela Teoria Ecológica Urbana. Este modelo orgânico básico pode ser encontrado nos modelos de auto-organização, com o crescimento a partir de um centro, e a partir daí, o crescimento dá-se em anéis. Este crescimento é distorcido por linhas radiais que crescem mais rápido, formando uma estrela, desde que não haja barreiras naturais ou artificiais, este esquema básico é demonstrado na figura 4.3.

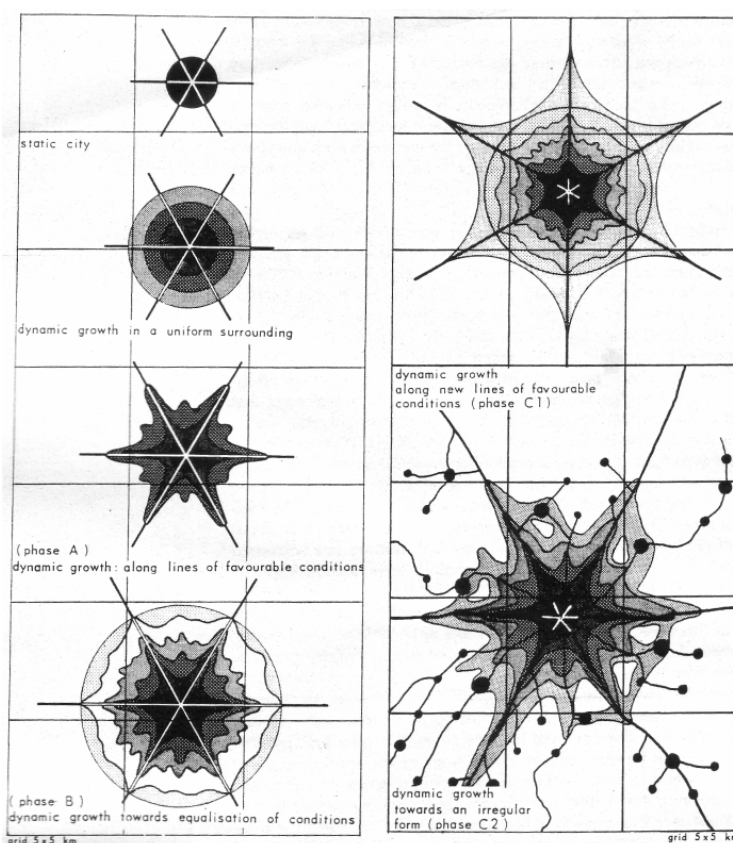


Figura 4.3- Esquema de abstração do real crescimento da cidade (Doxiadis, 1968 in Batty,1994, p.34))

### 4.3.2 Modelos Urbanos do tipo Celular Autômato

Os modelos urbanos, assim como os existentes em outras áreas das ciências aplicadas (ecologia, geografia, epidemiologia, etc), surgiram no final dos anos 1950 com o desenvolvimento dos computadores e com a revolução quantitativa nas ciências sociais (sociologia, geografia, economia, ciências políticas e planejamento

urbano). A primeira linhagem de modelos pode ser definida como genuinamente quantitativos e compartimentalizados (*planejamento de transporte e mercado imobiliário*), surgidos a partir da década de 1970, e, até meados dos 1980, seguiu-se uma geração de modelos com abordagens mais integradoras, considerando os aspectos de uso do solo, planejamento de transportes, mercados de trabalho etc.

Na década de 70 surge o primeiro modelo baseado em celular autômato (CA) e em sistemas geográficos com o trabalho de Waldo Tobler, com o artigo “*Cellular Geography*”. Modelos pioneiros, como o de Tobler 1979, ou o modo comportamental de empreendedores imobiliários para los Angeles (Couclelis, 1985), apresentavam caráter integralmente pedagógico, pois embora baseados em casos reais, destinavam-se meramente a indagações teóricas afeitas às cidades de estudo. O conceito de autômato celular já havia sido introduzido primeiramente por Stanislaw Ulam e John Von Neumann no final dos anos 1940. Von Neumann procurava uma relação entre a emergente teoria dos autômatos e a biologia, pois acreditava que uma teoria geral de computação em redes complexas de autômatos seria essencial para o entendimento de sistemas complexos da natureza e também para o desenvolvimento de sistemas artificiais complexos. Fundamentalmente modelos de CA simulam processos de mudança ou crescimento, baseados nas premissas de vizinhança estritamente locais, onde as transições ocorrem única e simplesmente em função do que acontece na vizinhança imediata de cada célula.

Seja

- L um reticulado regular (L são chamados de células),
- S um conjunto finito de estados,
- N um conjunto finito (de tamanho  $|N| = n$ ) de índices vizinhos tal que para todo r em N e todo c em L: r+c está em L.
- f:  $S^n \rightarrow S$  uma função de transição.

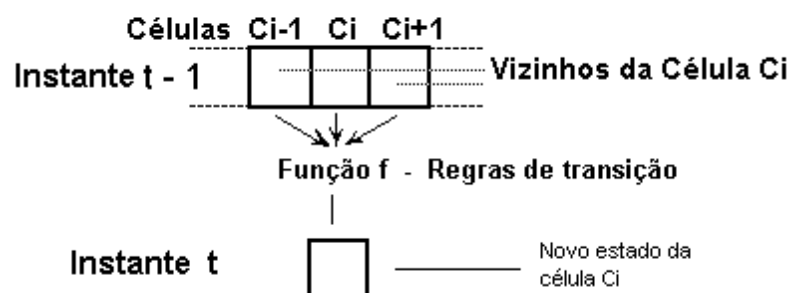


Figura 4.4 - Esquema regras de transição em modelos celulares

Neste sentido, inexiste ação da distancia, pois a dinâmica inerente aos autômatos, que produz fenômenos emergentes a nível global, é inteiramente um produto de decisões locais, as quais desconsideram tudo o que se passa além da vizinhança reconhecidamente imediata (Batty, 1997). Com o passar do tempo, a crescente atratividade dessas abordagens de um lado, e o enorme interesse por SIG de outro, levaram a uma profusão de modelos de autômatos voltados a aplicações práticas em questões urbanas. Em decorrência, o princípio da observância da vizinhança estritamente local em CA foi inevitavelmente flexibilizado, e os modelos decorrentes são denominados como modelos celulares ou de espaço celular e não como modelos autômatos celulares. Na figura 4.5, as células de cinza escuro estão representando as vizinhas da célula preta. (e  $r$  é o raio da vizinhança)

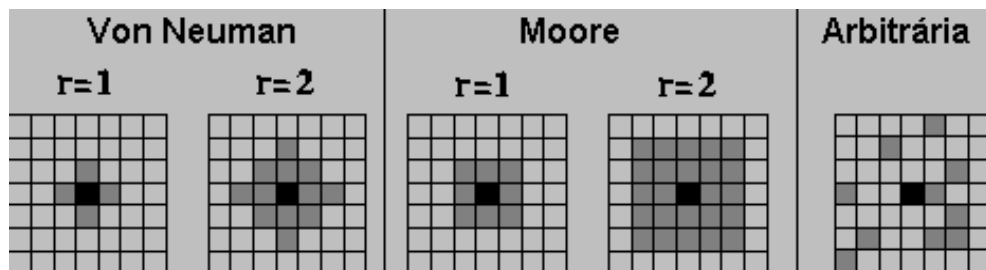


Figura 4.5-tipos de vizinhanças em Modelos do tipo Autônomos Celulares

No final da década de 1980 com o refinamento matemático e do instrumental computacional, as iniciativas integradoras de diferentes dimensões de crescimento urbano tomaram força ancorada pelo aporte dos conceitos de autômatos celulares. Os modelos autômatos celulares encontram ampla aplicabilidade (ecologia, biologia, hidrologia, etc) devido ao fato de permitirem abstrações de fácil manuseio computacional e matemático, com capacidade de simular as dinâmicas encontradas nos fenômenos emergentes.

Muito embora as propostas iniciais para a utilização de autômatos celulares, em modelagem urbana, tenham enfatizado o seu uso pedagógico para demonstração de padrões globais emerge de ações locais, um número crescente de modelo tem sido desenvolvido visando outros tipos de experimentações, tais como parâmetros fractais, teoria do caos, auto-organização e as investigações de caráter prático.

Os estudos urbanos e regionais têm como precursores na utilização da Teoria da Auto-Organização os seguintes modelos: Cidades Dissipativas de Allen



(1985), Cidades Sinérgicas de Haken (1983, 1987) Dendrínos & Sonis, (1990), Cidades Fractais de Batty & Longley (1994), Cidades IRN de Portugali, Benenson & Omer (1997). Sem entrarmos nas particularidades desenvolvidas em cada modelo na geração de regras para a simulação, o que podemos observar em todos esses modelos é o princípio básico da auto-organização: a interação local gerando um comportamento emergente a nível macro, regras locais levam a uma estrutura global - mas uma estrutura não necessariamente previsível a partir das regras.

A teoria de Prigogine e Nicolis (1977, 1985), sobre estruturas dissipativas, baseia-se nas leis de evolução, que englobam a mudança e o determinismo do sistema de modo quantitativo e qualitativo, enfatizando a dependência da origem e do destino dos fluxos de energia e matéria ao seu redor para determinar a ordem do sistema. Estas estruturas podem ser caracterizadas em dois tipos de comportamento: o sistema apresenta uma trajetória estável com mudanças inevitáveis ao longo do tempo, ou o comportamento é de escolha diante da bifurcação ocasionada pelas mudanças de regras, podendo ocorrer, como consequência, uma modificação qualitativa da estrutura.

A teoria geral de Prigogine foi adaptada ao estudo das cidades por Allen (1985), através de um modelo que possui a sua base dinâmica no movimento da população e das atividades, influenciados pela demanda interna gerada pelos centros do sistema, pela demanda externa ao sistema e por fatores exógenos. O modelo provoca o surgimento de uma hierarquia de centros urbanos a partir das migrações populacionais e de atividades entre centros, gerando crescimentos desiguais e um processo evolucionário hierarquizado.

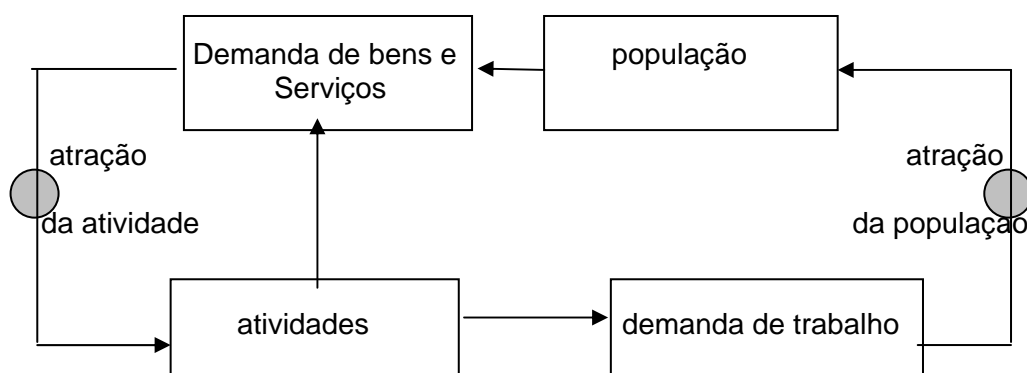


Figura 4.6 - Esquema Modelo Allen

A Teoria Sinérgica de Haken (1983, 1987) baseia-se na inter-relação, interação e sinergia entre as variáveis para definir a organização do sistema, ou seja, o as partes dos indivíduos e subsistemas relacionam-se com o ambiente e geram a estrutura global. Este modelo tem a competição/cooperação entre os agentes como o gerador de padrões no sistema e a interação entre agentes ocorrem até que um grupo de agentes representando determina parâmetro escraviza os demais gerando uma ordem. Esta ordem representa a estabilidade do sistema e define o princípio básico do modelo chamado de Parâmetro de Ordem. O Parâmetro de Ordem controla o comportamento na escala micro espacial e define o macro estado do sistema.

Batty & Longley (1988) demonstram o crescimento urbano em estruturas fractais, através de simulações utilizando sistemas de pontos gerados a partir de um ponto central com circulação difusa. A geometria fractal é capaz de prever o crescimento por meio de simulações de formas geométricas e regras de mudança simples, no entanto são capazes de criar formas extremamente complexa com a seqüência de interações. Este modelo considera uma região circular limitada com uma única partícula-semente fixa no centro, novas partículas são lançadas aleatoriamente em um tempo limite, até configurarem o raio máximo de crescimento.

No processo de agregação por difusão limitada, relações de escalas podem ser estimadas por um sistema espacial de objetos individuais, no qual pontos centrais podem ser identificados, e a com forma resultante é do tipo dendrítica conforme se pode verificar na figura 4.7. Batty & Longley, (1994) demonstram em suas simulações que as estruturas fractais surgem a partir de processos isolados, produzindo padrões morfológicos que se estendem até a macro escala (figura 4.8).

Os estudos das estruturas fractais demonstram similitude não só entre as escalas, mas também em relação a cada momento do processo de desenvolvimento, estabilidade e crescimento dos núcleos urbanos e regionais. Batty e Longley demonstram claramente a auto-organização dos padrões morfológicos definidos geometricamente a partir das interações locais

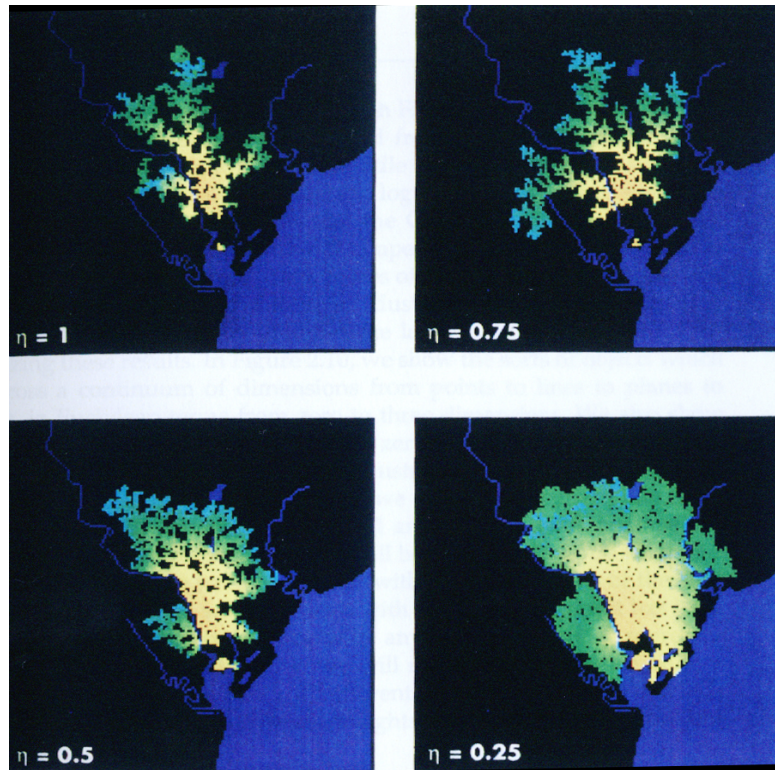


Figura 4.7 - crescimento da geometria fractal ( in Batty, 1994, fig 8.6).

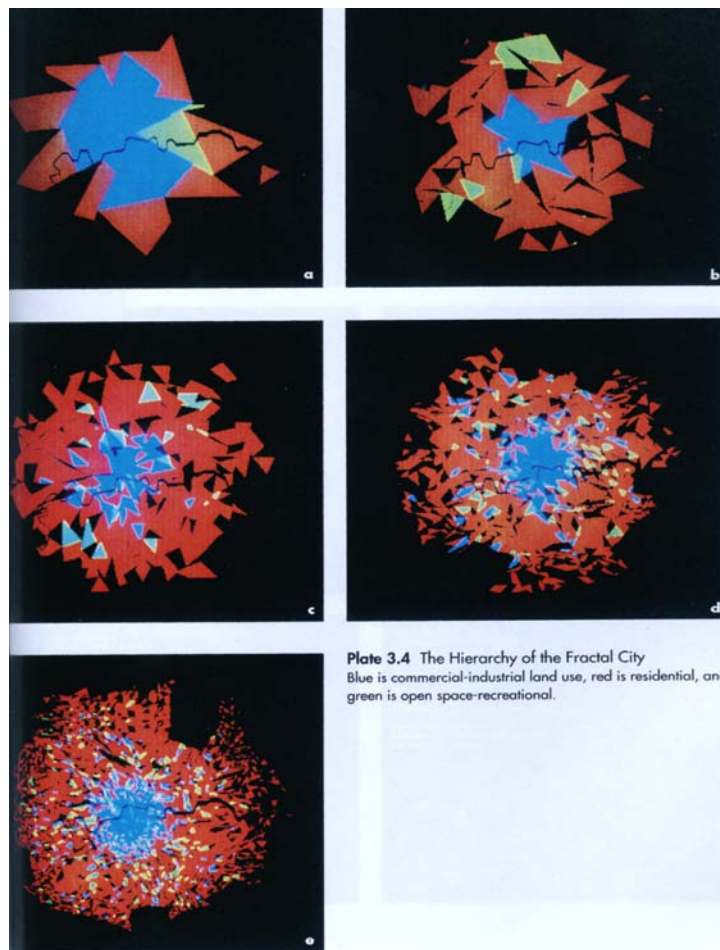


Figura 4.8 -Auto-organização dos Padrões Morfológicos (Batty, 1994, fig3. 4).

.Estes modelos de DLA permitiram a inserção de novas variáveis definindo outras pesquisas, como por exemplo, a clara relação destes modelos à teoria de auto-organização, que produzem padrões morfológicos definidos geometricamente a partir de regras locais de interação. Nos modelos de auto-organização o sistema é representado somente a partir de pontos com atributos, ou seja, volume. A expressão básica que fundamenta o modelo celular autômato (CA), formulada originalmente em 1987 por Toffoli and Margolus é a seguinte:

$$S_{\alpha}^{t+1} = f \left[ S_{\alpha}^t, U \left( S_{\alpha}^t \right), B^t \right], \quad (4.9)$$

$S_{\alpha}^t$  é o estado de uma célula  $\alpha$  no tempo  $t$   
 $U \left( S_{\alpha}^t \right)$  é o estado de uma vizinhança de  $\alpha$   
 $B^t$  é um atributo referente ao sistema como um todo.

Nesta mesma linha podemos citar os estudos de Dendrinis & Sonis, (1990), que utilizaram o princípio da competição para definir o comportamento micro-espacial e construir o macro padrão sócio-espacial. A equação básica do modelo descreve a variação de renda per-capita e a cota de população em um centro urbano, em relação a cota de população e renda geral do sistema. O crescimento da renda per-capita da cidade é limitado pelo tamanho da população e, por outro lado, o crescimento da população é estimulado pelo crescimento da renda e limitado pelo tamanho da população da cidade.

Portugali, Benenson & Omer, (1997) fundamentam a teoria “*Inter-representation network – IRN*” no princípio geral do autômato celular e da sinérgica. O modelo busca representar a formação de padrões sócio-espaciais urbanos através da competição de diferentes grupos sociais pela apropriação do mesmo espaço. A inovação de Portugali esta na exteriorização do processo cognitivo, que se materializa nas ações dos indivíduos sobre o ambiente.

A abordagem dos processos cognitivos que conduzem a percepção é absorvida das teorias comportamentais, especialmente nos estudos de Gibson 1966, Vygostsky 1978 dentre outros. O resultado da disputa dos vários grupos sociais pelo mesmo espaço é definido a partir da competição de vários parâmetros, até que um consegue levar o sistema a ordem, através da escravização dos demais resultando na estabilização.

*“O parâmetro de ordem não apenas determina a macro estrutura do sistema, mas também governa o comportamento espaço-tempo de suas partes. Vencendo a competição, o parâmetro de ordem escraviza as muitas partes do sistema em seus comportamentos específicos de espaço tempo. Este é o teorema básico de sinérgica e é chamado de princípio de escravidão” (Portugali, 1997)*

Krafta 1996/1998 desenvolve um modelo baseado na teoria da auto-organização – *Cidades Auto-Construídas* que procura representar o processo de transformação da base espacial de uma cidade. Krafta, 1998 aponta a cidade como um fenômeno que parece emergir da Teoria da Auto-Organização, e que:

*“... sugere possuir uma dinâmica complexa, porém não aleatória; múltipla e cambiante, porém não completamente imprevisível. A percepção de que haveria parâmetros de ordem subjacentes à complexidade oferece a possibilidade de investigação do processo de formação de padrões urbanos” (Krafta, 1998).*

O modelo de Krafta (1998) considera um estado inicial (a cidade no *tempo zero*), e um conjunto de agentes (promotores imobiliários) que constantemente avaliam as oportunidades de produzir lucro imobiliário, que descobrem ou inventam localizações urbanas que maximizem a renda. O sistema se baseia num conhecimento local cuja autoconstrução desenvolve-se através da modificação do sistema de oportunidades identificadas no início das iterações. Dessa forma, a cada nova iteração o estado inicial é modificado localmente desencadeando o reconhecimento da melhor oportunidade de lucro imobiliário. O modelo permite investigar a formação de padrões morfológicos intra-urbanos gerados por ações de agentes individuais baseadas em regras locais. (Krafta, 1998)

A partir da década de 90 torna-se mais freqüente a incorporação de bases ambientais, socioeconômicas e políticas aos modelos urbanos de autômatos celulares, através de equações iterativas, que incorporadas ao ambiente de GIS, possibilitam a simulação de fenômenos espaço-temporais (Burrough,1998),articulando diferentes escalas de análise micro e macro espaciais, como: a intramigração e segregação social (Portugali et al.,1997), a otimização locacional de atividades comerciais (Bena, 1997), a expansão da malha viária (Batty

e Xie, 1997), o crescimento urbano (Clarke et al, 1997) e transições de uso do solo urbano (Philips e Langlois, 1997; White e Engelen, 1997 e White et al, 1998).

Especialmente em termos de modelos celulares voltados à simulação de mudanças de uso do solo, há inúmeras variações no que tange ao ajuste de mecanismos de simulação e os dados de entrada, podendo ser identificadas três abordagens distintas. A primeira diz respeito aos modelos mais tradicionais, que variam desde modelos de micro-escala (Coclelis, 1997), multi-escala que incorporam efeitos de variáveis exógenas como àquelas desenvolvidos por White e Engelen (1993, 1997,1998) para cidades americanas, onde parâmetros de modelagem são dimensionados a partir de equações determinísticas envolvendo os dados existentes em cada caso.

A segunda abordagem, de forma contrária, parametriza os modelos por meio de procedimentos heurísticos, através de análise comparativa entre diferentes resultados preliminares de simulação. Essa linha foi seguida por Clark et al (1997, 1998) nos vários modelos de crescimento de regiões metropolitanas nos Estados Unidos. Finalmente, a terceira abordagem constitui-se em um dos mais promissores métodos de parametrização, pois é totalmente voltada aos dados disponíveis nas aplicações de estudo, mas se utiliza de procedimentos contemporâneos para o ajuste de padrões, tais como redes neurais (WU, 1998; LI e YEH, 2000) e aprendizado evolucionário, ou algoritmos genéticos.

Marina Alberti (2000) procura explicitar em seu modelo a dinâmica do ecossistema urbano através das diferentes pressões do processo urbano sobre o ambiente e seus diferentes níveis de impactos sobre o ecossistema. O modelo considera o desenvolvimento urbano como o maior determinante da estrutura do ecossistema através da sua significativa influência sobre o ecossistema natural através da conversão do uso do solo e transformação da paisagem, do uso de recursos naturais, gasto e emissão de energia. O ecossistema urbano configura-se como um conjunto de subsistemas intrinsecamente dependentes em diferentes níveis espaço-temporais de análise. Os subsistemas que compõem a dinâmica espacial são, de um lado, os processos socioeconômicos e, de outro, os processos biofísicos.

Alberti considera a cidade como um ecossistema urbano, que envolve subsistemas interconectados como o social, econômico, institucional e ambiental, cada um representando um sistema complexo afetando os demais ao nível estrutural e funcional, inovando na abordagem dinâmica inter-relacional entre o conjunto dos subsistemas envolvidos, que, até então, a maioria dos modelos representava a população através de cenários estáticos do uso do solo e atividades econômicas. A figura 4.9 demonstra de forma esquemática a integração destes subsistemas.

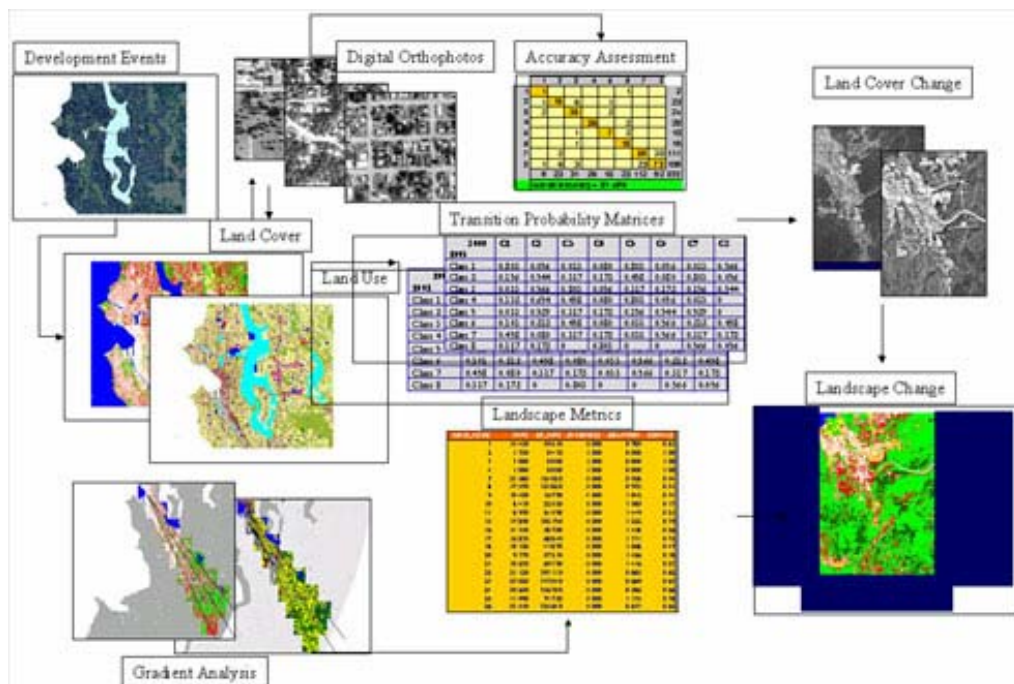


Figura 4.9 –Modelo Alberti e Waddell (2000) in "An Integrated Urban Development and ecological Simulation Model. <http://www.iauav.unive.it/stratema/cupum/pdf/E10A>

## 4.4 Conclusões

Os capítulos dois, três, e este apresentam os encaminhamentos teóricos para cumprir os objetivos propostos, testar as hipóteses de estudo e fundamentar o desenvolvimento do modelo de exploração do fenômeno de alocação das unidades de forma construída. Este último capítulo de revisão teórica subsidia a interação entre as relações comportamentais e estruturais do fenômeno de estudo, apresentando conceitos e medidas de complexidade, assim como modelos urbanos voltados à investigação da auto-organização urbana.



Verifica-se que nos modelos clássicos da geografia urbana e economia, assim como na ecologia urbana os modelos apresentam os padrões de uso do solo através de zonas, e este modelo orgânico acaba se repetindo em modelos urbanos baseados na Teoria da Auto-Organização, onde cada pixel representa um conjunto de unidades de forma construída e atividades. O fenômeno de alocação ocorre em nível de desagregação espacial do lote urbano, uma vez que a dinâmica de conversão de um tipo de unidade construída para outro ocorre em diferentes escalas temporais dentro da interdependência espacial do lote na rede espacial. Busca-se através da exploração da aleatoriedade envolvida entre o sistema de ações e objetos reconhecer o padrão de alocação das unidades de forma construída e atividades na rede espacial e temporal. A investigação da aleatoriedade no fenômeno de alocação espacial ao longo do tempo esta fundamentada na articulação das relações estruturais e comportamentais estabelecidas neste sistema híbrido (sistema de objetos e ações).

A desagregação espacial da unidade de forma construída na escala do lote apresenta de um lado, a necessidade de um grande banco de dados com possibilidade de armazenamento, visualização tanto das informações como dos resultados gerados, mas por outro possibilita a investigação pontual dos processos de competição, cooperação e assimilação entre as variáveis do sistema, o que até então era representado através de transformações e crescimento em um conjunto de unidades de forma construída e atividades contidas no mesmo pixel. A investigação pontual do fenômeno de transformação das tipologias funcionais permite a identificação da formação de zonas de transição, homogêneas e heterogêneas, assim como o lote e/ou as vizinhanças com maior ou menor possibilidade de mudança, demonstrando de forma mais realística a dinâmica espaço-temporal do processo investigado.

Dentro do enfoque da Teoria da Auto-Organização, Portugali (1996) argumenta que os sistemas complexos em estados estáveis seriam governados por um ou mais parâmetros de ordem, que podem se referir à estrutura macroscópica do sistema quanto ao comportamento microscópico dos entes sistêmicos. No caso da alocação das diferentes tipologias funcionais pode-se inferir que a ordem espacial converge a partir do comportamento repetido de determinada coletividade, que



originalmente é gerada de forma aleatória e que se fortalece configurando um padrão comportamental ao longo do tempo. Seguindo a argumentação de Portugali (1996), este estudo procura explorar a emergência de padrões espaço-temporais de alocação capazes de direcionar o sistema para a estabilidade. Tal procedimento parte da descrição de padrões espaciais macroscópicos a partir de do comportamento dos entes do sistema na escala micro espacial.

Assim a construção metodológica da exploração da emergência de padrões considera a ação, mesmo que realizada de forma autônoma, pertencente a uma coletividade com motivações e necessidades próprias que quando estabelecida sobre a rede espacial se inter-relaciona com outras entidades com motivações e necessidades diferenciadas, gerando a partir de cada interação novos estados e externalidades de vizinhanças. As regras comportamentais são estabelecidas a partir de possibilidades de alocação espacial que não implicam em um comportamento homogêneo no contexto das possibilidades de alocação uma vez que as vizinhanças são particularizadas e os arranjos possíveis são bastante numerosos. O capítulo que segue apresenta a proposta metodológica para a investigação e exploração do fenômeno de transformação das unidades de forma construídas e as atividades, detectando tanto o comportamento determinista como o aleatório e padrões sócio-espaciais decorrentes desses processos. A investigação das escolhas locacionais urbanas e a interpretação dos padrões oriundos no sistema buscam revelar as relações escondidas na organização sócio-espacial da cidade ao longo do tempo.

# CAPÍTULO 5

## METODOLOGIA

### 5.1 Introdução

A metodologia proposta para a investigação da dinâmica das transformações das unidades de forma construída e atividades esta fundamentado nas temáticas da *abordagem Sistêmica, da Teoria da Complexidade e Auto Organização* apresentados nas definições Prigogine (1977), Batty (1994, 2005), Portugali (1996) e Krafta (1998). Desta forma o modelo desenvolvido é construído sobre bases teóricas, mas é de caráter empírico e do tipo exploratório, centrado na investigação das *relações aleatórias (possibilidades de alocação)* envolvendo a interdependência *estrutural (localização espacial do lote e de seus vizinhos na rede urbana)*, e *comportamental (ação sofrida ao longo do tempo)* entre tipos de estoques e o sistema total.

O processo de extração das regras de transição responsáveis pela configuração de padrões espaços-temporais envolve a identificação das *relações estruturais* da rede espacial e as *relações comportamentais* ao longo do tempo, considerando a conversão de estados nos lotes urbanos no decorrer de diferentes períodos temporais, relacionadas a uma mesma rede espacial. As *relações estruturais* são construídas com base na Teoria dos Grafos e suas aplicações nos estudos de morfologia urbana encontradas nos Modelos Configuracionais e de Redes. As bases das *relações comportamentais* foram obtidas a partir de conceitos básicos dos Modelos comportamentais e das suas aplicações em Sociedades Artificiais.

O modelo exploratório parte de uma base do tipo celular e heterogênea, permitindo um número variável de vizinhos. Primeiramente o modelo descreve o comportamento de diferentes tipos de estoques construídos em relação a suas vizinhanças imediatas e em relação à organização interna do sistema. Posteriormente utiliza-se o método de predição do tipo extrapolatório, buscando obter a quantidade dos diferentes tipos de estoques a serem alocados, especificando quantos e quais tipos serão removidos, adaptados e construídos. Somente então, utiliza-se o programa ArcView 3.3 GIS para espacializar as regras de transição obtidas através do modelo descritivo.

## 5.2 Modelo Conceitual

Para explorarmos a geração de padrões espaço-temporais emergentes do fenômeno de alocação dos estoques construídos, parte-se primeiramente, do conceito de espaço definido por Santos (1999). Este conceito refere-se ao espaço como um sistema híbrido composto por um sistema de objetos e um sistema de ações. Estendendo este conceito para o fenômeno da dinâmica locacional dos estoques construídos temos: um sistema de objetos representado pelos lotes urbanos e seus estados tipológicos (unidades de forma construída e suas atividades =tipologias funcionais); e um sistema de ações (permanências, adaptações e mudanças) sobre o sistema de objetos ao longo do tempo.

A dinâmica da alocação espacial e da transformação dos estoques é impulsionada pela ação da sociedade, que julga a utilidade do objeto (*tipologia funcional*) e a seu desempenho funcional e estrutural em relação ao tempo e ao espaço no qual se insere. Assim a sociedade define de acordo com as qualidades técnicas, ambientais, culturais e econômicas a utilidade tanto estrutural como funcional do objeto em determinado período de tempo, resultando na sua permanência, mudança ou adaptação.

O sistema de objetos representa o corte espacial e de certa forma estático, ou seja, o estado do sistema, enquanto que o sistema de ações representa o corte temporal, ou seja, a ação realizada sobre o estado do sistema em determinada escala temporal. A articulação entre os dois sistemas realiza a dinâmica

investigatória através de uma relação circular envolvendo probabilidades de permanência e mudanças dos estoques construídos. Para explorar o fenômeno locacional urbano e operacionalizar a articulação entre o sistema de objetos e de ações, definem-se as relações estruturais e comportamentais que capacitam a conexão entre os dois sistemas. As relações estruturais representadas pela rede física do espaço e pela relação topológica entre os objetos, situam os objetos na escala espacial, tanto local (vizinhança) como sistêmica. As relações comportamentais (cooperação e assimilação) ou de conflito (competição) são responsáveis pela rede de ações (permanências, adaptações, mudanças) entre as características formais e funcionais dos estoques construídos.

A fundamentação teórica referente às relações estruturais está representada pela Teoria dos Grafos e as suas aplicações em Modelos de Rede e nos Modelos Configuracionais Urbanos. Estas relações permitem a investigação da estrutura formal e funcional entre os entes de um sistema no nível da vizinhança sem perder a visão do contexto global. Já a base teórica referente às relações comportamentais, centraliza-se na conceituação dos processos de motivação do comportamento encontrados nos estudos do comportamento e Inteligência Artificial. Dentro deste grande esquema formado pelas relações estruturais e comportamentais, configurando o sistema de objetos e o de ações está o foco central da dinâmica processual, a relação aleatória.

A relação aleatória como conceito definidor da autonomia pode ser encontrado em Lorigny (1992) que a partir da Teoria Estatística e do Cálculo das Probabilidades fundamentou a existência de uma base epistemológica sólida, que pode ser encontrada nos estudos da Inteligência Artificial, Sistemas Periciais, e Redes Neurais. Lorigny (1992) conceitua o comportamento autônomo através de estudos da relação aleatória que se manifesta entre um sistema autônomo (sistema coletivo) e o seu ambiente, o seu exterior.

O meio exterior é definido como um mundo personalizado, um ambiente estruturado pelas motivações e necessidades de cada ser autônomo e não existe senão para ele. Já o meio interior tem a sua liberdade de ação condicionada pela ação dos outros, mesmo que o mundo externo seja um subconjunto das suas possibilidades de ação estas se cruzam com as possibilidades de ação de outros

meios exteriores e o um único meio interior (que representa as variáveis no sistema total), constituindo a aleatoriedade do sistema.

A Rede de Inter-Representação (Inter-Representation Network – IRN de Portugali, 1996) contribui para definição do modelo conceitual justamente na questão referente à representação do sistema de ações no sistema de objetos, e vice versa. Portugali sugere uma rede cognitiva composta por “*ambiente interno*” (indivíduo) e “*ambiente externo*” (ambiente), nesta proposição, a parte interna corresponde aos processos pelos quais o ambiente externo é codificado, mantido e promovido pelo indivíduo, ou seja como o ambiente externo é interiorizado pelos indivíduos.

A parte externa da rede refere-se a *exteriorização* do “*ambiente interior*”, ou seja ao modo pelo qual o “*ambiente interno*” é mantido, representado e promovido no “*ambiente externo*”, desta forma o ambiente externo é o conector no processo de cognição. Os elementos mediadores do processo de cognição estão representados no ambiente e são absorvidos pelos indivíduos em processo de interiorização, onde o ambiente externo é interiorizado, e o interno materializado em uma contínua interação.

As duas definições são complementares, Lorigny (1992) define um mundo personificado criado pelo meio interior, e Portugali (1996) considera o mundo externo como uma externalização da memória, nos dois casos o mundo externo é um subconjunto do sistema particularizado pelo ente que com ele interage, onde existe um circuito de troca de informação e de materialização das possibilidades de ação.

Com base nestas definições investigamos a relação aleatória entre o estado do lote (tipos de estoque) e o estado de sua vizinhança (conjunto de tipos de estoques). É justamente neste circuito central, que se define a autonomia do lote dentro do sistema total (*ambiente interno*) em relação a sua vizinhança (*ambiente externo*), através das relações de aleatoriedade geradas na interação entre os dois ambientes durante o processo de alocação espacial.

A análise conjunta das relações estruturais dos componentes espaciais e das relações comportamentais dos componentes no tempo permite a revelação de padrões urbanos em cortes espaciais e temporais, possibilitando a identificação da autonomia de cada componente dentro da interdependência sistêmica. A troca de informação do meio interior e exterior ocorre a cada interação e é representada pelo conjunto de ações ocorridas a cada corte temporal, demonstrando o nível de aleatoriedade envolvida nas alocações espaciais.

A investigação da dinâmica locacional é operacionalizada em três etapas, a primeira investiga as possibilidades de permanência e/ou transformação das tipologias funcionais inferindo a respeito da evolução tipológica do sistema. Esta investigação define o que chamamos de matriz do lote (*meio interior*) e descreve o tipo de processo evolutivo dos estados de cada lote no sistema. (figura 5.1).

Define-se, então, que todo o estado tipológico possui um tipo de comportamento podendo ser designado como um sistema autônomo. Cada estado tipológico possui uma identidade dentro do sistema total, caracterizando um subsistema particularizado com preferências e limitações locacionais próprias configurando um ambiente único-comum aos pertencentes ao mesmo estado tipológico, configurando uma coletividade tipológica.

A relação aleatória manifesta-se entre um sistema autônomo (coletividade tipológica) e o seu ambiente personificado (vizinhança tipológica). A definição da matriz do *meio interior* e *exterior* compõe a autonomia de cada estado tipológico dentro do sistema total, inter-relacionado com os outros estados tipológicos e pautado nas suas necessidades e limitações, definidas pela configuração de um meio exterior particularizado para cada coletividade tipológica.

A construção de vários subsistemas particularizados (meio exterior), um para cada meio interior, como sendo a extensão das necessidades, vontades e possibilidades de cada uma das coletividades, que se cruzam dentro do sistema produzindo várias possibilidades de saída, de acordo com a autonomia de cada coletividade em relação ao sistema. (figura 5.2)

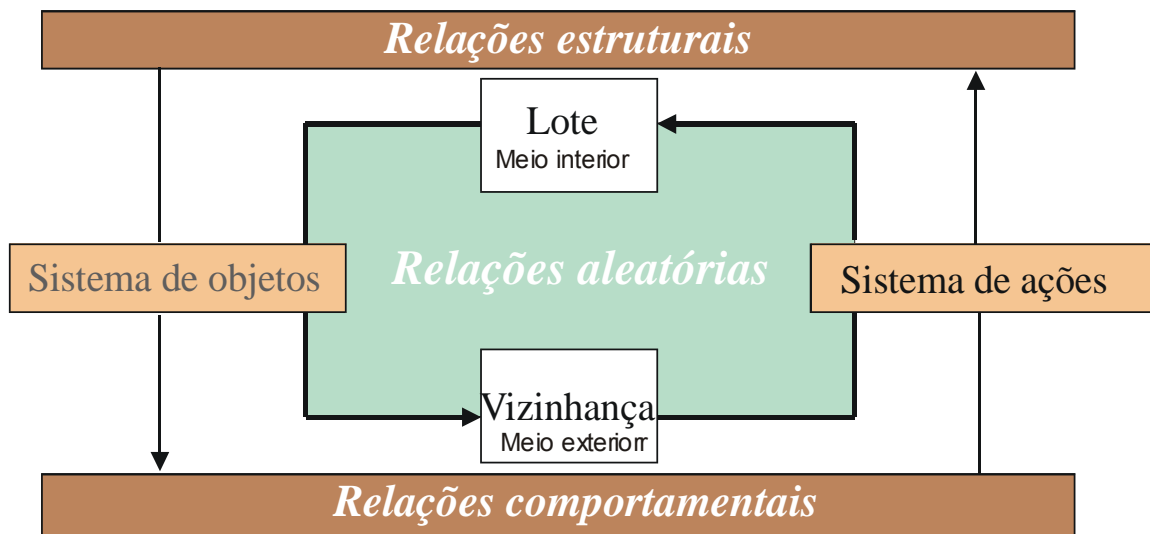


Figura 5.1-Esquema do Modelo Conceitual

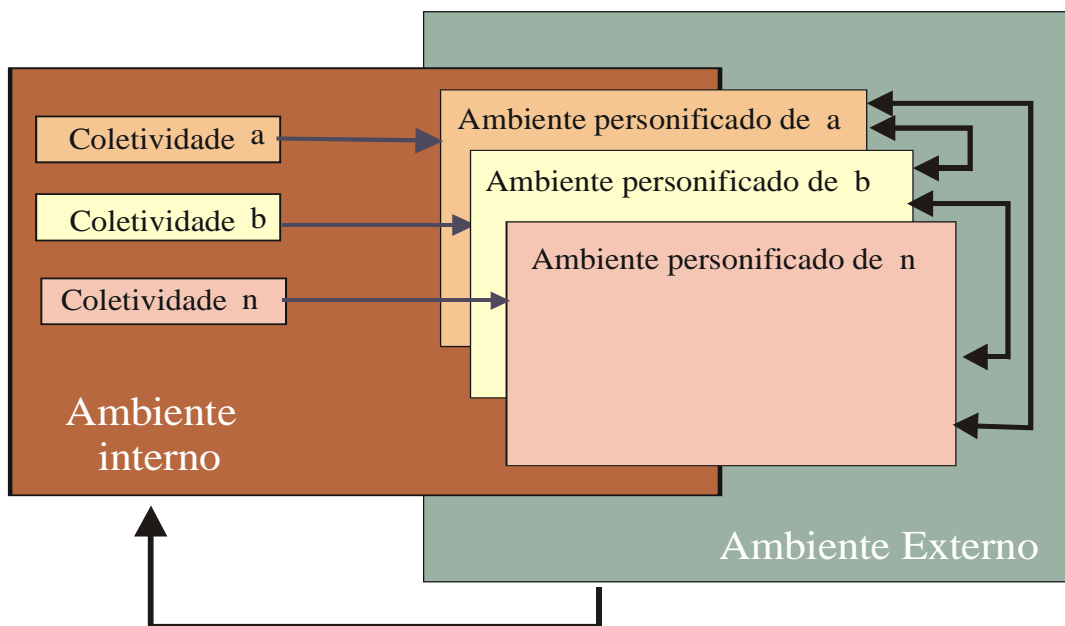


Figura 5.2-Esquema relacional do Meio Interior e Exterior.

