

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



DISSERTAÇÃO

O Lugar dos Pobres na Cidade:

Crescimento urbano e localização da baixa renda vista através da modelagem por agentes

Alexandre Pereira Santos

Pelotas, 2015

ALEXANDRE PEREIRA SANTOS

O LUGAR DOS POBRES NA CIDADE:

Crescimento urbano e localização da baixa renda vista através da modelagem por agentes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Linha de Pesquisa: **Urbanismo Contemporâneo**

Orientador: **Maurício Couto Polidori, Dr.**

Pelotas, abril de 2015

Dados Internacionais de Publicação (CIP)

S2373L Santos, Alexandre Pereira

O Lugar dos pobres na cidade: crescimento urbano e localização da baixa renda vista através da modelagem por agentes / Alexandre Pereira Santos; Maurício Couto Polidori, orientador. - Pelotas, 2015.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2015.

1. Crescimento Urbano. 2. Modelagem Urbana. 3. Modelos Baseados em Agentes. 4. Pobreza. 5. Periferia Urbana. I. Polidori, Maurício Couto, orientador. II. Título.

CDD: 711.4

Catálogo na Fonte: Jussara Pereira Santos, CRB-10/9

Criação da plataforma CityCell: Marcus Vinícius Pereira Saraiva e Maurício Couto Polidori, 2013.
Programação da regra deste modelo na plataforma: Marcus Vinícius Pereira Saraiva, 2015.

Dissertação aprovada no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Banca realizada em 09 de abril de 2015 na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/UFPEL.

Orientador:

Prof. Maurício Couto Polidori

Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

Banca examinadora:

Profa. Joana Xavier Barros

PhD em Planning Studies, Center for Advanced Spatial Analysis – University College London, 2004.

Profa. Flávia da Fonseca Feitosa

PhD em Geografia, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2010.

Profa. Ana Paula Neto de Faria

Doutora em Planejamento Urbano e Regional, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Maurício Couto Polidori, pelo guia que foi e referência que é.
Ao prof. Otávio Martins Peres, por me ajudar a chegar ao PROGRAU.
Ao grande Marcus Vinícius Pereira Saraiva, por apoiar a minha partida.
Aos meus colegas do LabUrb, pela companhia na caminhada.
Aos professores do PROGRAU/UFPeI e PROPUR/UFRGS, por dizer e por escutar.

A todos meus colegas e amigos, de Porto Alegre a Pelotas, por instigar a jornada.

À minha família, por sempre acreditar e por estar lá sempre que precisei.

À Karine, sempre.

RESUMO

SANTOS, Alexandre Pereira. **O Lugar dos Pobres na Cidade:** crescimento urbano e localização da baixa renda vista através da modelagem por agentes. 2015. 211f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Este trabalho propõe um modelo baseado em agentes em ambiente celular para a simulação de dinâmicas de crescimento urbano associadas a processos sociais de ocupação da forma urbana, especialmente vinculados à pobreza. A investigação é constituída por simulações computacionais a partir de base teórica do desenvolvimento desigual, da produção do espaço capitalista, das teorias da complexidade aplicadas à urbanização e da aplicação de modelos computacionais dinâmicos para o crescimento urbano. A investigação avança na simulação das cidades com apoio nas técnicas de autômatos celulares e de modelos baseados em agentes, visando integrar processos sociais explícitos de escolha locacional a dinâmicas de crescimento urbano auto-organizadas localmente. O modelo foi implementado em experimentos empíricos de simulação de crescimento urbano através de atributos urbanos e naturais, sobre a qual é realizada a alocação de populações de agentes autônomos e portadores de características variadas. Nestes experimentos, a pesquisa propõe a avaliação de cenários em que entidades sociais explícitas e diversas interagem entre si e com o ambiente para ocupar padrões de forma urbana e potencialmente entrar em conflito. Os resultados são padrões de distribuição das populações e dos conflitos que demonstram uma presença durável de conflito na apropriação social da forma construída, apontando a contribuições nas reflexões sobre o papel da sociedade e da forma da cidade através das simulações urbanas, assim como sugere a ampliação das capacidades dos modelos de crescimento urbano com a inclusão de leituras particularizadas do ambiente modelado.

Palavras-chave: Crescimento Urbano. Modelagem Urbana. Autômatos Celulares. Modelos Baseados em Agentes. Pobreza.

ABSTRACT

This work presents an agent based – cellular environment model for urban growth and social processes simulation, focused specially on poverty location dynamics. The research is conducted through computer simulations based on unequal development theory, the capitalist production of space, complexity theories on urbanization and computer urban growth dynamic modelling. It advances urban dynamic simulation through cellular automata and agent based modelling, while integrating explicit social location choice modelling with local, self-organized urban growth dynamics. The model is implemented on experimental exercises on urban growth based on urban and natural environment attributes on which the autonomous agent population allocation takes place. It also proposes the appraisal of four scenarios in which explicit and heterogeneous social entities interact between themselves and with the environment to settle urban form patterns and to potentially engage in conflict. The model results on population allocation and conflict patterns which demonstrate an enduring existence of conflict in city form social appropriation in capitalist-determined urban development processes, pointing to contributions on social and city form roles in urban simulations, while suggesting an improvement in urban growth modelling capacities through the specification of particular observations on the modelled environment.

Keywords: Urban Growth. Urban Modelling. Cellular Automata. Agent-Based Models. Poverty.

LISTA DE FIGURAS

P.

Figura 2.1 - Modelo de Chicago, segundo Burgess e seu inverso, segundo Bógus e Taschner	34
Figura 2.2 - Modelo da evolução da estrutura urbana das cidades latino-americanas: da cidade colonial compacta, a cidade setorial, para a cidade polarizada e, finalmente, para a aglomeração fragmentada contemporânea	35
Figura 2.3 – Exemplos de aplicações dos modelos desenvolvidos no ambiente CityCell: a) <i>Threshold Reload</i> ; b) <i>WaterLand Factor</i> ; c) <i>Periburban Growth</i> ; todos para Pelotas/RS e d) <i>Environmental Accessibility</i> , aplicado a Jaguarão/RS	70
Figura 3.1 - modelo conceitual do modelo baseado em agentes em ambiente celular proposto, incluindo as etapas de sua execução e descrição sumária dos processos e entidades envolvidos	76
Figura 3.2 – Estrutura geral do modelo, demonstrando as dimensões principais do modelo e suas vinculações	78
Figura 3.3 – Encadeamento geral do modelo, incluindo inicialização e etapas de cada iteração	79
Figura 3.4 – Encadeamento dos processos e submodelos	80
Figura 3.5 – Processos e variáveis de estado	85
Figura 3.6 – Estrutura geral do modelo, integrando Atributos Urbanos, Naturais e Institucionais em Ambiente sobre o qual são locados os Agentes, representando grupos de famílias	90
Figura 3.7 – Exemplos de atributos do ambiente do CityCell para Torres/RS: a) atributos urbanos (*estradas e área urbanizada); b) atributos naturais (águas superficiais); e c) atributos institucionais (áreas de proteção ambiental)	92
Figura 3.8 – Diagrama de desagregação da população do modelo	93
Figura 3.9 – Parâmetros dos Agentes e Atributos do Ambiente	95
Figura 3.10 - Exemplos de dados de entrada do modelo para Jaguarão/RS: a) atributo urbano: área efetivamente urbanizada em 1947; b) atributo natural: bacias hidrográficas (valores escuros são fundos de vale e claros divisores de água); c) atributo institucional: macrozoneamento do Plano Diretor do município	97
Figura 3.11 - Composição da Matriz de Oportunidade a partir dos Atributos e da Acessibilidade Relativa para três Agentes	107
Figura 3.12 - Modelagem como processo contínuo	114
Figura 3.13 - Inputs do teste de sensibilidade de crescimento urbano: atributos do ambiente e Classe de Agentes	114
Figura 3.14 - Resultados da simulação de crescimento: a) crescimento urbano; b) crescimento com resistências; e c) crescimento com resistências e impedância local	115
Figura 3.15 - Inputs do teste de crescimento populacional: a) Atributos do ambiente; b) Agentes	116

Figura 3.16 - Resultados do crescimento populacional: a) Agentes com taxa de crescimento igual; b) Agentes com taxa crescente; e c) Agentes com taxa decrescente	117
Figura 3.17 - Inputs do teste de Competição: a) Atributos; b) Agentes	118
Figura 3.18 - Resultados do teste de Competição: a) populações e Oportunidades iguais e Copresença segundo input; b) populações crescentes, Oportunidades iguais e Copresença segundo input; c) populações crescentes, Oportunidades iguais, Copresença segundo input e força desigual; e d) todos querem Acessibilidade	119
Figura 3.19 - Inputs do teste de Tomada de Decisão: a) Atributos; b) Agentes	120
Figura 3.20 - Resultados da simulação de Tomada de Decisão: a) cenário de dois polos; b) cenário de 25 pontos	121
Figura 3.21 - Resultados da calibração da Oportunidade na iteração 10 para cada agente: a) cenário de 1-81; b) cenário 1-9; e c) cenário 1-3	122
Figura 3.22 - Resultados da Alocação de Agentes na iteração 20 para cada agente: a) cenário com um Agente; b) cenário com dois Agentes e Oportunidades iguais; e c) cenário com dois Agentes e Oportunidades variadas	124
Figura 3.23 - Resultados da Alocação de Atributos na iteração 20 para cada Agente: a) cenário com oportunidades iguais; b) cenário com crescimento e oportunidade da Acessibilidade variados; e c) cenário com crescimento igual e oportunidades diferentes	125
Figura 4.1 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Bagé	132
Figura 4.2 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Pelotas	133
Figura 4.3 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Arroio Grande	133
Figura 4.4 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Canguçu	133
Figura 4.5 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em São Lourenço do Sul	134
Figura 4.6 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Jaguarão	134
Figura 4.7 - Localização do município: a) no Brasil com destaque para Rio Grande do Sul e Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Sul; e b) na região austral do RS, junto à fronteira com o Uruguai, mostrando o município com destaque para as conexões viárias	136
Figura 4.8 - Áreas efetivamente urbanizadas de Jaguarão/RS: composição da AEU de 2000 (laranja) e AEU de 2010 (amarelo) reamostradas para células de 200m sobre imagem Quickbird de 2009	138
Figura 4.9 - Polos de expansão observados e seleção do zoneamento de Jaguarão com destaque para zonas de preservação, de habitação de interesse social (ZEIS) e Zona Residencial 1	140
Figura 4.10 - Área do exercício: a) imagem de satélite do entorno estendido da área urbana de Jaguarão/RS em 2010 com <i>grid</i> celular superposto a imagem, células de 200m; e, b) detalhe da área de estudo utilizado para representações	141
Figura 4.11 - Atributos de input no modelo: a) AEU 2010; b) fragmento do município de Rio Branco (UY); c) estradas; d) uso do solo residencial; e) uso do solo não residencial; f) uso do solo vazios urbanos; g) rio Jaguarão; h) bacias hidrográficas; i) declividade; j) camada aleatória	144

Figura 4.12 - População das Classes de Agentes do modelo: a) baixa renda; b) renda média; e c) alta renda	145
Figura 4.13 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário de Controle para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População Dissonante para as Classes	151
Figura 4.14 - Resultados do ambiente na simulação do Cenário de Controle: a) Tipo da Célula; b) Acessibilidade Relativa; c) Resistências Naturais; d) estado final da urbanização, em relação a AEU de 2010, sua borda e a região central	152
Figura 4.15 - Resultados da população na simulação do Cenário de Controle: a) Oportunidade Relativa, Baixa; b) Oportunidade Relativa, Média; c) Oportunidade Relativa, Alta; d) População Baixa; e) População Média; f) População Alta	153
Figura 4.16 - Destaques dos resultados da simulação do Cenário de Controle: a) tipo da célula sobreposto à AEU de 2010; b) Acessibilidade Relativa sobre base Quickbird	154
Figura 4.17 - Detalhamento do Competição no Cenário de Controle para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Média – Alta; d) Conflito Média – Baixa	156
Figura 4.18 - Detalhamento da População Dissonante no Cenário de Controle para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Classe Baixa; b) Classe Média; e c) Classe Alta	157
Figura 4.19 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Tendencial para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes	160
Figura 4.20 - Resultados do ambiente na simulação do Cenário Tendencial: a) tipo da célula; b) acessibilidade relativa; c) resistências ambientais; d) estado final da urbanização, em relação a AEU de 2010, sua borda e a região central	161
Figura 4.21 - Resultados da população na simulação do Cenário Tendencial: a) Oportunidade Relativa Classe Baixa; b) Oport. Relativa Classe Média; c) Oportunidade Relativa Classe Alta d) população Baixa; e) população Média; f) população Alta	162
Figura 4.22 - Detalhamento do Competição no Cenário Tendencial para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Baixa – Alta; d) Conflito Média – Baixa	164
Figura 4.23 - Detalhamento da População Dissonante no Cenário Tendencial para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Classe Baixa; b) Classe Média; e c) Classe Alta	164
Figura 4.24 - Resultados do Ambiente da simulação do Cenário Exploratório 1 (comuns aos cenários 1.1 e 1.2): a) tipo da célula; b) acessibilidade relativa; c) Resistências Naturais; d) estado final da urbanização, em relação a AEU de 2010, sua borda e a região central	168
Figura 4.25 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Exploratório 1.1 para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes	169
Figura 4.26 - Resultados da população da simulação do Cenário Exploratório 1.1: a) oportunidade relativa classe baixa; b) oportunidade relativa classe média; c) oportunidade relativa classe alta d) população baixa; e) população média; f) população alta	170

Figura 4.27 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Exploratório 1.2 para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes	171
Figura 4.28 - Resultados Da População Da Simulação Do Cenário Exploratório 1.2: A) Oportunidade Relativa Classe Baixa; B) Oport. Relativa Classe Média; C) Oportunidade Relativa Classe Alta D) População Baixa; E) População Média; F) População Alta	172
Figura 4.29 - Detalhamento População Dissonante Cen. Exploratório 1 para Classes: a) Classe Baixa, Cen. 1.1; b) Classe Média, Cen. 1.1; c) Classe Alta, Cen. 1.1; d) Classe Baixa, Cen. 1.2; e) Classe Média, Cen. 1.2; f) Classe Alta, Cen. 1.2	173
Figura 4.30 - Detalhamento do Competição no Cenário Exploratório 1 para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração, Cen. 1.1; b) Conflito Baixa – Média, Cen. 1.1; c) Conflito Média – Alta, Cen. 1.1; d) Conflito Média – Baixa, Cen. 1.1; e) Conflito total para a iteração, Cen. 1.2; f) Conflito Baixa – Média, Cen. 1.2; g) Conflito Média – Baixa, Cen. 1.2; h) Conflito Alta – Média, Cen. 1.2	175
Figura 4.31 - Inputs específicos do Cenário Exploratório 2: a) máscara de indução; b) afastamento a estradas; e c) afastamento a linhas de drenagem	177
Figura 4.32 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Exploratório 2 para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes	179
Figura 4.33 - Resultados do ambiente da simulação do Cenário Exploratório 2: a) tipo da célula; b) acessibilidade relativa; c) Resistências Naturais	180
Figura 4.34 - Resultados da população da simulação do Cenário Exploratório 2: a) oportunidade relativa classe baixa; b) oportunidade relativa classe média; c) oportunidade relativa classe alta; d) população baixa; e) população média; f) população alta	181
Figura 4.35 - Destaques dos resultados da simulação do Cenário Exploratório 2: a) tipo da célula sobreposto à AEU de 2010; b) Acessibilidade Relativa	182
Figura 4.36 - – Detalhamento do Competição no Cenário Exploratório 2 para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Alta – Média; d) Conflito Média – Baixa	183
Figura 4.37 - Detalhamento da Dissonância no Cenário Exploratório 2 nas iterações selecionadas: a) Classe Baixa; b) Classe Média; e c) Classe Alta	184
Figura 4.38 - Índices de isolamento para os cenários simulados para as áreas urbanas, bordas da urbanização e áreas centrais	186

LISTA DE TABELAS

P.

Tabela 3.1 – Variáveis de estado das Classes de Agentes no modelo	91
Tabela 3.2 – Parâmetros das Classes de Agentes no modelo	91
Tabela 3.3 – Variáveis de estado das células do modelo	92
Tabela 3.4 – Variáveis globais do modelo	94
Tabela 3.5 – <i>Grids</i> do ambiente	94
Tabela 3.6 - Tipos de dados de entrada, indicação de atributos empíricos associados e comportamentos possíveis nas dinâmicas do modelo	97
Tabela 3.7 - Processo de geração de agentes, seus dados de entrada e variáveis de estado alteradas	98
Tabela 3.8 - Aplicação de Fatores Aleatórios a um parâmetro de Classe com valor hipotético de 1 e as faixas de valores correspondentes para os parâmetros finais dos Agentes	99
Tabela 3.9 - Processo de crescimento urbano, dados de entrada e variáveis de estado	100
Tabela 3.10 - Submodelo de crescimento da população de agentes, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	103
Tabela 3.11 - Submodelo de competição entre agentes, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	104
Tabela 3.12 - - Matriz de Copresença entre Classes de Agentes hipotéticas <i>c</i> , <i>d</i> e <i>e</i>	105
Tabela 3.13 - Submodelo de Tomada de Decisão, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	106
Tabela 3.14 - Submodelo de alocação dos agentes, dados de entrada e variáveis de estado alteradas.	110
Tabela 3.15 - Submodelo de alocação dos atributos urbanos, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	111
Tabela 3.16 - Variáveis de estado alteradas pelo modelo reproduzidas nos outputs	112
Tabela 3.17 - Variáveis de estado dos Agentes agregadas em suas Classes	113
Tabela 4.1 - Dados básicos sobre os municípios da amostra	128
Tabela 4.2 - Posição geográfica, dados populacionais e limites do município de Jaguarão/RS	136
Tabela 4.3 - Alterações populacionais no período 2000-2010 para Jaguarão/RS	137
Tabela 4.4 - Alterações no número de domicílios e área efetivamente urbanizada no período 2000-2010 para Jaguarão/RS	138
Tabela 4.5 - Variação no decênio 2000-2010 da área urbanizada e população para Jaguarão/RS. Destaque para a taxa de crescimento anual dos domicílios urbanos e área efetivamente urbanizada	140

Tabela 4.6 - Síntese da população do modelo, incluindo estratificação por faixas de renda do responsável pelo domicílio	145
Tabela 4.7 - Resultados selecionados do estudo exploratório para parametrização dos perfis socioeconômicos em relação a atributos do ambiente do modelo	146
Tabela 4.8 - Índices de isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes no input	148
Tabela 4.9 - Parametrização no Cenário de Controle dos Agentes para Inicialização	149
Tabela 4.10 - Parametrização no Cenário de Controle do submodelo de Crescimento Urbano	149
Tabela 4.11 - Parametrização no Cenário de Controle dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano	150
Tabela 4.12 - Parametrização no Cenário de Controle dos Agentes, por Classe	150
Tabela 4.13 - Matriz de copresença no Cenário de Controle entre os Agentes	150
Tabela 4.14 - Índices de isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes no Cenário de Controle	151
Tabela 4.15 - Parametrização no Cenário Tendencial dos Agentes para Inicialização	159
Tabela 4.16 - Parametrização no Cenário Tendencial do submodelo de crescimento urbano	159
Tabela 4.17 - Parametrização no Cenário Tendencial dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano	159
Tabela 4.18 - Parametrização no Cenário Tendencial dos Agentes, por Classe	159
Tabela 4.19 - Matriz de copresença no Cenário Tendencial entre os Agentes	159
Tabela 4.20 - Índices de isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes no Cenário Tendencial	161
Tabela 4.21 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 dos Agentes para Inicialização	166
Tabela 4.22 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 do submodelo de crescimento urbano	166
Tabela 4.23 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano	166
Tabela 4.24 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 dos Agentes, por Classe	166
Tabela 4.25 - Matriz de Copresença no Cenário Exploratório 1 entre os agentes	167
Tabela 4.26 - Índices no Cenário Exploratório 1.1 para isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes	169
Tabela 4.27 - Índices no Cenário Exploratório 1.2 para isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes	171
Tabela 4.28 - Parametrização no cenário exploratório 2 dos agentes para Inicialização	177

Tabela 4.29 - Parametrização no cenário exploratório 2 do modelo de crescimento urbano	177
Tabela 4.30 - Parametrização no cenário exploratório 2 dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano	177
Tabela 4.31 - Parametrização no cenário exploratório 2 dos Agentes, por Classe	178
Tabela 4.32 - Matriz de copresença no cenário exploratório 2 entre os Agentes	178
Tabela 4.33 - Índices no Cenário Exploratório 2 para isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes	179

LISTA DE EQUAÇÕES

P.

Equação 3.1 - Divisão das classes em agentes	98
Equação 3.2 - Aleatorização dos valores da classe de agentes para subgrupos	99
Equação 3.3 - Acessibilidade celular da célula (x, y)	102
Equação 3.4 - Potencial de urbanização da célula (x, y)	102
Equação 3.5 - Crescimento populacional do Agente i	103
Equação 3.6 - Teste de Copresença do Agente i para o Agente j	105
Equação 3.7 - Teste de Poder entre Agente i e Agente j	105
Equação 3.8 - População expulsa do Agente j na célula (x, y) após ser derrotado pelo Agente i	106
Equação 3.9 - Conflito para a Classe c na célula (x, y)	106
Equação 3.10 - Oportunidade do Agente i na célula (x, y)	108
Equação 3.11 - Oportunidade Absoluta, Oportunidade Relativa na célula (x, y) e Matriz de Oportunidades para o Agente i	108
Equação 3.12 - Teste de Dissonância e População Dissonante do Agente i na célula (x, y)	109
Equação 3.13 - População a ser alocada do Agente i na célula (x, y)	110
Equação 3.14 - Matriz de alocação de atributos da célula x, y	111

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Apresentação do tema e justificativa da pesquisa	18
1.2	Objetivos da pesquisa	21
1.3	Questão da pesquisa e hipótese	22
1.4	Delineamento da pesquisa	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	Crescimento urbano e pobreza nas cidades	27
2.2	Cidade, complexidade e modelos urbanos	43
2.3	Modelos urbanos de autômatos celulares	49
2.4	Modelos baseados em agentes	52
2.5	Crescimento urbano no framework CityCell	69
3	MODELO BASEADO EM AGENTES E AMBIENTE CELULAR	73
3.1	Considerações teóricas e metodológicas sobre o modelo	73
3.2	Apresentação do modelo	74
3.3	Propósito	75
3.4	Modelo conceitual	76
3.5	Visão geral dos processos e encadeamento	78
3.6	Conceitos do modelo	86
3.7	Entidades, variáveis de estado e escalas	89
3.8	Inicialização	94
3.9	Dados de entrada	96
3.10	Submodelos	97
3.11	Obtenção de resultados	112
3.12	Verificação	113
4	EXPERIMENTOS EMPÍRICOS	127
4.1	Experimento empírico de localização de baixa renda para cidades da fronteira do Rio Grande do Sul	127
4.2	Experimento empírico para Jaguarão	135
4.3	Comparação dos resultados e observações sobre os experimentos	184
5	CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E CONTINUIDADES	187
5.1	Considerações quanto às questões e objetivos de pesquisa	187
5.2	Aspectos teóricos	189

5.3	Aspectos empíricos	191
5.4	Aspectos metodológicos	193
5.5	Considerações finais	196
REFERÊNCIAS		199
APÊNDICES		213
Apêndice A – Fluxograma geral do modelo		217
Apêndice B – Experimentos abstratos		221
Apêndice C – Experimentos empíricos		279
Apêndice D – Glossário de variáveis e parâmetros		309

1 INTRODUÇÃO

A investigação das dinâmicas urbanas tem demonstrado ser um importante apoio na melhoria da qualidade de vida na contemporaneidade. A modelagem urbana dedicada a estas questões provê “[...] intuição afiada, especulação informada e adivinhação embasada.”¹ (COUCLELIS, 1997) para diversos atores urbanos, como cidadãos, gestores urbanos, grupos de trabalho públicos, *think-tanks* privados, associações de bairro e agentes políticos e econômicos. Em um processo democrático e informado de construção das cidades os modelos de simulação urbana podem prover *insights* importantes, revelar tendências de difícil dedução com análises tradicionais, além de facilitar a comunicação e visualização dos efeitos das intervenções antes de serem realizadas de fato (BATTY, 2007a).

A ampliação das capacidades dos simuladores impacta diretamente a competência de descrição e análise da realidade, contribuindo para o diálogo embasado em problemas que são enfrentados e que impactam a vida dos habitantes urbanos como a expansão das cidades, as questões ambientais, padrões de urbanização e a sustentabilidade. Entende-se que o debate sobre as dinâmicas urbanas deve sair dos tratamentos niilistas e evoluir a uma condição democrática de diálogo sobre argumentos concretos e opiniões qualificadas em que as decisões sejam compromissos melhor fundamentados e mais duradouros. Conforme aponta Epstein (2008, parágr. 1.7) “[...] ao revelar as compensações, incertezas e sensibilidades, modelos podem disciplinar o diálogo sobre as opções e tornar julgamentos inevitáveis mais ponderados.”²

Percebe-se que o papel do urbanismo contemporâneo tem sido o de mediador de interesses sociais com progressivo abandono do seu papel normativo centralizado (BATTY, 2007a; WATSON, 2009). Nesse contexto, o compartilhamento da informação e o engajamento com a realidade que a modelagem dinâmica provê têm se provado aliados importantes para a mediação, concertação e diálogo informado.

A pesquisa apresentada a seguir parte desta compreensão do papel da investigação em Arquitetura e Urbanismo para propor, no curso de Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (PROGRAU/UFPel), a representação da população de forma explícita em ambiente de modelagem de crescimento urbano. Intenta contribuir na área das simulações de base

¹ No original: “[...] sharpened intuition, informed speculation and educated guess.”

² No original: “[...] by revealing tradeoffs, uncertainties, and sensitivities, models can discipline the dialogue about options and make unavoidable judgments more considered.”

morfológica com a sua aproximação a modelos de comportamento social³ através da inclusão de processos de tomada de decisão de forma explícita.

Deste modo, a investigação se volta para o papel da pobreza nas dinâmicas de produção e ocupação da cidade, apoiada na simulação computacional. Assim, se reflete metodologicamente na implantação de modelo de simulação computacional de crescimento urbano e ocupação da forma urbana por agentes autônomos que representam grupos sociais em interação e disputa.

Sua implementação é realizada em um modelo experimental que parte do conceito de modelagem como ferramenta para pensar a realidade (EPSTEIN, 2008), não tendo pretensões de realizar previsão de comportamentos futuros. Da mesma forma, não busca representar fenômenos conhecidos, mas observar a realidade através da modelagem. A pesquisa propõe o estudo das dinâmicas de interação espacial com a localização de pobreza nas cidades a partir da teoria do desenvolvimento desigual e do entendimento das cidades enquanto sistemas e processos complexos em que a aplicação de modelos urbanos dinâmicos auxilia a compreender a formação auto-organizada de padrões de baixa renda nas periferias durante o crescimento das cidades. Para tanto, o modelo computacional de simulação dinâmico é implantado com o uso de técnicas de agentes em ambiente celular.

Este modelo foi desenvolvido como ampliação e continuidade de pesquisas anteriores, demonstrando avanço na plataforma CityCell (SARAIVA; POLIDORI, 2013) e modelos construídos desde o Simulador de Ambiente de Cidade (SACI), desenvolvido por Polidori (2004). O modelo foi programado por Marcus P. Saraiva em Embarcadero Delphi na plataforma CityCell 4.2 – Curupira, sendo otimizado para sistemas de 64 bits.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

As cidades são instrumento de suporte para as sociedades humanas há milênios e considera-se que desde 2008 a humanidade pertence majoritariamente a uma civilização urbana (UN-HABITAT, 2008). As formas de organização social se baseiam nas cidades para seu desenvolvimento e se articulam com elas a tal ponto que passam a ter nas cidades o principal suporte para a sobrevivência dos seus modos de vida (PORTUGALI, 1996). Uma ciência das cidades, no entanto, dá apenas seus primeiros passos a partir da consolidação de um ferramental teórico e metodológico, cujos instrumentos buscam contemplar a riqueza dos

³ Busco aqui vincular a pesquisa a duas tradições, a primeira vem da interação espacial, em que a forma urbana é o foco e ela é vista como um espelho para o comportamento social acumulado no tempo (HILLIER; HANSON, 1984; BATTY, 2005); a segunda vem dos modelos de simulação de comportamento, em que o ambiente é apenas uma das informações a ser processadas e o foco está na apreensão e tomada de decisão individual ou coletiva (GOLLEDGE; TIMMERMANS, 1990; EPSTEIN; AXTELL, 1996; AXELROD, 1997).

processos urbanos e investigar as dinâmicas por trás dos mecanismos que geram os benefícios e contradições da urbanização.

As dinâmicas centro-periferia, neste contexto, evoluem e se modificam rapidamente, demandando avanços tanto nos estudos empíricos, quanto nos métodos para sua avaliação, mensuração e simulação. O olhar qualificado sobre as dinâmicas de expansão urbana, seus padrões morfológicos e processos sociais pode enriquecer a compreensão tanto das parcelas periféricas, quanto das áreas centrais, já que se relacionam interdependentemente. A integração do crescimento urbano interno com sua expansão externa ocorre através de mecanismos de retroalimentação de cunho econômico e social, em que a forma urbana produzida é resultado de ciclos interativos nos quais tanto periferias quanto seus centros têm papel ativo (ABRAMO, 2007; BARROS, 2012), indicando comportamento dinâmico e complexo (PORTUGALI, 2000).

Na academia e no âmbito da gestão das cidades, as periferias urbanas ganharam maior relevância a partir do final do século XX, pois introduziram novas formas de urbanidade e diluíram a massa compacta das cidades tradicionais (KOOLHAAS, 1997). Consolidando um processo de transição iniciado na Revolução Industrial, a cidade se moderniza com a dissolução progressiva da quadra e do tecido urbano (PANERAI et al., 2013) e hoje tem a forma de verdadeiro caleidoscópio de desenvolvimento urbano (ABRAMO, 2007) que se redefine de forma cíclica e contínua, sem consolidar-se, mantendo permanente ímpeto à expansão (BARROS, 2012). O centros modificam-se e se estabelece uma condição periférica: coexistência de opostos com pouca harmonia; alternância entre formas compactas e dispersas; integração pontual com o global e segregação com os adjacentes; densidades que tendem a ser baixas; proximidade da informalidade e da flagrante ilegalidade; e, ocupação de extensões que se aproximam à escala regional (WALKER, 1978; JANOSCHKA, 2004).

Ante a tais processos, propõe-se uma investigação direcionada à aplicação de modelos urbanos ao problema da formação de áreas pobres no crescimento das cidades. Especificamente, busca-se qualificar os modelos em uso atualmente a partir das técnicas de autômatos celulares (AC) e dos modelos baseados em agentes (ABM⁴). Neste sentido, a pesquisa se apoia em trabalhos que têm se dedicado a investigar a simulação de sistemas urbanos com ênfase nos processos de interação social a eles vinculados (PORTUGALI et al., 1994; FEITOSA et al., 2012; PATEL et al., 2012a). Da mesma forma, segue abordagens renovadas em temas centrais às ciências sociais, que têm trazido à modelagem e à simulação os processos sociais atuantes sobre o ambiente urbano, assim como sobre o ambiente natural (POLIDORI, 2004; AN, 2012). A pesquisa é constituída com apoio nas seguintes temáticas: a)

⁴ De Agent Based Models, em inglês.

do desenvolvimento desigual em cidades compreendidas como vinculadas a processos capitalistas (HARVEY, 1978); b) da produção do espaço e estabelecimento de uma condição periférica nas cidades contemporâneas (ABRAMO, 2007; BARROS, 2012); c) das visões sistêmicas sobre a realidade urbana, especialmente da geosimulação dentro das teorias da complexidade (PORTUGALI, 2000; BATTY, 2005); d) dos processos de associação de agentes autônomos a dinâmicas e atributos do ambiente urbano (BENENSON, 2004; BATTY, 2005); e e) da aplicação de modelos dinâmicos de crescimento urbano de base celular combinados a agentes (SUDHIRA, 2004; HEPPENSTALL et al., 2012).

O trabalho de investigação voltou-se a estes temas e visa aproximá-los teórica e metodologicamente. A partir de abordagem experimental sobre o comportamento de processos sociais combinados a dinâmicas dos sistemas naturais e dos sistemas urbanos, procura explorar cada campo disciplinar e criar conexões entre eles. A inserção da representação da ação humana de forma explícita em modelo de simulação de crescimento tenta responder à necessidade percebida de qualificação das relações causais envolvidas no desenvolvimento urbano, demonstrando com maior clareza efeitos diversos sobre populações de classes diferentes.

Quanto à inserção na área de concentração Arquitetura, Patrimônio e Sistemas Urbanos e na linha de pesquisa de Urbanismo Contemporâneo do PROGRAU/UFPel, a proposta pode ter sua relevância considerada ao articular objetos usualmente investigados em campos distintos, avançando teórica e metodologicamente na pesquisa dos processos de produção da forma da cidade de modo associado à segregação e pobreza urbanas.

No que se refere à pertinência na temática da modelagem e simulação de interação espacial, a investigação procurou inserir-se como complementação às pesquisas realizadas, especialmente àquelas ligadas à expansão urbana, formação das bordas da cidade, fragmentação da forma urbana e diferenciação dos tipos de ocupação. Especificamente quanto aos modelos já desenvolvidos, a proposta almejou articular os ABM à modelagem de crescimento urbano em ambientes celulares, inserindo tema que recebe crescente atenção internacional às investigações locais e proporcionando maior flexibilidade e ampliação das capacidades de modelagem das pesquisas desenvolvidas.

De forma geral, acredita-se que o tema apresenta relevância ao trazer para o escopo das atividades do planejamento urbano e regional medidas mais desagregadas e com possibilidades de determinação não homogênea dos processos de desenvolvimento desigual das cidades. Entende-se que a pesquisa pode ser considerada relevante ao investigar a decisão locacional das populações urbanas e os processos de conflito pela oportunidades associadas a esta decisão em simulação de crescimento urbano.

Ademais, pesquisas do tipo poderiam ser consideradas prioritárias num país marcado pela exclusão socioterritorial como é o Brasil. Ainda mais, percebe-se que as cidades brasileiras enfrentam desafios de grande escala e complexidade. Não somente nas regiões metropolitanas mas, também, nas cidades pequenas e médias, a resposta aos efeitos das dinâmicas econômicas e sociais no espaço urbano tem possibilidade de se dar de forma mais inteligente, precisa e sistêmica. A investigação de processos morfológicos associados a processos sociais explícitos pode oportunizar estes avanços, além de auxiliar a melhor destinar recursos e esforços públicos e privados para a construção de cidades mais justas, mais eficientes e sustentáveis para as gerações futuras.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Ante as reflexões levantadas, podem-se elaborar os objetivos da investigação.

1.2.1 Geral

Investigar o processo de localização de populações pobres nas cidades e suas associações ao crescimento urbano através de modelo baseado em agentes em ambiente celular.

1.2.2 Específicos

- a) investigar os principais fenômenos associados à localização da pobreza, como diferenciação locacional, graduação de oportunidades espaciais e vinculação com fatores ambientais que impactem a ocupação da cidades por classes socioeconômicas diferentes;
- b) verificar a vinculação de perfis de agentes baseados em classes socioeconômicas na escolha locacional a partir de atributos da forma urbana e do ambiente natural, combinando dinamicamente a tomada de decisão com as alterações percebidas do ambiente;
- c) identificar lógicas de comportamento de agentes autônomos para simular os comportamentos empíricos relacionados nos itens anteriores considerando possibilidades de competição e conflito decorrentes de suas decisões, vinculando a localização à tomada de decisão e conflito;
- d) fornecer contribuições aos modelos implementados na plataforma CityCell a partir da técnica dos modelos baseados em agentes.

1.3 QUESTÃO DA PESQUISA E HIPÓTESE

A partir dos objetivos expostos e considerando as possibilidades de investigar a localização de populações de classes socioeconômicas diferentes em processos de crescimento urbano, formula-se a questão de pesquisa:

Como integrar a tomada de decisão sobre ocupação de áreas urbanas e o conflito à simulação de crescimento das cidades, considerando os perfis socioeconômicos de baixa, média e alta renda?

Para abordar esta questão, apresenta-se a seguinte hipótese:

Pode-se associar a ocupação da forma urbana por perfis socioeconômicos diferentes à modelagem do crescimento urbano através de técnicas de agentes para a representação de entidades sociais heterogêneas em processos de tomada de decisão, considerando as relações conflituosas entre estas entidades e sua associação aos atributos do ambiente urbano.

É possível compor, assim, método de investigação experimental que integre a explicitação de ações do âmbito social com a base ambiental das cidades, incluindo aspectos naturais e antrópicos, assim como suas interinfluências dentro de visão sistêmica sobre os fenômenos urbanos. Também se oportuniza a especulação sobre os processos sociais responsáveis pela localização da pobreza na ocupação da forma urbana e pelo conflito entre classes socioeconômicas, bem como a investigação da sua associação às dinâmicas morfológicas de expansão e valorização das cidades.

Podem, ainda, ser constituídas perguntas auxiliares:

- a) do ponto de vista empírico, como se dão os processos socioeconômicos contemporâneos de produção e disputa da urbanização responsáveis pela constituição de áreas pobres nas cidades brasileiras?
- b) do ponto de vista teórico, como se articula a pobreza com as dinâmicas de crescimento urbano interno e externo, desigualdade de desenvolvimento geográfico, disputa pela urbanização e impacto nos sistemas naturais sob perspectiva da complexidade?
- c) do ponto de vista do método, como simular a localização de classes socioeconômicas por tomada de decisão e conflito durante o crescimento urbano, considerando possibilidades de AC e ABM integrados?

1.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Uma vez colocadas as perguntas de pesquisa e para atender aos objetivos definidos, verifica-se a necessidade de compor uma revisão bibliográfica sobre os temas da pobreza, desenvolvimento e crescimento urbano, periferização, complexidade e uso de modelos dinâmicos de base celular e baseados em agentes.

Sugere-se aproximação a partir das áreas:

- a) da cidade enquanto processo capitalista, especialmente as contradições do capitalismo como motores dos processos de diferenciação espacial contidos na teoria do desenvolvimento desigual (SOJA, 1980; HARVEY, 1989; LEFEBVRE, 1991), relacionando estas à dispersão e à fragmentação no processo de expansão das cidades (CHIN, 2002; REIS, 2006; LEE, 2007) e sua interação com o ambiente natural em que se insere (ALBERTI et al., 2003; POLIDORI, 2004; MARZLUFF et al., 2008; OJIMA; HOGAN, 2009), especialmente através da descrição dos processos de segregação social e espacial que levam à formação de áreas pobres nas periferias (WALKER, 1978; DAVIS, 2006a; PATEL, 2007);
- b) da integração das desigualdades em escala mundial à escala local das cidades (SASSEN, 1999; UN-HABITAT, 2003; DAVIS, 2006a; PATEL, 2007), especialmente no que se refere à produção do espaço urbano (HARVEY, 1978, 2006; WHEATON, 1982; LOGAN; MOLOTCH, 1993); considerando a realidade latino-americana (GILBERT, 1987; COHEN, 2004; BARROS, 2012; UN-HABITAT, 2012a) e brasileira (RIBEIRO; LAGO, 1991; BÓGUS; TASCHNER, 1999; RIBEIRO, 2011; VILLAÇA, 2011);
- c) da segregação (BÓGUS; TASCHNER, 1999; UN-HABITAT, 2010; FEITOSA et al., 2012) e formação de áreas de pobreza (ABRAMO, 2001, 2007; BARROS, 2012) como mecanismos centrais na ocupação do espaço urbano, relacionados a estado de disputa constante (LEFEBVRE, 1991) e exercício de poder sobre o espaço (LAGO, 2011);
- d) da cidade enquanto sistema, considerando sua construção na forma de processos complexos em que ações simples de numerosos agentes sociais que se expressam na forma urbana na emergência auto-organizada de padrões estruturais e de comportamento (EPSTEIN; AXTELL, 1996; ALLEN, 1997; PORTUGALI, 2000; BATTY, 2012) e do uso dos modelos urbanos (LEE JR, 1973; ANAS, 1978; ECHENIQUE, 1995), especialmente os dinâmicos e

baseados em entidades geográficas (BUZAI, 1999; BENENSON; TORRENS, 2004; BATTY, 2005) para descrever e estudar a evolução das dinâmicas de construção e alteração da forma das cidades (BATTY, 2007a), considerando a diferenciação das cidades e suas periferias a partir de medida de acessibilidade (INGRAM, 1971; SARAIVA, 2013) em processos de tomada de decisão locacional (TIMMERMANS; GOLLEDGE, 1990; PORTUGALI et al., 1997; BENENSON; OMER, 2001; BENENSON, 2004);

- e) do uso de técnicas de modelagem urbana com autômatos celulares (BATTY, 1997; BATTY et al., 1997; TORRENS, 2000; POLIDORI, 2004) e modelos baseados em agentes (EPSTEIN, 1999; BATTY, 2005; HEPPENSTALL et al., 2012) em aplicação específica para descrever a formação auto-organizada de padrões de baixa renda no crescimento urbano dentro da plataforma CityCell (SARAIVA; POLIDORI, 2013), seus desenvolvimentos anteriores (POLIDORI, 2004; PERES, 2010; SARAIVA, 2013; TORALLES, 2013) buscando articular os processos empíricos de formação de áreas de pobreza com a morfologia urbana e o ambiente natural.

A partir disto, demanda-se o desenvolvimento de modelo baseado em agentes heterogêneos em suas características e capacidades, além de localizados em ambiente celular. Estes agentes devem permitir a representação dos processos sociais de tomada de decisão, alocação e competição combinados ao crescimento urbano; sua caracterização deve permitir o estudo da associação de atributos das cidades (naturais, urbanos ou institucionais) aos processos de localização da pobreza.

A abordagem experimental deste modelo relaciona observações empíricas e teóricas à vinculação de perfis e comportamentos sociais aos atributos da urbanização envolvidos no crescimento urbano. A abordagem amplia a capacidade dos modelos de crescimento em lidar com aspectos específicos dos diversos atores urbanos, afastando-se de comportamentos médios agregados e se aproximando de caracterizações heterogêneas dos atores urbanos.

O modelo apresentado inclui a simulação de tomada de decisão de agentes sociais autônomos (representando grupos de famílias) em processo de localização durante o crescimento urbano a partir de uma medida de acessibilidade, conforme proposta por Ingram (1971) e adaptada por Saraiva (2013) que embasa simulação de crescimento a partir da interação de parcelas do espaço que agem como indutoras (ou resistentes) à urbanização.

Neste processo, os agentes simulam grupos familiares que observam o ambiente buscando as melhores oportunidades disponíveis para movimentarem-se e as ocupar. Neste aspecto, o modelo avança sobre modelos anteriores ao incluir a avaliação do ambiente pelos

agentes de forma particularizada. A partir da decisão de localizarem, os agentes podem engajar-se em conflitos com outras classes socioeconômicas, representando capacidades de ação e poder variados, o que parece ser adequado para descrever as cidades contemporâneas (DAVIS, 2006a, 2006b).

Obteve-se uma paisagem com intensidades variadas de desenvolvimento urbano, atributos naturais, institucionais e urbanos e tipos de agentes. Sinteticamente, esta paisagem permitiu a análise da expansão da forma urbana e da segregação socioeconômica, produzindo subsídios para a pesquisa e reflexão útil às políticas urbanas, além de ampliar a capacidade de resposta já constante nos modelos desenvolvidos.

Este modelo foi verificado através de uma série de experimentos abstratos que atestaram sua sensibilidade a modificações em parâmetros e variáveis. Essa verificação ocorreu de forma ajustada aos objetivos exploratórios na forma de “experimentos de pensamento” (EPSTEIN, 2008), utilizando a simulação como um laboratório para a especulação (HEPPENSTALL et al., 2012) sobre os fenômenos urbanos e entendendo a modelagem como um processo contínuo de produção de pesquisa sobre a realidade (RAILSBACK; GRIMM, 2012). Também considerou a disponibilidade de dados empíricos e conhecimento teórico sobre os processos simulados (O’SULLIVAN et al., 2012; SMAJGL; BARRETEAU, 2014).

O modelo foi aplicado em experimentos empíricos, que investigaram os efeitos de dinâmicas de crescimento, da interação da urbanização com o meio ambiente, da interação e competição entre agentes autônomos e da busca de oportunidades espaciais na realidade de Jaguarão/RS. Estes experimentos permitiram reflexões teóricas sobre a realidade das cidades, incluindo questões sobre a tomada de decisão das classes socioeconômicas em sua localização, a desigualdade de condições sobre apropriação da urbanização, os fenômenos contemporâneos de segregação socioterritorial e disputa por localizações com melhores oportunidades por estas classes e sobre o impacto nos sistemas naturais dos diversos modos de apropriação e constituição do desenvolvimento urbano.

Metodologicamente foi possível debater sobre as possibilidades de associação de atributos da urbanização a perfis heterogêneos de agentes em forma simplificada, a integração de técnicas de agentes a modelos de autômatos celulares de crescimento urbano, a escala de desagregação, grau de abstração e modos de representação dos agentes no ambiente urbano, apontando para complementações teóricas e continuidades metodológicas que considerem as limitações de conhecimento dos fenômenos modelados, do conhecimento teórico e das informações disponíveis sobre os processos envolvidos.

Empiricamente observou-se padrão de conflito entre as classes socioeconômicas que indica que a forma urbana tem sido impactada por relações sociais de anteposição de modo contínuo.

Teoricamente, sugere-se uma especialização dos modos de produção do território, que se faz componente importante para a compreensão da urbanização por classes socioeconômicas diversas e em disputa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As cidades podem ser descritas como imensos artefatos criados pelo homem para suprir suas necessidades (PORTUGALI, 2000), especialmente as de socialização e encontro. A preponderância da urbanização sobre outros modos de organização do território, no entanto, traz desafios particulares que se tornam mais complexos e ricos em nuances com o passar do tempo, além de aumentar a relevância da urbanização para a promoção da qualidade de vida e sobrevivência das sociedades humanas no planeta.

2.1 CRESCIMENTO URBANO E POBREZA NAS CIDADES

O crescimento urbano contemporâneo tem apresentado grande capacidade de inovação em resposta a estímulos econômicos e sociais e os estudos urbanos têm visto novas formas de urbanização ganhar força e registrado alterações importantes nas formas de socialização no espaço, seja em sua produção, ou em sua atuação como base para o desenvolvimento de atividades sociais. Neste contexto, parece importante analisar os condicionantes mais gerais dos processos de urbanização contemporânea através da economia, para então desenvolver foco nas dinâmicas do terceiro mundo⁵ e, finalmente, debruçar-se sobre a urbanização brasileira e os diversos agentes urbanizadores de suas cidades.

2.1.1 As cidades no contexto pós-globalização

Com a consolidação da globalização, as escalas global e local passaram a se entrelaçar de forma mais intensa e certas cidades vieram a atuar como nós principais da rede global das corporações multinacionais que comandam grande parte dos fluxos econômicos. No seleto grupo das cidades-regiões globais que controlam o sistema financeiro, é fomentada a criação das instituições locais de apoio, de canalização de recursos locais e gerenciamento dos recursos para a rede sob controle das corporações (SASSEN, 1999; SCOTT, 2000). Estas cidades coordenam regiões ao seu redor, estabelecendo áreas de influência territoriais e redes de controle à distância através de tecnologias de informação e comunicação, padronização de procedimentos e da homogeneização dos espaços e das instituições. Os territórios envolvidos nestas redes são organizados de forma a corresponder à condição globalizada a que devem

⁵ Entendido aqui como formado pelos chamados “países em desenvolvimento”. No entanto, será mantido o termo “terceiro mundo” de forma a ressaltar as contradições da lógica do “desenvolvimento”, em que o terceiro mundo é visto como um passo atrás dos países do hemisfério norte. Ao invés disto, preferi manter clara a ressalva de que, desde após a 2ª Guerra Mundial, projetos de contra-hegemonia têm sido compostos pelos países do sul global (PRASHAD, 2013).

pertencer, se constituindo simbolicamente como iguais a outras cidades-regiões globais e exacerbando o contraste com o contexto em que se inserem.

A concentração de recursos que passaram a capitanear no fim do século XX tornou sua especialização cada vez mais visível: os *Central Business Districts* (CBD) tornaram-se ainda mais fortificados de forma a isolar-se e proteger-se, preservando as atividades de coordenação transnacionais das vicissitudes da realidade local, como se observa na paisagem de Los Angeles (DAVIS, 2006b), assim como em Londres, Paris, Tóquio e Nova Iorque. No outro extremo estão as periferias globais, formadas por regiões inteiras relegadas à inferioridade material, à desregulação, à ausência dos benefícios da civilização e, principalmente, a permanecem distantes dos meios de produção necessários para sua autonomia, apresentando graves contradições sociais (DAVIS, 2006a). As “mega-vilas” da África subsaariana (COHEN, 2006), assim como a megalópole favelizada de Lagos exemplificam este status de cidades de segunda categoria, continuamente temporárias e incompletas (KOOLHAAS, 1997). Na região intermediária a estes extremos, inúmeras combinações destes atributos se formam em cidades de diversas escalas, com metrópoles regionais, cidades-regiões e arquipélagos suburbanos entrelaçados por influências homogeneizantes globais e características particulares locais.

De forma geral, o resultado destas tensões para as cidades é a sua participação assimétrica nas redes econômicas globais, fomentando em última análise o aumento das clivagens internas. Estruturas especializadas se multiplicam no tecido urbano, conectando parcelas das cidades às redes globais em que o tecido urbano é moldado para contemplar as demandas da produção e circulação globalizadas, enquanto outras tantas áreas acumulam pobreza, baixa infraestrutura e alto teor de informalidade. O legado da globalização são cidades partidas (DAVIS, 2006a; UN-HABITAT, 2010) que apresentam novas dinâmicas em suas formas, atreladas cada vez mais à sua inserção, ou exclusão (mesmo que parcial) nos mercados globais.

2.1.2 Economia e urbanização periférica

A urbanização pode ser descrita como fruto de uma integração crescente de dois movimentos complementares: do crescimento interno, composto por aumento da densidade, preenchimento de vazios, compactação acompanhada ou não de verticalização; e do seu crescimento externo, realizado através da expansão sobre áreas não-urbanizadas, consumindo áreas agrícolas e naturais de forma mais ou menos densa (CHIN, 2002; LEE, 2007; OJIMA; HOGAN, 2009; POLIDORI et al., 2014). A alternância entre compactação e expansão ocorre através de importantes mecanismos de retroalimentação de cunho econômico e social, em que surtos alternados de expansão rápida e aparentemente caótica são seguidos de movimentos

de consolidação mais lenta e gradual. Estes últimos podem, por sua vez, ser superados por novos surtos de expansão, compondo ciclos de valorização-desvalorização da forma urbana (HARVEY, 1978, 2006; WHEATON, 1982).

O crescimento interno ocorre com a substituição de um estoque existente por outro, com mudança das suas finalidades ou com intensa densificação e pode ser identificado com a gentrificação uma vez que as alterações de estoque de forma geral atendem a estratos de renda superiores aos que antes ocupavam as áreas (WHEATON, 1982). Este modo de crescimento também está associado à ocupação de áreas vazias em zonas urbanizadas, que podem ser *brownsites*⁶ ou vazios urbanos, como no caso das *Docklands* de Londres (ECHENIQUE et al., 2012) e tantos outros exemplos semelhantes, mas também na recuperação mais lenta de estoques construídos observada desde Soho nova-iorquino à Mooca paulista.

O crescimento externo contemporâneo é marcado pela forma dispersa, através de dois modos de apropriação do espaço peri-urbano, presentes com toda a clareza nos EUA (com casos em todas as suas regiões metropolitanas) e reproduzidos em diversas nuances ao redor do mundo. De um lado, existe a dispersão baseada em re-nucleação periférica, as cidades-borda⁷, onde se busca alternativa ao congestionamento das áreas centrais, sem prescindir das vantagens da proximidade e aglomeração. De outro, tem-se a dispersão generalizada, sem nucleação consistente: as cidades-sem-borda⁸. Estas duas formas respondem a condições específicas de cada local, mas também às dinâmicas de desenvolvimento tecnológico que impactam as cidades de forma geral (LEE, 2007), como evidenciam os fenômenos da urbanização dispersa da metrópole de São Paulo (REIS, 2006), os *barrios privados* de Buenos Aires (JANOSCHKA, 2004) e os complexos do grupo Alphaville em São Paulo e Brasília.

Ciclos de crescimento externo impulsionam novos ciclos de ocupação nas áreas centrais no momento em que passam a oferecer condições favoráveis de ocupação na urbanização expandida. Isto ocorre quando sua centralidade é reforçada pela extensão do conjunto de modo que as deseconomias da distância (provocadas pela expansão) compensam a renovação das áreas existentes ou a ocupação de vazios deixados pelo crescimento (WHEATON, 1982; FUJITA; THISSE, 2009).

A forma urbana entre os ciclos de expansão e densificação é impulsionada por um consenso a favor do crescimento (LOGAN; MOLOTCH, 1993) entre capitalistas, rentistas da terra, políticos, oficiais de governo e facções das classes socioeconômicas que buscam

⁶ Áreas de uso industrial ou fortemente impactadas por urbanização que não são mais adequadas a ocupação.

⁷ No original "edge cities".

⁸ No original "edgeless cities".

vantagens através da expropriação⁹ do território. Se no capitalismo, antecipar-se nas inovações é fundamental para manter a rentabilidade, na terra urbana inovar é agregar novas áreas ao urbanizado ou “destruir”¹⁰ o capital existente, para capitalizar sobre o potencial acumulado. Nesta relação formam-se tensões entre o urbanizado em diferentes períodos (cuja valorização decai com o tempo) e o não urbanizado. Os capitalistas, então, visam obter rentabilidade através da expropriação que pode ser entendida em dois movimentos: antecipar-se aos outros na incorporação de novas áreas ou na desvalorização dos bens alheios, que “suportam” a perda de valor de forma a equilibrar a acumulação de capital e evitar ou minimizar as crises de superacumulação (HARVEY, 2006).

O fator essencial a notar aqui é a interação que se torna sistêmica entre as áreas periféricas e as áreas centrais: a desigualdade do espaço urbano (e geográfico em maior medida) como necessidade para a reprodução da classe capitalista através do espaço. Dito de outra forma, os espaços menos valorizados são necessários para o modo de urbanização capitalista, suportando os custos sociais de uma urbanização descontínua e provendo oportunidades repetidas de mitigação das crises de acumulação. Deste modo, a desigualdade entre áreas urbanas valorizadas e aquelas menos valorizadas é elemento central no processo de produção da cidade (HARVEY, 1978), a exemplo da desigualdade do espaço geográfico (HARVEY, 2006, especialmente capítulo 3).

As periferias assumem, portanto, papel ativo nos ciclos de valorização-desvalorização. A reflexão em direção à pobreza que se localiza nas áreas periféricas pode ser expandida, de forma a verificar seu papel no sistema produtivo das cidades, assim como em possíveis construções teóricas que a articulem com a produção do espaço urbano.

2.1.3 Dinâmicas contemporâneas da forma urbana

O impacto dos ciclos de valorização-desvalorização da forma urbana se manifesta em alterações morfológicas das cidades. Consolidando o processo de mudança da própria identidade urbana, iniciado na Revolução Industrial, a modernidade trouxe a dissolução progressiva da quadra e do tecido urbano (PANERAI et al., 2013) e a pós-modernidade intensificou este processo ao introduzir a hibridização dos tecidos, o surgimento de formas mais flexíveis, de mesclas entre usos urbanos, rurais, naturais e tonalidades intermediárias e do estabelecimento de diversos estágios intermediários de urbanização (CHIN, 2002).

⁹ O termo expropriação aqui se refere a expressão “dispossession”, conforme utilizada por Harvey (2006).

¹⁰ É bom lembrar que se trata, neste caso, de destruição de valor, uma abstração. Ela pode, logicamente, ter consequências bastante reais e destrutivas de bens, organizações sociais e mesmo de famílias e indivíduos, por estar imbricada na “teia da vida”, como define Harvey (2006). Lembremos, porém, que esta destruição “real” decorre de uma destruição absolutamente “fictícia”, como relata Abramo sobre o mercado carioca (2007).

Percebe-se que nos últimos 50 anos¹¹ as cidades gradualmente passaram à condição de arquipélagos de urbanizações fragmentadas, cada vez mais adaptáveis e menos completas (KOOLHAAS, 1997; ASCHER, 2010). Os dispersos *outskirts* e os *terrains vagues*¹² dos arrabaldes foram ocupados e integrados à forma urbana de modo descontínuo para então serem superados por novas ondas de crescimento externo, nas quais a cidade se misturou às formas rurais e semi-rurais, ampliou suas descontinuidades e teve sua densidade reduzida. Os limites urbanos se tornaram cada vez menos precisos, os núcleos periféricos se mesclaram com este tecido urbano híbrido, a conurbação integrou os núcleos dispersos e as urbanizações esparsas passaram a se misturar umas com as outras, criando contínuos de ocupação de concentrações variadas (CHIN, 2002), legando à contemporaneidade formas urbanas diversas e de difícil classificação.

Desde meados do século XX, se fortaleceram estes modos dispersos de ocupação do território que ganharam força ao ponto se tornarem prevalentes na provisão de urbanização para os setores produtivos e habitação nos Estados Unidos (EUA) (LEE, 2007). Mesmo em outros contextos, tornaram-se relevantes, como exemplificam os condomínios corporativos na Ásia (LEISCH, 2002; XIE et al., 2005), a suburbanização desigual na América Latina (SABATINI et al., 2001; BORSDORF et al., 2007; UN-HABITAT, 2012a) e o fenômeno da urbanização dispersa de certas regiões do Brasil (REIS, 2006). Nas últimas décadas, percebe-se o aumento da urbanização de forma dispersa nestes contextos, matizada por características regionais, passando a interagir com pobreza e desigualdade de forma particular (COHEN, 2004).

Enquanto nos EUA e em grande parte dos países desenvolvidos núcleos urbanizados especializados organizaram redes esparsas de subúrbios monofuncionais pouco densos que se estenderam até onde o preço do combustível permitiu (BERUBE; KNEEBONE, 2006; BORSDORF et al., 2007; LEE, 2007); ao sul do Equador, imensas áreas de informalidade e pobreza intercalaram-se com usos industriais e enclaves de alta renda (DAVIS, 2006a); agravando as disparidades sociais. Nestes países, a informalidade consolidou-se como alternativa principal dos mais pobres para ter acesso ao solo urbano (BÓGUS; TASCHNER, 1999) e as cidades tornaram-se verdadeiros caleidoscópios de desenvolvimento (ABRAMO, 2007) redefinindo sua forma de modo cíclico e contínuo, sem jamais consolidar-se, mesmo com permanente ímpeto à expansão (BARROS, 2012).

¹¹ Ante a condição heterogênea das cidades ao redor do mundo e mesmo na América Latina devemos realizar a ressalva de que esse processo não foi (nem é) homogêneo e as datas apresentadas são no máximo aproximações generalistas.

¹² Áreas de abandono nas periferias das cidades, especialmente das cidades industriais dos séculos XIX e XX. Foram estudadas em extensão nas renovações das ciências sociais e geografia da segunda metade do séc. XX, simbolizando, em grande medida, a adoção de pontos de vistas não-hegemônicas nessas áreas. *Outskirts*, evoca um sentido de margem, borda externa e exclusão de centralidade. Já os *terrain vagues* significam o abandono e exclusão associados às periferias.

Este processo estabeleceu uma condição periférica: coexistência de opostos com pouca harmonia; alternância entre formas compactas e dispersas; integração pontual com o global e segregação com os adjacentes; densidades que tendem a ser baixas; proximidade da informalidade e da flagrante ilegalidade; e ocupação de extensões que se aproximam à escala regional.

2.1.4 Urbanização latino-americana

Da mesma forma em que as cidades têm apresentado continuidade histórica como solução de nossa civilização para a sua perenidade (PORTUGALI, 2000), os processos de fragmentação e expansão da forma urbana têm ocorrido como mecanismos de renovação da capacidade de gerar lucro a partir das cidades.

Se na escala mundial desigualdade e urbanização somam-se em processos de fragmentação e diferenciação espacial que constituem o modo de construção das cidades (HARVEY, 1989), ao observar as cidades da América Latina, percebe-se que a formação de assentamentos informais e áreas pobres não podem ser simplesmente vistos como estágios transitórios de urbanização semelhante ao encontrado na Paris de Hausmann ou na transição vitoriana das cidades inglesas. Ao contrário, esses processos estiveram presentes ao longo de grande parte da história urbana latino-americana, ajudaram a definir a forma das suas cidades e representam, ainda hoje, importantes vetores de urbanização (BARROS, 2012).

A forma contemporânea das cidades latino-americanas pode ser compreendida como originária da urbanização dos últimos 70 anos na região. A partir de intenso êxodo rural dos anos 1950, a América Latina tornou-se a região mais intensamente urbanizada do mundo, com forma urbana fragmentada e plena de carências herdadas de um crescimento explosivo no qual as necessidades se anteciparam à implantação das infraestruturas. Apesar do arrefecimento desta transferência maciça de população do campo ter ocorrido há cerca de 30 anos, as cidades da região ainda não pararam de expandir-se. O ímpeto da urbanização é mantido para abrigar novas funções ou novos arranjos de funções existentes, com a implantação contínua de complexos residenciais, centros comerciais, novas zonas industriais e assentamentos irregulares. O crescimento urbano tornou-se sinônimo de desenvolvimento econômico e mantém as taxas de urbanização de duas a três vezes superiores às taxas de crescimento populacional (UN-HABITAT, 2012a).

A rápida urbanização latino-americana trouxe custos sociais importantes, expostos na maior desigualdade do planeta. Territorialmente, o padrão espacial de disparidade acumulado legou pouca oferta de espaços públicos e de lazer, além de problemas crônicos de subhabitação. Apesar da proporção da população a ocupar favelas e áreas de informalidade

haver diminuído na região, atualmente mais de 110 milhões de pessoas vivem nestas condições, suportando o ônus de um processo essencialmente assimétrico de urbanização.

A desigualdade se apresenta, no entanto, sob três vetores principais: a) segundo aspectos econômicos, no acesso a oportunidades e concentração de riquezas; b) aspectos sociais, quanto aos recursos do estado, pouca mobilidade social e crônicos problemas de educação; e c) aspectos espaciais, no que se refere à acessibilidade da urbanização e seus benefícios, de forma geral mas, também, quanto à provisão de serviços básicos como acesso à água potável e saneamento, que são pouco qualificados e mais caros para os mais pobres. Esta condição relativamente recente empurra o padrão espacial e socioeconômico das periferias para a polinucleação, com grande consumo de terra e espraiamento de infraestruturas (UN-HABITAT, 2012a).

Especificamente no Brasil, o conceito de cidadania urbana se constitui de forma tardia (RIBEIRO, 2011) e, mesmo atualmente, não conta com as bases concretas para sua efetivação. Esta condição de sociedade estamental¹³ (FAORO, 1992), somada à história e à estrutura fundiária e econômica das cidades brasileiras (NOVY, 2002), proporciona certas características às suas periferias: a segregação social e territorial (VILLAÇA, 2013), a coexistência não-integrada de perfis econômicos contrastantes e a ocupação de grandes extensões de território por moradias de baixa renda, de forma geral informais. Os assentamentos informais, por sua vez, usualmente apresentam pouca infraestrutura, baixa qualidade construída e carência de serviços públicos elementares, além de frequentemente ocuparem áreas de risco ambiental, áreas contaminadas e áreas legalmente interditadas à ocupação (RIBEIRO; LAGO, 1991; UN-HABITAT, 2003; RIBEIRO, 2011).

As cidades brasileiras se mostram clivadas entre classes sociais, com o direito à cidade em disputa permanente (LEFEBVRE, 1991), enquanto a sua produção pode ser descrita sob três fatores que ampliam suas diferenças internas (FEITOSA, 2005):

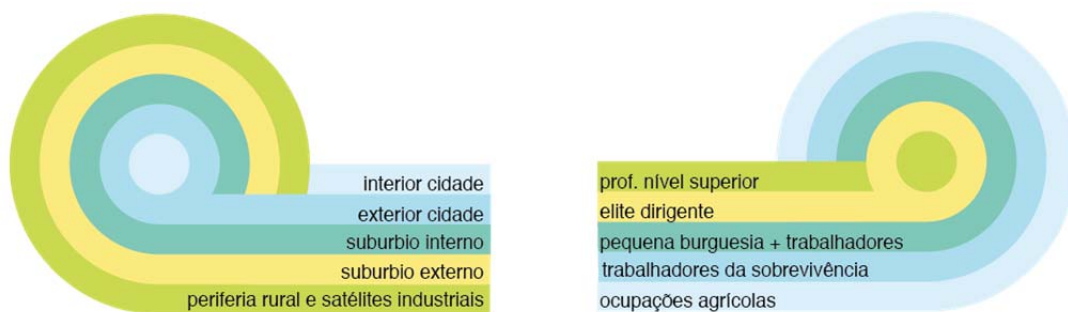
- a) o mercado imobiliário busca oportunidades de exclusividade e segregação auto-imposta (CALDEIRA, 1997; DAVIS, 2006b; BORSDORF et al., 2007) e relega parte importante da produção da cidade à informalidade;
- b) a organização do trabalho e seu mercado são segmentados territorialmente, com dispersão das atividades operacionais e concentração das atividades diretoras e gerenciais (BÓGUS; TASCHNER, 1999; SASSEN, 1999); e

¹³ Estamentos formam a primeira forma moderna de divisão de classes, que seguiu o feudalismo na Europa. Faoro (1992) utiliza esse conceito, que vincula cidadania a posse de recursos, para descrever o Brasil como uma sociedade moderna fragmentada, incompleta e contraditória.

- c) o Estado divide-se como campo de disputas entre as instituições locais e os interesse globais, transitando em direção à governança e à diminuição do seu papel como planejador central, que passa a ser desempenhado pela sociedade civil e pelo mercado (WATSON, 2009).

Em interação com as novas formas de urbanização, ainda se apresenta nas metrópoles brasileiras um modelo de Chicago invertido, com parcelas de suas elites dirigentes localizadas nas áreas com melhores condições de infraestrutura, serviços públicos ou paisagem, conforme exemplifica a Figura 2.1.

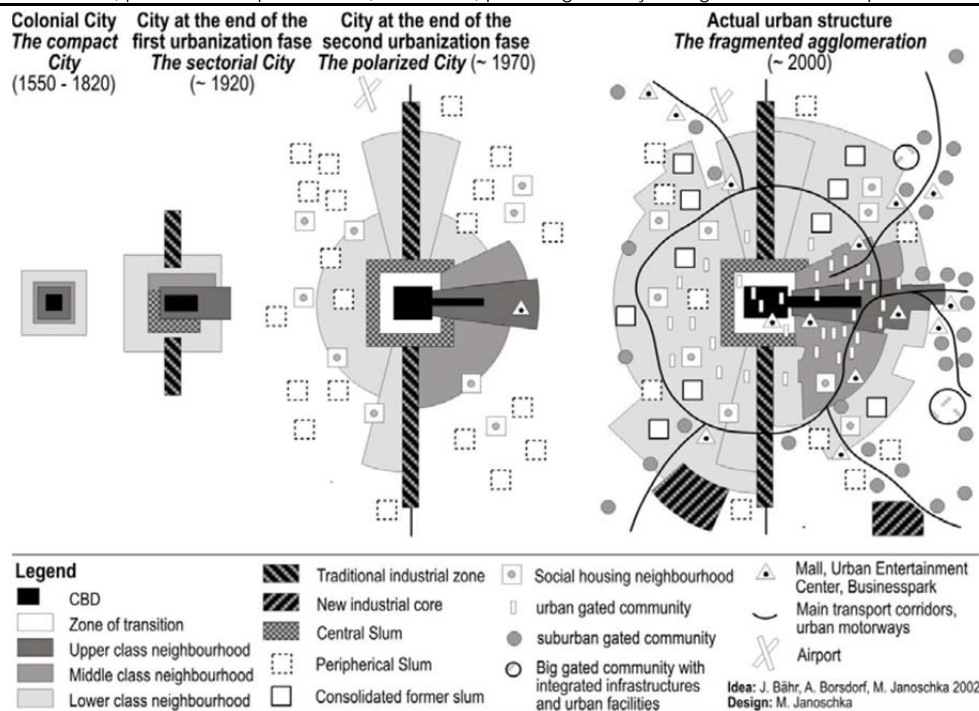
Figura 2.1 - Modelo de Chicago, segundo Burgess e seu inverso, segundo Bógus e Taschner



Fonte: do autor, segundo Portugal (2000) e Bógus e Taschner (1999).

A suburbanização, no caso brasileiro, adiciona a este modelo a ocupação de áreas das periferias por populações ricas que, sem prescindir do seu controle territorial das áreas nobres centrais, vem se justapor às populações mais pobres, através de mecanismos de separação na escala local como condomínios fechados (CALDEIRA, 1997), conforme retrata o modelo proposto por Janoschka na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Modelo da evolução da estrutura urbana das cidades latino-americanas: da cidade colonial compacta, a cidade setorial, para a cidade polarizada e, finalmente, para a aglomeração fragmentada contemporânea



Fonte: Janoschka (2004, p. 10).

2.1.5 Cidades em processo permanente de redefinição

O descompasso socioespacial que se estabelece nas cidades contemporâneas é reproduzido em uma desintegração espacial baseada na segregação (BÓGUS; TASCHNER, 2001). A diferenciação do espaço apresenta combinação estreita entre o mercado formal e a informalidade disseminada: o *real state*¹⁴ integrado às bolsas de valores mundiais é associado à grilagem de terras, à autoprodução da moradia nas favelas, às ocupações de vazios periféricos e de edificações ociosas nos centros. A interação entre espaço e processos sociais compostos por racionalidades diversas impõe, portanto, tendências antagônicas mas com determinação recíproca: a dispersão (crescimento externo) e a concentração (interno) ocorrem em ciclos alternados, movidos pela lógica do mercado e pela força da necessidade (ABRAMO, 2007).

O crescimento urbano também integra os mercados formal e informal que aparentemente respondem a demandas de terra para classes sociais muito distintas, mas acabam por interagir. Mesmo com limitações importantes ao investimento do capital financeiro de mercado¹⁵, a informalidade é o modo de produção da moradia da maior parte da população e impacta o mercado formal, com o qual concorre, oferece alternativas ou mistura-se com influência mútua. Os mecanismos de demanda e oferta também se manifestam informalmente

¹⁴ Mercado imobiliário, cujo termo em inglês visa aproximar do seu uso vulgar conforme apropriado pelo empresariado do setor.

¹⁵ Como a ausência da segurança jurídica, por exemplo.

e geram tanto um mercado paralelo, quanto dinâmicas de crescimento interno e externo, mesmo nas áreas mais pobres. A densificação por verticalização ou subdivisão de lotes, casas e mesmo cômodos é o *modus operandi* do mercado informal em assentamentos consolidados, enquanto que o mercado informal de loteamentos é por vezes a verdadeira vanguarda da expansão urbana (ABRAMO, 2007, 2009).

Neste conjunto de relações mercadológicas com instituições (e institucionalidades ou racionalidades) variadas, as áreas de informalidade ou de pobreza não são subprodutos ocasionais de um processo de enriquecimento universal da sociedade urbana, mas mecanismos ativos na diferenciação espacial do território urbano. Áreas desvalorizadas e informais podem ser produzidas fora dos limites normativos e sem padrões mínimos de urbanização para serem posteriormente convertidas (“recontextualizadas” como define Barros (2004)) em um jogo perverso que conta com investimentos públicos para compensar a irregularidade que estabelece na sua origem (ABRAMO, 2007). Assim, a desigualdade, a informalidade e mesmo a precariedade urbanística acabam compondo áreas de reserva para o mercado, nas quais as populações pobres permanecem enquanto a valorização do seu entorno não justifica sua remoção.

A partir destas observações propõe-se que, de forma sistêmica e dialética, o papel desempenhado pelas áreas pobres das periferias seja visto como um caso específico da lógica prevalente no capitalismo: a manutenção da desigualdade como base para seu funcionamento e a existência de áreas passíveis de expropriação é necessária para a própria manutenção da estabilidade do sistema. Harvey argumenta neste sentido:

[...] há um nível agregado de acumulação através da expropriação que deve ser mantido para que o sistema capitalista alcance uma mínima aparência de estabilidade. O desenvolvimento desigual geográfico através da expropriação, portanto, é o corolário da estabilidade capitalista.¹⁶ (2006, p. 93)

Assim, as áreas de pobreza funcionam como válvulas de compensação no mecanismo de expansão das cidades, amortecendo as tensões, absorvendo impactos ambientais e custos de infraestrutura, ao mesmo tempo em que mantém abertas as oportunidades de expropriação da forma urbana. Desta forma, pode-se argumentar que as ocupações precárias e instáveis “[...] em realidade absorvem parte da instabilidade social existente [...] em bolsões instáveis dentro da cidade [...] e que] são necessários para a estabilidade estrutural do sistema geral.”¹⁷ (BARROS; SOBREIRA, 2002, p. 9). As áreas de pobreza, portanto, atuam mantendo a

¹⁶ No original “[...] there is an aggregate degree of accumulation through dispossession that must be maintained if the capitalist system is to achieve any semblance of stability. Uneven geographical development through dispossession, it follows, is a corollary of capitalist stability.”

¹⁷ No original “[...] actually absorb part of the existent social instability [...] in unstable pockets within the city [...] they are necessary for the structural stability of the global system.”

estrutura socioespacial das cidades em um frágil e instável equilíbrio, plenamente integradas ao mercado, mesmo que em graus variados de formalidade.

Adicionalmente, os processos de substituição de formas urbanas, adensamento e gentrificação estão no centro destes mecanismos contemporâneos de produção de cidade fazendo uso e sendo influenciados pela forma urbanizada das periferias e áreas pobres. Eles criam condições desiguais de uso das oportunidades espaciais oferecidas pelas cidades (ABRAMO, 2007), vinculando a exclusão territorial à exclusão social e econômica (BÓGUS; TASCHNER, 1999).

As áreas periféricas pobres, portanto, demonstram ter função importante na evolução atual das cidades, calcada na especulação imobiliária, estratificação e exclusão socioespacial. Quando analisadas sistemicamente, revelam ligações importantes entre o território e redes em múltiplas escalas de agentes e processos heterogêneos (BARROS, 2012).

2.1.6 Pobreza, periferias e meio-ambiente

Se por um lado os processos econômicos e sociais são responsáveis por diversos fenômenos de relacionamento da forma urbana com a sociedade, por outro se estabelecem sobre um meio ambiente com condições reais e definidas, mas que também sofre evolução e mudança contínua. Cidades e ambiente têm crescentemente sido relacionados em processos de evolução nos quais a expansão das cidades tem ocasionado impactos sobre os seus sistemas naturais de suporte. Processos de crescimento urbano externo têm sido associados ao consumo de solo para urbanização, diminuição de áreas agrícolas, consumo de recursos não-renováveis, geração intensa de resíduos, rompimento de redes hidrológicas e modificação dos fluxos de energia e de nutrientes, além de impactos mais duradouros e sistêmicos, como alteração do ciclo de carbono do planeta, diminuição radical da área florestada, consumo de grande parte da água potável disponível e dispersão de espécies exóticas em ecossistemas variados (ALBERTI et al., 2003).

Estes impactos importantes contrastam com uma longa história de evolução ambiental do planeta na qual o homem teve influência mínima. Após milênios de longa evolução das espécies e variações nos ciclos geológicos, o ser humano passa a alcançar posição de dominação em relação aos demais habitantes e sua atuação se torna significativa, especialmente nos impactos que causa às dinâmicas em curso. A partir do ponto de vista do ambiente em que ocorre a inserção das cidades, observa-se que a qualidade e intensidade de urbanização têm consequências ambientais diretas (ALBERTI et al., 2003).

Utilizando análises espaciais e demográficas, Ojima e Hogan (2009) constata os efeitos da expansão urbana (especialmente na forma de *sprawl*) sob a perspectiva ecológica.

Relacionando padrões de ocupação do solo na forma de distâncias e densidades de ocupação, provém avaliação do custo energético do deslocamento baseado em automóveis para cidades brasileiras. Associam, ainda, os fluxos econômicos entre as parcelas de forma urbana, assim como as alterações nos padrões de deslocamento e consumo da população para compor índice de *sprawl* apropriado às cidades brasileiras.

Polidori (2004) busca a integração de atributos naturais e urbanos nos processos de crescimento das cidades. Avança através da inclusão das “variáveis biofísicas” e seus processos associados em modelos de crescimento urbano centrados na diferenciação espacial e na medida de potencial de urbanização, desenvolvendo para isto simulação com autômatos celulares (AC). Esta associação de fatores urbanos, ambientais e institucionais permite representar a integração da ação humana no ambiente natural possibilitando, ainda, a exploração de hipóteses sobre as causalidades envolvidas nestas dinâmicas, como sobre a velocidade de expansão, dispersão da forma urbana e padrões de crescimento das bordas, o que permite perceber a integração da ação humana no ambiente natural vista através da urbanização.

No que se refere ao estudo da pobreza, há ainda pouca investigação orientada especificamente à sua articulação com problemas ambientais. Ojima e Marandola (2010) realizaram análises espaciais que substanciam a ligação entre qualidade da urbanização e exposição a riscos. Destacam que a vulnerabilidade das populações está intimamente conectada com a forma de ocupação do território, mas que também deve ser compreendida como decorrente de comportamentos e atributos sociais, especialmente na forma de redes de relacionamento e apoio. Dos “eventos sociais” que definem como influentes na avaliação e gestão da vulnerabilidade¹⁸, a mobilidade e as migrações são tidas como as mais imprevisíveis e, portanto, de difícil tratamento metodológico e prático.

De forma complementar, estudo empírico sobre os efeitos de catástrofes ocasionadas por fenômenos atmosféricos de Marcelino e outros (2007) consideram as cidades de forma geral como excepcionalmente sujeitas a riscos e identificam os atributos da qualidade construída e forma urbana como centrais para a exposição aos desastres naturais. A concentração de elevadas densidades populacionais e quantidades de bens materiais são apontadas como fatores que aumentam o dano potencial de eventos desastrosos, além da qualidade e quantidade das infraestruturas instaladas e da forma urbana como um todo que se relacionam com características ambientais como a topografia e hidrografia. Sintetizam afirmando que a densidade populacional, a qualidade do ambiente construído e a localização

¹⁸ Sua prevenção através de gestão de causas e mitigação através da provisão de resiliência.

em encostas, fundos de vales e planícies de inundações são apontados como fatores determinantes na exposição a riscos.

Considerando que a diferenciação socioeconômica informa, através da desigualdade, as oportunidades espaciais disponíveis a cada tipo de ocupação, sugere-se que exista uma influência dos atributos ambientais na distribuição destas oportunidades e, portanto, na formação de áreas de pobreza durante o crescimento urbano. A qualificação destas avaliações para incluir a questão da informalidade sugere que a apropriação do ambiente urbano pode ser realizada através de critérios diversos. Ao observar a ligação de informalidade com áreas de fragilidade ambiental, intui-se um comportamento social que se afasta da média do processo de urbanização, mas influi intimamente na relação da urbanização com o meio ambiente.

2.1.7 Múltiplos agentes da periferia

As periferias estruturam-se através de interinfluências socioeconômicas e espaciais, sensíveis a aspectos locais que provêm de vantagens específicas, mas também condicionadas por fluxos globais hegemônicos. Sua constituição se dá através das ações de diversos atores: especuladores locais, grandes proprietários de terra, famílias em busca de complementação de renda, migrantes em busca de oportunidades e indivíduos visando melhor colocação socioeconômica (ABRAMO, 2007; BARROS, 2012). Estes atores são articulados em processos econômicos de oferta e demanda de solo urbano nos mercados formal e o informal.

No mercado informal, estes processos envolvem atributos como poder de mercado dos agentes econômicos (oferta e demanda); características informacionais do mercado (assimetrias e transparências de informação); características dos produtos (homogêneos ou heterogêneos); origens das externalidades (exógenas e endógenas); racionalidades dos agentes (paramétricas ou estratégicas) e ambiente da tomada de decisão (risco probabilístico ou incerteza radical). As ações de desenvolvimento urbano no mercado informal podem prescindir do controle das normas urbanísticas, assumindo lógicas para-formais que escapam da disciplina jurídica do Estado de Direito, burlam condicionantes ambientais e de infraestrutura e são efetivadas por meio de poupança familiar, relações de reciprocidade e redes de confiança locais (DAVIS, 2006a; ABRAMO, 2007).

O mercado formal, por sua vez, tem que lidar (dentro do contexto jurídico do Estado de Direito) com a imobilidade dos bens e alto valor dos produtos. O primeiro aspecto impede a utilização do capital investido em outros locais sem perdas significativas e impõe baixa liquidez aos investimentos. O alto valor individual dos produtos compele ao endividamento de longo prazo para os seus compradores (como no caso das hipotecas); e o longo período de depreciação, que vincula o retorno da demanda já atendida ao mercado e determina a

demanda habitacional segundo fenômenos demográficos como ciclo familiar e migrações. Abramo (2007) sugere a integração dos mercados formal e informal através de influências mútuas, oriundas de tendências antagônicas que os levam a se complementar ou concorrer, nos ciclos de valorização da forma urbana.

Ao longo destas alternâncias de valorização e desvalorização, a relação entre os mercados e as decisões familiares ocorre segundo um paradoxo que opõe sua motivação individual e seus ganhos agregados. Segundo uma “convenção urbana”, as famílias buscam individualmente oportunidades de se localizar próximas a famílias de extratos socioeconômicos superiores aos seus. Uma vez que há limite nas oportunidades disponíveis e no seu conhecimento do mercado, as famílias entram em dinâmicas de concorrência em que grande parte assume comportamento homogêneo com coordenação emergente das suas iniciativas – já que todas passam a buscar o que identificam como o modo de ocupação das classes ricas.

Este comportamento entra em choque com a necessidade do mercado de diferenciar seus produtos de forma cíclica para contrapor a tendência de decaimento das margens de lucro, assim como para ressaltar a desvalorização dos bens imobiliários já construídos (que compõem o mercado secundário). Desta forma, entende-se que o comportamento agregado dos mercados e as decisões individuais dos atores se opõem mas, também, reforçam as tendências que os originaram. De forma sintética, a busca por oportunidades únicas das famílias leva à homogeneidade do seu comportamento coletivo, que por sua vez insta os produtores imobiliários a diferenciarem seus produtos.

A segregação urbana, neste contexto, é promovida pela busca por externalidades, remetendo aos estudos de Schelling (1971)¹⁹ em que a procura por iguais promove a exclusão dos tidos como diferentes. Parece importante ressaltar que, desta forma, tanto os mecanismos mercadológicos (interação formal-informal) quanto sua articulação com as decisões familiares denotam impactos dos processos sociais sobre a forma urbana e sua ocupação.

Em consonância à esta análise, Barros verifica que “[...] o processo real de desenvolvimento das cidades latino-americanas é determinado pela desigualdade socioeconômica que é reproduzida no espaço através do processo de localização.”²⁰ (2004, p. 196). O padrão emergente que observa reproduz a “periferização” das cidades, aumentando o contraste entre centro e periferia de forma marcada pelas diferenças sociais: pobres nas bordas, ricos nos centros.

¹⁹ Que demonstram como mesmo sem visar a segregação é possível promovê-la através da soma das ações individuais e suas inter-relações.

²⁰ No original, “... actual development process of Latin American cities is determined by socio-economic inequality that is reproduced in space by the locational process.”

Comportamentos não dominantes têm, desta forma, relevância no modo de produção e ocupação da forma urbana, agindo coordenadamente com os mecanismos gerais dos mercados, concorrencialmente ou em efeitos mistos nas bordas (ABRAMO, 2007). É possível, portanto, traduzir influências variadas e não-organizadas centralmente em padrões de funcionamento de mercado bastante ordenados. As interinfluências entre formalidade e informalidade, entre as racionalidades que ambas impõem aos mercados e delas em relação aos papéis desempenhados pelas classes sociais podem ser explicados através da complexidade.

Estes fenômenos podem ser descritos como comportamentos variados (complementares ou em conflito) que compõem os sistemas urbanos latino-americanos e que se agregam para formar seu estado global de ordem através da emergência (BARROS, 2012). Posto de outra forma, mesmo sem coordenação central se formam redes de inter-representação que compõem um “[...] sistema de causa e efeito circular entre dois subsistemas auto-organizados, em duas escalas distintas, que estabelecem uma rede única de representação interna e externa.”²¹ (PORTUGALI, 2000, p. 70) e que acabam por criar padrões que são reconhecidos como ordenados.

Como exposto anteriormente, são comportamentos de famílias, loteadores de pequeno porte, capitalistas autônomos, legisladores urbanos e diversos outros atores sociais que compõem os mecanismos de produção da cidade. A nenhum deles pode ser atribuído o controle integral dos processos ou de influência definitiva sobre o sistema. Mesmo assim, percebe-se que todos operam estudando estrategicamente as ações dos demais na busca por oportunidades e, agindo assim, acabam por influenciar-se, criando padrões de ordem no aparente caos das relações de produção da cidade.

A autoprodução de cidade nas favelas intraurbanas (BARROS; SOBREIRA, 2002; BARROS, 2012), assim como a ocupação e produção de loteamentos populares informais (ABRAMO, 2007) trazem comportamentos individuais (ou desagregados na escala das famílias) que não podem ser descritos por médias ou por comportamentos globais. A abordagem da complexidade permite articular a diversidade das decisões individuais com os mecanismos gerais dos mercados.

Para avançar, portanto, sugere-se perspectiva particularista que permita aproximar a análise urbana de casos específicos e revele com maior detalhe suas características. A partir destas características pode-se reconstruir os processos que formam em suas relações de forma sistêmica. Assim, vinculam-se processos ricos em qualidades locais com reflexões que

²¹ No original, “a circular causation between two self-organizing sub-systems, at two different scales, that together form a single network of internal and external representation.”

podem servir como base para construções teóricas mais universais. O objetivo mais amplo é participar da composição de uma renovada abordagem científica à cidade, conforme demandado por Smith (1989) e Harvey (2006) e operada a partir da combinação de métodos quantitativos e qualitativos sugerida por Buzai (1999, 2010).

2.1.8 Padrões e mecanismos do estabelecimento dos espaços da pobreza

As dinâmicas sistêmicas entre os mercados formal e informal e o processo de produção da cidade capitalista expõem mecanismos de formação das periferias e das desigualdades que apresentam. A população de acordo com sua condição social e econômica faz uso e participa destes processos em busca de melhores oportunidades de localização, seja para moradia, para trabalho ou ambos. A análise do comportamento social de uso e ocupação da forma construída pode auxiliar a compreender os processos produtivos, assim como das desigualdades associadas à apropriação do espaço urbano.

Com objetivo semelhante, Bógus e Taschner (1999) analisaram padrões de exclusão sócio espacial em São Paulo e identificaram como melhor descritor da distribuição da população no espaço a composição entre nível educacional, tipo de atividade profissional e renda, nas chamadas “categorias socioprofissionais”. Estas vão desde as atividades agrícolas à elite dirigente, pequena burguesia, profissionais de nível superior, trabalhadores não manuais de nível médio, trabalhadores do comércio e serviços, trabalhadores manuais da indústria e serviços e, na base da escala, trabalhadores de sobrevivência.

Descrevem, também, o processo de avanço das cidades sobre o não-urbano e abordam a crise crescente na oferta de moradia que se instaura, mesmo sob baixas taxas de urbanização, nas décadas de 1980 e 1990. Assinalam um contínuo de exclusão sócio espacial, que se estende desde os moradores de rua permanentes, moradores de rua eventuais (que tem moradias tão afastadas que “viajam” até elas para os finais de semana), moradores de cortiço e favelas. Nesta classificação se desenha uma graduação de oportunidades de fruição dos benefícios da urbanização, cujas distribuições observadas não respondem de forma apenas diretamente proporcional à renda, mas são perturbadas pela educação e atividade profissional exercida, assim como pela formalidade (BÓGUS; TASCHNER, 1999).

Da mesma forma, Patel e outros (2012a) elencam como principais condicionantes ao processo de localização de domicílios em favelas nos países do terceiro mundo o status socioeconômico, as ligações familiares, ligações étnicas, acessibilidade (enquanto vantagem locacional) e desvantagens socioeconômicas de seus ocupantes.

Shoko e Smit (2013) argumentam que os laços familiares e de amizade compõem importantes conexões entre as populações pobres e possíveis espaços para ocupação. Para

explicar os padrões de ocupação de terra por populações muito pobres na África do Sul, articulam modelo a partir das conexões nas redes sociais à proximidade com sistemas de transporte e à disponibilidade de trabalho.

Lago (2011) reforça esses atributos ao sugerir a moradia periférica como fruto de uma disputa por acesso à cidade, na qual a localização das classes é expressão das relações de poder que travam, assim como é instrumento de exercício deste poder. Coloca intenso foco nas relações econômicas realizadas no território, especialmente aquelas individuais ou de pequenos coletivos que têm potencial de auxiliar na superação da precariedade dos locais. Estas relações são vistas através do trabalho, cuja formalidade (assim como a capacitação do trabalho e setor produtivo em que se insere) definem a necessidade de deslocamentos longos na relação moradia-trabalho.

O limite destas abordagens, no entanto, é observar o território a partir de recortes ora gerais, com pouca ou nenhuma vinculação aos atributos físicos e geográficos, ora bastante específicos, acompanhando grupos sociais em pormenor, mas com pouca capacidade de generalização. A lacuna que surge é da integração entre escalas e da ampliação de um ferramental analítico que permita construir reflexões teóricas a partir de análises em escalas bastante próximas a realidade sem que se despreze sua vinculação com padrões de comportamento globais. Ao contrário, percebe-se que os fenômenos na base dos sistemas são construtores destes padrões de ordem e que seu papel nos sistemas sociais é também fruto das relações globais estabelecidas em momentos anteriores. Entende-se, a partir das abordagens analisadas anteriormente, que as simulações podem apoiar os processos de reflexão neste sentido, sendo especialmente úteis a construção de teoria a partir de múltiplas escalas.

2.2 CIDADE, COMPLEXIDADE E MODELOS URBANOS

A investigação das dinâmicas urbanas de forma sistêmica apoia-se na noção de que há uma interdependência entre o espaço construído e a sua constituição por processos sociais. A esta se soma a compreensão de que os processos sociais nos ambientes urbanos devem grande parte de suas estruturas a interações realizadas por grupos que não seguem regras definidas centralizadamente, mas constituem ordem a partir de sua auto-organização. As relações sociais podem ser entendidas, então, como definidas pelo espaço urbano que é ele próprio fruto de outras relações sociais, anteriores (PORTUGALI, 2000).

O espaço é “[...] instrumento para implementação dos processos [sociais de produção da cidade] ou objetivo para produção.” (KRAFTA, 1999, parágr. 2) intercalada ou simultaneamente. Tem-se, assim, uma relação de diálogo na “leitura” e na “escrita” das

cidades: inúmeros atores sociais (em si mesmos múltiplos, plurais, com intenções e racionalidades muito diferentes) interagem com um ambiente que é composto pelas interferências de cada um e pelo que já está acumulado, plasmado, como fruto das intervenções do passado. O estado da cidade num determinado momento de tempo é fruto destes processos e se apresenta tanto na forma física da cidade, como nas representações mentais que cada habitante faz dela (PORTUGALI, 1996).

2.2.1 O estudo das cidades através da complexidade

A cidade pode ser descrita como parte desta escrita múltipla e plural ao adotarem-se os conceitos da complexidade e da emergência de ordem generativa. Nesta forma, ao invés de a cidade ser fruto das ações de um governante ou de outra coordenação central, ela é composta a partir de padrões de relacionamento oriundos de interações repetidas entre inúmeros atores independentes. Estes padrões, ao serem agregados, são ordenados através da influência mútua entre os atores que compõem a cidade. Eles se relacionam de forma sistêmica, agregando contribuições de cada indivíduo para formar estados estáveis do sistema, assim como regiões de instabilidade que se alternam com a estabilidade e, ao longo do tempo, se sedimentam na forma urbana (BATTY, 2007b).

Até a primeira metade do século XX, predominou a visão maquinística das relações sociais (PORTUGALI, 2000) a qual buscava padrões de ordem universais, generalistas, totais aos sistemas; independentes da autodeterminação das suas entidades constituintes por meio da redução das suas características específicas. A dificuldade de implementação de grandes modelos (LEE Jr., 1973), a incapacidade destes em explicar fenômenos urbanos através de estados de equilíbrio (PORTUGALI, 2000) e da maximização racional de ganhos (EPSTEIN, 2005), somadas ao aumento da ineficiência dos projetos determinados centralmente (BATTY, 2007a), contribuíram para o surgimento de formas de investigação que invertia esta perspectiva e reconhecia a estruturação dos processos produtores de cidade da base para o topo dos sistemas.

No princípio do século XXI, o entendimento de que as cidades não são estruturas criadas e passíveis de administração racional pelo homem, avançou. As noções deterministas foram substituídas pelo entendimento de que a cidade organiza-se em sistemas com ordem e determinação emergentes, marcados pela evolução e que crescem e modificam-se para além da capacidade de estruturas centralizadas de controle (PORTUGALI, 2000). A heterogeneidade das configurações urbanas passou a ser sinônimo de vitalidade das cidades, reafirmando o que Jacobs (1961) propunha há mais de 50 anos, a partir da compreensão das cidades pelas chamadas teorias de complexidade (BATTY, 2007b, 2009, 2014).

Este conjunto de formulações expõe que padrões de ordem nos processos de expansão, consolidação e evolução da forma urbana se tornam aparentes a partir de relações locais que revelam a influência das múltiplas e numerosas partes componentes dos sistemas urbano. Nestas relações se percebe uma ordem que “[...] emerge de ações e decisões onde indivíduos e agentes respondem ao seu ambiente e uns aos outros competitiva e colaborativamente desde a base para o topo.”²² (BATTY, 2007b, p. 4). Assim, a variedade de relações num sistema urbano indica que a sua riqueza não poderia ser construída a partir de qualquer plano centralizado de controle, mas deve, necessariamente, evoluir a partir de processos cumulativos e com dinâmicas de reforço mútuo a partir das suas entidades de base, onde a competição, cooperação e conflito geram inovação e até mesmo criatividade (PORTUGALI, 2000). Para caracterizar a “complexidade organizada” das cidades, Batty (2007b), citando Durlauf, define quatro características chave:

- a) imprevisibilidade a longo prazo do comportamento dos sistemas que ocorre através de “choques exógenos” ou de retroalimentação positiva ou negativa de mecanismos internos;
- b) transições de fase, que são alterações qualitativas na estrutura ou comportamento do sistema na superação de limiares, também chamadas de “pontos de inflexão” ou “bifurcações”;
- c) emergência, na forma da criação de ordem no sistema a partir do comportamento dos agentes em qualquer dos níveis do sistema, inclusive nos mais baixos, nos quais ocorre o maior número de relações; e
- d) universalidade, que é a semelhança de comportamento ou da estrutura do sistema em diversas configurações espaciais ou temporais.

Nesta perspectiva poderosa, percebem-se cidades múltiplas, que evoluem com o tempo a partir de influências externas mas, também, através de processos e decisões de seus habitantes, mesmo no nível mais desagregado. As pequenas e grandes decisões sobre a urbanização em um momento influenciam as decisões seguintes e os caminhos tomados abrem novas possibilidades, antes não percebidas (HAKEN; PORTUGALI, 1995). Além disto, o caos aparente da interação de bilhões de habitantes urbanos do planeta soma-se em padrões globais que trazem “assinaturas” de urbanidade, nas quais o caráter único de cada cidade está representado, assim como as características fundamentais que unem as cidades universalmente (BETTENCOURT, 2013).

²²No original “order we observe ‘emerges’ from actions and decisions where individuals and agents respond to their environment and each other, competitively and collaboratively from the bottom up.”

Alonso (1964) e posteriormente Anas (1978) exploraram estas formulações sobre renda da terra, relacionando o movimento migratório da ocupação da cidade com a perenidade do capital investido na forma urbana. Representavam, assim, fenômenos como esvaziamento das áreas centrais e degradação da forma construída baseados em crescimento por anéis concêntricos a um núcleo original. Wheaton (1982) introduziu a durabilidade do capital investido como elemento de inércia na renovação das áreas já edificadas. De forma geral, condicionava a reocupação das áreas urbanizadas à uma tensão entre custos de expansão para áreas não urbanizadas com aumento das distâncias e reurbanização das áreas construídas para aproveitar benefícios de localização.

A representação do espaço nestes modelos, no entanto, era extremamente esquemática, pois ele era considerado como um plano regular e isento de características que diferenciavam o resultado dos processos econômicos que sobre ele atuavam, chamado de plano isotrópico por Nystuen (1963). Ingram (1971), ao introduzir o conceito de acessibilidade como uma medida de relações de proximidade entre custos de transporte e planejamento urbano, também trouxe a descrição do espaço de forma discreta, por elementos euclidianos de linha, ponto e superfície.

A representação da ação social também era extremamente simplificada nestes modelos, reduzida a um conjunto de equações que traduziam as forças sociais em princípios universais de equilíbrio. O aumento da precisão destes modelos, portanto, acarretava crescente sofisticação da representação do espaço e sociedade nestas equações, acrescentando parâmetros, mas mantendo a abstração de formulações matemáticas universais. A dificuldade em tratar estas equações para representar as forças sociais ocasionava que, em nome da simplicidade, estes modelos prescindissem da representação de variações e contradições dos fenômenos espaciais e sociais.

Mesmo décadas depois, os chamados Grandes Modelos (WEGENER, 1994) ainda apresentavam dificuldades em lidar com a diversidade de características e processos que compunham o espaço urbano (LEE JR, 1973). Ao operar a partir do conceito de equilíbrio, estes modelos em grande parte eram baseados em equações diferenciais o que lhes impedia de considerar as qualidades específicas de cada cidade. Buscavam comportamentos prevalentes e universais a todo o sistema urbano e tinham dificuldade em adaptar-se a idiosincrasias locais ou a alterações a não-lineares no tempo e espaço. O aumento da velocidade e da diversidade dos processos de urbanização e a integração crescente desta com dinâmicas econômicas globais tornou a capacidade de descrição destes modelos cada vez menos precisa, diminuindo sua validade e abrindo espaço para outras técnicas (BATTY, 2007a).

As reações a estas abordagens abstratas já ocorriam desde os anos 1960 com as contribuições das vias críticas da geografia (SMITH, 1989). A oposição mais dura vinha especialmente das contribuições marxistas na forma da teoria do desenvolvimento geográfico desigual (WALKER, 1978; SOJA, 1980; HARVEY, 1989); das escolas da regulação e produção global (GIBSON; HORVATH, 1983); da divisão espacial do trabalho (MASSEY, 1979) e da teoria da localização do trabalho (STORPER; WALKER, 1983).

Mesmo tratando a princípio de sistemas econômicos na escala mundial, parte destas abordagens passava a integrar aspectos do sistema produtivo-econômico às realidades locais, visando aproximar as dinâmicas globais das realidades específicas de cada lugar. Produziram avanço fundamental ao incluir as periferias globais no interior dos sistemas produtivos, com papel específico e em grande parte complementar às economias centrais (STORPER; WALKER, 1983; SCOTT, 2000; DAVIS, 2006a), mas não conseguiram integrar a diversidade local em modelos teóricos robustos, mantendo uma dicotomia entre formulações sobre os sistemas globais e as particularidades de cada grupo social (SMITH, 1989).

A partir dos anos 1980, o legado incompleto deixado por estas abordagens passou a ser evidenciado (SOJA, 1980; SMITH, 1989) e as aproximações sistêmicas aos processos sociais urbanos passaram a sugerir uma síntese que integrasse a via baseada nos comportamentos sociais e suas particularidades com os processos espaciais, assim como suas dimensões materiais específicas (PORTUGALI, 2000).

Mais recentemente, a escala intraurbana das periferias também passou a receber esforços importantes para sua compreensão. A simulação de crescimento urbano interno e externo combinados têm oportunizado aproximações às periferias (POLIDORI et al., 2010), enquanto o estudo do fenômeno da periferização (BARROS, 2012) combina elementos das dinâmicas centro-periferia e permite avaliar as suas correlações com a formação de áreas de informalidade de modo a considerar possibilidades de substituição, expansão ou consolidação. Avaliações microeconômicas apontam na mesma direção (ABRAMO, 2007) e evidenciam os mecanismos socioeconômicos de coordenação dos mercados formal e informal com o território.

No âmbito mais geral, a simulação computacional baseada em espaço geográfico²³ tem trazido contribuições de campos heterogêneos através do papel central do território, vinculando elementos da ecologia da paisagem, da geografia pós-moderna e da geografia quantitativa para explorar a organização social da sociedade pós-industrial no espaço que ocupa. A reflexão neste sentido ocorre abrigo tanto processos dedutivos, de observação da realidade empírica e da teoria realizada sobre ela, quanto indutivos, questionando a inserção

²³ Que são articuladas conceitualmente como Geografia Global por Buzai (1999) e Geosimulação por Torrens (2012).

do conhecimento geográfico no contexto sociocultural contemporâneo (BUZAI, 1999). Apresentam-se possibilidades de articulação dos processos sociais com o território, incluindo a estruturação de métodos para aproximar as diversas escalas espaciais e temporais que envolvem.

2.3 MODELOS URBANOS DE AUTÔMATOS CELULARES

Para compreender as dinâmicas da cidade, os modelos que iniciaram como simples representações da realidade (em maquetes e estatísticas simples) avançaram, inicialmente, para modelos de interação de uso do solo e transporte (LUTI²⁴), com representações abstratas generalistas de processos urbanos baseados na distância e interação com a forma urbana. Posteriormente, progrediram para modelos dinâmicos, baseados em interações locais, como microssimulação (MM), dinâmica de sistemas (SDM), econometria espacial (SEM), autômatos celulares (AC) e modelos baseados em agentes (ABM).

Do grupo de modelos de dinâmicas, os AC têm papel especial para as aplicações urbanas (BATTY, 2012). Iniciam na computação teórica com a máquina universal de Turing, que estabelece os princípios da computação digital contemporânea na forma de um mecanismo capaz de gerar a si próprio, de modo a adequar-se para responder a qualquer problema. Os autômatos propostos são rotinas capazes de reproduzir outras rotinas tão complexas quanto elas próprias a partir de um conjunto de estados finitos definidos em um programa inicial. Sua aplicação iterativa permite computar qualquer problema possível, ao qual se adaptariam, na forma de ferramentas universais, que construiriam a si mesmas. Além das possibilidades matemáticas, seriam capazes da “criação” e mesmo de criatividade, aproximando os sistemas digitais da própria vida, num “substrato” feito de *software*. Esta geração da vida em meio digital aparece de forma bastante lógica: organizada a partir de suas partes mais elementares. Mesmo que ambiciosa, esta afirmação foi condizente com atmosfera científica dos anos 1930-1940 (BATTY et al., 1997).

A partir da contribuição de Stanislaw Ulam para o trabalho de Von Neumann (1966), Wolfram (1994) expandiu e consolidou os AC, propôs a sua estruturação a partir de cinco elementos básicos: a célula que um autômato ocupa, a vizinhança em que esta célula está inserida, o estado que assume, as regras de transição entre um estado e outro e o tempo no qual as regras ocorrem.

Torrens (2000) sistematizou as características dos AC para os sistemas urbanos:

²⁴ Conhecidos como modelos de *Landuse and Transportation Interaction*, em inglês.

- a) a célula constitui a unidade mais elementar do AC, abrigando a rotina e localizando-a, de modo que suas ações respondem ao contexto local em que estão inseridas;
- b) a vizinhança é o conjunto de células ao redor da célula em que o agente está localizado considerado para suas regras de transição. Nos AC básicos, em geral dividem-se entre vizinhanças de oito células (chamadas de vizinhanças de Moore) e de quatro células (de Von Neuman) (Figura 2.5), diversas podem ser compostas nos AC aplicados às dinâmicas urbanas; podem, por exemplo, representar os limites de determinados comportamentos, variando desde caminhos possíveis de percorrer, bacias hidrográficas, zonas de um determinado regramento, entre outros;

Figura 2.5 - Vizinhanças clássicas para os AC: a) vizinhança de Moore; b) vizinhança de Von Neumann



Fonte: Batty (1997).

- c) o estado que a célula assume representa um ou mais atributos que descreve. No Jogo da Vida de Conway, os estados possíveis consistiam apenas de vida ou morte, mas em aplicações urbanas pode representar usos do solo, atributos geográficos, ocupação, urbanização, etc. São definidos inicialmente e relacionam-se através das regras de transição;
- d) as regras de transição definem as alterações no estado da célula, dependendo de parâmetros e do comportamento da sua vizinhança e do próprio estado da célula. Têm efeito ao longo das iterações, podendo atuar em momentos variados para cada célula e compõem o elemento fundamental na utilização dos AC, já que definem as relações que ocorrerão no sistema celular;
- e) o tempo nos AC consiste em intervalos regulares, chamados de passos discretos de tempo e marcam a ocorrência das transições entre os estados das células. Nos AC elementares, todas as células realizam suas transições ao mesmo tempo, que são processadas em paralelo, mas adaptações têm sido realizadas para criar assincronias nas transições. Desta forma, se possibilita a

formação de sequências de ação e de difusão dos efeitos, nos quais uma ação posterior pode ser influenciada pelas anteriores numa mesma iteração;

Para os sistemas urbanos, sua importância reside em representar de forma dinâmica a emergência de padrões de ordem global com base em interações simples e locais. A partir de adaptações importantes dos métodos mais puros de AC, permitem simular dinamicamente os processos que ocorrem nas cidades. Essas alterações incluem aspectos do espaço representado pelas células, dos estados que podem assumir, das regras de transição a serem compostas e do tempo, no que compõe um caso especial dos AC em geral (TORRENS, 2000).