O meio externo (vizinhança) refere-se sempre a um estado presente, representando a materialidade das possibilidades de escolha locacional obtidas a partir do cruzamento dos subsistemas externos particularizados, que são tantas quantas forem as coletividades. O meio interior contém a memória fisiológica da coletividade, isto é o histórico da sua existência no sistema, nela estão expressos o conjunto de possibilidades de transição de um estado tipológico para os outros.

Articulando as duas visões, através de uma probabilidade condicional entre o meio interior e as possibilidades de escolha dentro do meio exterior construímos um sistema com subsistemas particularizados para cada coletividade tipológica, configurando um ambiente interno e outro externo que se complementam a cada iteração.

Neste contexto, o estado do ambiente no tempo  $t$  é definido como um resumo de toda a experiência passada do ambiente no tempo  $t-1$ , de modo que a informação necessária para o sistema prever o comportamento futuro do ambiente em um determinado intervalo de tempo está contido neste resumo (Haykin, 2001, pg 653).

Considerando que os ambientes interno e externo trocam informação a cada interação, as relações de aleatoriedade são pré-estabelecidas a cada interação entre o meio interior e o exterior constituindo uma relação circular. (figura 5.3)

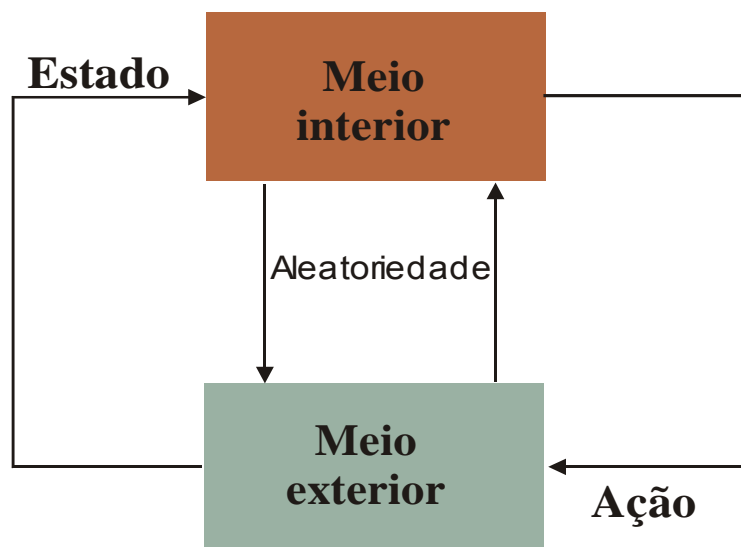


Figura 5.3 - Adaptação do esquema (Haykin, 2001, pg 653).



A investigação do processo de articulação dos meios internos e externos possibilita abordar a questão da autonomia dentro da interdependência sistêmica. A concatenação da interação entre os dois meios deve seguir em primeira instância um estado do sistema de objetos dados e seqüencialmente a ação realizada sobre este estado dado. Após a interação entre os dois meios realizados para todos os lotes do sistema, cada um com o seu conjunto de possibilidades ditadas pela coletividade a que pertence, e concatenado com os outros lotes vizinhos, se estabelece um novo estado do sistema externo.

O *meio interior* nos oferece as probabilidades de transição entre as diferentes tipologias *funcionais*, ou seja, a autonomia de cada lote dentro da interdependência tipológica. Verificam-se as possibilidades de transição de cada lote dependendo do estado tipológico que ele encontra-se. Além de oferecer uma visão total da dinâmica do sistema através da predição do macro estado sistêmico e da sua organização ao longo do tempo. O *meio exterior* de cada coletividade tipológica fornece a evolução das vizinhanças ao longo do tempo, possibilitando a apreensão das preferências locacionais entre estados tipológicos ao longo da evolução sistêmica.

A exploração da condicionalidade espacial e temporal entre o estado interior e o seu estado exterior permite a investigação do comportamento ao longo da evolução do sistema. É nesta instância que se pode inferir a respeito da transição de estados relacionando-os as vizinhanças, investigando os tipos de comportamentos (cooperativos, assimilativos, competitivos) entre as tipologias funcionais ao longo da auto-organização do sistema. A análise condicional dos dois meios (interior e exterior) permite a geração de regras de alocação espacial e a diminuição da incerteza quanto às possibilidades de transição de cada lote.

A estrutura do modelo proposto pode ser simplificada através do fluxograma apresentado na figura 5.4, onde estão enumeradas todas as etapas até finalização do processo de exploração dos padrões espaço-temporais.

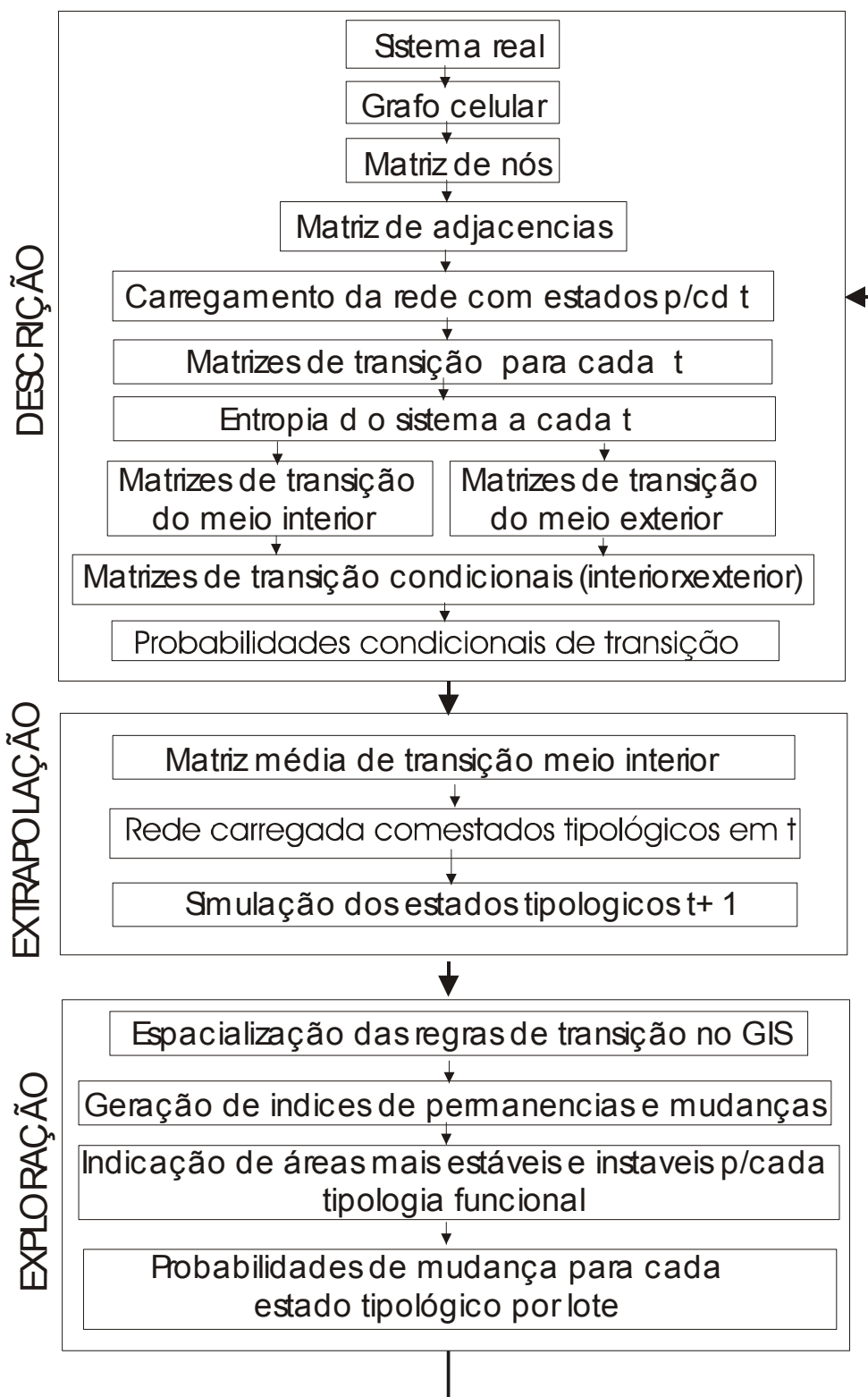


Figura 5.4 - Fluxograma geral do Modelo Exploratório

Conforme figura 5.4, primeiramente transporta-se a base da estrutura espacial urbana (ruas, praças, lotes, quadras) do sistema real para uma rede do tipo celular irregular sem perder as características de vizinhança do sistema real, desta

forma configura-se a base celular onde irão ser cadastradas, classificadas, descritas, extrapoladas e exploradas as transformações dos estoques construídos e das atividades. As regras de transição são obtidas a partir da dependência seqüencial entre os estados temporais do sistema, onde através de matrizes de probabilidades de transição entre estados obtém-se o comportamento de cada tipologia funcional em relação aos outros tipos de estoques ao longo do tempo e a sua vizinhança local na rede celular. Depois de obtidas as regras de transição são espacializadas no GIS, onde então exploramos os tipos de comportamento entre as diferentes tipologias funcionais e suas vizinhanças.

A espacialização do conjunto das probabilidades na rede espacial através do GIS configura as regras de transição do sistema. A exploração do fenômeno locacional realizada na última etapa investigatória refere-se à espacialização no GIS das regras obtidos a partir dos sub-modelos descritivo e preditivo (extrapolatório). A extrapolação juntamente com a espacialização das probabilidades de transição permite inferir a respeito das transformações dos estados tipológicos, possibilitando a validação do método, assim como, a constante atualização dos dados no modelo a cada nova interação.

## **5.3 Operacionalização do Modelo Exploratório**

### **5.3.1 Modelagem Dinâmica**

A modelagem dinâmica (Burrough, 1998) procura transcender as limitações atuais da tecnologia GIS, fortemente baseada numa visão estática, bidimensional do mundo. A atual geração do GIS consiste basicamente em um conjunto integrado de instrumentos para acessar, armazenar, processar, manipular transformar e visualizar uma grande quantidade de dados espaciais do mundo real de acordo como uma questão particular definida pelo usuário (Couclelis,1997). O objetivo dos modelos espaciais dinâmicos é realizar a simulação numérica de processos dependentes do tempo, como o modelo aqui proposto de exploração das transformações das unidades de forma construída.

Do ponto de vista da modelagem espacial dinâmica os instrumentos devem descrever a evolução de padrões espaciais de um sistema ao longo do tempo respondendo as questões relacionadas às variáveis envolvidas na explicação do fenômeno, a evolução do processo e onde ocorrem os fenômenos (Lambin, 1994). Assim o modelo exploratório desenvolvido neste estudo parte de sub-modelos do tipo descritivo e preditivo/extrapolatório que investigam padrões espaço-temporais através de processos estocásticos do tipo markoviano acoplados ao conceito de espaço celular (Batty, 2005) dentro do GIS. O conceito de espaço celular é uma variação do autômato celular clássico, que flexibiliza a questão da regularidade do espaço e localidade das vizinhanças, necessárias para modelar processos dinâmicos como a transformação das unidades de forma construída.

Couclelis (1997) propõem a flexibilização de tal forma que o modelo proposto seja capaz de representar o espaço como uma entidade heterogênea tanto nas suas propriedades como na sua estrutura, as vizinhanças como relações não estacionárias, regras de transição como regras não universais, a variação do tempo e o sistema como um ambiente aberto a influencias externas. Dentro das atuais limitações do GIS propomos a abstração da rede espacial urbana em um grafo geral, onde as questões de não estacionaridade da vizinhança e da não uniformidade do comportamento das variáveis (tipologias funcionais) consigam ser superadas.

### **5.3.2 Abstração do Sistema Espaço-Temporal**

A integração do *sistema de objetos* e *de ações* é considerada de forma simplificada, buscando a minimização das variáveis estudadas na investigação do fenômeno locacional. Para isto, utiliza-se um número reduzido de variáveis, procurando evidenciar com maior clareza as relações estruturais e comportamentais que existem entre os elementos sistêmicos, partindo da premissa que os padrões espaço-temporais são decorrentes do processo de interação contínua entre o sistema de objetos e o sistema de ações.

Primeiramente abstrai-se o sistema de estudo através da criação da rede do sistema de estudo a partir do seu sistema real de lotes, onde os lotes são transformados em nós e as adjacências entre lotes são consideradas links definindo uma base celular do tipo irregular. A abstração do sistema real configura-se numa

rede espacial fixa composta por nós e links, onde os nós são carregados com os estados dos lotes (tipologias funcionais) e os links indicam as relações espaciais de vizinhança de cada nó. As ações configuram a dinâmica temporal através da mobilidade de estados tipológicos sobre a rede espacial.

### 5.3.2.1 Relações Estruturais

As *relações estruturais* são desagregadas e configuradas sob fundamentação do capítulo 2 e dos instrumentos utilizados em Modelos Urbanos consagrados como os da Geografia e os Modelos Configuracionais Urbanos. As relações estruturais representam à escala espacial do fenômeno, que é por sua vez a dimensão da conservação, nelas estão representadas as relações estruturais do sistema de objetos (relações topológicas entre os lotes em diferentes escalas espaciais: vizinhos adjacentes, vizinhos de quadras, vizinhos de trechos de rua). A desagregação do sistema de objetos utiliza a Teoria dos Grafos como elemento de construção da rede de adjacências entre os objetos de análise, e define níveis de desagregação espacial através de estudos já realizados como os de Kruger (1977, 1989), Steadman (1973), e Krafta (1991).

O objeto refere-se a menor entidade do sistema representada pelo lote carregado com uma forma e uma função (*estado=tipologia funcional*) com um endereço na rede topológica. Os objetos são representados por nós, e as relações de adjacência através de arcos. A seguir apresentam-se a composição das relações estruturais do sistema espacial, composto pela rede de adjacências e o estado do sistema de objetos.

#### a) Rede Espacial do Sistema de Objetos.

A rede de adjacências entre entes do sistema é realizada através de diferentes níveis de desagregação espacial:

- 1) *adjacência entre espaço privado*: adjacência de vizinhança do lote dentro da quadra;
- 2) *adjacência entre espaço privado e espaço público*: adjacência de vizinhança do lote dentro do trecho de rua;
- 3) *adjacência entre espaços privados mediados pelo espaço público*: adjacência de vizinhança do lote dentro da quadra e do trecho de rua.

Então se define:

- $gq1...gqn$  grafo dos lotes nas quadras (endereço dos lotes de uma mesma quadra);
- $gt1.....gtn$  grafo dos lotes nos trechos de rua (endereço dos lotes de um mesmo trecho de rua);
- $G$  grafo geral do sistema – (rede global);
- $x1.....xn$  endereço do lote no grafo geral do sistema;
- $Gx1.....Gxn$  grafo da vizinhança local de cada lote;
- $xr1.....xrn$  vizinhos relacionais de cada lote.

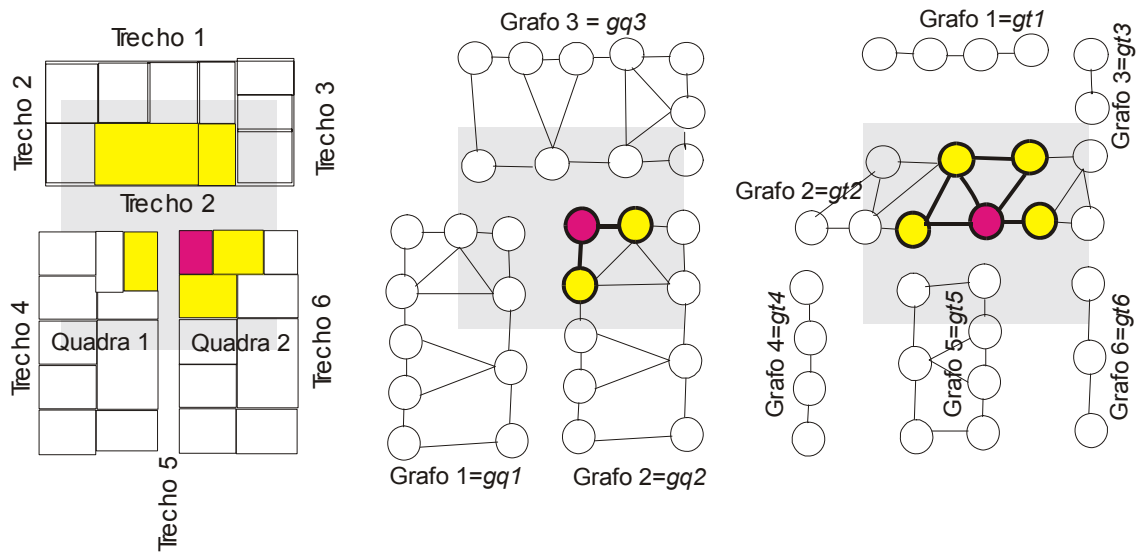


Figura 5.5 - Esquema gráfico da construção das adjacências.

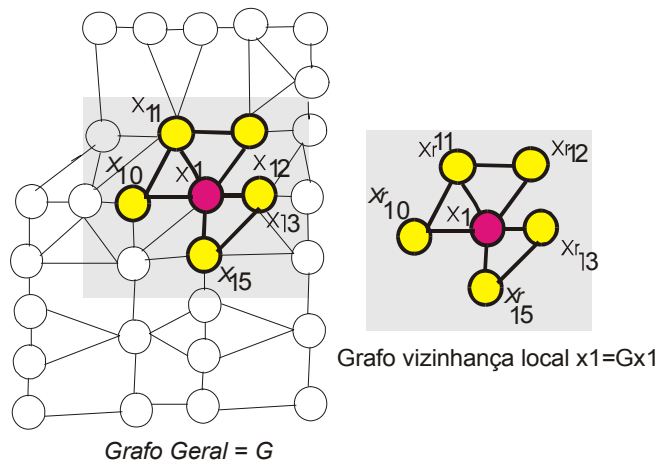


Figura 5.6 - Esquema gráfico da construção da vizinhança local.

### b) Estado do Sistema de Objetos:

Refere-se ao estado (tipologia funcional) em que o objeto encontra-se no tempo  $t$ , que será definido de acordo com o conjunto de informações sobre o sistema, podendo conter:

- 1) classe econômica: a,b,c, sub-habitação;
- 2) atividade: residencial, comercial, industrial, institucional, mista, terreno;
- 2) tipologia: numero de pavimentos, idade, características formais.

Um subsistema particularizado por objetos no mesmo estado tipológico denomina-se coletividade tipológica, todos os objetos nestes subsistemas, mesmo não estando conectados fisicamente através de adjacências, estão interligados através de fluxos de informação, representados pelo mesmo conjunto de necessidades, motivações e preferências.

Então se define:

- $e_{x1}.....e_{xn}$  estados possíveis nos lotes do sistema
- $C_1 \quad C_n$  coletividades tipológicas no sistema variando de 1 a  $n$ ;
- $C1_{x1} \quad Cn_{xn}$  coletividade na qual ao lote $_i$  pertence variando de 1 a  $n$ ;
- $C_{xr1}... C_{xrn}$  coletividade na qual o lote $_i$  e que estado possui os seus vizinhos relacionais variando de 1 a  $n$ , ( estados existentes no sistema ).

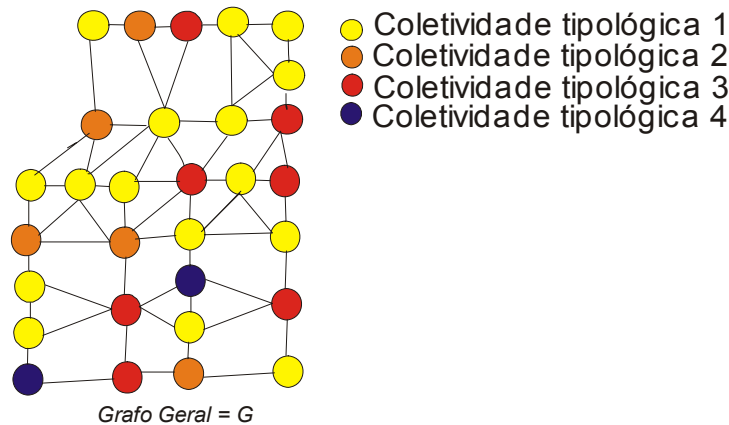


Figura 5.7 - Esquema gráfico da construção das coletividades tipológicas.

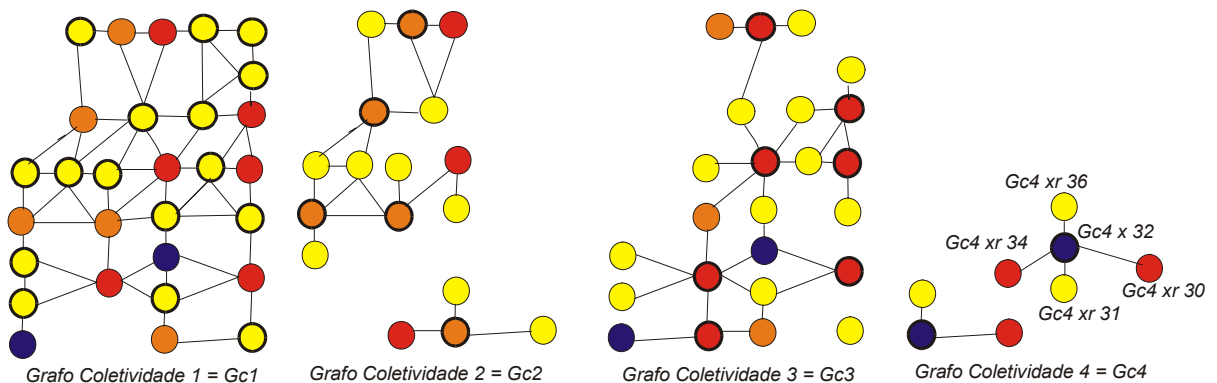


Figura 5.8 - Esquema gráfico das coletividades do sistema e dos vizinhos relacionais existentes em cada coletividade tipológica.

### 5.3.2.2 Relações Comportamentais

As *relações comportamentais* são entendidas como o padrão comportamental entre as coletividades tipológicas decorrentes do conjunto de ações possíveis no sistema. As ações são entendidas como o fim do processo da percepção conforme Gibson (1966) e Bailly, (1978), e representam o ato propriamente dito, ou seja, alguma intervenção humana sobre o objeto, que transforme o objeto formalmente ou funcionalmente, ou ainda que o elimine por outro.

As ações definem a escala temporal, desta forma as observações factuais da escala espacial definem a escala temporal. A escala temporal representa o instante da investigação da ação dos objetos no sistema, composto no mínimo de dois instantes, instante  $t$ , estado do sistema antes da ação e, instante  $t+1$ , estado posterior à ação humana sobre o ambiente.

As motivações individuais e coletivas (conjunto de preferências locacionais) são obtidas das observações do próprio sistema, sendo configuradas como uma simplificação das motivações concretizadas, ou seja, das ações. O comportamento é resultado da observação da evolução das ações ao longo do tempo e configuram processos de cooperação, assimilação e competição entre os objetos.

#### a) Rede temporal do Sistema de Ações:

O sistema de ações vincula-se a ação do homem sobre os objetos (*motivações, sociais, econômicas, culturais, etc*), não se estuda as motivações particulares, mas o resultado, ou seja, as ações ao longo do tempo.

- 1) o estado do objeto não sofre ação (permanece estruturalmente e funcionalmente);
- 2) o estado do objeto sofre ação (adapta-se funcionalmente);
- 3) o estado do objeto sofre ação (adapta-se estruturalmente);
- 4) o estado do objeto sofre ação (muda estruturalmente e funcionalmente).

Então se define:

$T_1$     $T_n$         *corte temporal de análise das ações variando de  $t$  a  $t+n$ ;*  
 $A_1$     $A_n$         *ações possíveis no ambiente variando de 1 a  $n$ ;*



$a_1(t) \dots a_n(t)$  ações possíveis no lote  $i$  variando de 1 a  $n$  no tempo  $t$ ;

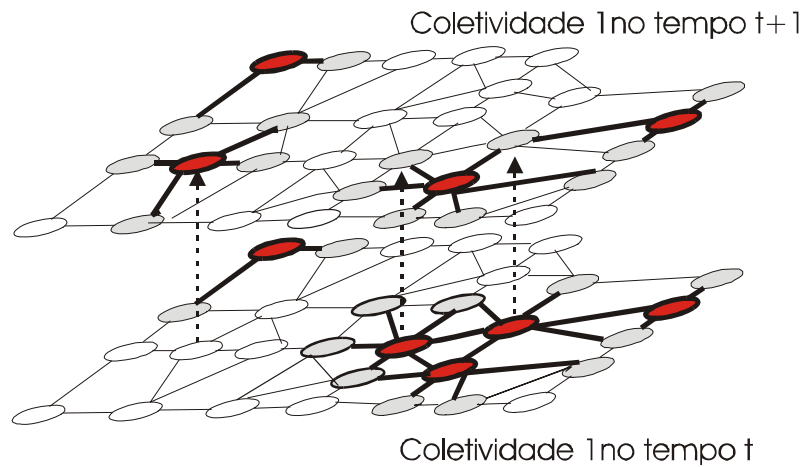


Figura 5.9-Esquema gráfico das ações sobre os objetos de uma mesma coletividade tipológica em um corte temporal.

A classificação de todas as informações apresentadas resulta em um banco de dados composto basicamente por identificação individual de cada lote, quadra, rua e trecho de rua a que pertence na rede espacial; a tipologia funcional ocupada naquele lote em todos os intervalos de tempo (no mínimo 2); a identificação espacial de todos os lotes adjacente a lote; as tipologias funcionais de cada vizinho do lote em cada intervalo de tempo.

A tabela 5.1 apresenta de forma simplificada o banco de dados. A primeira coluna representa a quadra na qual o lote analisado está inserido na rede espacial, a segunda coluna refere-se a rua e a terceira coluna representa o trecho de rua (segmento reto de rua entre duas esquinas) em que encontra-se o lote em análise.

A quarta coluna é a identificação do lote analisado na rede espacial, a quinta e a sétima coluna apresentam em seqüência as tipologias funcionais alocadas no lote, a sexta coluna define a década em que a primeira alocação foi realizada. A sexta e a oitava colunas apresentam as décadas em que as conversões tipológicas ocorreram. A nona e a décima colunas listam a identificação na rede espacial de cada lote adjacente ao lote em questão, enquanto que as colunas décima primeira e décima segunda apresentam as tipologias funcionais desses vizinhos. As colunas décima terceira e décima quarta identificam as décadas que as tipologias funcionais da vizinhança foram alocadas.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
quad	rua	trecho	id	tipo	t(n)	(tn)	tipot(n+1)	(tn+1)	idrviz1	idrvizn	Tipviz1(tn)	Tipvizn(tn)	Tipviz1(tn+1)	Tipvizn(tn+1)
1	1	1136	5	A	40	A	40	6	44	2	8	2	8	
1	1	1136	6	B	70	B	70	5	7	1		1		
1	1	1136	7	D	30	G	60	6	210	2	3	2	3	
1	1	1136	8	D	40	G	60	7	9	4		4		
1	1	1136	9	D	40	G	70	8	212	4	3	7	3	
1	1	1136	10	D	50	D	50	9	380	4		3		
2	1	1236	11	A	50	A	50	374	12	4		7		

Tabela 5.1 - Exemplo da formatação do banco de dados

### 5.3.3 Modelo Exploratório

A partir da construção do banco de dados é gerada a tabela relacional (5.1) entre os diferentes estados tipológicos assumidos por cada lote e seus vizinhos adjacentes, que permite a construção de tabelas de quantidades de lotes e vizinhanças entre intervalos espaciais (5.2). Estas tabelas apresentam-se em duas versões diferentes, a primeira versão apresenta a quantidade de lotes ocupados pelos diferentes estados tipológicos do sistema entre intervalos temporais (t e t+1).

Nesta primeira versão as colunas apresentam as seguintes informações: a primeira coluna (identificação do lote na rede espacial); a segunda coluna (todos os estados tipológicos ocorridos no lote); a terceira e a quarta coluna (os estados tipológicos de todos os vizinhos na década anterior a conversão ocorrida no lote em análise), a quinta e a sétima coluna (décadas que ocorreram as conversões no lote em análise), a sexta e a oitava coluna (os estados tipológicos alocadas nos lotes nas décadas que ocorreram as conversões) (exemplo tabela 5.2).

1	2	3	4	5	6	7	8
ldr lote	Estados lote	1Estados vizinho1	nEstados vizinhon	1ação (década)	1Estado lote	nação (década)	nEstado lote
300	12_4	4_1_2	4_1_2	30	12	70	4
301	4_7	1_5_4_4	1_5_4_4	40	4	90	7
302	1_3	1_1_2	1_1_2	40	1	90	3
303	4_8	7_7_8	7_7_8	30	4	80	8
304	2_2	2_1	2_1	60	2	60	2

Tabela 5.2 - Tabela Relacional de lotes e vizinhanças em cada intervalo temporal.

A segunda versão apresenta uma relação entre a quantidade de lotes existente em uma coletividade tipológica no tempo t+1 e o estado dos seus vizinhos no tempo t. Esta segunda versão apresenta as seguintes informações: a primeira coluna define todas as coletividades tipológicas existentes no sistema, a coluna apresenta os totais de cada tipologia no tempo t, enquanto que a última linha da tabela apresenta os totais de cada tipologia no tempo t+1. A célula localizada na segunda coluna e na terceira linha, por exemplo, representa o total de tipologias (1) existentes no tempo t que permaneceram sendo do tipo(1) no tempo t+1, já a célula da quarta coluna com a terceira linha apresenta o número de tipologias (1) no tempo t que converteram-se em tipologia (3) em t+1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
tipologias	1	2	t <sub>t+1</sub> 3	4	6	7	8	9	10	11	t	
1	230	0	4	0	0	0	2	0	1	0	237	
2	0	80	0	0	0	0	1	0	0	0	81	
3	0	0	87	0	0	0	1	0	0	1	89	
4	1	2	3	145	0	8	4	0	3	1	167	
6	0	0	2	0	25	1	2	0	0	0	30	
7	0	2	1	1	0	105	5	0	1	0	115	
8	0	0	1	0	0	0	49	0	0	0	50	
9	0	0	0	0	0	1	0	20	0	0	21	
10	0	1	1	0	0	1	1	0	10	0	14	
11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	
t+1	231	85	99	146	25	116	65	21	15	3	806	

Tabela 5.3 – Exemplo da tabela de dados quantitativos demonstrando a mudança de estados tipológicos dos lotes entre cada intervalo temporal.

A partir destas duas versões de tabelas são medidas a complexidade e organização sistêmica que juntamente com o sub-modelo descritivo do modelo exploratório irão descrever o tipo de processos envolvido na dinâmica temporal do fenômeno locacional. As primeiras medidas a respeito da complexidade e organização são obtidas através dos totais de todas as tabelas do tipo a tabela 5.2, isto é os totais de estados tipológicos existentes em cada intervalo espacial do sistema espacial.

Para obter informações a respeito da organização e complexidade do sistema utilizam-se as medidas de Complexidade de Kolmorogov, Entropia e Excesso de Entropia dos softwares SYNCSA versão 2.2.5 MULTIV versão 2.2. (Pillar, 2002) em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>. Para a utilização dos softwares as

tabelas são transformadas em matrizes de dados onde as linhas representam as quantidades de lotes em cada coletividade tipológica e as colunas representam as séries temporais.

O modelo exploratório é composto em três etapas distintas, a primeira objetiva descrever a evolução das transformações tipológicas em um sistema espaço-temporal através da geração de regras probabilísticas de transição, a segunda prever estados tipológicos futuros e prever níveis de estabilidade sistêmica, e a terceira e última visa acoplar as regras de transição espacial ao GIS fornecendo os locais mais prováveis de transformação da forma construída, assim como validar o método através da comparação dos dados obtidos na espacialização com os locais onde de fato ocorreram as permanências e as transformações tipológicas.

### 5.3.3.1 Sub-Modelo Descritivo

Parte-se da premissa básica de que as unidades de forma construída e atividades (estados tipológicos= tipologias funcionais) alocam-se de forma autônoma, no entanto a suas localizações estabelecem relações de interdependência espaço-temporal. Investiga-se a interdependência espaço-temporal através das possibilidades de alocação de uma tipologia funcional em um lote  $i$  no tempo  $t+1$  relacionada às tipologias funcionais alocadas nos vizinhos adjacentes ao lote  $i$  no tempo  $t$  e ao estado tipológico que se encontra o lote  $i$  no tempo  $t$ .

Cada rede carregada com os estados tipológicos dos lotes configura um conjunto de variáveis aleatórias  $X_t$  dependentes de um parâmetro real  $n$  (corte temporal) que assume valores de certo conjunto  $T$  (total de cortes temporais), definindo um processo estocástico. As probabilidades de transição são derivadas de amostra relativa  $S$ . A probabilidade de transição do lote alocado com o estado  $i$  para o estado  $j$  independente dos seus vizinhos (*meio interior*) é definida por:

$$P_{\text{lote } ij} = P_{\text{lote}}[X_n = j / X_{n-1} = i] \text{ para } t \geq 1. \quad (5.1)$$

$$(0 \leq P_{\text{lote } ij} \leq 1);$$

$$i, j \in S = \{0, 1, 2, n\};$$

$$P_{loteij} = \frac{\text{Nº de lotes no estado } i \text{ no ano } n-1 \text{ que se tornaram } j \text{ no ano } n}{\text{Nº de lotes no estado } i \text{ no tempo } n-1} \quad (5.2)$$

Gera-se então uma matriz quadrada (*MI - meio interior*) das probabilidades de transição de todos os estados alocados nos lotes em um determinado corte temporal (referente à probabilidade de transição dos estados entre os lotes em um intervalo de tempo (n-1 e n), com todas as entradas não negativas, e satisfazendo a propriedade):

$$\sum_{j \in S} P_{loteij} = 1, \forall i \in S \quad (5.3)$$

A matriz quadrada 5.1 apresenta as probabilidades de transição do estado tipológico de cada lote permanecer ou de se transformar em outros estados tipológicos existentes no sistema, para cada intervalo temporal (t e t+1), para todos os intervalos temporais existentes (T). A diagonal principal da matriz representa as probabilidades de permanência dos estados tipológicos nos lotes, enquanto que em cada coluna são apresentadas as probabilidades do estado contido na linha tornar-se uma outra tipologia funcional.

	$P_i$	$P_j$	$P_k$	$P_l$	$P_m$	$P_n$	$P_o$	$P_p$	$P_q$	$P_r$	$\Sigma p$
$P_i$	→										1
$P_j$		→									1
$P_k$			→								1
$P_l$				→							1
$P_m$					→						1
$P_n$						→					1
$P_o$							→				1
$P_p$								→			1
$P_q$									→		1
$P_r$										→	1

Tabela 5.4- matriz quadrada -MI - meio interior

As probabilidades de transição dos vizinhos de cada lote em cada estado  $S=\{0,1,2,n\}$ ; do sistema gera uma matriz quadrada de transição para cada um dos estados S . Assim define-se a probabilidade de transição de cada vizinho no estado i para o estado j de cada lote alocado no estado tipológico i variando de acordo com  $S=\{0,1,2,n\}$ , define-se como *meio exterior*, e é representado por:

$$P_{i_{viz} ij} = P_{i_{viz}} [viz_n = j / viz_{n-1} = i] \text{ para } n \geq 1. \quad (5.4)$$

$$(0 \leq P_{i_{viz}} \leq 1);$$

$$i, j \in S = \{0, 1, 2, n\};$$

dentro de cada coletividade tipológica no ano n-1, variando  $S = \{0, 1, 2, n\}$  verifica-se:

$$P_{i_{viz} ij} = \frac{\text{Nº de lotes vizinhos no estado } i \text{ no ano } n-1 \text{ que tornaram-se } j \text{ no ano } n,}{\text{Nº de lotes vizinhos no ano } n-1} \quad (5.5)$$

Assim define-se a probabilidade de transição referente aos vizinhos dos lotes contidos na mesma coletividade tipológica no ano n-1, determinada como *ME - matriz do meio exterior*, onde são geradas tantas matrizes quadradas quanto forem as coletividades tipológicas possíveis. Estas matrizes satisfazem à propriedade:

$$\sum_{j \in S} P_{i_{viz} ij} = 1, \forall i \in S \quad (5.6)$$

A matriz quadrada 5.2 apresenta as probabilidades de transição de cada vizinho de um lote de determinada coletividade permanecer no mesmo estado mudar para outros estados tipológicos existentes, no sistema para cada intervalo temporal (n e n+1), para todos os intervalos temporais existentes (T).

A diagonal principal da matriz representa as probabilidades de permanência dos vizinhos nos mesmos estados tipológicos, enquanto que em cada coluna são apresentadas as probabilidades do estado contido na linha tornar-se uma outra tipologia funcional.

Pi	Pviz <sub>i</sub>	Pviz <sub>j</sub>	Pviz <sub>k</sub>	Pviz <sub>l</sub>	Pviz <sub>m</sub>	Pviz <sub>n</sub>	Pviz <sub>o</sub>	Pviz <sub>p</sub>	Pviz <sub>q</sub>	Pviz <sub>r</sub>	Σpviz
Pviz <sub>i</sub>											1
Pviz <sub>j</sub>											1
Pviz <sub>k</sub>											1
Pviz <sub>l</sub>											1
Pviz <sub>m</sub>											1
Pviz <sub>n</sub>											1
Pviz <sub>o</sub>											1
Pviz <sub>p</sub>											1
Pviz <sub>q</sub>											1
Pviz <sub>r</sub>											1

Tabela 5.5- matriz quadrada -ME - meio exterior

A probabilidade de transição do lote alocado com o estado  $i$  em  $n-1$  para o estado  $j$  no tempo  $n$ , condicionada ao estado dos seus vizinhos adjacentes no tempo  $n-1$ , é definida como a matriz condicional (*meio interior x meio exterior*). O conjunto das probabilidades condicionais gera uma matriz quadrada composta pelo número de estados tipológicos possíveis no sistema ao quadrado ( $N_{\text{estados dos lotes em } n+1} \times N_{\text{estados dos vizinhos em } n}$ ). A partir dessa matriz são obtidas as regras de transição do sistema, que posteriormente serão utilizadas para a espacialização e exploração dos padrões espaço-temporais.

Obtém-se a probabilidade condicional do lote em relação ao vizinho adjacente através da coletividade do estado tipológico de cada lote no estado  $i$ , no tempo  $n-1$  para o estado  $j$  no tempo  $n$  condicionada a tipologia dos seus vizinhos adjacentes também no tempo  $n-1$ :

$$P_{k/viz_{ij}} = \frac{\text{Nº lotes no estado } i \text{ no ano } n-1 \text{ que tornaram-se } j \text{ no ano } n, \text{ vizinhos de um lote no estado } k \text{ em } n-1}{\text{Nº de lotes no estado } i \text{ no ano } n-1 \text{ vizinho de um lote no estado } k} \quad (5.7)$$

Assim define-se a probabilidade de transição condicional satisfaz à propriedade:

$$\sum_{j \in S} P_{kviz_{ij}} = 1, \quad \forall i, k \in S \quad (5.8)$$

A matriz condicional 5.3 apresenta as probabilidades de transição de cada lote de permanecer no mesmo estado ou mudar para outros estados tipológicos existentes, dependendo do estado dos lotes vizinhos.

P/viz	Pk	PL	PM	PN	PO	PQ	PR	PS	$\Sigma p/viz$
Pk/viz <sub>i</sub>									1
Pk/viz <sub>j</sub>									1
Pk/viz <sub>k</sub>									1
Pk/viz <sub>l</sub>									1
Pk/viz <sub>m</sub>									1
Pk/viz <sub>n</sub>									1
Pkj/viz <sub>o</sub>									1
Pk/viz <sub>p</sub>									1

Tabela 5.6 - *matriz condicional*, onde estão relacionados a conversão dos estados tipológicos dos lotes no tempo  $n$  aos estados dos seus vizinhos adjacentes no tempo  $n-1$

### 5.3.3.2 Sub-Modelo Extrapolatório.

A extrapolação para estados futuros é gerada a partir do vetor de estado presente do sistema ( $t$ ) multiplicado pela matriz média de transição (*meio interior*), supostamente invariável em um determinado intervalo de tempo. Nesta extrapolação são obtidas as quantidades de lotes em cada estado tipológico, configurando um vetor de estado futuro do sistema ( $t+1$ ), onde:

$e_{x1} \dots e_{xn}$  estados possíveis nos lotes do sistema variando de 1 a  $n$ ; no tempo  $1 \leq t \leq n$

$\bar{E}_i(t)$  vetor de estado (valores numéricos referentes aos estados dos lotes), variando no tempo,  $1 \leq t \leq n$

$MI$  matriz de transição do meio interior das representando probabilidades supostamente invariante no tempo;

Então se apresentam as seguintes relações:

$\bar{E}_i(1)$  vetor de estado (valores numéricos referentes aos estados dos lotes), no tempo  $t$

$MI$  matriz de transição do meio interior das representando probabilidades supostamente invariante no tempo;

Obtém-se:

$\bar{E}_i(2)$  vetor de estado (valores numéricos referentes aos estados dos lotes), no tempo  $t+1$

### 5.3.3.3 Sub-Modelo Exploratório

O módulo de espacialização é realizado dentro do Gis no programa ArcView 3.3, para isso a base deve ser em cartografia digital ou um arquivo do tipo vetorial (CAD), os dados tabulares podem ser em arquivos *dbase* (dbf) e/ou dados de gerenciadores de bases de dados como Oracle e Sybase. A partir da base digital e banco de dados relacional prontos a aplicação das regras de transição sob o estado atual do sistema possibilita inferir a respeito das possibilidades de permanência, adaptação e mudança dos estados dos lotes, que depois de transcorrido o tempo real permite a validação e a verificação do grau de previsibilidade do método proposto.