O espaço urbano, ao ser incluído em um AC deve ser “traduzido” para a representação em células. De modo geral, as células são quadradas, mas podem em casos mais raros também assumir outras formas. No entanto, aspecto fundamental é que os limites adotados para uma célula não corresponderão de forma exata aos limites de cada atributo da realidade. Isto indica um problema de falácia ecológica e da unidade de área modificável²⁵ em que diversas quantidades de atributos da realidade são representadas nas células do AC. Coloca-se, assim, um desafio importante para o modelador ao definir os métodos e procedimentos a adotar de modo que deem conta destas imprecisões ou de modo a realizar a integração de escalas menores à unidade mínima do sistema modelado, a célula.

Os estados que as células podem assumir, de modo geral, são bastante numerosos e as mesmas dinâmicas podem determinar o valor de diferentes “camadas” para a mesma célula. De forma semelhante a um SIG, em parte de uma cidade (representada pela área de uma célula em particular) podem conviver usos do solo, concentrações de população, fluxos de matéria, energia ou informação e todos esses atributos podem ser definidos através das regras de transição aplicadas à célula em questão.

O tempo deve ser definido de modo que os processos representados nos AC correspondam a unidades conhecidas. Como cada passo discreto que abriga uma transição de estado agrega uma quantidade finita e definida do tempo contínuo da realidade (SUDHIRA, 2004), deve ser estabelecida uma correlação adequada para os processos que se pretende representar. Para muitos modelos urbanos, os processos de mudança de uso do solo e alterações na forma urbana não têm relevância para períodos inferiores a um ano. O período total abrangido por um modelo também deve ser considerado. Ao se tratar de parcelas anuais de tempo, períodos de 50 anos acabam sendo usuais, mas existem variações que permitem adequar as representações a outros períodos. Deve-se observar, no entanto, que o acúmulo das interações entre as células de forma geral não provê resultados fidedignos à realidade com

²⁵ Chamado de “Modifiable areal unit problem” e “ecological fallacy” na literatura e no original (OPENSHAW, 1984).

poucos ciclos, devendo sedimentar a difusão dos efeitos das regras entre as células ao longo das repetições de forma a permitir a emergência dos padrões de ordem a partir das regras locais de interação e diminuir a dependência dos estados iniciais para os atributos representados (BATTY, 2005).

Nos AC urbanos, os processos de desenvolvimento das cidades ocorrem a partir de interação de células adjacentes em uma grelha (usualmente retangular) que mudam de estado através de regras simples, aplicadas repetidamente, sob perturbações estocásticas. Permitem simular acesso a diferentes oportunidades espaciais, adequação a tipos de ocupação e restrições físicas em iterações sequenciais ao longo do tempo. Assim, comportamentos bastante complexos, com características como ordem emergente a partir da auto-organização e auto semelhança através de diversas escalas, podem ser investigados a partir de sua base espacial mais elementar (BATTY, 2007a).

2.4 MODELOS BASEADOS EM AGENTES

Os modelos baseados em agentes (ABM) são um conjunto de técnicas de simulação baseado na desagregação, heterogeneidade e autonomia das entidades representadas. De forma geral, incluem a representação de indivíduos diversos com capacidade de movimentação, reatividade, comunicação e adaptação às dinâmicas do ambiente em que são inseridos e de outros agentes (HEPPENSTALL et al., 2012).

No entanto, não apresentam consenso sobre a delimitação exata do seu campo e têm sido aplicados em ampla gama de problemas com ênfase nas áreas de economia, ciências sociais, biologia e militar, estendendo-se, ainda, a temas diversos como políticas públicas, negócios, ecologia, fluxos, organizações e mercados, trânsito e mesmo processos abstratos de difusão de informação (BONABEAU, 2002; HEATH et al., 2009).

Alguns autores preferem não delimitar o campo por suas aplicações atuais, provendo uma definição mais ampla na forma de um paradigma promissor na modelagem de sociedades artificiais (EPSTEIN; AXTELL, 1996). De modo semelhante a outras técnicas de modelagem de processos emergentes, Epstein (1999) destaca que os ABM podem ser entendidos como laboratórios artificiais a partir dos quais estudar as dinâmicas dos sistemas geográficos e urbanos. O autor ressalta o ponto de vista generativo da técnica, que permite modelar a formação de regularidades a partir do comportamento de agentes racionalmente autônomos e extremamente desagregados.

De acordo com Epstein e Axtell (1996), os ABM são um conjunto de técnicas que se forma a partir de teorias e métodos como autômatos auto reproduzíveis (NEUMANN, VON; BURKS, 1966); da cibernética de Ashby (1956) e Wiener (1961); da ciência cognitiva

“conectivista” (RUMELHART; MCCLELLAND, 1986); da inteligência artificial distribuída (GASSER; HUNS, 1989); dos autômatos celulares (TOFFOLI; MARGOLUS, 1987; GUTOWITZ, 1991; WOLFRAM, 1994); algoritmos genéticos (HOLLAND, 1975); programação genética (KOZA, 1991); vida artificial (LANGTON, 1989; BROOKS; MAES, 1994); e da modelagem baseada em indivíduos na biologia (HAEFNER; CRIST, 1994).

Castle e Crooks (2012) aproximam os ABM também dos sistemas multi-agentes (MAS)²⁶ e da microssimulação (MM). Diferem os ABM principalmente pelo foco que dão para sociedades de agentes autônomos e aplicações nas ciências sociais enquanto os MAS e MM são voltados ao comportamento individual, aproximando suas dinâmicas do campo da inteligência artificial distribuída nas ciências exatas.

Para as Ciências Sociais, os modelos baseados em agentes representam uma atitude em relação à simulação do comportamento humano no nível dos indivíduos (BONABEAU, 2002). Eles permitem estruturar modelos de sistemas sociais através de seus componentes individuais (CASTLE; CROOKS, 2006) que podem ter características e comportamentos próprios na forma de atributos, motivação, objetivos, metas, conhecimento do ambiente e memória. Esta especificação de um perfil determinado para cada agente e sua ação propositada é parte fundamental da definição dos ABM (BATTY, 2012) e tem fomentado sua aplicação em ampla gama de problemas científicos.

2.4.1 Características dos modelos baseados em agentes

A autonomia talvez seja a característica que mais diferencia os agentes de outros tipos de modelos, uma vez que a partir dela cada entidade do modelo tem a possibilidade de ser especificada individualmente em tantas características quanto necessárias²⁷. Da mesma forma, as regras de interação dos agentes com o ambiente podem ser objeto desta “micro-especificação” (EPSTEIN, 1999), em que se estabelecem possibilidades de modelagem mais direta dos fenômenos sociais, potencialmente de todos os seus indivíduos e relações (mesmo que isto não seja necessário). Agentes podem ter objetivos particulares e metas que devem cumprir antes de atingir determinado estado ou alterar seu comportamento. Além disto, são capazes de “ler” o ambiente do modelo e as ações de outros agentes e, sem depender de regras centrais, podem tomar decisões em busca de objetivos ou seguindo preferências próprias (CASTLE; CROOKS, 2006; CROOKS; HEPPENSTALL, 2012).

²⁶ Conhecidos como Multi Agent Systems, em inglês.

²⁷ Atualmente ainda perduram limitações na capacidade de processamento dos computadores para indivíduos muito detalhados em interações complexas e numerosas.

A sua heterogeneidade tem relação direta com a característica anterior, uma vez que as diferenças entre atributos dos agentes os leva a diversos comportamentos e condições de interação. A composição do perfil de cada agente pode ocorrer com propriedades (ou atributos), valores pessoais (preferências e diretrizes de decisão), definição de papel a desempenhar, aspectos físicos, relação com informação, capacidade intrínseca de interferência e comportamento de tomada de decisão (GHORBANI et al., 2013).

A diferenciação pode ser expressa na forma de perfil de renda, capacidade de guardar memórias, rede de relações sociais, capacidade de ação no mercado de um empreendedor imobiliário, na velocidade ou distância que um agente é capaz de percorrer, no tempo segundo o qual suas ações ocorrem no modelo, ou no tamanho da vizinhança sobre a qual têm capacidade de ação. Estas características podem ser definidas desde o princípio da simulação, ou alterar-se dinamicamente (EPSTEIN, 2005), de acordo com os fenômenos a serem observados e simulados.

Deve-se observar, no entanto, que a representação de qualquer sistema em todas as suas características (de forma absoluta) prescindiria da modelagem, já que esta seria um espelho da realidade com pouca utilidade. A simplificação das características dos sistemas representados é parte essencial da modelagem e nos permite visão diferente sobre um fenômeno de forma a agregar capacidade de análise e a trazer à tona causalidades que não são percebidas intuitivamente (O'SULLIVAN et al., 2012). A possibilidade de desagregação das entidades modeladas não significa, por si própria, que se alcancem resultados mais precisos ou dinâmicas mais “complexas”. Pelo contrário, pode implicar investimento excessivo de esforço na criação dos agentes e na incapacidade de avaliar posteriormente os efeitos sistêmicos das ações de cada um (BATTY, 2012; O'SULLIVAN et al., 2012). Isto deve ser observado tanto no que tange à utilidade dos possíveis modelos baseados em agentes, quanto das suas vantagens em relação a outros métodos mais “parcimoniosos” de modelagem (EPSTEIN, 2005; CASTLE; CROOKS, 2006).

Benenson e Omer (2001) ressaltam a capacidade de agenciamento²⁸ como a característica definidora do campo dos ABM, em contraste com a aplicação de “equações de estado”. Destacam o foco dos ABM na modelagem de indivíduos em interação, atrelando os resultados do sistema nos seus níveis mais agregados a estimativas ou a mensuração da população de agentes simulados individualmente. Definem o agenciamento como:

Uma população de indivíduos tomadores de decisão adaptáveis, portando traços socioeconômicos, que interage e evolui no tempo, é modelada por meio de um programa computacional que simula o comportamento de cada agente. As dinâmicas do sistema são

²⁸ No original “agency”.

dadas pelo ‘comportamento coletivo’ dos agentes no espaço e tempo. As variáveis de estado são obtidas como estimativas [da] população.²⁹ (BENENSON; OMER, 2001, p. 1)

A atividade dos agentes significa que, de forma autônoma e a partir de características heterogêneas, são capazes de ação e influência no modelo simulado. Desta capacidade geral, destacam-se os temas da proatividade ou direcionamento por metas, que consiste no comportamento dos agentes de perseguir objetivos e metas dinamicamente e com critérios particulares, assim como prioridades individuais.

A reatividade ou percepção traduz-se na capacidade de compreender seu entorno ou contexto (conhecimento acumulado ou por medições de atributos) e responder a mudanças, podendo corrigir suas ações, por exemplo. Agentes apresentam racionalidade limitada, já que partem de conhecimento parcial sobre o sistema e têm alcance limitado no tempo e espaço para decisões discretas e adaptativas, ou seja, não têm conhecimento “onisciente” e devem decidir com o que sabem.

A comunicabilidade é a capacidade de interação com o ambiente e outros agentes (podem realizar seleções baseadas em atributos do ambiente, ou de agentes, procurando locais adequados para mover-se, ou comunicando-se apenas com agentes de mesmo status social, por exemplo).

A mobilidade se expressa na capacidade de deslocamento no ambiente de forma limitada e interativa, ou seja, podem ter um alcance determinado no espaço, relativo ou não a algum atrito do ambiente, competindo com outros agentes pela passagem, medindo distâncias, evitando colisões, por exemplo.

São capazes de adaptação e aprendizado, podendo alterar suas características ou comportamentos a partir de experiências prévias acumuladas. Também podem tomar decisões baseadas em “conhecimento” acumulado em experiências passadas, com possibilidades de análise heurística contínua e dinâmica. O aprendizado pode ser individual ou combinado entre agentes de um mesmo tipo ou que compartilhem determinado atributo. A relação de aprendizado pode ainda dar-se de forma bastante dinâmica com o ambiente, já que os ABM o medem e a ele reagem, respondendo às alterações, a partir do que se adaptam e aprendem. O ambiente do modelo é, no movimento contrário, formado a partir destas ações dos agentes após seu aprendizado, possibilitando a sua evolução em interação com os agentes que o povoam (BERNARD, 1999).

A representação do tempo dos modelos baseados em agentes ocorre, de forma geral, em tempo discreto e determinado, com unidades mínimas pequenas a ponto de aproximar-se

²⁹ No original “A population of adapting individual decision-makers, bearing socio-economic traits, who interact and evolve in time is modeled by means of a computer program that simulates the behavior of each individual agent. The system dynamics are given by the ‘collective behavior’ of the agents in space and in time. State variables are obtained as population estimates”.

de dinâmicas em tempo real. Os agentes, por outro lado podem atuar de forma síncrona ou assíncrona. A ação síncrona pode ocorrer em todos os ciclos do modelo³⁰ (quando agem a cada iteração), em intervalos regulares (quando respeitam um ritmo constante de ciclos), ou ainda variada entre os agentes, com alguns atuando em todas as iterações e outros em intervalos fixos, a depender exclusivamente das dinâmicas que se busca representar (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012). Cada agente pode, também, agir em condições únicas de tempo, com ação assíncrona em relação ao modelo. Essas ações podem ser fruto de ciclos variáveis, que dependam da superação de alguma meta, alteração de atributo do agente ou algum outro parâmetro sistêmico. Pode ser ainda determinada a partir da interação do agente com o ambiente ou outros agentes, segundo as ações ou mudança nos atributos.

Logicamente, estas relações com o tempo podem ser combinadas no modelo, com alguns agentes com ação síncrona (atualizações de valores, crescimentos orgânicos fixos ou variáveis segundo alguma função) e outros com ação assíncrona (promoção do crescimento após população alcançar algum limite, ação de competição com agentes que tenham determinado atributo e outras ações ponderadas por fatores ou parâmetros) (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012).

O espaço nos ABM usualmente é explicitamente modelado, de modo a compor a escala local com clareza (EPSTEIN, 2005). Stanilov (2012) destaca que para determinados agentes o espaço pode ser implícito no caso da sua localização não ser importante para o fenômeno em estudo. O autor também atribui aos ABM flexibilidade na representação explícita do espaço, uma vez que um agente pode ser estático (fixo em um local), situado dinamicamente, ou ajustar seu comportamento de acordo com certos parâmetros. Os agentes também podem interagir com o espaço de forma variada, podendo estar restritos a uma célula ou escala local (como um domicílio e sua célula de localização), ou se relacionar com atributos de mais de uma escala ao mesmo tempo³¹.

Em modelos de sistemas sociais, é comum encontrar agentes locados em espaços explícitos sobre os quais executam suas ações, interagindo com o ambiente ou outros agentes. Esta interação pode ocorrer em um sentido apenas (do agente para o ambiente ou vice-versa), como em modelos em que os agentes realizam a leitura do ambiente na busca por locais de moradia mas, de forma geral, ocorrem influências mútuas que geram retroalimentações importantes. Esta última condição é encontrada no modelo de Benenson (2004) de segregação em que a composição étnica é uma variável fundamental para os

³⁰ De acordo com o “relógio” global da simulação, a cada passo (*discrete time step*) do modelo.

³¹ Como exemplo, se sugerem os “locais de moradia” e “distritos eleitorais” de Patel e outros (2012a), descritos no item 2.4.5.

agentes e no modelo de favelização de Patel e outros (2012a), em que diversos atributos são interdependentes, incluindo densidade, renda das famílias e informalidade dos domicílios.

Em outros modelos, mais abstratos, o espaço não tem função central na interação e pode ser não explícito. Neste caso, as ações dos agentes podem ocorrer difusamente ou sem consideração sobre o espaço, restringindo-se a ações de agentes sobre outros agentes (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012; STANILOV, 2012). Este é o tipo de relação travada pelo estímulo financeiro a uma atividade produtiva de determinado agente, por exemplo, ou subsídio à moradia para um grupo de agentes de baixa renda realizado por agentes governamentais (PATEL et al., 2012a). A classificação da relação dos agentes com o espaço de O'Sullivan e outros (2012) pode auxiliar a explicar estas características, ao tratar os ABM como pedestres ou agentes móveis, residentes (como o modelo pioneiro de Schelling e outros que o seguiram ou complementaram (BENENSON, 2004; FEITOSA et al., 2012)), caçadores-coletores, fazendeiros/produtores ou incorporadores imobiliários ou agentes normativos.

Em grande parte dos modelos, os agentes estão locados em ambientes celulares que podem ter dinâmicas próprias modeladas na forma de autômatos. Nestes casos, podem ser representadas dinâmicas de interação ambiental em conjunto com (ou sob a influência de) dinâmicas de interação social. Outras aplicações híbridas também são propostas, como com microsimulação (BIRKIN; WU, 2012) e redes (ALAM; GELLER, 2012), por exemplo.

2.4.2 Vantagens

Para compreender a complexidade dos sistemas humanos, os modelos urbanos desde o princípio buscaram dar vazão à demanda por maior detalhe nas suas representações, buscando heterogeneidade e detalhes suficientes para realizar previsões. Em resposta à evolução das cidades e a partir das possibilidades que novas tecnologias da computação suscitaram, os modelos baseados em agentes puderam agregar aos modelos de sistemas humanos e geográficos capacidade de representação da sua riqueza e variedade em simulações altamente desagregadas e dinâmicas, que contrastam com métodos tradicionais anteriores baseados em representações agregadas e estáticas (BATTY, 2005; BATTY et al., 2012).

Para modelos geográficos e urbanos, os modelos baseados em agentes trazem vantagens ao permitir a captura de fenômenos emergentes. Quando assumem comportamentos contra intuitivos, fenômenos coletivos que se estruturam da base para o topo podem ser difíceis de perceber ou levar a conclusões equivocadas. Os modelos baseados em agentes explicitam mais as entidades em interação que os modelos anteriores. Estas entidades agem sob regras simples e geram comportamento coerente na escala coletiva, capturando a

emergência desde a base ao topo (BONABEAU, 2002). Isto é especialmente importante em processos em que há descontinuidades do comportamento individual (que impossibilitam ou desqualificam sua generalização), quando a heterogeneidade das entidades é relevante, quando a topologia das inter-relações é complexa e quando o comportamento dos agentes é igualmente complexo (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012), assim como quando o sistema apresenta dinâmicas fora do equilíbrio como transições de fase e fenômenos de inflexão³² (EPSTEIN, 2005).

Modelos com ABM também podem criar um ambiente mais natural para a investigação de certos sistemas, nos quais permitem a descrição mais ajustada a entidades reais (indivíduos ou pequenos grupos) que podem ser representados diretamente no modelo, apoiando-se em dados empíricos, especialmente quando são usados princípios da orientação a objetos (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012). Os ABM explicitam as entidades e tornam mais simples as regras de interação que definem o seu comportamento em múltiplas dimensões. Esta simplicidade aliada à especificação pode auxiliar na abordagem multidimensional de fenômenos sociais, uma vez que os agentes podem ser descritos em suas dimensões sociais, econômicas, políticas e genéticas, por exemplo. Essas dimensões podem ser apreendidas para descrever a sociedade (artificial) simulada, permitindo sua investigação por múltiplos olhares disciplinares (EPSTEIN, 1999).

A representação explícita das entidades em interação pode ser definida como a descrição de entidades heterogêneas, com parâmetros específicos, capazes de decisão e segundo comportamentos autônomos e auxilia a composição de laboratórios empírico-artificiais, ou seja, representações a partir de dados empíricos, mas que simulam artificialmente dinâmicas que não poderiam ser observadas na realidade (EPSTEIN; AXTELL, 1996). Isto é vantajoso nas situações em que o comportamento dos indivíduos não pode ser descrito de forma agregada, ou seja, nos casos em que há variação suficiente para que os indivíduos não possam ser apresentados de modo preciso através de médias ou medidas agregadas. São casos em que:

- a) o comportamento é complexo, não linear, sujeito a flutuações difíceis de reduzir a uma função específica;
- b) os sistemas são mais fáceis de descrever por suas atividades e não por seus processos, que podem conter elementos de interação desconhecidos; e,

³² No original "tipping phenomena".

- c) o comportamento dos agentes é definido estocasticamente, e se pode aplicar “pontos de aleatoriedade” estrategicamente, ao invés de arbitrariamente, como ocorre em equações agregadas (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012).

Os modelos baseados em agentes ainda agregam flexibilidade ao “encapsular” processos em subsistemas (que podem ser definidos como agentes, ou sub-rotinas), ao permitir estabelecer multiescalaridade num mesmo modelo e ao permitir ajuste com alto grau de controle da complexidade, nível de detalhe e agregação. Este controle pode tanto ser realizado experimentalmente ao longo do desenvolvimento do sistema (sendo útil à evolução e adequação dos modelos e à evolução da teoria e método), quanto ser implementado em múltiplos níveis num mesmo sistema³³.

Os modelos baseados em agentes acabam “[...] provendo um meio para a infusão de qualquer teoria e metodologia geográfica no interior do modelo.”³⁴ (CROOKS; HEPPENSTALL, 2012). De forma conceitual, permitem a dissociação da racionalidade dos indivíduos das tendências mais homogêneas e equilibradas que a visão na macro escala dos sistemas sugere. Assim, virtualmente separam a tomada de decisão de sujeitos sociais macroscópicos (EPSTEIN, 1999) através da “modelagem microscópica” de sistemas sociais (BONABEAU, 2002).

Sobre sua composição técnica, não se pode dizer que os ABM deixam de lado ferramentas tradicionais das ciências “duras”; ao contrário, aproximam destas com maior ajuste aos dados disponíveis sobre a realidade. Baseiam-se (e podem ser em última medida representados) em equações e funções plenas de lógica dedutiva, mesmo quando têm elementos de aleatoriedade, mas cedem parte de sua capacidade generalista em nome de ajuste empírico (EPSTEIN, 2005). Bernard (1999) estabelece uma comparação entre as vantagens dos modelos baseados em agentes com relação a técnicas mais tradicionais de modelagem (conforme Tabela 2.2). Várias destas características estão presentes em outros modelos generativos (como os AC, por exemplo), mas são definidas com maior naturalidade nos ABM.

Tabela 2.2 - Comparação entre principais atributos dos modelos tradicionais e ABM	
Modelos tradicionais	Modelos baseados em agentes
Determinista (um futuro)	Estocástico (múltiplos futuros)
Alocativo (topo-base)	Agregativo (base-topo)
Fórmulas baseadas em equações	Agentes adaptativos
Não fornecem explicações	Poder explicativo
Poucos parâmetros	Muitos parâmetros
Espacialmente grosseiro	Espacialmente explícito

³³ Podem também ser usados quando não se conhece o nível de desagregação adequado para se aproximar do modelo por partes.

³⁴ No original: “[...] providing a medium for the infusion of any geographic theory or methodology into the model.”

Ambiente dado	Ambiente criado
Reage-se a eles	Aprende-se com eles

Fonte: Bernard (1999).

2.4.3 Desvantagens, limitações e desafios para o desenvolvimento futuro dos ABM

A recente consolidação da modelagem com ABM trouxe revisões importantes ao campo com críticas às técnicas, plataformas e modelos implementados (GRIMM, 1999; HAMILL, 2010; BATTY et al., 2012; BIRKIN; WU, 2012; KRAVARI; BASSILIADES, 2015). Estas revisões apontam a necessidade de foco em alguns pontos chave para o desenvolvimento da técnica e para delimitar agendas possíveis de pesquisa para o avanço do campo de pesquisa (BATTY et al., 2007; EVANS, 2012; NGO; SEE, 2012; O'SULLIVAN et al., 2012; STANILOV, 2012).

Assim como ocorre com outras técnicas de modelagem, a pesquisa com ABM necessita de avanços importantes nos métodos de calibração e validação para o desenvolvimento do seu potencial como ferramental metodológico e teórico central para diversos campos da ciência. O ajuste da precisão que os ABM podem ter com sua capacidade de responder a questões efetivas deve ser considerado, assim como o equilíbrio entre as demandas de dados que colocam e a sua capacidade de resposta.

Deve-se observar ainda que as entidades sociais representadas por agentes precisam ser definidas com cuidado de forma a regular a proporção entre a complexidade que os agentes adicionam ao modelo e os benefícios que oferecem (O'SULLIVAN et al., 2012), de forma a não alternar entre problema social complexo por um problema de modelagem complicado (COUCLELIS, 2001), substituindo a complexidade pela perplexidade (HORGAN, 1995; O'SULLIVAN; TORRENS, 2000). A definição do grau de abstração do modelo, portanto, demanda um conhecimento prévio muito grande, assim como a descrição minuciosa das entidades modeladas determina desafios para a validação e calibração da simulação e gera grande demanda sobre a capacidade de processamento dos computadores (EPSTEIN, 2005; BATTY, 2012).

De maneira complementar, a demanda por dados e por conhecimento sobre processos também são maiores nos ABM. É usual inexistir dados em detalhe adequado sobre os atributos dos agentes, assim como sobre o comportamento que assumem entre si e com o ambiente (O'SULLIVAN et al., 2012) e mesmo o conhecimento teórico necessário para embasar o modelo em muitos casos não existe ou não é suficiente (COUCLELIS, 2001). Também se observa que dificuldade em obter informação suficiente para calibrar e validar os modelos (NGO; SEE, 2012), assim como é desafiadora a verificação dos resultados, já que a complexidade das relações modeladas pode ocultar o caminho pelo qual se chega aos

resultados (COUCLELIS, 2001), ocasionando tanto resultados errôneos a partir de processos aparentemente válidos, quanto seu inverso, em resultados verossímeis a partir de simulações claramente equivocadas.

Como consideração, pode-se sugerir que a validade dos ABM demanda que a explicação acerca dos fenômenos modelados seja suficiente dependente da complexidade dos processos para que se justifique a complicada simulação generativa de um ABM. Sua eficiência também deve ser pesada em relação a modelos matemáticos mais conhecidos e generalistas e, de modo similar, também deve ser verificada a superioridade da explicação generativa ante as demonstrações dedutivas e indutivas mais conhecidas (EPSTEIN, 2005).

No caso do problema real ser suficiente para demandar uma simulação por seus componentes individuais e estes serem conhecidos em nível adequado, deve-se, ainda, observar os sete desafios propostos por Batty e outros (2007) para a composição de ABM, que permanecem extremamente pertinentes. Os autores elencam a justificativa para o uso de um ABM, indicando que o propósito do modelo deve ser adequado, assim como a proporção de teoria independente para explicar os fenômenos modelados. Ressaltam que, na construção do modelo, deve-se observar se ele pode ser replicado e testado em outras condições, assim como outras maneiras de verificá-lo, validá-lo e para cada aplicação realizar sua calibração, além de verificar se as dinâmicas sobre as quais se busca informação estão representadas adequadamente. Finalmente, no que se tange a aplicação do modelo, destacam a sua operacionalidade a partir da dependência de softwares, capacidade de processamento ou conhecimento prévio por parte dos possíveis usuários; além da possibilidade de ser compartilhado com outros pesquisadores e interessados com clareza teórica, metodológica e lógico-matemática (BATTY et al., 2007).

Para o desenvolvimento futuro dos ABM se apresentam considerações de fundo teórico e metodológico. Em primeiro lugar, os ABM demandam o desenvolvimento de métodos e conceitos, inclusive filosóficos, que lhes diferenciem de outras abordagens e permitam compreender seu real potencial para as ciências sociais e geográficas (EPSTEIN; AXTELL, 1996; BONABEAU, 2002; MACAL; NORTH, 2010). O paradigma que inauguram com a modelagem na escala individual (ou em múltiplas escalas) e com a tomada de decisão desagregada ainda apresenta mais possibilidades que certezas.

Enquanto método de modelagem, a versatilidade que os ABM permitem na simulação de sistemas complexos também sugere que podem se tornar um tipo de modelo-padrão para sistemas complexos, ainda mais se houver a consolidação de *frameworks* validação, plataformas de desenvolvimento padronizadas e outros recursos metodológicos que atualmente se desenvolvem com intensidade (CROOKS, 2007; FEITOSA et al., 2011; ABDOLU et al., 2012; BATTY, 2012). Apresentam, também, possibilidade de conciliação de questões de

escala, agregação e autonomia, já que podem ser construídos em desenhos modulares de forma natural.

Outra possibilidade de desenvolvimento do método está em costurar abordagens mais “duras” com um novo tipo de empirismo baseado na experimentação e simulação ao possibilitar a implantação de modelos matemáticos em simulações bastante precisas do real. Desta forma, movem-se com facilidade entre a representação dos fenômenos e generalizações deduzidas a partir de processos generativos (EPSTEIN, 2005). Através destes expedientes, os ABM têm também a possibilidade de evoluir seu comportamento incorporando, em modelos mais sofisticados, técnicas de aprendizado que incrementam muito suas possibilidades de adaptação e desenvolvimento (BONABEAU, 2002).

2.4.4 Parametrização, calibração e validação de modelos baseados em agentes

A apresentação de qualquer modelo depende da clareza na exposição da sua motivação, dos objetivos que pretende atingir e da vinculação com a realidade de forma a permitir a avaliação da validade dos resultados a que chega. No caso dos ABM, diversos autores têm se dedicado ao tema, que é um dos desafios mais importantes ao passo em que as dinâmicas modeladas se tornam mais complexas e são muitas vezes inacessíveis por outros métodos (GRIMM et al., 2006, 2010; BATTY et al., 2007; EPSTEIN, 2008; SMAJGL; BARRETEAU, 2014)

Smajgl e Barreteau (2014) produziram recentemente uma revisão de ABM aplicados a fenômenos empíricos e propuseram sistematização de métodos e procedimentos para realizar a caracterização e parametrização de modelos baseados em agentes de base empírica. Os autores propõem caminho estruturado para a parametrização dos ABM empíricos na forma de uma árvore decisória. Nesta árvore, os condicionantes a acesso de dados, a realização de pesquisa e mesmo o conhecimento teórico sobre o problema a ser pesquisado são considerados e as decisões são orientadas de forma a evitar falsas suposições que levariam a resultados errados ou aparentemente certos, mesmo que erroneamente concebidos. A estrutura proposta tem duas etapas, a de caracterização, composta por uma descrição completa do modelo e a de parametrização, composta por um sistema decisório vinculado às características do fenômeno estudado e à disponibilidade de dados sobre ele.

A caracterização visa expor os “contornos e interfaces” (SMAJGL; BARRETEAU, 2014, p. 2) do modelo. Inclui a sua definição geral, desde seus objetivos iniciais, seu problema de pesquisa, a formulação de hipóteses e métodos para responder a estas questões. Ela pode ser realizada através de um protocolo, como o *Overview, Design concepts, Details* (ODD) de Grimm e outros (2006, 2010) que ao mesmo tempo descreve os resultados e a estrutura do

modelo composto. Deve partir da questão de pesquisa do modelo que traz, a partir do conhecimento empírico e teórico sobre um determinado problema, a questão que o modelo quer responder ou o que o modelo tenta capturar. A partir desta questão inicial e pouco formal, pode ser realizada a descrição do modelo que inclui o elenco das suas entidades e dinâmicas. Uma vez que se trata de um modelo computacional, deve permitir conhecer como se transformam os dados de *input* em um conjunto de dados de *output* a partir de um conjunto de parâmetros e processos específicos.

A parametrização visa vincular o modelo à realidade que representa (ou à abstração no caso de modelos que não sejam empíricos) e busca integrar fontes de informação sobre o sistema representado aos processos modelados. Para obter os dados, pode-se utilizar de categorização da população simulada, especialmente em abordagens *fuzzy* ou qualitativas. A parametrização deve permitir a compreensão da estrutura da população do sistema alvo de forma que se possa realizar a generalização das informações obtidas a partir dos agentes para o sistema real representado, permitindo o rebatimento da simulação para o fenômeno de referência. Finalmente, os dados utilizados devem apoiar a construção de indicadores entre o sistema de referência e a simulação, que podem se usados para compreender os próprios parâmetros, assim como realizar a calibração do modelo que é o estágio seguinte à parametrização (SMAJGL; BARRETEAU, 2014).

Os autores propõem a Estrutura de Caracterização e Parametrização³⁵ (CAP) que compõe uma sequência de decisões sobre o fenômeno observado e fontes de informação à disposição. Eles tipificam combinações destas relações e sugerem dezesseis categorias de problemas de parametrização, a partir das quais orientam a obtenção de dados e formulação dos parâmetros de comportamento e atributos da população de agentes representados de forma a potencializar a validade e robustez do modelo. Dentre os métodos à disposição para caracterização de agentes em atributos e parâmetros de comportamento os autores incluem, em ordem de qualidade de representação do sistema de referência: a) observação participante; b) questionários; c) entrevistas; d) *knowledge engineering methods* (como oficinas, grupos de foco, entrevistas e outros); e) grupos de foco; f) conhecimento de especialistas; g) dados censitários; h) experimentos de campo ou laboratório; i) jogos de representação de papeis; j) análise de agrupamento (*cluster analysis*); l) mapeamento dasimétrico ; m) método de Monte Carlo; n) métodos de regressão; o) *proxys* (uso de informação de sistemas semelhantes para os do problema).

Após a parametrização do modelo, o próximo passo a realizar é a calibração. Ela consiste no processo iterativo de ajuste dos parâmetros do modelo de forma que corresponda

³⁵ No original Characterisation and Parameterisation) Framework.

ao sistema de referência simulado. Visa aproximar seus resultados de observações realizadas em comparações quantitativas e qualitativas entre dois períodos anteriores conhecidos, no qual se utiliza o primeiro como fonte de dados e se realiza a calibração para alcançar o segundo período com precisão adequada para atestar a capacidade de resposta do modelo às variações dos parâmetros utilizados (TORRENS, 2011).

A validação de um modelo baseado em agentes consiste em verificar se seus resultados são robustos e válidos de forma a assistir na compreensão do fenômeno estudado. Ela pode ser definida como interna, quanto as lógicas do modelo, como externa, quanto aos resultados, sendo que os modelos mais robustos são aqueles que atingem plenamente ambas (O'SULLIVAN et al., 2012).

De forma mais específica, a validade de um ABM pode ser percebida quando o modelo:

a) produzir resultados capazes de representar fenômenos da realidade (validação por replicação); b) ajudar a prever comportamento que não pode ser observado, tanto por antecipação temporal, quanto pela simulação de construções teóricas (validação preditiva); ou c) reproduzir tanto do comportamento do sistema observado, quanto o modo como o sistema opera para chegar neste comportamento (validação estrutural) (NGO; SEE, 2012).

Ngo e See definem a validação estrutural através de quatro processos:

- a) validação de “face”, que é a verificação do modelo ante a similaridade com o sistema de referência pela observação de *outputs* gráficos animados do sistema ou de indivíduos, do monitoramento de amostra de indivíduos do sistema e dos resultados da simulação, atestando se estão dentro de faixas aceitáveis para a referência;
- b) análise de sensibilidade, que é a verificação do efeito dos parâmetros no modelo, seja em comportamentos particulares ou nos resultados agregados; atesta se os parâmetros são adequados para a descrição do sistema de referência;
- c) calibração, que é a identificação de valores para os parâmetros de forma ajustar a simulação ao sistema de referência; pode ser entendida como o ajuste fino dos parâmetros, uma vez que a parametrização já foi realizada e a análise de sensibilidade já selecionou os parâmetros mais relevantes; e, finalmente,
- d) validação dos resultados, que consiste na comparação dos resultados com dados do sistema de referência de forma a confirmar que os ajustes da calibração são suficientemente precisos para reproduzir o fenômeno observado.

Existe discussão sobre os métodos a serem empregados, mas esforços recentes têm buscado sistematizar processos e métodos especialmente de forma a permitir a comparação de modelos e resultados, o que se entende que levaria a evolução da técnica. Além disto, a consolidação de métodos fomentaria a aceitação do conhecimento teórico desenvolvido a partir de experimentos de ABM, o que é aspecto fundamental para o seu desenvolvimento e aceitação (HEATH et al., 2009; NGO; SEE, 2012; O'SULLIVAN et al., 2012), além de permitir sua generalização como novo método científico, como propõe Epstein (2005), entre outros.

2.4.5 Aplicações de modelos baseados em agentes para dinâmicas de alocação, localização de pobreza e periferias

Recentemente, tem se ampliado o desenvolvimento de ABM para estudar os temas da pobreza, da formação de periferias e tomada de decisão em processos de alocação populacional na forma urbana. A partir de investigações de crescimento urbano, dinâmicas de *sprawl* e periferização, os ABM têm permitido investigação específica da pobreza e os processos responsáveis pela diferenciação drástica da forma urbana em áreas de favela ou informalidade. Além disto, a mobilidade dos ABM tem apoiado investigações sobre alocação de populações urbanas, além de expulsão e permanência em processos conflituosos. Os modelos analisados a seguir visam contribuir com o panorama geral delineado anteriormente, aproximando-se do tema específico desta investigação.

Barros (2003, 2004, 2012) desenvolveu modelo baseados em agentes para descrever os processos de formação de periferias pobres nas cidades da América Latina através do processo que chamou de “periferização” formado por três fases: expansão da forma urbana com fragmentação; consolidação dos vazios através de preenchimentos oportunista; e possibilidade de “recontextualização” na estrutura urbana das áreas pobres ao serem ocupadas por rendas maiores, enquanto novos assentamentos pobres são gerados em locais mais afastados.

O modelo baseia-se em duas dinâmicas principais: oportunidades espaciais uniformes para os agentes, ou seja, todos querem estar próximos dos locais onde se localizam os serviços e comércio, que no modelo são localizados junto às áreas de renda mais alta; e a hierarquização da capacidade de exercício das oportunidades espaciais de acordo com a renda de cada grupo de forma que a alta renda escolhe primeiro, em seguida a média e por último a baixa. Além disto, os agentes de mais alta renda podem expulsar os de mais baixa que são forçados a buscar outros locais para assentar-se, mesmo que seja através da expansão da forma urbana. Para explorar esta dinâmica, os assentamentos informais ainda podem garantir sua permanência durante as iterações ao ponto de solidificar sua permanência. Apesar de

limitar as interações entre agentes e ambiente, o resultado das simulações representa com certa precisão um,

[...] padrão emergente de segregação caracterizado pelas diferenças gritantes entre núcleo e periferia, que são consolidadas como o padrão espacial das residências nas cidades latino-americanas. A perpetuação de tanto o processo quanto o padrão espacial reforça a desigualdade social, que era a sua causa em primeiro lugar, funcionando como um ciclo vicioso.³⁶(BARROS, 2003).

Shoko e Smit (2013) realizaram experimentos sobre as dinâmicas de formação de favelas, especificamente. Relacionaram a formação de favelas a aspectos demográficos e econômicos da urbanização na forma da constituição, crescimento e desenvolvimento da cidade segundo o perfil demográfico da população (renda, escolaridade, estrutura familiar) e atributos presentes na urbanização (proximidade a estradas distribuídas hierarquicamente e contiguidade da ocupação). Estruturaram o experimento em três modelos que são processados em paralelo e informam uns aos outros. O primeiro deles pode ser chamado de modelo de classes; é estático, define as características e agrupamentos de agentes; o modelo de comportamento é relacional, ou seja, define as regras entre os agentes, a sua memória, as ações e o processo de tomada de decisões; finalmente, há o modelo de interação, que é plenamente dinâmico e define a sequência em que os eventos ocorrem e a duração para as ações.

Patel, Crooks e Koizumi (2012a) propõem um experimento com ABM que se utiliza de interações entre agentes e dos agentes com o ambiente, chamado de *Slumulation*. O modelo se articula ao redor da representação explícita do espaço; da ideia que as favelas são resultado de interação homem-ambiente; da noção de que famílias tomam decisões individualmente sobre localização; e, que o governo local pode ter influência sobre todos os processos ao promover a consolidação das favelas ou buscar erradicá-las.

São propostas três classes de agentes para descrever a formação e evolução de assentamentos de baixa renda: famílias, que ocupam os imóveis existentes e são diferenciados entre si a partir da sua renda, podendo tomar medidas como compartilhar uma moradia com outro domicílio (densificar) ou mudar-se em busca de outro local (atuação agente-ambiente); desenvolvedores urbanos, que criam novas moradias através da expansão urbana ou remodelam moradias existentes para aumentar sua densidade através da qualificação das estruturas e infraestruturas (atuação agente-ambiente); e, políticos, que intermediam o

³⁶ No original: “[...] an emergent pattern of spatial segregation characterised by stark differences between core and periphery, which is consolidated as the residential spatial pattern of Latin American cities. The perpetuations of both process and spatial pattern reinforce the social inequality, which was their cause in the first place, working as a vicious cycle.”

processo de decisão dos domicílios, ao subsidiar o preço dos imóveis ou dificultar a expulsão de domicílios pobres em troca de votos (atuação agente-agente) (PATEL et al., 2012a).

Além de inovar na questão das interações entre agentes, os autores dispõem de duas escalas para as ações dos agentes: enquanto famílias e desenvolvedores urbanos atuam nos chamados “locais de moradia”³⁷, os agentes políticos atuam nos “distritos eleitorais”³⁸. Nos locais de moradia, atua um percentual (determinado por uma constante) de formalidade, que influi como dinâmica institucional, uma vez que no modelo a mobilidade social dos agentes pobres depende de sua inclusão na formalidade (sendo menor nos locais informais). Além disto, são incluídas dinâmicas não espaciais, como crescimento econômico, crescimento populacional orgânico e migração, que alteram o valor do solo e o número de domicílios envolvidos com o tempo. Estas poderiam ser consideradas como tendo atuação ambiente-ambiente, assim como é a variação dos preços do solo de acordo com a proporção de domicílios de favela em determinado setor. Mesmo sendo um modelo em estágio de desenvolvimento inicial, apresenta um grande número de comportamentos individuais e agregados, que buscam descrever fenômenos empíricos com alto grau de complexidade (PATEL et al., 2012a).

Adicionalmente, Jordan e outros (2012) implementaram um ABM para simular dinâmicas de mercado residencial, focando especificamente nos aspectos de mobilidade residencial, escolha de localização e regeneração urbana. Apontam o papel que os ciclos familiares desempenham na formação da demanda por moradia, ao compor novos domicílios a partir dos existentes com a chegada a idade adulta dos filhos num primeiro momento e o crescente número de separações e divórcios que tem impactado as dinâmicas demográficas. Vinculam a evolução da composição familiar ao avanço etário das famílias, com foco na formação de novos domicílios para membros de 18 a 30 anos destas.

Quanto à escolha residencial, colocam como fator principal de determinação de novas localizações o orçamento familiar, que deve equilibrar elementos de qualidade da moradia com sua localização. A qualidade da moradia depende de fatores como tipologia arquitetônica (casa geminada ou isolada, casa com varanda, apartamento ou quitinete, tamanho (número de cômodos) e condição de propriedade (disponível para aluguel junto à entidade pública, privada ou a venda). A qualidade da localização é obtida através de uma classificação dos bairros da cidade que inclui composição étnica, disponibilidade de facilidades públicas (áreas verdes, escolas, etc), um índice de vulnerabilidade social e acesso dos agentes através do sistema de mobilidade (JORDAN et al., 2012).

³⁷ No original: “housing sites”.

³⁸ No original: “electoral wards”.

A tomada de decisão e movimentação dos agentes é determinada por sete passos em sequência. Eles iniciam pela seleção de bairros etnicamente aceitáveis³⁹; de oportunidades de moradia nos bairros conhecidos; de moradias com tamanho adequado; de áreas próximas a escolas e pela a classificação das opções disponíveis de acordo com a qualidade e status socioeconômico do bairro para, finalmente, verificação do acesso por transporte público. A escolha é determinada por um ordenamento das opções disponíveis segundo pesos atribuídos por cada família a cada um dos atributos (JORDAN et al., 2012).

Benenson e Omer (2001) retomam o tema da segregação étnica para introduzir uma medida de “dissonância” semelhante à desenvolvida por Portugali, Benenson e Omer (1997). Para os autores, a relação étnica para as cidades de Israel não é tão dual quanto no modelo Schelling (1971), apesar da motivação inicial da migração dos agentes ser similar: a de residir junto aos semelhantes etnicamente. Eles modelam uma função de probabilidade para a decisão cada agente migrar internamente, dependente medida de “Dissonância”, que é a diferença entre as características étnicas do local em que está locado e aquelas do agente multiplicadas por uma variável probabilística.

A aplicação do modelo para a região de Yaffo, cidade próxima a Tel-Aviv, em Israel, resulta numa maior aceitação das diferenças do que o esperado inicialmente e coloca importantes considerações sobre a modelagem de processos de escolha e migração. Os autores comentam que a robustez dos resultados se deu pela interação entre preferências pré-definidas (no relacionamento dos agentes com as etnias aceitáveis) e o modelo probabilístico (BENENSON; OMER, 2001).

³⁹ Baseada em dinâmicas como do modelo de Schelling (1971).

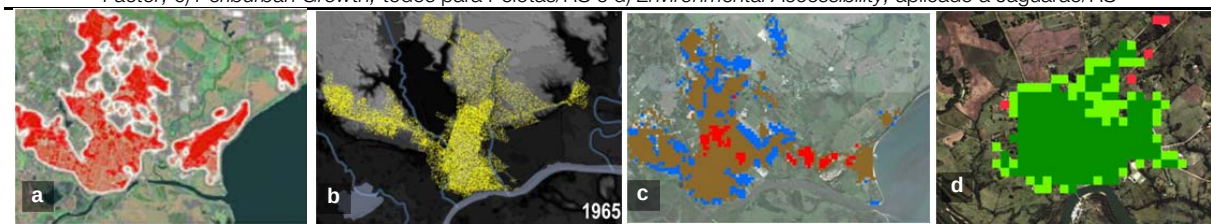
2.5 CRESCIMENTO URBANO NO FRAMEWORK CITYCELL

A construção do modelo nos moldes propostos neste trabalho se apoia em pesquisas realizadas pelo Laboratório de Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas que vem estudando o crescimento urbano e as periferias a partir do simulador CityCell. As pesquisas consistem no desenvolvimento de uma série de modelos de crescimento urbano vinculados a diferentes fenômenos da urbanização em uma plataforma de simulação computacional desenvolvida desde 2004.

As pesquisas realizadas remetem aos estudos da morfologia urbana como base para relações sociais conforme a Sintaxe Espacial de Hillier e Hanson (1984) e derivam das investigações de Krafta (1994) sobre a medida de Centralidade. Distinguem-se destas tradições a partir dos esforços de Polidori (2004), que implanta o Simulador do Ambiente de Cidade (SACI) baseado em autômatos celulares, teoria dos grafos e geotecnologias para simular o crescimento urbano associado a relações com a paisagem natural. Mais recentemente, a plataforma evolui com o desenvolvimento do *software* CityCell por Saraiva e Polidori (2013), que compõe uma estrutura modular (*framework*) de modelagem de crescimento urbano. Inicialmente, esta estrutura é construída a partir dos modelos de Potencial-Centralidade de Polidori (2004) e é orientada a permitir tanto aplicações a diferentes cidades (através das possibilidades de parametrização dos modelos), quanto ao desenvolvimento de outros modelos. A versão mais recente (4.2 Curupira) apresenta capacidades de importação de dados geográficos, de edição e cálculo de camadas *raster*, exportação em formatos de imagem e tabelas, assim como análise de resultados por comparação de *grids*.

A plataforma, hoje, abriga seis modelos que foram dedicados a investigar o crescimento das cidades, especialmente a expansão externa da urbanização, como demonstra a Figura 2.3. Por sua tradição morfológica, utilizam-se de dados do ambiente físico de um dado momento para simular a urbanização nos momentos seguintes. Entendem, para tanto, que a forma urbana de um determinado tempo é resultado das relações sociais travadas até ali e carrega certos padrões que podem ser estudados para compreender melhor as próprias relações sociais que são plasmadas na forma da cidade. Tal como na arqueologia, buscam na análise da urbanização os fragmentos de processos sociais que revelam relações econômicas e sociais em articulação com o ambiente, tratando de questões como valorização da urbanização, procura por oportunidades de lucro no crescimento urbano, relações com o ambiente natural formado pelo solo, cobertura vegetal, hidrografia e geomorfologia, além de se debruçar sobre vinculação de classes socioeconômicas com a paisagem.

Figura 2.3 – Exemplos de aplicações dos modelos desenvolvidos no ambiente CityCell: a) *Threshold Reload*; b) *WaterLand Factor*; c) *Periburban Growth*; todos para Pelotas/RS e d) *Environmental Accessibility*, aplicado a Jaguarão/RS



Fonte: Polidori (2004), Peres (2010), Toralles (2013) e Saraiva (2013).

O trabalho de Polidori (2004) funda a ferramenta com base em grafos, autômatos celulares e geotecnologias e propõe uma série de modelos que abre um leque com grande número de possibilidades de explorações sobre o crescimento urbano. O autor se detém em algumas, especialmente no que se refere à integração de atributos do ambiente natural na teoria da urbanização, transitando entre aspectos dos modelos de interação espacial⁴⁰, tais como a difusão do crescimento de forma polar, axial ou difusa e a diferenciação espacial como motor do crescimento; e métodos da ecologia da paisagem, tais como a atribuição de papel ativo à paisagem natural no processo de urbanização, assim como o conceito de resistência mínima acumulada. Por outro lado, deixa indicada uma ampla gama de possibilidades para desdobramentos futuros, sendo que muitas permanecem como desafios para a pesquisa atual, entre as quais está o desenvolvimento de abordagens apropriadas às bordas urbanas, sua morfologia e o estudo dos processos sociais envolvidos.

O trabalho de Peres (2010) parte das bases do modelo de Polidori para investigar em detalhe o papel dos recursos hídricos na urbanização. A partir de uma abordagem da historiografia, remonta os processos de crescimento de Pelotas/RS desde seus assentamentos iniciais em 1835 para compreender a influência dos arroios Santa Barbara, São Gonçalo e Pepino no seu padrão espacial moderno. Verifica a existência de mecanismos de alternância de modos de difusão do crescimento desde padrões concêntricos para padrões axiais e posteriormente difusos que são ativados pela proximidade da urbanização das áreas ao redor dos corpos d'água.

A pesquisa de Toralles (2013) também é baseada no modelo de Polidori e se volta à borda urbana para detalhar os mecanismos de produção de urbanização difusa, diferenciando entre mecanismos da urbanização formal e informal. Observa a formação de dois padrões espaciais difusos, um formado por ocupações de maior escala, chamado de urbanizações fechadas, vinculado à alta renda e à presença de infraestrutura e qualidade da urbanização; outro, formado por parcelas menores, produzidas através de dinâmicas de vizinhança,

⁴⁰ Especialmente o de Centralidade de Krafta (1994).

chamadas de periferização, vinculadas a rendas baixas, à ausência de infraestrutura e presença de resistências ambientais.

Estes modelos alcançam resultados válidos para as cidades da região sul do Rio Grande do Sul, revelando o papel de forças sociais, econômicas e ambientais nos processos de produção destas cidades. Também criam uma base de simulação de dinâmicas urbanas de crescimento, com ênfase no crescimento interno e externo combinados, se voltando às bordas da urbanização. Como base a esta investigação, cabe ressaltar esta atenção às bordas e as indicações teóricas e metodológicas que fomentam no estudo das interfaces entre urbano e seu entorno (natural ou rural). Além disso, o desenvolvimento atual das ferramentas e os experimentos realizados permitem compreender alguns limites técnicos e teóricos que pode-se buscar expandir.

Pode-se entender, portanto, os modelos implementados como uma série de estudos com autômatos celulares que pode ser ampliada com as técnicas de modelagem por agentes. Uma vez que a representação espacial dos modelos é bastante precisa, permitindo simulação de dinâmicas ricas em detalhes, sugerem-se possibilidades de exploração da representação da sociedade urbana. Nestes modelos não há atores sociais explícitos e a representação de sociedade ocorre de homogeneamente, de modo implícito nas características da forma urbana. A sociedade urbana não é visível nos modelos, que a incluem indiretamente nas dinâmicas celulares de interação espacial. Estabelece-se assim uma homogeneidade total da representação de sociedade, que por não estar representada (mas intuída na forma urbana), não pode ser diferenciada em parâmetros ou comportamentos.

O comportamento social único implícito nestes modelos traz consigo o achatamento das características da população das cidades ao redor de um perfil médio, o que não se comprova na realidade observada e ainda impede a representação de processos contraditórios e competitivos de interação social entre grupos ou indivíduos. Esta homogeneidade na representação social guarda certo paralelo à representação do espaço no plano isotrópico, uma vez que sem a diferenciação das entidades sociais, se assume que suas diferenças não sejam expressivas para os processos urbanos ao ponto de poder ser excluída do rol de variáveis analisado. Pode-se ver que o plano isotrópico rapidamente mostrou-se excludente de aspectos fundamentais para as dinâmicas urbanas e questiona-se se o mesmo não se aplica, ao menos para certos fenômenos, no que se refere à representação social. Além disso, nota-se que os resultados das simulações destes modelos não permitem observar independentemente os impactos dos mecanismos modelados em grupos sociais distintos, a não ser pela vinculação direta, como propõe Toralles, de perfis sociais a padrões morfológicos.

Essa simplificação se torna problemática quando consideramos a diversidade de atores sociais envolvidos nos processos de produção e ocupação da forma urbana periférica

descritos na revisão bibliográfica do presente trabalho. A reflexão da seção 2.1 apontou que diferenças nos perfis sociais da população como acesso à informação, poder, racionalidades e relação com o risco das decisões impactam a capacidade de ocupação dos espaços urbanos produzidos, o que por sua vez influi na sua valorização e na oferta de novos espaços. Segundo estas observações, a representação heterogênea da sociedade urbana teria impacto na compreensão dos efeitos sociais do crescimento urbano, assim como na constituição do crescimento das cidades enquanto processo social. Além disso, se percebem diferenças e contradições nas relações entre os atores da urbanização uma vez que grupos sociais e indivíduos assumem papéis diversos, contraditórios, competitivos ou colaborativos na produção da cidade, buscando otimização, agindo estrategicamente ou perseguindo objetivos, o que não pode ser representado nos modelos existentes na plataforma.

Outro aspecto a destacar dos modelos existentes é que as relações entre sociedade e ambiente não são diferenciadas, enquanto que a revisão apontou que a produção da urbanização pode ser vista através de três vetores de causalidade: a) ambiente-ambiente, quando características da urbanização, naturais ou de normativo-culturais influem diretamente nos processos sociais agregados; b) ambiente-agentes, quando o ambiente é substrato para ação de entidades sociais ou quando se percebe resultados das ações sociais no ambiente de forma clara e direta; ou c) agentes-agentes, quando as relações se dão entre grupos ou indivíduos com diferentes características.

Esta decomposição dos processos de produção da cidade, no entanto, não ignora a vinculação de todas estas esferas de relacionamento ou mesmo a inter-determinação de seus resultados agregados, mas busca ampliar a capacidade de reflexão ao expor seus componentes internos em categorias analíticas mais ricas e diversas.

Sugere-se, assim, que o “plano homogêneo” da representação da sociedade urbana dos modelos anteriores pode ser aprofundado pela especificação de características únicas para os agentes modelados. Considera-se de forma complementar que a simulação de dinâmicas entre os agentes sociais pode compor nova esfera de relacionamento ao modelo e, de forma semelhante, pode possibilitar a observação dos efeitos da racionalidade heterogênea dos atores urbanos. A descrição desagregada dos processos de produção da cidade também possibilita representar os efeitos do crescimento urbano sobre diferentes perfis sociais e verificar, de forma explícita, as relações entre agentes e o ambiente da urbanização.

3 MODELO BASEADO EM AGENTES E AMBIENTE CELULAR

O estudo do crescimento urbano, associando experimentação com a produção de reflexões teóricas e metodológicas busca contribuir com a compreensão dos processos contemporâneos de produção e ocupação das cidades. Neste trabalho, busco desenvolver questões referentes à representação de processos sociais de ocupação da forma urbana de modo associado ao crescimento das cidades para avançar na compreensão das dinâmicas urbanas atuais.

Os capítulos a seguir apresentam a construção detalhada deste modelo – desde seus objetivos às equações de sua implementação.

3.1 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS SOBRE O MODELO

Para avançar na pesquisa do tema do crescimento urbano associado à pobreza, propus o estudo da formação de áreas de pobreza com a representação de agentes sociais em simulações de crescimento urbano através da interação espacial local.

Esta proposta foi baseada na relação entre espaço e sociedade que pode ser compreendida como aquela entre as diferentes configurações do espaço, tais como relações de proximidade e afastamento, acolhimento e repulsão, integração e segregação, concentração e dispersão e sua apropriação como base das relações sociais. A interação entre sociedade e espaço, neste sentido, pode ser explicada como determinada em grande parte pela forma da cidade que é, dialeticamente, composta como processo social dinâmico, ou seja, é produzida pela ação humana em sociedade, mesmo que a condicione no momento seguinte (HAKEN; PORTUGALI, 1995; PORTUGALI, 2000).

Compreendi, portanto, que a configuração material da cidade gera interação entre as diferentes parcelas que a compõem, assim como em relação à sociedade. Estas tensões têm influência local, à distância ou mesmo na representação que a sociedade constitui do seu espaço (GOLLEDGE; TIMMERMANS, 1990; PORTUGALI et al., 1997). Desta forma, influem na ocupação e produção de urbanização nos momentos seguintes em que a forma urbana é dinâmica e interativa com os processos sociais que ocorrem nela. Estas condições levam este trabalho ao campo das simulações urbanas dinâmicas, motivo pelo qual busquei apoiar a proposta, de forma mais ampla, junto a modelos dinâmicos de simulação geográfica e social (EPSTEIN; AXTELL, 1996; PORTUGALI, 2000), na interação espacial de Hillier e Hanson (1984) e, mais especificamente, nas contribuições de Batty (2007b, 2014) sobre complexidade; e de Heppenstall e outros (2012) sobre Modelos Baseados em Agentes.

Sobre os aspectos teóricos, ressaltei o papel desempenhado pela economia na produção da cidade, a qual observei a partir de recorte crítico ao modo de produção urbano capitalista (HARVEY, 1978, 2006). De forma mais específica, procurei me guiar pelas premissas teóricas e metodológicas expostas na seção 1.4, que se aplicam ao modelo das seguintes formas:

- a) as dinâmicas de interação espacial e de interação social a partir da simulação de base geográfica em modelos dinâmicos, utilizando-se das técnicas de autômatos celulares e modelos baseados em agentes;
- b) o crescimento urbano desigual através de ciclos de expansão-consolidação é apropriado através do Submodelo de Crescimento Urbano (ver seção 3.10.2), em que o crescimento se orienta pela diferenciação espacial;
- c) a heterogeneidade dos atores dos processos de produção da cidade e da formação da pobreza é modelada com certa liberdade no Submodelo de Tomada de Decisão (ver seção 3.10.4), em que as decisões dos agentes sociais ocorrem em condições desiguais e segundo parâmetros que regem as oportunidades locacionais dos agentes, seu poder, informação e tolerância às diferenças; com apoio na economia urbana heterodoxa;
- d) a interligação da desigualdade espacial com a segregação social e sua atuação enquanto motores da ocupação da forma urbana por classes sociais diferentes, representadas no Submodelo de Competição (ver seção 3.10.3);
- e) a simulação de comportamento social integrada à simulação de crescimento urbano através dos processos de Tomada de Decisão e Competição como suporte para demonstração, análise e reflexão sobre as dinâmicas urbanas;
- f) a representação desagregada de entidades espaciais (na forma de células) e entidades sociais (na forma de agentes), de modo a permitir a descrição pormenorizada dos processos elencados nos itens acima, incluindo caracterização única para cada agente e capacidade de decisão autônoma.

Segue-se a descrição do modelo desenvolvido que foi verificado e implementado no decorrer do trabalho.

3.2 APRESENTAÇÃO DO MODELO

Um dos desafios colocados à modelagem urbana é a apresentação dos modelos em detalhe e clareza suficientes que permitam a compreensão integral do que está sendo proposto. Dentre as principais dificuldades encontradas, acha-se a de comunicar a

representação abstrata de fenômenos complexos desde os princípios que instam à modelagem até as decisões de método e desenvolvimento adotadas para simulação dos fenômenos em estudo. A comunicação dos modelos é crucial tanto para modeladores quanto para cientistas sociais, uma vez que a validade do modelo proposto deve ser observada nos seus resultados, mas também na sua lógica interna (HEPPENSTALL et al., 2012; RAILSBACK; GRIMM, 2012).

Para minimizar a dificuldade na compreensão do modelo apresentado a seguir, adotei o protocolo ODD (GRIMM et al., 2006, 2010) que apresenta inicialmente uma visão geral e breve do modelo para, em seguida, detalhá-lo em suas partes constituintes. Este protocolo apresenta uma visão bastante analítica do modelo que pode parecer fragmentada em sua tentativa de expor cada uma das partes constituintes do processo de modelagem de forma autônoma, por este motivo, inclui uma seção dedicada ao modelo conceitual da proposta (seção 3.4), além de colocar a seção sobre entidades, variáveis e escalas (seção 3.5.2) mais próxima das seções com maior ênfase metodológica que a seguem.

Supondo que este procedimento não atende a todos os públicos, sugiro ao leitor interessado em compreender todo o processo de modelagem, seus objetivos e premissas, que dê atenção às seções que seguem; já para o leitor que deseja mais objetividade para compreender o funcionamento do modelo, sugiro que siga para a seção 3.4, onde são apresentados os processos modelados sucintamente, além da seção 3.5, onde constam suas bases teóricas e empíricas e que avance às seções posteriores de forma a eliminar eventuais lacunas; para o leitor que busque compreender a implantação do modelo, sugiro observar a seção 3.10, em que são apresentadas as suas definições metodológicas, seus dados de entrada, equações e resultados de saída.

3.3 PROPÓSITO

O modelo foi construído para investigar questões de ocupação do espaço na cidade por populações pobres, partindo da hipótese de que a apropriação espacial por classes socioeconômicas diferentes pode ser percebida pela associação das classes com características do espaço urbano e pelas disputas entre estas classes.

Especificamente, busquei abordar as seguintes questões empíricas: como se dão os processos socioeconômicos contemporâneos de produção e disputa da urbanização responsáveis pela constituição de áreas pobres nas cidades brasileiras? A competição entre classes socioeconômicas pode influenciar o padrão geral de ocupação do solo urbano? Os atributos socioeconômicos dos agentes tem expressão nos processos de formação de áreas de pobreza nas bordas urbanas?

Do ponto de vista teórico, questionei como se articula a pobreza com as dinâmicas de crescimento urbano interno e externo, desigualdade de desenvolvimento geográfico, disputa pela urbanização e impacto nos sistemas naturais sob perspectiva da complexidade.

Finalmente, sobre os aspectos metodológicos, indaguei: como inserir a expressão de ações individuais em modelos de crescimento urbano em ambiente celular? É relevante inserir apropriações autônomas do ambiente urbano em modelos de crescimento urbano?

3.4 MODELO CONCEITUAL

A integração da interação espacial com a simulação explícita de interação social foi implantada através de um modelo baseado em agentes em ambiente celular que representa características do ambiente urbano e de sua população de forma a simular o crescimento das cidades e a ocupação das áreas urbanizadas por grupos de famílias de classes socioeconômicas diferentes. Dessa forma, o modelo busca representar (conforme mostra a Figura 3.1) os mecanismos que levam as cidades a se expandir, como o mercado imobiliário, valorização da terra urbana e desvalorização dos estoques construídos; fazendo-o em articulação com as relações sociais de poder econômico e político, disputa pelas melhores localizações e segregação socioespacial que envolvem a seleção e ocupação das áreas urbanas nas cidades.

Figura 3.1 - modelo conceitual do modelo baseado em agentes em ambiente celular proposto, incluindo as etapas de sua execução e descrição sumária dos processos e entidades envolvidos



Fonte: do autor.

Neste modelo, o crescimento da urbanização é simulado assumindo que a acessibilidade do tecido urbana indica as preferências para o crescimento. Assim, os locais mais acessíveis já urbanizados tendem a concentrar intensidades maiores de crescimento, enquanto aqueles que não são urbanos tendem a receber a expansão da área urbana. Esse

mecanismo considera que há diferenças no ambiente que facilitam ou dificultam a urbanização, representando características naturais (topografia, declividade, presença de corpos d'água, banhados e qualidades da paisagem) ou da urbanização (qualificação ou precariedade da infraestrutura instalada, qualidade da urbanização) ou mesmo normas e aspectos culturais da forma urbanizada (zoneamento restritivo ou de estímulo a urbanização, crenças e valores culturais), condicionando a expansão urbana à presença e intensidade destas características no ambiente.

A população simulada cresce ao longo do tempo e a ocupação da urbanização por grupos de famílias ocorre em resposta as características urbanas, naturais e institucionais do ambiente, assim como de acordo com a intensidade e qualidade da urbanização. A população é representada na forma de grupos sociais que avaliam as áreas urbanizadas para decidir mudar-se ou permanecer nos locais em que estão. Estes grupos familiares tendem a se mudar caso suas expectativas não estejam sendo contempladas, buscando locais melhores.

Além dessa dimensão voluntária da migração intraurbana, o modelo também representa processos de conflito entre os grupos de famílias que podem ocasionar a expulsão dos locais em que estão. Estes conflitos ocorrem quando a população de uma classe social em um determinado local da urbanização ultrapassa a tolerância de uma outra classe a ela. A partir deste ponto, estas classes sociais entram em disputa e uma delas acabará sendo expulsa daquele local, sendo obrigada a buscar nova localização na cidade.

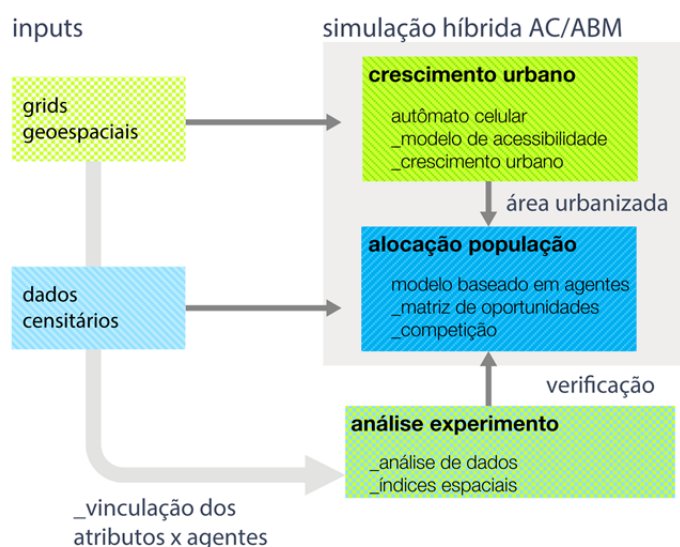
A migração dos grupos de famílias então ocorre para locais em que ainda exista disponibilidade e que sejam mais adequados. Esta população que se muda altera o novo local no qual passa a se localizar de forma a torná-lo ainda mais alinhado com as suas características. No caso de mais de uma classe social ocupar a mesma parcela, as características de cada classe são mescladas para determinar a composição final do ambiente.

Ao final, o modelo resulta na representação do ambiente urbano e de sua população. O primeiro é descrito de forma qualificada, levando em conta suas características físicas, naturais, de infraestrutura, intensidade de urbanização e outros aspectos. A população é representada em suas diferentes classes sociais distribuídas no território e também são verificadas a intensidade de conflito e o grau de adequação do local que cada classe socioeconômica ocupa, além de existirem medidas de segregação, permitindo investigar os processos que levaram aos padrões de urbanização e sua ocupação.

Cabe destacar neste ponto a estrutura do modelo, representada na Figura 3.2 onde são articuladas as dimensões principais da simulação. A estrutura inclui a origem de dados empíricos (físicos e censitários) que alimentam a descrição do ambiente e a caracterização dos agentes em seus parâmetros e comportamentos; também demonstra o encadeamento entre o processamento do crescimento urbano segundo as técnicas de autômatos celulares com as

dinâmicas de competição, tomada de decisão e alocação da população segundo as técnicas de agentes. Finalmente, expõe as saídas do modelo e o potencial de análise e comunicação dos resultados, tanto internos ao CityCell, quanto através da exportação de *grids*, tabelas e imagens que podem subsidiar a composição de índices espaciais.

Figura 3.2 – Estrutura geral do modelo, demonstrando as dimensões principais do modelo e suas vinculações



Fonte: do autor.

3.5 VISÃO GERAL DOS PROCESSOS E ENCADEAMENTO

O modelo consiste de dois grupos de processos: a) o grupo referente ao Ambiente de Modelagem, direcionado à simulação de crescimento urbano a partir de dinâmicas da forma da cidade baseadas em acessibilidade; e b) o grupo dos processos realizadas pelos Agentes, em sua busca das melhores oportunidades urbanas, incluindo crescimento populacional, escolha ou competição.

A Figura 3.3 demonstra o encadeamento global do modelo em seis grandes etapas, que organizam estes processos, desde a preparação inicial do ambiente de modelagem (*input*) até a saída das variáveis de cada ciclo (*output*)⁴¹. As etapas são executadas a cada iteração, salvo a etapa de *input* que somente é realizada na inicialização do modelo. O tempo é representado em passos discretos e inclui o conjunto das fases 1 a 5, durante a execução dos processos as variáveis são atualizadas ao mesmo tempo para todos os agentes (sincronamente).

⁴¹ Para um detalhamento do funcionamento de todo o modelo, consultar o Apêndice A – Fluxograma Geral do Modelo.

 Figura 3.3 – Encadeamento geral do modelo, incluindo inicialização e etapas de cada iteração

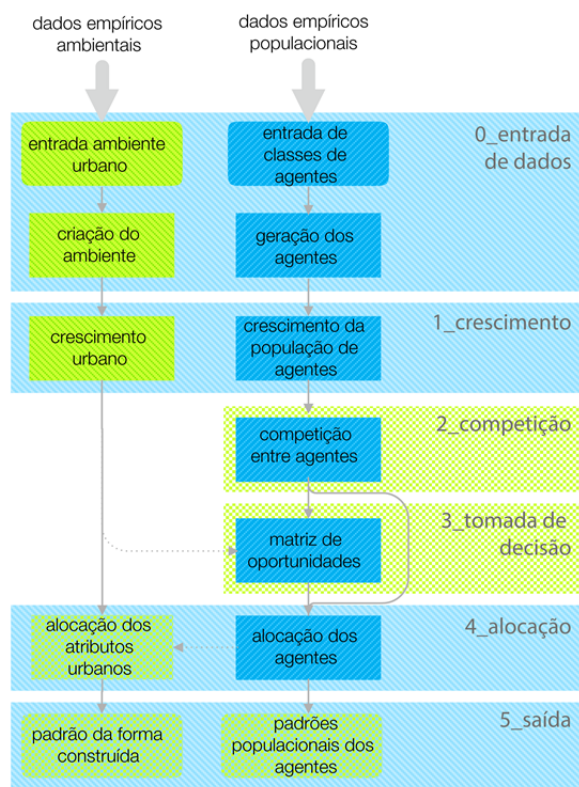


 Fonte: do autor.

3.5.1 Processos e submodelos

A Figura 3.4 detalha as etapas em seus processos componentes. Na primeira execução do modelo, os processos iniciam com a geração dos *inputs* dentro do Ambiente de modelagem. A partir das camadas carregadas pelo modelador (representando bases empíricas espaciais), processos globais do sistema compõem o Ambiente de Modelagem na forma de *grids* com atributos e variáveis de estado indicando resistência ou atração à urbanização. Simultaneamente, um submodelo estocástico gera a população de Agentes, estabelecendo uma população heterogênea a partir de um número menor de Classes iniciais (compostas a partir de bases empíricas populacionais). Todos os ciclos subsequentes do modelo são iniciados a partir de rotinas de Crescimento Urbano e da população dos Agentes.

Figura 3.4 – Encadeamento dos processos e submodelos



Fonte: do autor.

Para simular o crescimento urbano, processos globais do sistema operam um submodelo probabilístico de alocação de uma taxa fixa de urbanização às células do Ambiente a partir de uma medida de Acessibilidade Celular ponderada por características do ambiente que é determinada por relações de vizinhança entre as células.

A medida de acessibilidade é adotada como representação da qualidade de urbanização, assumindo que os locais mais acessíveis são aqueles melhor urbanizados. De forma semelhante, medidas de acessibilidade são utilizadas pelos estudos urbanos sistematicamente desde os trabalhos de Hagget e Chorley (1970, apud SARAIVA, 2013) e Ingram (1971) e têm sido expandidas com sua integração a grafos, AC e ABM (WHITE et al., 1997; O’SULLIVAN, 2001; OMER, 2006; STANILOV, 2012). De modo sintético, a medida pode ser definida como a propriedade de um determinado elemento componente de uma rede de estar conectado aos demais de forma mais ou menos intensa. Nos estudos urbanos está diretamente vinculada à distribuição espacial das atividades, populações e recursos segundo relações de distância (INGRAM, 1971). Neste sentido, a definição de distância para a medida pode ocorrer a partir da geometria euclidiana (medida em metros ou outra unidade); ou de distâncias topológicas, em que o afastamento se dá por “passos” no espaço, que podem ser definidos como mudanças de direção ou, no caso do ambiente celular, como o número de células em um caminho entre as entidades.

O presente modelo segue a proposta de Saraiva (2013), em que uma medida de acessibilidade celular é usada como descritora de diferenciação espacial, indicando o potencial de urbanização proporcional à sua intensidade. Assim, as células mais próximas a todas as demais têm maiores probabilidades de receber urbanização, sendo mais valorizadas no processo de desenvolvimento urbano. As distâncias relativas, no entanto, podem ser ampliadas, a partir do conceito de resistência mínima acumulada⁴² oriundo da ecologia da paisagem (WU; HOBBS, 2007) que representa a dificuldade variável em transpor diferentes áreas da paisagem. Adicionalmente, é possível adicionar impedâncias às células, como forma de simular a influência de fatores externos à cidade criados pela ação humana. Exemplos destes fatores incluem sistemas de transporte, presença de infraestrutura, diferentes usos do solo e aspectos culturais.

Para os Agentes, o crescimento populacional ocorre segundo a aplicação da Taxa de Crescimento dos Agentes à população de cada Classe de Agentes. A População Acrescida é então alocada segundo sorteio probabilístico nas células que já contêm Agentes de cada Classe.

Em seguida, os Agentes promovem o Submodelo de Competição, comparando a proporção da sua população com as das demais Classes para cada uma das células. O submodelo visa representar uma premissa de constante disputa pelo espaço urbanizado, especialmente aquele com melhor qualidade e infraestrutura. Assumi, como sua base, que a segregação urbana não ocorre somente a partir de um fator, mas que é alimentada pela competição por localizações, recursos, infraestrutura e acesso a facilidades públicas que formam os benefícios da urbanização (UN-HABITAT, 2012a, 2012b). Entendi que há uma tensão permanente na ocupação das áreas urbanas que dá espaço à auto segregação das comunidades fechadas (CALDEIRA, 1997), à remoção e substituição de populações pobres de certas localizações (FERREIRA, 2009; BARROS, 2012) e à gentrificação, seja ela promovida pelo mercado (SMITH, 1987; ABRAMO, 2007, 2009), ou pelo poder público (WATSON, 2009). Como afirma a agência Habitat, das Nações Unidas:

As cidades não se tornam divididas da noite para o dia; ao contrário [...] exclusão e marginalização [são] construídas e se reproduzem ao longo do tempo devido a uma acirrada e desigual competição por terra, trabalho, capital, recursos e assemelhados.⁴³ (UN-HABITAT, 2010, p. XIX).

Neste contexto, busco implementar mecanismos de disputa por localização baseados na tolerância ao compartilhamento dos espaços. Utilizo para isso o conceito de copresença

⁴² Minimal Cumulative Resistance, no original.

⁴³ No original: "Cities do not become divisive overnight; rather, as this report shows, exclusion and marginalization build and reproduce over time due to fierce and unequal competition for land, labour, capital, resources, and the like."

(CAMPOS-CASTILLO; HITLIN, 2013) através dos Parâmetros de Copresença de cada Agente, que regulam sua tolerância às outras Classes. Quando o teste de Copresença resulta em confronto, os Agentes comparam suas capacidades de exercício de poder, que são representadas no produto entre seus Parâmetro de Poder e as populações dos Agentes. Os Agentes que têm valores menores nesta comparação são expulsos da célula em que entraram em conflito e são acumulados como população a ser assentada nas etapas posteriores da iteração.

Os Agentes (envolvidos ou não em processos de competição) podem, em seguida, avaliar o Ambiente em busca de Oportunidades melhores das que as das células que ocupam. Calcula-se, neste estágio, a Matriz de Oportunidade dos Agentes que considera as possibilidades e desejos que as classes socioeconômicas têm de localização no espaço urbano. A medida de Oportunidade é proposta como um equilíbrio entre dois aspectos da escolha locacional: o "querer" versus o "poder". Deste modo, a medida representa a capacidade das populações urbanas em realizar decisões sobre a localização que têm na cidade, reconhecendo papel ativo dos sujeitos sociais neste processo, mas considera que há limites já estabelecidos para as escolhas à sua disposição, derivados da sua capacidade econômica, conhecimento sobre a cidade e vinculação social e étnica com determinadas áreas da cidade. A Oportunidade transita teoricamente, portanto, entre as preferências (declaradas ou realizadas) e as capacidades (circunstanciais ou estruturais) da sociedade no processo de decisão locacional que realiza.

A Oportunidade guarda semelhanças com o conceito definido por Arentze e outros (1994) e adaptado por Krafta (1999), uma vez que representa a apropriação das características do sistema urbano de forma específica por entidades diferentes. Esta avaliação para cada Agente é a base para o submodelo de Tomada de Decisão e define uma "topografia" das Oportunidades de cada Agente entre as células do sistema urbano.

A Tomada de Decisão também considera o processo dinâmico de urbanização através da medida de Acessibilidade Relativa, que vincula o processo de Crescimento Urbano com a escolha locacional dos Agentes. Entendi que desta forma poderia ser representada a capacidade de resposta dos Agentes aos mecanismos de produção da urbanização, especialmente o mercado imobiliário. Este raciocínio segue o modelo de Abramo (2007)⁴⁴, mesmo que simplificada, permitindo considerar racionalidades paramétricas dos agentes de mercado e a heterogeneidade do "produto" da urbanização⁴⁵ na avaliação dos Agentes

⁴⁴ Ver seção 2.1.7 para maiores detalhes.

⁴⁵ Entendi que num modelo avançado seria importante dotar os agentes de características informacionais distintas, assim como comportamentos paramétricos ou estratégicos, ajustando com mais sofisticação seu relacionamento com o "mercado" simulado pela Acessibilidade, mas estas possibilidades encontram-se fora do escopo desta pesquisa.

segundo seus critérios particulares. Para operar esta avaliação da Acessibilidade, é incluída a variável da Acessibilidade Particular, que auxilia a representar as assimetrias de cada classe socioeconômica na apropriação da valorização da urbanização. A Acessibilidade Particular adapta a Acessibilidade Relativa a um espectro específico para cada Agente, integrando seu interesses nas melhores localizações e a sua capacidade de compra.

Para tomar sua decisão o Agente compara a Oportunidade de sua célula com a Oportunidade da vizinhança ao redor. Essa comparação pode ser relacionada com o conceito de dissonância cognitiva conforme definido por Portugali (1997) e desenvolvido por Benenson e Omer (2001) para processos de decisão locacional em que cada Agente observa o ambiente e escolhe a célula com menor distância às suas preferências. Nos modelos dos autores, é a composição étnica dos locais de destino que influencia a decisão dos Agentes, enquanto no modelo aqui desenvolvido os agentes consideram as características do Ambiente através dos Atributos Urbanos, Naturais, Institucionais e da medida de Acessibilidade Celular que são relacionados na Matriz de Oportunidade de cada Agente. Caso a célula atual tenha oportunidade inferior à média da vizinhança em que está locado, um sorteio define transferência dos Agentes, com probabilidades dadas pela medida de Dissonância. Caso sejam sorteados, aos Agentes transferem sua população, somando-a ao total de Agentes a serem assentados.

A Alocação dos Agentes ocorre no penúltimo estágio, com a avaliação das Oportunidades disponíveis na vizinhança de cada agente. Os Agentes a serem alocados movem-se para as células que não tenham seu Limite Máximo da População superado e tenham Oportunidades acima da média na vizinhança para cada Agente.

No último passo da iteração, os Agentes alocados alteram os Atributos das células para as quais se destinaram, ajustando sua composição conforme seus Parâmetros de Oportunidade.

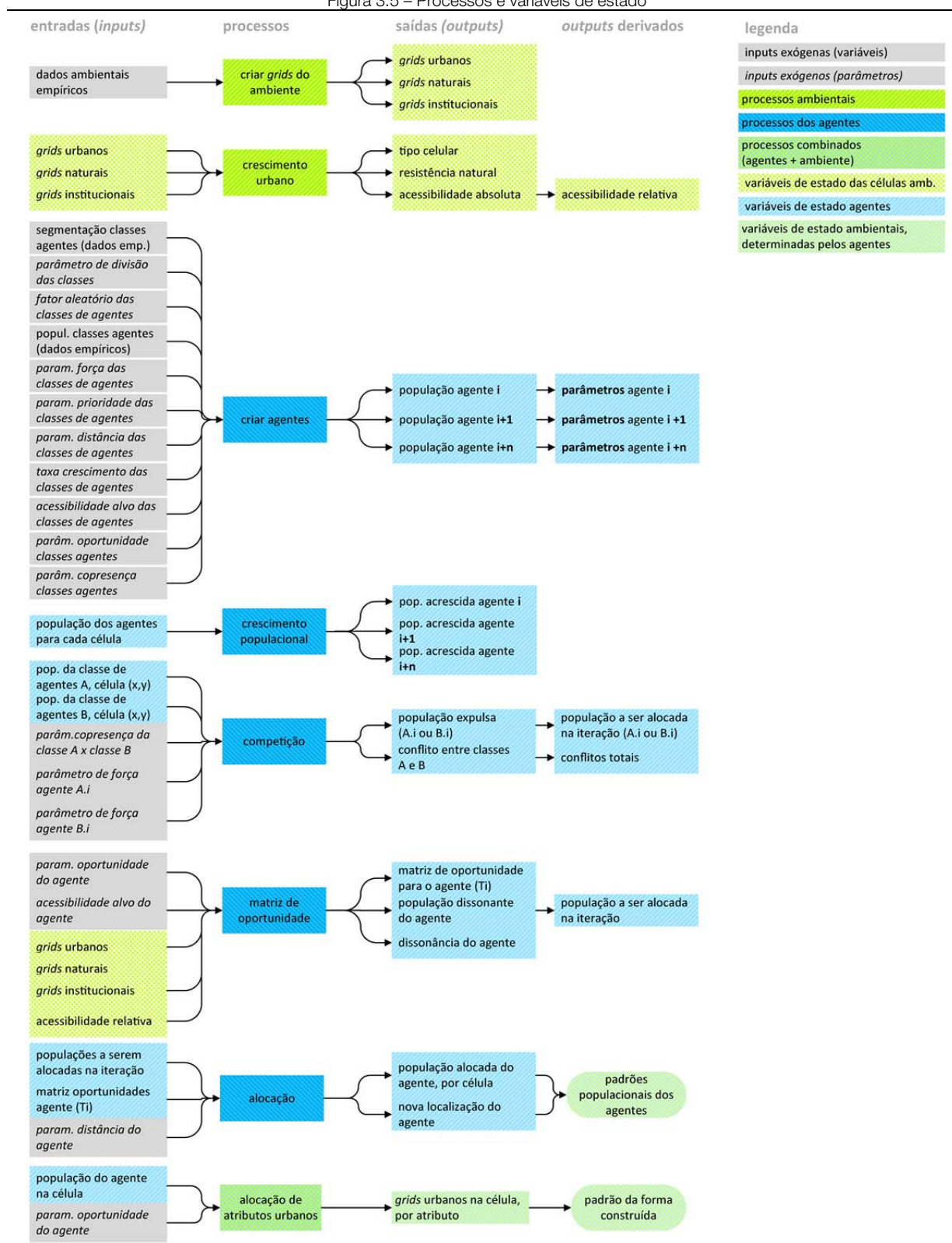
Destes cinco passos resultam *grids* celulares representando o Ambiente na forma de Atributos Urbanos, Ambientais e Institucionais em diferentes intensidades; e *grids* representando as Classes de Agentes, suas localizações, intensidade de Conflitos, distribuição das Oportunidades e Dissonância.

3.5.2 Processos e variáveis de estado

Para esclarecer a vinculação dos processos com as variáveis que indicam o estado das células do Ambiente e dos Agentes, a Figura 3.5 demonstra, na coluna da esquerda, os dados de entrada (*inputs*) de cada processo, enquanto que ao centro estão os processos e na coluna à direita as variáveis alteradas por eles (*outputs*). As ligações entre os processos estão

demonstradas através dos *inputs* e *outputs* somente e seu encadeamento segue o demonstrado na Figura 3.4 (acima). Três tipos de processos estão descritos: 1) aqueles derivados da interação por vizinhança das células do Ambiente (chamados de processos do Ambiente); 2) aqueles realizados pelos Agentes em suas dinâmicas entre Agentes e com o Ambiente (sem alteração das variáveis de composição do Ambiente); 3) aquele realizado pelos Agentes sobre o Ambiente (com alteração da composição do Ambiente através da modificação das variáveis dos Atributos de cada célula).

Figura 3.5 – Processos e variáveis de estado



Fonte: do autor.

3.6 CONCEITOS DO MODELO

Esta seção é dedicada a expor os conceitos de projeto⁴⁶ adotados que justificam as decisões posteriores e auxiliam a compreender as motivações do modelo.

3.6.1 Princípios básicos

O modelo visa responder a questões de apropriação da urbanização a partir de oportunidades variadas entre sujeitos sociais em conflito em processos de crescimento urbano. As suas bases teóricas e metodológicas foram exploradas na seção 3.1. A seguir, me aproximo dos atributos de emergência, adaptação, busca por objetivos, aprendizagem, sensibilidade, interação, estocasticidade, coletivos e observação em detalhamento do definido anteriormente.

3.6.2 Emergência

No submodelo de Crescimento Urbano a forma da cidade emerge de relações de distância e resistência à urbanização operadas localmente a partir dos Atributos das células.

A localização dos Agentes também emerge das suas relações com o Ambiente. A leitura da Acessibilidade, em conjunto com as outras características da urbanização e com o submodelo de Competição, produz a ocupação do espaço urbano pelos Agentes também de forma emergente. As populações presentes em cada célula expressam esta ocupação e são determinadas pela interação entre os Agentes e destes com o ambiente. Finalmente, a composição dos Atributos do Ambiente também é emergente, fruto da ocupação dos Agentes das áreas urbanas no submodelo de Alocação de Atributos, em que os Agentes alteram a composição dos Atributos Urbanos.

3.6.3 Adaptação

O modelo não inclui capacidade adaptativa do comportamento dos agentes, o que limita suas possibilidades de interação/resposta e pode ser investigado em pesquisa futura.

3.6.4 Objetivos

Os Agentes têm objetivos de busca pelas melhores localizações, visam, portanto, maximizar a qualidade de sua localização dentre as opções disponíveis. No entanto, não têm

⁴⁶ *Design concepts* no original, utilizado diretamente por fidelidade ao protocolo ODD (GRIMM et al., 2006, 2010).

objetivos voltados a diminuição ou prevenção da Competição, o que poderia ser explorado em versões subsequentes do modelo.

3.6.5 Aprendizagem e predição

No atual estágio da pesquisa, não foram modeladas dinâmicas de aprendizado e os Agentes não têm memória das localizações em que estiveram ou dos conflitos em que se envolveram. Uma possibilidade seria incluir dinâmicas como as modeladas por Axelrod (1997, 2006) de forma a dar mais verossimilhança à organização social dos Agentes no modelo, assim como permitir aprendizagem compartilhada entre membros da mesma Classe ou mesmo associações, temporárias ou permanentes, entre membros de Classes distintas em nome de objetivos a serem alcançados.

Também não existem dinâmicas de previsão ou estimação dos resultados. Os processos de competição certamente poderiam ser antecipados pelos Agentes em versões futuras do modelo, assim como poderiam ser inseridas dinâmicas de cooperação entre Agentes, evitando ou maximizando as chances de vencer conflitos.

3.6.6 Sensibilidade e apreensão

Os Agentes podem obter informações de todo o sistema, como a composição de Atributos e a Acessibilidade Relativa das células. Da célula que ocupam conhecem, adicionalmente, a população de todas as Classes de Agentes presentes. A apreensão nestes casos é feita diretamente, sem possibilidade de incertezas.

3.6.7 Interação

Os Agentes interagem diretamente através da Competição em que comparam a populações e podem tentar expulsar outros Agentes em um teste de força (ver seção 3.10.3). Indiretamente, interagem ao compor os Atributos Urbanos das células que ocupam no submodelo de Alocação (ver seção 3.10.5).

3.6.8 Estocasticidade

Há quatro processos estocásticos no modelo. O primeiro ocorre na etapa de entrada dos dados (etapa 0 da Figura 3.6), na qual as Classes de Agentes são utilizadas como base para a criação das populações dos Agentes. Um processo estocástico determina os

parâmetros dos Agentes ao aplicar Fator Aleatório, que pode minorar ou majorar os parâmetros das Classes de Agentes (ver seção 3.10.1).

O segundo processo ocorre durante o crescimento urbano, onde a alocação do crescimento da área urbanizada ocorre através de um sorteio probabilístico no qual as maiores probabilidades de urbanização são proporcionais à Acessibilidade das células (ver seção 3.10.2).

O terceiro processo está relacionado ao crescimento populacional. Novos Agentes são adicionados à população a cada iteração, de acordo com a taxa de crescimento populacional informada pelo modelador. Esses novos Agentes são alocados aleatoriamente no grid, nas células que já contêm populações daquele Agente (ver seção 3.10.2).

O último processo estocástico ocorre na decisão dos Agentes sobre abandonar ou não sua localização atual em busca de áreas com maior Oportunidade. Neste caso, a decisão é tomada por sorteio em que a probabilidade de mudança é proporcional à Dissonância (ver seção 3.10.4).

3.6.9 Coletivos

Os Agentes sempre pertencem a uma determinada Classe de Agentes e desta herdam grande parte de suas características (ver seção 3.10.1). Adicionalmente, nas dinâmicas de Competição que travam com outros Agentes contam com a população da Classe à qual pertencem como referência para a comparação de forças. Assim, o modelo prevê uma espécie de solidariedade entre os iguais quando enfrentando os diferentes compondo coletivos indiretamente (ver seção 3.10.3).

As Classes e sua subdivisão em Agentes são estabelecidas somente na inicialização do modelo e permanecem estáveis durante cada simulação.

3.6.10 Observação

O modelo provê saídas do tipo gráfico⁴⁷ e *grids* ASCII para cada uma das iterações contendo informações sobre os atributos, população de Agentes, Acessibilidade e Conflitos. Inclui tabelas e gráficos sintetizando avaliações sobre intensidade de urbanização, fragmentação e capacidade e séries de indicadores populacionais para as Classes de Agentes como crescimento populacional, expulsão e dissonância. Também inclui uma

⁴⁷ Em diversos formatos de imagens, incluindo os populares *mark-ups* georreferenciados KMZ, animações GIF e imagens PNG.

calculadora *raster* e rotinas de comparação *fuzzy* de forma a facilitar processo de análise espacial pós-simulação (úteis à calibração e validação).

A avaliação dos resultados foi implantada por uma comparação difusa de mapas de resultado do modelo, segundo a regra *Fuzzy Kappa* de Hagen (2003). Através dela, é possível verificar a sobreposição de mapas de atributos do tipo “máscara” (cuja função é a de embasar as comparações), com qualquer um dos *grids* de *output*. Assim pode-se apoiar tanto a calibração, quanto a validação dos resultados do modelo com avaliações feitas por sobreposição direta (chamada *crisp*), ou por função de decaimento proporcional a distância (chamada *fuzzy*), conforme detalhado em Saraiva (2013).

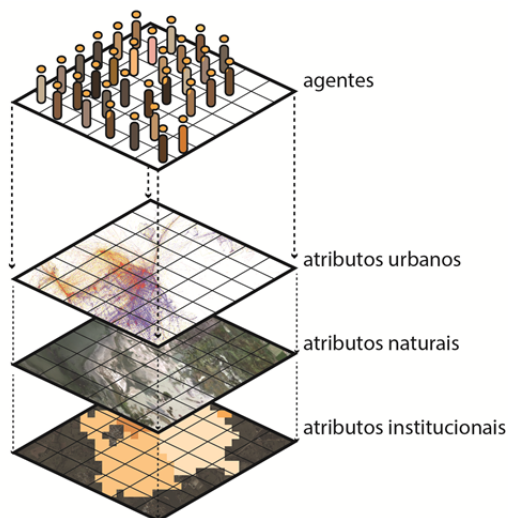
Além destas funções embutidas no *software* do modelo, os usuários ainda podem criar descritores específicos para seus resultados, conforme demonstrado nos exercícios de aplicação do modelo (ver seção 4).

3.7 ENTIDADES, VARIÁVEIS DE ESTADO E ESCALAS

O modelo é composto por um ambiente descrito através Atributos do tipo Urbano, Natural ou Institucional e por sociedade de Agentes autônomos que representam grupos de famílias estratificados segundo determinação do modelador. Uma representação gráfica desta estrutura geral pode ser vista na Figura 3.6.

O modelo é composto dois tipos de entidades: as células que compõem o Ambiente de modelagem e os Agentes, que formam a sociedade simulada e são localizados nas células. Agentes e Atributos são representados nas células através de *grids* e, como em um SIG, diversas camadas podem estar sobrepostas, representando intensidades de atributos ou condições de urbanização. A Tabela 3.4 até a Tabela 3.3 descrevem as variáveis, parâmetros e atributos presentes no ambiente do modelo para seu ambiente e para os agentes. Da mesma forma, a seção 3.7.1 detalha as características dos Agentes; a seção 3.7.2 descreve as Unidades Espaciais e a seção 3.7.3 apresenta o processo de desagregação de Classes de Agentes em Agentes.

Figura 3.6 – Estrutura geral do modelo, integrando Atributos Urbanos, Naturais e Institucionais em Ambiente sobre o qual são locados os Agentes, representando grupos de famílias



Fonte: do autor.

3.7.1 Agentes

Os Agentes representam grupos de famílias de tamanho variável, sob controle do modelador, podendo representar desde classes sociais, grupos étnicos, famílias ou domicílios e mesmo indivíduos. Apesar desta flexibilidade, o modelo assume que trata de grupos sociais em suas dinâmicas e foi efetivamente testado em configurações em que os Agentes representam pequenos grupos sociais de não mais que 10 indivíduos. A definição dos seus parâmetros parte de Classes de Agentes que agregam diversos destes grupos menores e compõem a unidade de análise dos resultados do modelo.

As Classes representam segmentações socioeconômicas determinadas a partir de dados empíricos de fontes secundárias (pesquisas populacionais e recenseamentos) e os atributos das Classes podem ser arbitrados pelo modelador, sendo importante definir a parametrização segundo um processo criterioso de parametrização (conforme observado na seção 2.4). As Classes são descritas através de variáveis de estado (endógenas ao modelo) presentes na Tabela 3.1, enquanto seus parâmetros de comportamento (variáveis exógenas) são elencadas na Tabela 3.2. A decomposição das Classes em Agentes é realizada em processo estocástico (discutido na seção 3.10.1).

Tabela 3.1 – Variáveis de estado das Classes de Agentes no modelo

Variável	Descrição
Oportunidade Absoluta	Indica a avaliação da célula em relação aos seus parâmetros de preferência e capacidade de escolha
Oportunidade Relativa	Indica a avaliação da célula em relação aos seus parâmetros normalizada para o conjunto de oportunidades disponível no sistema para agentes do seu tipo
Dissonância	Indica a diferença da oportunidade absoluta de sua célula em relação à média da oportunidade absoluta do sistema para seu tipo de agente
População na Célula	Indica o total de agentes do mesmo tipo presente na célula
Localização do Agente	Indica a posição do agente no ambiente para a iteração

Fonte: do autor.

Tabela 3.2 – Parâmetros das Classes de Agentes no modelo

Variável	Descrição
População da Classe de Agentes	Número de indivíduos (em termos absolutos) que compõe cada Classe de Agentes
Parâmetro de Poder (s_p)	Implica na capacidade de exercício de poder do tipo agente em processos de competição
Parâmetro de Prioridade (p_p)	Indica a preferência cronológica da alocação do tipo de agente em relação aos demais
Parâmetro de Distância (d_p)	Altera a definição do raio de vizinhança global
Taxa de Crescimento dos Agentes (θ_{pop})	Percentual de crescimento da população de agentes a cada iteração
Acessibilidade Alvo (Av)	É o valor da <i>acessibilidade relativa</i> mais vinculado ao tipo de agente; indica, de forma sintética, desejo e poder econômico
Parâmetros de Oportunidade ($wAtt$)	Define a intensidade de vinculação de cada tipo de agente com cada atributo presente no modelo (inclusive acessibilidade)
Parâmetros de Copresença (c_p)	Indica para cada par de Classes de agentes, a tolerância à diferença entre os Agentes do par

Fonte: do autor.

3.7.2 Unidades espaciais

O espaço é representado em células regulares quadradas com resolução variável. Nestas células é representado o Ambiente do modelo, no qual os Atributos Urbanos caracterizam o solo já urbanizado e podem ser diferenciados em intensidade, podendo representar seus diferentes usos, instalação de infraestrutura, densidade de ocupação e outras características. Os Atributos Naturais representam o ambiente natural, impactados pela ação humana ou não, como águas superficiais, matas, campos plantados e outros. Os Atributos Institucionais representam políticas de uso e ocupação do solo, normas urbanas ou valores culturais que influenciam o crescimento urbano (POLIDORI, 2004, p. 30). Estes atributos estão exemplificados na Figura 3.7 e compõem o ambiente do modelo na forma de um AC expandido (TORRENS, 2000), em que há mais de um estado para cada célula e as variáveis que indicam estes estados podem estar presentes em intensidades variadas e em sobreposição. As variáveis de estado (endógenas ao modelo) destas células são elencadas na Tabela 3.3.

Figura 3.7 – Exemplos de atributos do ambiente do CityCell para Torres/RS: a) atributos urbanos *estradas e área urbanizada); b) atributos naturais (águas superficiais); e c) atributos institucionais (áreas de proteção ambiental)



Fonte: Saraiva (2013, p. 25).

Variável	Tabela 3.3 – Variáveis de estado das células do modelo
	Descrição
Tipo da Célula	Indica se a célula é urbanizada
Resistência Natural	Soma das resistências ao crescimento urbano atuantes na célula originadas de atributos naturais
Acessibilidade Absoluta	É a soma da acessibilidade calculada para a célula na iteração
Acessibilidade Relativa	É a acessibilidade absoluta normalizada para a faixa de acessibilidade (máxima e mínima) da iteração
População de cada Classe de Agente	É a soma em cada célula da população de cada classe de agente
População Acrescida	É o total da população adicionada à célula por crescimento na iteração, para cada classe de agente
População Expulsa	É o total da população movimentada involuntariamente por competição na iteração, para cada classe de agente
População Dissonante	É o total da população com oportunidade maior em células da vizinhança do que na célula em que está locada, para cada classe de agente
População Alocada	É o total da população alocada na célula para a iteração por movimentação voluntária ou não, para cada classe de agente
Presença de Conflito nas Células	Variável binária que sinaliza a existência de conflitos em cada célula na iteração.
Intensidade de Conflitos, para cada par de Classe de Agentes	É o conflito existente na célula discriminado por par de agentes, em cada um dos sentidos (diferenciando "a" versus "b", de "b" versus "a")
Atributos presentes	Quantidade para cada atributo presente na célula, sejam oriundos do <i>input</i> ou da alocação de atributos

Fonte: do autor.

3.7.3 Desagregação:

O modelo permite a representação de fenômenos variados e pode ser adaptado para estudo de diversas questões sobre a urbanização. Assume como base espacial uma grelha regular quadrada de células de qualquer tamanho representadas em um SIG com características de autômatos celulares. As dimensões das células e a desagregação do espaço representado podem ser controladas pelo modelador e diversas cidades da região sul do Rio Grande do Sul foram modeladas com sucesso (POLIDORI, 2004; PERES, 2010; SARAIVA, 2013), em resoluções de 4 a 100 células/ha⁴⁸ para extensões variando desde 48km² (Jaguarão/RS) a 225km² (Bagé/RS). No entanto, a resolução e extensão são dois aspectos de um mesmo problema: a quantidade total de células, que depende de três fatores, conforme

⁴⁸ Equivalentes a células de 200 e 1000m, respectivamente.

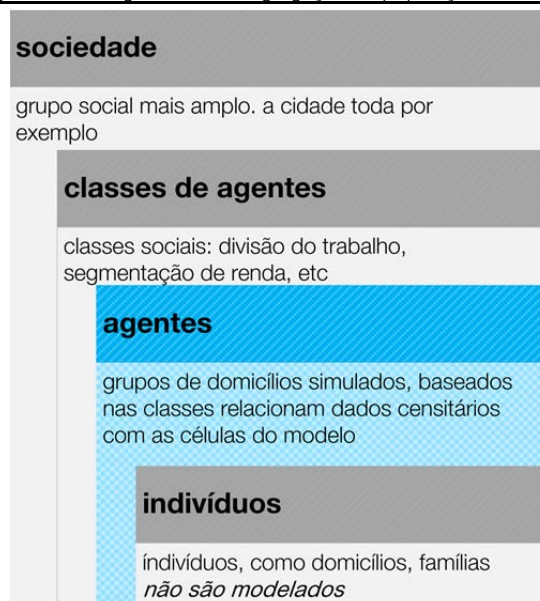
Polidori (2004, p. 25): a) capacidade de processamento computacional; b) desagregação necessária para representar o fenômeno em estudo; e, c) disponibilidade de informações.

O tempo no modelo é representado em passos discretos de tempo, com atualização síncrona das variáveis entre todas as células. A referência ao tempo do sistema modelado é definida através das taxas de crescimento urbano e populacional dos agentes. Esta configuração permite variações de resolução e extensão espacial e temporal que devem ser determinadas (discricionariamente) pelo modelador em referência ao fenômeno em estudo.

Os Agentes são as unidades de interação social do modelo, enquanto a observação dos resultados e entrada de dados são realizadas para as Classes de Agentes. De forma sintética, as Classes são as unidades visíveis ao modelador, tanto nos *inputs* quanto nos *outputs*. Os Agentes, por outro lado, são as unidades que realmente tomam parte nas dinâmicas modeladas, interagindo com o Ambiente e com outros Agentes. Estas duas escalas são articuladas através dos submodelos de Entrada de Dados (ver seção 3.10.1) e de Obtenção de Resultados (ver seção 3.11).

A composição dos Agentes como pequenos coletivos visa articulá-los à escala das células modeladas e à disponibilidade de dados para os sistemas urbanos, estabelecendo escala de desagregação híbrida entre as dinâmicas de autômatos celulares e dos modelos baseados em agentes. Para todos os efeitos, estas entidades serão referidas, a partir deste ponto, como Agentes, os quais diferenciei das Classes de Agentes a que estão vinculados. A Figura 3.8 exemplifica estas escalas de trabalho, demonstrando que os Agentes não tratam nem de grandes grupos sociais (como classes socioeconômicas), nem de indivíduos (como domicílios ou famílias).

Figura 3.8 – Diagrama de desagregação da população do modelo



Fonte: do autor.

3.8 INICIALIZAÇÃO

O modelo é inicializado a partir dos *grids* contendo os dados de entrada (*inputs*) e dos parâmetros globais, que regulam aspectos gerais para os submodelos e estão elencados na Tabela 3.4. As variáveis de estado são inicializadas com valor zero e são calculadas na primeira iteração, durante o ciclo de *input* e etapas subsequentes.

Tabela 3.4 – Variáveis globais do modelo	
Variável	Descrição
Impedância Global Antrópica	Define um fator multiplicador para os atributos urbanos na simulação. Valores entre 0 e 1 intensificam a urbanização, enquanto valores entre 1 e 2 a diminuem.
Taxa de Crescimento Urbano (θ_{urb})	Define quantidade de crescimento urbano a ser alocada em cada iteração pelo modelo de acessibilidade
Raio de Interação Celular	Distância máxima para o cálculo de Acessibilidade, referente a cada célula do sistema. O valor padrão é a extensão do sistema;
Fator Aleatório dos Agentes (Δ)	Define a variação máxima no processo estocástico de criação dos agentes ao redor dos parâmetros das classes de agentes
Parâmetro de Divisão (dv_f)	Indica a razão de divisão das classes de agentes e define a escala de desagregação dos agentes modelados.
Limite populacional das células	Define a população máxima das células do ambiente, considerando todas as Classes de Agentes.

Fonte: do autor.