A espacialização das probabilidades condicionais de transição no ArcView 3.3 infere a respeito das possibilidades de cada tipo de estoque e atividade alocado no lote permanecer, adaptar ou mudar para um dos outros tipos de estoques e atividades possíveis, e produz tantos cenários quantos forem os estados tipológicos do sistema total.

O cruzamento dos cenários gerados responde à questão referente ao local da rede urbana onde as mudanças terão maior chance de ocorrer, além de ter como função básica a de validar a capacidade preditiva do modelo proposto. A espacialização das probabilidades de transição permite, ainda, a exploração dos padrões locacionais de vizinhança, demonstrando ilhas de estabilidade e zonas de instabilidade quanto à mudança. Assim como possibilitam, também, inferir a respeito dos tipos de comportamentos, cooperativo ou competitivo entre as variáveis sistêmicas (tipos de estoques construídos), possibilitando, desta forma a investigação da dinâmica de auto-organização na formação dos padrões de vizinhança.

A transposição das probabilidades de transição da matriz condicional para o banco de dados do ArcView necessita de uma série de procedimentos realizados de forma manual, até este momento ainda não foram informatizados. Primeiramente deve-se selecionar o estado atual do lote a ser explorado, depois transpor a probabilidade de transição condicional dos estados dos vizinhos da coletividade a que o lote pertence, dentro do banco de dados do ArcView, para todos os estados tipológicos dos lotes vizinhos de uma mesma coletividade tipológica, e para todas as coletividades tipológicas do sistema.

Por fim, através da criação de um campo de potencial de conversão de cada lote para todas as coletividades tipológicas do sistema (as probabilidades de transição são somadas), tem-se o potencial de mudança do estado atual de um lote para todos os outros estados do sistema levando em consideração a sua vizinhança local.

Depois de realizadas as substituições das probabilidades de transição e criados os campos de potencial de conversão para cada tipologia funcional em todas as coletividades, geram-se mapas temáticos para todos os potenciais de conversão

tipológica, tantos quantos forem às coletividades tipológicas do sistema. As probabilidades de transição obtidas a partir da matriz condicional são espacializadas no ArcView 3.3, conforme demonstra a transposição de dados da tabelas 5.7 (matriz condicional ) para a 5.8(banco de dados dbase do GIS):

lote/viz	01:01	01:02	01:03	01:04	01:05	01:06	01:07	01:08	01:09	01:10	01:11	02:01
01:01	0,988	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
01:02	0,000	0,994	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:03	0,000	0,000	0,943	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:04	0,000	0,000	0,000	0,981	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,979	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:06	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,962	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:07	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,976	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
01:08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,926	0,000	0,000	0,000	0,000
01:09	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,991	0,000	0,000	0,000
01:10	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,973	0,000	0,000
01:11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,991	0,000
02:01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,976

Tabela 5.7 – seleção da coletividade tipológica na matriz condicional (5.7) a ser substituída na tabela 5.8 do ArcView 3.3

CR11	CL	CM	CN	CO	CP	CO	CR	CS	CT	CU	CV	CW	Cx	CY	CZ	DA
1	VIZ24_02	VIZ5_02	VIZ6_02	VIZ7_02	AGENTES	PROB1_89	PROB2_89	PROB3_89	PROB4_89	PROB5_89	PROB6_89	PROB7_89	PROB8_89	PROB9_89	PROB10_89	PROB11_89
2	0	0	0	0	0,11	0,994	0,993	0,444								
3	0	0	0	0	0,22											
4	0	0	0	0	0,47	0,059	0,059	0,097	0,206							
5	0	0	0	0	0,47	0,206	0,206	0,097	0,059							
6	0	0	0	0	0,47	0,206	0,097	0,097	0,206							
7	0	0	0	0	0,44	0,206	0,072									
8	0	0	0	0	0,11											
9	0	0	0	0	0,77											

Tabela 5.8 - tabela dbase do ArcView 3.3 onde as probabilidades de transição condicionais substituem os dados qualitativos referentes as tipologias funcionais dos vizinhos

Nos mapas temáticos podem ser visualizadas áreas com os mesmos potenciais de conversão que em certas circunstâncias podem criar zonas homogêneas em potencial de mudança. Por fim escolhe-se aquele campo com maior potencial de mudança e cria-se um único mapa de temático com todos os maiores potenciais de mudança, onde então são analisadas as relações de competição e cooperação.

### 5.3.4 Operacionalização do Método

A operacionalização do Modelo Exploratório proposto pode ser visualizada no fluxograma básico da figura 5.10. As etapas apresentadas neste fluxograma serão automatizados em estudos futuros.

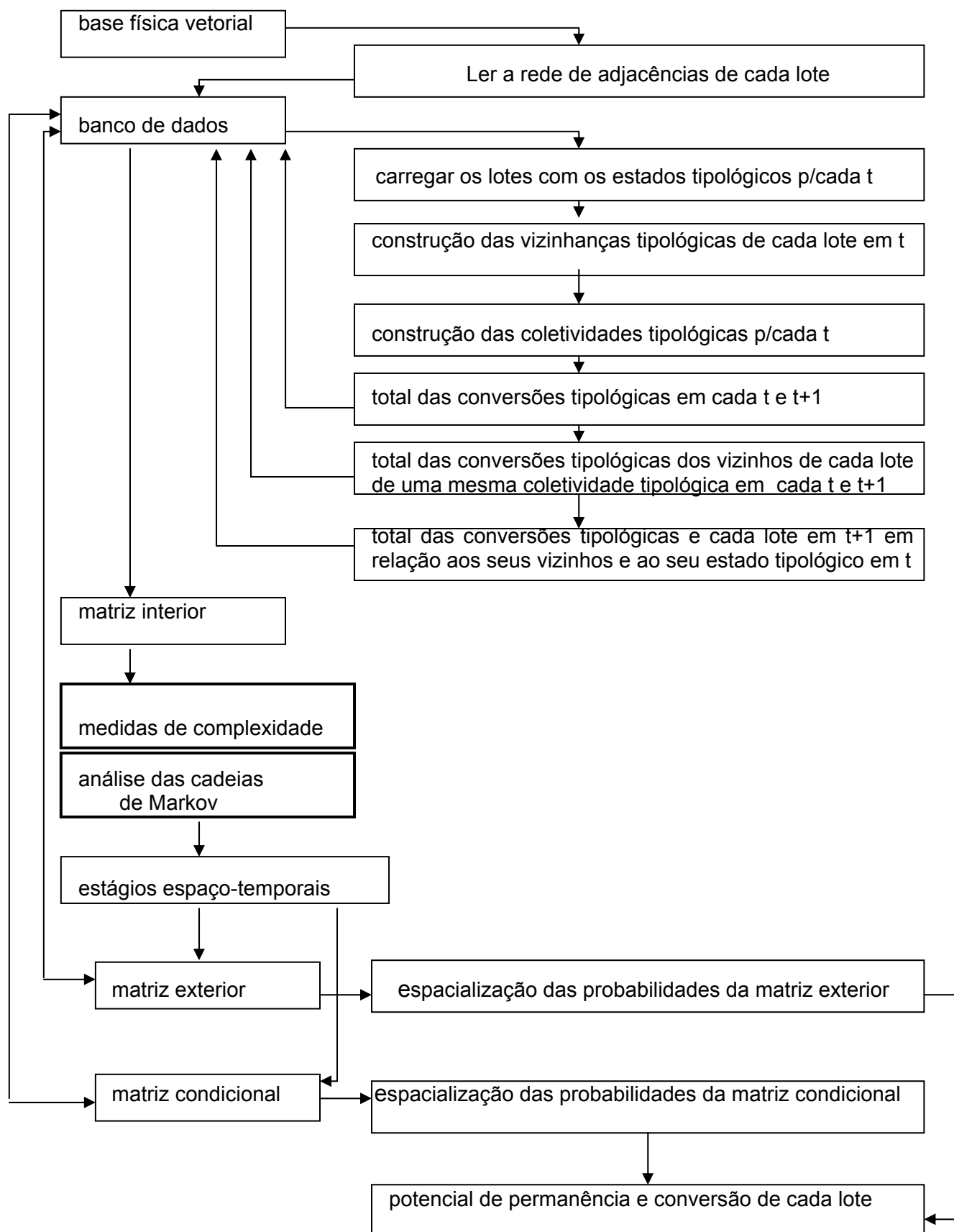


Figura 5.10–fluxograma esquemático da operacionalização do modelo exploratório

O modelo proposto não é aplicado de forma automatizada no estudo de caso apresentado no próximo capítulo. A construção do banco de dados através das relações de adjacência ao longo do tempo é realizado com poucos procedimentos automatizados dentro da planilha eletrônica Excel e posteriormente transferidos para um banco de dados do tipo dbf, compatível com o programa ArcView Gis. Ainda foram utilizados dois programas, um para geração de Medidas de Complexidade calculadas através dos softwares SYNCOSA versão 2.2.5 MULTIV versão 2.2. (Pillar, 2002), e outro para análise das Cadeias de Markov desenvolvido por Giacomelli (1995).

## **5.4 Conclusões**

Este capítulo apresenta a proposta metodológica desenvolvida para descrever, prever e explorar o processo de transformação das unidades de forma construída e atividades. O modelo proposto consiste um conjunto de sub-modelos relacionados de forma encadeada que busca responder as hipóteses da pesquisa e aos objetivos propostos, atendendo as questões básicas para a modelagem dinâmica espaço-temporal. O modelo procura atender às questões de flexibilização levantadas por Couclelis (1997) através de: uma base espacial heterogênea capaz de representar as propriedades e características estruturais do sistema a ser estudado, com a relação de vizinhança variável, regras de transição endógenas ao sistema, e possibilidade de variação do tempo.

A metodologia explora as relações entre o sistema social e o sistema espacial ao longo do tempo, quantificando e modelando os efeitos das formas espaciais urbanas sobre o sistema social e, em contrapartida, os efeitos da dinâmica social no ambiente espacial urbano. A possibilidade de inferir a respeito da quantidade de mudanças e da localização dessas mudanças no sistema espacial através da geração de cenários, capacita o modelo, em curto prazo, através de implementações automatizadas e sofisticadas de procedimentos, monitorar o desenvolvimento urbano.

O capítulo que segue apresenta a aplicação do modelo proposto em um bairro da cidade de Porto Alegre, o bairro Santana, com a finalidade de testar o potencial exploratório do modelo proposto.

# Capítulo 6

## Estudo de Caso: O Bairro Santana

### 6.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo aplicar o modelo proposto, permitindo assim, avaliar o instrumento metodológico desenvolvido no capítulo 5, apoiado nas premissas teóricas e hipóteses levantadas na Introdução deste trabalho. Para aplicar o modelo proposto escolhe-se o Bairro Santana, da Cidade de Porto Alegre, por possuir uma rede viária estruturada e sedimentada desde o início da sua urbanização, e uma homogeneidade socioeconômica, minimizando estas interferências das investigações dos padrões sócio-espaciais no tempo.

O capítulo divide-se em duas instâncias básicas, com exceção desta introdução. O subitem 6.2. denominado de “*Descrição do sistema espaço temporal*”, apresenta a delimitação da área de estudo; a descrição das legislações vigentes para controle da forma urbana, a abstração do sistema espacial, a definição das variáveis de estudo e a construção do banco de dados.

O subitem 6.3. definido como “*Exploração da Transformação Intra-Urbana*” demonstra a aplicação do modelo proposto, passando pela descrição e classificação do fenômeno de transformação das tipologias funcionais no sistema espaço-temporal. Depois através das matrizes de transição são extrapolados estado macro espaciais futuros, e finalmente as probabilidades condicionais de transição são espacializadas no ArcView 3.3 GIS, permitindo a exploração de padrões sócio-espaciais e temporais

## 6.2 Descrição do sistema espaço-temporal

### 6.2.1 Delimitação da área e Legislação

A região estudada consiste na área delimitada pela Avenida João Pessoa, Avenida José Bonifácio, Avenida Ipiranga, Rua Ramiro Barcelos e Avenida Oswaldo Aranha, correspondendo ao bairro Santana, conforme a foto aérea na figura 6.1.



Figura 6.1 - Foto Aérea da área de estudo – Fonte Google.

O início do assentamento da área se deu no final do século XIX através de poucas residências distribuídas pela sua rua principal: Santana, mas que na época a denominação devia-se a seus moradores, chamava-se Rua dos Pretos Forros (escravos alforriados). No início do século XX a Rua Santana é ampliada possibilitando a introdução da linha de Bonde da Cia. Carris Urbanos para o Partenon, através do Bom Fim e da Rua Santana. Esta área começa a ser urbanizada através do Plano de Melhoramentos de Porto Alegre (1914), feito pelo arquiteto João Moreira Maciel, que consiste prioritariamente em um plano viário para

a cidade, não havendo maiores preocupações com os problemas urbanos. No Primeiro Plano Diretor, instituído em 1959, elaborado a partir dos planos então existentes (Glandosch e Comissão Revisora) o sistema viário da área de estudo já se encontrava definido, mantendo-se praticamente o mesmo até os dias de hoje.

Foi com o primeiro plano diretor que surgiram as proibições e permissões configuradas através de zoneamentos, que disciplinava o uso do solo urbano, definindo as atividades compatíveis com cada zona (zoneamento de uso). Havia um zoneamento complementar que definia o limite da densidade de população (índice de aproveitamento), da percentagem de ocupação do solo pelas edificações (taxa de ocupação) e os limites de altura das edificações. O bairro Santana possui “zoneamento de altura Z4” que regulamentava a altura máxima para construções estavam limitadas a 30m em relação ao nível médio do passeio e “Zona de uso Residencial 3” com miscigenação de usos onde eram permitidas:

- residências individuais e coletivas;
- comércio e varejo;
- mercados e supermercados;
- garagens em geral para veículos motorizados, excetuando-se os de carga e coletivos, não vinculados à rede fixa;
- templos;
- estabelecimentos de ensino;
- bibliotecas e museus;
- clubes e locais de uso recreativo e esportivo;
- casas de espetáculos e diversões;
- escritórios e consultórios para profissionais liberais;
- cafés, bares, restaurantes e congêneres;
- padarias e confeitarias;
- hospitais, casas de saúde e ambulatórios;
- edifícios públicos;
- pequenas oficinas não incômodas;
- bancos e estabelecimentos financeiros;
- hotéis;
- laboratórios de análises;
- lavanderias;
- instalações de rádio difusão e televisão;
- postos de serviço;
- escritórios;
- imprensa e editoras;
- pequenas indústrias não incômodas e não nocivas ou perigosas;
- depósitos de área coberta não superior a 200m<sup>2</sup> e, destinado à armazenagem de produtos não inflamáveis ou explosivos, ou que possam produzir gases ou emanações nocivas ou incômodas.



Em 1978 foi criado o Programa Especial de Reavaliação do Plano Diretor – PROPLAN, este não resultou em grandes modificações de uso e altura que já estava vigente na área, passando para o máximo 8 (oito) pavimentos. No PDDU de 1994 os usos são re-classificados, mas a região não perde suas características iniciais. A área continua sendo prioritariamente residencial, mas inclui corredores de comércio e serviço (acompanhando parte da Av. João Pessoa, Av. Piratini e da Av. Oswaldo Aranha) além de pólos de comércio e serviço (entre as Av. José Bonifácio e Venâncio Aires, entre as Ruas Santana e Vieira de Castro. Esta região é classificada como Unidade Territorial Residencial 05, onde são permitidos:

- comércio, serviços e indústria vinculada à habitação (25% da área da residência);
- comércio varejista (até 150m<sup>2</sup>);
- serviços domiciliares (até 150m<sup>2</sup>);
- serviços pessoais (até 150m<sup>2</sup>);
- serviços de lazer e cultura, comunitários e sociais;
- serviços de transporte (até 150m<sup>2</sup>);
- serviços profissionais e técnicos (até 150m<sup>2</sup>).

No PDDU atual os usos foram mantidos mantendo a característica de zona mista, mas o limite de altura chega a 17 pavimentos. A atual revisão do plano propõe uma diminuição da altura para 11 pavimentos. O Bairro Santana foi escolhido como laboratório de investigação devido a sua característica estruturada e estabilizada em termos da rede, por possuir um padrão heterogêneo do uso do solo e da forma construída, porém com padrão socioeconômico homogêneo, eliminando assim, as classificações de classe econômica nas variáveis do estudo. A regulamentação urbanística, também se manteve constante ao longo do período estudo, eliminando a influencia da legislação na análise dos resultados. Estas características favorecem a investigação do tema de estudo, uma vez que simplifica o número de variáveis envolvidas na exploração, permitindo identificar, objetivamente, algum tipo de comportamento padrão no comportamento das variáveis dentro do sistema e configuração das vizinhanças procurando cumprir os objetivos propostos, a exploração de padrões sócio-espaciais ao longo do tempo.

## **6.2.2 Abstração do Sistema Espacial**

A abstração física do sistema real apresenta algumas particularidades devido à escala de análise e a natureza do fenômeno a ser estudado. No caso específico da



desagregação espacial da vizinhança no nível do lote, existe uma base variável quanto ao número de vizinhos, com bastante variação ao longo do território, podendo variar entre três a vinte e sete vizinhos em lotes do tipo encravado na quadra. A particularidade da escala estudada e seus limitantes como as dimensões variadas de lotes com número de vizinhos diferenciados, tornam a manipulação dos dados em uma grelha regular inviável, por isso, não foi possível trabalharmos em uma base celular com número de vizinhos pré-estabelecido, como aqueles utilizados nos modelos celulares autômatos vinculados a GIS, como o disponível no IDRISI.

Primeiramente optou-se pela construção de um subsistema em células com dimensões variadas formados pelos lotes e pelos espaços convexos gerados a partir dos espaços públicos abertos (ruas, avenidas, largos e áreas verdes). A partir da base desagregada em células constroem-se os grafos de vizinhança, utilizando o princípio da adjacência e gerando vários níveis de vizinhança, todos representados por grafos: vizinhos adjacentes do lote na quadra, vizinhos adjacentes do lote em um mesmo espaço convexo para então chegarmos ao que definimos como vizinhança local. (Figura 5.6) A vizinhança local é definida através da união dos dois subsistemas de vizinhança da quadra e do espaço convexo. A figura 6.2 apresenta exemplos do processo de geração do grafo da vizinhança local gerada para cada lote no sistema estudado.

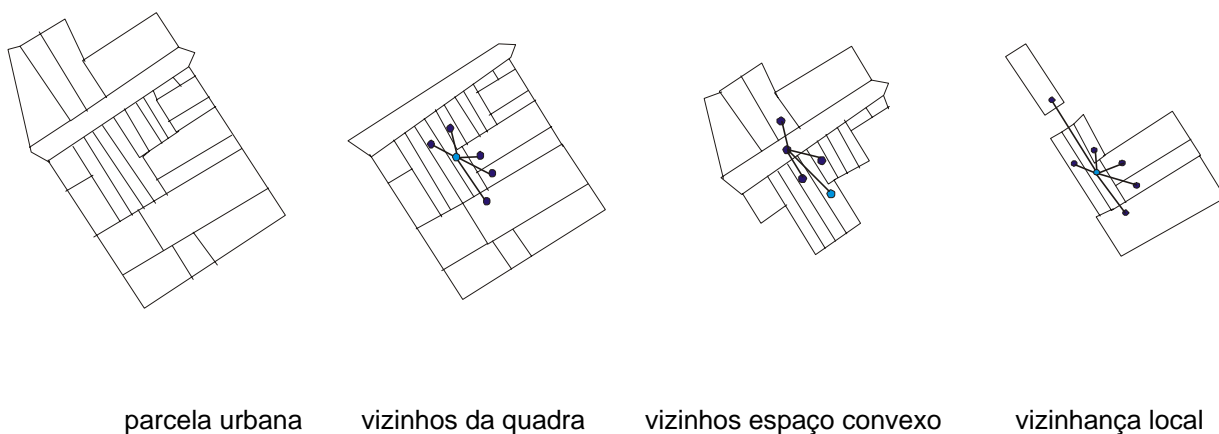


Figura 6.2 - Diferentes Níveis de Vizinhança

O grafo geral é configurado a partir de todas as relações de vizinhança entre lotes, constituída por 806 lotes e suas respectivas vizinhanças, totalizando 3915 adjacências, conforme demonstra o grafo geral da figura 6.3.



Figura 6.3 - Grafo Geral do Bairro Santana

Após representação do sistema real em grafos se constrói em planilha eletrônica, onde se relacionam diferentes desagregações espaciais (posição na rua, quadra, espaços convexos e na linha axial) a um único endereço fixo de cada lote no sistema. A reprodução da base espacial em planilha eletrônica pode ser observada na tabela 6.1, onde são relacionadas as identificações de cada lote e dos respectivos vizinhos, assim como o endereço na rede através do número da rua, quadra e trecho onde se encontram.

lote	rua	quadra	trecho	lote	viz1	viz2	viz3	viz4	Viz5	viz6	viz7	viz8	viz9	viz10	viz11	viz12
5	1	1	1136	5	6	44	46	47								
6	1	1	1136	6	5	7										
7	1	1	1136	7	6	210	211	8								
8	1	1	1136	8	7	9										
9	1	1	1136	9	8	212	213	10								
10	1	1	1136	10	9	380										
11	1	2	1236	11	374	12										
12	1	2	1236	12	11	374	375	376	13							
13	1	2	1236	13	12	14	376	377								

Tabela 6.1 - Planilha relacional entre lotes e agregações espaciais

Após a planilha relacional entre os lotes, vizinhanças e a sua posição nas quadras, ruas e trechos de ruas, parte-se para a etapa de carregar os lotes com os estados de forma construída e atividades ao longo do tempo. O primeiro passo para o carregamento da base espacial, ou seja, das unidades amostrais (lotes), é a definição das variáveis de estudo.

### 6.2.3 Definição das Variáveis de Estudo

Os lotes representam as unidades amostrais a serem analisadas e os estados das unidades de forma construída e atividades (tipologias funcionais) são as variáveis de estudo que se alocam sobre uma base fixa, configurando uma base celular do tipo irregular. O lote e a sua posição dentro do sistema representam as relações estruturais do sistema de objetos. As relações comportamentais serão representadas pelo comportamento coletivo evidenciado pelas ações individuais da população dentro da rede espacial estabelecida no sistema de objetos.

As ações ocorridas sobre o sistema de objetos são representadas através das mudanças, adaptações ou permanências das diferentes tipologias funcionais em relação as outras tipologias funcionais existentes dentro da estrutura espacial da área de estudo, estas ações individuais configuram as relações comportamentais da coletividade de determinadas variáveis frente a outras como, por exemplo: cooperação, competição ou assimilação entre variáveis.

A seleção das variáveis de estudo esta diretamente relacionada ao lugar, caracterizando especificidades culturais, econômicas, sociais, e de legislação da área estudada. Inicialmente verificamos os estoques existentes e as suas características formais e funcionais, para então, posteriormente agregados em grupos de estados. O conjunto de estados possíveis que os lotes podem ocupar configura-se a partir de características comuns definindo o que chamamos de tipologia funcional. As tipologias funcionais encontradas na área de estudo ao longo das décadas levantadas foram agrupadas a partir das suas características formais e funcionais de acordo com estudos tipológicos apresentados por Panerai (1983), Aymonino (1984).

O levantamento de dados possui como base principal o cadastro imobiliário da cidade de Porto Alegre de 1986. Neste cadastro estão especificados data de construção e reforma dos imóveis, tipo de atividade desenvolvida no imóvel, tipo de construção, número de pavimentos, área do imóvel e localização no logradouro público. As informações levantadas para cada lote foram: tipo formal (ocupação do solo, altura), uso e idade do prédio.

A classificação das variáveis (tipologias funcionais) parte das tipologias e atividades existentes no cadastro imobiliário e/ou no sistema real, incluindo informações anteriores e posteriores ao cadastro. As informações do cadastro foram complementadas. As posteriores ao cadastro foram levantadas no local de estudo e, as pesquisas ao arquivo municipal adicionaram, quando necessário, informações de dados anteriores ao cadastro, totalizando dez décadas de levantamento. A seguir apresenta-se na tabela 6.2, a seleção das informações retiradas do cadastro imobiliário que serviram de base para construção do banco de dados utilizado na pesquisa.

UTS	UTP	LOGR	NUMERO	PAV	APTO	AREA_REAL	AREA_CORR	CLASSIF	FINALIDADE	AREA	ANO	TIPO
106	111	8081234	1200	0	0	2476	1928	200	62	607	83	3
106	111	8081234	1230	0	0	1627	1098	200	60	1350	92	2
106	111	8081234	1240	0	0	735	521	100	10	0	0	0
106	111	8081234	1250	0	0	735	7522	100	10	0	0	0
106	111	8081234	1262	0	0	252	252	200	20	130	84	21
106	111	8081234	1280	0	0	11310	11310	199	12	0	0	0
106	111	8081234	1300	0	0	873	618	200	60	900	94	35
106	111	8081234	1302	0	0	5418	2167	104	10	0	0	0
106	111	8081234	1314	0	0	832	604	200	40	674	88	32
106	111	8081234	1328	0	0	771	583	200	40	632	88	32
106	111	8081234	1342	0	0	771	583	200	40	528	88	32

Tabela 6.2 – exemplo do cadastro imobiliário de 1989, de onde foram retiradas as informações básicas para a configuração das variáveis de estudo, conforme se verifica as informações apresentam-se codificadas.

Com base nestas informações recolhidas a cada corte temporal (décadas) totalizando dez décadas, ou seja, nove cortes temporais constroem-se as variáveis de estudo que definem os diferentes estados possíveis de ocupação dos lotes. As tipologias funcionais apresentam-se num total de onze estado possíveis, listadas a seguir e exemplificadas nas figuras 6.4 à 6.14 a seguir:

- 1 (residencial multifamiliar até 5 pavimentos),
- 2 (residencial multifamiliar c/mais de 5 pavimentos),
- 3 (prédio residencial multifamiliar c/ comércio /serviço),
- 4 (residência unifamiliar),
- 5 (residência unifamiliar c/ comercio/serviço),
- 6 (residência c/ duas unidades residenciais no mesmo lote),
- 7 (comércio/serviço isolado),
- 8 (prédio de comércio/serviços/escritórios),
- 9 (prédios especiais como: igrejas, museus, escolas,postos de saúde),
- 10(estacionamentos),
- 11(lote vazio) (terreno).

A seguir apresentamos os exemplos tipológicos encontrados na área de estudo.



Figura 6.4 - exemplo da tipologia funcional 1 - residencial multifamiliar até 5 pavimentos encontrada na área



Figura 6.5 - exemplo da tipologia funcional 2 - residencial multifamiliar c/mais de 5 pavimentos encontrada na área





Figura 6.6 - exemplo da tipologia funcional 3 - prédio residencial multifamiliar c/ comércio /serviço encontrada na área



Figura 6.7 - exemplo da tipologia funcional 4 - residência unifamiliar encontrada na área



Figura 6.8 - exemplo da tipologia funcional 5 - residência unifamiliar c/ comércio/serviço encontrada na área



Figura 6.9 - exemplo da tipologia funcional 6 - residência c/ duas unidades residenciais no mesmo prédio, encontrada na área.





Figura 6.10 - exemplo da tipologia funcional 7 – comércio ou serviço isolado, encontrada na área.



Figura 6.11 - exemplo da tipologia funcional 8 – prédio de comércio/serviços/escritórios, agrupados (+ de um), encontrada na área



Figura 6.12 - exemplo da tipologia funcional 9 – prédios institucionais ou especiais como: igrejas, museus, escolas, postos de saúde, ONGS, encontrada na área.



Figura 6.13 - exemplo da tipologia funcional 10 – estacionamentos não vinculados a postos de gasolinas ou a prédios, encontrados na área.





Figura 6.14 - exemplo da tipologia funcional 11 – Terreno ou ruínas, encontrados na área.

## 6.2.4 Construção do Banco de Dados

A partir do carregamento do grafo com os estados ocorridos nos lotes do sistema ao longo do tempo, são confeccionadas outras tabelas relacionais, através de programação em macros dentro de Planilha Eletrônica Excel, onde são estabelecidos os estados de cada lote e de seus vizinhos dentro de cada um dos intervalos temporais levantados. As tabelas relacionais parte do menor ente do sistema (unidades amostrais), para então configurar outras agregações, assim as tabelas partem dos estados dos lotes e de seus vizinhos dentro de cada corte temporal de análise (neste caso específico temos dez cortes temporais), na intenção de verificar de maneira pontual as substituições dos estados dos lotes.

Na tabela 6.3, um trecho de uma das tabelas utilizadas no estudo, cada lote e seus respectivos vizinhos são carregados com um estado tipológico correspondente ao intervalo temporal levantado, o estado tipológico corresponde a uma tipologia funcional (*variando de 1 à 11*) conforme descrito no sub-item 6.2.2. A tabela 6.3 nada mais é do que o carregamento da tabela 6.1, apresentada no sub-item 6.2.1, com os estados tipológicos em um corte temporal.

ID	lote	viz1	viz2	viz3	viz4	viz5	viz6	viz7	viz8	viz9	viz10	viz11	viz12	viz13	viz14	viz15
5	4_	12_	7_	12_	12_											
6	12_	4_	4_													
7	4_	12_	12_	12_	4_											
8	4_	4_	4_													
9	4_	4_	12_	12_	4_											
10	4_	4_	12_													
11	2_	4_	7_													
12	7_	2_	4_	1_	12_	4_										

Tabela 6.3 – Tabela de estado dos lotes e vizinhos em corte temporal

Então são estabelecidas dez tabelas diferentes para cada lote e seus vizinhos totalizando dez estados para cada lote e para sua vizinhança, num total de 8.600 situações de vizinhança. A diferença entre os estados dos lotes em cada uma das tabelas relacionais (uma para cada corte temporal) demonstra as ações ocorridas em cada lote. A ação se estabelece a partir da diferença entre dois estados do sistema, assim se temos dez conjuntos de estados espaciais observados, possuímos nove conjuntos de ações. A tabela 6.4 demonstra a ação ocorrida em cada lote em um intervalo espacial (t e t+1) e a quantidade de cada tipologia funcional nos vizinhos adjacente a cada lote. Define-se quatro tipos de ações, representadas por quatro números de um a quatro, 1 (permanência), 2 (adaptação funcional), 3(adaptação formal), 4 (mudança).

trecho	rua	quadra	lote	ação	tipo	vr1	vr2	vr3	vr4	vr5	vr6	vr7	Vr8	vr9	vr10	vr11	vr12
1136	1	1	5	1	4	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1136	1	1	6	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1136	1	1	7	2	4	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1136	1	1	8	2	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
1136	1	1	9	2	4	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1136	1	1	10	1	4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1236	1	2	11	1	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1236	1	2	12	1	7	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

Tabela 6.4 - Tabela com o estado dos lotes e ações sofridas, relacionadas a quantidade de tipologias funcionais vizinhas a cada lote em um corte temporal

Os quatro tipos de ações configurados a partir do cruzamento dos dez cortes espaciais são: 4 (mudança)-mudança de forma e função, 1 (permanência)-

permanência da tipologia funcional, 2 (adaptação funcional)- adaptação da função em uma mesma tipologia (uma casa residencial adapta a função para um comércio); 3 (adaptação formal)- a adaptação da forma com a permanência da função (continua tendo uma função residencial multi-familiar, porém a forma é modificada – exemplo: um edifício residencial c/ cinco pavimentos e s/garagem é substituído por um outro edifício residencial com mais de cinco pavimentos c/garagem).

O cruzamento das tabelas relacionais 6.3 e da tabela 6.4 de estados e ações compõe-se uma única tabela através da configuração de dez conjuntos de macro estados espaciais, onde se estabelece o corte temporal e onde ocorre algum tipo de transformação ou mudança no estado do lote. Esta tabela 6.5 oferece informações a respeito da mudança de um estado de lote para outro estado, informando os tipos de estados tipológicos, os tipos de ações e as décadas nas quais elas ocorreram.

lote	tipologias		ações					
	lotes	estados	ação1	tipo1	ação2	tipo2	ação3	tipo3
88	1_3	12_1_3	10	12	70	1	2000	3
146	7_10	12_7_10	10	12	70	7	2000	10
794	1_1	12_4_10	10	12	60	4	2000	10
683	1_10	12_1_10	10	12	50	1	2000	10
402	1_3	12_1_3	10	12	60	1	2000	3
399	1_3	12_1_3	10	12	50	1	2000	3
678	1_3	12_1_3	10	12	50	1	2000	3
252	1_8	12_1_8	10	12	60	1	2000	8
134	1_8	12_1_8	10	12	50	1	2000	8
114	3_12	12_3_3	10	12	60	3	2000	3
128	3_8	12_3_8	10	12	20	3	2000	8

Tabela 6.5 – Tabela de transformação de estados relacionada ao corte temporal

Depois de realizadas as alocações das variáveis (tipologias funcionais) nas unidades amostrais (lotes) do sistema, relacionar os estados dos lotes e o estado de suas vizinhanças, e as ações ocorridas ao longo de um século, configura-se a tabela de adjacências, compostas pela concatenação do estado de cada lote e de seus vizinhos, em cada corte temporal.

Este procedimento totaliza 39.150 situações de adjacências. Tabela 6.6 demonstra o procedimento adotado para cada corte temporal. A partir destes

procedimentos a exploração do fenômeno de transformação das unidades de forma construída e atividades são realizadas conforme demonstra o próximo subitem

lote	adj1	adj2	adj3	adj4	adj5	adj6	adj7	adj8	adj9	adj10	adj11	adj12	adj13	adj14
5	4_2_	4_7_	4_8_	4_9_	4_9_									
6	2_4_	2_7_												
7	7_2_	7_2_	7_3_	7_7_	7_7_									
8	7_7_	7_7_												
9	7_7_	7_3_	7_3_	7_4_	7_4_									
10	4_7_	4_2_												
11	2_4_	2_7_												
12	7_2_	7_4_	7_1_	7_1_	7_1_	7_7_								
13	7_7_	7_7_	7_1_	7_1_	7_1_									
14	7_7_	7_2_												
15	2_7_	2_1_	2_1_	2_10_	2_10_									
16	1_2_	1_8_												
17	8_1_	8_3_												

Tabela 6.6 – Tabela de estado da adjacência entre vizinhos em corte temporal

## 6.3 Exploração da Transformação Intra-Urbana

### 6.3.1 Descrição e Extrapolação

Depois de realizada a construção do banco de dados são geradas as matrizes de probabilidade de transição dos estados dos lotes e seus vizinhos entre cada corte temporal, a **matriz interior**, **matrizes exteriores** e **matrizes condicionais**. A **matriz interior**, apresentada no capítulo 5 (matriz 5.1), descreve o comportamento dos estados tipológicos dos lotes a cada intervalo temporal, ou seja, as possibilidades de todos os estados tipológicos se converterem em outros, para todos os lotes do sistema entre o tempo  $t$  e  $t+1$ .

Esta matriz nos oferece as probabilidades de transição entre as diferentes tipologias *funcionais*, indicando a **autonomia** de cada lote dentro da **interdependência** tipológica, apresentando as possibilidades de transição de cada lote dependendo do estado tipológico que ele encontra-se. Foram descritos três estágios claros na evolução dos estados tipológicos dentro do sistema ao longo das dez décadas de análise, representados por três matrizes do **meio interior**, tabela 6.7 (matriz de transição do meio interior da década de 10/20; 20/30; e 30/40); tabela

6.8 (matriz de transição do meio interior da década de 40/50; 50/60; e 60/70); 6.9 (matriz de transição do meio interior da década de 70/80; 80/90; e 90/2000) conforme segue:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
0,0036	0,0018	0,0036	0,0444	0,0067	0,0081	0,0112	0,0022	0,0036	0,0004	0,9143

Tabela 6.7 – (matriz meio interior década 10 à 40)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0022	0,0000	0,0000	0,9910	0,0000	0,0022	0,0045	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0256	0,9744	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
0,1880	0,0376	0,0510	0,0969	0,0084	0,0201	0,0251	0,0142	0,0067	0,0017	0,5505

Tabela 6.8 – (matriz meio interior década 40 à 70)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,9832	0,0011	0,0089	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0022	0,0011	0,0022	0,0000
0,0000	0,9916	0,0042	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0042	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,9900	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0067	0,0000	0,0000	0,0033
0,0067	0,0040	0,0054	0,8805	0,0027	0,0027	0,0698	0,0121	0,0040	0,0107	0,0013
0,0000	0,0000	0,0213	0,0000	0,8723	0,0000	0,0851	0,0106	0,0000	0,0106	0,0000
0,0000	0,0000	0,0066	0,0000	0,0331	0,8543	0,0795	0,0132	0,0000	0,0132	0,0000
0,0000	0,0068	0,0034	0,0034	0,0000	0,0000	0,9488	0,0341	0,0000	0,0034	0,0000
0,0000	0,0081	0,0081	0,0000	0,0000	0,0000	0,0081	0,9758	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0133	0,0133	0,9733	0,0000	0,0000
0,0000	0,0417	0,0417	0,0000	0,0000	0,0000	0,0417	0,0417	0,0000	0,8333	0,0000
0,1930	0,1789	0,0912	0,0632	0,0070	0,0140	0,0491	0,0807	0,0105	0,0070	0,3053

Tabela 6.9 – (matriz meio interior década 70 à 2000)

Os diferentes estágios de complexidade sistêmica, representados pelas matrizes do meio interior apresentadas acima podem ser visualizados na figura 6.18 (gráfico de complexidade tipológica) obtido a partir das medidas de Entropia e Complexidade de Kolmogorov, calculados através dos softwares SYNCOSA versão 2.2.5 MULTIV versão 2.2. (Pillar, 2002)

A entropia apresentada no gráfico de complexidade tipológica (figura 6.18) refere-se a uma medida de organização interna do sistema, descrevendo os níveis de variedade e heterogeneidade das variáveis dentro do sistema. No início do sistema o valor de entropia era mais baixo, ou seja, tínhamos a maioria do lotes no estado tipológico do terreno, e muito poucos em outras tipologias, o sistema é mais homogêneo em termos de variedade tipológica.

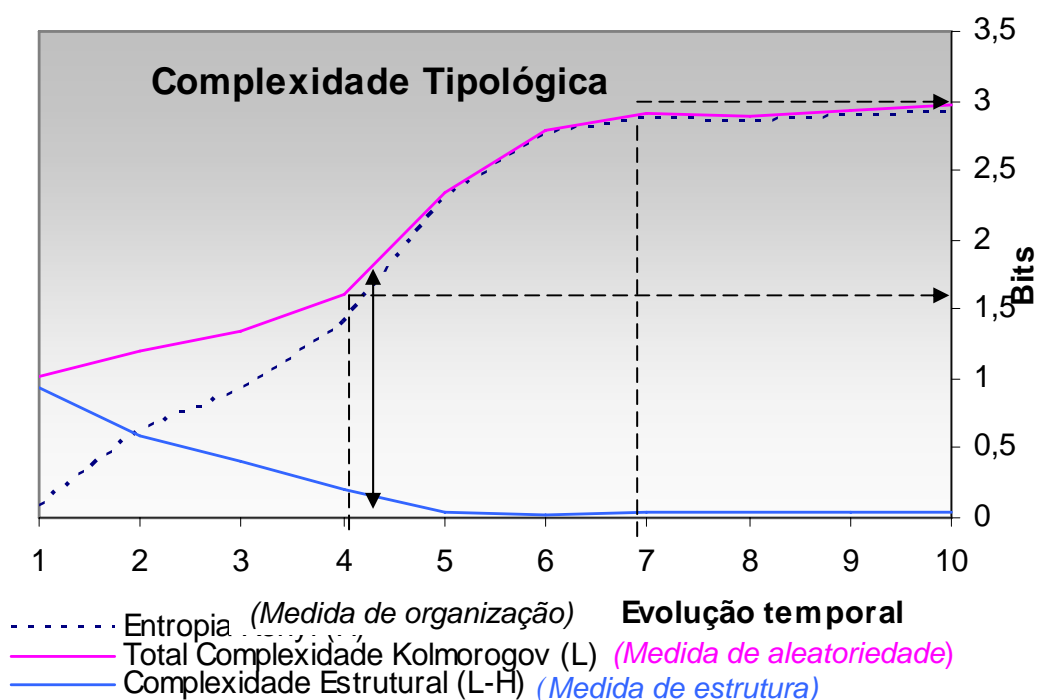


Figura 6.15- Gráfico de complexidade tipológica.

A complexidade de Kolmogorov que representa uma medida de aleatoriedade apresenta um comportamento semelhante à entropia começa em um ponto mais baixo e tende a crescer até chegar a um ponto de estabilidade. Nota-se, porém, que apesar do comportamento apresentar-se semelhante, elas não são coincidentes até a década de cinquenta, quando então se tornam uma única medida.



Este fato pode ser explicado pela complexidade estrutural, que representa a terceira medida apresentada no gráfico da figura 6.15., esta medida é a diferença entre as duas anteriores, e representa a informação adicional que é necessária para revelar a verdadeira entropia, e mede a quantidade de informação que uma parte da seqüência contém a cerca da outra parte, demonstrando informações a respeito da estrutura das seqüências.

Esta diferença representa que, enquanto a organização interna entre as variáveis era definida por uma homogeneidade tipológica, regida basicamente por regras previsíveis (ver tabela 6.7), a única tipologia capaz de converter-se neste período, a tipologia 11 (terreno), podia converter-se em todas as demais. Como neste período o sistema era basicamente composto por lotes ocupados com esta tipologia, apesar da medida de organização apresentar uma entropia mais baixa, a medida de aleatoriedade se apresenta como a mais baixa do sistema, porém mais alta do que a entropia revelada pela medida de organização interna.

As duas entropias se encontram quando a organização interna torna-se mais heterogênea, com mais de uma variável com possibilidade de conversão em outras variáveis (ver tabela 6.8), ocorrendo uma equiparação entre a medida de organização interna e a medida de aleatoriedade sistêmica, representando a correlação estatística entre as duas medidas, e a medida de estrutura nula.

O primeiro estágio evolutivo (matriz do meio interior da década 10/20, 20/30 e 30/40) pode ser identificado através da primeira inflexão demarcada na década de 40 na curva do Total da Complexidade de Kolmogorov apresentada no gráfico da complexidade tipológica (figura 6.15). Neste estágio o sistema é definido basicamente por regras previsíveis, aparecendo regras aleatórias apenas no estado tipológico 11(terreno), o único que pode converter-se em outros estados tipológicos. Conforme demonstra a tabela 6.7, a diagonal principal da matriz contém somente permanências exceto na tipologia 11.