Os *grids* ambientais são definidos diretamente a partir dos *inputs* de acordo com parâmetros de comportamento, tipo e intensidade dos Atributos alimentados ao modelo. Desta forma, podem-se obter os *grids* de atração ou resistência à urbanização, conforme Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – <i>Grids</i> do ambiente	
Variável	Descrição
Tipo da célula	Indica se a célula é urbanizada
<i>Grid</i> de atração urbana	Soma de todas as atrações (ponderadas por seus pesos) ao crescimento urbano originadas de atributos urbanos
<i>Grid</i> de resistência urbana	Soma das resistências (ponderadas) ao crescimento urbano originadas de atributos urbanos
<i>Grid</i> de resistência natural	Soma das resistências (ponderadas) ao crescimento urbano originadas de atributos naturais
<i>Grid</i> de resistência institucional	Soma das resistências (ponderadas) ao crescimento urbano originadas de atributos institucionais

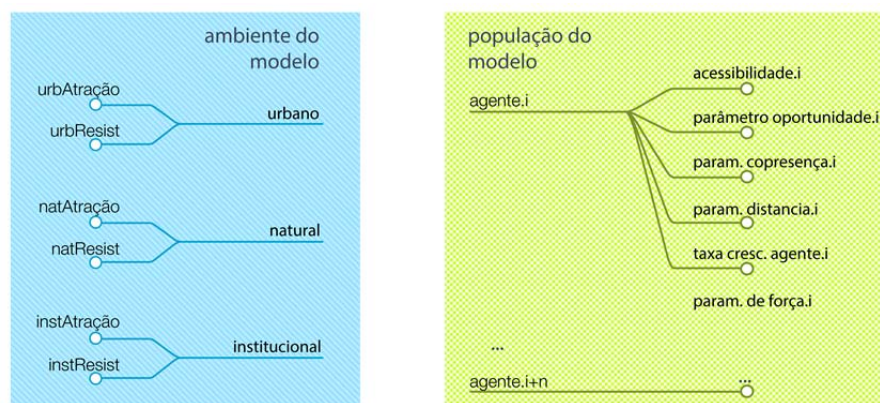
Os Agentes não são informados diretamente pelo modelador, mas se originam das Classes de Agentes informadas no *input* e de seus parâmetros. O número de Agentes depende do Fator de Divisão e os seus parâmetros variam de acordo com o Fator Aleatório (ver seção 3.10.1). Conforme evidenciado na Figura 3.9 as Classes de Agentes têm os seguintes parâmetros:

- Acessibilidade Alvo (**Agent *i*. Av**): é o valor da Acessibilidade Relativa associado ao Agente, relativiza a Acessibilidade Relativa da célula para o Agente que é representada na Acessibilidade Particular do Agente (ver seção 3.10.4);
- Parâmetros de Oportunidade (**Agent *i*. $wAtt$**): representam as vinculações dos Agentes a cada Atributo do Ambiente, assim como a própria Acessibilidade,

tomando a forma de multiplicadores a serem aplicados na ponderação dos Atributos ao compor a Matriz de Oportunidades (abaixo). São informados, portanto, tantos parâmetros quanto houverem combinações de Agentes e Atributos no modelo. Os Atributos vinculados desta forma aos Agentes podem incluir aqueles que não participem das dinâmicas de Crescimento Urbano, sob determinação do modelador (ver seção 3.10.4);

- c) Matriz de Oportunidade (**Agent i . $OPREL$**): é a combinação dos Parâmetros de Oportunidade para cada Agente com os Atributos do ambiente, compondo uma topografia de oportunidades no sistema. É calculada a cada ciclo, sendo sensível a variações nos Atributos, à Acessibilidade e ao crescimento da área urbanizada (ver seção 3.10.4);
- d) Parâmetro de Copresença (**Agent i . c_p**): indica a tolerância à diferença entre os Agentes do modelo. Tem efeito sobre a permanência dos Agentes nas células através do submodelo de Competição, ampliando a tolerância às populações de outras Classes de Agentes em proporção direta (ver seção 3.10.3);
- e) Parâmetro de Poder (**Agent i . s_p**): implica na capacidade de exercício de poder do Agente em processos de competição. Inlui na determinação da expulsão dos Agentes quando ocorre a competição. Atua na forma de “peso” de cada Agente em disputa para permanecer na célula, atuando em proporção direta para aumentar sua população na comparação de forças (ver seção 3.10.3);
- f) Parâmetro de Distância (**Agent i . d_p**): é a distância máxima, em células, que um Agente considera para o cálculo da Dissonância (ver seção 3.10.4) e para a seleção dos destinos da Alocação (ver seção 3.10.5);
- g) Taxa de Crescimento do Agente (**Agent i . θ_{pop}**): é a taxa de crescimento da população de cada Agente, por ciclo (ver seção 3.10.2).

Figura 3.9 – Parâmetros dos Agentes e Atributos do Ambiente



Fonte: do autor.

3.9 DADOS DE ENTRADA

Os dados de entrada (*inputs*) no modelo têm dois tipos principais: ambientais e populacionais.

Os dados ambientais são do tipo urbano, natural e institucional e podem ser booleanos, inteiros ou números reais⁴⁹. Estes dados em geral representam características do sistema modelado com relevância ao fenômeno que se pretenda simular e os valores são referentes à intensidade da presença do atributo no sistema urbano de referência, como demonstra a Tabela 3.6. São utilizados para as dinâmicas de crescimento urbano, sendo que os Atributos Urbanos são definidos como Neutros, com Atração ou com Resistência à ocupação e os Atributos Naturais e Institucionais como Neutros ou com Resistência à urbanização.

O comportamento Neutro é implementado de forma a eliminar a influência de um Atributo das dinâmicas de Crescimento Urbano, ao mesmo tempo em que se mantém sua participação nas dinâmicas de Tomada de Decisão dos Agentes; os Atributos com comportamentos de Atração e Resistência, participam do Crescimento Urbano e também podem ser utilizados para a decisão dos Agentes. O modelo permite a inserção de qualquer combinação destes elementos, uma vez que tanto os comportamentos dos Atributos quanto os pesos para os submodelos de Crescimento e de Tomada de Decisão são definidos de forma independente.

Os dados populacionais são sempre do tipo Pessoas e devem representar segmentações populacionais coerentes como faixas de renda, perfis socioeconômicos, étnicos ou outra segmentação cujo comportamento⁵⁰ possa ser traduzido em ponderação de Atributos do Ambiente de forma heterogênea. De forma geral, sua composição origina-se de pesquisas estatísticas, amostrais ou censitárias do sistema de referência e a entrada de dados deve ser feita em números absolutos inteiros⁵¹ representando a população de cada segmento.

Desde que ajustados os pesos de forma adequada para os processos do modelo (Crescimento Urbano ou Tomada de Decisão) podem ser incluídos Atributos com valores absolutos (altitude em metros acima do nível do mar, declividade em graus ou percentual, população em quantidade de indivíduos, etc) ou em classificações previamente estabelecidas. O cuidado a ser tomado é que a escala dos valores de cada Atributo seja ajustada com sua importância no sistema modelado, de forma a manter coerência. Para tanto, conversões de escala, classificações, normalizações e outros processos de preparação de dados podem ser

⁴⁹ Limitados à representação de ponto flutuante duplos (*double precision float*).

⁵⁰ Que pode ser exemplificada como uma "visão de mundo" de cada segmento social.

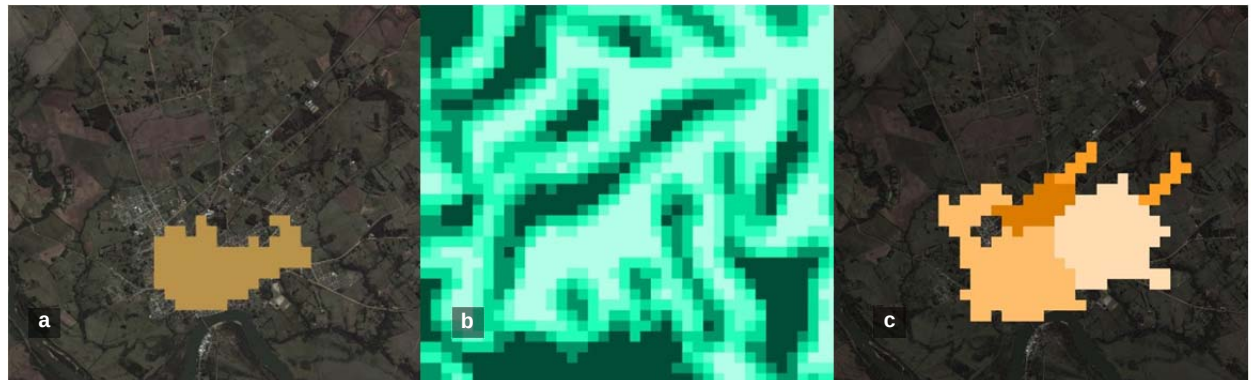
⁵¹ O modelo permite a entrada de dados em formato de ponto flutuante ou booleano, mas converterá os dados para inteiros, com valor mínimo de um durante seus processos de criação de agentes, competição, tomada de decisão e alocação.

necessários dependendo do delineamento do experimento a ser realizado. A Tabela 3.6 indica tipos de dados empíricos comumente associados ao *inputs* do modelo, enquanto a Figura 3.10 demonstra sua representação no espaço.

Tabela 3.6 - Tipos de dados de entrada, indicação de atributos empíricos associados e comportamentos possíveis nas dinâmicas do modelo		
Tipo de dado	Indicação de atributos empíricos	Comportamento possível
Ambiental urbano	Atividades urbanas (habitação, comércio, indústria, etc), circulação (sistema viário principal, secundário, estradas), demografia/densidade.	Atração, resistência ou neutralidade à urbanização;
Ambiental natural	Hidrografia (águas rios, linhas de drenagem, corpos d'água, etc), cobertura do solo (mata nativa, mata plantada, banhado, campo, etc), tipo de solo ou subsolo, topografia (declividade ou altitude)	Atração, resistência ou neutralidade à urbanização;
Ambiental institucional	Política fiscal (IPTU, instrumentos do Estatuto da Cidade, outros impostos e taxas), índices urbanos (taxa de ocupação, densidade, índice construtivo permitido, usos incentivados ou restringidos), zoneamento ambiental ou urbano (zonas de conservação, zonas especiais), valor cultural (territórios étnicos, sociais e outros valores subjetivos e coletivos).	Atração, resistência ou neutralidade à urbanização;
Populacional	classes socioeconômicas (população vulnerável, pobre, classe média ou alta), gênero, etnia, categorias socioprofissionais (atividades agrícolas, elite dirigente, pequena burguesia, profissionais de nível superior, trabalhadores manuais, trabalhadores de sobrevivência e outros, como em Taschner e Bógus (1999)).	Neutralidade à urbanização

Fonte: do autor, adaptado de Polidori (2004).

Figura 3.10 - Exemplos de dados de entrada do modelo para Jaguarão/RS: a) atributo urbano: área efetivamente urbanizada em 1947; b) atributo natural: bacias hidrográficas (valores escuros são fundos de vale e claros divisores de água); c) atributo institucional: macrozoneamento do Plano Diretor do município



Fonte: do autor a partir de Saraiva (2013, p. 46) e Peres e Polidori (2014).

3.10 SUBMODELOS

A seguir são descritos os submodelos que compõem o modelo incluindo detalhes de seus processos, atributos ou parâmetros necessários à execução, além de variáveis que são alteradas por suas rotinas e demonstram os seus resultados. Para cada um dos processos foram realizados testes de sensibilidades sobre ambientes abstratos que subsidiaram a verificação do modelo, apresentados na seção 3.12⁵².

⁵² Os testes são apresentados resumidamente na seção 3.12 e detalhados no Apêndice B – Testes de Sensibilidade Abstratos.

3.10.1 Entrada de dados

O processo de inicialização dos Agentes faz a leitura dos *grids* com a população de cada Classe de Agentes e realiza a distribuição desta população em parcelas menores (os Agentes) atribuindo-lhes parâmetros através de um processo estocástico. Os parâmetros e variáveis de resultado deste submodelo estão elencados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Processo de geração de agentes, seus dados de entrada e variáveis de estado alteradas	
Dados de entrada/parâmetros	Variáveis de estado alteradas
Dados empíricos (exógenos) contendo segmentação socioeconômica (classes).	Parâmetros dos Agentes em cada Classe
Parâmetro de Divisão das Classes	
Parâmetro de Aleatoriedade das Classes	
Taxa de Crescimento das Classes	Taxa de crescimento dos agentes
População das Classes	População dos Agentes
Parâmetro de Força das Classes	Parâmetro de Força dos Agentes
Parâmetro de Prioridade das Classes	Parâmetro de Prioridade dos Agentes
Parâmetro de Distância das Classes	Parâmetro de Distância dos Agentes
Acessibilidade Alvo das Classes	Acessibilidade Alvo dos Agentes
Parâmetros de Oportunidade das Classes para cada atributo	Parâmetros de Oportunidade dos Agentes para cada Atributo
Parâmetro de Copresença das Classes	Parâmetro de Copresença dos Agentes

Fonte: do autor.

A divisão das Classes é controlada pelo Parâmetro de Divisão dos Agentes (dv_f), que determina o número de subdivisões de cada Classe. Com a divisão, os Agentes passam a conter parcelas da população de suas Classes (são, portanto, sujeitos coletivos)⁵³, conforme Equação 3.1. Para a distribuição da população de cada Classe para os Agentes que a formam o modelo limita a divisão a números inteiros⁵⁴.

Equação 3.1 - Divisão das classes em agentes	
$K_c = \frac{\text{Class } c. \text{Pop}_{xy}}{dv_f}$ $\text{agent } i. \text{Pop}_{xy} = \frac{\text{Class } c. \text{Pop}}{K_c}$	<p>Onde:</p> <p>K_c é o número de agentes pertencentes à Classe de Agentes c</p> <p>$\text{Class } c. \text{Pop}_{xy}$ é a população total da classe c na célula (x, y)</p> <p>dv_f é o fator de divisão</p> <p>$\text{Agent } i. \text{Pop}_{xy}$ é a população do Agente i pertencente a Classe c e localizado em (x, y), onde $\text{Agent } i. \text{Pop}_{xy} \in \mathbb{Z}$</p>

Fonte: do autor.

Os parâmetros dos Agentes são determinados em um sorteio estocástico ao redor dos parâmetros da Classe de Agentes a que pertencem, segundo Equação 3.2. É aplicada

⁵³ Não há limite de quantidade de Classes para o modelo, de forma que o modelador tem a opção de atribuir características a grupos pequenos diretamente através dos *inputs*, aproximando a representação no modelo aos indivíduos manualmente, ou de criar estes grupos menores a partir de grupos sociais pelo processo aqui descrito (aproximando a representação no modelo aos indivíduos estocasticamente). No entanto, vale reforçar observações feitas na seção 3.7 quanto à aplicação do modelo para grupos populacionais e a carência de testes com parametrização de Agentes representando indivíduos.

⁵⁴ Caso exista uma célula com valor inferior ao Parâmetro de Divisão, a população será alocada para tantos Agentes quanto houver população e os demais terão população zero. Ou seja, se $dv_f = 10$ e para uma célula (x, y) $\text{APopulation}_{x,y}C = 7$, haverão 7 Agentes com população igual a 1 e três Agentes com população igual a 0 naquela célula. Se em uma outra célula (r, s) houver $\text{APopulation}_{r,s}C = 20$ desta mesma Classe, os Agentes terão população de 2 cada um.

variação para mais e para menos para os Parâmetros das Classes segundo o Fator Aleatório dos Agentes (Δ). A definição deste fator é comum a todas as Classes de Agentes e sua aplicação é realizada individualmente para cada parâmetro de forma a proporcionar maior heterogeneidade aos Agentes. Desta forma, os parâmetros dos Agentes são diferentes a cada execução do modelo, variando aleatoriamente dentro da faixa estabelecida pelo Fator Aleatório.

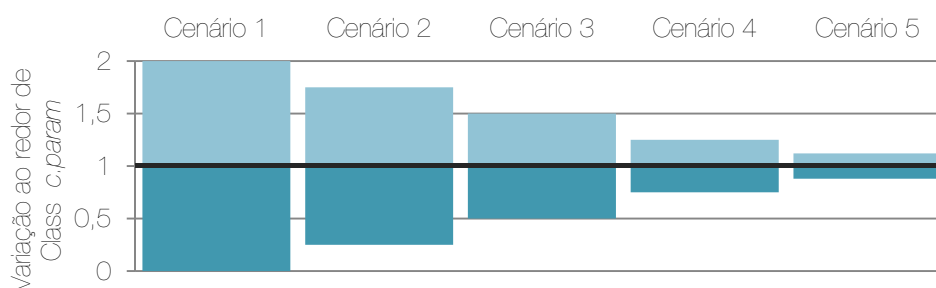
Os ajustes da divisão e da variação permitem obter diversas configurações de parâmetros para os Agentes modelados, sendo necessário observar a validade de representar um maior número de Agentes por Classe e/ou uma variação mais ou menos aleatória dos seus parâmetros. Subdivisões muito numerosas impactam o processamento do modelo e tendem a produzir células com populações muito pequenas de cada Agente, o que foge das premissas do modelo (em seu estágio atual) e pode gerar resultados com cadeias de causalidade pouco claras⁵⁵. Por outro lado, variações muito grandes podem ocasionar Agentes tão diferentes dos membros de sua Classe quanto dos Agentes de outras Classes, dificultando a observação dos resultados uma vez que a aleatoriedade pode ser o principal componente na parametrização.

A Tabela 3.8 demonstra o impacto de diferentes ajustes para o Fator Aleatório.

Equação 3.2 - Aleatorização dos valores da classe de agentes para Agentes	
$\text{Agent } i.\text{param} = \text{Class } c.\text{param} \times (1 - \Delta + 2.\Delta.X)$	Onde:
	<p>Class $c.\text{param}$ = um parâmetro da Classe de Agentes c (ex: Class $c.wAtt$ ou Class $c.Av$)</p> <p>Agent $i.\text{param}$ = parâmetro equivalente do Agente i (ex: Agent $i.wAtt$ ou Agent $i.Av$), sendo i um Agente da Classe c</p> <p>Δ = fator de aleatorização a ser aplicado sobre Class $m.\text{param}$</p> <p>X = um valor aleatório de modo que $X \in \mathbb{R} \mid 0 \leq X \leq 1$</p>
Fonte: do autor.	

Tabela 3.8 - Aplicação de Fatores Aleatórios a um parâmetro de Classe com valor hipotético de 1 e as faixas de valores correspondentes para os parâmetros finais dos Agentes

cenários	parâmetro da classe	fator Δ	faixa de valores para os parâmetros dos agentes
1	1	100%	0,00 a 2,00
2		75%	0,25 a 1,75
3		50%	0,5 a 1,5
4		25%	0,75 a 1,25
5		12%	0,88 a 1,12



Fonte: do autor.

⁵⁵ Para uma discussão sobre este ponto, observar a seção 2.4.3.

Os resultados deste processo são os Agentes e sua parametrização. Os *outputs* do processo não são observados pelo modelador, no entanto, já que as saídas observadas são agregadas para as Classes (ver seção 3.11).

3.10.2 Crescimento

O crescimento é realizado em dois processos: aquele do crescimento urbano e outro referente ao crescimento populacional dos Agentes. Ambos são descritos a seguir.

3.10.2.1 Crescimento urbano

O Submodelo de Crescimento Urbano é executado para distribuir taxas de crescimento fixas segundo probabilidades definidas por uma medida de acessibilidade celular ponderada, conforme descrito na seção 3.5. A dinâmica de crescimento urbano é operada com base no *grid* celular, em relações de vizinhança entre cada célula que adaptam para o modelo de AC técnicas usualmente encontradas em modelos de grafos (cálculo de caminho mínimo) e da ecologia da paisagem (custo variável para o deslocamento por cada unidade espacial). Seus parâmetros, variáveis e resultados constam na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Processo de crescimento urbano, dados de entrada e variáveis de estado	
dados de entrada/parâmetros	variáveis de estado alteradas
<i>Grids</i> com atributos de atração urbana	Acessibilidade Absoluta
<i>Grids</i> com atributos resistência urbana	Acessibilidade Relativa
<i>Grids</i> com atributos resistência natural	Tipo da célula
<i>Grids</i> com atributos resistência institucional	
Coefficiente Determinístico (α)	
Coefficiente Aleatório (β)	
Impedância Global (Ω)	
Taxa de Crescimento Urbano (θ_{urb})	

Fonte: do autor.

O cálculo da medida de Acessibilidade ocorre pela interação entre as células do Ambiente em dois passos subsequentes: primeiro são consideradas como células de origem todas as células do *grid*; em seguida, são consideradas células de destino todas aquelas com atributos de atração à urbanização. Entre cada origem e destino o modelo avalia os caminhos possíveis e, dentre estes, determina quais são os caminhos mais curtos. Os caminhos mínimos são verificados somando o “peso” de cada célula presente entre as origens e destinos, cujo valor padrão é de 1 (um) para cada célula (equivalente a um passo topológico).

No entanto, a medida considera a existência de resistências à urbanização que podem representar custos ambientais, baixa qualidade de infraestrutura, normas de restrição entre outros elementos que dificultam o crescimento urbano em determinada área. Estes elementos são descritos no modelo através dos Atributos (Urbanos, Naturais ou Institucionais) que têm

comportamento de Resistência à urbanização. A resistência aumenta a distância a ser percorrida em cada passo topológico do modelo no cálculo de Acessibilidade, criando um custo variável para percorrer as células⁵⁶ que atua como um campo de irregularidades que têm de ser superadas antes de permitir o crescimento urbano (POLIDORI, 2004; SARAIVA, 2013). O custo é considerado para a determinação dos caminhos mínimos de modo que a influência das resistências pode alterar o caminho preferencial entre as células. Assim áreas de alta resistência tendem a ser evitadas em favor de áreas de menor resistência ou de atração à urbanização, ocasionando que um caminho mínimo, ao invés de ser retilíneo, assuma formatos mais sinuosos, dependendo das características do ambiente. A determinação do custo de cada célula é, portanto, influenciada pelas resistências atuantes sobre os pesos que recebem. Quanto mais altas as resistências, maiores são as dificuldades à urbanização, dando-lhes influência inversamente proporcional no cálculo da Acessibilidade das células.

Além dos pesos para os Atributos, podem-se aplicar impedâncias que, matematicamente, atuam como multiplicadores da resistência da célula, diminuindo (quando recebem valores entre zero e um) ou aumentando seu valor (quando têm valores maiores que um). As impedâncias representam a modificação do ambiente pela ação humana anterior à urbanização propriamente dita, tendências de crescimento intuídas pelo modelador ou que componham hipóteses a serem verificadas. Existem duas formas de impedância: a Impedância Global (Ω) pode ser aplicada a todas as células de forma indiferenciada, acelerando ou retardando o crescimento; e a Impedância Local (ω), que age em cada célula, segundo um *grid* especial (do tipo máscara) informado nos *inputs* e permite diferenciar mais drasticamente o espaço.

As células de maior Acessibilidade no sistema são aquelas cujo somatório dos caminhos mínimos até as áreas de atração à urbanização são os menores, representando menores distâncias relativas. A medida permite, assim, hierarquizar as células de acordo com sua Acessibilidade, definindo um ranking de probabilidades de urbanização proporcional à Acessibilidade (como se verá a seguir). A Equação 3.3 demonstra a medida de Acessibilidade celular ponderada por fatores de atração e resistência à urbanização utilizada no submodelo de Crescimento Urbano.

⁵⁶ As células, de outra forma, seriam perfeitamente regulares e indiferenciadas, permitindo que as distâncias topológicas e geométricas possam ser tratadas como equivalentes, no que se refere à medida de acessibilidade, uma vez que o grid é regular e composto por células quadradas. A distância geométrica neste caso seria igual à distância topológica multiplicada pelo tamanho do lado da célula. No entanto, é bom ressaltar que o cálculo operado utiliza a *contagem* das células nos caminhos, método tipicamente vinculado às distâncias topológicas.

Equação 3.3 - Acessibilidade celular da célula (x, y)

$$AC_{xy} = \sum_{(x,y \neq r,s) \in U_{urb}} \frac{1}{d_{xy,rs}}$$

$$d_{xy,rs} = \sum_{x,y \in C_{xy,rs}} P_{xy}$$

$$P_{xy} = Env_{xy} \times \Omega \times \omega_{xy}$$

Onde:

AC_i = Acessibilidade Celular de (x, y)

$d_{xy,rs}$ = distância entre as células (x, y) e (r, s)

U_{urb} = conjunto das células com atributos de atração à urbanização.

P_{xy} = peso da célula (x, y) para acessibilidade ponderada por fatores ambientais

$C_{xy,rs}$ = conjunto das células do caminho preferencial entre células (x, y) e (r, s)

Env_{xy} = soma dos atributos ambientais de resistência presentes na célula

Ω = Impedância Global sobre atributos urbanos

ω_{xy} = impedância local sobre atributos urbanos em (x, y)

Fonte: adaptado de Saraiva (2013).

Na primeira iteração, o modelo opera com os dados dos *inputs*, sobrepondo todas células com Atributos do tipo Urbano em um novo *grid* da variável de estado Tipo da Célula. Quando ocorre o crescimento urbano, novas células são produzidas, em quantidade determinada através da aplicação da Taxa de Crescimento Urbano (θ_{urb}) sobre o número total de células urbanas do sistema para cada iteração.

As novas células urbanas são, portanto, alocadas conforme o Potencial de Urbanização das células do sistema. O cálculo do Potencial de Urbanização é baseado na Acessibilidade, mas também integra um parâmetro de aleatoriedade. Assim, o seu cálculo é realizado pela soma ponderada da Acessibilidade Relativa (Ar_{xy}) (que é a Acessibilidade Absoluta normalizada entre zero e um) a um fator aleatório multiplicados pelos coeficientes Determinístico (α) e Aleatório (β), respectivamente. O Potencial de Urbanização indica a probabilidade de uma célula ser urbanizada, variando de zero (nenhuma chance) a um (certeza), conforme a Equação 3.4., na qual se observa que a inserção de um elemento de aleatoriedade pode beneficiar os resultados ao quebrar o determinismo dos procedimentos adotados.

Equação 3.4 - Potencial de urbanização da célula (x, y)

$$Potencial_{xy} = (Ar_{xy} \times \alpha) + (random \times \beta)$$

$$Ar_{xy} = \frac{Ac_{xy}}{ACmax}$$

$$ACmax = \max(Ac_{xy})$$

Onde:

$Potencial_{xy}$ = Potencial de Urbanização da célula (x, y)

Ar_{xy} = Acessibilidade Relativa da célula (x, y)

α = Coeficiente Determinístico

β = Coeficiente Aleatório

Ac_{xy} = Acessibilidade Celular Absoluta da célula (x, y)

$ACmax$ = Acessibilidade Celular máxima do *grid*

Fonte: adaptado de Saraiva (2013).

O submodelo resulta em um padrão final de urbanização para cada iteração, indicado no *grid* pela variável de estado Tipo de Célula (*cellType*).

3.10.2.2 Crescimento da População de Agentes

O crescimento populacional dos Agentes ocorre com a aplicação de uma taxa fixa pré-determinada às populações dos Agentes no modelo. sendo a distribuição de novos Agentes operada por rotina estocástica. Os dados de entrada e os resultados deste processo estão na Tabela 3.10, a seguir.

Tabela 3.10 - Submodelo de crescimento da população de agentes, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	
dados de entrada/parâmetros	variáveis de estado alteradas
População do Agente	População acrescida do Agente para cada célula População acrescida do Agente total

Fonte: do autor.

Cada Classe tem sua Taxa de Crescimento determinada individualmente e o incremento da população dos Agentes é determinado pela multiplicação da população do Agente na iteração pela Taxa de Crescimento dos Agentes ($\theta_{pop,i}$, para cada agente i), resultando na variável População Acrescida para o Agente na iteração ($Agent\ i.\ PopGrown_t$). A origem dos dados populacionais e das taxas de crescimento são séries demográficas empíricas como as séries populacionais de recenseamentos e pesquisas. A distribuição da População Acrescida ocorre iterativamente entre as células que têm populações do Agente, sendo as células acrescidas em um até que tenha se esgotado a População Acrescida a ser alocada⁵⁷.

A variável População da Classe é verificada após este processo estocástico para compor suas versões locais (para cada célula) e gerais do sistema (todas as células). Estes dados são armazenados para cada iteração, podendo ser visualizadas nos *outputs* dinamicamente. A Equação 3.5, abaixo, define o crescimento populacional do Agente.

Equação 3.5 - Crescimento populacional do Agente i	
$Agent\ i.\ PopGrown_t = Agent\ i.\ Pop_{t-1} \times \theta_{pop\ i}$	<p>Onde:</p> <p>$Agent\ i.\ PopGrown_t$ = população acrescida total para o Agente i para a iteração t</p> <p>$Agent\ i.\ Pop_{t-1}$ = população do Agente i para a iteração anterior a atual ($t - 1$)</p> <p>$\theta_{pop\ i}$ = Taxa de Crescimento Agente i</p>
Fonte: do autor.	

⁵⁷ Dessa forma, para Agentes com populações pequenas e espalhadas em várias células, é possível que existam células que não receberão população adicional. Este processo visa evitar problemas na determinação da População Acrescida para células com população pequena. A simples aplicação do fator de crescimento nestas situações ocasionaria grande número de células sem crescimento devido ao arredondamento da População Acrescida para valores inteiros.

3.10.3 Competição

O primeiro submodelo de interação direta entre Agentes é o de Competição, em que podem expulsar-se uns aos outros das células. Seus dados de entrada e resultados estão elencados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Submodelo de competição entre agentes, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	
dados de entrada/parâmetros	variáveis de estado alteradas
População Classes de Agentes em competição (ex: i e j)	População expulsa (do Agente que perde a competição)
Parâmetro de Copresença do Agente i para a Classe d	Conflito entre Classes c e d
Parâmetro de Força do Agente i	Conflitos totais
Parâmetro de Força do Agente j	

Fonte: do autor.

Para efeitos de cálculo, cada Agente tem uma tolerância às outras Classes de Agentes presentes no modelo e, quando compartilha uma célula com Agentes de outra Classe, verifica se essa tolerância foi superada. Em caso de haver população de outra Classe acima do limite tolerado, ocorre o conflito, caso contrário os Agentes permanecem inalteradamente.

Cabe destacar é que a Copresença é assimétrica, ou seja, depende da relação entre cada Agente às outras Classes, sem reciprocidade. O Agente i , da Classe c , pode ter maior tolerância para a Classe d do que o ao Agente j , da Classe d , tem para a Classe c , por exemplo⁵⁸. A literatura relata exemplos desta diferença de tratamento entre classes sociais, com as classes mais baixas ativamente buscando locais em que existe predominância de classes mais altas, enquanto que as últimas buscam isolar-se das classes inferiores (CALDEIRA, 1997; ABRAMO, 2007).

O limite para a “tensão” entre as Classes de Agentes é definido, para cada Agente, por seu Parâmetro de Copresença ($\text{Agent } i.Cp_d$), que amplia ou reduz a quantidade de Agentes pertencentes a outras Classes de Agentes a ser tolerada na mesma célula. A tolerância é, assim, definida pela razão entre as populações de dois Agentes que compartilham uma célula, sob influência de um fator exógeno que é o Parâmetro de Copresença.

A Equação 3.6 demonstra o cálculo realizado para a verificação da Copresença, onde percebe-se que um Parâmetro de copresença maior que um aumentará o denominador, efetivamente diminuindo o fator resultante e, portanto, aumentando a tolerância à outra Classe⁵⁹, enquanto a Tabela 3.12 exemplifica o estabelecimento das tolerâncias para as Classes de Agentes c , d e e .

⁵⁸ É importante salientar que os Agentes da mesma Classe sempre irão tolerar-se, independente das quantidades com que compartilhem a célula. Diferenças internas a classes sociais, neste sentido, podem ser modeladas utilizando duas ou mais Classes de Agentes com parâmetros semelhantes

⁵⁹ Esta verificação é realizada célula por célula e imagina-se que seria interessante desenvolvê-la para considerar as vizinhanças de cada célula, exercendo um efeito mais realista, mas no estágio atual do modelo não foi possível implementar essa funcionalidade

Equação 3.6 - Teste de Copresença do Agente i para o Agente j

$$Cf_{i,j,x,y} = \frac{\text{Agent } j. \text{Pop}_{xyt}}{\text{Agent } i. \text{Pop}_{xyt} \times \text{Agent } i. Cp_d}$$

$$Cpres_{x,y}(Cf_{i,j,x,y}) = \begin{cases} \text{verdadeiro}, & Cf_{i,j,x,y} \leq 1 \\ \text{falso}, & Cf_{i,j,x,y} > 1 \end{cases}$$

Onde:

$Cf_{i,j,x,y}$ = Fator de Copresença do Agente i para o Agente j , sendo que i e j não são da mesma Classe

Agent $i. Cp_d$ = Parâmetro de Copresença do Agente i para Classe de Agentes d

Agent $i. \text{Pop}_{xyt}$ = população do Agente i na célula (x,y)

Agent $j. \text{Pop}_{xyt}$ = população do Agente j na célula (x,y)

Fonte: do autor.

Tabela 3.12 - - Matriz de Copresença entre Classes de Agentes hipotéticas c , d e e

Classes de Agentes	c	d	e	...
c	-	1	3	
d	3	-	1	
e	9	1	-	
...				

Fonte: do autor.

Caso o teste resulte em Fator de Copresença maior que um, os Agentes entram em uma segunda dinâmica, a de Competição. Esta dinâmica ocorre opondo os dois Agentes em um processo que determinará a expulsão da população de um deles, obrigatoriamente. O cálculo realizado, demonstrado na Equação 3.7, é a razão entre a população das Classes a que pertencem os Agentes em oposição, multiplicadas pelos Parâmetros de Poder de cada um dos Agentes⁶⁰. Um resultado maior que um implica na derrota do Agente i , que iniciou o processo de competição, enquanto que um resultado menor que um implica na derrota do Agente j .

Equação 3.7 - Teste de Poder entre Agente i e Agente j

$$Pf_{i,j,x,y} = \frac{\text{Class } d. \text{Pop}_{xyt} \times \text{Agent } j. s_p}{\text{Class } c. \text{Pop}_{xyt} \times \text{Agent } i. s_p}$$

$$Ptest_{x,y}(Pf_{i,j,x,y}) = \begin{cases} \text{verdadeiro}, & Pf_{i,j,x,y} \leq 1 \\ \text{falso}, & Pf_{i,j,x,y} > 1 \end{cases}$$

Onde:

$Pf_{i,j,x,y}$ = Fator de Poder do Agente i para o Agente j

Agent $i. s_p$ = Parâmetro de Poder do Agente i

Agent $j. s_p$ = Parâmetro de Poder do Agente j

Class $c. \text{Pop}_{xyt}$ = população da Classe c na célula (x,y) , sendo que sendo que $i \in c$

Class $d. \text{Pop}_{xyt}$ = população da Classe d na célula (x,y) , sendo que sendo que $j \in d$

Fonte: do autor.

Parte da população do Agente derrotado é então expulsa da célula e deve buscar outro local para ocupar, sendo adicionada à População Expulsa do Agente i (Agent $i. PopExpelled$), que é totalizada ao final da competição à População Expulsa da Classe a que i pertence (Class $m. PopExpelled$), conforme a Equação 3.8. A População Expulsa é também adicionada à

⁶⁰ A utilização da população das Classes visa simular um comportamento de cooperação entre as classes sociais ante a expulsão de seus membros.

População a ser Alocada do Agente i , que será alocada no Submodelo de Alocação, descrito a seguir.

Equação 3.8 - População expulsa do Agente j na célula (x, y) após ser derrotado pelo Agente i	
$\text{Agent } j. \text{PopExpelled}_{xy} = \text{Agent } j. \text{Pop}_{xy} - (\text{Agent } i. \text{Pop}_{xy} \times Cf_{i,j,x,y})$	<p>Onde:</p> <p>Agent $j. \text{PopExpelled}_{xy}$ = População Expulsa do Agente j na célula (x, y)</p> <p>$Cf_{i,j,x,y}$ = Fator de Copresença do Agente i para o Agente j, sendo que j e i não são da mesma Classe</p> <p>Agent $i. \text{Pop}_{xy}$ = população do Agente i em (x, y)</p> <p>Agent $j. \text{Pop}_{xy}$ = população do Agente j em (x, y)</p>
Fonte: do autor.	

Equação 3.9 - Conflito para a Classe c na célula (x, y)	
$\text{Class } c. \text{Conflict}_{xy} = \sum_{i=1, i \in c}^K Cf_{i,j,xy} / K$	<p>Class $c. \text{Conflict}_{xy}$ = Conflito para a Classe c para a célula (x, y)</p> <p>$Cf_{i,j,xy}$ = Fatores de Copresença dos Agentes da Classe c na célula (x, y), desde que $Cf_{i,j,xy} > 1$</p> <p>K = número de Agentes da Classe c na célula (x, y), desde que $Cf_{i,j,xy} > 1$</p>
Fonte: do autor.	

Este submodelo produz uma série de resultados, incluindo as populações expulsas para cada Agente derrotado, um indicador dos conflitos para cada Classe de Agentes que tenha entrado em conflito (igual à média do conflito entre os Agentes desta classe, conforme a Equação 3.9) e um indicador de conflitos para cada célula, que é um valor booleano indicando se houve conflitos.

3.10.4 Tomada de decisão

A interação dos Agentes com o Ambiente ocorre de forma direta através do Submodelo de Tomada de Decisão. Nesta etapa os Agentes têm que verificar as características do Ambiente e decidir se sua localização atual cumpre com as Oportunidades a sua disposição e, em caso negativo, decidir mover-se. Os parâmetros de entrada e as variáveis deste submodelo constam na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Submodelo de Tomada de Decisão, dados de entrada e variáveis de estado alteradas	
dados de entrada/parâmetros	variáveis de estado alteradas
Parâmetro de oportunidade do agente	Matriz de oportunidade para o agente (ti)
Acessibilidade alvo do agente	População dissonante do agente
Grids urbanos no modelo	População a ser alocada dissonância do agente
Grids naturais no modelo	
Grids institucionais no modelo	
Acessibilidade relativa	

Fonte: do autor.

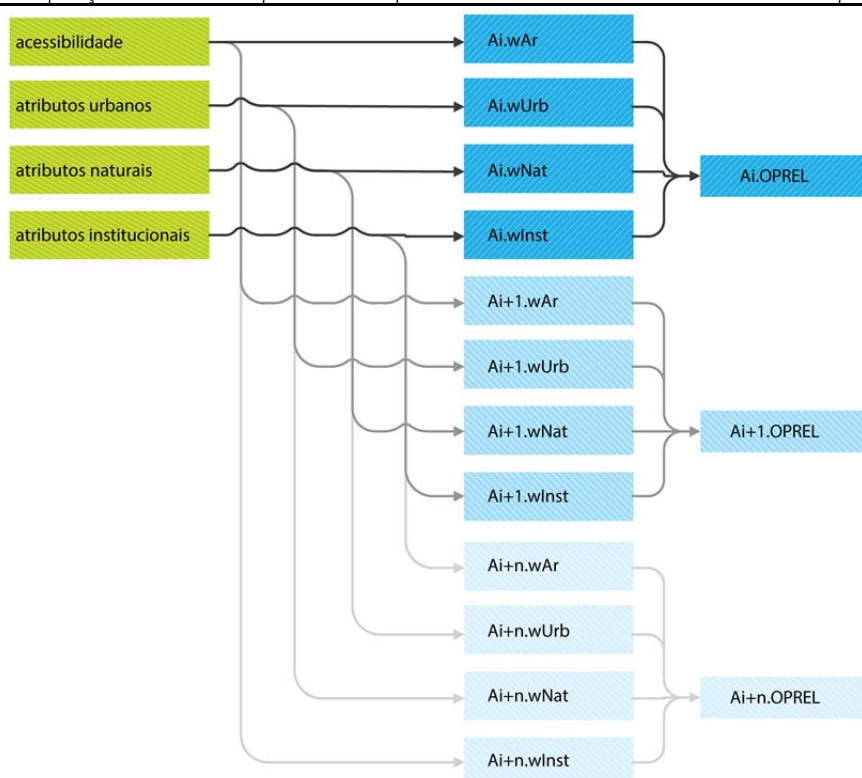
A implementação da Tomada de Decisão no modelo ocorre através do cruzamento dos Parâmetros de Oportunidade ($\text{Agent } i. wAtt_A$) de cada Agente com os Atributos do Ambiente

(*Att*), resultando em uma composição única do estado do sistema para cada Agente. Esta composição é a Matriz de Oportunidades do Agente em cada iteração, observada através das medidas de Oportunidade Absoluta (*Agent i.OpAbs*), composta pela soma de todas as Oportunidades do sistema modelado para cada Agente; e de Oportunidade Relativa (*Agent i.OpRel*), que é a normalização (entre zero e um) da Oportunidade Absoluta. Estas medidas resultam na hierarquização das células do Ambiente segundo escolhas potenciais de cada Agente, representadas na Matriz de Oportunidades (*Agent i.OPREL*) de cada um.

A Figura 3.11 demonstra, hipoteticamente, leitura dos Atributos de *input* do modelo para as Matrizes de Oportunidade de três Agentes, relacionando seus Parâmetros de Oportunidade com Atributos Urbanos, Naturais e Institucionais.

Os Parâmetros de Oportunidade de cada Agente são variáveis exógenas, determinadas pelo modelador⁶¹ e que permanecem inalteradas durante a simulação. São definidos tantos parâmetros quanto houverem combinações de Agentes com Atributos (mesmo que para isso algum parâmetro seja igual a zero), sendo que os Atributos podem ou não ter papel no Submodelo de Crescimento Urbano.

Figura 3.11 - Composição da Matriz de Oportunidade a partir dos Atributos e da Acessibilidade Relativa para três Agentes



Fonte: do autor.

⁶¹ Os parâmetros são definidos pelo modelador para cada Classe e a partir destas, no submodelo de Inicialização, são definidos os parâmetros de cada Agente, conforme descrito na seção 3.10.1.

O cálculo da Oportunidade de cada célula inicia com o ajuste da Acessibilidade Relativa do sistema para a medida de Acessibilidade Particular ($\text{Agent } i. \text{Ap}_{xy}$) de cada Agente através da Acessibilidade Alvo ($\text{Agent } i. \text{Av}$). Em seguida, a Acessibilidade Particular e os demais Atributos são ponderados pelos Parâmetros de Oportunidade de cada Agente, compondo a Oportunidade de cada Atributo na célula ($\text{Agent } i. \text{OpAtt}_{j \ xy}$), conforme a Equação 3.10

Equação 3.10 - Oportunidade do Agente i na célula (x, y)	
$\text{Agent } i. \text{OpAtt}_{A \ xy} = \text{Att}_{A, xy} \times \text{Agent } i. \text{wAtt}_A$	<p>Onde:</p> <p>$\text{Agent } i. \text{OpAtt}_{A \ xy}$ = Oportunidade para cada Atributo presente em (x, y), para o Agente i</p> <p>$\text{Agent } i. \text{Ap}_{xy}$ = Acessibilidade Particular para o Agente i em (x, y)</p> <p>$\text{Agent } i. \text{wAtt}_A$ = Parâmetro de Oportunidade para o Agente i do Atributo A</p> <p>$\text{Att}_{A, xy}$ = Atributo A presente em (x, y)</p> <p>$\text{Agent } i. \text{Av}$ = Acessibilidade Alvo do Agente i</p> <p>$\text{Agent } i. \text{wAr}$ = Parâmetro de Oportunidade para Acessibilidade do Agente i</p> <p>Ar_{xy} = Acessibilidade Relativa para a célula (x, y)</p>
$\text{Agent } i. \text{Ap}_{xy} = (1 - \text{Agent } i. \text{Av} - \text{Ar}_{xy}) \times \text{Agent } i. \text{wAr}$	
Fonte: do autor.	

As Oportunidades de todos os Atributos e da Acessibilidade Particular são somadas, resultando na Oportunidade Absoluta ($\text{Agent } i. \text{OpAbs}$) da célula. Esta medida absoluta é então normalizada, gerando a Oportunidade Relativa ($\text{Agent } i. \text{OpRel}$) que é a base para a hierarquização das células do sistema para cada Agente. A Matriz de Oportunidade do Agente ($\text{Agent } i. \text{OPREL}$) é composta ordenando todas as células do sistema por suas Oportunidades Relativas. Cada Agente tem sua Matriz correspondente e esta é recalculada a cada iteração, refletindo as alterações do sistema, conforme demonstra a Equação 3.11.

Equação 3.11 - Oportunidade Absoluta, Oportunidade Relativa na célula (x, y) e Matriz de Oportunidades para o Agente i	
$\text{Agent } i. \text{OpAbs}_{xy} = \text{Agent } i. \text{Ap}_{xy} + \sum_{j=1}^K \text{Agent } i. \text{OpAtt}_{j \ xy}$	<p>Onde:</p> <p>Agent i. OPREL = Matriz de Oportunidades Relativas para o Agente i, para todas as células do sistema</p> <p>Agent i. OpAbs_{xy} = Oportunidade Absoluta para o Agente i na célula (x, y)</p> <p>Agent i. OpRel = Oportunidade Relativa para o Agente i em (x, y)</p> <p>Agent i. Ap_{xy} = Acessibilidade Particular para o Agente i em (x, y)</p> <p>Agent i. OpAtt_{j xy} = Oportunidade para cada Atributo presente na célula (x, y), para o Agente i</p> <p>K = número total de Atributos na célula (x, y)</p>
$\text{Agent } i. \text{OpRel}_{xy} = \frac{\text{Agent } i. \text{OpAbs}_{xy} - \min \text{Agent } i. \text{OpAbs}}{\max \text{Agent } i. \text{OpAbs} - \min \text{Agent } i. \text{OpAbs}}$	
$\text{Agent } i. \text{OPREL} = \sum \text{Agent } i. \text{OpRel}_{xy}$	
Fonte: do autor.	

O penúltimo passo na Tomada de Decisão é a comparação da vizinhança em que o Agente está localizado com a sua célula, realizada pela medida de Dissonância

(*Agent i. Dissonance*). A medida é calculada comparando o valor da Oportunidade Relativa da célula em que o Agente está localizado com a média das Oportunidades Relativas das células da vizinhança.

Esta vizinhança é determinada pelo Parâmetro de Distância do Agente (*Agent i. d_p*), em uma vizinhança de Moore. O parâmetro limita as opções dos Agentes a uma capacidade de movimentação estabelecida e sua aplicação foi determinada experimentalmente.

A Tomada de Decisão ocorre, então, a partir de um processo estocástico em que as probabilidades dos Agentes mudarem-se são iguais à Dissonância. Caso o Agente decida mover-se toda sua população na célula é relocada, conforme demonstra a Equação 3.12. Esta população é chamada de População Dissonante (*Agent i. PopDissonant*) e se agrega à População a ser Alocada na iteração.

Equação 3.12 - Teste de Dissonância e População Dissonante do Agente <i>i</i> na célula (<i>x, y</i>)	
$\overline{\text{Agent } i. \text{OpRel}_V} = \sum_{xy \in V}^K \text{Agent } i. \text{OpRel}_{xy} / K$ $\text{Agent } i. \text{Dissonance}_{xy \ t} = \overline{\text{Agent } i. \text{OpRel}_V} - \text{Agent } i. \text{OpRel}_{xy}$ $\text{Agent } i. \text{PopDissonant}_{xy \ t} = \begin{cases} \text{Agent } i. \text{Pop}_{xy \ t}, & \text{Agent } i. \text{Dissonance}_{xy} > X \\ 0, & \text{Agent } i. \text{Dissonance}_{xy} \leq X \end{cases}$	<p>Onde:</p> <p><i>Agent i. PopDissonant_{xy t}</i> = População Dissonante do Agente <i>i</i> na célula (<i>x, y</i>)</p> <p><i>Agent i. OpRel_V</i> = média das Oportunidades Relativas da vizinhança <i>V</i> da célula (<i>x, y</i>)</p> <p><i>Agent i. Pop_{xy t}</i> = população do Agente <i>i</i> em (<i>x, y</i>)</p> <p><i>V</i> = vizinhança da célula (<i>x, y</i>), sendo que a distância de qualquer célula < <i>Agent i. d_p</i></p> <p><i>K</i> = número de células na vizinhança <i>V</i></p> <p><i>X</i> = um valor aleatório de modo que $X \in \mathbb{R} \mid 0 \leq X \leq 1$</p>
Fonte: do autor.	

O submodelo resulta nos *grids* de Oportunidade Absoluta, Oportunidade Relativa, Dissonância e População Dissonante de cada Classe.

3.10.5 Alocação

A alocação é dividida em dois processos, um referente à localização dos Agentes, a partir das dinâmicas de crescimento, competição e tomada de decisão; e o segundo, referente à alocação dos Atributos, a partir da composição dos Agentes para cada célula.

3.10.5.1 Agentes

A última etapa das ações dos Agentes em cada iteração é a sua alocação para as células de destino. Os dados de entrada e os resultados estão elencados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Submodelo de alocação dos agentes, dados de entrada e variáveis de estado alteradas.	
dados de entrada/parâmetros	variáveis de estado alteradas
Total da população do agente a ser alocada na iteração, para cada célula de origem	População alocada do agente, por célula de destino
Matriz oportunidades do agente	Nova localização do agente
Parâmetro. De distância do agente	

Fonte: do autor.

O submodelo é executado para cada célula de origem dos Agentes separadamente, somando as populações oriundas dos submodelos de Crescimento da População de Agentes, Competição e Tomada de Decisão na variável População a ser Alocada ($\text{Agent } i. \text{PopToAllocate}_{xy}$, onde (x, y) é a célula de origem do Agente). Esta população é alocada para as células potenciais, definidas pela seleção das células urbanizadas (não há alocação em células não urbanas), com Oportunidade acima da média da vizinhança e que não tenham ultrapassado o Limite de População das Células (PopLimit_{xy}).

A quantidade de população alocada para cada um dos destinos potenciais é definida pela contribuição do destino na média da vizinhança da Oportunidade Relativa, conforme demonstrado na Equação 3.13. A população alocada a cada destino é representada pela variável População Alocada ($\text{Agent } i. \text{PopAllocated}_{rs}$, onde (r, s) é uma célula de destino para a população do Agente).

Equação 3.13 - População a ser alocada do Agente i na célula (x, y)	
$\begin{aligned} \text{Agent } i. \text{PopToAllocate}_{xyt} &= \text{Agent } i. \text{PopGrown}_{xy} + \text{Agent } i. \text{PopExpelled}_{xy} \\ &+ \text{Agent } i. \text{PopDissonant}_{xy} \end{aligned}$ $\text{Agent } i. \text{PopAllocated}_{rs} = \sum_{rs \in V \text{ e } rs \neq xy} \text{Agent } i. \text{OpRel}_{rs} / \text{Agent } i. \text{OpRel}_V$	<p>Onde:</p> <p>$\text{Agent } i. \text{PopToAllocate}_{xy}$ = total de população do Agente a ser alocada na iteração t</p> <p>$\text{Agent } i. \text{PopGrown}_{xy}$ = População Acrescida para o Agente i</p> <p>$\text{Agent } i. \text{PopExpelled}_{xy}$ = População Expulsa para o Agente i</p> <p>$\text{Agent } i. \text{PopDissonant}_{xy}$ = População Dissonante para o Agente i</p> <p>$\text{Agent } i. \text{OpRel}_{rs}$ = Oportunidade Relativa do Agente i para a célula (r, s), sendo que (r, s) pertence a vizinhança c, é urbanizada, possui Oportunidade Relativa superior à média da vizinhança e é diferente da célula de origem (x, y),</p> <p>$\text{Agent } i. \text{OpRel}_V$ = soma das Oportunidades Relativas maiores que a média das células na vizinhança V</p>

Fonte: do autor.

O submodelo resulta na População de cada célula para cada Classe, População Alocada para as Classes e População Total da célula. Os resultados deste processo são os mais significativos para o modelo uma vez que, a partir deles, pode-se avaliar a relação das Classes de Agentes com o Ambiente do modelo, percebendo eventuais vinculações entre o Ambiente e os Agentes, assim como padrões de segregação e proximidade entre as populações de Agentes, como pode ser observado nos experimentos empíricos a seguir.

3.10.5.2 Atributos urbanos

Na última etapa de cada iteração, os Agentes que migraram ajustam a forma urbana dos seus locais de destino para as suas Oportunidades. Deste modo, há uma retroalimentação importante entre os Agentes e o Ambiente do modelo, uma vez que as células de destino já portam certas características que atraiam os Agentes para elas, que são revistas e possivelmente ampliadas pela ação dos Agentes. Os dados de entrada e resultado deste processo são elencados na Tabela 3.15.

dados de entrada/parâmetros	variáveis de estado alteradas
População de cada um dos agentes na célula	Novos <i>grids</i> urbanos na célula, para cada atributo presente nos
Param. Oportunidade de cada agente	parâmetros de oportunidade dos agentes
	[agregando] padrão da forma construída

Fonte: do autor.

A implementação das dinâmicas de Alocação de Atributos ocorre, portanto, com a avaliação da composição dos Parâmetros de Oportunidade para cada Agente presente na célula. Estes parâmetros são usados para determinar a proporção em que os Atributos Urbanos do Ambiente estarão presentes na célula na próxima iteração⁶². O cálculo consiste na média entre o peso de cada Atributo nos Parâmetros de Oportunidade dos Agentes, ponderada pela população de cada Agente e resulta na Proporção do Atributo Alocado (*Att.allocatedProp*), segundo a Equação 3.14. Esta distribuição é, em seguida, multiplicada pela Acessibilidade Relativa da célula (que atua como *proxy* de intensidade de urbanização) e pelo valor máximo encontrado no sistema para cada Atributo, formando o valor absoluto de cada atributo para a célula (*Att u. Value_{xy}*).

Equação 3.14 - Matriz de alocação de atributos da célula (x,y)	
$Att\ u.\ allocatedProp_{xy} = \sum_{u=1}^K \sum_{i=1}^O \frac{Agent\ i.\ wAtt\ u \times Agent\ i.\ Pop_{xy\ t}}{\sum_{u=1}^K Agent\ i.\ Pop_{xy\ t}}$	<p>Onde:</p> <p><i>Att.allocatedProp</i> = proporção entre os atributos a serem alocados na célula (x,y)</p> <p><i>Agent i. Pop_{xy t}</i> = população dos Agentes presentes na célula (x,y)</p> <p><i>Agent i. wAtt u</i> = Parâmetro de Oportunidade de um Atributo u para um Agente i</p> <p><i>Att. Value_{xy}</i> = valor do atributo a ser definido pelo processo</p> <p><i>maxAtt. Value</i> = valor máximo encontrado no sistema para <i>Att. Value</i></p> <p><i>Ar_{xy}</i> = Acessibilidade Relativa para (x,y)</p> <p><i>K</i> = número de Atributos constantes nos Parâmetros de Oportunidade dos Agentes locados em (x,y)</p> <p><i>O</i> = número total de Agentes locados em (x,y)</p>
$Att\ u.\ Value_{xy} = (Att.\ allocatedProp_{xy} \times maxAtt.\ Value) \times Ar_{xy}$	

Fonte: do autor.

⁶² Atributos Naturais e Institucionais não são alterados pelas dinâmicas dos Agentes.

O submodelo resulta na composição de Atributos Urbanos das células urbanas do modelo para cada iteração em que há presença de Agentes, incluindo as células que não eram urbanizadas nos *inputs*.

3.11 OBTENÇÃO DE RESULTADOS

O modelo produz resultados agregados a partir das dinâmicas de AC do ambiente e das relações dos Agentes na escala de suas Classes. O conjunto de resultados das dinâmicas de AC são elencadas na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Variáveis de estado alteradas pelo modelo reproduzidas nos outputs			
variáveis de estado	símbolo	unidade	espectro padrão
População na célula (x, y) para a Classe c	Class c . Pop _{xy}	famílias	inteiros positivos
População acrescida em (x, y) para a Classe c	Class c . PopGrown _{xy}	famílias	inteiros positivos
População total para a Classe c	Class c . Pop	famílias	inteiros positivos
População Expulsa da Classe c	Class c . PopExpelled	famílias	inteiros positivos
População a ser Alocada da Classe c	Class c . PopToAllocate	famílias	inteiros positivos
Intensidade de Conflitos, entre as Classes c e d	TotalConflict _{cd}	n/a	
Indicação de Conflito na célula	TotalConflict	booleano	0 ou 1
Oportunidade Absoluta da Classe c em (x, y)	Class c . Op _{abs}	n/a	
Oportunidade Relativa da Classe c em (x, y)	Class c . Op _{rel}	n/a	0 – 1
Dissonância da Classe c em (x, y)	Class c . Dissonance	n/a	0 – 1
População Dissonante da Classe c em (x, y)	Class c . PopDissonant	famílias	inteiros positivos
População Alocada do Classe c em (x, y)	Class c . PopAllocated _{rs}	pop. agentes	inteiros positivos
Acessibilidade Relativa em (x, y)	Ar _{xy}	n/a	0 – 1
Acessibilidade Celular Absoluta em (x, y)	AC _{xy}	n/a	>0
Tipo da Célula em (x, y)	cellType _{xy}	booleano	0 ou 1
Atributos presentes em (x, y)	Att A	variável	reais

Fonte: do autor.

A observação dos processos referentes aos Agentes foi realizada através de agregação na escala das Classes a que cada Agente pertence. Para tanto, foi necessário estabelecer o método de agregação para cada variável, conforme a Tabela 3.17. Para as variáveis populacionais, o agregação é a soma das populações dos Agentes que compõem cada Classe; para as variáveis da Oportunidade Absoluta e Oportunidade Relativa a agregação é operada através da média aritmética; e para a Dissonância, a agregação ocorre por média ponderada pela população dos Agentes, de forma a representar melhor as desigualdades na distribuição espacial das suas populações.

Tabela 3.17 - Variáveis de estado dos Agentes agregadas em suas Classes

variáveis dos Agentes	símbolo	variáveis equivalentes das Classes	símbolo	método de agregação
População na célula (x, y) Agente i	$Agent\ i.\ Pop_{xy}$	População na célula (x, y) para a Classe c	$Class\ c.\ Pop_{xy}$	soma
População acrescida em (x, y) do Agente i	$Agent\ i.\ PopGrown_{xy}$	População acrescida em (x, y) para a Classe c	$Class\ c.\ PopGrown_{xy}$	soma
População total do Agente i	$Agent\ i.\ Pop$	População total para a Classe c	$Class\ c.\ Pop$	soma
População Expulsa do Agente i	$Agent\ i.\ PopExpelled$	População Expulsa da Classe c	$Class\ c.\ PopExpelled$	soma
Oportunidade Absoluta Agente i em (x, y)	$Agent\ i.\ OpAbs_{xy}$	Oportunidade Absoluta da Classe c em (x, y)	$Class\ c.\ OpAbs_{xy}$	média aritmética
Oportunidade Relativa Agente i em (x, y)	$Agent\ i.\ OpRel_{xy}$	Oportunidade Relativa da Classe c em (x, y)	$Class\ c.\ OpRel_{xy}$	média aritmética
Dissonância Agente i em (x, y)	$Agent\ i.\ Dissonance_{xy}$	Dissonância da Classe c em (x, y)	$Class\ c.\ Dissonance_{xy}$	média ponderada
População Dissonante Agente i em (x, y)	$Agent\ i.\ PopDissonant_{xy}$	População Dissonante da Classe c em (x, y)	$Class\ c.\ PopDissonant_{xy}$	soma
População Alocada do Agente i em (x, y)	$Agent\ i.\ PopAllocated_{xy}$	População Alocada da Classe c em (x, y)	$Class\ c.\ PopAllocated_{xy}$	soma

Fonte: do autor.

Adicionalmente, foram estabelecidas medidas analíticas de fragmentação e dispersão da mancha urbana obtidas diretamente da plataforma CityCell. Também foram compostas análises de exposição e isolamento da população das Classes de Agentes a partir de *grids* ASCII exportados pela plataforma e processados em softwares de geoprocessamento e estatística.

3.12 VERIFICAÇÃO

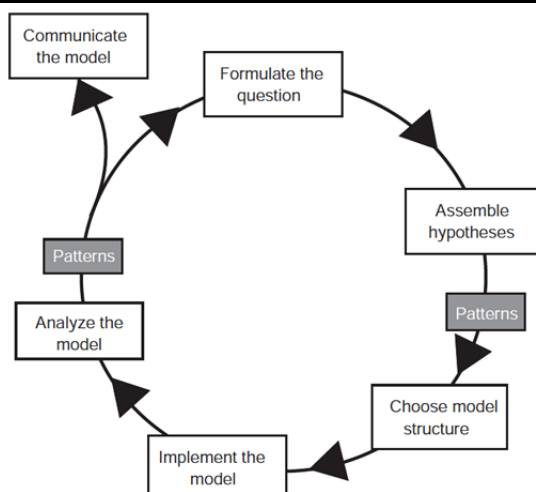
A verificação do modelo foi realizada em testes de sensibilidade de forma a verificar se os processos dos submodelos descritos resultavam nos efeitos esperados. Para tanto, foram preparados seis conjuntos de testes de sensibilidade que acham-se descritos em detalhe no Apêndice B – Testes de Sensibilidade Abstratos e cujos resultados discuto a seguir. Estes testes verificaram sistematicamente a influência dos 12 parâmetros existentes nos 5 submodelos, verificando seu impacto nas 19 variáveis de estado das Classes.

Esta abordagem foi escolhida uma vez que o modelo tem como objetivo principal a simulação de hipóteses em cenários exploratórios, compondo “experimentos de pensamento” (EPSTEIN, 2008). Desta forma, o modelo não tem pretensão à descrição dos fenômenos simulados, mas de explorar suas propriedades e processos constituintes para, a partir da modelagem, realizar questionamentos teóricos e empíricos sobre a urbanização contemporânea. A abordagem é justificada pelas premissas de manter continuidade com os estudos realizados pelos modelos da plataforma CityCell e de ser exequível no escopo desta pesquisa, além de considerar o equilíbrio entre a capacidade de representação, o conhecimento prévio e a disponibilidade de dados empíricos sobre os fenômenos em estudo (SMAJGL et al., 2011; O’SULLIVAN et al., 2012). Busquei, assim, valorizar a capacidade de

crítica e reflexão sobre os problemas urbanos em estudo pelo grupo de pesquisa, ante a possibilidades descritivas ou preditivas da modelagem.

Compreendendo a limitação que isto impõe ao modelo (COUCLELIS, 2001), busquei permitir que cenários de verificação empírica fossem realizados em etapa posterior, eventualmente ampliando o modelo, ajustando suas dinâmicas e parâmetros, de forma a dar continuidade ao processo de modelagem. Desta forma, o ensaio aqui realizado pode ser compreendido como parte de um modo contínuo de questionamento sobre a realidade, que necessariamente não se encerra nele mesmo, conforme ilustra a Figura 3.12.

Figura 3.12 - Modelagem como processo contínuo



Fonte: Grimm e Railsback (2012, p. 7).

3.12.1 Submodelo de Crescimento

O objetivo dos testes sobre o Submodelo de Crescimento Urbano foi verificar se os processos ocorriam segundo as dinâmicas de Acessibilidade Celular definidas, incluindo respostas às Impedâncias Locais e Globais, assim como Resistências Naturais. Os *inputs* estão elencados na Figura 3.13. Verificações em maior detalhe da medida de Acessibilidade, assim como aplicações a outros casos podem ser encontradas no trabalho de Saraiva (2013).

Figura 3.13 - Inputs do teste de sensibilidade de crescimento urbano: atributos do ambiente e Classe de Agentes

Urbano 5

Natural 1

camada aleatória

Impedância local



Fonte: do autor.

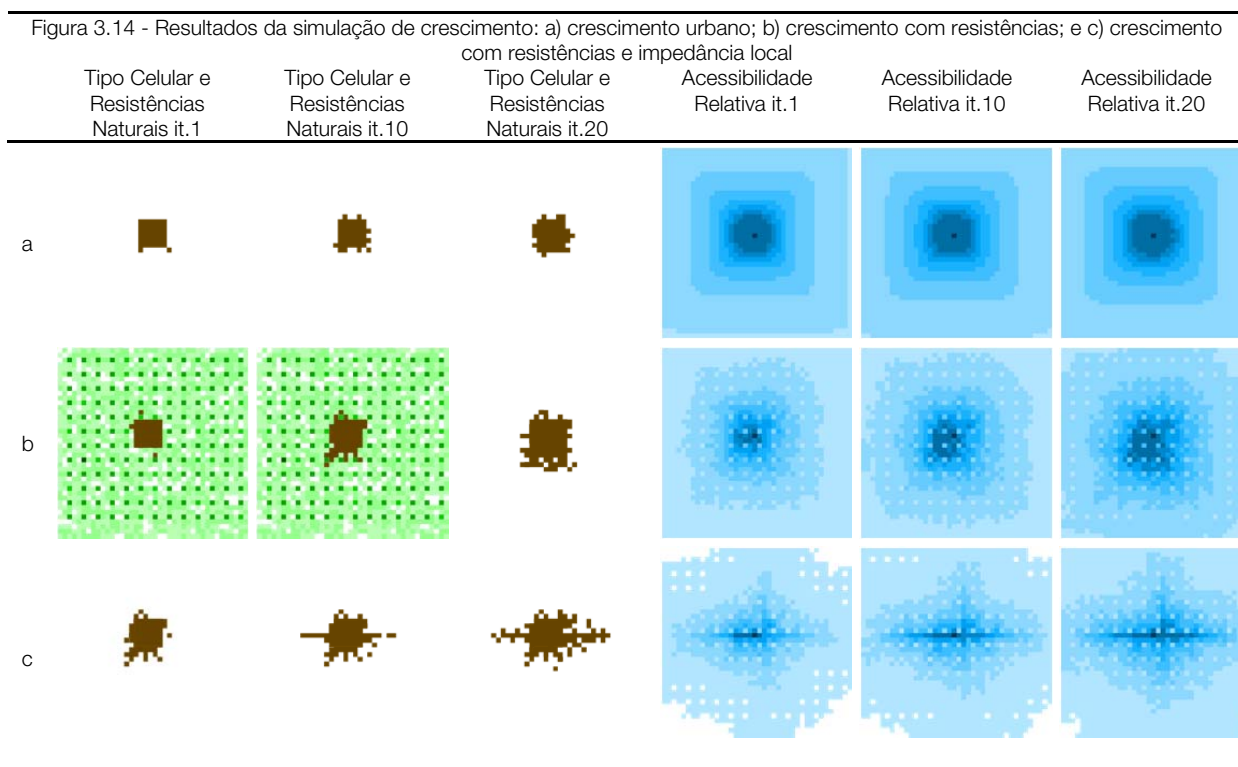
Para estes testes foram compostos três cenários:

- a) Crescimento somente com Atributo Urbano;

- b) Crescimento com Atributo Urbano e Resistências Naturais;
- c) Crescimento com Atributo Urbano, Resistências Naturais e impedância local;

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.14. A partir deles, puderam ser feitas algumas observações:

- a) o crescimento urbano ocorre em padrão espacial que tende a ser concêntrico, o que parece correto uma vez que a medida de Acessibilidade se utiliza das distâncias a todos os pontos. Com carregamentos urbanos no centro, a Acessibilidade tende a se concentrar dos pontos centrais, menos distantes aos demais;
- b) a inserção de resistências à urbanização altera o padrão urbano produzido através da Acessibilidade. As resistências eliminaram o crescimento de células próximas ao Atributo Urbano do input em favor de células mais distantes, demonstrando o efeito da ponderação pelos atributos das Resistências Naturais;
- c) no terceiro cenário, se pode constatar o impacto da camada de impedância local, que diminui as distâncias nas células onde atua. Produz, desta forma, a alteração dos caminhos mínimos entre as células e por consequência modifica o padrão de acessibilidade.

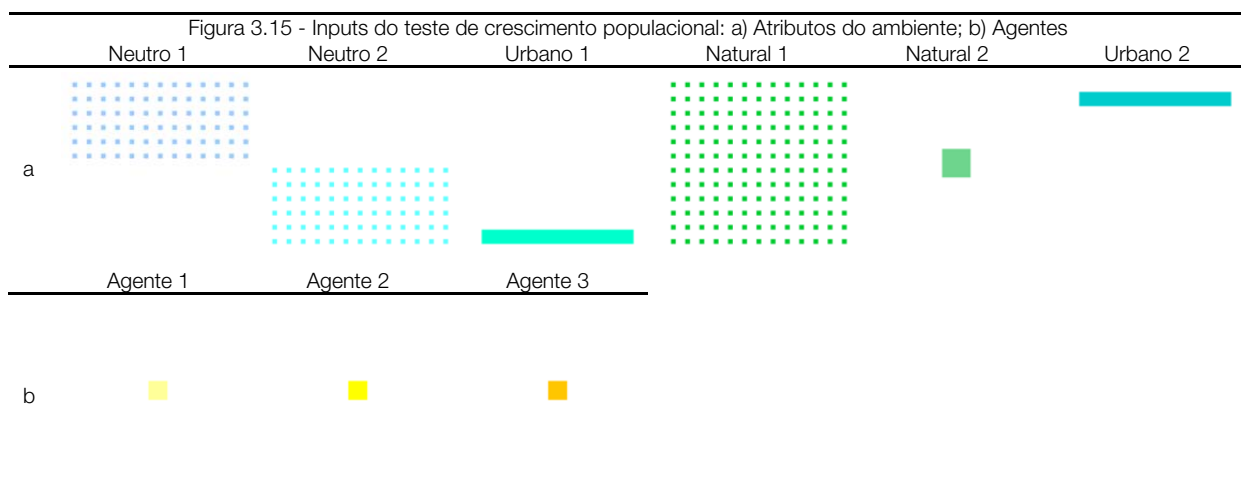


Fonte: do autor.

O objetivo dos testes do Submodelo de Crescimento da População de Agentes foi verificar se o processo resultaria no aumento de suas populações e seu impacto na distribuição dos Agentes no espaço. A Figura 3.15 elenca os dados de entrada dos testes.

Também foram elencado os seguintes objetivos específicos:

- a) Verificar se os Agentes crescem da forma pretendida;
- b) Verificar se taxas de crescimento diferentes impactam a distribuição espacial dos Agentes.



Fonte: do autor.

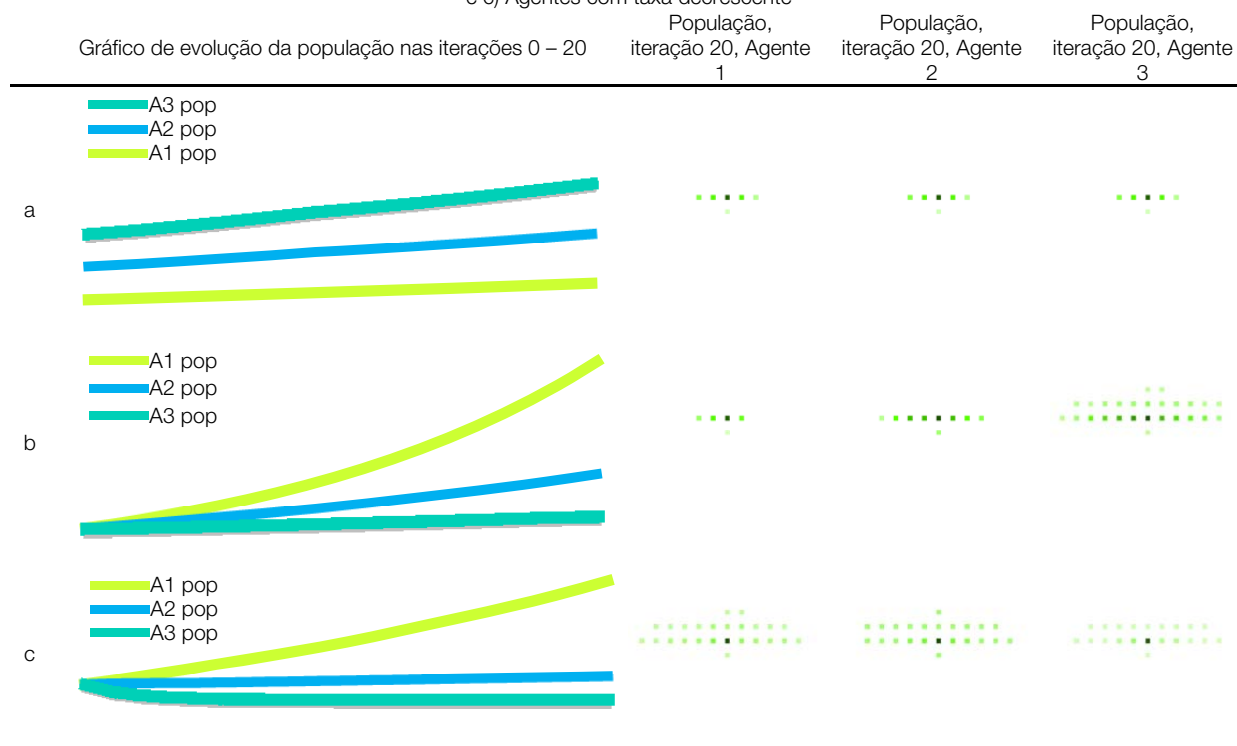
Para tanto, foram compostos três cenários:

- a) Agentes com taxa de crescimento igual;
- b) Agentes com taxa crescente;
- c) Agentes com taxa decrescente.

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.16. A partir deles, puderam ser feitas algumas observações:

- a) as curvas de crescimento dos três cenários se apresentam de modo esperado, inclusive no cenário de crescimento negativo;
- b) há impacto na distribuição espacial das populações dos Agentes, com espalhamento dos Agentes com maiores populações.

Figura 3.16 - Resultados do crescimento populacional: a) Agentes com taxa de crescimento igual; b) Agentes com taxa crescente; e c) Agentes com taxa decrescente



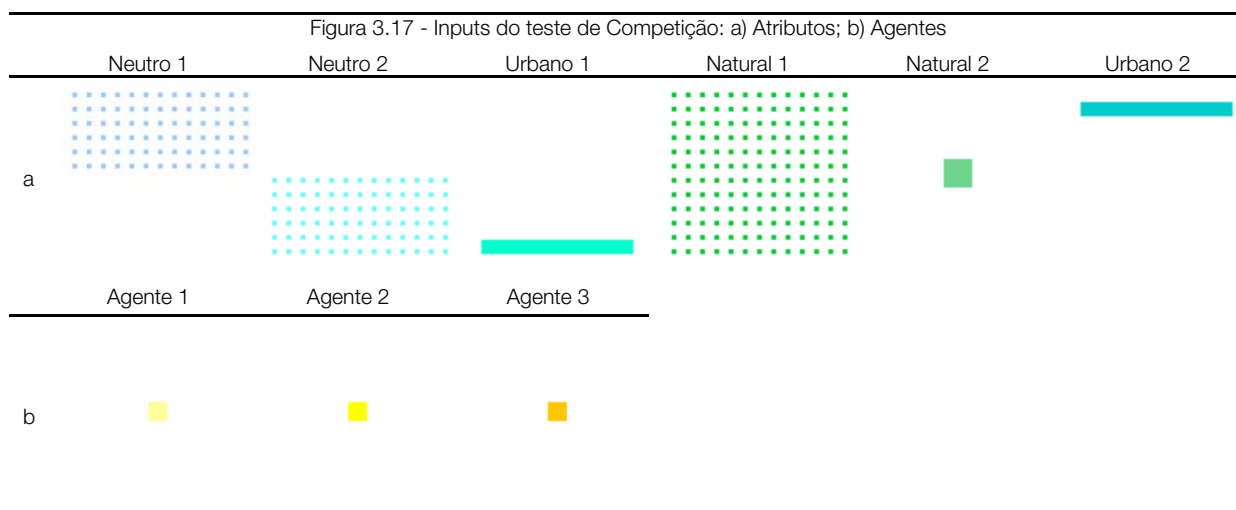
Fonte: do autor.

3.12.2 Submodelo de Competição

O objetivo inicial deste teste foi verificar se a dinâmica de copresença simulava expulsão devido a competição pela localização. A Figura 3.17 traz os dados de entrada dos testes.

Os seguintes objetivos específicos orientaram a composição de cada teste:

- investigar se a Copresença pode ser usada para traduzir efeitos produtores de segregação na ocupação das áreas urbanizadas;
- compreender, no modelo, o impacto da Copresença nas relações entre Agentes, verificando o quanto impactam os padrões finais de população;
- verificar se há interação entre Copresença e crescimento populacional dos Agentes.



Fonte: do autor.

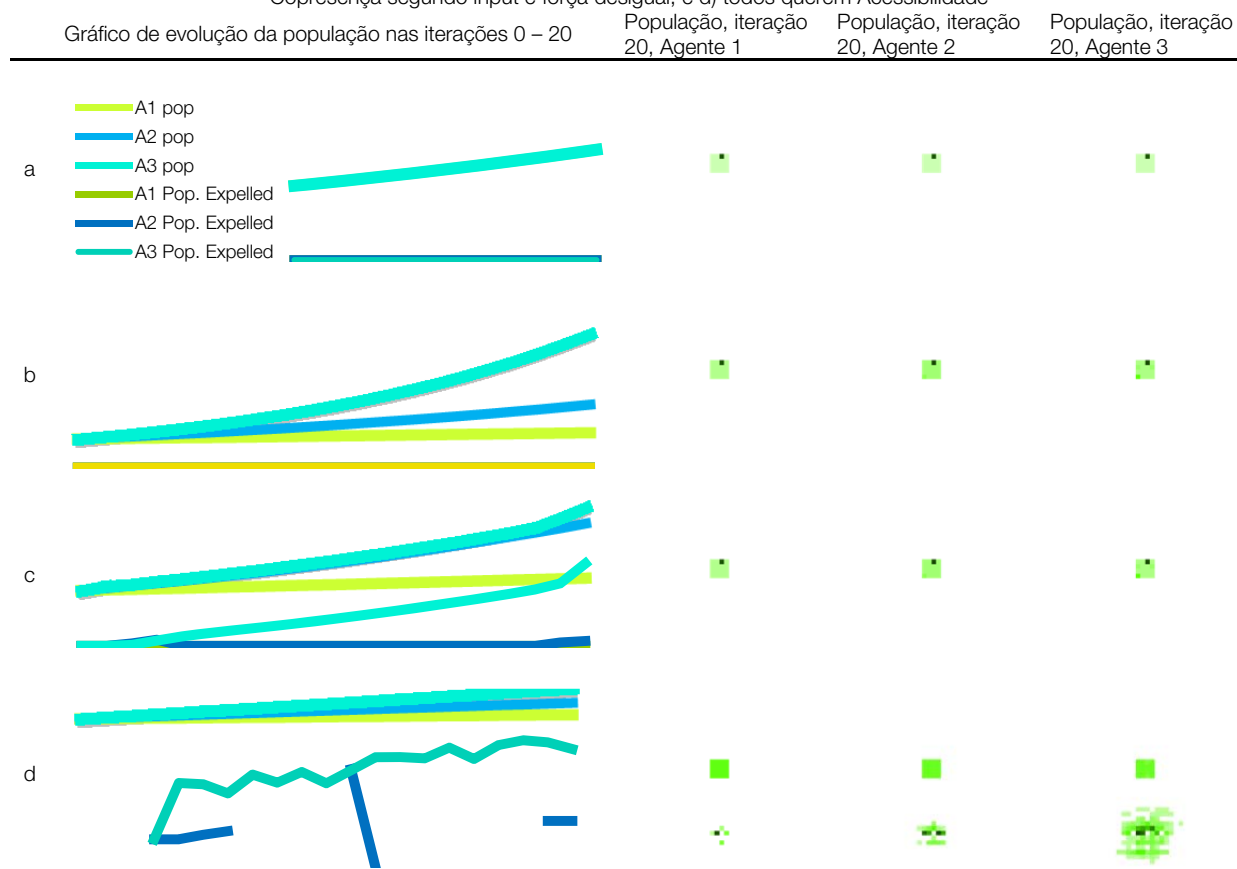
Para estes objetivos, foram compostos os seguintes cenários:

- populações e Oportunidades iguais e Copresença segundo input;
- populações crescentes, Oportunidades iguais e Copresença segundo input;
- populações crescentes, Oportunidades iguais, Copresença segundo input e Força desigual;
- todos os Agentes tem Oportunidades maiores para a Acessibilidade.

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.18. A partir deles, podem-se fazer algumas observações:

- quando se utiliza a população inicial como referência para a Copresença e o crescimento é igual, não se formam condições para Competição;
- quando há crescimento desigual ou quando as Oportunidades levam os Agentes para as mesmas células, há condições de Competição, mas a expulsão ainda depende da correlação de forças entre as Classes nas células;
- quando há assimetria de Crescimento e de Força ocorre a Competição, que demonstra ser proporcional ao crescimento dos Agentes, especialmente quando há picos de crescimento;
- quando as Oportunidades estão atreladas à Acessibilidade, que é dinâmica, a Competição passa a ser mais complexa, variando de acordo com as flutuações da Acessibilidade.

Figura 3.18 - Resultados do teste de Competição: a) populações e Oportunidades iguais e Copresença segundo input; b) populações crescentes, Oportunidades iguais e Copresença segundo input; c) populações crescentes, Oportunidades iguais, Copresença segundo input e força desigual; e d) todos querem Acessibilidade



Fonte: do autor.

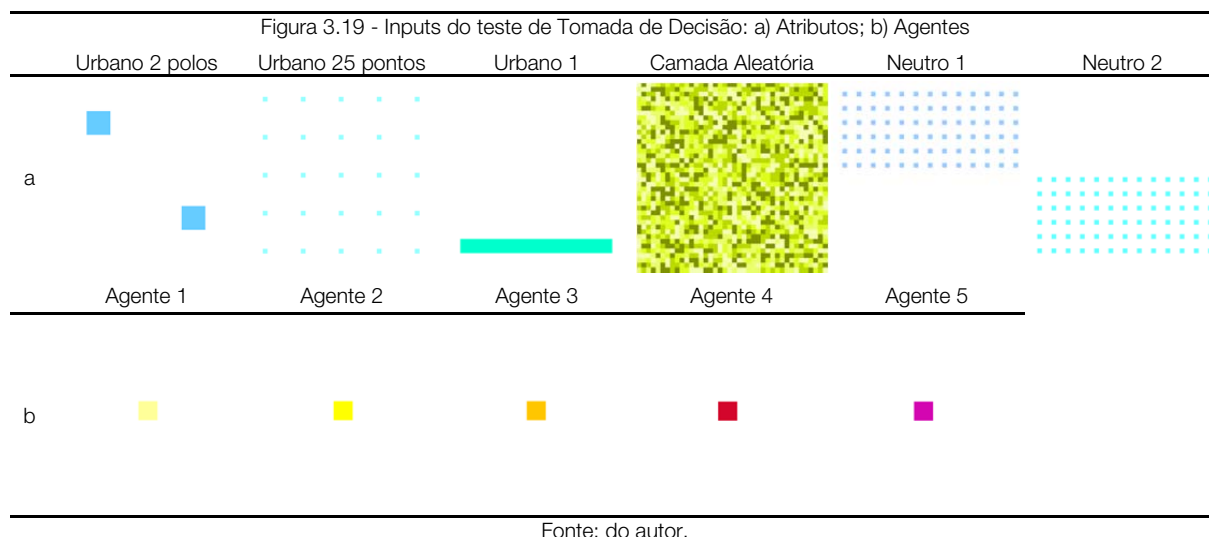
3.12.3 Submodelo de Tomada de Decisão

O objetivo deste conjunto de testes foi verificar se a Matriz de Oportunidade poderia substanciar a movimentação dos Agentes a partir de suas associações aos Atributos Urbanos, Institucionais e Naturais e da medida de Acessibilidade presentes no modelo. A Figura 3.19 traz os dados de entrada do exercício.

Os objetivos específicos orientaram a composição dos cenários:

- verificar o impacto da Acessibilidade Particular sobre a Acessibilidade Relativa para três perfis de Agentes, a partir de atrações ao crescimento com três configurações: a) dois polos; b) múltiplos pontos; e c) um bloco central;
- verificar a relação da Oportunidade com as Resistências ao Crescimento Urbano;
- verificar o impacto da ponderação da Acessibilidade Relativa a partir da Matriz de Oportunidade para três perfis de Agentes, em combinações de diferentes pesos para os atributos e da Acessibilidade Alvo;

- d) verificar o impacto quantitativo dos Parâmetros de Oportunidade para os Agentes, avaliando o caráter estático dos Atributos do ambiente e dinâmico da medida de Acessibilidade.



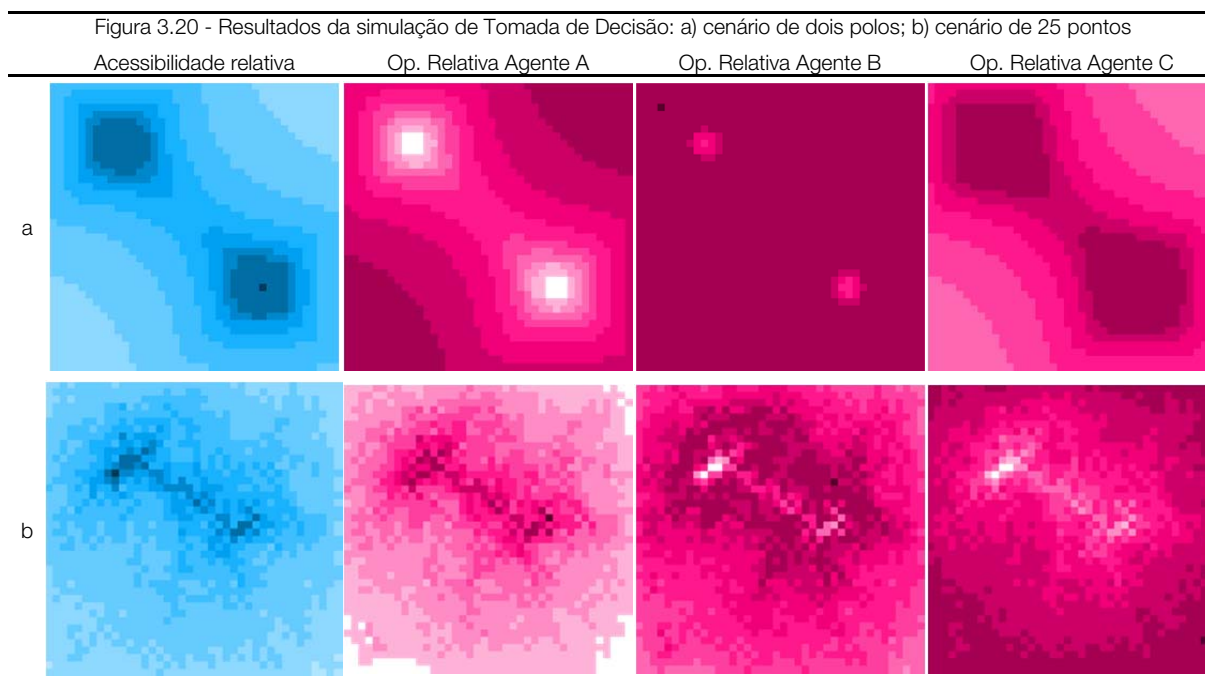
Para verificar a implementação das medidas de Oportunidade e Acessibilidade Particular, foram realizados os testes com os seguintes delineamentos:

- ambiente composto com dois polos de atração urbana concentrados, avaliados por 3 Agentes com Acessibilidade Alvo de 0,2 (Agente A), 0,5 (Agente B) e 0,8 (Agente C);
- ambiente composto com 25 pontos de atração urbana distribuídos homogeneamente com uma camada concentrada heterogeneamente de Resistências Naturais, avaliados por 3 Agentes com Acessibilidade Alvo de 0,2 (Agente A), 0,5 (Agente B) e 0,8 (Agente C).

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.20. A partir deles, são feitas algumas observações:

- nota-se que o ajuste da Acessibilidade Alvo condiciona a avaliação da Acessibilidade pelos Agentes, mesmo uma ponderação simples tem impacto;
- as Oportunidades tornam-se inversas em relação à medida de Acessibilidade quando se usa Acessibilidade Alvo muito baixa;
- as Oportunidades ficam homogêneas com Acessibilidade Alvo em torno da média, sendo que o Agente com parâmetro de Acessibilidade Alvo de 0,5 é que mais se assemelha às características da Acessibilidade Relativa;

- d) percebe-se que a distribuição espacial dos pontos atratores não diferencia a intensidade das oportunidades, já que a percepção dos Agentes é de todo o sistema e não se baseia em relações de proximidade.



Fonte: do autor.

Passou-se, então, à avaliação mais ajustada do impacto dos parâmetros de Oportunidade. Para tanto, procedeu-se a uma série de testes de calibração com diferentes combinações de valores para os parâmetros de Oportunidade da Acessibilidade e dos Atributos modelados. Assim, foram compostos os seguintes cenários:

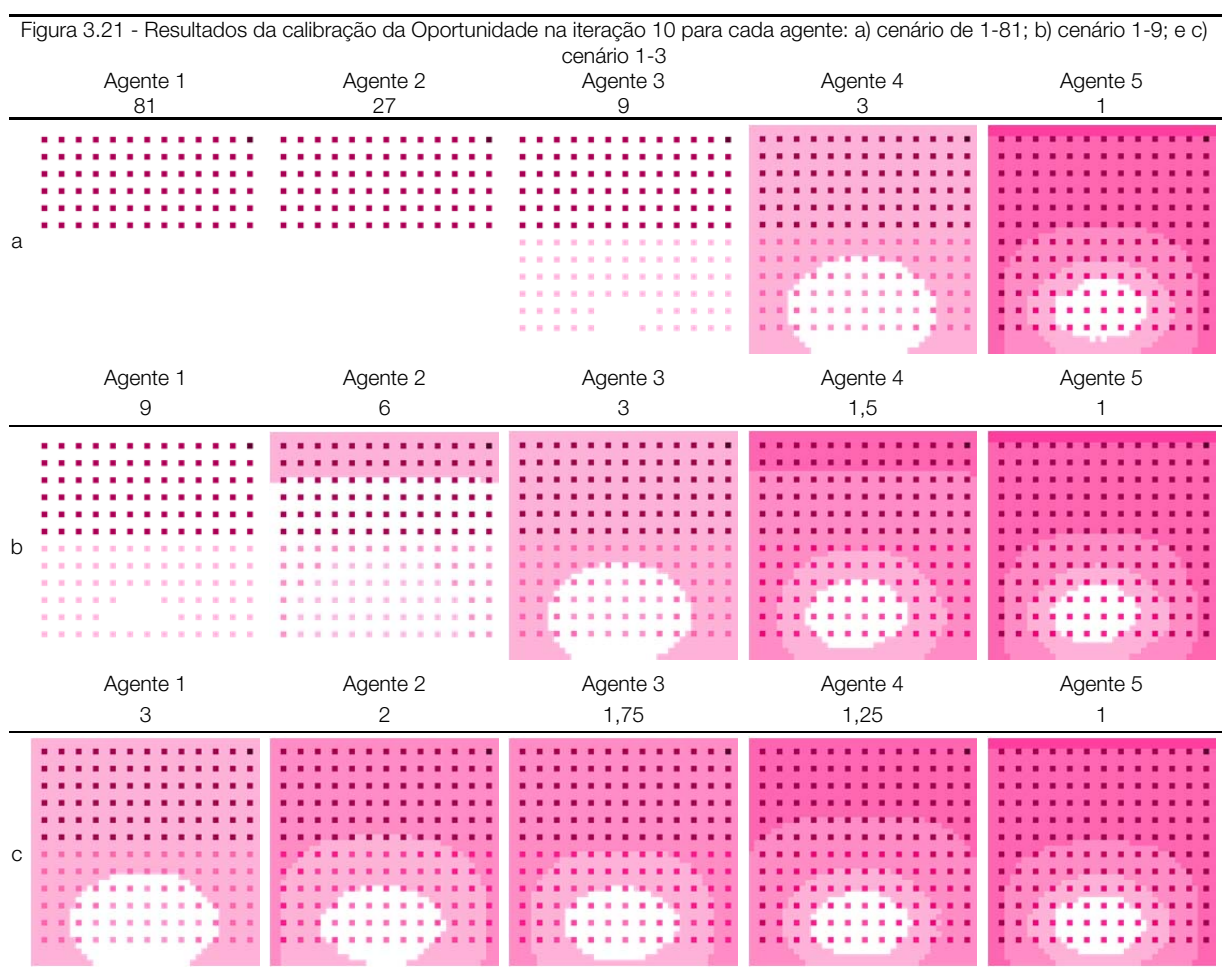
- cenário com Atributos contrastantes, dois Atributos neutros e Acessibilidade, Parâmetros de Oportunidade para “Neutro 1” variam de 1 – 81;
- cenário com Atributos próximos, como o anterior, mas Parâmetros de Oportunidade de 1 – 9;
- cenário com Atributos próximos, como o anterior, mas Parâmetros de Oportunidade de 1 – 3.

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.21. A partir deles, pode-se fazer as seguintes observações:

- nota-se que a influência dos Atributos é sensível a parametrização realizada;
- percebe-se que a parametrização mais homogênea (com Parâmetro de Oportunidade para “Neutro 1” mais próximo de 1, que é o peso atribuído aos

demais Atributos) produz maior variedade nos efeitos da medida de Oportunidade Relativa, com presença de maior número de Atributos;

- c) o inverso também é percebido, parâmetros muito elevados (acima de 9) produzem Acessibilidade Relativa muito focada na presença de “Neutro 1”, onde praticamente não se nota os demais Atributos;
- d) a Acessibilidade, por sua vez, passa a apresentar relevância ao redor do peso 3 para o atributo “Neutro 1”, mas já está presente para o valor de 6.



Fonte: do autor.

3.12.4 Submodelo de Alocação

Buscou-se verificar como a Alocação dos Agentes ocorre no sistema em relação à Oportunidade. Os objetivos definidos para compor os cenários foram os seguintes:

- a) verificar se a Alocação de Agentes ocorre de forma sensível aos parâmetros estabelecidos;

- b) verificar o grau em que as alterações nos parâmetros são refletidas à distribuição da população de diferentes Agentes;
- c) verificar os padrões de relacionamento entre Atributos, os parâmetros de Oportunidade associados e a Alocação.

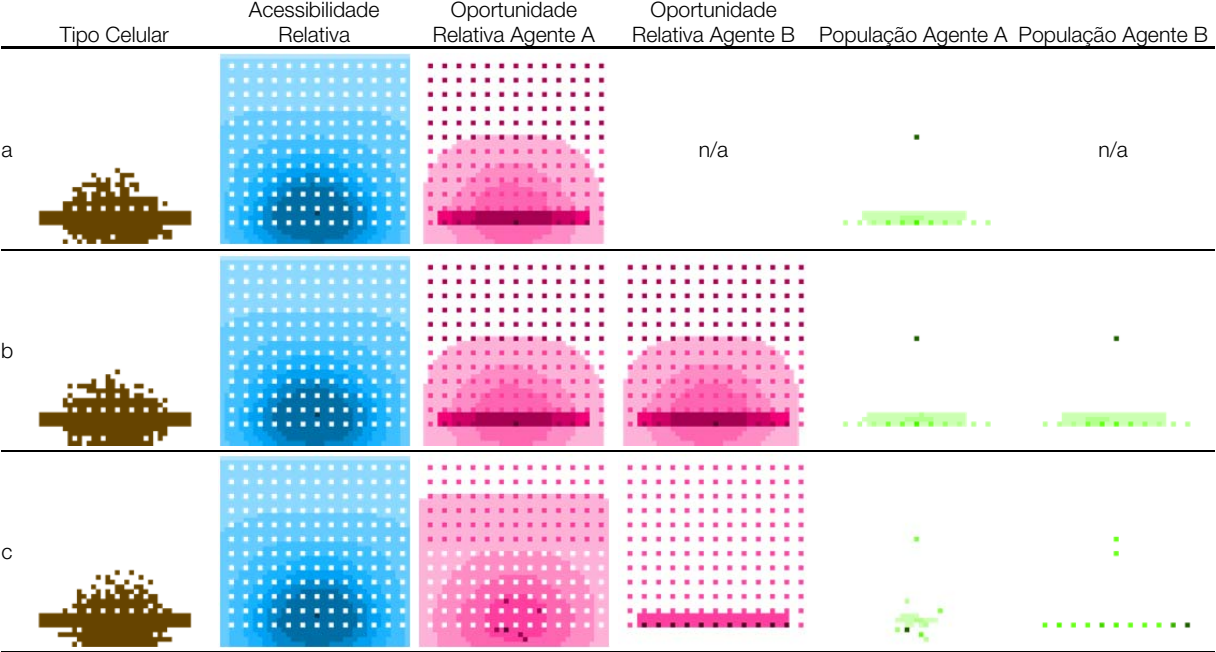
Para tanto, foram compostos os seguintes cenários:

- a) cenário com Alocação de uma Classe de Agentes;
- b) cenário com Alocação de duas Classes de Agentes, com parâmetros de Oportunidade iguais;
- c) cenário com Alocação de duas Classes de Agentes, com oportunidades variadas.

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.22. A partir deles, pode-se fazer as seguintes observações:

- a) a localização dos Agentes reflete suas Oportunidades, como pode ser percebido em todas as iterações (a partir da primeira) na relação entre Oportunidade Relativa e população;
- b) o tempo não parece ser importante nesta simulação, talvez por sua simplicidade, já que desde a iteração 10 nota-se o mesmo padrão tanto na Acessibilidade, quanto na Oportunidade e população;
- c) a urbanização, representada pelo Tipo Celular, limita a alocação dos Agentes, mas não influi nas suas Oportunidades;
- d) A inserção de nova Classe de Agentes com os mesmos parâmetros não impactou os resultados, que permaneceram idênticos para as duas Classes;
- e) A variação na avaliação dos Atributos pelas Classes de Agente afeta a distribuição final da população das Classes.

Figura 3.22 - Resultados da Alocação de Agentes na iteração 20 para cada agente: a) cenário com um Agente; b) cenário com dois Agentes e Oportunidades iguais; e c) cenário com dois Agentes e Oportunidades variadas



Fonte: do autor.

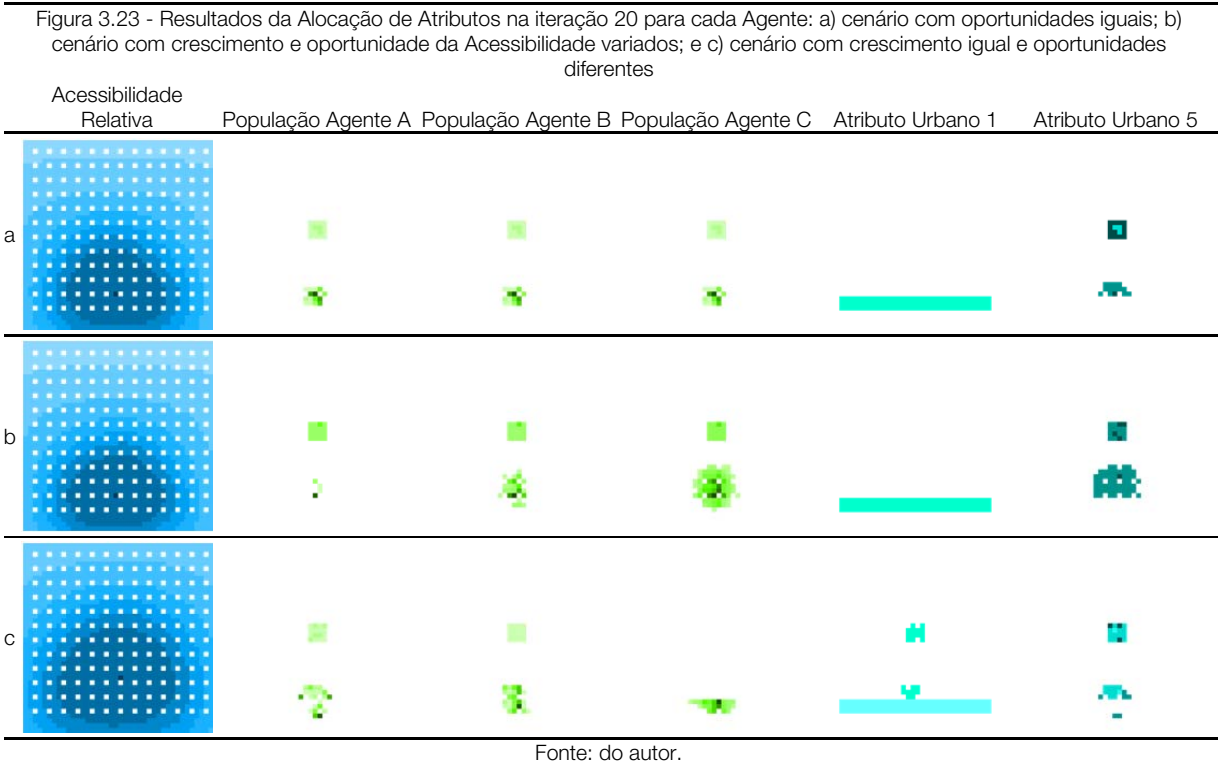
A Alocação de Atributos foi verificada pela observação do impacto de dinâmicas de Crescimento dos Agentes e das Oportunidades. Para tanto, foram compostos os seguintes cenários:

- a) cenário com crescimento populacional e Oportunidades iguais para os Agentes;
- b) cenário com crescimento populacional e Oportunidades variadas para Acessibilidade entre os Agentes;
- c) cenário com crescimento igual, Oportunidades diferentes para todos os Atributos.

Os resultados para as simulações estão na Figura 3.23. A partir deles, pode-se fazer as seguintes observações:

- a) a transferência de população altera a distribuição do atributo “Urbano 5”, de forma diretamente proporcional no primeiro experimento;
- b) a transferência é gradativa, acompanhando a distribuição da população dos Agentes;
- c) o Atributo para o qual os Agentes têm maior vinculação é “transferido” das células de *input* para os locais onde os Agentes passaram a se localizar, perdendo intensidade nas primeiras e ganhando nas células de destino segundo a oportunidade dos Agentes que nelas se localizaram;

- d) os resultados do terceiro teste mostram que a diferenciação entre os Agentes promove a alocação de Atributos em diferentes células, de acordo com as Oportunidades dos Agentes. Dessa forma, a intensidade dos Atributos se aproxima da Matriz de Oportunidade dos Agentes, como esperado;
- e) como a alocação de Atributos ocorre de forma mais intensa para os Atributos que já têm parâmetros maiores para os Agentes, ela pode compor ciclos de retroalimentação positiva intensificando a movimentação dos Agentes da mesma Classe para células com os Atributos mais alinhados com suas Oportunidades.



3.12.5 Observações sobre a verificação do modelo

O modelo se mostrou sensível aos parâmetros definidos em todos os casos. A calibração ainda revelou ajustes possíveis entre as faixas de valores, demonstrando que a combinação dos parâmetros de Oportunidade com os Parâmetros de Crescimento e Competição pode levar a emergência de padrões não-lineares. Estas condições indicam que o modelo, embora complexo, se comporta como esperado e pode ser implantado em experimentos exploratórios sobre os fenômenos em estudo.

4 EXPERIMENTOS EMPÍRICOS

Para o estudo do tema sob bases empíricas foram realizados dois conjuntos de experimentos:

- a) série de análises sobre a distribuição espacial da pobreza nas cidades da fronteira sul do Brasil, de forma a contextualizar as reflexões posteriores e validar seus *inputs*; e
- b) série de experimentos simulatórios para o município de Jaguarão com especulações sobre o seu crescimento urbano, tomada de decisão locacional, conflito os impactos ambientais e sociais decorrentes destes processos.

A seguir, são demonstrados os experimentos e seus resultados, permitindo reflexões e considerações sobre o modelo.

4.1 EXPERIMENTO EMPÍRICO DE LOCALIZAÇÃO DE BAIXA RENDA PARA CIDADES DA FRONTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

A seguir apresenta-se experimentos de análise realizados para cidades da região sul do Rio Grande do Sul com objetivo de introduzir o tema da pobreza na escala regional e validar os *inputs* utilizados para a série de experimentos simulatórios.

4.1.1 Contexto do experimento

Localizadas no bioma Pampa, na região mais austral do Rio Grande do Sul, seis cidades de pequeno e médio porte foram selecionadas para compor um exercício de investigação empírica sobre localização da pobreza, distribuição e relacionamento espacial entre três classes socioeconômicas. Os municípios foram selecionados buscando compor uma amostra significativa da realidade da fronteira sul do Brasil. A Tabela 4.1 apresenta informações elementares sobre cada um dos municípios que permite verificar a diversidade em área, população e densidade, sendo dois municípios são de médio porte (Pelotas e Bagé); dois municípios com populações próximas aos 50 mil habitantes (São Lourenço do Sul e Canguçu); e outros dois com populações inferiores aos 30 mil habitantes (Jaguarão e Arroio Grande)⁶³.

⁶³ Dados populacionais para 2010, conforme fontes mencionadas a seguir.

Tabela 4.1 - Dados básicos sobre os municípios da amostra

Município	População 2010	Área do município (km ²)	Densidade demográfica (hab./km ²)	PIB a preços correntes
Arroio Grande	18.470	2.513,60	7,4	R\$ 375.817
Bagé	116.794	4.095,53	28,5	R\$ 1.668.762
Canguçu	53.259	3.525,29	15,1	R\$ 680.884
Jaguarão	27.931	2.054,38	13,6	R\$ 452.814
Pelotas	328.275	1.610,08	203,9	R\$ 5.532.992
São Lourenço do Sul	43.111	2.036,13	21,2	R\$ 668.993

Fonte: Cidades@ (IBGE, 2015)

Os municípios da amostra são relacionados em redes socioeconômicas, estando vinculadas à rede da Capital Regional Pelotas. Estes municípios estão na parcela mais ao sul do RS, com a localização mais a oeste de Bagé, junto à fronteira com o Uruguai como Jaguarão, a cidade mais ao sul do grupo. Junto à última, encontra-se Arroio Grande e mais ao norte destas, junto à Laguna dos Patos, localiza-se o grupo formado por Pelotas, à sudeste, São Lourenço do Sul ao nordeste e Canguçu a oeste.

Este exercício focou-se nas áreas urbanizadas dos municípios, nas quais se percebeu que extensões diferentes, com Bagé e Pelotas ocupando áreas maiores. Quanto ao sítio que ocupam, Bagé e Canguçu são as que estão em locais mais acidentados com suas manchas urbanas sendo configuradas por influência dos vales junto aos quais se localizam; Pelotas e São Lourenço, por outro lado, assentam-se sobre uma declividade extremamente suave das várzeas que margeiam a Laguna dos Patos; e Jaguarão e Arroio Grande compõem situações intermediárias, com pequena presença de declives acentuados⁶⁴.

4.1.2 Objetivos do exercício

O objetivo geral foi verificar empiricamente a localização atual dos domicílios segundo seus perfis de renda, buscando padrões de segregação ou concentração espacial de classes sociais. Esta análise procurou observar a localização da população de baixa renda em relação à forma urbana e à proximidade ou afastamento dos outros perfis de renda.