Neste primeiro estágio do sistema verifica-se um maior aumento da variedade interna das variáveis, produzindo um sistema mais heterogêneo a cada intervalo espacial enquanto que aleatoriedade tem um pequeno aumento. Isto pode ser verificado no fato de que enquanto a Entropia aumenta (~1,5 bits) a

Complexidade aumenta ( $\sim 0,5$  bits), ou seja, a organização do sistema torna-se mais heterogênea do que o comportamento das variáveis aleatório. Mesmo que em nível de localização espacial existe grande aleatoriedade na alocação de usos uma vez que ainda não foram estabelecidas as vizinhanças, em termos de quantidades de lotes a serem convertidos para cada tipologia funcional existe pouca incerteza, conforme se pode verificar na primeira matriz do meio interior.

O segundo estágio representado pela matriz de 40 a 70 (40/50, 50/60, 60/70) apresenta um grande desenvolvimento do sistema, com uma grande proporção de lotes no estado 11(terreno) transformando-se nos demais estados tipológicos, restando muito poucos lotes no estado tipológico 11.

Conforme podemos verificar na tabela 6.8 a probabilidade da tipologia 11 (terreno) de permanecer no mesmo estágio tipológico é menor que a probabilidade de conversão para outros estados tipológicos, configurando grande número de conversões dentro do sistema, também começam a acontecer às primeiras conversões entre estados (tipologia 4 para 6 e 7) conforme pode-se verificar na matriz de transição do meio interior de 40 à 70 (tabela 6.8) Neste segundo estágio a Entropia e a Complexidade de Kolmogorov se encontram, ambas crescem na mesma taxa de ( $\sim 1,5$  bits), nesta fase do sistema possuímos uma organização interna tão heterogênea quanto aleatória.(ver figura 6.15)

O terceiro estágio correspondente às décadas de 70/80, 80/90, 90/200 e está representado na tabela 6.9, onde se verifica uma estabilização macro espacial da Entropia e da Complexidade Sistêmica. A diminuição da taxa de crescimento da Entropia e da Complexidade devê-se ao fato de que de um lado a heterogeneidade das variáveis dentro do sistema encontra-se equilibrada, ou seja, a organização interna encontra-se estabilizada, e de outro lado esta relaciona ao fato de que todos os estados tipológicos já sofreram conversões, ou seja, já se sabe as possibilidades de conversão de cada estado tipológico para todos os demais, ou seja, não existirá mais o aumento da aleatoriedade dentro do sistema até surgir um novo estado tipológico, uma interferência externa que modifique o padrão comportamental estabelecido entre as variáveis.

Este estágio evolutivo onde as conversões entre estados tipológicos encontram-se estabelecidas, configurando um maior ganho de informação dentro do sistema a respeito das possibilidades de conversão de um estado tipológico no tempo  $t+1$  em relação ao seu estado no tempo  $t$ . Existe uma forte tendência à estabilização dos estados tipológicos com altas probabilidades de permanência e com baixas probabilidades, mas possíveis, de conversões para outros estados tipológicos, mantendo assim o sistema ativo, mas estável, conforme se verifica na tabela 6.9 e visualiza-se na figura 6.15.

Esta instabilidade micro espacial dentro da aparente estabilidade macro espacial pode ser visualizada no gráfico de variação entrópica dos pontos espaciais (lotes e suas vizinhanças locais), da figura 6.16, onde o lote permaneceu no mesmo estado tipológico entre as décadas de 90 e 2000. O gráfico apresentado na figura 6.16 demonstra a entropia dos pontos espaciais entre as últimas duas décadas analisadas 90 e 2000, que aparecem, na escala macro-espacial em estabilidade entrópica (ver figura 6.15). Os pontos espaciais apresentam variação entrópica com locais de alta entropia ( $\sim 2,00$  bits) e de baixa entropia ( $\sim 0,00$  bits).

Ao olharmos a entropia de Shannon na escala local pode-se identificar uma variação entrópica ativa, ou seja, níveis diferenciados de heterogeneidade entre as duas décadas, demonstrando que mesmo que o lote analisado permaneceu no mesmo estado ocorreram variações nos seus vizinhos, mudando a entropia do conjunto na escala micro-espacial, enquanto que a entropia macro espacial permanece a mesma. Nota-se que ocorre uma sensível baixa da entropia em quase todos os pontos analisados, demonstrando uma tendência a homogeneização dentro das vizinhanças locais.

A figura 6.17 demonstra o gráfico da entropia dos pontos espaciais (conjunto composto por um lote e seus vizinhos adjacente) onde os lotes mudaram de estado entre a década de 90 e a de 2000. Observa-se que as entropias locais encontradas neste gráfico (figura 6.20) são mais altas que no gráfico das permanências (figura 6.16), variam entre ( $\sim 2,00$  bits) e (1,00 bits).

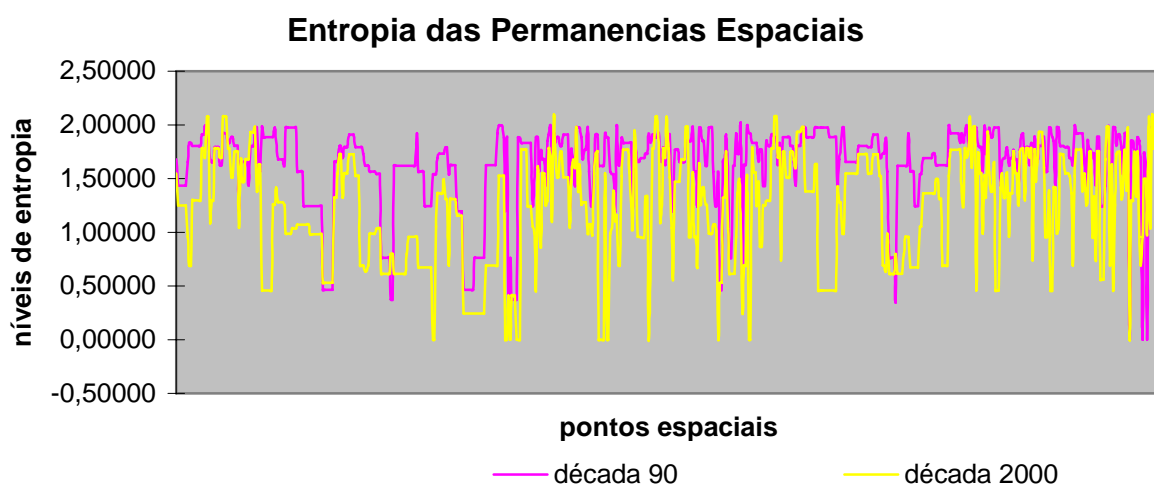


Figura 6.16 - Gráfico da Entropia dos pontos espaciais (conjunto composto por um lote e seus vizinhos adjacentes), medidas obtidas a partir do programa de estatística MULTIV.

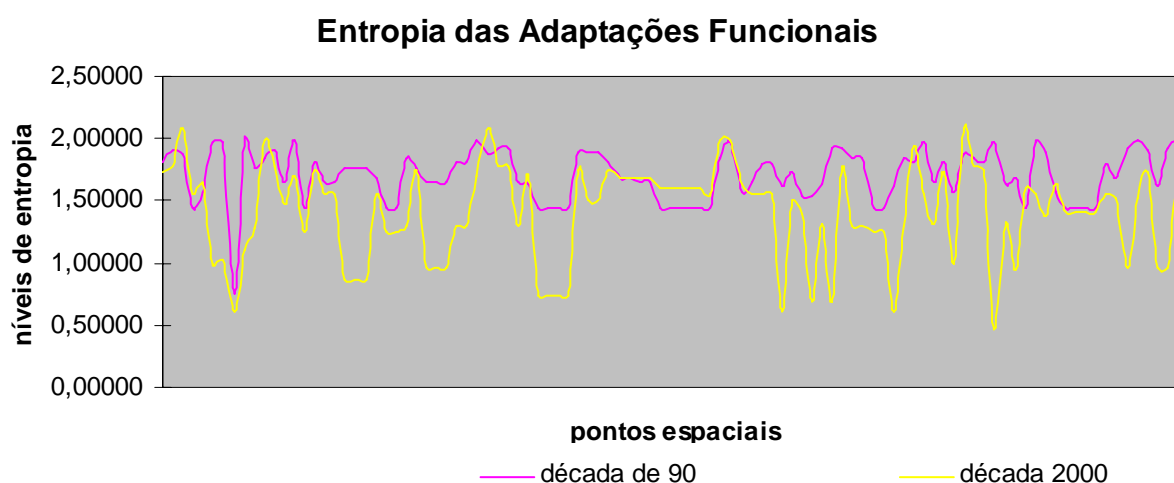


Figura 6.17 - Gráfico de Entropia dos pontos espaciais (lotes que mudaram de estado e seus vizinhos imediatos entre as décadas de 90 e 2000), medidas obtidas a partir do programa de estatística MULTIV.

A análise das cadeias de Markov na **matriz interior** é realizada através do cálculo dos tempos médios de absorção de cada estado tipológico, dos tempos médios de recorrência, e das probabilidades de absorção obtidos com a aplicação do programa computacional desenvolvido por Giacomelli (1995). Este programa permite inferir a respeito da estabilidade do sistema, demonstrando qual são os estados recorrentes ao longo do tempo, e aqueles que são absorventes, ou seja, aqueles que depois de alocados tendem a manter-se no lote.

Na primeira matriz (tabela 6.7) todos os estados são identificados como subclasses fechadas, com exceção da tipologia 11(terreno) definida como estado transiente. Este resultado demonstra o que ocorre neste estágio evolutivo, onde os lotes ocupados com a tipologia 11 começam a converter-se em outros estados, e depois do lote ser ocupado por qualquer tipologia, com exceção da tipologia 11, permanece nesta tipologia.

Este comportamento representa o estágio inicial do assentamento da área onde as edificações ainda são bastante novas e existem ainda muitos lotes vazios não tornando lucrativa a demolição nem mesmo a adequação para novos usos das edificações existentes. A comunicação entre as variáveis é definida de forma unidirecional partindo da tipologia 11 para as demais. Os outros estados tipológicos não se comunicam através dos intervalos espaciais, a figura 6.18 demonstra este comportamento.

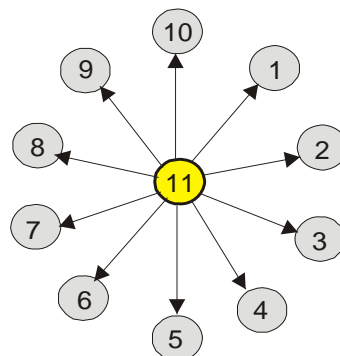


Figura 6.18 – grafo dos estados tipológicos no intervalo temporal das décadas de 20 à 40.

Na segunda matriz (tabela 6.8) aparecem mais estados tipológicos identificados como transientes além da tipologia 11 (terreno), a tipologia 4 (casa) e a tipologia 9 (especial), as demais tipologias aparecem como subclasses fechadas, ou sejam não comunicam-se com as demais. A tipologia 4 (casa) apresenta probabilidades de absorção pelas classes fechadas: tipologia 1 (edifício residencial até cinco pavimentos), tipologia 6 (residência c/ duas unidades residenciais no mesmo lote e tipologia 7(comércio isolado). A tipologia 9 (especial) apresenta probabilidade de absorção pela classe fechada da tipologia 2 (edifício residencial com mais de cinco pavimentos).

Observa-se que a tipologia 11(terreno) apresenta um valor de permanência bem mais baixo que nesta matriz de transição (tabela 6.8) do que na matriz anterior (tabela 6.7), possuindo a mesma probabilidade de permanecer e de converter-se, tornando mais acelerado os processos de conversão dentro do sistema.

Neste estágio existem três tipologias que podem converter-se, a tipologia 11 pode converter-se em todas as demais, a tipologia 9 pode converter-se na tipologia 2, e a tipologia 4 pode converter-se nas tipologias 1, 6, e 7. A figura 6.19 demonstra o comportamento entre as variáveis dentro do sistema neste estágio evolutivo.

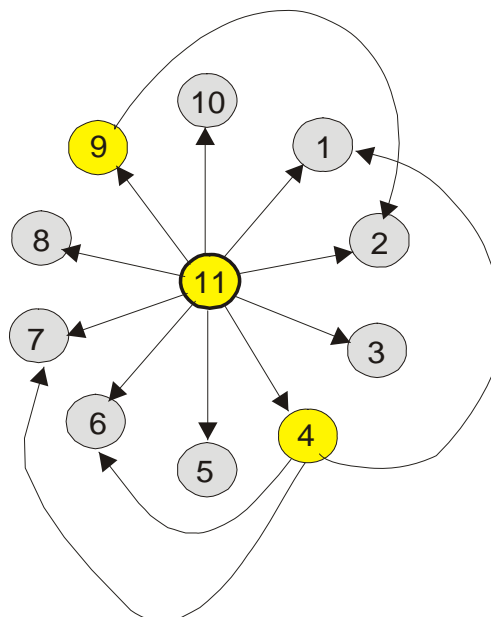


Figura 6.19 - grafo dos estados tipológicos no intervalo temporal das décadas de 40 à 70.

Na terceira e última matriz de transição pode-se verificar que existe uma maior complexidade sistêmica do que nos outros estágios (ver figura 6.15), com uma organização interna bem estruturada e o maior nível de aleatoriedade da evolução sistêmica. Isto se deve ao fato de que quase todos os estados tipológicos comunicam-se uns com os outros, existindo a possibilidade de recorrência de estados tipológicos em diferentes escalas de tempo. A figura 6.20 apresenta a complexa interação das variáveis neste estágio evolutivo.

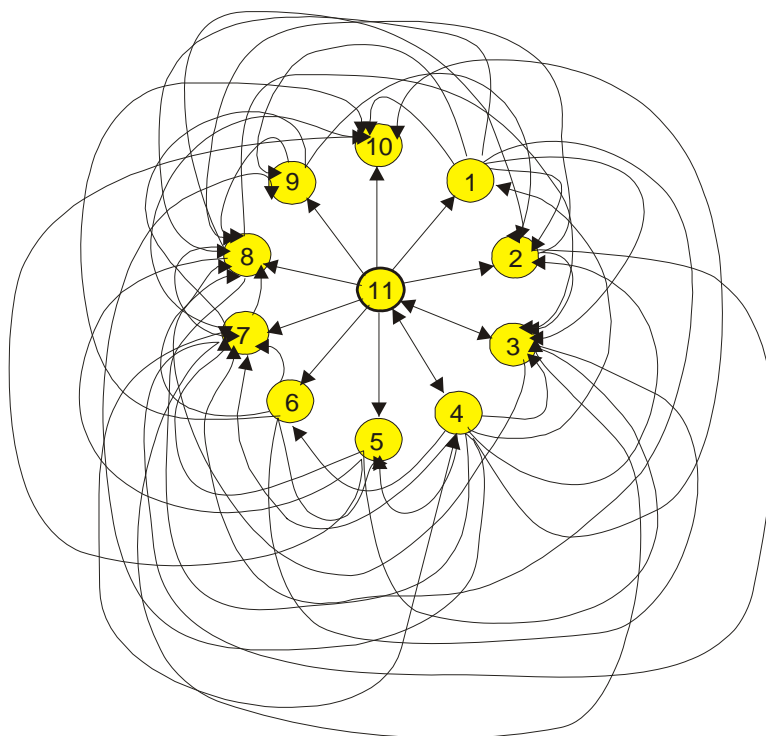


Figura 6.20-grafo dos estados tipológicos no intervalo temporal das décadas de 70 à 2000

Foi realizada a extrapolação de estados tipológicos futuros a partir de um estado inicial para cada uma das matrizes do meio interior encontradas no sistema de estudo, objetivando demonstrar os diferentes cenários gerados a partir de cada matriz de transição, supondo que esta fosse a única matriz para explicar a evolução de todo o processo espaço-temporal de alocação. As previsões se limitam a prever o número de lotes ocupados por cada estado tipológico, não definindo a posição espacial das ocupações. Essas previsões objetivam demonstrar uma visão total da dinâmica do sistema através da previsão do macro estado sistêmico e da sua organização ao longo do tempo.

Os gráficos apresentados nas figuras 6.21, 6.22 e 6.23 demonstram três conjuntos de extrapolações de estados gerados a partir das três matrizes de transição do meio interior definidas anteriormente: *matriz meio interior 10 a 40*, *matriz meio interior 40 a 70*, *matriz meio interior 70 a 2000*. Verifica-se que todas as matrizes dentro de seu espectro de previsão apresentaram quantidades de tipologias funcionais semelhantes às encontradas na realidade dentro do período a que se propõe extrapolar.

A primeira extrapolação foi realizada com a matriz de transição do meio interior (20 a 40) e pode ser visualizada através do gráfico da figura 6.21. Neste

estágio da evolução sistêmica o processo é mais lento, conforme se pode verificar na tabela 6.7, pois a tipologia 11 a única que converter-se em outras, ainda apresenta uma alta probabilidade de permanência dentro do sistema. Este fato configura um estado macro espacial na década de 2000 com mais de 400 lotes no estado 11 (terreno) e em torno de 15 lotes nas tipologias 1 e 2, muito longe da convergência do sistema, ou seja, da estabilização do cenário macro espacial.

### Extrapolação da frequência das tipologias funcionais por década

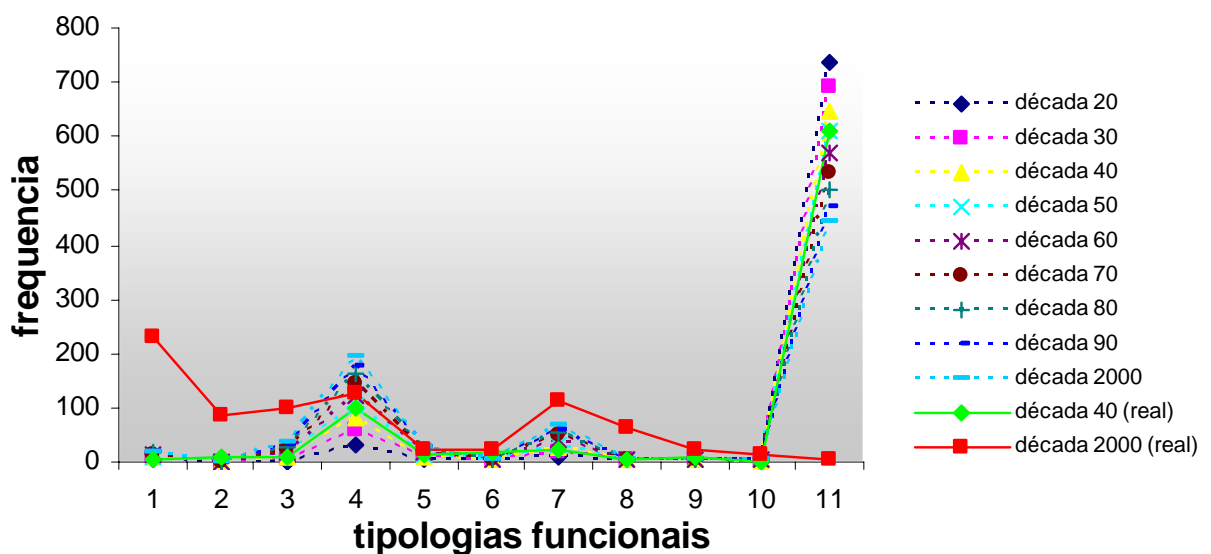


Figura 6.21 – Gráfico da extrapolção de estados a partir da matriz do meio interior 10 a 40.

A extrapolção da segunda matriz do meio interior (40 a 70) pode ser visualizada no gráfico da figura 6.22, onde se verifica que a convergência do sistema e a tendência à estabilização do cenário macro apresentam características diferenciadas das encontradas no sistema real. Pode-se verificar que o comportamento de algumas tipologias funcionais ficaram longe do comportamento real, como o caso das tipologias 3 (edifício misto), a tipologia 4 (casa), a tipologia 7 (comércio isolado) e a 8 (edifício de comércio/serviço). Pode-se dizer que estas diferenças não se referem ao crescimento destas tipologias dentro do sistema, ou seja, o padrão de conversões da tipologia 11 (terreno) para estas tipologias permaneceu o mesmo, o que mudou foi o padrão de conversão entre as outras tipologias, e dentre elas destacam-se como maioria destas conversões às definidas como adaptações (funcionais ou estruturais).



### Extrapolação da frequência das tipologias funcionais por década

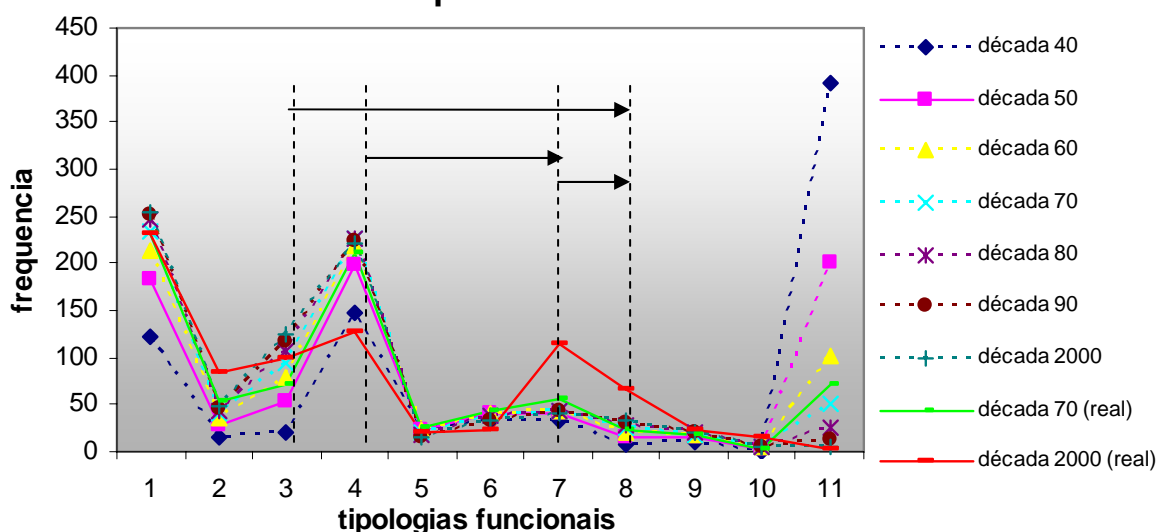


Figura 6.22 – Gráfico da extrapolção de estados a partir da matriz do meio interior 40 a 70

A última extrapolção gerada a partir da matriz do meio interior do último estágio (70 a 2000), apresentada na figura 6.23, representa por sua vez, o comportamento do sistema ao longo de toda a sua história, onde cada estado presente contém o estado anterior, confirmando a hipótese lançada no primeiro capítulo desta tese. O objetivo destas extrapolções é justamente demonstrar esta característica do sistema de conter o conjunto de todos os estados anteriores no estado presente.

### Extrapolção da frequência das tipologias funcionais por década

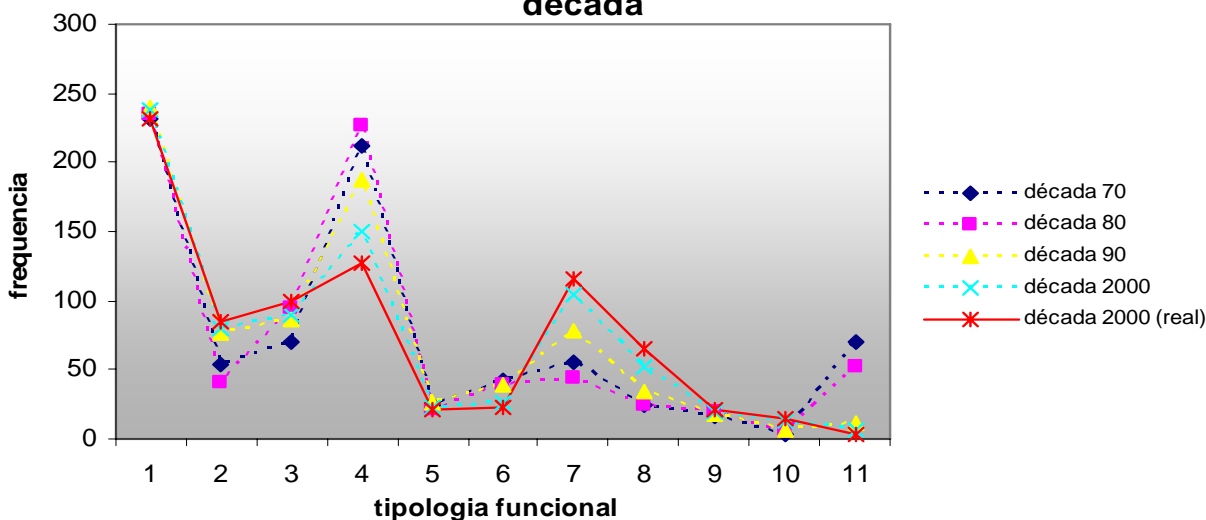


Figura 6.23-Gráfico de extrapolção de estados a partir da matriz do meio interior 70 a 2000

Através da descrição da Complexidade e Entropia do sistema identificamos uma clara estabilização do sistema, supondo que o sistema não receba nenhuma interferência externa, realizamos a extrapolação de estados futuros com a finalidade de verificar por quanto tempo o sistema mantém-se ativo dentro da estabilidade. A extrapolação do estado presente prevê uma convergência no ano de 2120, ou seja, mais doze interações referentes a um corte espacial de dez anos manteriam o sistema em processo de mudança na escala micro-espacial e em estabilidade na escala macro-espacial. A tendência à estabilização do sistema a partir de 2010 pode ser verificada no gráfico da figura 6.24, onde se pode verificar a estacionaridade das taxas de ocupação de cada estado tipológico.

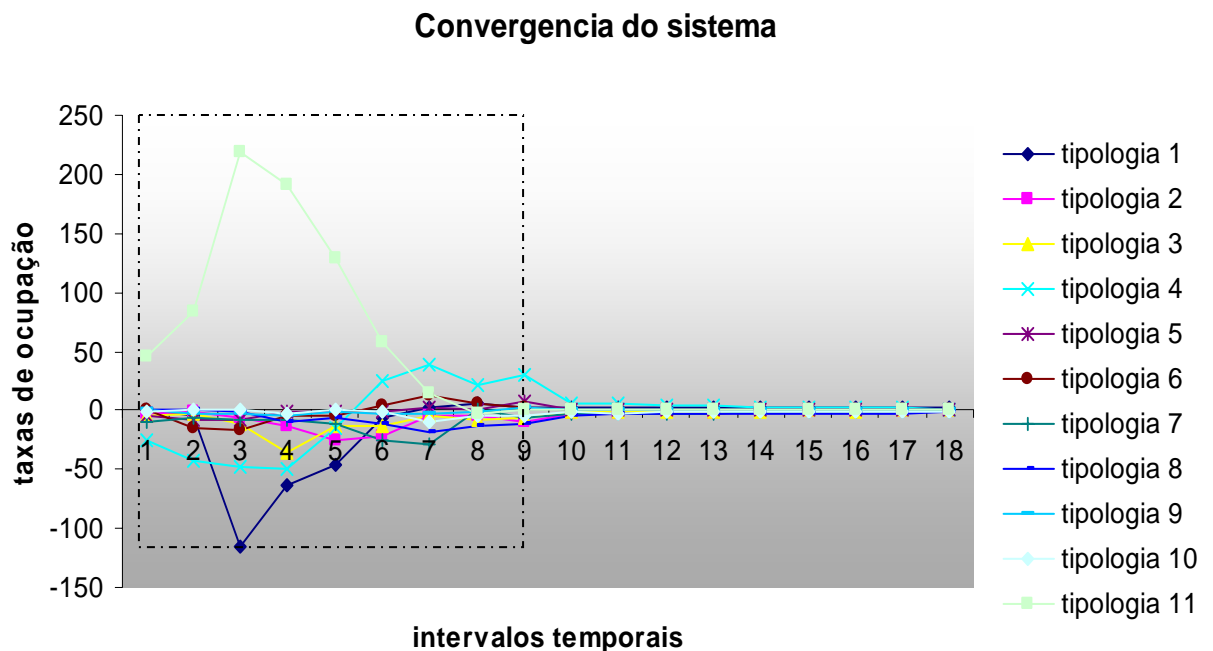


Figura 6.24 - Gráfico da simulação do comportamento das tipologias ao longo da evolução do sistema até chegar à estabilização.

O gráfico da figura 6.24 apresenta como as taxas de ocupação nos lotes de cada uma das tipologias funcionais ocorreu ao longo da evolução do sistema. O intervalo (1) refere-se à década de 20 e o (9) a década de 2000. Conforme se verifica nesse gráfico a partir de 2010 o sistema entra num estágio de estacionaridade da taxas de ocupação das tipologias funcionais dentro do espaço espacial, onde as tipologias continuam se transformando, mas as taxas ficam fixas. Dentro deste gráfico demarcamos um recorte pontilhado, onde salientamos a representação do comportamento do sistema até a década de 2000. Verifica-se que

a evolução do sistema estudado tem o seu maior crescimento na década de 40, ou seja, onde existe uma grande redução da tipologia 11 (terreno). A extrapolação dos cenários tipológicos até a estabilização sistêmica parte da década de 70 e pode ser visualizada no gráfico da figura 6.25. Nesse gráfico as linhas pontilhadas representam os estados simulados e as linhas cheias os estados reais, permitindo uma comparação entre os resultados. A extrapolação demonstra a frequência de cada estado tipológico até a convergência do sistema em 2120.

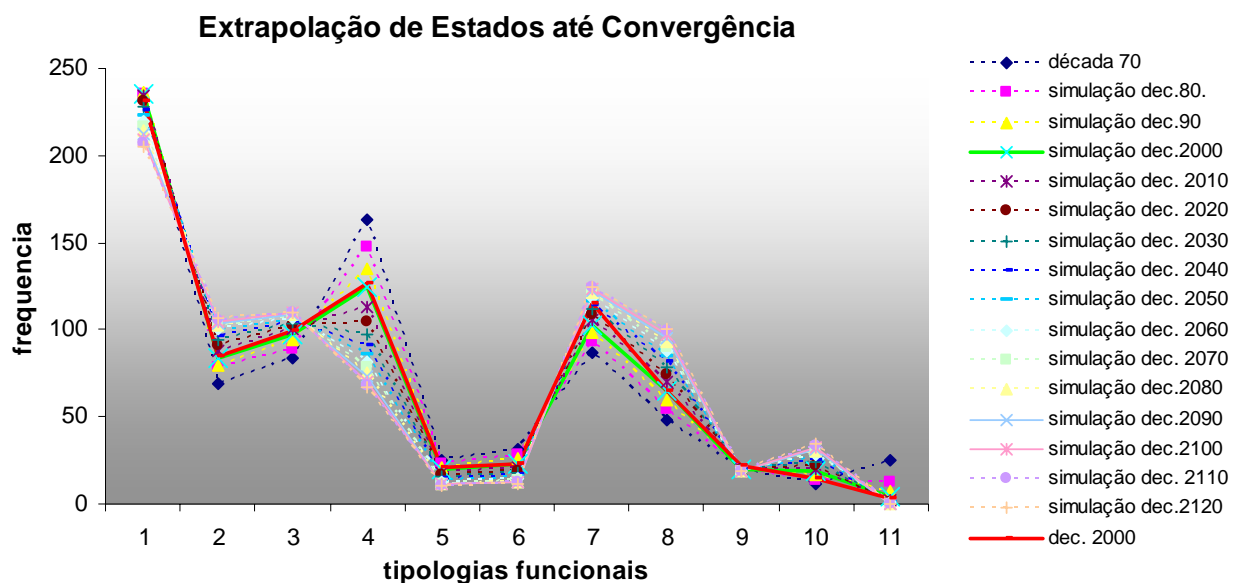


Figura 6.25 – Gráfica de extrapolação dos estados até o ano 2120 (quando então se supõem que o sistema estabilizaria, e as mudanças na escala micro-espacial tornar-se-iam raras).

O gráfico demonstra que as tipologias funcionais que mais cresceram no sistema foram: 2 (residencial multifamiliar c/mais de 5 pavimentos), 3 (prédio residencial multifamiliar c/ comércio /serviço), 8 (prédio de comércio/serviços/escritórios), e 10 (estacionamentos). A tipologia que apresentou um leve crescimento foi a tipologia 7 (comércio/serviço isolado), enquanto que as tipologias 9 (prédios especiais como: igrejas, museus, escolas, postos de saúde), e 11 (lote vazio) mantiveram-se estabilizadas. As tipologias que tiveram a sua frequência reduzida dentro do sistema foram: 1 (residencial multifamiliar até 5 pavimentos), 4 (residência unifamiliar), 5 (residência unifamiliar c/ comércio/serviço), e a 6 (residência c/ duas unidades residenciais no mesmo lote). O objetivo destas extrapolações é justamente demonstrar esta característica do sistema de conter o conjunto de todos os estados anteriores no estado presente, e demonstrando a capacidade endógena do sistema de manter-se em mudança, mas estabilizado.

As matrizes do *meio exterior* descrevem a dinâmica da vizinhança de cada uma das coletividades quanto à estabilidade das tipologias funcionais na vizinhança, gerando as probabilidades de transição entre as tipologias funcionais para a vizinhança de cada *coletividade tipológica*. O *meio exterior* de cada coletividade tipológica fornece a evolução das *vizinhanças* ao longo do tempo, possibilitando a apreensão das preferências locacionais entre estados tipológicos ao longo da evolução sistêmica. (tabelas 6.10 à 6.20).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,9872	0,0018	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0030	0,0006	0,0043	0,0000
0,0000	0,9918	0,0082	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,9880	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0090	0,0000	0,0000	0,0000
0,0059	0,0095	0,0000	0,8944	0,0024	0,0000	0,0605	0,0059	0,0047	0,0166	0,0000
0,0000	0,0000	0,0374	0,0000	0,8318	0,0000	0,1028	0,0280	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0076	0,0534	0,0000	0,0458	0,7786	0,0763	0,0076	0,0000	0,0305	0,0000
0,0000	0,0126	0,0042	0,0000	0,0000	0,0000	0,9076	0,0546	0,0210	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0076	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9924	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9600	0,0400
0,1522	0,1957	0,1159	0,0942	0,0145	0,0000	0,0000	0,1884	0,0435	0,0290	0,1667

Tabela 6.10 – matriz meio exterior da coletividade 1 da década 70 à 2000

0,9973	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,9889	0,0111	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,9600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0400	0,0000	0,0000	0,0000
0,0159	0,0199	0,0000	0,8685	0,0040	0,0000	0,0518	0,0120	0,0120	0,0159	0,0000
0,0000	0,0000	0,0476	0,0000	0,9286	0,0000	0,0238	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0238	0,0000	0,0000	0,0476	0,6905	0,1905	0,0000	0,0000	0,0476	0,0000
0,0000	0,0313	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9271	0,0313	0,0104	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9000	0,1000
0,1081	0,3784	0,1081	0,0000	0,0541	0,0000	0,0000	0,1351	0,0541	0,0000	0,1622

Tabela 6.11 – matriz meio exterior da coletividade 2 da década 70 à 2000

0,9395	0,0000	0,0490	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0086	0,0000	0,0029	0,0000
0,0000	0,9706	0,0294	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0049	0,0049	0,9458	0,0099	0,0000	0,0000	0,0000	0,0296	0,0000	0,0049	0,0000
0,0160	0,0107	0,0053	0,8128	0,0000	0,0000	0,1337	0,0107	0,0000	0,0107	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9189	0,0000	0,0811	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0149	0,7761	0,0896	0,0896	0,0000	0,0299	0,0000
0,0000	0,0132	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9474	0,0263	0,0132	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9167	0,0833
0,1000	0,0667	0,1333	0,0333	0,0333	0,0000	0,0000	0,4667	0,0333	0,0333	0,1000

Tabela 6.12 – matriz meio exterior da coletividade 3 da década 70 à 2000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,9816	0,0039	0,0105	0,0000	0,0000	0,0000	0,0013	0,0000	0,0013	0,0013	0,0000
0,0000	0,9950	0,0050	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,9931	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0069	0,0000	0,0000	0,0000
0,0075	0,0050	0,0013	0,8918	0,0050	0,0000	0,0528	0,0113	0,0075	0,0176	0,0000
0,0000	0,0000	0,0112	0,0000	0,8539	0,0000	0,1124	0,0225	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0592	0,8618	0,0724	0,0066	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0304	0,0000	0,0000	0,0000	0,9468	0,0190	0,0038	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9565	0,0435
0,1029	0,1838	0,0441	0,1471	0,0147	0,0000	0,0000	0,2721	0,0441	0,0074	0,1838

Tabela 6.13– matriz meio exterior da coletividade 4 da década 70 à 2000

0,9756	0,0000	0,0122	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0122	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,9773	0,0227	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0196	0,0131	0,0000	0,9085	0,0000	0,0000	0,0392	0,0196	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8824	0,0588	0,0588	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9643	0,0357	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
0,1429	0,0683	0,0559	0,0994	0,0248	0,0248	0,0062	0,0311	0,0000	0,0062	0,5404

Tabela 6.14 – matriz meio exterior da coletividade 5 da década 70 à 2000

0,9828	0,0000	0,0172	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,9706	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0294	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0083	0,0000	0,8595	0,0000	0,0000	0,0992	0,0165	0,0083	0,0083	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7857	0,0000	0,0714	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8000	0,2000
0,0000	0,1500	0,0000	0,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4500	0,1500	0,0000	0,1500

Tabela 6.15 – matriz meio exterior da coletividade 6 da década 70 à 2000

0,9829	0,0000	0,0128	0,0000	0,0000	0,0000	0,0043	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0135	0,0000	0,9595	0,0135	0,0000	0,0000	0,0135	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0031	0,0000	0,8276	0,0219	0,0000	0,1317	0,0125	0,0000	0,0031	0,0000
0,0000	0,0000	0,0392	0,0000	0,8627	0,0000	0,0784	0,0196	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7750	0,2000	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0091	0,0000	0,0000	0,0000	0,9773	0,0091	0,0045	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9091	0,0909
0,1842	0,0789	0,1053	0,0526	0,0263	0,0000	0,0000	0,2105	0,0789	0,0526	0,2105

Tabela 6.16 – matriz meio exterior da coletividade 7 da década 70 à 2000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,9462	0,0077	0,0231	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0077	0,0077	0,0077	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0095	0,9714	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0190	0,0000	0,0000	0,0000
0,0163	0,0081	0,0244	0,7886	0,0000	0,0000	0,0976	0,0569	0,0081	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,1000	0,0000	0,9000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8485	0,1212	0,0303	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0375	0,0000	0,0000	0,0000	0,9250	0,0375	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7500	0,2500
0,2222	0,0000	0,1111	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5556	0,0000	0,0000	0,1111

Tabela 6.17 – matriz meio exterior da coletividade 8 da década 70 à 2000

0,9851	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0149	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,8289	0,0000	0,0000	0,1053	0,0395	0,0000	0,0263	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8333	0,1667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,9756	0,0000	0,0244	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8333	0,1667
0,3000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2000	0,1000	0,0000	0,2000

Tabela 6.18 – matriz meio exterior da coletividade 9 da década 70 à 2000

0,9730	0,0000	0,0270	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0870	0,0000	0,8261	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0435	0,0435	0,0000
0,0000	0,0000	0,5000	0,0000	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6667	0,2222	0,0000	0,0000	0,1111	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7273	0,0909	0,1818	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8000	0,2000
0,1250	0,0000	0,1250	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,3750

Tabela 6.19 – matriz meio exterior da coletividade 10 da década 70 à 2000

0,9250	0,0000	0,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0250	0,0000	0,0000	0,8000	0,0500	0,0000	0,0250	0,0500	0,0000	0,0500	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,5000	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,3636	0,0000	0,0909	0,0909	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0909	0,0000	0,3636

Tabela 6.20 – matriz meio exterior da coletividade 11 da década 70 à 2000

A análise do meio exterior pode nos informar o comportamento das tipologias vizinhas de uma coletividade, demonstrando se as vizinhanças permanecem ou mudam quando são vizinhas de uma outra tipologia em especial. Escolhe-se a matriz exterior pertencente à coletividade 4 (casa), tabela 6.13, por ser a tipologia que mais transformou-se no ultimo estágio evolutivo do sistema total, para exemplificarmos a representação da matriz e a seu entendimento no comportamento da vizinhança.

Na primeira linha e na primeira coluna da matriz exterior da coletividade (4) verifica-se que 98,16 % dos seus lotes vizinhos ocupados com a tipologia (1) permanecem, enquanto 1% muda para a tipologia (3), valor alocado na primeira linha e na terceira coluna da matriz. Pode-se perceber através da matriz do meio exterior da coletividade 4 (casa), que existem tipologias vizinhas com maior estabilidade que outras, os lotes vizinhos ocupados com a tipologia (4), (5), (6) e (11) são aqueles que apresentaram as maiores conversões no entorno da coletividade analisada. A figura 6.26 apresenta o gráfico que demonstra a freqüência de cada tipologia funcional alocada nos lotes vizinhos da coletividade tipológica 4(casa) entre as décadas analisadas.

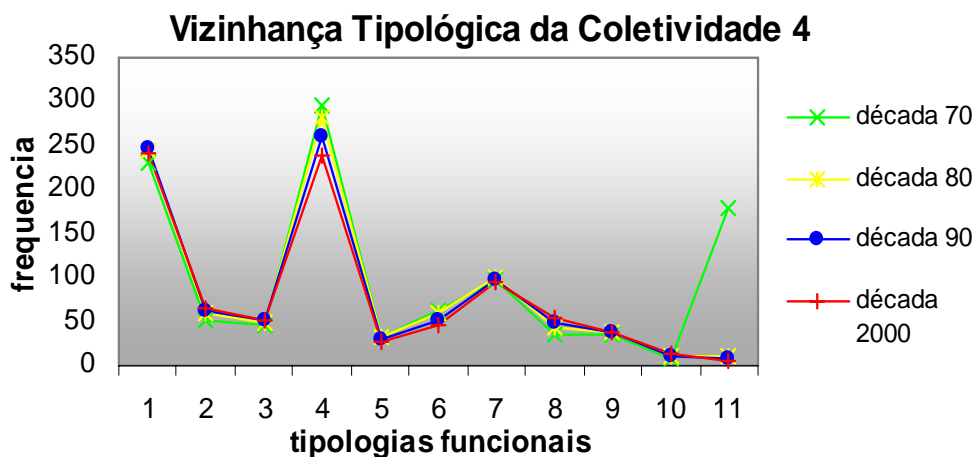


Figura 6.26 – Freqüência da vizinhança tipológica da coletividade 4 ao longo do tempo (matriz exterior de 70 a 2000).

A análise conjunta do gráfico da figura 6.26 e da matriz do meio exterior da coletividade (4) apresentada na tabela 6.13 auxiliam a compreender o tipo de comportamento das tipologias funcionais vizinhas a coletividade 4. As tipologias (1), (2), (3), (7), (8), (9), (10) apresentam as mais altas probabilidades de permanência

na diagonal principal da matriz apresentada na tabela 6.13 enquanto que as tipologias (4), (5), (6) e (11) são aquelas que apresentam mais probabilidades de converterem-se em outras.