4.1.3 Delineamento do experimento

O estudo das cidades da região da fronteira foi realizado da seguinte forma:

- a) mapear a distribuição espacial de três estratos socioeconômicos para os municípios da amostra;

⁶⁴ Dados adicionais a esta descrição podem ser verificados no Apêndice C, seção 1.

- b) verificar se existem relações da morfologia com a distribuição espacial estratos socioeconômicos através de análise visual das manchas urbanas e manchas de concentração para cada estrato socioeconômico.

4.1.4 Método

Partindo de base de dados da escala estadual, foram considerados dados censitários de 2010 (IBGE, 2011a) e da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010), foi composto um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para os municípios da amostra. A partir deste SIG, partiu-se para o preparo dos dados espaciais para análise dos municípios, eliminando áreas não-urbanizadas, selecionando as variáveis necessárias, estratificando as informações sobre renda e realizando o cálculo de densidade de Kernel para cada estrato de renda.

Para tanto, iniciou-se pela preparação dos dados tabulares do censo de 2010 para a análise. Na Tabela Renda dos Domicílios⁶⁵ (IBGE, 2011a), foram calculadas as quantidades absolutas de domicílios para três faixas de renda a partir das variáveis da série “Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita”⁶⁶, para cada setor censitário.

A classificação dos dados de renda per capita foi feita segundo as definições correntes do Governo Federal, especialmente as da Secretaria de Assuntos Estratégicos (2012) e Programa Brasil Sem Miséria (FALCÃO; COSTA, 2014), adaptadas ao valor do salário mínimo censo de 2010 (IBGE, 2011b). Esta estratificação em faixas de renda foi considerada como um *proxy* para classes sociais nos municípios, tratando de forma simplificada a questão da distribuição da riqueza, tendo em vista o caráter introdutório deste experimento no tema. A estratificação resultou nos seguintes grupos, calculados para cada um dos setores censitários urbanos dos municípios da amostra:

- a) domicílios com baixa renda: inclui o total dos “domicílios sem renda” (variável V014), “domicílios com renda per capita de até 1/8 de salário mínimo” (V005), “domicílios com renda per capita de 1/8 a 1/4 de salário mínimo” (V006) e “domicílios com renda per capita de 1/4 até 1/2 de salário mínimo” (V007);
- b) domicílios com renda média: “domicílios com renda per capita de 1/2 a 1 salário mínimo” (V008) e “domicílios com renda per capita de 1 a 2 salários mínimos” (V009);
- c) domicílios com renda alta: “domicílios com renda per capita de 2 a 3 salários mínimos” (V010), “domicílios com renda per capita de 3 a 5 salários mínimos”

⁶⁵ Planilha “DomicilioRenda_RS.xls” da modalidade Dados do Universo Agregado por Setores Censitários.

⁶⁶ Variáveis V005 a V014 da tabela mencionada.

(V011), “domicílios com renda per capita de 5 a 10 salários mínimos” (V012) e “domicílios com renda per capita de 10 ou mais salários mínimos” (V013).

Em seguida, foi determinada a área efetivamente urbanizada (AEU) de cada um dos municípios a partir de imagens de satélite Landsat 7 para o ano de 2010 (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2010). Estes polígonos foram utilizados como base para a espacialização contínua dos dados censitários, que visou eliminar as distorções geográficas dos setores de recenseamento usados como fonte de informação. Esta continuidade foi obtida através da interpolação dos valores registrados para cada setor, segundo uma função de densidade que permitiu compreender as concentrações no espaço das diferentes classes sem que houvesse intervalos bruscos entre os dados espacializados. Assim, minimizaram-se os efeitos da falácia ecológica/unidade de área modificável (OPENSHAW, 1984; REARDON; O’SULLIVAN, 2004), próprios da representação vetorial agregada do censo.

Nos casos em questão, por se tratar de pequenas cidades com áreas urbanas relativamente reduzidas, pareceu fundamental eliminar as distorções causadas por um pequeno número de setores que compreendem grandes parcelas das áreas urbanas da amostra, especialmente nos limites com as áreas rurais circundantes, além de permitir comparações em escalas maiores do que o tamanho relativamente grande dos setores.

Para este fim, foram realizados os seguintes procedimentos de mapeamento:

- a) eliminar dos vetores dos setores censitários as áreas não residenciais, especificamente áreas não ocupadas, com muito baixa ocupação e áreas externas área efetivamente urbanizada;
- b) dividir os polígonos resultantes por uma malha regular de 100x100m, com origem no vértice sudoeste da extensão dos polígonos, com eixo vertical orientado ao norte;
- c) eliminar os fragmentos de setores com áreas inferiores a 4.500m² e obter os centroides dos fragmentos remanescentes⁶⁷.

Finalmente, pode-se calcular a densidade de Kernel com raio de 200 metros para cada estrato de renda. O cálculo consistiu na interpolação dos centroides tendo como campo de população o número de domicílios dos estratos de renda baixa, média e alta. Este método permitiu eliminar os problemas das unidades de área entre os setores censitários e compatibilizar os dados censitários com os grids celulares em que seriam alimentados posteriormente. Detalhes adicionais destes procedimentos estão disponíveis na seção 1 do Apêndice C.

⁶⁷ Foi verificado experimentalmente que, para os casos do experimento, a medida de 4.500m² compunha um limite entre os polígonos relevantes e aqueles originados da intersecção da malha de 100m com as bordas dos setores. Foi minha avaliação de que os polígonos inferiores à esta medida exageravam as bordas, levando a falácia ecológica.

4.1.5 Resultados e discussão

O exercício resulta três *grids* para cada município da amostra, conforme registra a série da Figura 4.1 a Figura 4.6. Observa-se que os limites dos setores censitários não apresentam mais a influência na distribuição dos dados populacionais, assumindo manchas contínuas, com variações suaves entre os picos e vales dos resultados. Esta representação atende aos objetivos do exercício e permite visualizar as distribuições das classes socioeconômicas de forma mais intuitiva⁶⁸. Verificações em campo subsequentes podem determinar se o efeito da unidade de área modificável fica contornado desta forma, enquanto que para este exercício os resultados são considerados satisfatórios.

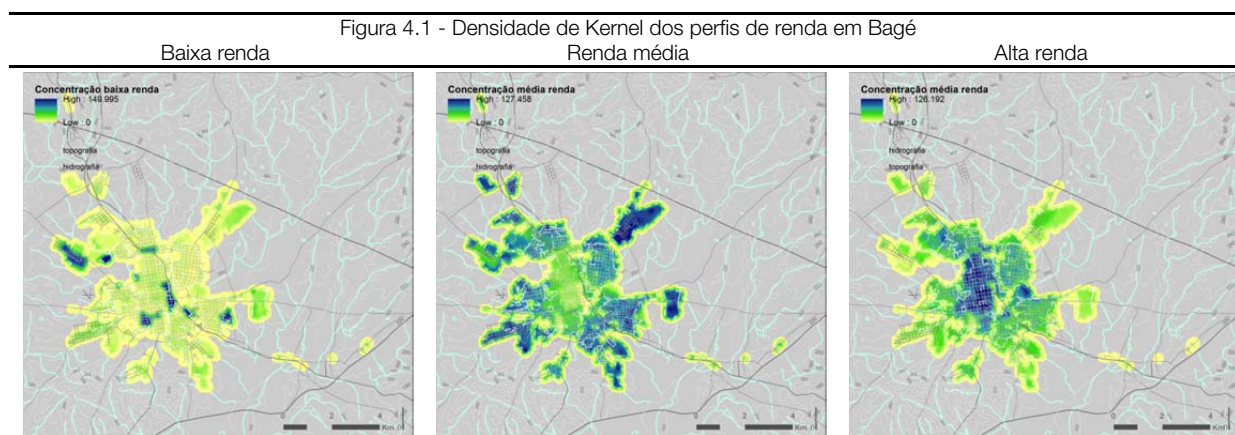
Para todas as cidades, observa-se padrão de separação entre as classes socioeconômicas determinadas pela renda per capita. A renda baixa em geral ocupa áreas nas bordas da urbanização bastante separadas entre si e das áreas dos estratos de renda alta. Em Canguçu e Jaguarão, no entanto, as áreas com concentrações intermediárias de baixa renda são mais contínuas e este estrato aparenta ser mais frequente espacialmente do que nos demais municípios. Nos casos de Pelotas e Bagé, a baixa renda está organizada em bolsões bem definidos e isolados entre si, com pontos de concentração de baixa renda mais centrais, adjacentes às áreas de rendas altas e médias. Em Arroio Grande existe apenas uma única área de concentração de pobreza, no limite oeste da urbanização e imediatamente contígua a área com maior renda da cidade. Em Canguçu, as áreas de baixa renda se distribuem nas margens das áreas urbanas a sudeste, sudoeste e noroeste desta, afastados do espinhaço central onde se localiza a população mais rica. Em ambos os casos, nota-se que há certa descontinuidade da malha viária e da ocupação nas áreas ocupadas por populações pobres, sendo que em Canguçu as áreas pobres são separadas por arroios e alterações de declividade importantes ou pela BR-392 que atravessa a porção sul do município. Em São Lourenço do Sul, a concentração de baixa renda pode ser vista em longo corredor junto ao acesso principal à cidade e em um setor central junto à área urbanizada. Em Jaguarão, as áreas de baixa renda estão localizadas principalmente no setor nordeste da urbanização, próximas do chamado Corredor das Tropas⁶⁹. Alguns outros pontos também são percebidos no extremo noroeste, a norte, junto a BR-116 e a sul, próximo ao Rio Jaguarão que divide o município de Rio Branco, no Uruguai.

⁶⁸ Exercícios posteriores podem verificar se este método de distribuição de dados agregados permite representação mais próxima da realidade, especialmente uma vez que oferece mecanismo mais simplificado de desagregação, sem contar com dados auxiliares, como em métodos de mapeamento dasimétrico.

⁶⁹ O Corredor é antigo caminho para as charqueadas do município que organiza um amplo setor periférico e pouco estruturado.

As áreas de alta renda também parecem configurar setores bem definidos, delimitados com clareza ante a seu entorno. Nos casos de Bagé e Pelotas, percebe-se que os setores mais centrais e vinculados à ocupação inicial/histórica apresentam as maiores concentrações de rendas mais elevadas. No segundo caso, encontram-se, ainda, setores periféricos na Praia do Laranjal e entre esta e a urbanização principal, que são característicos de ocupações de lazer ou suburbanas nas quais recentemente temos encontrado intensa produção de ocupações fechadas (condomínios)⁷⁰. Em Arroio Grande e Canguçu, percebe-se limites claros em um setor a sudeste da ocupação do primeiro caso e no espinhaço sobre o divisor de águas em que a cidade foi assentada no segundo. Em São Lourenço, encontra-se dois setores com concentração de alta renda: um central, na área de fundação da cidade e outro periférico, junto da Laguna dos Patos. Em Jaguarão, percebe-se uma área contínua e bem definida de concentração de alta renda, na região central e histórica da cidade fronteiriça.

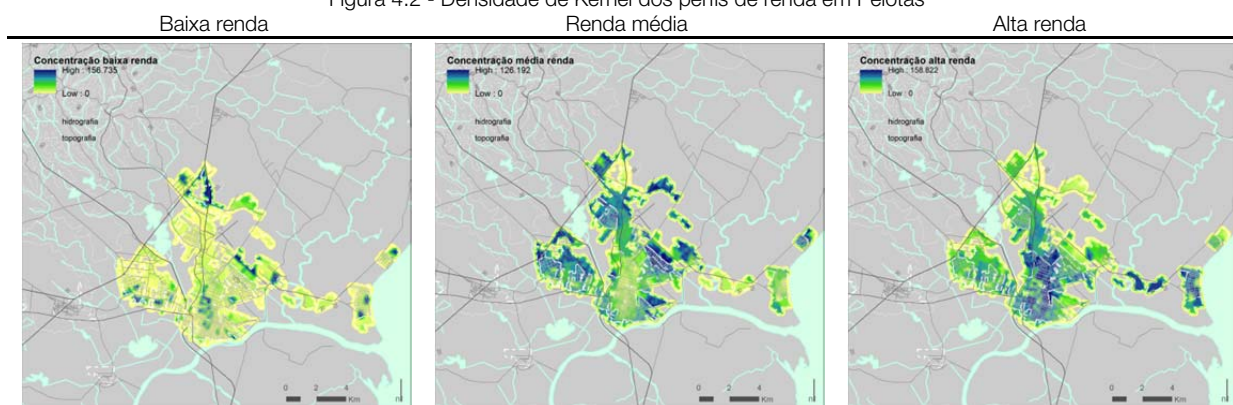
Em todos estes casos, as rendas médias realizam a transição entre as áreas de baixa e alta renda, sendo predominantes em área às demais e percebidas como a forma padrão de urbanização, ao ocupar a maior parte do território de forma contínua. A área da média renda é por vezes subtraída de parcelas de alta ou baixa renda, em bolsões contrastados com seus entornos. Nos casos de Bagé e Pelotas, nota-se que há uma prevalência de renda média em setores periféricos, de forma não coincidente com a baixa renda. Nos casos de Arroio Grande, Canguçu e São Lourenço do Sul, percebe-se certa homogeneidade na ocupação de renda média, com alguma concentração em setores de borda, próximos às áreas ocupadas por população mais rica ou ao redor destas.



Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

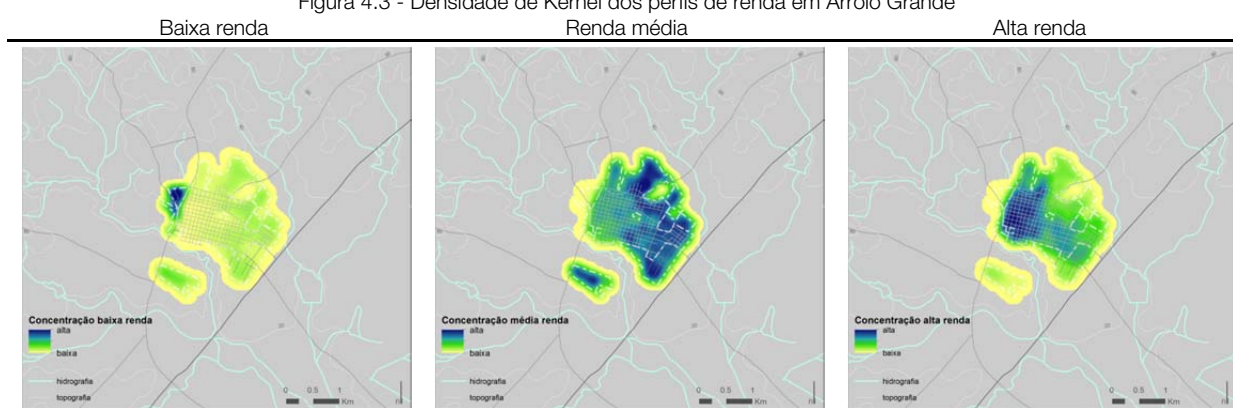
⁷⁰ Estes condomínios foram estudados por Toralles (2013), onde foram definidas como “urbanizações fechadas”.

Figura 4.2 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Pelotas



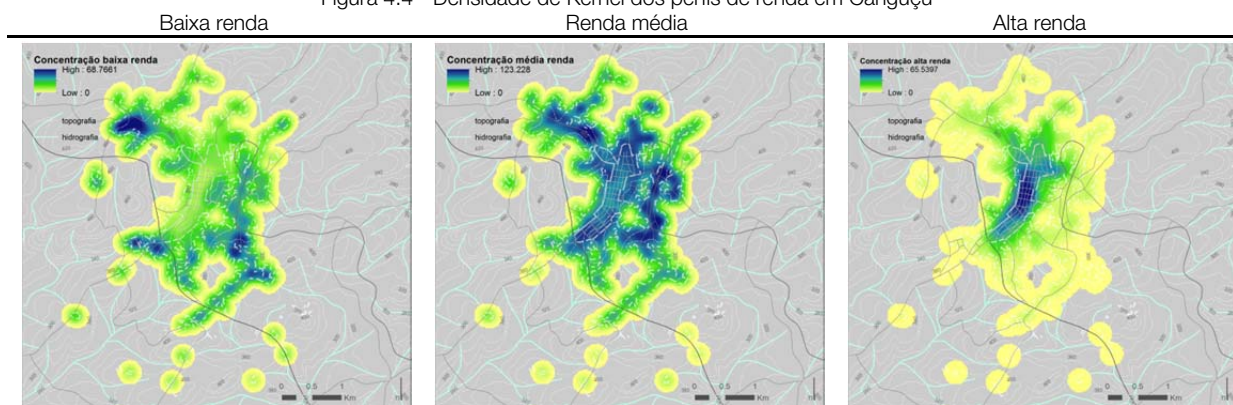
Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

Figura 4.3 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Arroio Grande



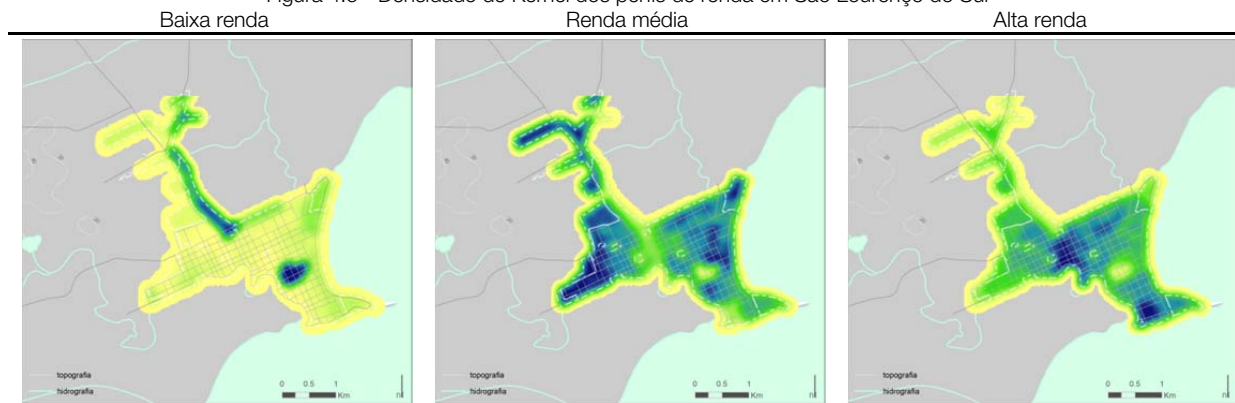
Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

Figura 4.4 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Canguçu



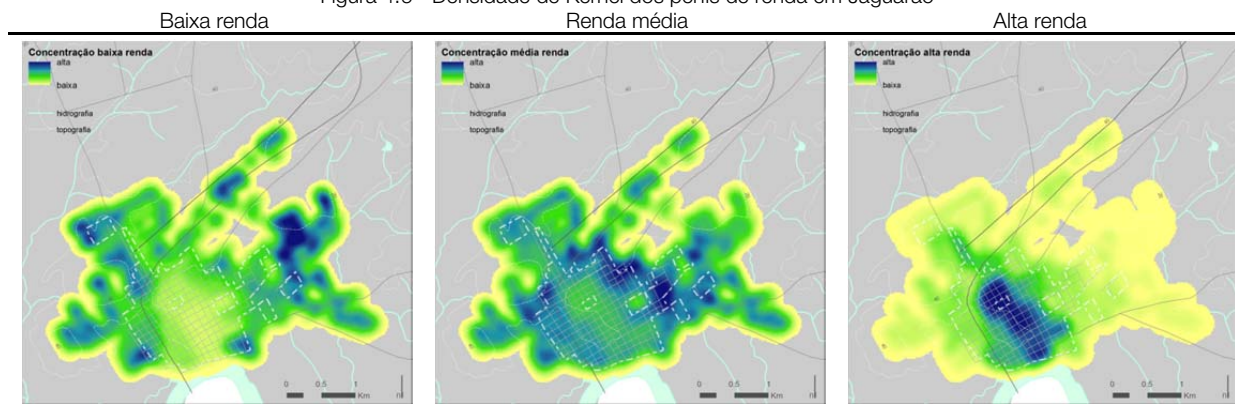
Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

Figura 4.5 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em São Lourenço do Sul



Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

Figura 4.6 - Densidade de Kernel dos perfis de renda em Jaguarão



Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

4.1.6 Conclusões do exercício

Este exercício permitiu constatar a presença de distribuições variadas para as faixas de renda em cada cidade. Além disso, demonstrou que fatores ambientais e morfológicos podem estar associados, em cada um dos casos à localização das classes socioeconômicas. Adicionalmente, demonstrou que há similaridades nos padrões espaciais adotados, estando as classes altas e baixas aparentemente mais segregadas que a classe média, que realiza um papel de transição entre as demais. Ainda permitiu observar que o método de desagregação por densidades de Kernel pode ser procedimento válido para distribuição dos dados censitários em unidades menores, ajustando-se à escala de células regulares de até 100m de lado.

Estas constatações podem sugerir que se investigue em maior profundidade as relações do ambiente com a distribuição espacial das classes socioeconômicas, para o que se utilizará o município de Jaguarão nos experimentos subsequentes.

4.2 EXPERIMENTO EMPÍRICO PARA JAGUARÃO

A implementação do modelo de simulação foi realizada em uma série de exercícios de para o município de Jaguarão/RS. Neste sentido, vale ressaltar que caso foi selecionado por tratar-se de realidade urbana bem delimitada (sem conurbação com municípios vizinhos), por ter um conjunto de dados sistemáticos e atualizados disponíveis (PERES; POLIDORI, 2014) e por ter sido objeto de investigações anteriores do grupo de pesquisa (ARAGÃO; POLIDORI, 2012; SARAIVA, 2013), além de fazer parte do grupo de municípios analisados na seção 4.1.

4.2.1 Considerações iniciais⁷¹

O município está localizado na área de fronteira do Brasil com a República Oriental do Uruguai. A Figura 4.7 destaca a localização do município e sua área urbana, enquanto a Tabela 4.2 demonstra sua situação limítrofe através das divisas com os municípios de Arroio Grande e Herval, mas principalmente com o Uruguai, além de trecho da Lagoa Mirim. A área urbana do município está a 384km da capital Porto Alegre e a ela é conectada pela rodovia federal mais longa do país, a BR-116 que de forma mais ampla liga o norte do país com o Uruguai, através de Jaguarão. O município se origina da ocupação da fronteira sul do Brasil ainda na era colonial e a população pampeana da região se confunde entre as duas nacionalidades.

O município está localizado na Mesorregião do Sudeste Rio-Grandense (IBGE, 2015) e pertence ao Conselho Regional de Desenvolvimento Sul (COREDE Sul). Economicamente, a região tem tido melhor desempenho que a Mesorregião Sudoeste, com quem guarda similaridades histórico-geográficas. No entanto, apresenta contrastes internos marcantes, tendo em um extremo a estagnação nos setores produtivos tradicionais (gado e arroz principalmente) e em outro o desempenho dinâmico dos setores de serviços, tanto os urbanos, ao redor da Capital Regional Pelotas, quanto dos serviços para a indústria, com destaque para o setor logístico no Superporto de Rio Grande (BANDEIRA et al., 2014). A instalação da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) em dez municípios das mesorregiões sudeste e sudoeste buscou dinamizá-las, agregando saber técnico-científico à educação disponível de forma a tentar conter a estagnação global que enfrentam há décadas e representa fato importante para Jaguarão, conforme se apresenta a seguir.

⁷¹ Esta seção apresenta dados gerais do município e é complementada pela seção 2.1 do Apêndice C.

CAVENAGHI, 2012). Adicionalmente, percebe-se que este crescimento acompanha a expansão da área urbana para o período, como será observado adiante em maior detalhe.

Tabela 4.3 - Alterações populacionais no período 2000-2010 para Jaguarão/RS

Ano	Moradores totais	Moradores urbanos	Domicílios urbanos	Domicílios renda baixa	Domicílios Renda média	Domicílios Renda alta
2000	29.923	27.026	8.590	2.918	2.993	2.540
2010	27.759	25.933	10.017	4.739	3.285	1.308
total variação	-7.23%	-4.04%	16.61%	62.41%	9.76%	-48.50%
taxa anual	-0.75%	-0.41%	1.55%	4.97%	0.94%	-6.42%

Fonte: do autor a partir de IBGE (2001, 2011a).

O segundo aspecto da evolução demográfica do município se apresenta na escala intramunicipal e uma grande diminuição dos domicílios de renda mais alta acompanhado do crescimento expressivo dos domicílios de baixa renda. As faixas de renda utilizadas para esta análise foram determinadas a partir da estratificação dos domicílios em três categorias: baixa, média e alta renda. Estes estratos foram definidos a partir dos censos de 2000 e 2010 considerando as seguintes faixas de renda (IBGE, 2001, 2011a):

- a) baixa renda: desde domicílios sem renda, até domicílios com responsável com renda de até 2 salários mínimos;
- b) renda média: domicílios com renda do responsável de 2 até 5 salários mínimos;
- c) renda alta: domicílios com renda do responsável de 5 a 20 ou mais salários mínimos;

A partir destes limites, se somou as populações dos setores para cada estrato, obtendo a Tabela 4.3⁷². Este conjunto de dados permite observar diferença expressiva na dinâmica demográfica dos grupos de alta e baixa renda. Enquanto o primeiro perdeu próximo da metade de sua população no período, o estrato de baixa renda ampliou sua população em mais de 60%, sugerindo empobrecimento médio da população e alterações importantes na espacialização das rendas no município.

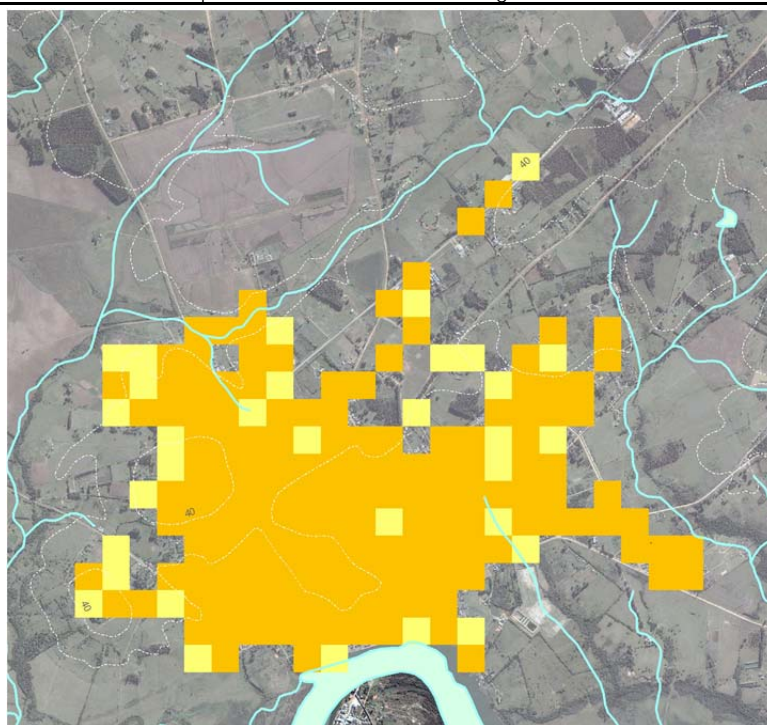
O crescimento da área urbana de Jaguarão também foi investigado, buscando compreender o padrão espacial na última década como subsídio para a simulação e como indicador do desenvolvimento das dinâmicas em curso atualmente no município. A expansão da mancha urbana foi determinada por classificação de ocupação do solo a partir de imagens do satélite LANDSAT 7 para 2000 e 2010 (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2000, 2010) assistida

⁷² Deve-se observar que estes dados podem ter sofrido impacto do aumento do salário mínimo nacional, conforme observações do Apêndice C. No que tange aos exercícios a seguir, consideraremos esta evolução conforme apresentada abaixo.

por dados complementares de campo⁷³ (PERES; POLIDORI, 2014). A compatibilização entre as imagens com auxílio de dados complementares permitiu a observação da ocupação, registrada na Figura 4.8.

As áreas efetivamente urbanizadas⁷⁴ (AEU) para cada período foram então calculadas e, a partir delas, calculada as taxas de expansão da área urbana registradas na Tabela 4.4. Nota-se um incremento relativo maior na área total da AEU do que na área da AEU sem incluir os vazios urbanos. Isso sugere que crescimento do período foi de tipo mais disperso, privilegiando aumento de perímetro em certas regiões que passam a englobar os vazios de grandes proporções sem no entanto ocupá-los.

Figura 4.8 - Áreas efetivamente urbanizadas de Jaguarão/RS: composição da AEU de 2000 (laranja) e AEU de 2010 (amarelo) reamostradas para células de 200m sobre imagem Quickbird de 2009



Fonte: do autor sobre imagens LANDSAT 7 (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2000, 2010) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Ano	Domicílios urbanos	Área AEU	Área AEU sem vazios
2000	8.590	581,28 hA	540,11 hA
2010	10.017	718,58 hA	602,70 hA
Total variação	16,61%	23,62%	11,59%
taxa anual	1,55%a.a.	2,14%a.a.	1,10%a.a.

Fonte: do autor a partir de Landsat7 (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2000, 2010) e censo (IBGE, 2001, 2011a).

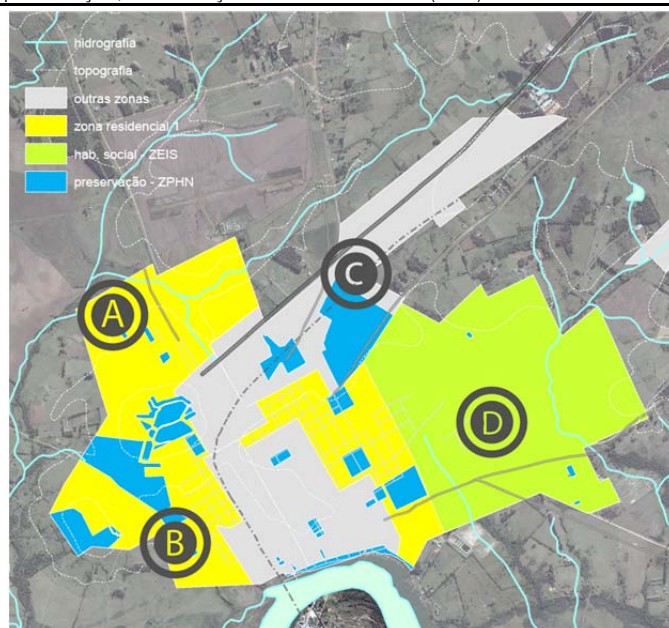
⁷³ Dentro do projeto de extensão “Planejamento Urbano em Jaguarão/RS”, a equipe do Laboratório de Urbanismo da UFPel realizou o mapeamento sistemático da área urbana da cidade e seu entorno imediato entre os anos de 2012 e 2014. Os dados se originaram de classificações assistidas, vetorização de bases municipais e diversas verificações em campo. Foram sistematizados e atualizados para o ano de 2014 em um SIG composto de tabelas, feições vetoriais e *raster*, disponibilizados em meio eletrônico. Os vetores para este mapeamento estão ilustrados no Apêndice C.

⁷⁴ Definida como a menor poligonal contínua ao redor da área urbanizada o que considera a área de arruamento e cobertura do solo com edificações, equipamentos e infraestrutura urbana e exclui massas vegetadas, campos plantados ou não, banhados, arroios e outras superfícies naturais ou rurais.

Este padrão de crescimento parece estar associado à expansão ao longo de quatro vetores (ver Figura 4.9):

- a) Universidade Federal do Pampa: campus da universidade regional que tem impulsionado demanda imobiliária no setor noroeste da área urbana (bairros Indianópolis e Kennedy). Os professores e funcionários concursados em grande parte dos casos vêm de outras cidades do país, buscando locais de moradia. Com poder aquisitivo elevado e renda estável, este público tem exercido pressão sobre o mercado imobiliário local, pouco dinâmico até então;
- b) área de expansão do Cerro das Irmandades: no setor sudoeste (bairros Cerro das Irmandades e Vencato), a atração da paisagem natural, a infraestrutura existente e a acessibilidade à área central têm trazido incremento na ocupação do entorno do cemitério do município por moradias de classes médias e altas;
- c) área de expansão entre as estradas: ampla área no setor nordeste (entre bairros Germano, Pindorama e Vila Dias), entre a BR-116 e a antiga estrada para Pelotas tem se mostrado atraente pelo acesso que tem ao Centro Histórico para um tipo de ocupação suburbano, no qual se incluem propostas de condomínios fechados também destinados a moradias de classes médias e altas;
- d) Área Especial de Interesse Social: quase todo o setor leste da cidade, junto ao antigo Corredor das Tropas, consta no Zoneamento do Plano Diretor Municipal como Zona Especial de Interesse Social (JAGUARÃO, 2006). É neste setor, que acompanha uma linha de drenagem em direção ao Rio Jaguarão ao sul, que têm sido implantados empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida no município, ocupado por famílias de baixa renda em praticamente sua totalidade.

Figura 4.9 - Polos de expansão observados e seleção do zoneamento de Jaguarão com destaque para zonas de preservação, de habitação de interesse social (ZEIS) e Zona Residencial 1



Fonte: do autor sobre SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

O crescimento interno, por outro lado, tem sofrido restrições, uma vez que o Centro Histórico apresenta crescente tendência à preservação e ao controle do uso do solo (em proteção ao seu caráter histórico). A Tabela 4.5 sintetiza os valores de crescimento populacional e da urbanização, indicando os parâmetros para o modelo na forma de taxas quadrimestrais que ajustam as iterações do modelo ao tempo do sistema de referência.

Tabela 4.5 - Variação no decênio 2000-2010 da área urbanizada e população para Jaguarão/RS. Destaque para a taxa de crescimento anual dos domicílios urbanos e área efetivamente urbanizada

	Renda baixa (domicílios)	Renda média (domicílios)	Renda alta (domicílios)	Domicílios urbanos	Área AEU (ha)
Censo 2000	2.918	2.993	2.540	8.590	581,28
Censo 2010	4.739	3.285	1.308	10.017	718,58
Taxa anual	4,97%	0,94%	-6,42%	1,55%	2,14%
Taxa quadrimestre	1,66%	0,31%	-2,14%	0,52%	0,71%

Fonte: do autor a partir de dados dos censos de 2000 e 2010 e LANDSAT7.

4.2.2 Delineamento dos experimentos

A partir do contexto socioeconômico recente do município e dos testes de sensibilidade realizados com o modelo (ver seção 3.12), se avançou na aplicação da simulação como ferramenta de apoio à pesquisa, verificando hipóteses sobre o crescimento urbano de Jaguarão para um período de dez anos, de 2010 a 2020.

Quatro cenários de crescimento urbano foram explorados em experimentos de simulação: o primeiro exercício compôs o cenário de controle, a partir de parametrização igual para todos os Agentes com suas populações efetivas; o segundo apresentou Cenário

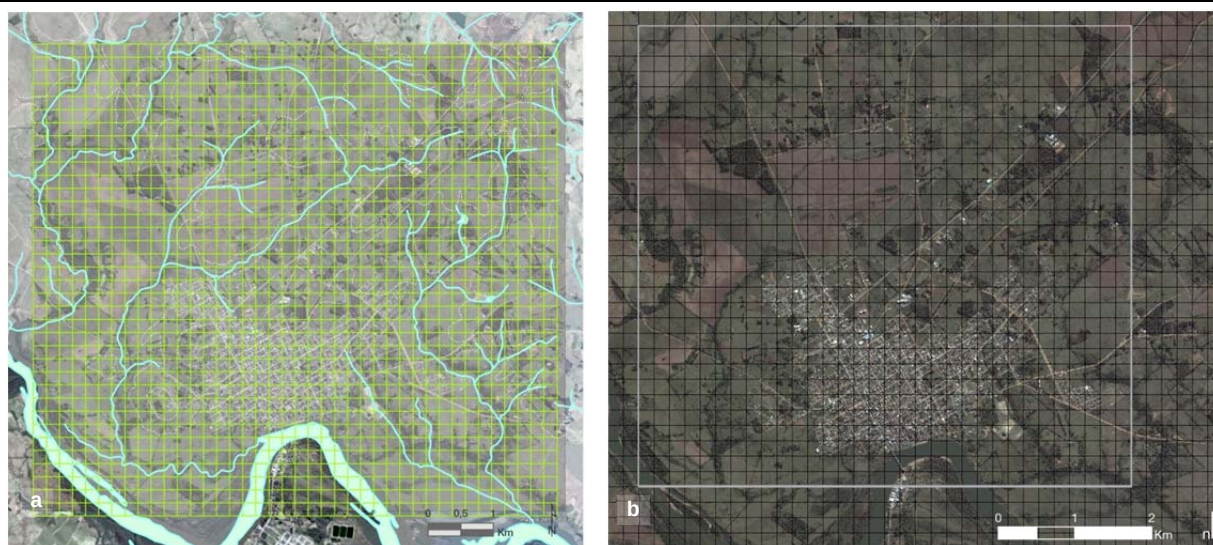
Tendencial a partir do comportamento populacional observado para o período 2000-2010, extrapolado para 2020 e considerando a vinculação dos Agentes com o Ambiente; o terceiro contou com exploração da medida de Acessibilidade como base para relações de Copresença através da variação da capacidade de poder das classes socioeconômicas modeladas; e, finalmente, o quarto cenário tratou de simulação exploratória sobre o crescimento urbano segundo quatro vetores identificados acima e sobre áreas ambientalmente frágeis no entorno da AEU.

Sob estas considerações, estabeleci que os experimentos fossem realizados dentro das seguintes condições:

- a) descrição da área de estudo para o ano de 2010, assumido como estado inicial da simulação;
- b) determinação do nível de desagregação espacial e detalhamento da área de estudo, incluindo os principais condicionantes do Crescimento Urbano;
- c) definição do nível de desagregação populacional dos Agentes e estabelecimento das Classes de Agentes a partir de variáveis socioeconômicas.

A área para os experimentos foi delimitada em SIG no sistema de coordenadas geográficas WGS 1984, fuso 22 sul, que engloba o entorno estendido da área urbana de Jaguarão em 2010. A área modelada foi composta por um *grid* de 40 colunas por 36 linhas, que resultou em retângulo de 1.440 células de 200x200m, representado na Figura 4.10.

Figura 4.10 - Área do exercício: a) imagem de satélite do entorno estendido da área urbana de Jaguarão/RS em 2010 com *grid* celular superposto a imagem, células de 200m; e, b) detalhe da área de estudo utilizado para representações



Fonte: mapas do autor sobre imagem de satélite Quickbird.

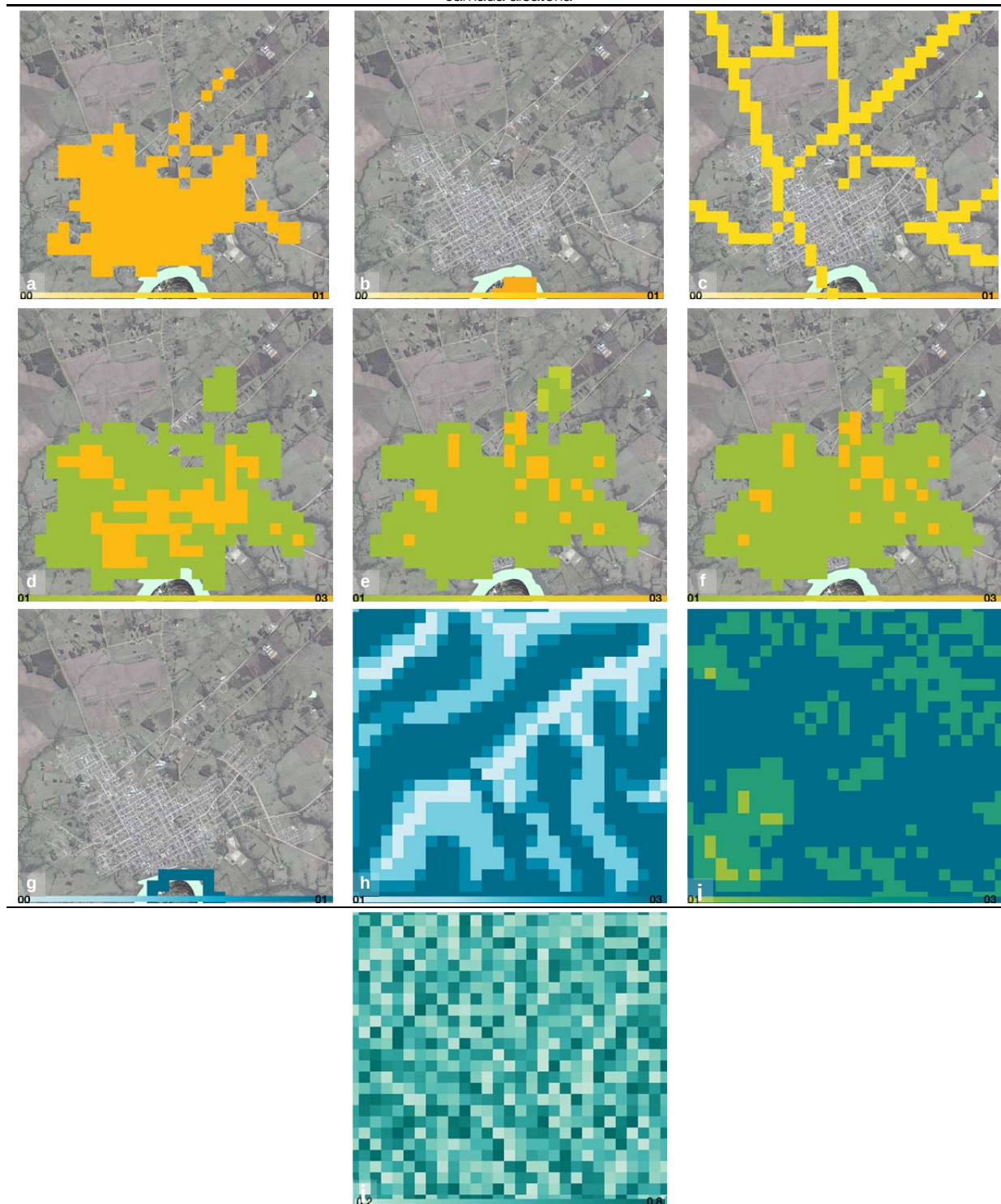
Nestes limites, foram representados os seguintes atributos:

- a) área efetivamente urbanizada de Jaguarão em 2010 (Atributo Urbano, atração, Figura 4.11, a): é a base do processo de crescimento. Valor igual a 1 para todas as células;
- b) Rio Branco, no Uruguai (Atributo Urbano, atração, estável, Figura 4.11, b): fragmento da área do município uruguaio na área de modelagem sobre o qual não pode ocorrer o crescimento urbano, mas que exerce atração. Valor igual a 1 para todas as células;
- c) estradas (Atributo Máscara de Impedância Local, Figura 4.11, c): representam o sistema viário que liga a área urbana às localidades do interior do município e à BR-116. Tem valor igual a 1, representando neutralidade à urbanização;
- d) uso do solo residencial (Atributo Urbano, neutro, Figura 4.11, d): mapeamento das densidades dos usos residenciais no município (a partir da área construída estimada), a partir de levantamento de uso do solo. Tem classificação arbitrada da densidade segundo a escala: 1, bordas da urbanização com uso residencial; 2, áreas intermediárias, com densidades baixas a médias; e, 3, principais áreas de uso residencial do município;
- e) uso do solo, atividades não residenciais (Atributo Urbano, neutro, Figura 4.11, e): mapeamento das densidades dos usos comerciais, industriais e de serviços no município (a partir da área construída estimada), a partir de levantamento de uso do solo. Tem classificação arbitrada da densidade segundo a escala: 1, bordas da urbanização com atividades não residenciais; 2, áreas intermediárias, com densidades baixas a médias; e 3, principais áreas de uso não-residencial do município;
- f) uso do solo, vazios urbanos (Atributo Urbano, neutro, Figura 4.11, f): mapeamento dos maiores vazios urbanos no município, considerados como grandes extensões não ocupadas ou com ocupação rarefeita internas à área efetivamente urbanizada, a partir de levantamento de uso do solo. Tem classificação arbitrada da densidade segundo a escala: 1, áreas de ocupação consolidada e malha contínua; 2, áreas intermediárias, com miscigenação de vazios e áreas ocupadas; e 3, principais vazios na AEU;
- g) rio Jaguarão (Atributo Natural, resistência, *freezing*, Figura 4.11, g): corresponde a área ocupada pelo curso d'água (não inclui áreas de preservação), não pode receber urbanização. Valor igual a 1 para todas as células;

- h) bacias hidrográficas (Atributo Natural, resistência, Figura 4.11, h): construído com base nas sub-bacias hidrográficas da área de estudo, é composto por cinco classes obtidas pela interpolação entre as linhas de drenagem (as maiores resistências) e os divisores de águas (menores resistências);
- i) declividade (Atributo Natural, resistência, Figura 4.11, i): mapeamento das declividades na área de modelagem a partir de modelo digital do terreno com curvas equidistantes a 1 metro. A classificação representa: valor 3, até 2% de declividade; 2, até 5 % de declividade; e, 1, com 5% ou mais de declividade;
- j) camada aleatória (Atributo Natural, resistência, Figura 4.11, j): voltada à representação de outros fatores (conhecidos ou não) do ambiente da simulação, mas que atuem sobre o modelo. Tem apresentado bons resultados nas simulações realizadas e auxilia a quebrar o determinismo da seleção de Atributos modelados. Varia de 0,2 a 0,8, segundo determinação heurística e distribuição aleatória.

Esta descrição do Ambiente, comum para as simulações, foi a base ambiental para os cenários, que poderão acrescentar elementos específicos ou alterar os parâmetros de forma a ajustar o modelo às hipóteses desenvolvidas.

Figura 4.11 - Atributos de input no modelo: a) AEU 2010; b) fragmento do município de Rio Branco (UY); c) estradas; d) uso do solo residencial; e) uso do solo não residencial; f) uso do solo vazios urbanos; g) rio Jaguarão; h) bacias hidrográficas; i) declividade; j) camada aleatória



Fonte: mapa do autor a partir de dados do SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

As Classes de Agentes foram definidas pela a variável Renda do Responsável do Domicílio⁷⁵, segundo estratificação em três classes apresentada nas considerações iniciais deste capítulo e sintetizada na Tabela 4.6. A variável foi escolhida uma vez que permitia a

⁷⁵ Tabela "responsável renda.xls"

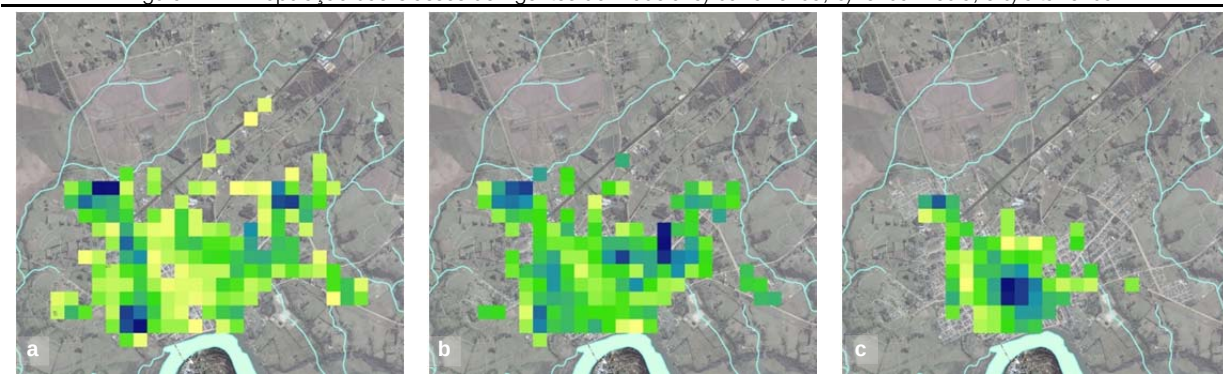
estratificação de populações de perfis socioeconômicos distintos a partir da quantidade dos domicílios em cada faixa de renda⁷⁶.

Tabela 4.6 - Síntese da população do modelo, incluindo estratificação por faixas de renda do responsável pelo domicílio			
	Classe baixa (0 a 2 salário mínimo)	Classe média (2 a 3 salários mínimos)	Classe alta (3 ou mais salários)
Domicílios do censo 2010	4.739	3.285	1.308
População da Classe de Agentes equivalente	4.740	3.284	1.289

Fonte: do autor a partir do Censo 2010 (IBGE, 2011a)

A distribuição espacial das Classes foi definida de forma a evitar a deformação dos problemas de unidade de área modificável e de falácia ecológica, conforme registra o Apêndice C e observações da seção 4.1. A distribuição final da população, utilizada como dados de entrada para a população do modelo, pode ser observada na Figura 4.12, inserida a seguir.

Figura 4.12 - População das Classes de Agentes do modelo: a) baixa renda; b) renda média; e c) alta renda



Fonte: mapa do autor a partir de dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011a).

A partir desta distribuição para as Classes de Agentes, a desagregação dos Agentes foi definida heurísticamente, através de simulações experimentais com variação do Parâmetro de Divisão. Estes experimentos levaram em consideração a distribuição das populações nas células, mas verificaram que divisões inferiores a dez tornavam os resultados muito sensíveis aos processos estocásticos de Tomada de Decisão e que valores superiores a 20 não diferenciavam os resultados a ponto de justificar o aumento no tempo de processamento decorrente⁷⁷. O Parâmetro de Divisão foi definido em 20, com 35% de variação nos parâmetros dos Agentes.

Com esta distribuição espacial das classes socioeconômicas foi possível realizar um estudo exploratório sobre sua vinculação com Atributos do Ambiente. Os Atributos foram

⁷⁶ Entendi que esta distribuição era vantajosa por preservar a distribuição de cada classe social no espaço (dentro do que é possível para os dados agregados por setores). Dessa forma, nos inputs do modelo mantém-se a coexistência num mesmo setor de estratos de rendas nos extremos da escala, evitando a agregação por Renda Média, que seria outra variável a disposição. Evitou-se, assim, que fossem eliminadas as variações internas às unidades de área do censo, como no caso de setores com grande números de populações de baixa e alta renda, com poucos domicílios com renda média, por exemplo.

⁷⁷ Uma simulação com 30 agentes por classe pode levar até 200% do tempo que uma simulação com 10 agentes.

selecionados para o estudo a partir de considerações da literatura visando relacionar o estudo da localização da pobreza a atributos ambientais (POLIDORI; KRAFTA, 2005; OJIMA; MARANDOLA, 2010), assim como a atributos da urbanização (VINCENT, 2009; BARROS, 2012; PATEL et al., 2012b; SHOKO; SMIT, 2013) além de levar em conta a disponibilidade de dados oriundos de bases censitárias (IBGE, 2011b), imagens de satélite e levantamentos de campo (PERES; POLIDORI, 2014). O resultado sintético pode ser visto na Tabela 4.7, que apresenta a associação dos atributos ambientais com os perfis socioeconômicos⁷⁸. Do conjunto de atributos analisados, foram selecionados, após simulações exploratórias, aqueles que produziram melhores resultados.

Tabela 4.7 - Resultados selecionados do estudo exploratório para parametrização dos perfis socioeconômicos em relação a atributos do ambiente do modelo

Atributos	Baixa renda	Média renda	Alta renda
Uso do solo – não residenciais	6	5	7
Uso do solo – residencial	7	8	5
Uso do solo – vazios	7	7	5
Estradas – buffer 500m	4	4	3
Linhas drenagem – buffer 500m	4	3	3
Bacias hidrográficas	4	3	2
Acessibilidade	6	7	4
Aleatório	3	1	1

Fonte: do autor.

Finalmente, após esta série de definições pode-se estabelecer os cenários para esta série de experimentos, que seguem:

- cenário de controle às simulações, com crescimento urbano equivalente ao do decênio anterior (2000-2010), população real para as Classes em 2010, crescimento uniforme da população e Parâmetros de Oportunidades iguais;
- cenário de continuidade às tendências observadas, com crescimento urbano equivalente ao do decênio anterior (2000-2010), crescimento da população ajustado à cada perfil socioeconômico e parâmetros de Oportunidades derivados de análise das vinculações dos atributos ambientais com a localização dos perfis socioeconômicos para 2010;
- cenário exploratório das áreas mais acessíveis da urbanização, com crescimento urbano equivalente ao do decênio anterior (2000-2010), crescimento uniforme da população e parâmetros de Oportunidades semelhantes para todas as classes, com maior preponderância para a Acessibilidade;

⁷⁸ Para maiores detalhes, e o elenco completo de atributos verificados, consultar o Apêndice C – Experimentos Empíricos de Vinculação de Perfis de Renda e Atributos Físicos e Urbanos.

- d) cenário exploratório de ocupação dos vetores de expansão e áreas ambientalmente frágeis contíguas à urbanização, com crescimento urbano equivalente ao do decênio anterior (2000-2010), crescimento uniforme da população e parâmetros de Oportunidades variados para as Classes de Baixa e Alta renda.

Para alcançar estes cenários, foi necessário proceder aos seguintes procedimentos, apresentados nas seções a seguir para cada cenário:

- a) desenvolvimento de hipóteses teóricas e empíricas para explorar com as simulações;
- b) construção de descritores para os resultados, incluindo a fragmentação e dispersão urbana e segregação socioeconômica;
- c) verificação dos resultados das simulações quanto a: a) padrão da expansão da urbanização, especialmente as características morfológicas; b) padrão de segregação socioeconômica, evidenciado pelo aumento da interação entre classes socioeconômicas ou pelo seu isolamento.