No gráfico da figura 6.26 observa-se um leve crescimento da tipologia (2), e (8), uma estabilidade das tipologias (1), (3), (5), (7), (9), (10), e uma diminuição das tipologias (4), (6) e (11). O gráfico permite visualizar o cenário resultante da interação das variáveis dentro da vizinhança apresentada na matriz da tabela 6.13, como por exemplo: a estabilidade da tipologia (5) no gráfico da figura 6.26 deve-se a conversão das tipologias (4), (6) e (11) para esta; o crescimento da tipologia (2) e (8) deve-se a conversão das tipologias (4), (6) e (11) para estas. Este fato nos resume um quadro de instabilidade na vizinhança da coletividade (4) quando ela tem vizinhos da tipologia (4), (6) e (11).

As matrizes do **meio interior** e **exterior** descrevem o fenômeno de alocação espacial ora no lote dentro do sistema global, ora na vizinhança sob uma ótica local, identificando diferentes taxas de crescimento e transformação, representadas por probabilidades de permanência e mudança das variáveis. Estas análises permitem inferências a respeito de estágios tipológicos futuros, mas não investigam a dinâmica do processo de alocação espacial, que se encontra justamente na relação entre o meio interior e o exterior.

Desta forma constrói-se uma **matriz de probabilidade condicional** entre o **meio interior** e o **exterior**, investigando a relação espaço-temporal, ou seja, a ocupação de um lote por um estado tipológico no presente (t) dependente da ocupação de outros lotes ocupados pela mesma tipologia em relação aos seus vizinhos no período imediatamente anterior (t-1). A dependência espacial refere-se ao estado tipológico do lote em relação ao seu ambiente imediato (vizinhos adjacentes), e a dependência temporal refere-se à seqüência das conversões tipológicas em cada lote.

A **matriz condicional** investiga a ação individual e coletiva das variáveis (tipologias funcionais) dentro das unidades amostra (lotes) ao longo do tempo descrevendo padrões comportamentais entre as variáveis e a estrutura espacial (vizinhança local) possibilitando a exploração dos tipos de comportamento



envolvidos nas alocações espaciais (competição, cooperação e assimilação entre as unidades de forma construída e atividades). Esta matriz descreve as regras de ocupação de uma mesma tipologia em relação ao ambiente onde se encontra inserida, ou seja, as probabilidades de transição de todas as coletividades tipológicas combinadas com todas as tipologias funcionais como vizinhos adjacentes. Nesta matriz são avaliadas todas as tipologias umas em relação às outras e em relação aos seus vizinhos, produzindo uma única matriz de 121 x 121, conforme demonstra a matriz da tabela 5.3 do capítulo 5.

A matriz condicional gerada é bastante ampla, possui informações detalhadas sobre o comportamento das tipologias alocadas nos lotes e as suas vizinhanças. Devido a este fato torna-se difícil inserir esta matriz no corpo do trabalho (ver anexo 3, em cd), por isso selecionamos uma coletividade tipológica, a coletividade (4) para observarmos o seu comportamento dentro do sistema. Para isso selecionamos as informações da matriz condicional total e construímos a tabela 6.21, apresentada abaixo:

lote/viz	lotest1	lotest2	lotest3	lotest4	lotest5	lotest6	lotest7	lotest8	lotest9	lotest10	lotest11
04:01	0,006	0,001	0,007	0,893	0,001	0,000	0,060	0,010	0,003	0,018	0,000
04:02	0,010	0,016	0,000	0,870	0,005	0,000	0,073	0,016	0,000	0,010	0,000
04:03	0,013	0,006	0,013	0,787	0,000	0,000	0,148	0,013	0,000	0,019	0,000
04:04	0,006	0,004	0,004	0,842	0,010	0,000	0,087	0,027	0,006	0,014	0,000
04:05	0,022	0,000	0,022	0,857	0,000	0,000	0,066	0,033	0,000	0,000	0,000
04:06	0,006	0,013	0,013	0,831	0,000	0,000	0,071	0,019	0,032	0,013	0,000
04:07	0,004	0,004	0,000	0,838	0,015	0,000	0,128	0,008	0,000	0,004	0,000
04:08	0,015	0,000	0,023	0,823	0,015	0,000	0,077	0,038	0,008	0,000	0,000
04:09	0,000	0,000	0,000	0,820	0,000	0,000	0,140	0,030	0,000	0,010	0,000
04:10	0,000	0,095	0,000	0,857	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,048	0,000
04:11	0,000	0,008	0,000	0,857	0,015	0,000	0,113	0,008	0,000	0,000	0,000

Tabela 6.21 - seleção de informações da coletividade (4) da matriz condicional total relativa ao último estágio evolutivo (da década 70 à 2000)

As informações da tabela 6.21 são descritas da seguinte maneira: na primeira linha e na primeira coluna o valor 0,006 representa a probabilidade de um lote alocado com a tipologia (4) e com o vizinho adjacente da tipologia (1) no tempo  $t$ , converter-se para a tipologia (1) no tempo  $t+1$  possuindo o mesmo vizinho. A coluna 4 é aquela que representa a permanência da tipologia (4), pode observar que ela possui uma maior estabilidade quando possui a tipologia (1), edifício residencial até cinco pavimentos, como vizinho adjacente.

A matriz condicional (anexo 3) possibilita a obtenção de coerções entre estados tipológicos dos lotes e de suas vizinhanças, estabelecendo relações entre as variáveis e os graus de liberdade dentro do sistema, permitindo a exploração da autonomia de cada ente (lote) em relação a seu exterior imediato dependendo do estado em que se encontra no sistema. A autonomia representada pela condicionalidade do meio interior no tempo  $t$  em relação ao meio exterior no tempo  $t - 1$  descreve o quanto que cada o ambiente externo pode influenciar nas estratégias de alocação e/ou transformação das unidades de forma construída e/ou atividades. As probabilidades obtidas na matriz condicional tornam-se regras de transição para a base do tipo celular em um ambiente de GIS, tentando desta forma, suprir a limitação dos modelos do tipo cadeias de Markov que não são capazes de responder as questões relacionadas à localização.

### 6.3.2 Espacialização.

O sistema possui uma matriz de transição do meio interior de (11 x 11), onze matrizes de (11x11) do meio exterior, e conseqüentemente uma matriz condicional (121x121) para cada estágio evolutivo do sistema. A exploração dos padrões centraliza-se na espacialização das regras de transição obtidas a partir das **matrizes exteriores** e da **matriz condicional** (meio interior x meio exterior) do ultimo estágio evolutivo do sistema.

Primeiramente escolhemos uma matriz do meio exterior dentre as onze existente no sistema, a matriz exterior da coletividade (4). Esta primeira exploração tem como objetivo explorar a questão da importância da vizinhança imediata na ocorrência das conversões tipológicas, demonstrando a visão particularizada que a tipologia funcional possuiu do sistema total. Somente depois espacializamos o potencial de permanência e conversão da tipologia funcional alocada em cada lote em relação aos seus vizinhos, levando em consideração todas as conversões possíveis dentro do sistema. Para realizarmos esta segunda etapa de espacialização realiza-se um recorte espacial referente a duas quadras do sistema total, com a finalidade de viabilizar a espacialização das regras de transição, uma vez que este processo ainda não se encontra sistematizado dentro do ArcView.

Como um dos objetivos deste piloto é validar o método quanto às localizações mais prováveis de conversões tipológicas, as regras de transição utilizadas na espacialização não incluem as informações referentes à década de 2000, pois somente assim se podem comparar os locais previstos como os mais prováveis de ocorrer conversões e aqueles onde eles ocorreram de fato.

### 6.3.2.1 Espacialização Matriz Exterior.

Dentre todas as tipologias funcionais, escolhemos a (4) casa, para explorar os padrões, por ser aquela que apresentou o maior número de conversões na década de 90 para 2000, potencializando, assim a exploração do fenômeno locacional. . A figura 6.30 apresenta o mapa onde se visualiza as conversões e permanências ocorridas no ano 2000 em lotes ocupados pela tipologia funcional 4 (casa) na década de 90.

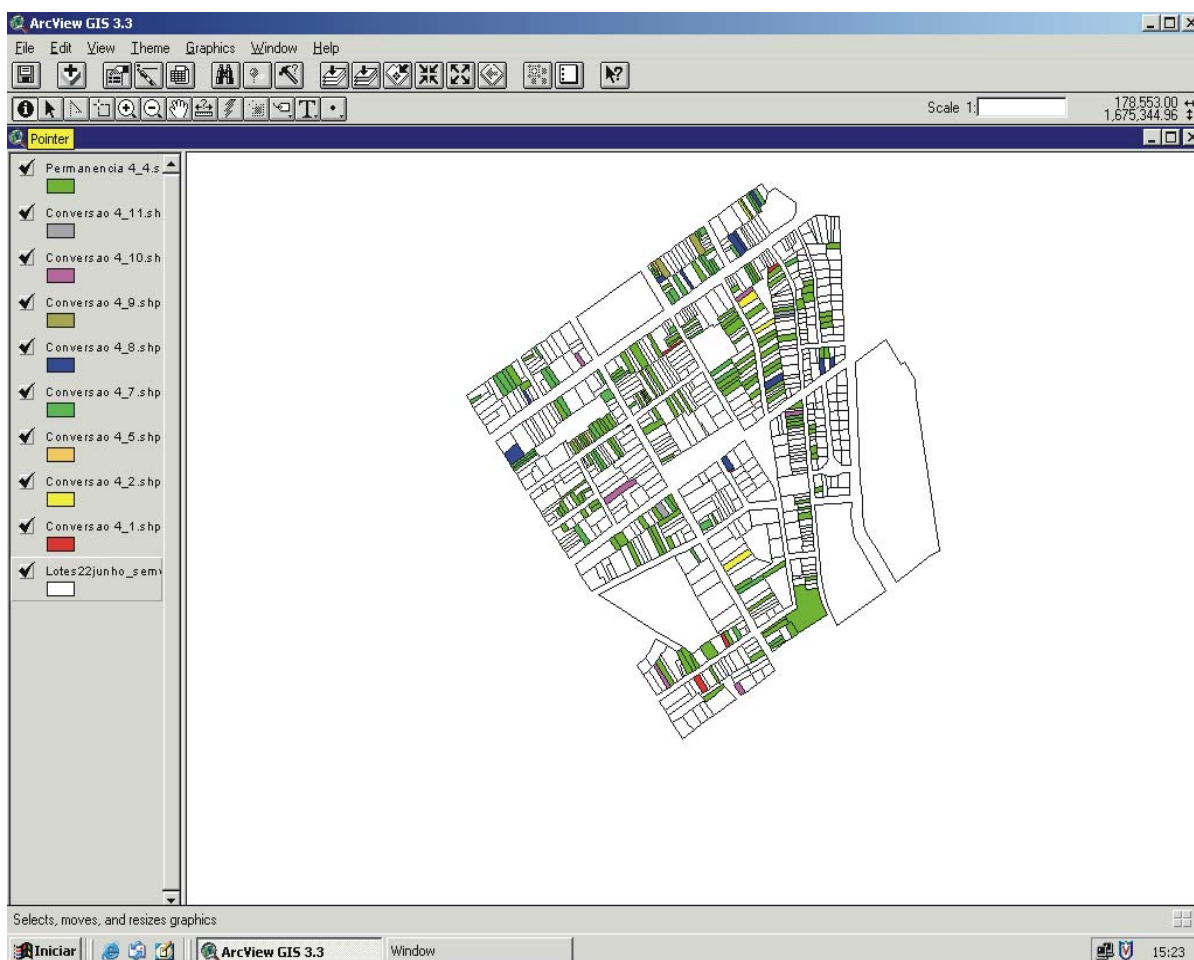


Figura 6.27 – Mapa das permanências e conversões da tipologia 4 na década 2000

A primeira etapa de espacialização permite a geração de mapas com a hierarquização do peso dos diferentes tipos de vizinhos (tipologias funcionais) para cada conversão tipológica. Nestes mapas podemos visualizar a homogeneidade ou heterogeneidade de padrões ao redor dos lotes onde de fato ocorreram as conversões, buscando inferindo a respeito da potencialização ou não da vizinhança imediata nas conversões da tipologia (4), a tipologia escolhida para realizarmos as espacializações. A seguir apresentam-se os mapas gerados no ArcView onde são demonstrados os locais onde ocorreram as conversões de fato, no ano de 2000, e o peso dos vizinhos para estas conversões. A análise dos mapas que seguem deve considerar apenas os pesos dos vizinhos adjacentes aos lotes demarcados em amarelo em cada mapa apresentado.

A figura 6.28, a única que analisa as permanências de 4\_4, apresenta as permanências de lotes isolados com a tipologia casa em locais onde a vizinhança potencializa a permanência deste uso, e em alguns locais verifica-se a permanência de um conjunto de vários lotes de tipologia 4 em um entorno que favorece essa permanência.

Podemos inferir a partir desta espacialização que o entorno imediato tem importância na questão da permanência da tipologia casa, o que parece bastante lógico, uma vez que a casa é a tipologia que mais sofre as externalidades de outras tipologias funcionais, seja pela altura ou pela atividade desenvolvida nos seus vizinhos, assim como também é uma das tipologias mais sensíveis ao investimento de novas incorporações imobiliárias, principalmente quando combinadas com outros lotes com a mesma tipologia em um entorno favorável à conversão.

A figura 6.29 apresenta um mapa onde se pode verificar as poucas conversões ocorridas da tipologia 4 para 5 (casa c/comercio ou serviço). Conforme se visualiza elas ocorreram dentro de tipologias funcionais vizinhas mais favoráveis a esta conversão, demonstrando que neste tipo de conversão a vizinhança exerce uma condição importante.

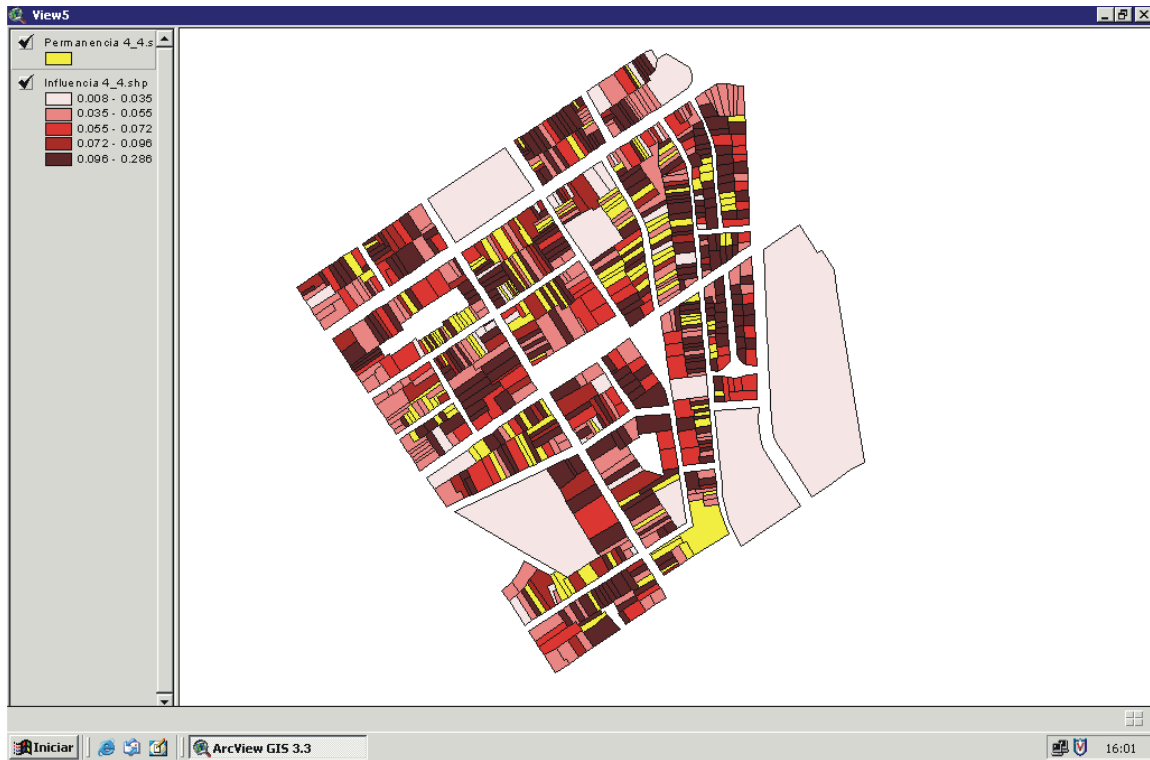


Figura 6.28 – Mapa do potencial da vizinhança para a permanência da tipologia 4(t) comparado com os locais que permaceram com a mesma tipologia (t+1).

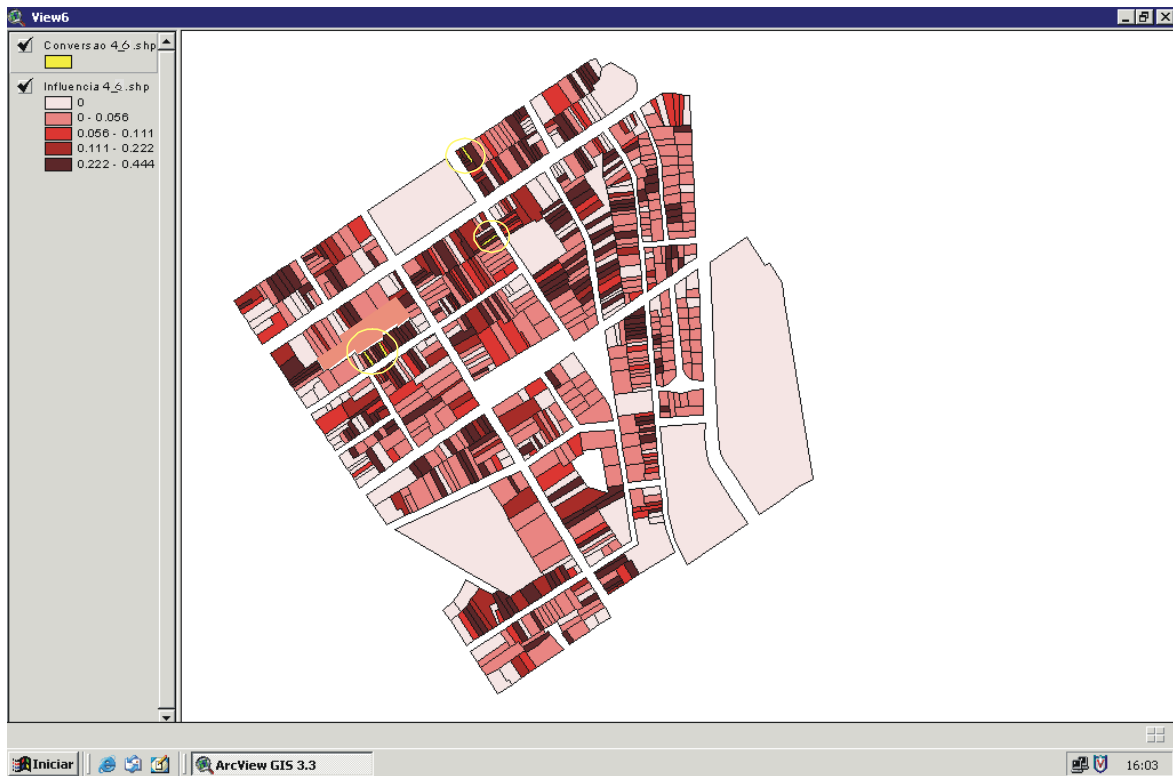


Figura 6.29 – Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 5 (t), comparado com os locais onde de fato ocorreram as conversões (t+1).

Na figura 6.30 o mapa representa a conversão de 4 (casa) para 7 (comercio isolado), onde visualizamos vizinhanças com peso médio e alto nos locais onde ocorreram as conversões, conferindo uma relação bastante forte entre a alocação do comercio isolado e o seu entorno imediato. Verifica-se que as conversões ocorreram em locais onde os vizinhos adjacentes apresentam grande peso para conversão 7.

Observa-se, também que este tipo de conversão de 4 (casa) para 7 (comercio isolado) quando ocorre em locais de vizinhos tipo (4), potencializa a conversão (7) em processo “dominó” de seus vizinhos imediatos, gerando locais onde ocorreram conversões agrupadas (lotes e vizinhos adjacentes convertidos para tipologia 7), até chegarem em vizinhos adjacentes de borda do conjunto com potencial baixo para esta conversão tipológica.

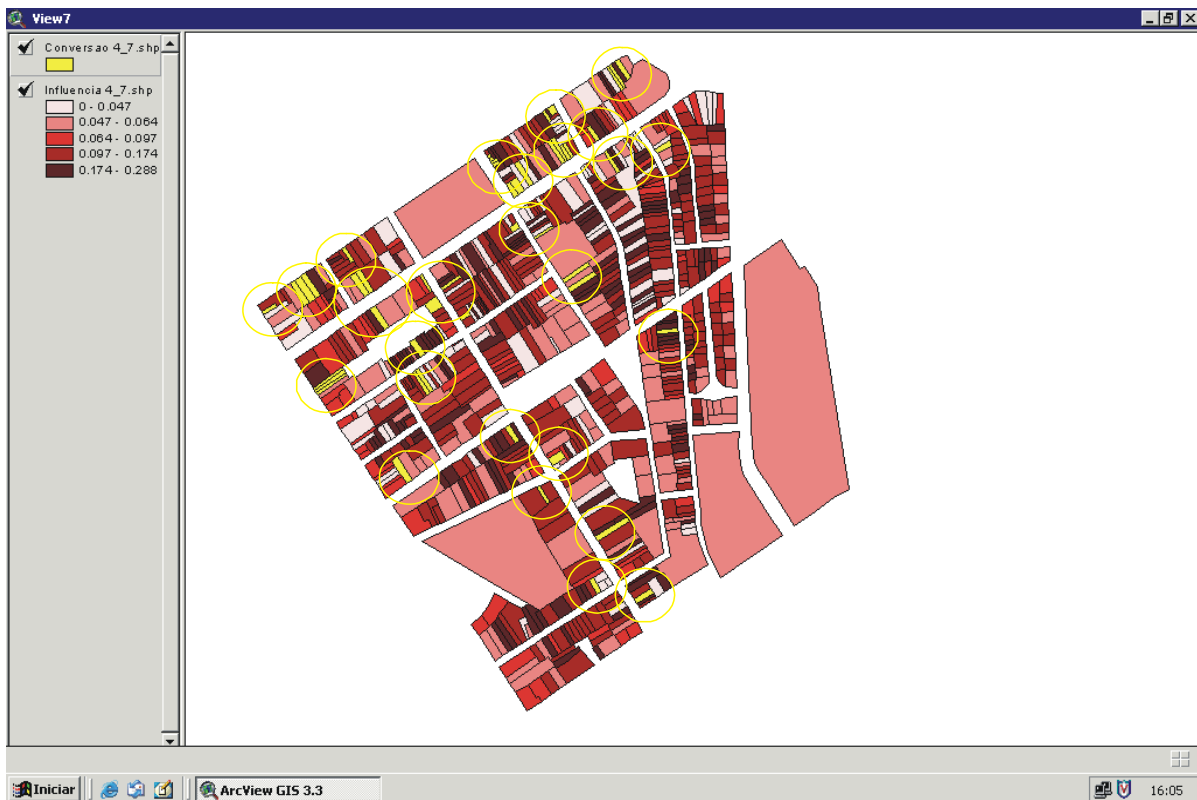


Figura 6.30 – Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 7(t), comparado com os locais onde de fato ocorreram as conversões (t+1)

A figura 6.31 apresenta a conversão de 4 para a tipologia 8 (edifício comércio/serviço) permitindo a verificação dos locais de conversão comparados com o potencial que a vizinhança exerce para esta conversão. Verifica-se que os

locais onde ocorreram as conversões possuíam vizinhanças com probabilidades não muito altas para esta conversão, probabilidades medias baixas, o que nos sugere que a tipologia (8) não apresenta um padrão de vizinhança preferencial para localizar-se. Infere-se que este tipo de conversão não esta condicionada ao estado tipológico dos seus vizinhos imediatos.

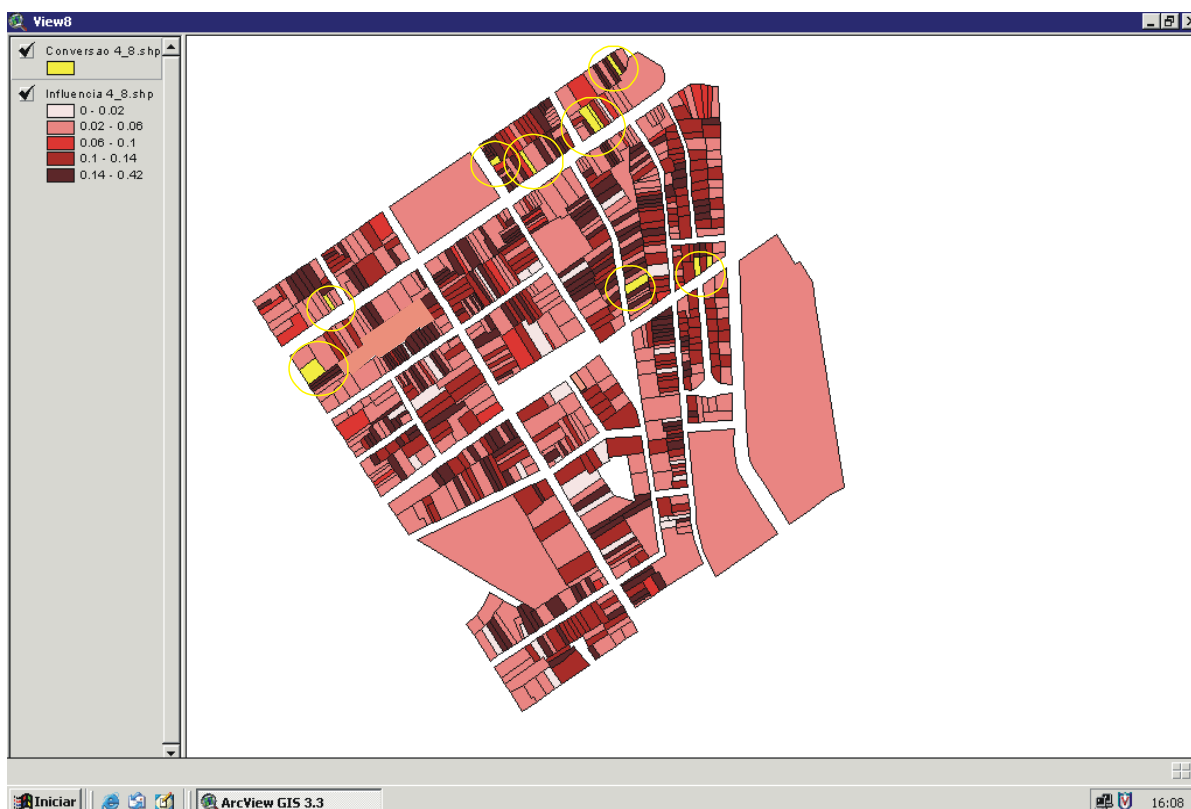


Figura 6.31 – Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 8(t), comparado com os locais onde de fato ocorreram as conversões (t+1)

A espacialização do potencial da vizinhança para as conversões da tipologia (4) para as tipologias (9) e (10) são apresentadas nas figuras 6.32 e 6.33 respectivamente. Estas figuras demonstraram que as vizinhanças exercem influencia para estes dois tipos de conversões.

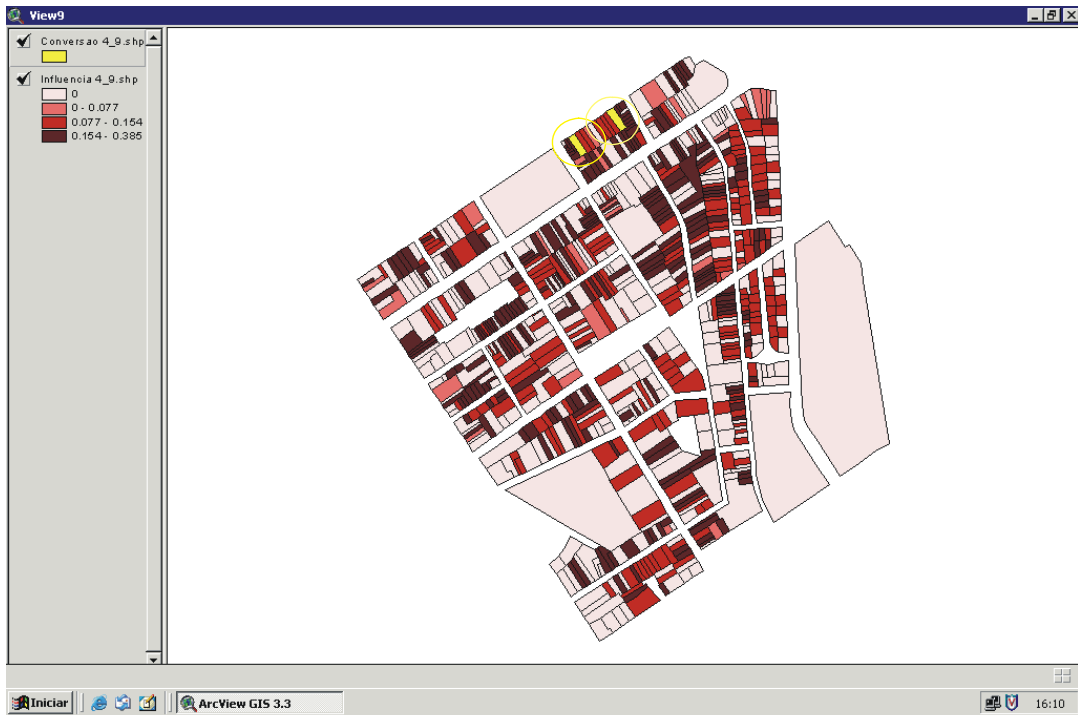


Figura 6.32 – Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 9(t), comparado com os locais onde de fato ocorreram as conversões (t+1)

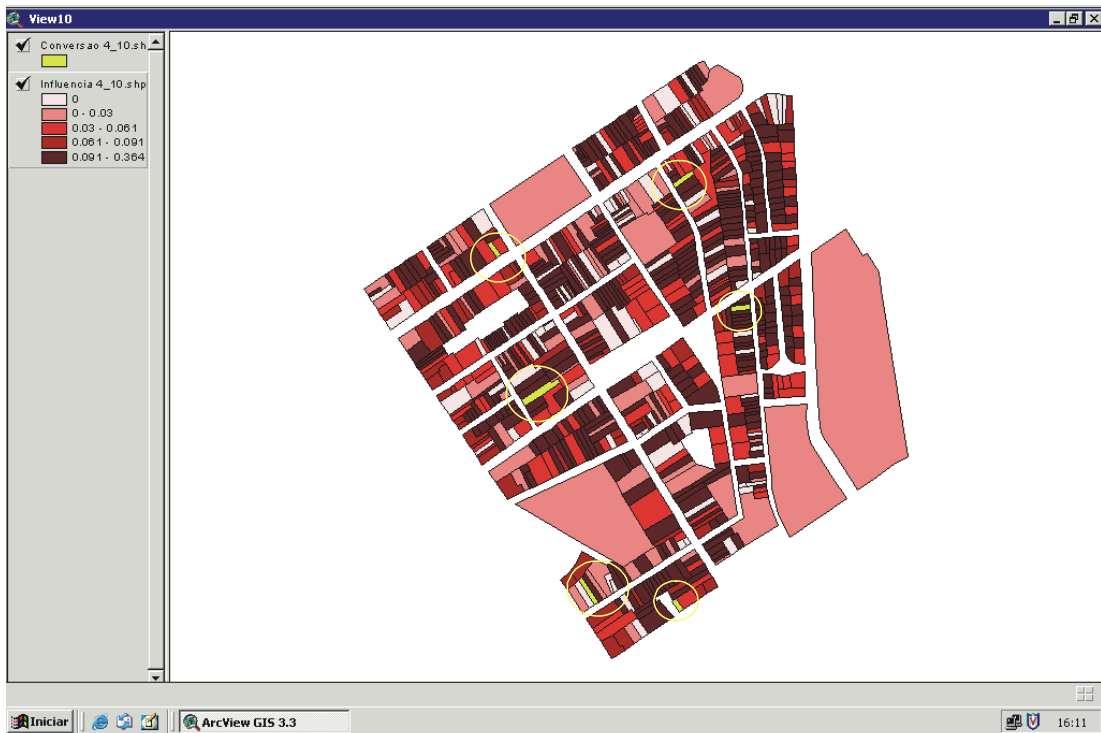


Figura 6.33 – Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 10(t), comparado com os locais onde de fato ocorreram as conversões (t+1)



A conversão da tipologia 4 (casa) para tipologia 2 (edifício residencial com mais de 5 pav), apresentada no mapa da figura 6.34, não apresentou um padrão claro de interferência da vizinhança nos locais onde ocorreram as conversões.

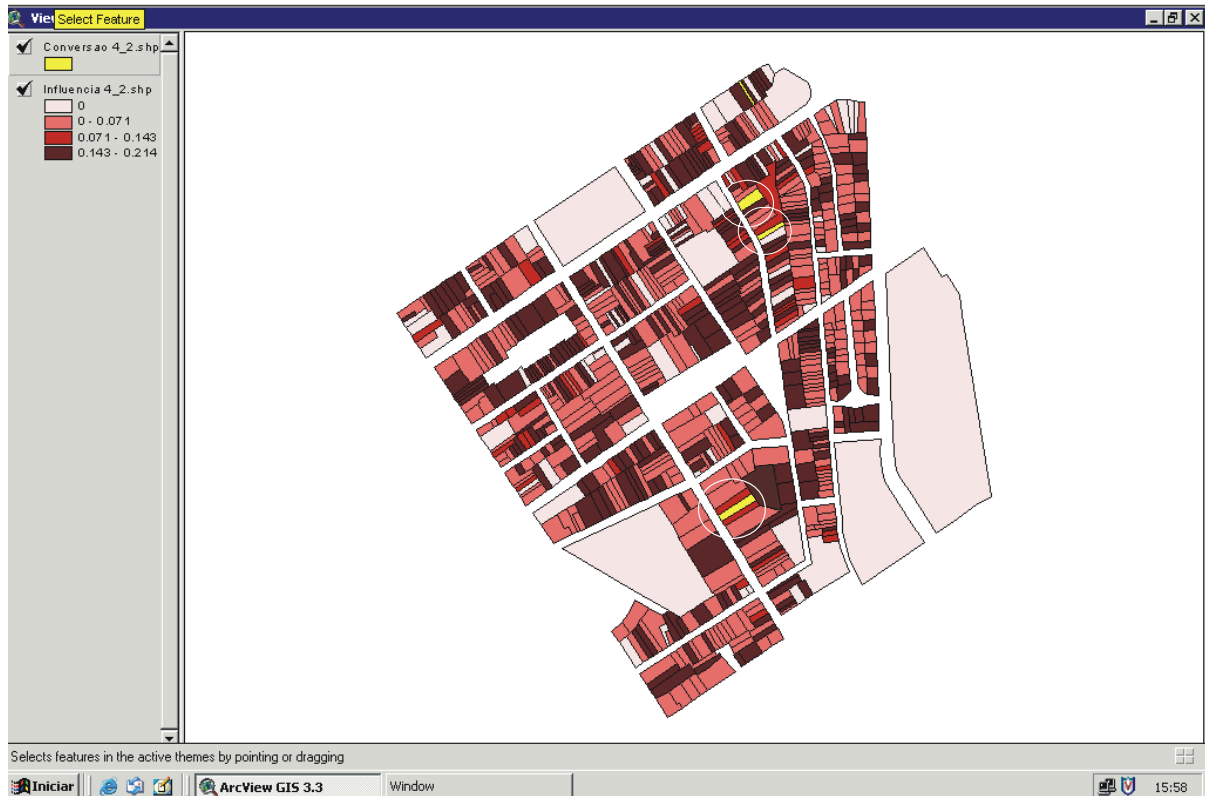


Figura 6.34 – Mapa do potencial da vizinhança para a conversão da tipologia 4 para tipologia 2(t), comparado com os locais onde de fato ocorreram as conversões (t+1)

Até o momento as espacializações só possibilitam a análise das conversões dentro do foco de uma tipologia funcional, ou seja, como que determinado lote de tipologia 4 (casa) se comporta em relação aos seus vizinhos imediatos. Isto significa que visualizamos o sistema espacial do ponto de vista da coletividade (4), sem avaliar as relações de competição que ocorrem entre todas as tipologias, inclusive as vizinhas a cada lote de tipologia do tipo 4 que esta sendo avaliado.

Buscando aprofundar a investigação da interdependência espacial e temporal entre as variáveis, ou seja, verificar a influencia da posição espacial do lote e do seu estado tipológico na rede, levando em consideração o estado dos seus vizinhos no tempo anterior, realizamos um novo recorte espacial dentro do sistema total. O

recorte está representado por duas quadras, escolhidas arbitrariamente, onde então realizamos a visualização da possibilidade de conversão de todos os lotes de diferentes tipologias para uma única tipologia, este procedimento é realizado para todas as tipologias existentes no sistema.

### 6.3.2.2 Espacialização Matriz Condicional.

A espacialização das probabilidades de transição da matriz condicional se apresenta no anexo (3), em cd. Esta espacialização é realizada através da transposição das probabilidades condicionais para dentro do arquivo dbf do ArcView, em cada tipo de vizinho relacionado a tipologia de cada lote, criando uma coluna de totais onde fica alocada o potencial de conversão daquele lote. Essa espacialização pode ser visualizada na tabela 6.22, realizada conforme esquema apresentado no capítulo 5, nas tabelas 5.3 e 5.4.

V18_2	V20_2	V21_2	V22_2	V23_2	V24_2	V25_2	V26_2	V27_2	Tot_2	V1_3	V2_3	V3_3	V4_3	V5_3	V6_3	V7_3	V8_3	V9_3
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.153000	0.090	0.090	0.007	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045000	0.000	0.004	0.007	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045000	0.004	0.004	0.004	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026000	0.004	0.004	0.007	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041000	0.004	0.000	0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.985000	0.010	0.018	0.010	0.010	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.845000	0.018	0.021	0.033	0.010	0.018	0.018	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003000	0.000	0.005	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003000	0.005	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.021	0.000	0.021	0.000	0.079	0.021	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.021	0.030	0.021	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014000	0.005	0.022	0.010	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.010	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.079	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.091	0.022	0.013	0.022	0.010	0.013	0.022	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014000	0.010	0.000	0.000	0.022	0.000	0.013	0.022	0.005	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	0.021	0.030	0.021	0.005	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.000	0.000	0.021	0.030	0.021	0.005	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	1.000	0.983	0.987	0.990	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.890000	0.000	0.010	0.021	0.000	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037000	0.000	0.004	0.013	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.004	0.004	0.013	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021000	0.004	0.022	0.013	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.021	0.030	0.000	0.021	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.862000	0.000	0.028	0.000	0.010	0.021	0.005	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.013	0.000	0.022	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000000	0.079	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048000	0.013	0.022	0.013	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002000	0.012	0.005	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033000	0.000	0.004	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035000	0.007	0.004	0.013	0.000	0.004	0.013	0.000	0.000	0.000

Tabela 6.22 – espacialização das probabilidades de transição da matriz condicional

A partir desses procedimentos criamos um arquivo dbf com todos os potenciais de conversão de cada lote para todas as tipologias funcionais do sistema, gerando onze mapas de potenciais de conversão, onde então podemos visualizar a competição de todos os lotes para cada uma das conversões tipológicas do sistema.

Nestes mapas podemos verificar a escala do potencial de cada estado tipológico alocado em cada lote converter-se em outro estado tipológico do sistema.

Cada mapa apresenta o potencial de cada lote para conversão específica de um estado tipológico e aponta o lote onde de fato ocorreram as conversões na década de 2000. Salienta-se, que a base de dados das espacializações são as informações da década de 90 para então podermos validar o método.

O primeiro mapa de espacialização das probabilidades de transição apresentado na figura 6.35, refere-se ao potencial de conversão e ou permanência dos lotes na tipologia 1 (residencial multifamiliar até 5 pavimentos). No mapa da figura 6.35 verifica-se que aqueles lotes que permaneceram ou converteram-se para a tipologia 1, estão com os seus contornos com a pena mais grossa. Dentre estes lotes observamos que os lotes com potencial acima de 5,912 (marrom) foram aqueles que se converteram para a tipologia 1, enquanto que aqueles de potencial entre 0,495 à 5,912 (bordo e vermelho) são os lotes que permaneceram na tipologia 1. Aqueles lotes que possuem potencial entre 0,495 e 3,958 (vermelho) e não apresentam contorno em negrito foram aqueles que possuíam a tipologia 1 alocados na década de 90 e converteram-se em outras tipologias na década de 2000. Também podem ser visualizados lotes com potencial de conversão para a tipologia 1 acima de 3,958 (bordo e marrom) que não estão marcados em negrito pois apesar de possuírem altas probabilidades de conversão para a tipologia 1, apresentaram igual potencial de permanência em outro estado ou potenciais de conversões ainda mais altos para outras tipologias funcionais .

O segundo mapa de espacialização das probabilidades de transição apresentado na figura 6.36, refere-se ao potencial de conversão e ou permanência dos lotes na tipologia 2 (residencial multifamiliar c/mais de 5 pavimentos). Neste mapa observamos situações de potenciais diferentes das observadas nas permanências e conversões da tipologia 1, aqui os maiores potenciais para a tipologia referem-se aos lotes que estavam alocados na década de 90 com a tipologia 2 e permaneceram no mesmo estado tipológico locais. Os locais de permanência da tipologia estão representados pela cor marrom, com potencial acima de 1,153. Os locais onde de fato ocorreram as conversões para a tipologia 2

foram previstos com potenciais variando entre 0,108 e 1,153, potenciais médios representados pelas cores bordo e vermelha.

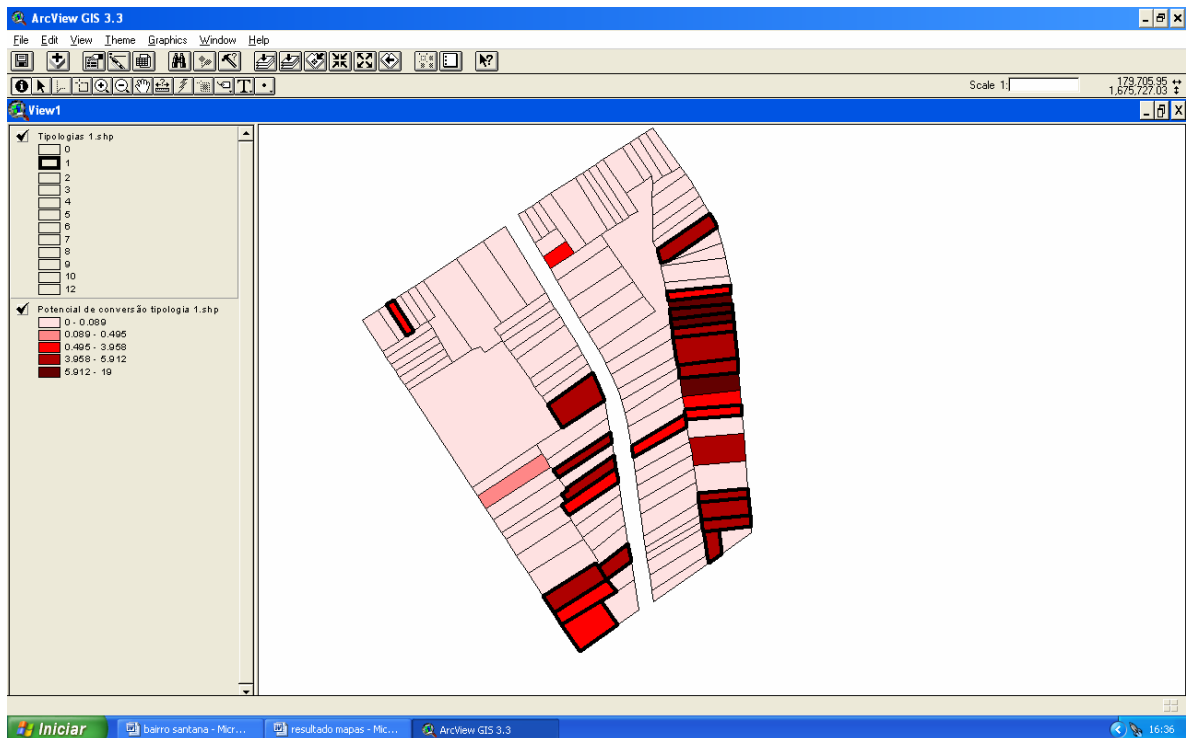


Figura 6.35 – Mapa do potencial dos lotes conversão para a tipologia 1 (residencial multifamiliar até 5 pavimentos) previsto para a década de 2000, comparado com os lotes onde ocorreram estas conversões na década de 2000.

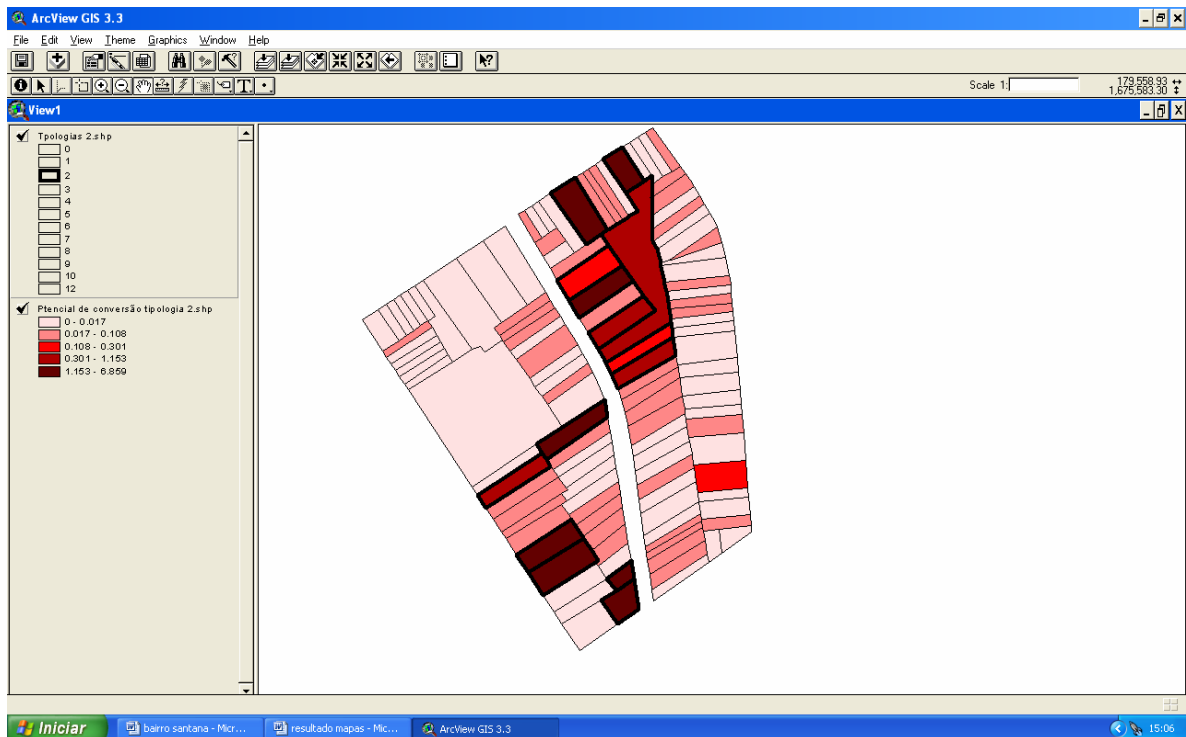


Figura 6.36 – Mapa do potencial dos lotes para conversão para a tipologia 2 (residencial multifamiliar c/mais de 5 pavimentos) previsto para a década de 2000, comparado com os lotes onde ocorreram as conversões na década de 2000.

O terceiro mapa de espacialização das probabilidades de transição apresentado na figura 6.37, refere-se ao potencial de conversão e ou permanência dos lotes na tipologia 3 (prédio residencial multifamiliar c/ comércio /serviço). O mapa apresenta os maiores potenciais previstos para a conversão do tipo 3 (potenciais entre 0,464 e 7,855) coincidentes com os locais onde fato elas ocorreram na década de 2000. Os locais com potenciais médios representados pelas cores bordo e vermelha, incluem lotes que permaneceram com a tipologia 3 alocada, marcados em negrito, e locais onde de fato não ocorreram as conversões por existirem outras conversões tipológicas com potenciais mais altos de permanencia ou mudança do que os apresentados para a tipologia 3.

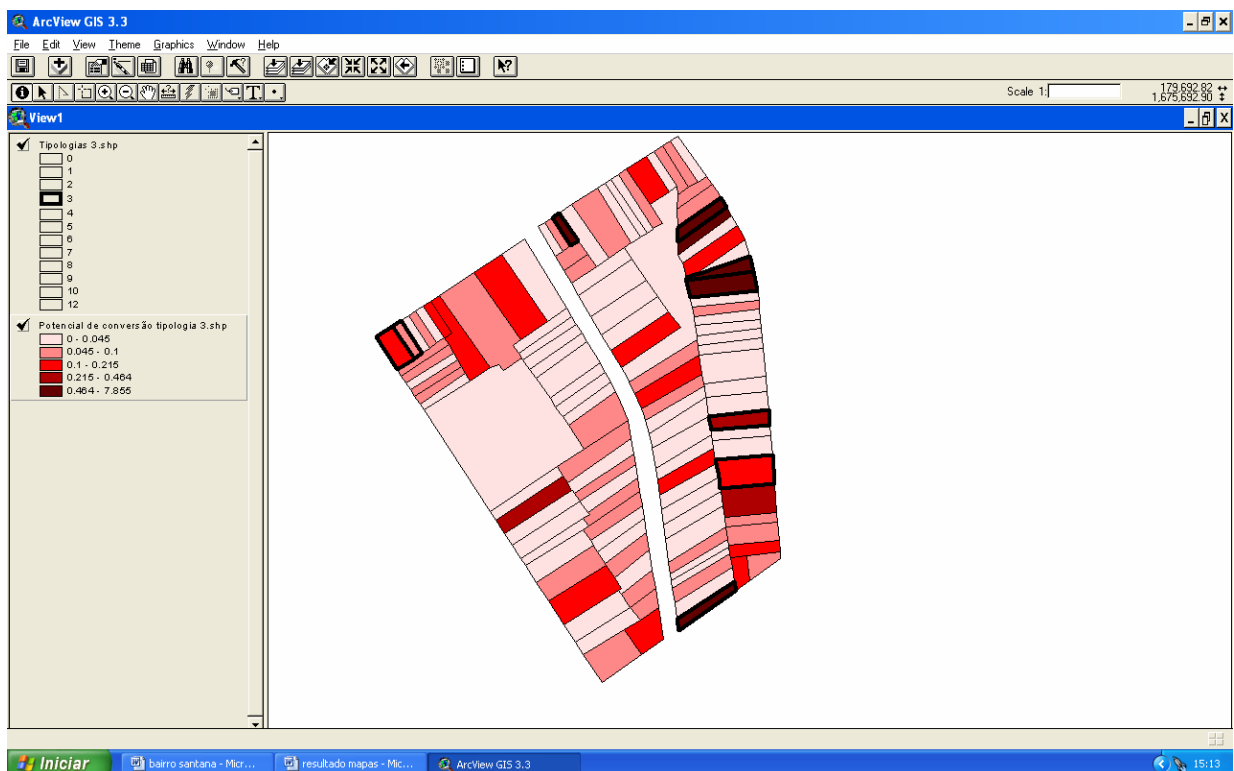


Figura 6.37 – (Mapa do potencial dos lotes para permanência ou conversão para a tipologia 3 (prédio residencial multifamiliar c/ comércio /serviço) previsto para a década de 2000, comparado com os lotes onde realmente ocorreram as conversões para a tipologia 3 ou permanências da tipologia 3 na década de 2000).

O quarto mapa de espacialização das probabilidades de transição apresentado na figura 6.38, refere-se ao potencial de permanência dos lotes na tipologia 4 (residência unifamiliar). Neste mapa são apresentadas somente os lotes onde a tipologia 4 permaneceu, pois não existe potencial de conversão de nenhuma das tipologias funcionais para a tipologia 4 no recorte investigado. Seguindo a hierarquia apresentada neste mapa, os lotes ocupados com a tipologia 4 que

apresentaram o maior potencial para esta tipologia foram aqueles lotes onde a tipologia permaneceu alocada (vermelho, bordo e marrom). Aqueles lotes com potenciais baixos como os representados pela cor rosa foram os lotes que se converteram em outros estados tipológicos. Desta forma pode-se inferir que os próximos a sofrerem conversões seriam os ainda remanescentes de cor rosa.

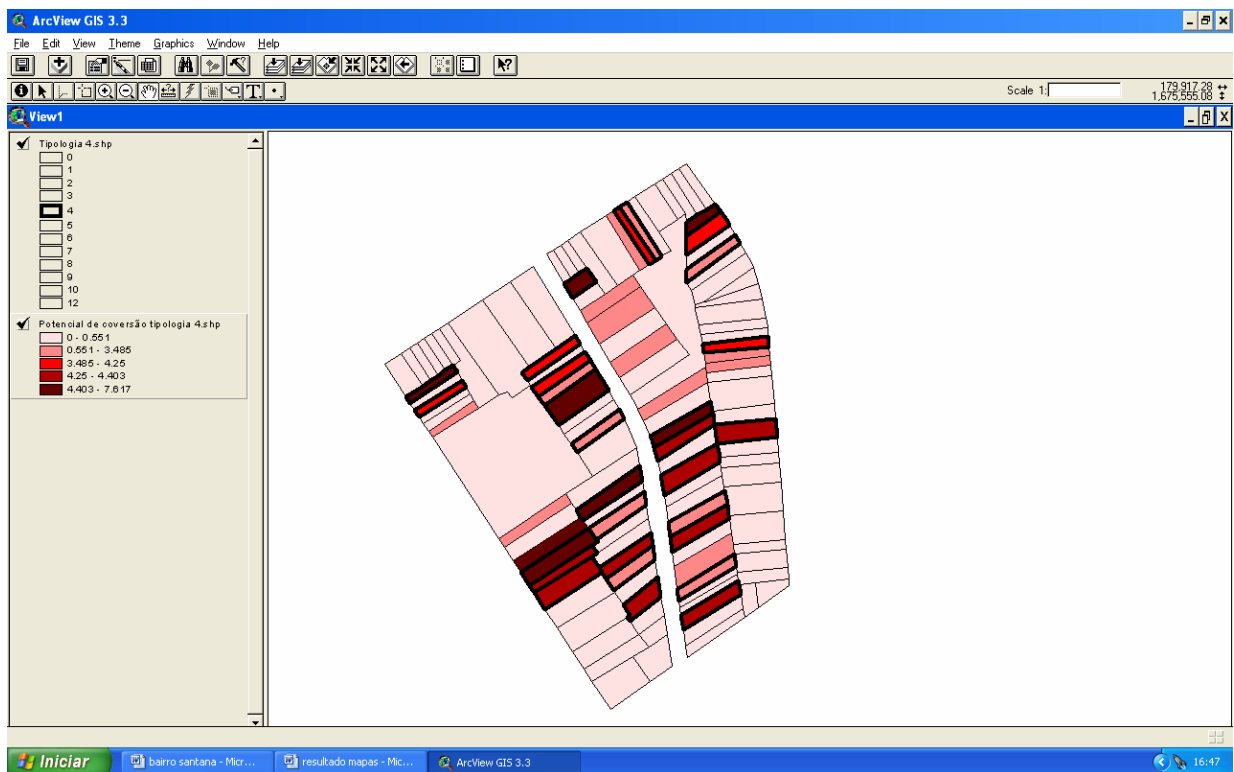


Figura 6.38 – Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 4 (residência unifamiliar), comparado com os lotes onde ocorreram as conversões.

O mapa apresentado na figura 6.39 referente a espacialização das probabilidades condicionais de transição para a tipologia 5, não mostrou-se muito esclarecedor. São visualizados no mapa uma série de locais com previsões altas e médias de conversão para a tipologia 5, que conforme verifica-se de fato ocorreram em muitos poucos casos, e em todos os casos foram permanências da tipologia 5 em lotes na década de 2000 onde ele já encontrava-se alocada na década de 90. Observa-se, porém que esta tipologia apresenta uma tendência a diminuir dentro do sistema conforme previsões realizadas, e conforme se verifica os potenciais mesmo os mais altos, são extremamente baixos (1 a 4,95) quando comparados a os potenciais de outras tipologias.

O mapa da figura 6.40 apresenta a espacialização do potencial de permanência ou conversão da tipologia 6 (residência c/ duas unidades residenciais no mesmo lote). Assim como a tipologia 5, essa tipologia também tem diminuído dentro do sistema, desta forma todos os lotes com os maiores potenciais previstos são de lotes onde a tipologia já existia e se manteve. Até mesmo em lotes onde os potenciais de permanência estavam classificados como de nível médio (vermelho) ocorreram conversões para outras tipologias, demonstrando que o potencial para a conversão foi superior ao potencial da permanência da tipologia. Verifica-se que mesmo os locais de maior potencial possuem valores baixos quando comparados a outras GIS tipologias (valores entre 3,91 e 3,99)

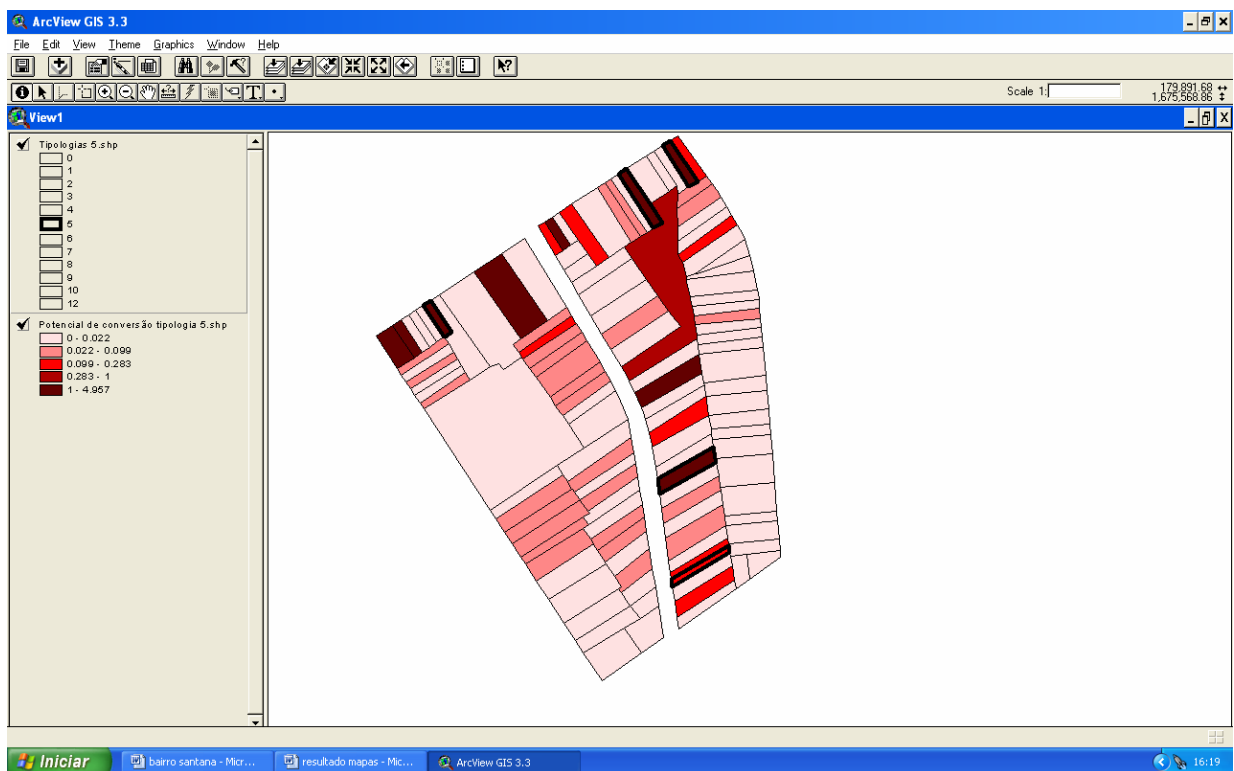


Figura 6.39 – Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 5 (residência unifamiliar c/ comércio/serviço) previstos em relação aos ocorridos na década de 2000.

O mapa do potencial de permanência ou conversão para a tipologia 7 (comércio/serviço isolado) apresentado na figura 6.41, demonstra uma boa previsão. Conforme se pode verificar na espacialização dos potenciais para a tipologia 7, tanto as conversões como as permanências ocorreram nos locais de maior potencial previsto pelo modelo. O resultado encontrado para as previsões da tipologia 7, pode ser observado nos mapas de potencial da tipologia 8 (prédio de

comércio/serviços/escritórios), 9 (prédios especiais), e 10(estacionamentos), apresentados nas figuras 6.42, 6.43, e 6.44 respectivamente.

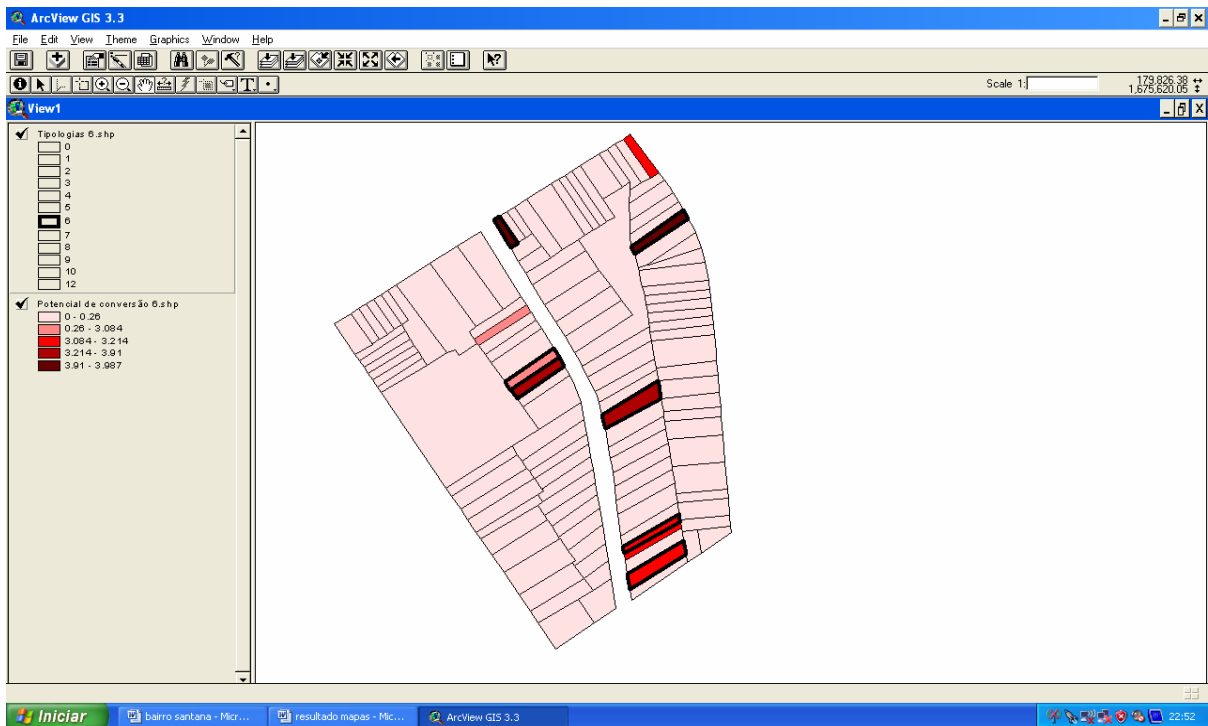


Figura 6.40 – Mapa do potencial dos lotes para conversão da tipologia 6 (residência c/ duas unidades residenciais) comparado com os lotes onde ocorreram as permanências.

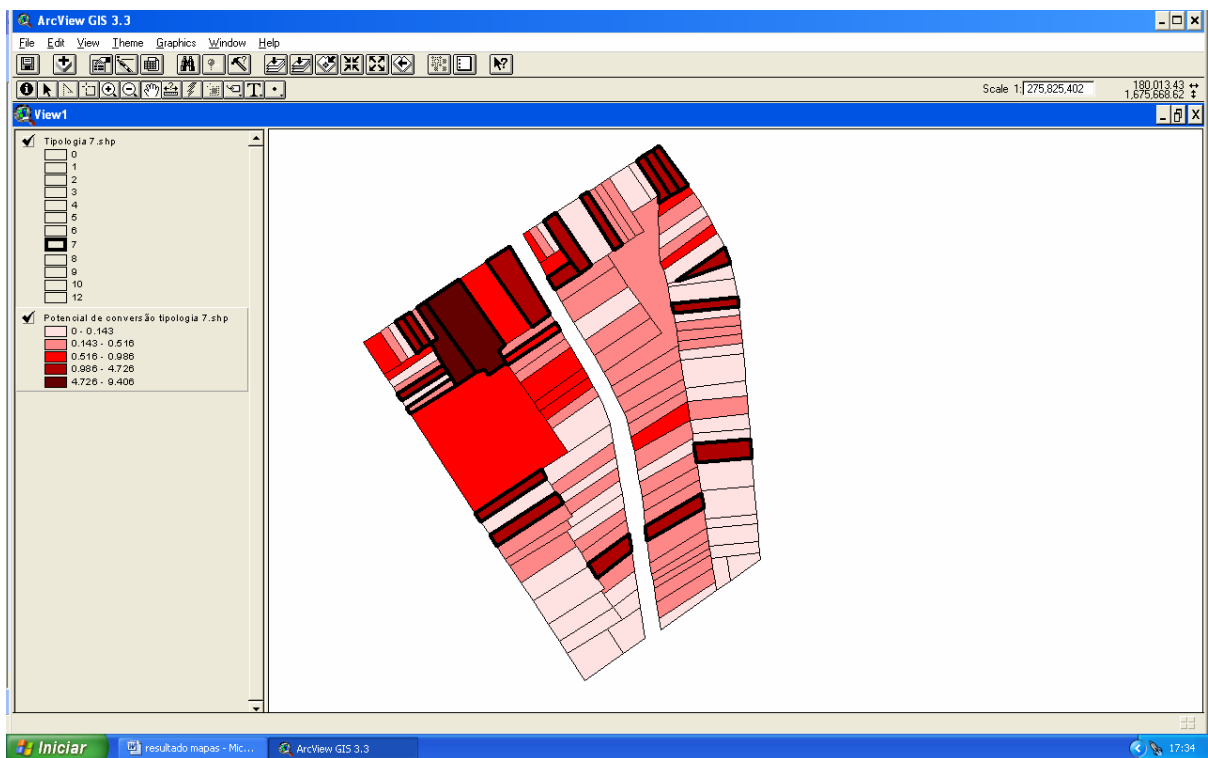


Figura 6.41 – Mapa do potencial dos lotes para conversões da tipologia 7 (comércio/serviço isolado), comparado com os lotes onde realmente ocorreram.



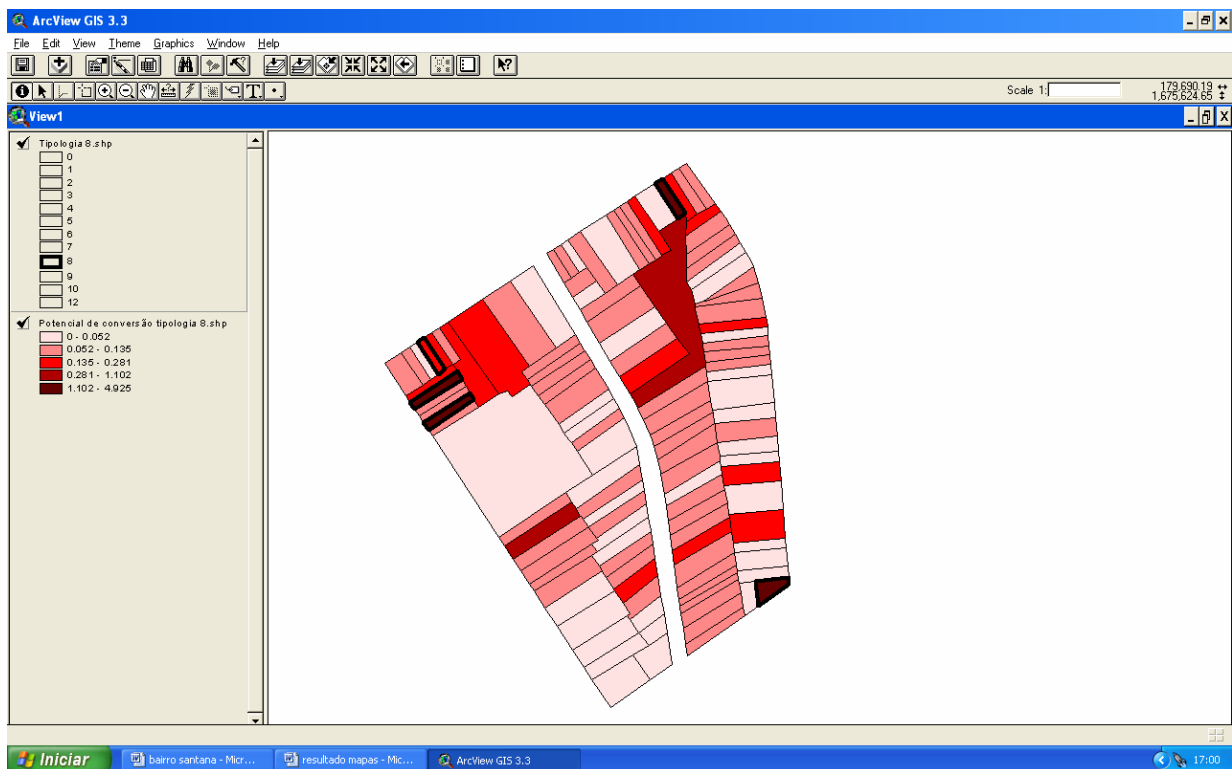


Figura 6.42 – Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 8 (prédio comércio/serviço), comparado com os lotes onde realmente ocorreram as permanências e conversões para a tipologia 8 na década de 2000.

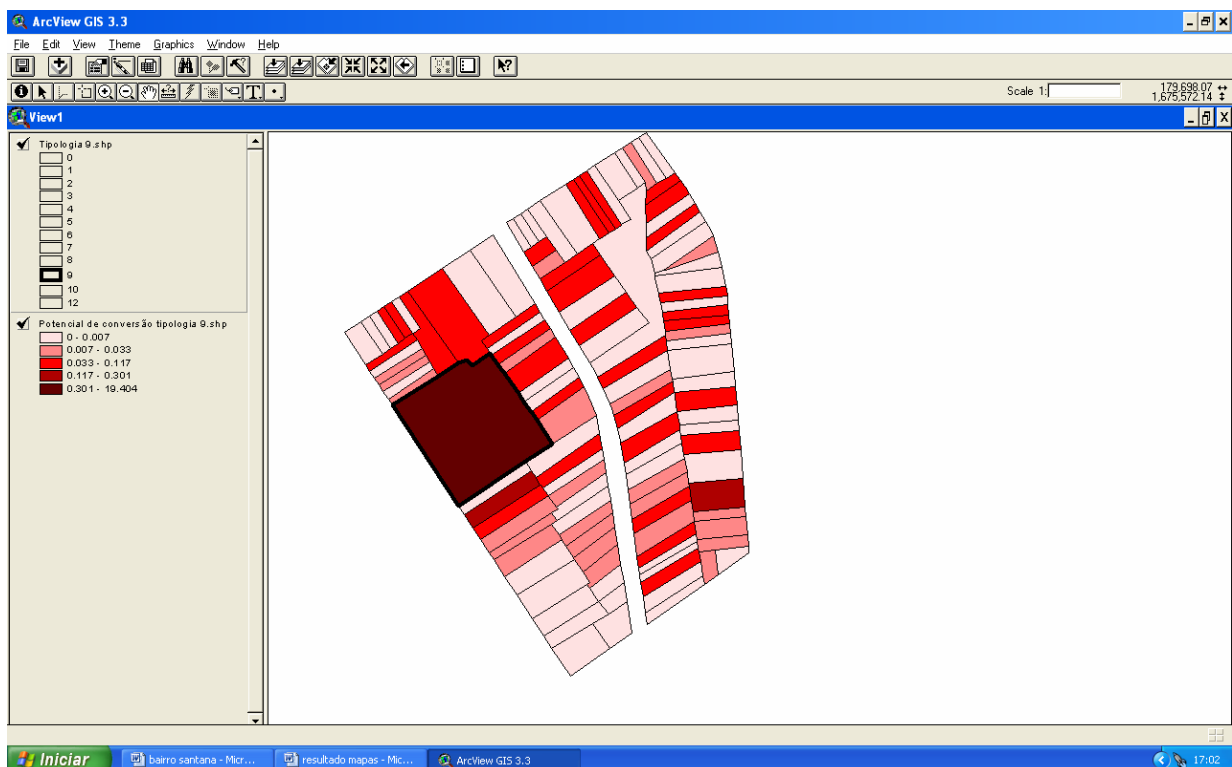


Figura 6.43 – Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 9 (prédios especiais como: igrejas, museus, escolas, postos de saúde), comparado com os lotes onde realmente ocorreram as permanências e conversões para a tipologia 9 na década de 2000.

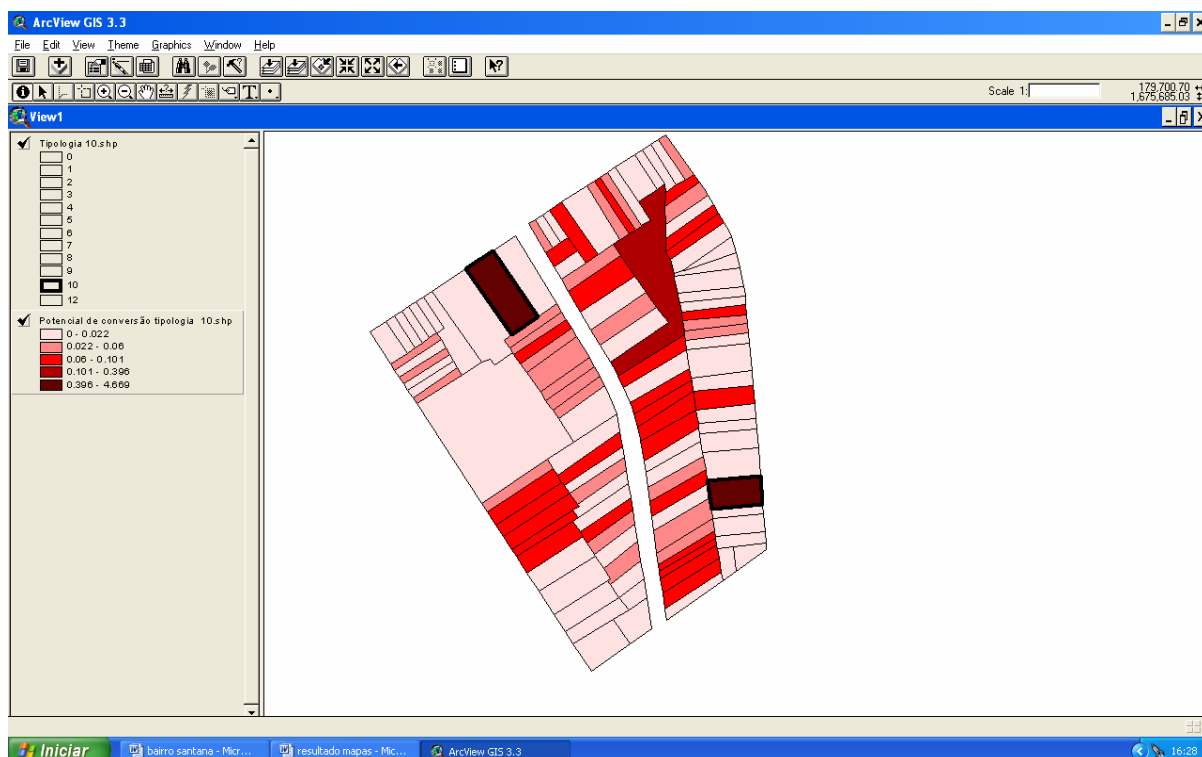


Figura 6.44 – Mapa do potencial dos lotes para permanência na tipologia 10 (estacionamentos), comparado com os lotes onde realmente ocorreram as permanências e conversões para a tipologia 10 na década de 2000.

As explorações realizadas até este momento investigam as “competições de ordem horizontal”, ou seja, verificam o potencial que cada lote possui em relação aos demais para permanecer ou se converter para as tipologias funcionais do sistema, investigando uma conversão de cada vez. A “competição em nível vertical”, ou seja, a competição estabelecida entre as tipologias funcionais para cada um dos lotes do sistema é realizada através do cruzamento de todos os potenciais de cada lote, estabelecendo quando o potencial de mudança é superior ao de permanência, e dentre os potenciais de mudança para qual tipologia o lote possui maior potencial para se converter.

Os mapas apresentados nas figuras 6.45 e 6.46 demonstram, respectivamente, o cenário espacial na década de 2000 e o cenário previsto para esta mesma década pelo método proposto. Salientam-se através de contornos em negrito, em alguns lotes, no mapa apresentado na figura 6.46, locais em que o método proposto não conseguiu definir a conversão mais provável. Nestes lotes os potenciais de conversão para diferentes tipologias estavam muito próximos uns dos outros, não possibilitando a escolha de um único valor, desta forma representamos os possíveis estados de conversão para cada um desses lotes através de um

conjunto de tipologias funcionais possíveis em ordem crescente de potencial na legenda geral.

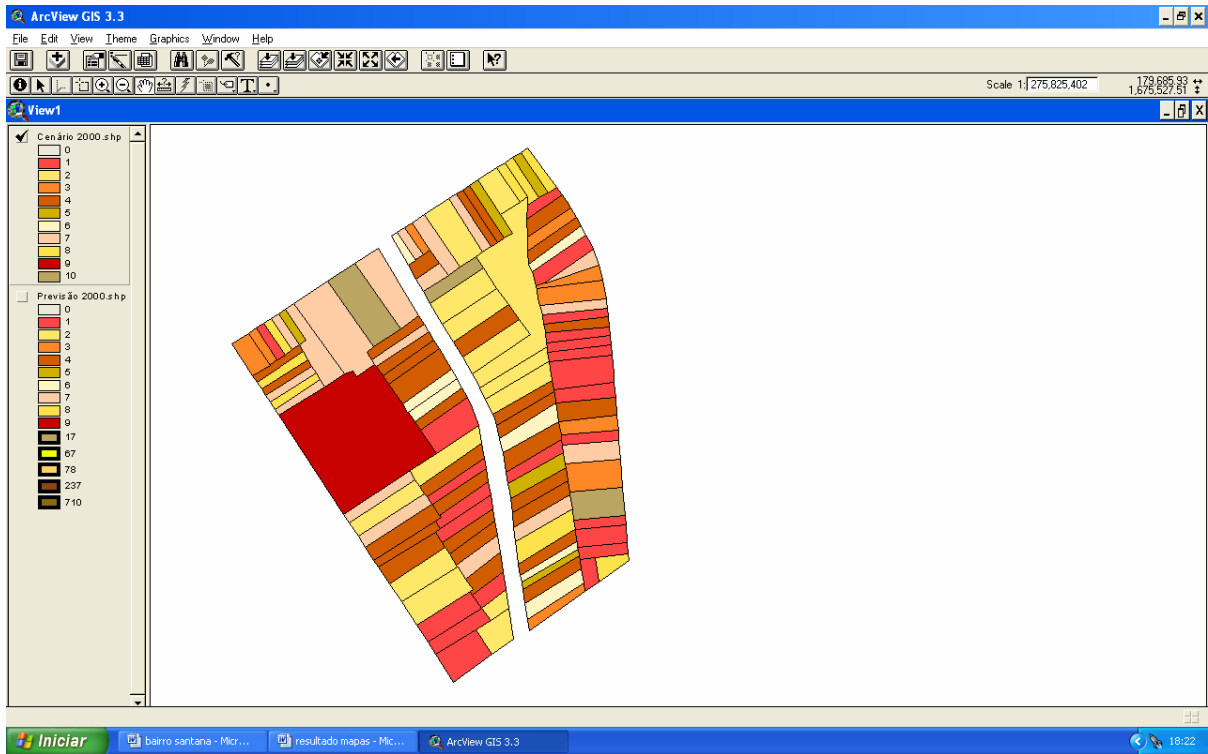


Figura 6.45 – Mapa do cenário do sistema na década de 2000.

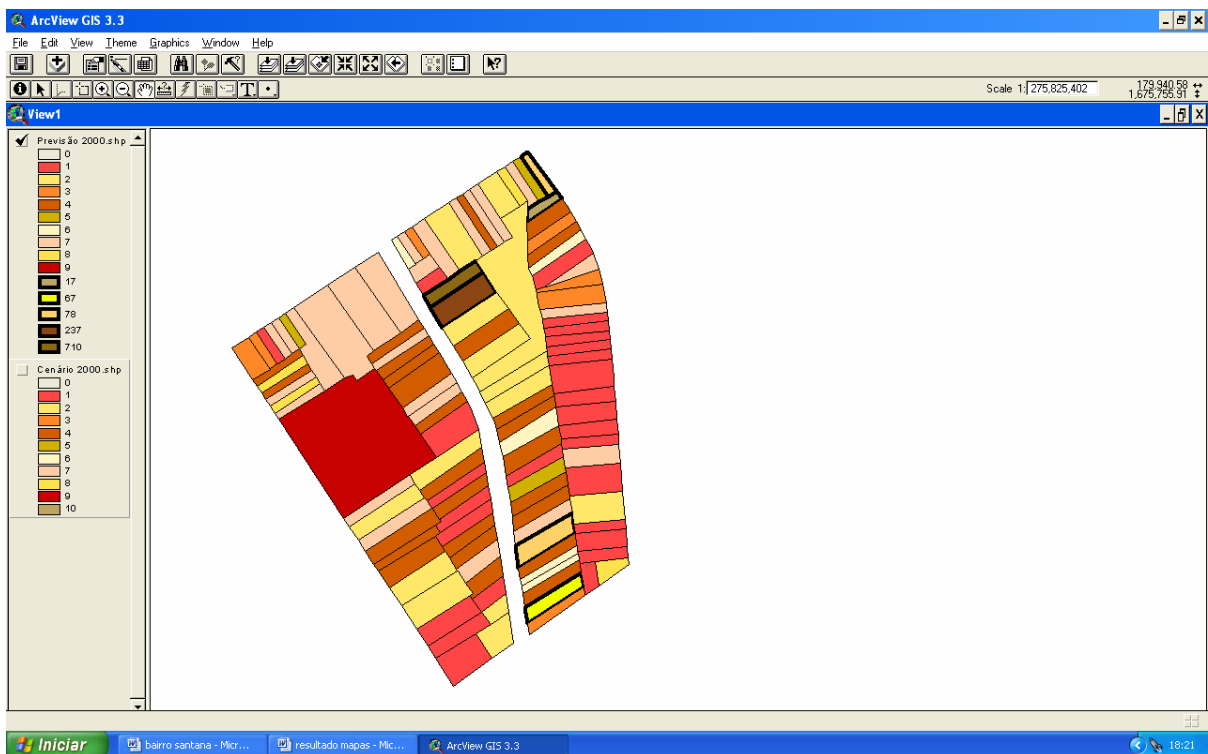


Figura 6.46 – Mapa do cenário previsto para a década de 2000.

Verificamos que as tipologias 4 e 7 competem por alocação, a primeira tentando se manter dentro do lote onde encontra-se alocada, e a segunda buscando uma conversão sobre a primeira através de uma adaptação funcional, enquanto que o potencial máximo de permanência da tipologia 4(casa) fica entre 4,403 e 7,617 o de mudança para tipologia7(comércio isolado) fica entre 7 4,726 e 9, 406.

As tipologia 1, 2, 3, também competem por alocação, a tipologia 1 (edifício multifamiliar até 5 pavimento) possui um crescimento menor que a tipologia 2 (edifício multifamiliar com mais de 5 pavimentos) e a tipologia 3 (edifício misto) dentro do sistema total, porém no recorte espacial demonstra os potenciais mais altos, entre (5, 919 e 19), enquanto que a tipologia 2 apresenta potenciais entre (1,153 e 6,859) e a 3 potenciais entre (0,464 e 7,855). Estes altos potenciais referentes a tipologia 1, quando verificados lote a lote representam os valores para a permanência dessa tipologia nos lotes, enquanto que os valores para conversão são semelhantes para as três tipologias.

O cruzamento da espacialização de todos os estados tipológicos existentes no sistema com todas as possibilidades de conversões possíveis relacionadas a todos os estados tipológicos das vizinhanças imediatas demonstra a cooperação e a competição total entre os estados tipológicos resultando no cruzamento de todos os cenários. Este cruzamento (mapa representado na figura 6.46) permite um ganho de informação a respeito dos locais de maior possibilidade de mudança, descartam os locais menos prováveis, através da geração de potenciais de mudança e permanência para cada lote.

Através do mapa apresentado na figura 6.47 pode-se visualizar o desempenho do modelo na predição dos locais onde as tipologias funcionais estarão alocadas na década de 2000. O mapa apresenta através de cores o desempenho do modelo comparado as previsões com as alocações ocorridas: em marrom todas as predições realizadas pelo modelo coincidiram com os estado ocorridos, em amarelo aparece aqueles lotes em que o modelo apresentou dentre outras conversões a que realmente ocorreu no local, e em verde oliva aquelas em que o modelo não conseguiu prever a conversão tipológica ocorrida no lote.

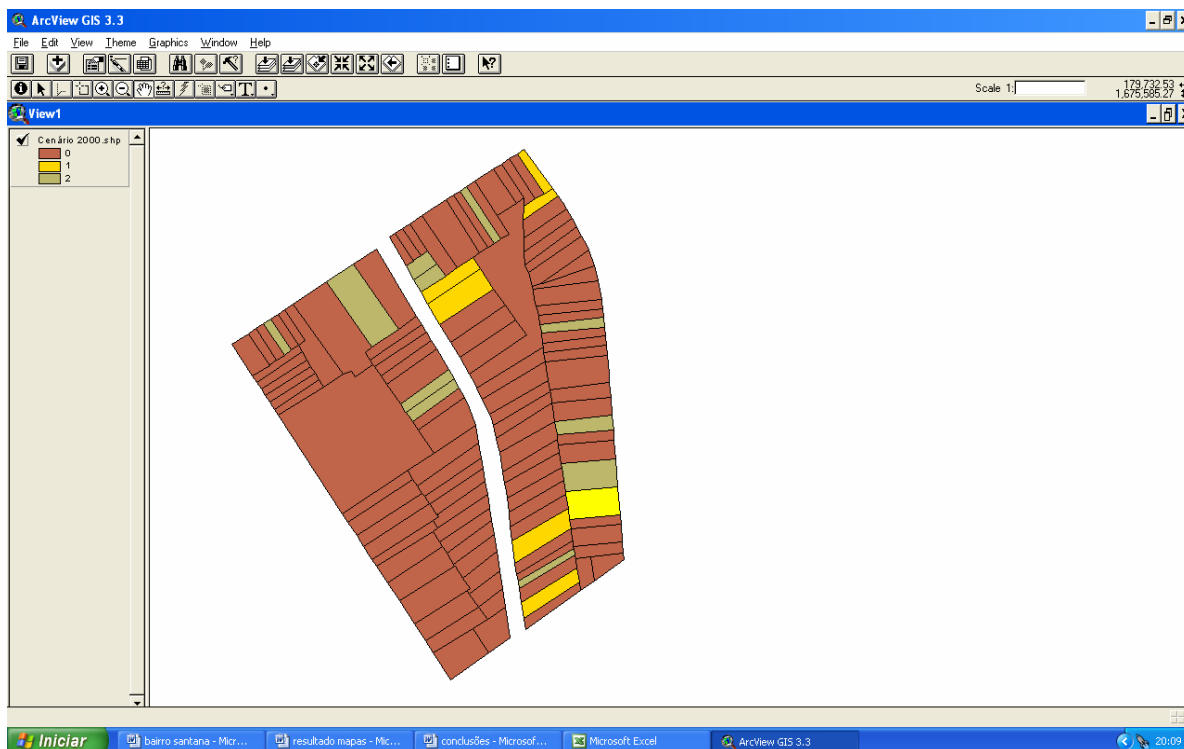


Figura 6.47 – Mapa comparativo entre as conversões previstas e as ocorridas na década de 2000: marrom - tipologias previstas coincidiram com as ocorridas; amarelo - o modelo não definiu uma única tipologia, porém as ocorridas no local foram uma das prevista pelo modelo; verde oliva - o modelo não definiu corretamente a conversão ocorrida.

Sabe-se que a aleatoriedade locacional ocorre em nível micro espacial, uma vez que muitos lotes podem possuir probabilidades de transição muito semelhantes para tipologias diferentes, mas apesar desta condição, a espacialização das probabilidades condicionais (interior x exterior) permitiu a identificação de algumas regras de alocação espacial e a diminuição da incerteza quanto às possíveis conversões tipológicas. A investigação da competição "horizontal e vertical" entre as tipologias funcionais alocadas nos lotes dentro do recorte espacial, demonstra o processo de auto-organização a partir da escala local.

Este processo é verificado pelo fato das espacializações demonstrarem comportamentos competitivos no processo de alocação levando em consideração a vizinhança local. Isto é, uma determinada tipologia funcional pode possuir uma maior autonomia dentro do sistema possuindo os mais altos valores de conversão, porém estes valores estão associados às vizinhanças, e provavelmente esta tipologia não terá os maiores valores de conversão para todas as vizinhanças.

## 6.4 Conclusões

Neste capítulo aplicamos o método proposto em Porto Alegre, bairro Santana, buscando testar a hipótese central apresentada no capítulo de introdução: *“a materialidade da cidade reflete a aprendizagem espacial de uma dinâmica social interna configurando padrões sócio-espaciais entre estados temporais subseqüentes”*. A comprovação desta hipótese se deu a partir das descrições da organização e complexidade assim como das predições realizadas sobre o sistema, quando detectamos uma dinâmica locacional do tipo markoviana, onde o estado futuro do sistema depende do seu estado presente, e o estado presente contém os estados sistêmicos anteriores.

A aplicação do modelo proposto em um sistema espaço-temporal real, também permitiu cumprir os objetivos propostos no início do trabalho, mostrando-se capaz de:

- ✓ descrever as características do processo de alocação espacial;
- ✓ produzir regras de transição espacial endógenas ao sistema através das probabilidades condicionais de transição;
- ✓ extrapolar estados futuros (macro espacial);
- ✓ explorar os padrões espaço-temporais de alocação dos diferentes tipos de unidades de forma construída e atividades dentro do sistema através da espacialização das regras de transição;
- ✓ inferir a respeito dos locais de maior potencial para transformação.

A partir das explorações realizadas e dos resultados obtidos através da aplicação do modelo proposto em um recorte espaço-temporal real acredita-se no seu potencial como instrumento exploratório e, com futuras sofisticções, como a automatização de procedimentos, assim como novas aplicações em outros sistemas espaço-temporais possamos aperfeiçoá-lo a ponto de servir como um instrumento de apoio ao planejamento urbano. No próximo capítulo apresentamos as considerações finais da pesquisa, expostas através de discussões a respeito dos resultados obtidos, das contribuições e limitações da pesquisa, assim como recomendações para estudos futuros.

# Capítulo 7

## Considerações Finais Sobre a Pesquisa

### 7.1 Introdução

Este capítulo tem como finalidade apresentar observações e discussões a respeito dos dois capítulos anteriores, assim como retomar as hipóteses e os objetivos lançados no primeiro capítulo desta tese. O capítulo divide-se em quatro seções: “7.2 O Método Desenvolvido Frente ao Problema de Estudo”, “7.3 Contribuições Promovidas pela Pesquisa”, “7.4 Os Possíveis Desdobramentos do Método Proposto”, “7.5 Recomendações para trabalhos futuros”.

Na seção definida como “O Método Desenvolvido Frente ao Problema de Estudo”, se discute os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo proposto no bairro Santana, da cidade de Porto Alegre, confrontando às hipóteses e os objetivos propostos no início da pesquisa com aqueles obtidos. É argüida a validade do método proposto assim como as suas potencialidades e seu limites.

A seção “7.3 Contribuições Promovidas pela Pesquisa”, apresenta as contribuições teóricas e metodológicas produzidas pelo trabalho, enquanto que a seção “7.4 Os Possíveis Desdobramentos do Método Proposto”, descreve alternativas de aplicação do modelo na área de planejamento urbano e ambiental. A última seção, a “7.5 Recomendações para trabalhos futuros”, apresenta as pretensões de pesquisa geradas a partir deste estudo.

## 7.2 Método Desenvolvido Frente ao Problema de Estudo

### 7.2.1 A Validade do Método

O estudo de caso comprovou através da amostra selecionada, a hipótese inicial da pesquisa, que atribuída à dinâmica de transformação das unidades de forma construída e atividades um comportamento do tipo acumulativo, onde a materialidade da cidade é construída a partir de padrões sócio-espaciais configurados através de um processo cumulativo entre estados temporais subsequentes refletindo a aprendizagem espacial dos entes sistêmicos.

O comportamento acumulativo do processo de alocação e a característica lenta do processo com uma clara tendência a estabilização dos estados tipológicos nos lotes, torna o primeiro estado alocado em cada lote juntamente com o seu entorno imediato um claro direcionador do conjunto de possibilidades de conversões tipológicas futuras. Este conjunto de considerações obtidas neste estudo vem a confirmar a posição de Krafta que argumenta que:

*“...cada elemento espacial, histórico, é sintetizado e rebatido para o momento atual, combinado com os outros para determinar as propriedades espaço-temporais responsáveis pela estabilidade das estruturas urbanas edificadas.(...) A história urbana, assim vista como através de uma lente teleobjetiva, é achatada, destituída de profundidade, trazida ao presente e traduzida em um coeficiente de resistência a mudança a ser vencido”. (Krafta ,1994, pg17)*

A comprovação desta hipótese se deu a partir das descrições da organização e complexidade assim como das predições realizadas sobre o sistema, quando detectamos uma dinâmica locacional do tipo markoviana, onde o estado futuro do sistema depende do seu estado presente. A investigação do fenômeno locacional através do modelo tipo markoviano consegue descrever e prever o processo macro-espacial de transformação de estoques dentro de intervalos de tempo definidos pelos estágios evolutivos do sistema, conforme demonstra as matrizes do meio interior (tabelas 6.7, 6.8, 6.9) juntamente com o gráfico de complexidade tipológica da figura 6.15, todos contidos no capítulo 6).



O primeiro estágio define o estado “semente” da urbanização da área, ou seja, os locais onde surgiram as alocações espaciais e que tipologias funcionais foram alocadas. O segundo estágio é o que define praticamente toda a urbanização da área, este período de grande crescimento possuiu um grande impulsionador externo, o Plano Diretor, que incentivou a alocação dos edifícios residenciais de baixa altura (tipologia 1). O terceiro e último estágio evolutivo identificado na área estudada refere-se ao período já urbanizado, onde todos os lotes de tipologia 11 (terreno) já se converteram em outros estados tipológicos (construídos).

Neste estágio as transformações espaciais estão pautadas nas experiências locais precedentes, e demonstram muitas transformações adaptativas funcionais ou estruturais. No último estágio todos os lotes já foram ocupados no mínimo por dois estados tipológicos, ou seja, uma conversão, e as vizinhanças encontram-se configuradas a partir das relações de preferências locais. Este cenário demarca a importância da primeira conversão tipológica, uma vez que o estado alocado no lote e nos seus vizinhos imediatos define as possibilidades de conversões futuras.

Estas definições são obtidas a partir da análise do tipo de estados recorrentes e absorventes dentro do sistema ao longo do processo de urbanização, compondo o cenário presente a partir do cenário anterior, que por sua vez contém o estado que o precedeu. Desta forma o sistema vai rebatendo e acumulando toda a sua história no estado presente, compondo o conjunto de possibilidades de conversões na matriz de transição presente.

A mudança entre os dois primeiros estágios evolutivos marca o crescimento entrópico no sistema uma vez que o sistema tornar-se cada vez mais heterogêneo com o surgimento de novas tipologias funcionais. Nestes estágios de crescente complexidade estrutural a obtenção de informação a respeito do comportamento das variáveis é mais difícil, uma vez que o sistema apresenta características de competitividade na alocação de lotes ainda vazios.

O último estágio demonstra a maior complexidade sistêmica e a maior entropia, mas elas apresentam-se estáveis (conforme demonstra o gráfico da figura 6.18). Esta estabilidade é caracterizada por um comportamento do tipo adaptativo

das tipologias funcionais, frente ao ambiente onde estão inseridas. Este comportamento pode ser verificado através da comparação da entropia em níveis diferentes, ou seja, a manutenção da estabilização da entropia na escala macro espacial, através de um processo entrópico ativo na escala local produzindo diferentes níveis de entropia conforme demonstra os gráficos apresentados nas figuras 6.16 e 6.17.

Através da análise dos tempos médios de recorrência observa-se que algumas tipologias funcionais são “escravizadas” por outras devido à sua maior autonomia dentro do sistema. As tipologias identificadas como as de maior autonomia dentro do sistema são as tipologias (2), (3) e (8), definidas respectivamente por: edifício com mais de cinco pavimentos, edifício misto e edifício de comércio e serviços.

Estas tipologias apresentam os menores tempos de recorrência e as maiores probabilidades estacionárias, conforme Anexo 2. Este resultando configura um cenário onde as tipologias de maior potencial de ocorrência dentro do sistema também são aquelas que depois de alocadas nos lotes possuem as maiores probabilidade de permanência, sofrendo somente em algumas situações isoladas dentro do sistema, ações do tipo adaptativas como: a tipologia (2) sofrendo adaptação funcional para a tipologia (3) e a tipologia (8) sofrendo adaptação funcional para a tipologia (7).

As tipologias (2), (3) e (8), entendidas como as de maior autonomia dentro do sistema, apresentam também uma maior diversidade de possibilidades de vizinhança para alocarem-se, não apresentando uma dependência da vizinhança local, ou seja, não sofrendo externalidades de vizinhanças. Esta característica aliada as altas probabilidades de permanência nos lotes e ao fato de exercerem externalidades em outras tipologias funcionais configuram um cenário de escravização.

Estas tipologias de maior autonomia dentro do sistema escravizam o seu entorno imediato uma vez que tendem a permanecer por muitos tempos alocados interferindo nas conversões dos lotes vizinhos, e ao longo do tempo definem a convergência de todo o sistema para um estado totalmente estável. Este argumento

pode ser verificado no gráfico da figura 6.25, onde verificamos através das extrapolações que as tipologias que continuam crescendo dentro do sistema são justamente as tipologias (2), (3) e (8), levando o sistema à estabilização conforme visualizamos no gráfico da figura 6.24, ambas as figuras contidas no capítulo 6.

O gráfico contido na figura 7.1 demonstra as ações aplicadas sobre as unidades de forma construída e atividades no decorrer do último estágio evolutivo do sistema espaço-temporal (70 a 200), representadas pelas permanências, e pelas ações que transformaram a tipologia funcional divididas em: adaptação funcional (troca de função ou adição de mais uma função na unidade de forma construída), adaptação estrutural (troca da unidade de forma construída mantendo a função), e mudança troca estrutural e funcional.

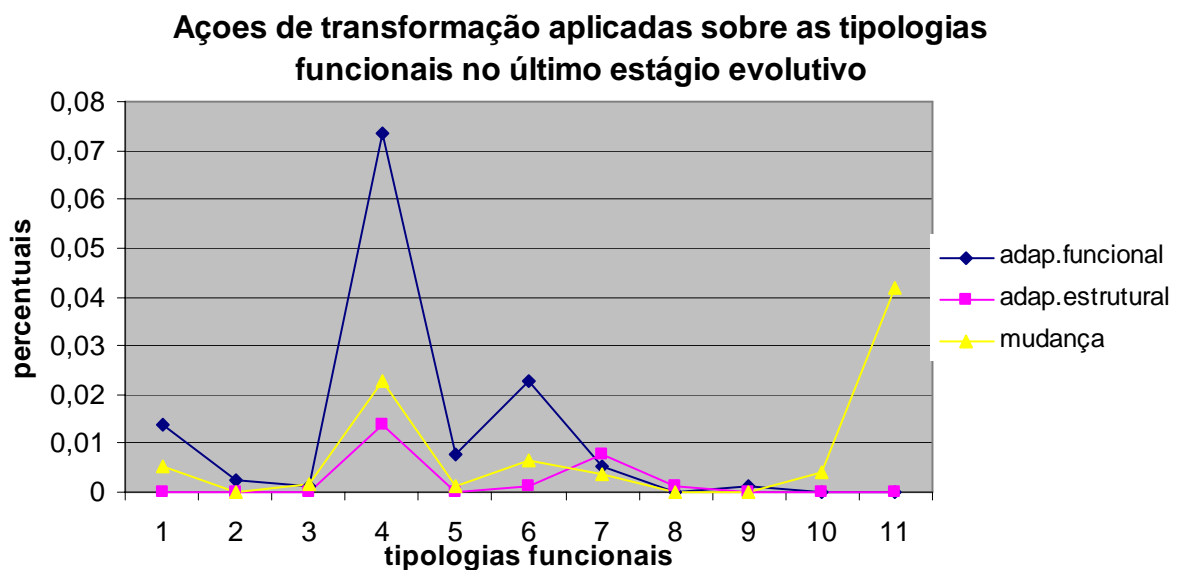


Figura 7.1 –(gráfico das ações aplicadas sobre as tipologias funcionais no último estágio evolutivo do sistema espaço-temporal)

Define-se então, que o lote ocupado por uma tipologia funcional com um maior número de possibilidades de conversão para outras tipologias e o mais independente da vizinhança imediata, possui uma maior autonomia no sistema em relação a outro que possui uma possibilidade de conversão e uma preferência restrita de tipos de vizinhos adjacentes. Por outro lado, sob o foco da auto-organização e regulação sistêmica podemos inferir que quando determinada tipologia funcional possui uma restrita possibilidade de conversão e uma grande probabilidade de permanência ou aumento dentro do sistema pode exercer um

domínio sob o comportamento das outras tipologias funcionais do sistema gerando como consequência a nível global uma estabilização do cenário urbano.

No caso da predição de estados futuros torna-se importante definir se o estado a ser predito encontra-se no mesmo estágio evolutivo na qual estamos partindo a extrapolação futura, conforme foram demonstradas nas extrapolações dos gráficos contidos nas figuras 6.21, 6.22, 6.23. Desta forma é importante conhecermos no mínimo três cortes temporais ( $t$ ;  $t+1$ ;  $t+2$ ) para então analisarmos e compararmos as suas matrizes de transição, e verificarmos se estas estão no mesmo estágio evolutivo.

A exploração dos padrões espaciais realizadas através do piloto de espacialização das probabilidades de transição obtidas a partir de um modelo descritivo baseado em cadeias de Markov mostrou-se promissor apesar de suas atuais limitações operacionais. O trabalho de espacialização demonstrou a alta capacidade que o sistema de geoprocessamento oferece para espacialização das regras de transição espacial assim como a grande capacidade de alternativas de exploração das informações geradas a partir do modelo descritivo baseada nas cadeias de Markov.

O modelo do tipo markoviano apresenta como grande vantagem a facilidade operacional e matemática, e como maior limitador o fato de não fornecer a localização espacial das transformações previstas. O modelo proposto procurou utilizar as facilidades operacionais que os modelos markovianos oferecem aliadas ao potencial que os programas de geoprocessamento oferecem em termos de espacialização discreta das alocações espaciais.

## **7.2.2 O Alcance e os Limites do Método para Avaliar a Transformação Intra-Urbana**

Depois de argüida a validade do método, avalia-se o alcance do método como instrumento de análise da transformação intra-urbana das unidades de forma construída, e as suas limitações. A avaliação do método proposto parte do objetivo central pretendido no início da pesquisa, referente à elaboração de um instrumento

capaz de explorar a transformação intra-urbana, e complementada com os objetivos específicos referentes às particularidades a serem investigadas pelo método proposto.

As espacializações das probabilidades condicionais entre as diferentes tipologias para cada conversão possível, permitiram a investigação dos comportamentos competitivo e cooperativo. A exploração do comportamento cooperativo apresenta-se sob o ângulo oposto ao comportamento competitivo, enquanto o primeiro está relacionado à permanência da ambiência tipológica o segundo impulsiona a mudança, conforme se pode visualizar nos mapas apresentados nas figuras 6.35 à 6.44. Nestes mapas verifica-se que a (7) comércio isolado, tende a converter-se em blocos, isto é quando existe uma conversão tipológica por adaptação sobre a tipologia (4) casa, esta acontece quase sempre em lotes adjacentes. A tipologia (1) edifício até cinco pavimentos tende a manter-se quando se apresentam adjacente, formando conjuntos homogêneos. A tipologia (2) tende a localizar-se em lotes adjacente com mesma tipologia, enquanto que a tipologia (8) e (9) localizam-se de forma totalmente autônoma a rede de vizinhanças.

Desta forma a espacialização das probabilidades condicionais permite a geração de potenciais de conversão próprios ao tecido local que estamos explorando, apresentando ainda um comportamento competitivo entre as tipologias funcionais dentro de um recorte espacial típico de quadras de interior diferente daquele que ocorre nas áreas de borda do sistema estudado, que neste caso de estudo é definido por grandes avenidas, com características de pólos de comércio e serviço. Realizada a análise dos dados através do Teste-F com amostra dupla de variâncias para comparar duas variâncias (dados previstos e reais) com o objetivo de testar a hipótese nula de que as duas amostras são provenientes de distribuições com variâncias iguais contra a alternativa de que as variâncias não são iguais nas distribuições de base. O valor F encontrado para as duas amostras (previstas e reais) foi de 0,963717, um valor próximo de 1, fornecendo evidências de que as variâncias na população de base são iguais.

Este resultado nos demonstra que conseguimos através do modelo reduzir as incertezas quanto à alocação das tipologias funcionais, mas assim como existem situações previsíveis que podem ser representadas existem comportamentos

aleatórios que não podem ser previstos, e mesmo que o modelo aponte para as tipologias possíveis de conversão ele não consegue definir qual que será alocada, pois a aleatoriedade está presente nesta dinâmica.

O método proposto apresenta limitações relacionadas a falta de automatização dos procedimentos dentro do ArcView, que vão desde a geração das vizinhanças adjacentes aos lotes, obtidas a partir do grafo geral, passando pelo carregamento da rede espacial com os estados tipológicos, a geração das matrizes de transição até a espacialização das probabilidades condicionais. As espacializações das probabilidades condicionais, assim como as análises dos comportamentos cooperativos e competitivos, e do potencial de cada lote para permanência ou conversão realizada através de procedimentos não automatizados, tornam-se demoradas. Este fato deve-se às características locais representadas de forma diferenciada para tipo de vizinhança, cada tipologia funcional vizinha possui uma probabilidade condicional diferente, dependente da coletividade a qual pertence e da tipologia funcional da qual é vizinha, e como o mesmo lote pode ser vizinho de vários lotes com diferentes tipologias funcionais, o processo tende a ser realizado de forma individual para cada lote e para os seus vizinhos.

Assim priorizamos para continuidade dos estudos a automatização do modelo proposto, para então, testar em outras áreas e verificar a possibilidade de ocorrência de comportamentos sistêmicos semelhantes aos encontrados neste estudo de caso, assim como confirmar o desempenho do modelo para o potencial de permanências e conversões tipológicas.

### **7.3 Contribuições Promovidas pela Pesquisa**

A investigação da transformação das unidades de forma construída e atividades de um sistema espaço-temporal real, o bairro Santana, da cidade de Porto Alegre, através do modelo proposto evidenciou contribuições no âmbito teórico e metodológico. Sob o ponto de vista teórico o estudo apontou para a descrição da dinâmica de transformação das unidades de forma construída e atividades para um processo do tipo markoviano. Esta descrição nos é de grande valia na construção de regras de transição para sistemas reais, uma vez que levam em consideração as

características locais gerando regras de transição endógenas ao sistema, mesmo que para intervalos temporais definidos. Conforme demonstra o estudo de caso o sistema adquire uma característica markoviana, depois da fase inicial do sistema, onde então, as previsões são mais próximas das reais e as espacializações das conversões tipológicas são compatíveis com as reais.

Também foram observadas características relacionadas aos comportamentos entre as variáveis dentro dos diferentes estágios de organização e complexidade sistêmica, assim como na regulação do sistema espaço-temporal. Evidenciamos um comportamento do tipo competitivo nos estágios iniciais do sistema, quando então os níveis de aleatoriedade e entropia aparecem em ascensão, ou seja, a complexidade e a estrutura da organização interna crescem dentro do sistema, tornando o sistema tão complexo quanto heterogêneo. Nesse estágio o comportamento aleatório possui uma utilidade muito importante no direcionamento do sistema, uma vez que entendemos que são estes comportamentos capazes de desestabilizar o sistema e redirecioná-lo para criar novas ordens espaço-sociais.

As estratégias locacionais se apresentam sob a forma de regras de ação, e essas regras representam as estratégias utilizadas pelo homem (econômico, social, cultural e técnico) na procura maximizar a utilidade do seu bem (tipologia funcional) adaptando-o as necessidades sociais, culturais e econômicas do sistema espaço-temporal na qual se encontra inserido. Desta forma pode-se dizer que as alocações das unidades de forma construída e das atividades começam o jogo da localização espacial através de um processo competitivo, e ao longo do tempo estes entes apreendem com as lições das decisões anteriores, e no caso específico de não intervenção externa, tendem a configurar uma ordem espacial a partir de uma convenção das ações sociais. Este comportamento pode ser observado no último estágio evolutivo apresentado pela medida de complexidade sistêmica, onde a interação entre as variáveis sistêmicas é intensa, porém o sistema continua com a sua organização e complexidade estável (figura 6.16 e 6.17).

Essas observações realizadas sobre o estudo de caso são apontadas também por outros autores como Klein (1997) e Abramo (1995). Klein refere-se a ordem através do conceito de convenção, que é uma *“regularidade comportamental*

*em uma situação social recorrente*”, nesta convenção a regularidade dos eventos é obtida através do equilíbrio entre a coordenação passada, a presente e a futura. Para Abramo a *convenção urbana* é uma *opinião* convencional que coordena as escolhas locacionais e que possui um caráter transitório, que retorna a incerteza quando os empreendedores investem na criação de novas localizações, e criando novas convenções no processo decisório da localização espacial.

No estudo de caso realizado no bairro Santana, as ambiências (conjunto de vizinhos) com altas probabilidades de permanecerem nos estados tipológicos são compostas por vizinhanças de lotes com estados tipológicos sem possibilidade de conversão (estados absorventes) combinada com outros lotes de baixa ou nenhuma influencia para conversões. Desta combinação de estados de lotes e vizinhos resultam ambiências urbanas (pontos espaciais) com baixa probabilidade de conversão e alta probabilidade de permanência, representando um comportamento cooperativo entre as tipologias funcionais envolvidas.

Também verificamos através das extrapolações realizadas até a convergência do sistema (figura 6.24 e 6.25), que as tipologias funcionais que mais cresceram foram aquelas de estados absorventes, que acabaram congelando os seus cenários vizinhos imediatos e assim evitando novas conversões tipológicas, escravizando o sistema e o levando-o à estabilidade. Este comportamento também foi observado no pioneiro experimento de Portugali (1996) onde evidencia que os sistemas complexos em estados estáveis seriam governados por um ou mais parâmetros de ordem. Em Portugali, Benenson & Omer, (1997) através da teoria *“Inter-representation network – IRN”* demonstram a formação de padrões sócio-espaciais urbanos através da competição de diferentes grupos sociais pela apropriação do mesmo espaço.

Entende-se então que enquanto o comportamento cooperativo está ligado à estabilização do sistema, o competitivo está relacionado à instabilidade do sistema e a maior imprevisibilidade do comportamento dos seus entes. O sistema de estudo encontra-se no estreito espaço entre a estabilidade e a instabilidade do sistema onde então ocorrem situações mistas com comportamentos cooperativos e competitivos. Neste estágio o sistema apresenta situações previsíveis (determinísticas) e imprevisíveis (aleatórias), compondo um panorama micro-



espacial ativo e macro-espacial estável, onde acreditamos que as relações entre as entidades e o sistema possam ser definidas como acumulativas. Este argumento é evidenciado através do gráfico da complexidade, onde se verifica uma estabilização da entropia, e isto significa que existe ganho de informação dentro do sistema.

Estas observações vão ao encontro dos resultados obtidos nos estudos de modelos baseados na teoria de jogo através de modelos evolucionários, apresentados no capítulo 3 desta tese. Estes modelos são definidos como Sociedades Artificiais e relacionam a sociedade a sistemas simples com base biológica, permitindo a partir da simplificação de regras comportamentais coletivas (competição, assimilação, cooperação, sucessão) a demonstração da formação de padrões advindos do nível de vizinhança para uma organização social global.

Dentre estes estudos salientam-se os trabalhos de Schull (1996) e Macy (1998), que investigam a ordem social emergente. Estes estudos definem a cooperação como a emergência da associação de hábitos ao longo do tempo, gerando uma conformidade inconsciente através das normas sociais, onde a cooperação emerge através da aprendizagem, ou seja, é construída através da experiência passada e não através da suposição das ações futuras dos outros, como a Teoria dos jogos afirmava.

Sob o ponto de vista metodológico o presente estudo procura inovar ao construir um modelo capaz de descrever um sistema real sob a abordagem da auto-organização, acoplando vizinhança variável, regras de transição endógenas ao sistema, e possibilidade de articulação do sistema espacial e temporal. Estas questões procuram atender à flexibilização levantada por Couclelis (1997) através de uma base espacial heterogênea capaz de representar as propriedades e características estruturais dos sistemas reais. Do ponto de vista da modelagem espacial dinâmica o instrumento atende os requisitos descritos por Lambin (1994), uma vez que descreve a evolução de padrões espaciais ao longo do tempo através da investigação do comportamento das variáveis envolvidas na explicação do fenômeno demonstrando os locais mais prováveis de ocorrência dos fenômenos.

O modelo apresenta um procedimento metodológico claro, e bastante amplo, a ponto de permitir aplicações em outros sistemas espaço-temporais reais. A

estrutura conceitual do modelo parte do conceito de espaço apresentada por Santos (1999), onde o espaço é definido como um sistema híbrido configurado a partir de um sistema de ações e um sistema de objetos, contrapondo os objetos de composição do espaço (os lotes e os seus estados tipológicos) aos condicionantes de transformação representados pelas ações humanas e dos processos físicos ao longo do tempo.

Assim estrutura física (sistema e objetos) é representada através de uma base do tipo celular e heterogênea, com possibilidade de vizinhanças variáveis ao longo da rede. A estrutura do fluxo de informação entre os entes sistêmicos é construída a partir dos estados de cada lote da rede ao longo do tempo, que quando articulados configuram diferentes subsistemas que se relacionam verticalmente através de um grafo relacional. Este grafo representa a transição entre os diferentes estados (6.18, 6.19 e 6.20), ou seja, a comunicação de um estado tipológico com outro através do tempo. Enquanto que a rede física é fixa a rede composta pelos estados tipológicos é variável. A relação entre as duas redes constrói um sistema espaço-temporal onde as modificações na rede variável configuram ações sociais relacionadas ao espaço (localização do lote na rede física) e ao tempo (estado tipológico do lote na rede temporal).

A implementação do modelo baseado em cadeias de Markov em uma rede celular em ambiente GIS, permitiu a investigação do processo auto-organizativo do sistema, predizendo tanto a evolução da dinâmica de transformação das unidades de forma construída e das atividades como as distribuições espaciais das transformações e das permanências. Este modelo foi construído dentro da perspectiva sugerida por Lambin (1994), que sugere que, ao se construir um modelo, deve-se fazê-lo de forma gradual, começando, quando possível, por cadeias de Markov, e depois aos poucos ir incorporando variáveis exógenas.

A dimensão espacial também foi introduzida gradualmente, começando com as relações espaciais de vizinhança na rede física e incorporando a noção de espaço relativo através da rede informacional, deixando, para os estudos futuros o refinamento do modelo através da inserção do suporte para as representações múltiplas escalas. Através dessas concepções procuramos construir um modelo capaz de representar de forma mais realística o fenômeno da dinâmica da

transformação intra-urbana das unidades de forma construída, procurando superar algumas das limitações encontradas em muitos modelos atuais, baseados em concepções limitadas quanto às representações do espaço, do tempo e dos processos.

## 7.4 Possíveis Desdobramentos do Método Proposto

A partir dos resultados obtidos através da aplicação do método proposto, vislumbramos uma série de desdobramentos possíveis na área de planejamento, desde que sejam realizados alguns refinamentos na área de automatização do modelo. Os desdobramentos do método podem abrir perspectivas para um monitoramento das transformações intra-urbanas menos normativas, e mais flexível e dinâmico quanto a escala temporal. Sugerem-se alguns desdobramentos a seguir:

a) ***Simulação de Alternativas Normativas***: como o modelo está baseado em variáveis espaciais desagregadas em nível de lote, torna-se possível simular alternativas tipológicas, de usos do solo e as possíveis transformações em longo prazo, assim como a sua visualização espacial.

b) ***Monitoramento de Impactos de Vizinhança***: a simulação de alternativas diferenciadas de normativas de uso do solo, por exemplo, permite a exploração das relações de externalidades geradas a partir dos diferentes tipos de comportamentos (cooperativo ou competitivo) dentro das unidades de vizinhança.

c) ***Simulação da transformação de áreas limítrofes a áreas especiais de interesse cultural (AEIC)***: Apesar das opiniões contraditórias a respeito da permanência de áreas de interesse cultural, elas estão prevista dentro do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de POA. Apresenta-se de lado o discurso da permanência para a manutenção da ambiência urbana e da histórica cultural do lugar, através do congelamento de cenários. Enquanto de outro se apresenta o discurso da renovação para a continuidade da dinâmica urbana, uma vez que muitas dessas áreas acabam tornando-se degradadas e inóspitas. Dentro deste contexto a simulação de alternativas tipológicas e de usos em áreas limítrofes

a locais de interesse cultural podem apresentar alternativas intermediárias a estas duas visões.

d) ***Simulação da transformação em zonas de bordas urbanas***: testar diferentes alternativas tipológicas e de usos do solo para áreas que se encontram limitando regiões de características diferenciadas, analisando a sua evolução espacial ao longo do tempo.

## **7.5 Recomendações para Trabalhos Futuros**

A primeira recomendação está relacionada à automatização do modelo proposto, de forma a tornar mais rápida a manipulação das informações do banco de dados, da geração das matrizes de transição e da espacialização das regras. Dentro desta primeira recomendação objetivamos também a automática retro-alimentação dos dados espacializados de forma a gerar cenários automáticos a cada iteração, atualmente realizados a partir de geração manual. Também vislumbramos a possibilidade da geração de mais de um cenário a partir de cada iteração espacial, pois o modelo trabalha como situações previsíveis e outras aleatórias, conforme verificado na espacialização das regras, onde o modelo apresentou mais de uma alternativa para a alocação tipológica em alguns lotes.

Esta automatização possibilitaria a comparação dos diferentes rumos que o sistema teria até a sua suposta convergência. Outra recomendação para estudos futuros é a construção automatizada de procedimentos dentro do ArcView que permitam a visualização dos processos de competição e cooperação entre as variáveis envolvidas, construindo mapas temáticos desses comportamentos, e possibilitando uma análise mais detalhada e objetiva.

A partir desta primeira e fundamental recomendação de aprimoramento, propõem-se outros estudos que deverão dar continuidade a este, o primeiro é a aplicação da espacialização em toda a área de estudo com a finalidade de testar a validade do método em uma amostra maior. Assim como também a aplicação do modelo em outros bairros da cidade, com objetivo de verificar a existência de padrões no comportamento do processo de alocação espacial ao longo do tempo, bem como padrões comportamentais das medidas de organização e complexidade

dos sistemas nos diferentes estágios evolutivos. Outra sugestão para trabalhos subseqüentes a este é a de testar a inserção de outras variáveis como a socioeconômica.

Pretendemos, após testar o modelo original em todas as alternativas já enumeradas, também flexibilizar e refinar o modelo, a ponto de permitir a inserção de variáveis externas, como condicionantes normativos, e incentivos, bem como a possibilidade de mudanças na estrutura da rede espacial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramo, P. (1989) A Incerteza e a Inovação na Estruturação Urbana: Elementos da Dinâmica Imobiliária in *Anais do 3º Encontro Nacional da ANPUR. Águas de S. Pedro. Pp. 131-142.*
- Abramo, P. (1995) A Convenção Urbana: a Dinâmica Cognitiva da Coordenação Espacial Urbana pelo Mercado in *Anais do 6º Encontro Nacional da ANPUR. Brasília. Pp. 459-478.*
- Alberti, Marina And Paul Waddell (2000). An Integrated Urban Development and ecological Simulation Model. Part 1: rationale for a synthesis; University of Washington, <http://www.iauav.unive.it/stratema/cupum/pdf/E10A.pdf>,p.1-20
- Allen, P. Et Al (1985) Towards a new synthesis in the modelling of evolving complex systems, *Environment & Planning B vol 12*
- Alonso,W. (1964) Location and Land Use. EUA, The MIT press.
- Argan, (1961). El concepto del espacio arquitectónico: desde el barroco a nuestros días. Buenos Aires: Nueva Vision, 1961. 191p.il. (Historia de la arquitectura y del arte; n.21)
- Arnheim, (1977). The dynamics of architectural form.. Espanhol] La forma de la arquitectura. Barcelona: G. Gili, 1978. 229 p. : il. (Arquitectura/perspectivas)

Ashby (1971). An introduction to cybernetics. Português] Uma introdução à cibernética. São Paulo: Perspectiva, 1970. xv, 345 p: il. (Colecao estudos ; 1)

Atlan.H.(1972), L'organisation biologique et la théorie de l'information, Paris, d Hermann

Aumann, R (1989) Game Theory. In: Eatwell, Milgate et Newman (eds).

Aumann, RJ (1981) Survey of Repeated Games. In Aumann, RJ et al, Essays in Game Theory and Mathematical Economics, Bibliographisches Institut

Aumann, RJ and Sorin, S (1989) Cooperation and Bounded Recall. Games and Economic Behaviour 1, pp.5-39

Aumann, R.J. y Maschler, M. (1964) The bargaining set for cooperative games. Advances in game theory, eds. M. Dresher, L.S. Shapley y A.W. Tucker, en Princeton, NJ, Princeton University Press, pp. 443-447.

Axelrod R. (1984) The Evolution of Cooperation. Basic Books, New York.

Axelrod R. (1986) An evolutionary approach to norms. American Political Science Review, 80: 1095-1111.

Axelrod R. (1987) The evolution of strategies in the iterated Prisoners' Dilemma. In L. Davis, editor, Genetic Algorithms and Simulated Annealing. Morgan Kaufmann, Los Altos, CA.

Axelrod R. (1997) The Complexity of Cooperation. Princeton University Press, Princeton, NJ.

Axelrod, R. (1981). The emergence of cooperation among egoists. The American Political Science Review, 75, 306-318.

Aymonino, Carlo (1975). O Significado das Cidades. Editorial Presença, LDA

Bailly, Antoine (1979). La perception del Espaço Urbano. Conceptos, métodos de estudio y su utilizacion en la investigacion urbanística. Madrid: Ed. Lavin,. 326p. Nuevo

Bandura, Albert (1974) Social learning and personality development. Espanhol] Aprendizaje social y desarrollo de la personalidad. 3. ed. Madrid: Alianza,

Bandura, Albert (1978) Principles of behavior modification. Português] Modificação do comportamento. Rio de Janeiro: Interamericana

Barabási A., Albert.R.;.-L(2002). Statistical mechanics of complex networks, Reviews of Modern Physics, 74, 47-97.

Barone, Dante A. C. & Cols (2003) Sociedades Artificiais : a nova fronteira da inteligência nas máquinas .Porto Alegre Bookman

- Bartlett, M.S.(1960A) An introduction to stochastic processes.(Cambridge)
- Batty & Longley (1989) - Urban Growth and Form: Scaling, Fractal Geometry And Dia
- Batty , M (1988) - Generating Urban From Diffusion Growth
- Batty , M (1988) - The Morphology Of Urban Land Use
- Batty . M.(2005) Cities and Complexity, MIT Press, London, 2005.
- Batty, M. & Jiang, B. (1999) Multi-agent Simulation: New Approaches to Exploring Space-time Dynamics within GIS. *Working Paper Series: 10. London, Centre for Advanced Spatial Analysis (obtido de [http://www.casa.ucl.ac.uk/multi\\_agent.pdf](http://www.casa.ucl.ac.uk/multi_agent.pdf)).*
- Batty, M. & Longley, P. (1994) Fractal cities; London, Academic Press
- Batty, M. And Xie,Y.(1997) Possible urban automata. *Environment and Planning B, vol, 24:175-192*
- Batty, M;(1992) . Urban modelling in computer graphic and geographic information system environments. In: *Enviroment and Planning B. Planning and Design: 1992 vol. 19 , p.663/688.*
- Batty,M(1970)- Introductory model-building problems for urban and regional planning.Urban Systems Research Unit,Department of Geography,Univerity of Reading.
- Baudrillard,(1970) La societe de consommation : ses mythes : ses structures. Paris: Denoel, 1970. 321 p
- Beer, S (1966) Decision and Control. Johnn Wiley and SonsLtd.Londres
- Berg, Drewett, Klaassen, Rossi and Vijverberg, (1982) Urban Europe:a study of growth and decline.Oxford:Pergamon.
- Berman, B; Chinitz, B. and Hoover, E. M (1961) Projection of metropolis: technical supplement to the New York metropolitan region study. (Cambridge. Mass)
- Bertalanfanffy L.Vonn,(1968) Theorie générale dès systèmes, Ed A ngl.Braziller ED.Frç.Bordas (1973),Dunod(1980)
- Bharucha Reid, A.T (1960) Elements of Theory of markov process and their applications. New York.
- Blumenfeld,H. (1955)-The economic base of metropolis, Jornal American Institute of Planners 21,Fall.
- Boldrini, J. L. et al. (1980) Algebra Linear. São Paulo: Harper & Row do Brasil. Editora Harbra Ltda.



Bousquet, F; Lifran R; Tidball, M; Thoyer,S; Antona, M (2001) Agent-based modelling, game theory and natural resource management issues Journal das sociedades artificiais e da simulação social vol. 4, no. 2, (obtido em <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/2/0.html> >

Breheny, M. J. (1978) The Measurement of Spatial Opportunity in Strategic Planning Regional Studies, 12: 463-479.

Buckley,Walter (1971) A sociologia e a moderna teoria dos sistemas; tradução de Octavio Mendes Cajado.São Paulo, Cultrix, Editora USP

Burgelin, Oliver(1970). A Comunicação Social. São Paulo, Martins Fontes,.

Burgess, Ernest W. & Bogue, Donald J. (1964). Contributions to Urban Sociolog". The University of Chicago Press, Chicago.

Burgess, Ernest W.(1922) (1924) (1925). 'The Growth of the City: An Introduction to a Research Project". Proceedings of American Sociological Society, XVIII,1924,PP. 85-97; reproduzido in Park, Burgess & McKenzie 1925, acp. II, PP. 47-62. Traduzido in Pierson 1970, pp. 353-68.

Burrough, P.A (1986)- Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment .Oxfoed University Press.Oxford University Press, New York.

Buzai, Gustavo. (2003) Mapas sociais Urbanos. Buenos Aires. Editora Lugar

Cannigia, G ; Maffei G(1979)- Compozicione Arqitettinica E Tipologia Edilizia: 1 Lettura Dell'edillizia Di Base.3 Edição.Venezia: Marcilio

Castelfnanchi,C (1998)- Simulation with cognitive agents: The importance of cognitive emergence.In Sichman,J.S Conte, R. and Gilbert,N., eds,Multi-agent Systems and Agent-Based Simulation, number 1534. Berlin:Springer-Verlag

Castelfranchi, C, Conte, R And Paolucci, M (1998) Normative reputation and the costs of compliance. In Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol. 1, no. 3, <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/3.html>.

Castex,J; Depaulle,Ch; Panerai,Ph(1980) Formes Urbaines : De L'ilot A La Barre. Bordas, Paris, Fr: Dunod

Chaitin, G.J (1966) On the length of programs for computing binary sequences. Journal of the Association of Computational Machines.13:547

Chapin, F.S.(1964) – Select theories of urban growth and structure. Journal of the American Institute of Planners.

Chapin,F.;Stuart Jr Y Weiss, Shirley. F.(1965). Some Input Refinements for residential Model,North Carolina

Christofolletti, A. (1998) Perspectivas para análise da complexidade e auto-organização em sistemas geomórfológicos. in Herramitas de análisis espacial para el estudio de los sistemas ambientales complexos (Morello, J. & Matteucci, S., Eds). Buenos Aires, Centro de Estudios Avanzados, Universidad de Buenos Aires..

Clark, A.B.; Disney R.L. (1979). Probabilidade e processos estocásticos. Copyright por Livros técnicos e científicos Editora S.A.RJ.

Clark, W. A. V (1965) Markov chain analysis in geography: an application to the movement of rental housing areas. *Annals of Association of American Geographers*, 55.

Clarke K C, Gaydos L, Hoppen S, (1997) A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area " *Environment and Planning B: Planning and Design* 24 247-262

Coleman, J S (1986/87) The Emergence of Norms in Varying Social Structures. In *Angewandte Sozialforschung*, Jg. 14,1 ,. pp. 17-30.

Conte, R And Castelfranchi, C (1995) Understanding the functions of norms in social groups through simulation. In Gilbert N and Conte R (Eds.), *Artificial Societies. The computer simulation of social life*. London: UCL Press.

Couclelis H. (1985) Cellular Worlds: A framework for modeling micro-macro dynamics. *Environmental and Planning A* 17:585-596.

Couclelis H. (1997) From cellular automata to models: New principles for models: New principles for model development and implementation. *Environmental and Planning B* 24,2, 165-174.

Couclelis, H. (1989) Macrostructure and Microbehavior in a Metropolitan Area" *Environment and Planning B*, 16: 141-154.

Debreu, G. y Scarf, H. (1963) A limit theorem on the core of economy. *International Economic Review*, 4, pp.1-7.

Dendinos, D. & Sonis, M. (1990) *Chaos and socio-spatial dynamics*; New York, Springer-Verlag

Deutsch, Karl in "Towards a Unified Theory of Human Behavior", org. Por Roy Grinker. Nova Iorque: Basic Books (1956)

Dodd, S.C., (1953) Testing message diffusion in controlled experiments: charting the distance and time factors in the interactance hypothesis: *American Sociological Review*, 18, 410-416.

Donnelly, Thomas G., Chapin, F. Stuart Jr Y Weiss, Shirley. F (1968) A Probabilistic Model for residential growth

Doran J (1994) Modelling Collective Belief and Misbelief. In AI and Cognitive Science '94 (eds M Keane et al). Dublin University Press. pp 89-102

Ebolato, Mário; Barbara, Júlio César.(1972) Comunicação e Cotidiano, Rio de Janeiro, Papyrus,

Echenique, M. (1975) El Concepto De Sistema, Modelos Y Teorias. In: Modelos Matemáticos De La Estructura Urbana.: Aplicaciones En America Latina.Ediciones Siap, Buenos Aires

Echenique, M.(1969) Urban Systems: Towards Explorative Model. Report CES UWP2, Center for Environmental Studies, Regent's Park, London.

Eco, Umberto.( 1971)- Obra Aberta. São Paulo, Perspectiva,

Epstein J M And Axtell R L (1996) Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. The Brookings Institution Press: Washington D.C. & The MIT Press: Cambridge, Mass.

Eufrásio, Mario A. (1999) Estrutura Urbana E Ecologia Humana: A Escola Sociológica De Chicago". Universidade de São Paulo

Fayard, Pierre.(2000) La maitrise de l'iteration: L'information et la communication dans la stratégie.

Feller, W. (1957) An introduction to probability theory and applications, (2<sup>nd</sup> edition). (New York).

Flanagan, W. G. (1993) Contemporary Urban Sociology. Cambridge, Cambridge Un. Press.

Forrest, R. & Murie, A. (1987) "The Affluent Homeowner: Labour-Market Position and the Shaping of Housing Histories" in THRIFT, N. & WILLIAMS, P. Class and Space. London and New York, Routledge & Kegan Paul.

Fuchs, V. R.(1962) Changes in the location of manufacturing in the United States since 1929. (New Haven)

Fudenberg And D. Levine. 1998. The Theory of Learning in Games, The M.I.T. Press, Cambridge, MA.

Fujita, M., Krugman, P., Venables, A. J. (1999) The Spatial Economy. Cambridge (Mass.), MIT Press.

Garin, R.A.(1966) A Matrix Formulation of Lowry Model for Intra Metropolitan Activity Allocation.Jornal of American Institute of Planners, vol XXXII.

Gatrell, A. C. (1979) Autocorrelation in Spaces. Environment and Planning A, 11: 507-516.

Gebauer, M; Samuels, I(1981)Urban Morphology:Oxford, a place for a forum.Oxford:Oxford Polytechnic,Departaments of Architecture & Town Planning, Joint Center for Design,11p mimeo

Giacomelli, Marco Antonio (1995) software markov.Instituto de matemática Departamento de estatística

Gibbons, Alan (1985). Algorithmic Graph Theory. Cambridge: Cambridge University.

Gibson, James J. (1966) The senses considered as perceptual systems, Boston, Houghton Mifflin.

Gibson, James J. (1974) La Percepcion Del Mundo Visual. Buenos Aires: Infinito, 319p. des., fot. (Biblioteca de diseno y artes visuales; v.12)

Gibson, James J. (1986) The ecological approach to visual perception. New Jersey: L. Erlbaum 332p.

Goodman. I. A. (1961) Statistical methods for the mover-stayer model: Journal of the American Statistical Association, 65.

Gould, Ronald (1988) - Graph theory: California, Us: The Benjamin/Cummings Publ.

Haag, G. (1989) Dynamic Decision Theory: Applications to Urban and Regional Topics. Dordrecht, Kluwer.

Hagget.P (1975) Analisis Locacional en la Geogradia Humana. Editorial Gustavo Gili, S.A ,Barcelona

Haken, H. & Portugali, J. (1995) A synergetic approach to the self-organization in cities and settlements; Environment & Planning B, vol 22

Haken, H. (1983) Synergetics, an introduction; Berlin, Springer

Haken, H. (1987) Advanced synergetics; New York, Springer

Hansen, W. G.(1959): How Acessibility Shapes Land Use, Journal Of American Institute Of Planners 25 73-76.

Harris, Chauncy D. & Ullman, Edward L. (1945) The Nature of Cities. Annals of American Academy of Political and Social Science. Vol. 242.

Hegselmann, R & Krause, U (2002) Opinion dynamics and bounded confidence:models, analysis and simulation *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 5, no. 3 <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/3/2.html>>

Herbert ,J.D y Stevens, B.H (1960) A Model for the distribution of residential activities in urban areas., Journal of Regional Science.

Hillier, B. & Hanson, J. (1984) *The Social Logic Of Space*, Cambridge:Cambridge University Press,

Hinterberger, F. (1994) On the evolution of open socio-economic systems, in R.K. Mishra, D. Maab & E. Zwierlein (ed) *On self-organization*; Berlin, Springer

Hirsch, Werner Z.; Sonenblum, Sidney. (1964) *Selecting regional information for government planning and decision-making*. New York: Praeger,

Hoffmann, R. (2000) Twenty Years on: The Evolution of Cooperation Revisited. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 3, no. 2, <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/3/2/forum/1.html>>

Hollingshead, August B. (1939). *Human Ecology and the Social Sciences*” pp 65-74 de Robert E. Park (ed.). *An Outline of the Principles of Sociology*, Barnes & Noble, N.York .

Hoyt, Homer (1939). *The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities*. Federal Housing Administration, Washington.

Hull, C.L. (1943) *A Behavior System: An Introduction to Behavior Theory Concerning the individual Organism*, New Haven, Yale University Press.

Hutchinson, B. G. (1974) *Princípios de Planejamento do Sistema Urbano*. Tradução de Henrique Oswaldo Monteiro de Barros. Editora Guanabara Dois S.A. Rio de Janeiro.

Ingram, D. R. (1971): *The Concept Of Accessibility: A Search For An Operational Form*. *Regi. Stud*: 101-107.

Isard, W. (1960): *Methods of Regional Analysis: introduction to Regional Science*, New York.

Jiang, B. (2005). *Small World modeling for complex geographic environments*, in: Portugali, J. (ed). *Complex Artificial Environments*. Springer: Heidelberg, 259-271.

Johnston, C. A (1998) *Geographic Information Systems in Ecology*

Kahneman, D & Tversky, A. (1979) *Prospect Theory: an Analysis of Decision under Risk*. *Econometrica*, 47 (2): 263-291.

Kansky, K.J. (1967) *Travel patterns of urban residents*. *Transportation Science*.

Katerelos, I. D and Koulouris, A. G (2004) *Seeking Equilibrium Leads to Chaos: Multiple Equilibria Regulation Model*. *Jornal das sociedades artificiais e da simulação social* vol. 7, no. 2

Katz, M. L. & Rosen, H. (1991) *Microeconomics*. Homewood (Il.), Irwin.

- Klein, D. B. (1997) Convention, Social Order and the Two Coordinations. *Constitutional Political Economy*, 8: 319-335. Boston, Kluwer. (obtido de <http://lsb.scu.edu/>)
- Kolmogorov, A.N.(1965) Three approaches to the quantitative definition of information. *Problems in Information Transmission* 1:1-7
- Krafta, R. (1995) Simulador de Cidades: Horizontes e Problemas in *Anais do 6º Encontro Nacional da ANPUR. Brasília. Pp. 137-147.*
- Krafta, R. (1996) Urban Convergence: Morphology and Attraction *Environment and Planning B*, 23: 37-48.
- Krafta, R. (1998) Spatial self-organization and the construction of the city; Paris, [www.cybergo.fr](http://www.cybergo.fr) (International workshop on self-organization)
- Krafta, R., Constantinou, E. (1998) Cidades Brasileiras, seu controle e o caos, V Seminário De História Da Cidade E Do Urbanismo'. Cidades temporalidade e conforto, Campinas.
- Krafta, R., Constantinou, E., Fernandez, F. (1999) Configuração Urbana Futura: Padrão e Mudança in *Anais do 8º Encontro Nacional da ANPUR. Porto Alegre.*
- Krafta, R. (1994) – A história é um estado inicial. Seminário de história da cidade e do urbanismo (3.,07-10 set 1994.São Carlos
- Krafta, R. (1994) - Modelling Intraurban Configurational Development In: *Environment And Planning B: Vol. 21, P. 67/82*
- Krafta, R. (1996) - Built Form & Urban Configuration Development Simulation In: *Proceedings Of The III International Conference On Design & Decision Support Systems In Architecture And Urban Planning, Spa, Bélgica.*
- Kreps, D., Wilson, R. (1982) Reputation and imperfect information. *Journal of Economic Theory*, 27, 253-279.
- Kruger M.J.T (1979) - An Approach To Built-Form Connectivity At an Urban Scale: System Description And Its Representation
- Kruger, M.J.T. (1977) - An Approach To Built-Form Connectivity At An Urban Scale: Variations Of Connectivity And Adjacency Measures Amongst Zones And Other Related Topics
- Krugman, P. (1996) *The Self-Organizing Economy*. Malden (Mass.), Blackwell.
- Kuhn, A (1953) –Toward a Uniform Language of Information and Knowledge, *Synthese*, 13:127-53

- Kurt, R. (2002) Methodological Implications of Complex Systems Approaches to Sociality: Some Further Remarks *Journal das sociedades artificiais e da simulação social* vol. 5, no. 2 < <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/2/6.html>
- Lakshmanam, T.R Y Hansen, W.G. (1964) - A retail market potential model. *Journal of the American Institute of Planners*.
- Lambim, E.F(1994).Modeling Deforestation Processes-A Review,Trees series B:Research Report.European Commission,Luxembourg.
- Lammer, Stefan;Gehlsen, Bjorn; and Helbing, Dirk (2006) Scaling Laws In The Spatial Structure Of Urban Road Networks, *Physica A* 363(1) pp.89-95
- Landis, J , Zhang, M.(1998) The Second Generation Of The California Urban Futures Model.Part 1:Model Logic And Theory
- Lang, Jon. (1987) *Creating Architectural Theory: the role of the behavioral science in environmental* . New York: Van Nostrand Reinhold Company,. 278p.
- Langton, Christopher. (1986) Studying Artificial life with Cellular Automata, in *Physica* 22D, 120-49
- Le Moigne, Jean-Louis(1990) *La théorie du système general:theorie de la modélisation*. PUF,3ème édition. Paris
- Lewin, R. (1993). *Human Evolution*. 3rd ed. Blackwell Scientific Publications, Inc.
- Li,X.;Yeh,Ag-O.(2000)- Modelling sustainable urban development by integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*,Vol.14,p.131-152.
- Lorigny, Jacques (1992) *Os sistemas autônomos: relação aleatória e ciência d da mente*.Lisboa. Instituto Piaget
- Lowry. I.S (1964) –A Model of Metropolis.Rand Corporation, Santa Mónica, California
- Luger, G.F. (2004) *Artificial intelligence:structures and strategies for complex problem solving*. Person Education Limited, Grã-Bretanha
- Macy M.W (1998) –Social Order in Artificial Worlds, *Journal of Artificial Societies and social simulation*,Vol 1,No 1.,p.p5-32
- March, L ;Trace, M (1968A) *The Land Use Performances of Selected Arrays of Built Forms*, L.U.B.F.S. Working paper núm.2.
- March, L(1972) *A Statistical Theory of Simple Spatial Distribution Function*, L.U.B.F.S. Working Paper núm. 5
- March,L., Steadman, P. (1974) *The Geometry of environment*. Cambridge,MA:M.IT. Press

March, L. & Martin L (1972) Urban Space And Structures

Martin D, Longley P, Higgs. G. (1994) The use of GIS in analysis of diverse urban databases. Computers, Environment and Urban Systems 18. 55-66

Martin, L.; March, L.; Echenique, M. (1975) La estructura del espacio urbano. Barcelona: Gili

Martin, G.E., (1982). Transformation Geometry: An introduction to Symmetry. New York: Springer-Verlag

Mckenzie, Roderick D. (1924). The Ecological Approach To The Study of the Human Community. American Journal of Sociology vol. 30, n3. Traduzido in Pierson 1970, cap IV pp. 95-111.

Mcshea, Daniel (1991) Complexity and Evolution: What Everybody Knows em Biology and Philosophy . vol 6, 303-24.

Mendes. R.V. (1995). A Matemática da Complexidade, em Matemática e Cultura II, Centro Nacional de Cultura SBP Editores, Lisboa.

Mendes. R.V. (2001). Conditional exponents, entropies and measure of dynamical selforganization, adap-org. (at xxx.lan.gov)

Mitchell, J. (1988). The Dimensions of Paradise. San Francisco: Harper and Row

Miyao, T. (1978) Dynamic Instability of a Mixed City in the Presence of Neighborhood Externalities . American Economic Review, 68 (3) 454-463.

Moles, A. (1966) Information Theory and Esthetic Perception, trad. De P. E. Cehen. Urban III: University of Illinois Press.

Moles, A. (1974) [*Phenomenologie de L'action*. Paris, Casterman

Moore, O (1963) Purpose and Learning Theory, The Psychological Review, 60:149-56

Morin, E (1980) La Methode: la nature de la nature. Editions du Senil. Collection Points- Essais. Paris

Morphet, R. (1975) A note on the calibration of doubly constrained trip distribution models, Transp. Res., 4, 43-53

Muratori, S (1959)- Studiper Una Operante Storia Urbana Di Venezia. Roma: Istitute Poligáfico del Estadp

Muth, R.F (1961) Rural urban land conversions. Econometrica, 29.

Nasch, J.F. (1953) Two-person cooperative games. Econometrica, 21.



- Nasch, J.F. , Jr . y Shapley , L.S (1950) The bargaining problem. *Econometrica*,18.
- O'sullivan, D. (199) notas sobre metodologia desenvolvida no Centre for Advanced Spatial Analysis sobre integração de grafos e celular automata (obtido de <http://www.casa.ucl.ac.uk>).
- Panerai, Ph & Veyrenche, M.(1983): *Elements d'analyse Urbaine*. Madrid. Leal
- Park, Robert E., (1939) *The City as a Natural Phenomenon* in cap 10 de *Park 1952*,pp.118-27. Reproduzido in *Park 1952*, cap. 10, pp 118- 27
- Parsons, T. and Shils, E. (1952) *Toward a general theory of action*. Cambridge,Mass: Harvard University Press.
- Peirce, C. S. (1955): *Philosophical writings of Peirce* . Dover Publications, N. York.
- Pielou, E.C. (1984)-. *The Interpretation Of Ecological Data; A Primer On Classification And Ordination*.New York,J.Wiley.P 13-41,63-81, 133-201.
- Pierson, Donald (1970) *Estudos de Ecologia Humana*. Martins, São Paulo, 2 ed. Revista.
- Pignatari, Décio. (1969) *Informação. Linguagem. Comunicação*. São Paulo, Perspectiva,
- Pillar. V. P software de estatística MULTIV- for multivariate analysis, randomization test and bootstrapping version 2.2.0.Departamento de Ecologia,Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Pirie,G.H. (1979) *Measuring Acessibility: are view and proposital*. *Environment and planning A*, vpl 11(3)
- Podani,J. (1994).*Multivariate Data Analysis In Ecology And Systematics*.The Hague, Sbpc Academic Publishing.P11-49, P77-162
- Portugali, J. (1996) *Inter-representation networks and cognitive maps*, in J. Portugali (ed) *The construction of cognitive maps*; Dordrecht, Kluwer
- Portugali, J. (1997) *Self-Organizing Cities Futures*, 29: 353-380.
- Portugali, J. Benenson, I. Omer, I.(1997) *Spatial Dissonance And Sociospatial Emergence In Self-Organizing City*; *Environment & Planning B Vol 24*
- Poudstone, Willian (1992) *Prisioner's Dilemma*
- Pratt, G. (1989) *Reproduction, Class, and the Spatial Structure of the City* in *Peet, R. & Thrift, N. (eds.) New Models in Geography*. London, Unwin Hyman.
- Prigogine, I. & Nicolis, G. (1977) *Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations*; New York, Wiley

- Prigogine, I. & Stengers, I. (1985) Order our of chaos; London, Fontana
- Rabaça, Carlos Aberto; Barbosa, Gustavo (1987). Dicionário de Comunicação. São Paulo, Editora Ática,
- Reif, B (1978) Modelos em planificacion de ciudades y regiones.Madrid.Instituto de Estúdios de Administracion Local.
- Rich, Eliane (1983) Artificial Intelligence McGraw-Hil, Ltda.University of Texas at Austin.
- Richardson. Harry W.(1975). Economia Regional. Teoria da Localização, Estrutura Urbana e Crescimento Regional. Zahar, Rio de Janeiro.
- Rogers, N (1969) Model Cities From City Models.Industrial Engineering.
- Rosvall, M and Sneppen, K.(2005) Modelling self-organization of communication and topology in social networks. Physical Review, 0512105 v1.
- Rosvall, M.; Minnhagen, P.; Sneppen, K.(2005) Navigating networks with limited information. Physical Review E 71, 066111, 2005.
- Ruelle.D (1993).Acaso e Caos. São Paulo. Editora Unesp Fundação para o desenvolvimento.
- Saam, N J And Harrer, A (1999) Simulating Norms, Social Inequality, and Functional Change in Artificial Societies. In Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol. 2, no. 1, <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/2/1/2.html>.
- Santos, Milton.(1999) A natureza do espaço: espaço e tempo: razão e emoção.São Paulo: Hucitec.
- Schelling, T. C. (1978) Micromotives and Macrobehavior. New York, W.W. Norton.
- Schelling, T. C. (1980) The Strategy of Conflict. Cambridge (Mass.), Harvard Un. Press.
- Schulz, U, Albers, W and Mueller, U (eds.) (1996) Social Dilemmas and Cooperation. Springer: Berlin.
- Séris, Jean-Pierre(1994). La technique. Presses Universitaires de France,Paris,1994
- Shapley,L. S. (1953) Stochastic games. Fourth Annual Logistics Conference, George Washington University,Washington,DC.
- Shapley,L.S Y M.Shubik (1953)-Solutions of n-person games with ordinal utilities, en Econometrica
- Shortreed,J.H., and Wilson, J. (1968) A Minimum Path Algorithm, Departament of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario.

- Shubik, Martin (1982) Game Theory in the social sciences. Concepts and solutions
- Smith, N. (1982) Gentrification and Uneven Development *Economic Geography*, 58 (2): 139-155.
- Smith, N. (1989) Uneven Development and Location Theory: Towards a Synthesis in *Peet & Thrift (ed.) New Models in Geography. London, Unwin Hyman.*
- Smith, T. R. & Lundberg, C. G. (1984) Psychological Foundations of Individual Choice Behaviour and a New Class of Decision Making Models in Bahrenberg, G., Fischer, M. & Nijkamp, P. *Recent Developments in Spatial Data Analysis. Aldershot (UK), Gower.*
- Solomonoff, R.J.(1964) A formal theory of inductive control. *Information and control* 7:224
- Steadman, P. (1970).The automatic generation of minimum-standart house plans.WP-23, Land Use and Buid Form Studies. Departament de Arquiteure. Inglaterra, Universidad de Cambridge.
- Stevens, Garry (1990) *The Reasoning Architect - Mathematics And Science In Designe*
- Taffe, E.J., Gardener, B.J And Yeates, M.H(1963) *The peripheral journey to work: a geographic consideration.*
- Teklenburg, J. A.F., Timmmerns, H. J. P., & Wagenberg, A. F.(1992) *The distribution of use of public space in urban areas. Environmental design research association. Boulder Colorado.*
- Terna, P (1998) *Simulation Tools For Social Scientists: Building Agent Based Models With SWARM. Journal of Artificial Societies and social. simulation, Vol 1, No 2*
- Therodorson, George A. (1961)-. *Studies in Human Ecology. Row, Peterson & Co., Evanston.*
- Thompson, D'Arcy Wentworth. (1961) *On growth and form. Complete rev. ed. New York: Dover, 1116 p. : il.*
- Thon, R;(1990) *Aplogia du logos, Paris Ed.Hachette*
- Thrift, N.; Williams, P. (1987) *Class and Space. London and New York, Routledge & Kegan Paul.*
- Tiebout, C.M (1962) *The community economic base study. The Committee for Economic Development, Nueva York*
- Timmermans, H. (1984) *Decision Models for Predicting Preferences among Multiattribute Choice Alternatives in Bahrenberg, G., Fischer, M. & Nijkamp, P. Recent Developments in Spatial Data Analysis. Aldershot (UK), Gower.*

Tobler W.R.,(1979), Smooth pycnophylactic interpolation for geographic regions  
Journal of the American Statistical Association 74, 519-530.

Tuan, Yi- Fu. (1980) Topofilia, Um Estudo da Percepção, Atitudes e Valores do Meio Ambiente,SP/RJ,Editora Difel,.

Tversky, A. & Kahneman, D (1981) The Framing of Decisions and the Psychology of Choice Science, 211 (30 January): 453-458.

Waisman, Marina (1972) La estructura historica del entorno. Buenos Aires: Nueva Vision, 280p. : il.

Watt S, Strogatz (1998)-Artificial Societies and Psychological Agents, Knowledge Media Institute, The Open University

White R., e Engelen (1997) Cellular automata as the basis of integrated dynamic modeling. *Environment & Planning B, Planning and Design* 24 235-246

Winsborough, H. (1962).City growth and city structure: *Journal of Regional Science*, 4 No.2.35-49

Wirth, Louis (1945). Human Ecology. American. Journal of Sociology. Vol.50, n6, pp483-8 (traduzido in Pierson 1970, pp 618-44)

Wu F., (1998 b) Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic controlled cellular automata in a geographical information system *Journal of Environmental*.

# ANEXO 1

CHARACTER-BASED COMMUNITY ANALYSIS

SYNCSA v.2.2.5

-----  
 EXPLORATION OF COMMUNITY DATA STRUCTURES  
 -----

Sat Apr 22 23:48:28 2006

Session: c

Formatted data: cFormda.txt

Unformatted data: c.txt

Trait set: sp

Number of states: 11

Trait type: 2

Pooling of populations: 1 (monothetic)

Number of communities: 9

Community labels: t20 t30 t40 t50 t60 t70 t80 t90 t99

Fuzzy transformation: none (crisp)

Data partition type: mixed

Contingency table:

PFT	sp	t20	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1
1	0	0	0	1	195	318	462	494	490	2	
2	0	0	0	0	17	43	91	110	120	3	
3	1	1	3	3	14	63	93	105	101	4	
4	0	0	3	5	85	158	228	239	209	5	
5	0	0	1	2	21	27	32	36	28	6	
6	0	1	1	1	17	35	44	37	25	7	
7	0	0	1	1	11	30	52	66	88	8	
8	0	1	2	2	2	11	18	39	49	9	
9	0	0	0	0	8	22	31	39	42	10	
10	0	0	0	0	0	4	4	8	25	11	
11	16	28	30	28	232	211	95	17	0		

Presence(%) and dominance (average performance when PFT is present):

PFT	Presence(%)	Avg.perf.
---	-----	-----
3	100	42.6667
11	88.8889	82.125

6	88.8889	20.125
8	88.8889	15.5
4	77.7778	132.429
7	77.7778	35.5714
5	77.7778	21
1	66.6667	326.667
2	55.5556	76.2
9	55.5556	28.4
10	44.4444	10.25

Average indeterminacy: 0.399233

Indeterminacy matrix:

0	0.5	0.714286	0.75	0.8	0.818182	0.818182	0.818182	
0.909091	0	0.428571	0.5	0.6	0.636364	0.636364	0.636364	
0.727273		0	0.125	0.3	0.363636	0.363636	0.363636	0.454545
			0	0.2	0.272727	0.272727	0.272727	0.363636
				0	0.0909091	0.0909091	0.0909091	0.181818
					0	0	0.0909091	
						0	0.0909091	
							0	0.0909091
								0

Species name

- 
- 1
- 10
- 11
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

ENVIRONMENTAL VARIABLES

RelevŽs:	t20	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
ano	20	30	40	50	60	70	80	90	99

-----

DIVERSITY AND COMPLEXITY

-----

Sat Apr 22 23:48:35 2006

Renyi general entropy of order 1 in sampling units (nats):

Sampling units:	t20	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
Entropy (nats):	0.223718	0.424254	1.03031	1.26312	1.56452	1.83783	1.84399	1.8142	1.81298

Renyi general entropy (H) of order 1 in sampling units (bits):

Sampling units:	t20	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
Entropy (bits):	0.322757	0.612069	1.48642	1.8223	2.25713	2.65142	2.66031	2.61734	2.61558

Kolmogorov complexity (Anand & Orloci 1996) in sampling units:

Sampling units: t20 t30 t40 t50 t60 t70 t80 t90 t99

Total complexity (L): 0 1.16129 1.65853 1.90696 2.30729 2.70605 2.72781 2.68149 2.65759
Structural complexity (L-H): 0 0.54922 0.172109 0.0846576 0.0501656
0.0546246 0.067492 0.0641516 0.0420102

-----
DIVERSITY AND COMPLEXITY
-----

Sat Apr 22 23:48:44 2006

Renyi general entropy of order 1 in sampling units (nats):

Sampling units: t20 t30 t40 t50 t60 t70 t80 t90 t99
Entropy (nats): 0.223718 0.424254 1.03031 1.26312 1.56452 1.83783 1.84399 1.8142
1.81298

Renyi general entropy (H) of order 1 in sampling units (bits):

Sampling units: t20 t30 t40 t50 t60 t70 t80 t90 t99
Entropy (bits): 0.322757 0.612069 1.48642 1.8223 2.25713 2.65142 2.66031 2.61734
2.61558

Kolmogorov complexity (Anand & Orloci 1996) in sampling units:

Sampling units: t20 t30 t40 t50 t60 t70 t80 t90 t99

Total complexity (L): 0 1.16129 1.65853 1.90696 2.30729 2.70605 2.72781 2.68149 2.65759
Structural complexity (L-H): 0 0.54922 0.172109 0.0846576 0.0501656
0.0546246 0.067492 0.0641516 0.0420102

-----
RESEMBLANCE OF PFTs
-----

Sat Apr 22 23:49:20 2006

Resemblance function: 1 (information divergence within rows)

Fuzzy transformation: none (crisp)

Resemblance matrix of PFTs defined at level 1 of the trait hierarchy:

0 595.26 601.089 197.04 935.948 911.739 766.596 1002.77 939.558 1201.38 830.482
0 8.47548 132.271 69.3369 63.6525 16.6142 80.0963 57.7291 166.335 363.063
0 126.321 65.2201 56.4345 19.4081 78.7908 61.1545 171.1 312.484
0 318.556 303.202 219.314 368.201 325.906 517.17 379.402
0 2.63468 25.0155 18.4328 6.83262 48.3189 284.04
0 24.6138 23.3108 8.57114 57.6334 270.801
0 26.7944 16.7558 89.2223 346.279
0 9.27688 26.4673 382.952
0 37.5422 341.227
0 431.492
0

Resemblance matrix of PFTs defined at level 1 of the trait hierarchy (upper half, free format, no diagonal):

595.26 601.089 197.04 935.948 911.739 766.596 1002.77 939.558 1201.38 830.482 8.47548 132.271
69.3369 63.6525 16.6142 80.0963 57.7291 166.335 363.063 126.321 65.2201 56.4345 19.4081
78.7908 61.1545 171.1 312.484 318.556 303.202 219.314 368.201 325.906 517.17 379.402
2.63468 25.0155 18.4328 6.83262 48.3189 284.04 24.6138 23.3108 8.57114 57.6334 270.801
26.7944 16.7558 89.2223 346.279 9.27688 26.4673 382.952 37.5422 341.227 431.492

-----
RESEMBLANCE OF RELEVES
-----

Sat Apr 22 23:49:43 2006

Resemblance function: 2 (information divergence mutual)

Fuzzy transformation: none (crisp)

Nominal resemblances (Option 2):

0	0.971926		3.11511	4.6739	14.8778	22.0312	37.4521	60.8279	83.5398
	0	3.49668	5.95419	25.4612	37.1911	63.2038	99.6869	129.383	
		0	1.1264	24.1413	32.9655	59.4283	96.7647	127.494	
			0	18.7678	26.3087	50.6223	85.7689	116.066	
				0	33.0966	131.912	259.589	331.807	
					0	46.7561	147.519	216.491	
						0	37.8819	92.897	
							0	21.4857	
								0	

Nominal resemblances (Option 2) (upper half, free format, no diagonal):

0.971926	3.11511	4.6739	14.8778	22.0312	37.4521	60.8279	83.5398	3.49668	5.95419	25.4612
37.1911	63.2038	99.6869	129.383	1.1264	24.1413	32.9655	59.4283	96.7647	127.494	18.7678
26.3087	50.6223	85.7689	116.066	33.0966	131.912	259.589	331.807	46.7561	147.519	216.491
37.8819	92.897	21.4857								

-----  
RESEMBLANCE OF PFTs  
-----

Sat Apr 22 23:49:58 2006

Resemblance function: 1 (information divergence within rows)

Fuzzy transformation: none (crisp)

Resemblance matrix of PFTs defined at level 1 of the trait hierarchy:

0	595.26	601.089	197.04	935.948	911.739	766.596	1002.77	939.558	1201.38	830.482
	0	8.47548	132.271	69.3369	63.6525	16.6142	80.0963	57.7291	166.335	363.063
		0	126.321	65.2201	56.4345	19.4081	78.7908	61.1545	171.1	312.484
			0	318.556	303.202	219.314	368.201	325.906	517.17	379.402
				0	2.63468	25.0155	18.4328	6.83262	48.3189	284.04
					0	24.6138	23.3108	8.57114	57.6334	270.801
						0	26.7944	16.7558	89.2223	346.279
							0	9.27688	26.4673	382.952
								0	37.5422	341.227
									0	431.492
										0

Resemblance matrix of PFTs defined at level 1 of the trait hierarchy (upper half, free format, no diagonal):

595.26	601.089	197.04	935.948	911.739	766.596	1002.77	939.558	1201.38	830.482	8.47548	132.271
69.3369	63.6525	16.6142	80.0963	57.7291	166.335	363.063	126.321	65.2201	56.4345	19.4081	78.7908
78.7908	61.1545	171.1	312.484	318.556	303.202	219.314	368.201	325.906	517.17	379.402	2.63468
2.63468	25.0155	18.4328	6.83262	48.3189	284.04	24.6138	23.3108	8.57114	57.6334	270.801	26.7944
26.7944	16.7558	89.2223	346.279	9.27688	26.4673	382.952	37.5422	341.227	431.492	-----	

-----  
EXPLORATION OF COMMUNITY DATA STRUCTURES  
-----

Sun Apr 23 00:42:44 2006

Session: c

Formatted data: cFormda.txt

Unformatted data: c2.txt

Trait set: sp

Number of states: 11

Trait type: 2

Pooling of populations: 1 (monothetic)

Number of communities: 8

Community labels: t30 t40 t50 t60 t70 t80 t90 t99

Fuzzy transformation: none (crisp)

Data partition type: mixed

Contingency table:



PFT	sp	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
1	1	1	1	23	49	63	93	102	110
2	2	0	1	5	10	19	38	49	72
3	3	0	0	2	15	19	21	29	31
4	4	3	4	15	29	38	45	60	65
5	5	1	2	4	8	8	11	15	11
6	6	0	0	6	9	10	12	15	10
7	7	3	0	2	5	8	13	20	44
8	8	0	0	2	3	4	5	8	17
9	9	1	1	1	4	4	5	7	10
10	10	0	0	0	0	0	0	0	11
11	11	32	43	62	77	62	56	39	4

Presence(%) and dominance (average performance when PFT is present):

PFT	Presence(%)	Avg.perf.
1	100	55.25
11	100	46.875
4	100	32.375
5	100	7.5
9	100	4.125
2	87.5	27.7143
7	87.5	13.5714
3	75	19.5
6	75	10.3333
8	75	6.5
10	12.5	11

Average indeterminacy: 0.201763

Indeterminacy matrix:

0	0.285714	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.454545
	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.454545
		0	0	0	0	0	0.0909091
			0	0	0	0	0.0909091
				0	0	0	0.0909091
					0	0	0.0909091
						0	0.0909091
							0

Species name

-----  
1  
10  
11  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

ENVIRONMENTAL VARIABLES

RelevŽs:	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
ano	30	40	50	60	70	80	90	99

-----  
DIVERSITY AND COMPLEXITY  
-----

Sun Apr 23 00:42:49 2006

Renyi general entropy of order 1 in sampling units (nats):

Sampling units:	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
Entropy (nats):	0.847835	0.707723	1.54893	1.80277	1.90893	1.93439	2.00329	2.00057

Renyi general entropy (H) of order 1 in sampling units (bits):

Sampling units:	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
Entropy (bits):	1.22317	1.02103	2.23463	2.60085	2.754	2.79074	2.89013	2.88621

Kolmogorov complexity (Anand & Orloci 1996) in sampling units:

Sampling units:	t30	t40	t50	t60	t70	t80	t90	t99
Total complexity (L):	1.4878	1.36537	2.27046	2.67462	2.79148	2.82941	2.93312	2.92725
Structural complexity (L-H):	0.038674	0.26463	0.344344	0.0410487	0.0358322	0.0737762	0.0374732	

## ANEXO 2

Espaco de estados:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Matriz de transicao:

0.983	0.001	0.009	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000
0.000	0.992	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.990	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.003
0.007	0.004	0.005	0.881	0.003	0.003	0.070	0.012	0.004	0.011	0.001
0.000	0.000	0.021	0.000	0.872	0.000	0.085	0.011	0.000	0.011	0.000
0.000	0.000	0.007	0.000	0.033	0.854	0.079	0.013	0.000	0.013	0.000
0.000	0.007	0.003	0.003	0.000	0.000	0.949	0.034	0.000	0.003	0.000
0.000	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000	0.008	0.976	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.013	0.973	0.000	0.000
0.000	0.042	0.042	0.000	0.000	0.000	0.042	0.042	0.000	0.833	0.000
0.193	0.179	0.091	0.063	0.007	0.014	0.049	0.081	0.010	0.007	0.305

Cadeia ergodica

Alfa(Z\*\*M)= 11

M= 100

Identificacao de subclasses fechadas:

Classe Fechada: 1

Elementos: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Periodo= 1

Distribuicao de probabilidade estacionaria (distribuicao limite)

PI( 1 ) = 0.0208  
PI( 2 ) = 0.3122  
PI( 3 ) = 0.3794  
PI( 4 ) = 0.0022  
PI( 5 ) = 0.0002  
PI( 6 ) = 0.0002  
PI( 7 ) = 0.0447  
PI( 8 ) = 0.2350  
PI( 9 ) = 0.0019  
PI( 10 ) = 0.0014  
PI( 11 ) = 0.0018

Tempos medios de recorrencia:

Estado	Tempo
1	48.10444
2	3.202832
3	2.635402
4	448.8064
5	4954.366
6	4653.611
7	22.3564
8	4.25492
9	526.1169
10	696.676
11	553.5117

MODULO 1 - Verificacao de ergodicidade de Cadeias de Markov, classificacao de estados, calculo da distribuicao de probabilidade estacionaria, transformacao da matriz de transicao na forma canonica, calculo dos tempos medios de absorcao, dos tempos medios de recorrência e das probabilidades de absorcao.

Espaco de estados:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Matriz de transicao:

1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.002	0.000	0.000	0.991	0.000	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.974	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
0.188	0.038	0.051	0.097	0.008	0.020	0.025	0.014	0.007	0.002	0.550	0.000

Cadeia nao ergodica

Alfa(Z\*\*M) = 0

M= 100

Identificacao de subclasses fechadas:

Classe Fechada: 1  
Elementos: 1  
Periodo= 1

Classe Fechada: 2  
Elementos: 8  
Periodo= 1

Classe Fechada: 3  
Elementos: 2  
Periodo= 1

Classe Fechada: 4  
Elementos: 3  
Periodo= 1

Classe Fechada: 5  
Elementos: 5  
Periodo= 1

Classe Fechada: 6  
Elementos: 6  
Periodo= 1

Classe Fechada: 7  
Elementos: 7  
Periodo= 1

Classe Fechada: 8  
Elementos: 10  
Periodo= 1

Classe de estados transientes: 4 9 11

Matriz de transicao na forma canonica:

Ordem dos estados: 1 8 2 3 5 6 7 10 4 9 11

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0022	0.0045	0.0000	0.9910	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0256	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9744	0.0000	0.0000
0.1880	0.0142	0.0376	0.0510	0.0084	0.0201	0.0251	0.0017	0.0969	0.0067	0.5505	0.0000



Probabilidades de absorcao e tempos medios de absorcao:

Estado transiente: 4

Tempo medio de absorcao= 111.1111

Probabilidade de absorcao pela classe fechada	1	=	0.2444
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	2	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	3	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	4	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	5	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	6	=	0.2444
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	7	=	0.5000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	8	=	0.0000

Estado transiente: 9

Tempo medio de absorcao= 39.06248

Probabilidade de absorcao pela classe fechada	1	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	2	=	1.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	3	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	4	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	5	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	6	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	7	=	0.0000
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	8	=	0.0000

Estado transiente: 11

Tempo medio de absorcao= 26.75947

Probabilidade de absorcao pela classe fechada	1	=	0.4709
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	2	=	0.0465
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	3	=	0.0836
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	4	=	0.1135
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	5	=	0.0187
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	6	=	0.0974
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	7	=	0.1636
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	8	=	0.0038

MODULO 1 - Verificacao de ergodicidade de Cadeias de Markov, classificacao de estados, calculo da distribuicao de probabilidade estacionaria transformacao da matriz de transicao na forma canonica, calculo dos tempos medios de absorcao, dos tempos medios de recorrência e das probabilidades de absorcao.

Espaco de estados:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Matriz de transicao:

1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
0.004	0.002	0.004	0.044	0.007	0.008	0.011	0.002	0.004	0.000	0.914	0.000

Cadeia nao ergodica

Alfa(Z\*\*M) = 0

M= 100

Identificacao de subclasses fechadas:

Classe Fechada: 1  
Elementos: 1  
Periodo= 1

Classe Fechada: 2  
Elementos: 2  
Periodo= 1

Classe Fechada: 3  
Elementos: 3  
Periodo= 1



Classe Fechada: 4  
Elementos: 4  
Periodo= 1

Classe Fechada: 5  
Elementos: 5  
Periodo= 1

Classe Fechada: 6  
Elementos: 6  
Periodo= 1

Classe Fechada: 7  
Elementos: 7  
Periodo= 1

Classe Fechada: 8  
Elementos: 8  
Periodo= 1

Classe Fechada: 9  
Elementos: 9  
Periodo= 1

Classe Fechada: 10  
Elementos: 10  
Periodo= 1

Classe de estados transientes: 11

Matriz de transicao na forma canonica:

Ordem dos estados:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
0.0036	0.0018	0.0036	0.0444	0.0067	0.0081	0.0112	0.0022	0.0036	0.0004	0.9143	

Probabilidades de absorcao e tempos medios de absorcao:

Estado transiente: 11

Tempo medio de absorcao= 11.66861

Probabilidade de absorcao pela classe fechada	1	=	0.0420
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	2	=	0.0210
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	3	=	0.0420
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	4	=	0.5181
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	5	=	0.0782
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	6	=	0.0945
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	7	=	0.1307
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	8	=	0.0257
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	9	=	0.0420
Probabilidade de absorcao pela classe fechada	10	=	0.0047











0,3548	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1613	0,0000
0,0000	0,1333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1333
0,0000	0,0000	0,2105	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2857	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0909	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2653	0,0000	0,0000	0,0000







0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0333	0,0000	0,0000
0,0902	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1278	0,0000
0,0000	0,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0952	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0909	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2449	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

























0,0000	0,0968	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0323
0,0000	0,0000	0,3667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,2406	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1905	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1818	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7143	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1429	0,0000	0,0000







0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0333	0,0000
0,0000	0,0451	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0150
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0909	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0667	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0612	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000











0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2121	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,2000	0,0000	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,2500	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0816