4.2.3 Observação dos resultados

A observação dos resultados utilizou elementos gráficos e tabulares do *software* CityCell. A saber, imagens de visualização dos *grids*:

- a) Tipo Celular, Acessibilidade Relativa e Resistência Ambiental, de forma a relatar o processo de Crescimento Urbano;
- b) Oportunidade Relativa, Dissonância, Crescimento Populacional e Competição para cada uma das Classes de Agentes, de forma a observar a em detalhe a Tomada de Decisão e a Competição.

Também foram produzidos gráficos a partir das tabulações das variáveis de estado População Total, População Acrescida, População Expulsa e População Dissonante para cada Classe de Agente, de forma a relatar a sua evolução ao longo das iterações.

Adicionalmente, foram produzidos estudos sobre a distribuição dos Agentes no ambiente. Para tanto foram compostas versões adaptada dos índices de isolamento e exposição de Duncan e Duncan (1955, apud FEITOSA, 2005). Estes índices, apesar de suas limitações, foram escolhidos pela simplicidade de sua implantação, visto que as soluções mais

ajustadas apontadas na literatura (REARDON; O’SULLIVAN, 2004; FEITOSA, 2005; YWATA et al., 2011) extrapolariam o foco destes experimentos.

Vale ressaltar que, apesar de serem as medidas mais utilizadas para estudos de segregação, é sabido que estes dois índices ignoram relações de proximidade internas às suas áreas de cálculo. Para minimizar este problema sem aumentar nível adicional de complexidade à sua implantação, foram desenvolvidas três medidas derivadas dos índices: a) índices gerais, calculados para todas as células urbanizadas da simulação com população de Agentes; b) índices de borda, em que as células do limite da urbanização servem como referência para composição de uma região ao seu redor (com raio celular 1 a partir das células da borda); e c) índices da área central, em que as células urbanizadas não incluídas na versão da borda são computadas. As equações compostas para estas medidas constam no Apêndice C, seção 2.5.

A Tabela 4.8 apresenta os índices calculados para a os *inputs*.

Tabela 4.8 - Índices de isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes no input

	Baixa geral	Média geral	Alta Geral	Baixa borda	Média borda	Alta Borda	Baixa centro	Média centro	Alta Centro
Baixa	57,446%	33,194%	9,361%	61,380%	33,081%	5,539%	50,757%	35,490%	13,753%
Media	47,910%	38,853%	13,237%	57,058%	34,838%	8,104%	46,097%	36,847%	17,056%
Alta	34,422%	33,724%	31,854%	43,937%	37,271%	18,791%	36,666%	35,009%	28,325%

Fonte: do autor.

4.2.4 Cenário de Controle

O Cenário de Controle foi estabelecido de forma a constituir uma referência isenta da parametrização para a localização dos Agentes. Assim, pode-se constituir um parâmetro das comparações entre os *inputs* e um cenário perfeitamente isonômico entre os Agentes. Este cenário permitiu avaliar a distribuição espacial dos Atributos, assim como sua calibração auxiliou na composição dos *inputs*⁷⁹.

Este cenário não contou como uma hipótese teórica ou empírica a ser verificada, mas visou estabelecer resultados com parametrização isenta das Oportunidades dos Agentes, com parâmetros de Força, Acessibilidade Alvo e Distância dos Agentes, também iguais. Para as simulações exploratórias que foram realizadas, serviu como um cenário de mudança zero (cenário *null change*, conforme define Pontius (2004)) e assim permitiu verificar os efeitos do crescimento urbano a partir das taxas constantes, bem como avaliar o efeito dos processos estocásticos do modelo.

⁷⁹ O cenário não inclui parametrização com quantidades iguais de Agentes uma vez que objetiva servir como referência aos demais cenários das alterações na distribuição da população. Quantidades diferentes daquelas registradas empiricamente, neste caso, seriam pouco úteis, assim como repetiriam procedimentos já realizados nos testes abstratos da seção 3.12.

4.2.4.1 Parametrização

A parametrização para este cenário está descrita no conjunto de Tabelas 4.9 até 4.13 e utilizou os Atributos definidos para a descrição do Ambiente (acima). O experimento assumiu um período de dez anos representado através de 30 iterações. Ressalva deve ser feita quanto aos Parâmetros de Oportunidade para Acessibilidade e para camada aleatória que foram majorados em 3 e 3,75 vezes de modo a equiparar seu impacto nas matrizes de oportunidade dos Agentes⁸⁰.

O Submodelo de Crescimento foi parametrizado segundo a taxa de crescimento urbano observada para o período 2000 – 2010 (como pode ser visto na Tabela 4.9), assumindo que permaneceria constante para a década seguinte. Os coeficientes aleatório e determinístico foram mantidos em um e a impedância global foi determinada experimentalmente para 0,3.

A parametrização dos Atributos para o Submodelo de Crescimento buscou delimitar conjunto de influências claro e simples, de forma a permitir a compreensão das causalidades nos resultados. O único atributo urbano inserido foi a AEU de 2010, a partir do qual a cidade se expandiu sob influência da Máscara de Impedância Local.

Estes estudos substanciaram a composição dos Agentes na inicialização (Tabela 4.9), do Submodelo de Crescimento (Tabela 4.10) dos Atributos do Ambiente (Tabela 4.11) e dos parâmetros para os Agentes (Tabela 4.12). A Matriz de Copresença (Tabela 4.13) foi determinada a partir da média da população das Classes de Agentes nos *grids de inputs*.

Tabela 4.9 - Parametrização no Cenário de Controle dos Agentes para Inicialização	
Parâmetro	Todas as classes de agentes
Fator de divisão (dv_f)	15
Fator Aleatório dos Agentes (Δ)	20%

Fonte: do autor.

Tabela 4.10 - Parametrização no Cenário de Controle do submodelo de Crescimento Urbano	
Parâmetros do ambiente	
Coeficiente Determinístico (α)	0,4
Coeficiente Aleatório (β)	0,6
Impedância Global (Ω)	0,65
Máscara de impedância local (ω)	Camada "estradas" (impedância = 1)
Taxa Cresc. Urbano (θ_{urb})	0,71%
Limite populacional das células	180

Fonte: do autor.

⁸⁰ Isso é necessário, uma vez que os atributos do ambiente têm, nos seus *inputs*, valores de 1 a 3 e a Acessibilidade Relativa apresenta valores de 0 a 1, enquanto a camada aleatória apresenta valores de 0,2 a 0,8.

Tabela 4.11 - Parametrização no Cenário de Controle dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano

Atributo	Tipo	Peso	Comportamento	Instável?
AEU 2010	Urbano	1	Atração	Sim
Rio Branco (UY)	Urbano	0	Atração	Não
uso residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
uso não-residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
uso vazios	Urbano	-	Neutro	Sim
Rio Jaguarão	Natural	0,8	Resistência	Não
bacias hidrográficas	Natural	0,3	Resistência	Não
declividade	Natural	-	Neutro	Não
camada aleatória	Natural	0,5	Resistência	Sim
Classe de Agentes Baixa Renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de Agentes Média Renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de Agentes Alta Renda	Pessoas	-	Neutro	Sim

Fonte: do autor.

Tabela 4.12 - Parametrização no Cenário de Controle dos Agentes, por Classe

Parâmetro	Baixa	Média	Alta
População inicial ($Class. pop_{t0}$)	4740	3248	1289
$Class. s_p$	1	1	1
$Class. p_p$	1	1	1
$Class. d_p$	4	4	4
$Class. \theta_{pop}$	0.52	0.52	0.52
$Class. Av$	0,5	0,5	0,5
$Class. wAr$	3	3	3
$Class. w$ AEU 2010	1	1	1
$Class. w$ Rio Branco (UY)	0	0	0
$Class. w$ uso residencial	1	1	1
$Class. w$ uso não-residencial	1	1	1
$Class. w$ uso vazios	1	1	1
$Class. w$ uso estradas (500m)	1	1	1
$Class. w$ Rio Jaguarão	0	0	0
$Class. w$ bacias hidrográficas	0	0	0
$Class. w$ linhas drenagem (500m)	1	1	1
$Class. w$ camada aleatória	3,75	3,75	3,75

Fonte: do autor.

Tabela 4.13 - Matriz de copresença no Cenário de Controle entre os Agentes

Parâmetro	Baixa	Média	Alta
$Class. c_p$ Baixa	-	2,231	2,583
$Class. c_p$ Média	3,038	-	2,125
$Class. c_p$ Alta	4,75	3,4	-

Fonte: do autor.

4.2.4.2 Resultados

A simulação iniciou com 180 células urbanas, finalizando com 225 (25% de incremento) ao longo de 30 iterações, representando dez anos, ou 2,26% a.a.. A borda da urbanização⁸¹ por sua vez cresceu de 109 para 114 células (4,59% de aumento do perímetro, 0,45% a.a.).

A população da Classe de Agentes Baixa iniciou a simulação com 4.740 famílias e na iteração final estava com 5.453, enquanto que a Classe de Agentes Média apresentou 3.284 e 3.704 e a Classe de Agentes Alta apresentou 1.289 e 1.532 famílias, para os mesmos tempos. O crescimento populacional somou, para as classes Baixa, Média e Alta 713, 420 e 243 famílias respectivamente.

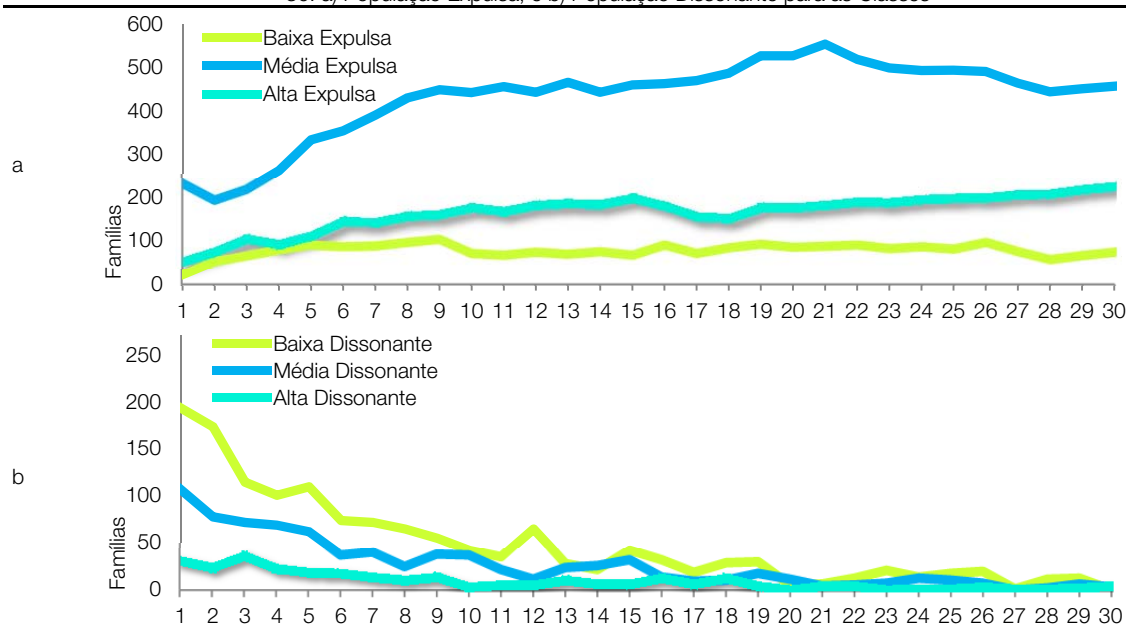
⁸¹ Assumido como o menor perímetro que contenha todas as células urbanas.

Ocorreram conflitos e os valores máximos da variável População Expulsa para as classes Baixa, Média e Alta foram 283, 589 e 148 famílias, respectivamente, com preponderância para a expulsão das famílias de Classe Média.

A População Dissonante total para as classes Baixa, Média e Alta foi de 1.334, 773 e 272 famílias, respectivamente.

A Figura 4.13, demonstra a evolução das variáveis População Expulsa e População Dissonante para os dez anos da simulação. A Figura 4.14 e Figura 4.15, apresentam os resultados gráficos das simulações, incluindo Tipo Celular, Acessibilidade Relativa e Oportunidade Relativa e População para cada Classe de Agentes; finalmente, a Tabela 4.14 apresenta a segregação entre as Classes para a área urbana, a borda da urbanização e a região central.

Figura 4.13 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário de Controle para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População Dissonante para as Classes



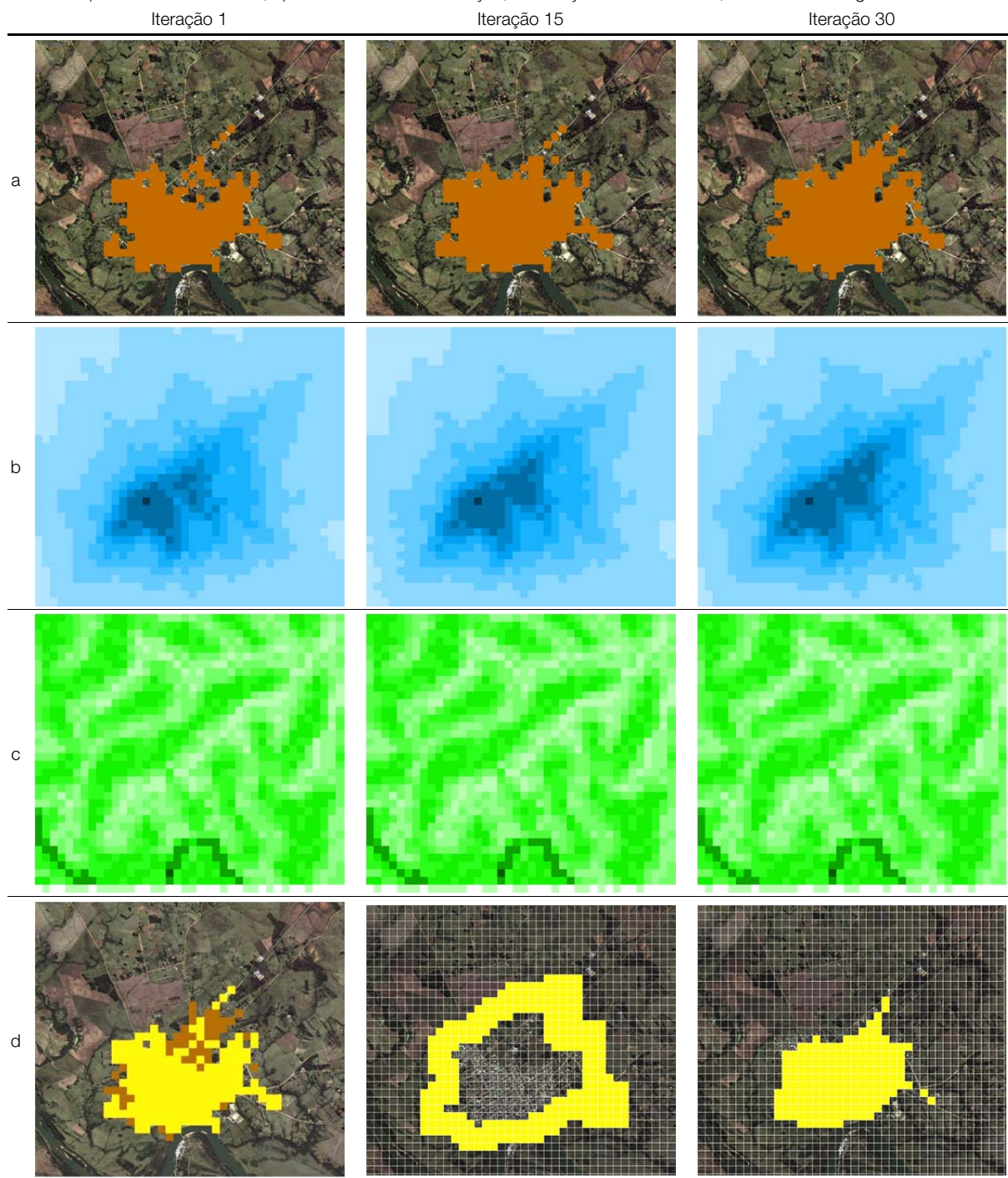
Fonte: do autor.

Tabela 4.14 - Índices de isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes no Cenário de Controle

	Baixa geral	Média geral	Alta Geral	Baixa borda	Média borda	Alta Borda	Baixa centro	Média centro	Alta centro
Baixa	56,927%	31,496%	11,577%	63,969%	28,990%	7,041%	52,648%	32,944%	14,408%
Média	49,922%	36,045%	14,033%	54,592%	34,945%	10,463%	47,914%	36,292%	15,794%
Alta	43,440%	33,222%	23,338%	41,514%	32,758%	25,728%	43,870%	33,065%	23,065%

Fonte: do autor.

Figura 4.14 - Resultados do ambiente na simulação do Cenário de Controle: a) Tipo da Célula; b) Acessibilidade Relativa; c) Resistências Naturais; d) estado final da urbanização, em relação a AEU de 2010, sua borda e a região central

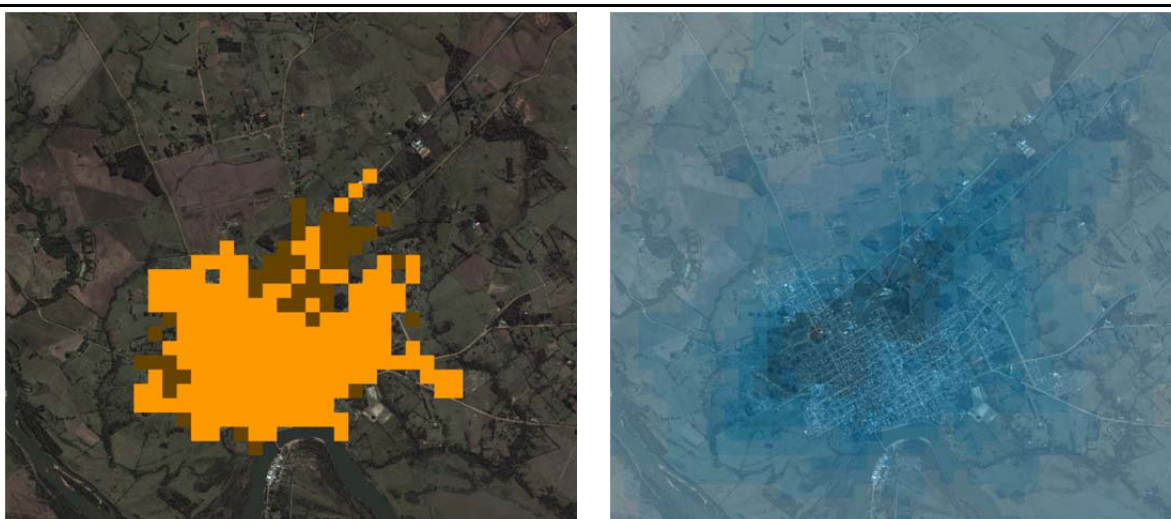


4.2.4.3 Observações

Quanto à expansão da mancha urbana, notou-se um vetor de Acessibilidade importante acompanhando a BR-116 (que está localizada como um divisor de águas entre os setores nordeste e noroeste da área urbana), como pode ser constatado pelo alongamento da mancha da Acessibilidade Relativa na Figura 4.16. Isto produziu a consolidação da região norte da área urbana, com ocupação de vazios no setor norte e nordeste e expansão da mancha urbana para nordeste, especialmente na área entre a BR-116 e a antiga estrada para Pelotas. Pode-se argumentar que este comportamento se assemelha ao modelo setorial de Hoyt, orientado, neste caso, pelos acessos rodoviários e pela facilidade de urbanização das áreas sobre o divisor de águas. Nestes resultados, observou-se ligeira propensão ao aumento da compactação da forma urbana pela ocupação dos vazios.

A análise da Acessibilidade Relativa, no entanto, introduziu certa descontinuidade no padrão observado através do Tipo Celular Urbano. Percebeu-se um decaimento a partir dos eixos paralelos norte-sul do Corredor das Tropas e da Av. Uruguai, que criou um hiato de Acessibilidade entre os vazios urbanos à nordeste e o eixo norte-sul da BR-116. O efeito da Impedância Local (aplicada através das estradas neste cenário) indicou vinculação dos seus resultados a um crescimento urbano baseado em modelo de desenvolvimento dependente da mobilidade, indicando certa tendência ao aumento das distâncias médias em relação ao centro da cidade, como é típico da suburbanização.

Figura 4.16 - Destaques dos resultados da simulação do Cenário de Controle: a) tipo da célula sobreposto à AEU de 2010; b) Acessibilidade Relativa sobre base Quickbird



O crescimento populacional constante e igual para todas as Classes produziu efeito contínuo e sem maiores variações.

No que se refere à distribuição da população no modelo, notou-se que para todas as Classes de Agentes as Oportunidades Relativas foram as mesmas, uma vez que tinham Parâmetros de Oportunidade idênticos.

Esta configuração, associada a contingentes populacionais bastante desiguais no início da simulação acentuou a Competição no cenário, que pode ser percebida pelo gráfico das Populações Expulsas, na Figura 4.13. Notou-se um aumento rápido da competição com a Alocação da população dos Agentes entre a 3ª e a 8ª iterações. A busca pelas Oportunidades altera o equilíbrio populacional inicial (estabelecido pelas médias de copresença nos *inputs*, ou seja, baseado na proporção com que os Agentes dividem as células entre si no início da simulação) e considerando que os Agentes buscavam as mesmas Oportunidades (baseados em parâmetros idênticos), ocasionaram a Competição. Além disso, notou-se como o crescimento das populações, mesmo que contínuo, tem impacto aumentando a expulsão das famílias das Classes Média e Alta.

Estas expulsões se originaram na proporção entre os contingentes populacionais em cada célula, uma vez que os Parâmetros de Poder eram os mesmos. Sob este critério a população da Classe Baixa tendeu a estar em vantagem, expulsando Agentes de outras Classes. A análise dos *grids* populacionais corroborou esta leitura: nas células em que ocorreram conflitos entre as Classes Baixa e Média (que resultaram em grande parte do padrão de expulsão desta última) percebeu-se ligeira diferença de população, mas de modo geral com prevalência da Classe Baixa. Observa-se que, sob condições iguais de competição, as populações de Baixa Renda deveriam ditar a ocupação do espaço por serem o grupo social mais numeroso no ambiente urbano, o que não é observado na realidade e expõe a existência de outros mecanismos de regulação que não os plenamente democráticos.

Figura 4.17 - Detalhamento do Competição no Cenário de Controle para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Média – Alta; d) Conflito Média – Baixa



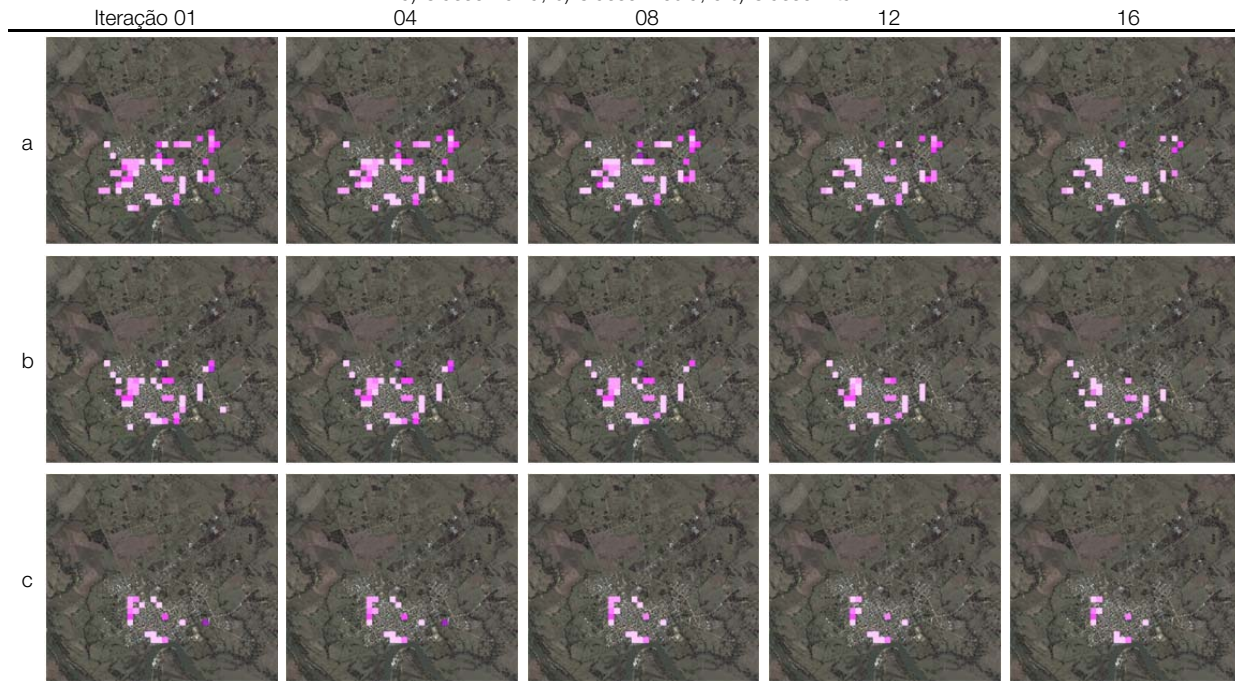
Fonte: do autor.

O comportamento da Dissonância pode ser visto no gráfico (b) da Figura 4.13, onde se percebeu intensa busca por Oportunidades nas iterações iniciais (1 até 11) que rapidamente decaiu com a Alocação dos Agentes nas células de maior Oportunidade. Na Figura 4.18, observa-se maior contingente populacional dissonante para a Classe Baixa, o que pode ser explicado pela população total da Classe e pela maior quantidade de Agentes por célula que tem. Adicionalmente, verificou-se que algumas das principais concentrações populacionais da Classe no *input* se encontravam fora dos picos de Oportunidade deste cenário, ocasionando grupo de células que, nas primeiras iterações, cederam população às demais.

A concentração da população de todas as Classes seguiu padrão semelhante entre si, com acúmulo ao sul da cidade, em uma faixa na qual se sobrepunham os atributos do *input*, incluindo as áreas mais intensas do uso residencial, parte das áreas com intensidade de usos não-residenciais e sobre as áreas com declividade mais baixa. Deste modo, a simulação indicou a ocupação de áreas com maior concentração absoluta de Atributos Urbanos e Naturais favoráveis à urbanização. Ressalta-se que os modelos de acessibilidade tradicionais, como de Ingram (1971) produziram resultados similares ao representar toda a população

urbana agregada na forma urbana, ocupando-a sem distinção, segundo um mesmo conjunto de parâmetros.

Figura 4.18 - Detalhamento da População Dissonante no Cenário de Controle para todas as Classes, nas iterações selecionadas:
a) Classe Baixa; b) Classe Média; e c) Classe Alta



Fonte: do autor.

No que se refere ao isolamento, verificou-se que a Classe Baixa tornou-se menos isolada na região central do que na medida geral ou das bordas, assim como apresentou exposição às classes Média e Alta maior para a região central. A Classe Média apresentou estabilidade no seu isolamento, com índice ligeiramente menor para a borda; sua exposição à Classe Alta foi maior no centro, enquanto que para a Classe Baixa foi maior na borda. A Classe Alta também teve isolamento estável, salvo para a borda, em que o índice foi maior. Sua exposição foi maior para a Classe Baixa na área central e para a Classe Média na borda.

Finalmente, como um cenário de referência, observou-se que a parametrização indiferenciada dos Parâmetros de Oportunidade permitiu que a seleção dos Atributos de referência tenha sido o principal determinante na localização dos Agentes, denotando comportamento bastante determinístico. Mesmo com Oportunidades dependente da composição dos Atributos, no entanto, notou-se emergência de padrão de competição entre os Agentes que passaram a interagir intensamente para determinar a ocupação do Ambiente. De todo modo, tornou-se aparente que quando há convergência das Oportunidades (que acarretaram concentração populacional), estas se traduziram em Competição, especialmente para a Classe Baixa.

De forma mais ampla, notou-se que a similaridade das Oportunidades ocasionou aumento dos conflitos em um cenário com limites para a tolerância a outras Classes. Pela

intensidade da Competição, verificou-se que a tolerância acabou por condicionar o padrão populacional de ocupação das células.

4.2.5 Cenário Tendencial

Este cenário visou explorar tendências de crescimento observadas para os perfis socioeconômicos representados nas Classes de Agentes definidas. Procurou extrapolar as tendências de crescimento populacional existentes no município de Jaguarão em 2010 de forma a avaliar suas consequências em médio prazo quanto aos aspectos da forma urbana e ocupação das áreas periféricas.

A hipótese que se colocou é a de que mantidas as tendências atuais de variação populacional deveria verificar-se um aumento do isolamento da população mais pobre. O aumento do isolamento poderia ser derivado do aumento populacional da Classe Baixa em relação às demais, uma vez que apresentou taxa de crescimento positiva (1,66%), enquanto a população de média renda permaneceu praticamente estável (0,31%) e a de alta renda regrediu (-2,14%). Por outro lado, o isolamento poderia aumentar devido à busca por novas oportunidades de urbanização periférica no município. Considerei, portanto, importante investigar como estas dinâmicas se traduziram em espacialização das populações, em formação de agrupamentos da renda mais baixa ou há dispersão junto às rendas mais altas.

Para tanto, o cenário partiu de taxa de crescimento específica para cada perfil de renda, conforme os dados do censo entre 2000 e 2010 (ver Tabela 4.3), assim como da vinculação destes perfis aos Atributos ambientais (Tabela 4.7). As tendências observadas neste cenário são, portanto, relativas ao crescimento populacional e à vinculação dos Parâmetros de Oportunidade às características das localizações dos Agentes no *input* em 2010.

4.2.5.1 Parametrização

A parametrização de modo geral foi feita com base no experimento de controle, sendo mantidos os parâmetros para o submodelo de Crescimento Urbano. A parametrização dos Agentes, no entanto, foi adaptada nas taxas de crescimento, que são específicas para cada Classe e na diferenciação dos Parâmetros de Oportunidade e Acessibilidade Alvo. Os parâmetros do Submodelo de Competição foram mantidos. As definições destes parâmetros estão elencadas desde a Tabela 4.15 até a Tabela 4.19 (abaixo).

Tabela 4.15 - Parametrização no Cenário Tendencial dos Agentes para Inicialização

Parâmetro	Todas as classes de agentes
Fator de divisão (dv_f)	15
Fator Aleatório dos Agentes (Δ)	20%

Fonte: do autor.

Tabela 4.16 - Parametrização no Cenário Tendencial do submodelo de crescimento urbano

Parâmetros do ambiente	
Coeficiente Determinístico (α)	0,4
Coeficiente Aleatório (β)	0,6
Impedância Global (Ω)	0,65
Máscara de impedância local (ω)	camada "estradas" (impedância = 1)
Limite populacional das células	180
Taxa Cresc. Urbano (θ_{urb})	0,71%

Fonte: do autor.

Tabela 4.17 - Parametrização no Cenário Tendencial dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano

Atributo	Tipo	Peso	Comportamento	Instável?
AEU 2010	Urbano	1	Atração	Sim
Rio Branco (UY)	Urbano	0	Atração	Não
Uso residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso não-residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso vazios	Urbano	-	Neutro	Sim
Rio Jaguarão	Natural	0,8	Resistência	Não
Bacias hidrográficas	Natural	0,3	Resistência	Não
Declividade	Natural	-	Neutro	Não
Camada aleatória	Natural	0,5	Resistência	Sim
Classe de agentes baixa renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de agentes média renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de agentes alta renda	Pessoas	-	Neutro	Sim

Fonte: do autor.

Tabela 4.18 - Parametrização no Cenário Tendencial dos Agentes, por Classe

Parâmetro	Baixa	Média	Alta
População inicial ($Class. pop_{t0}$)	4.740	3.248	1.289
$Class. s_p$	1	1	1
$Class. p_p$	1	1	1
$Class. d_p$	4	4	4
$Class. \theta_{pop}$	1,66%	0,31%	-2,14%
$Class. Av$	0,45	0,5	0,65
$Class. wAr$	18	21	12
$Class. w$ AEU 2010	1	1	1
$Class. w$ Rio Branco (UY)	0	0	0
$Class. w$ uso residencial	7	8	5
$Class. w$ uso não-residencial	6	5	7
$Class. w$ uso vazios	7	7	5
$Class. w$ Rio Jaguarão	0	0	0
$Class. w$ bacias hidrográficas	4	3	2
$Class. w$ camada aleatória	11	11	11

Fonte: do autor.

Tabela 4.19 - Matriz de copresença no Cenário Tendencial entre os Agentes

Parâmetro	Baixa	Média	Alta
$Class. c_p$ baixa	-	2,231	2,583
$Class. c_p$ média	3,038	-	2,125
$Class. c_p$ alta	4,75	3,4	-

Fonte: do autor.

4.2.5.2 Resultados

Os resultados do Crescimento Urbano foram os mesmos do Cenário de Controle, com dados iniciais e finais para o número de células urbanas de 180 e 225, respectivamente, (25% de incremento); para o número de células da borda de 109 e 139, respectivamente (27,5% de aumento do perímetro, 0,88%a.a.).

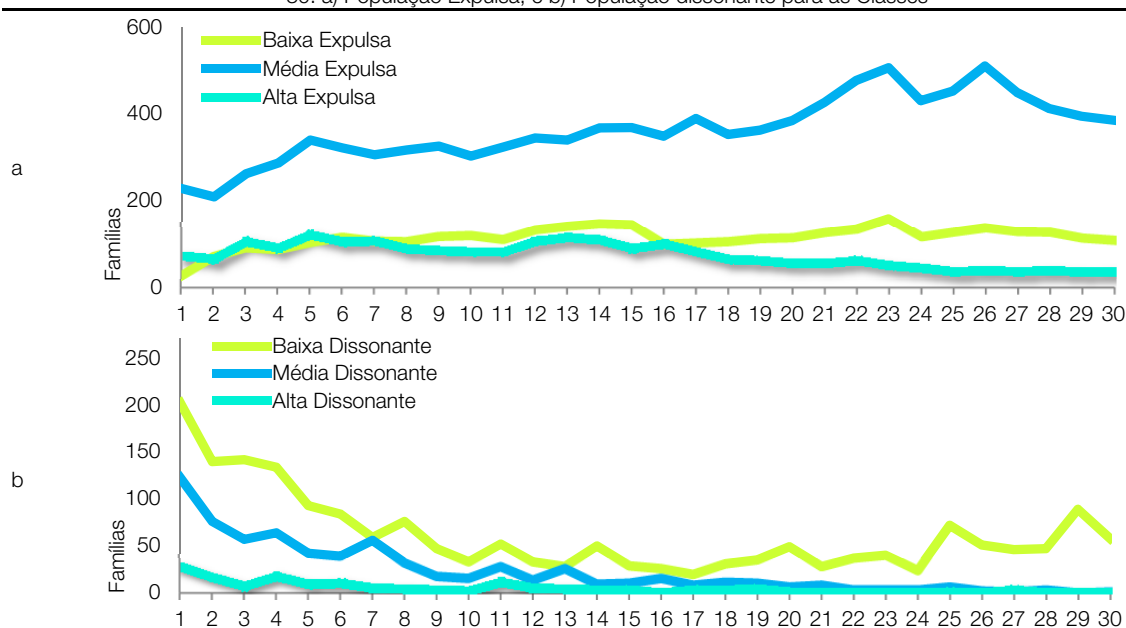
Os contrastes entre as populações das Classes de Agentes se ampliou, com populações iniciais para as classes Baixa, Média e Alta de 4.740, 3.284 e 1.289 famílias respectivamente; e populações finais de 7.535, 3.534 e 640 famílias.

Os conflitos ocorreram em intensidade menor que no Cenário de Controle, apresentando máximos de Expulsão para as famílias das Classes Baixa, Média e Alta de 156, 509 e 119 famílias respectivamente. A Classe com maior quantidade de População Expulsa foi a Média, que manteve tendência ascendente de expulsão até a iteração 26, quando sinaliza uma diminuição.

A Dissonância apresentou curvas bastante menos abruptas do que no Cenário de Controle para todas as Classes. A Classe com maior dissonância foi a Baixa, que apresentou comportamento variável ao longo das iterações, iniciando com tendência de diminuição até a 24ª iteração, quando ocorreu uma retomada da movimentação dos Agentes que gerou tendência ascendente até as iterações finais. Os máximos da População Dissonante foram de 202, 122 e 27 para as classes Baixa, Média e Alta.

A Figura 4.19 demonstra a evolução das variáveis População Expulsa e População Dissonante. A Figura 4.20 e a Figura 4.21 apresentam os resultados gráficos das simulações, incluindo Tipo Celular, Acessibilidade Relativa e Oportunidade Relativa e População para cada Classe de Agentes. Já a Tabela 4.20 apresenta a segregação global entre as Classes para a simulação.

Figura 4.19 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Tendencial para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes



Fonte: do autor.

Tabela 4.20 - Índices de isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes no Cenário Tendencial

	Baixa geral	Média geral	Alta Geral	Baixa borda	Média borda	Alta Borda	Baixa centro	Média centro	Alta centro
Baixa	68,760%	26,633%	4,607%	70,162%	26,587%	3,251%	66,006%	26,794%	7,200%
Média	56,786%	37,560%	5,654%	56,947%	38,476%	4,577%	56,485%	35,844%	7,671%
Alta	54,240%	31,220%	14,540%	51,588%	33,907%	14,504%	56,747%	28,680%	14,573%

Fonte: do autor.

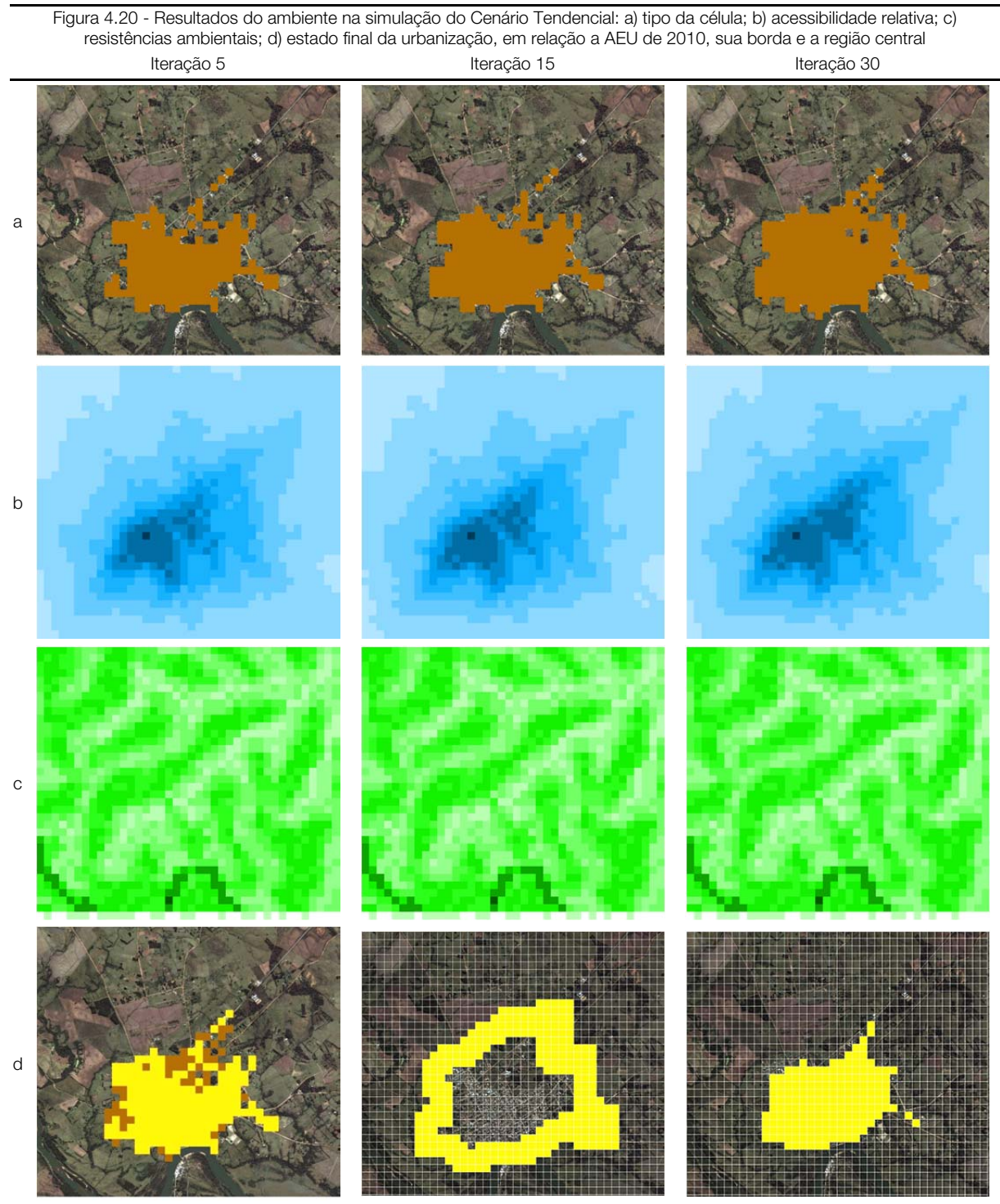
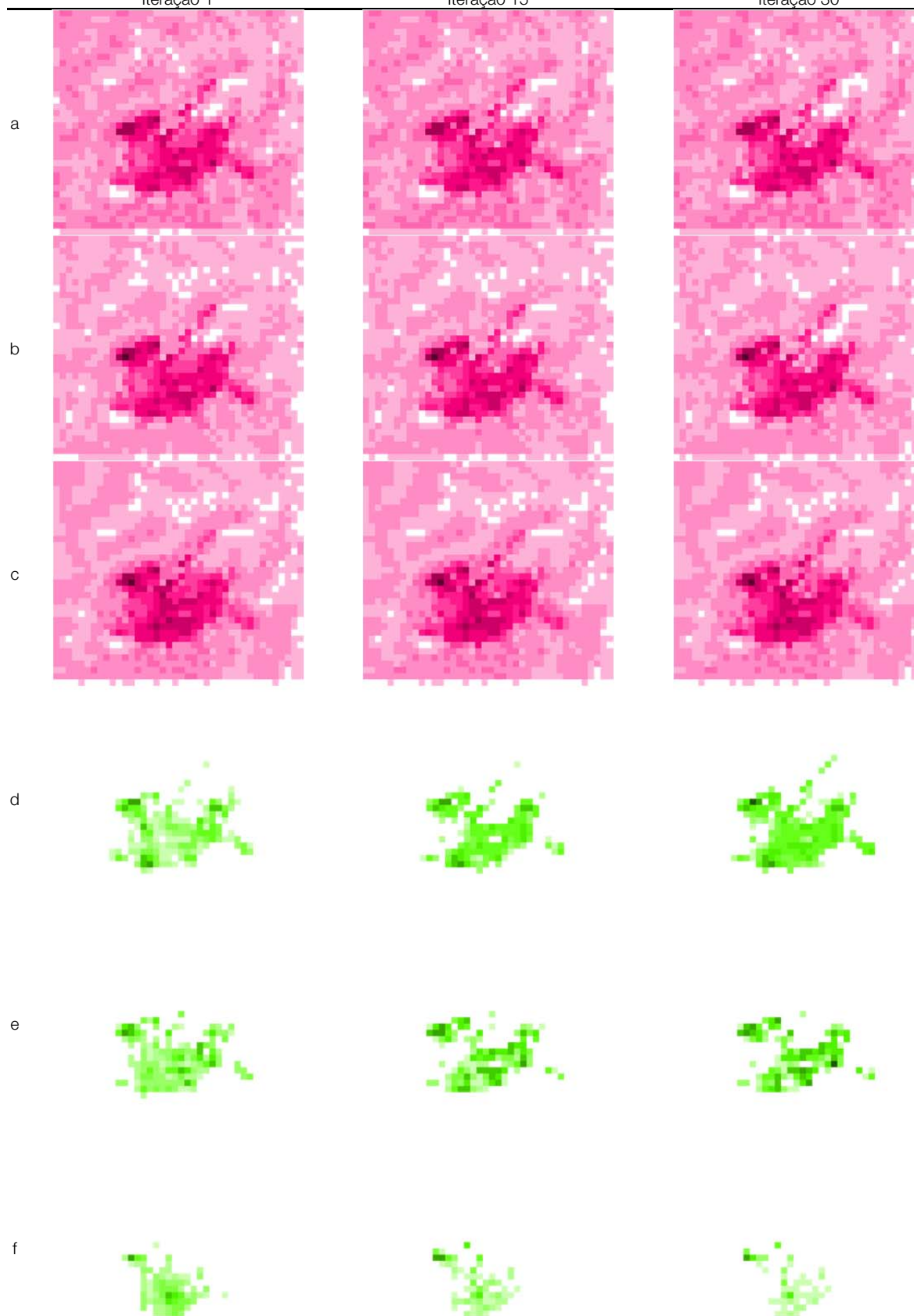


Figura 4.21 - Resultados da população na simulação do Cenário Tendencial: a) Oportunidade Relativa Classe Baixa; b) Oport. Relativa Classe Média; c) Oportunidade Relativa Classe Alta d) população Baixa; e) população Média; f) população Alta Iteração 1 Iteração 15 Iteração 30



4.2.5.3 Observações

O crescimento urbano se apresentou muito semelhante ao Cenário de Controle. Este resultado era esperado, uma vez que os parâmetros foram os mesmos, qualquer variação cabendo aos procedimentos estocásticos do submodelo.

O crescimento populacional variado produziu efeitos bastante importantes para as populações de Agentes. Destacou-se o afastamento entre a população do Agente Baixa para as do Agente Alta, com a primeira respondendo por 56,41% da população total no fim da simulação, enquanto que a segunda respondia por 9,52% (ante a 50,92 e 13,85% em 2010). Consistiu em mudança de proporção de 1:4 (em 2010) para 1:6 na simulação para 2020.

A distribuição espacial da população apresentou diferenças, mas teve padrão de aumento da concentração para todas as Classes. Os locais para os quais cada uma destinou-se, no entanto, foram variados, demonstrando sensibilidade à parametrização e produzindo padrão de distribuição diverso dos *inputs* ao final das iterações, conforme pode-se verificar na Figura 4.23.

A população de Agentes da Classe Baixa deixou um padrão periférico, ao redor da área central, para assumir uma faixa organizada ao longo de um eixo leste-sudoeste que percorria as áreas mais pobres junto ao Corredor das Tropas até o extremo sudoeste, cruzando a área central. Este eixo acompanhava a borda das regiões com maior Acessibilidade Relativa, localizando os Agentes nas regiões mais ajustadas à sua Acessibilidade Alvo. A população de Classe Média demonstrou comportamento semelhante, ressaltando-se o fato de sua distribuição espacial nos *inputs* já ocupava esta faixa. O que se apresentou para Classe Média foi, portanto, a exacerbação das tendências que já apresentava na sua localização inicial. Para a Classe Alta, notou-se, também, agravamento da sua concentração junto às áreas mais centrais, especialmente junto da Av. Uruguai (que liga a BR-116 à Ponte Barão de Mauá, na fronteira com o Uruguai).

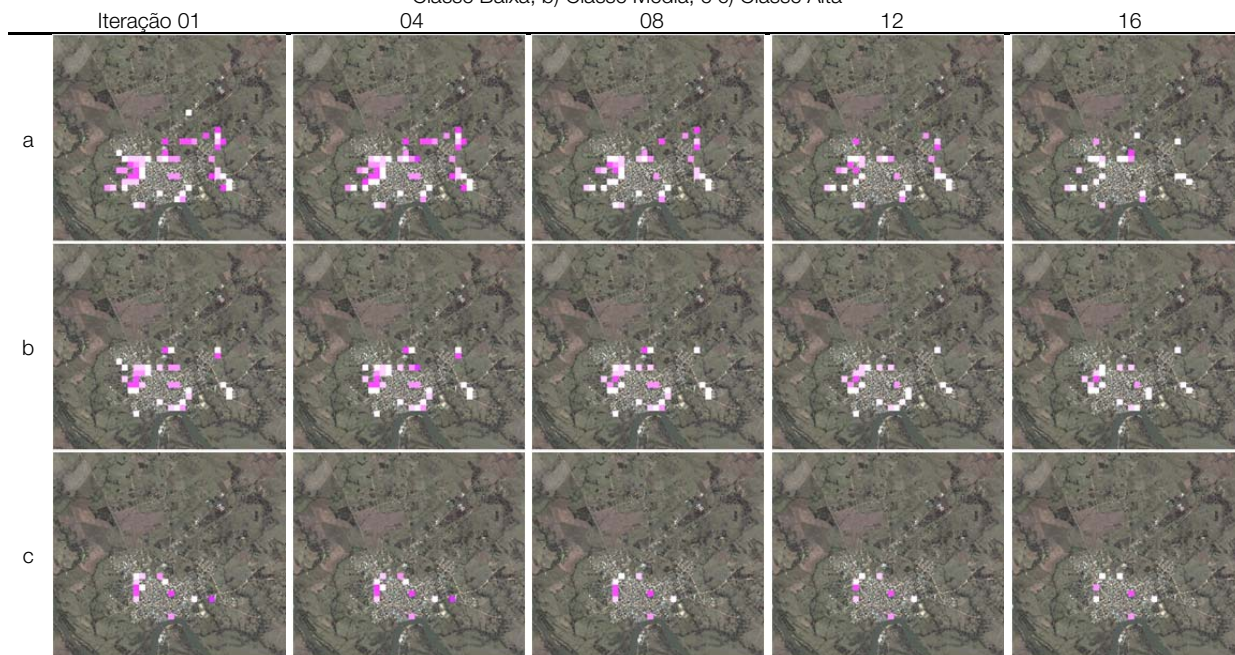
Esta distribuição em locais diversos para cada Classe ocasionou diminuição dos conflitos, como pode ser notado nos gráficos (a) e (b) da Figura 4.19, onde a diminuição das Populações Dissonantes foi acompanhada pela diminuição das Populações Expulsas, para todas as classes. Sobre a Competição, viu-se que a Classe Média foi a mais afetada, especialmente pela Competição com a Classe Baixa, como pode ser visto na Figura 4.22. Quando considerado este cenário em comparação com o cenário de controle ficou claro que a busca pelas mesmas Oportunidades com capacidades de exercício de poder diferentes resultou em conflitos. Uma vez que os Parâmetros de Força eram idênticos, a expulsão da Classe Média pode ser creditada à diferença de população inicial, além da contribuição do crescimento da Classe Baixa.

Figura 4.22 - Detalhamento do Competição no Cenário Tendencial para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Baixa – Alta; d) Conflito Média – Baixa



Fonte: do autor.

Figura 4.23 - Detalhamento da População Dissonante no Cenário Tendencial para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Classe Baixa; b) Classe Média; e c) Classe Alta



Fonte: do autor.

No que se refere ao Isolamento, este cenário apresentou semelhanças ao cenário de controle. Notou-se que a Classe Baixa tornou-se menos isolada na região central do que na

escala da urbanização ou nas bordas, assim como apresentou maior exposição às classes Média e Alta, mais alta para a região central, mesmo que ainda sejam extremamente baixas. A Classe Média apresentou pequena variação no seu isolamento, com índice menor para o centro; sua exposição à Classe Alta foi maior no centro, enquanto que para a Classe Baixa foi praticamente igual em todas as áreas. A Classe Alta manteve isolamento estável, com variação desprezível. Sua exposição foi maior para Classe Baixa na área central e para a Classe Média na borda.

De forma geral, se observou que a variação entre os parâmetros de Oportunidade produziu direcionamento das populações aos locais com maiores valores dos atributos indicados. Esta variação reduziu de forma tímida os conflitos globais, enquanto manteve intensidade para Classe Média. Esta Classe entrou em conflito com as duas outras e sofreu expulsão em maior proporção. Outro fator a notar foi a ausência de conflito com a população de Classe Baixa, que pode ter ocorrido devido ao aumento do seu isolamento em relação ao Cenário de Controle.

4.2.6 Cenário Exploratório 1 – busca da acessibilidade

Este cenário propôs investigação sobre os conflitos associados à busca pelos benefícios da urbanização por classes socioeconômicas diferentes, relacionando-se com o direito à cidade e às hierarquias de controle do espaço urbano por classes socioeconômicas, conforme abordado nas seções 2.1.4 e 2.1.8. Nesta problematização, tentou verificar a potencialização do conflito entre as classes socioeconômicas em hipótese de escolha locacional nas mesmas áreas. Para este intuito, foram compostos dois cenários auxiliares nos quais, a partir de populações desiguais, o exercício de poder é variado entre simétrico e assimétrico entre as Classes.

Assim, no Cenário Exploratório 1.1 foi provida isonomia no acesso à cidade e no exercício de poder nas disputas entre as Classes com populações equivalentes às observadas na realidade (decrescentes para as rendas baixa, média e alta). No Cenário Exploratório 1.2, houve isonomia no acesso à cidade e assimetria nas capacidades inatas das Classes de exercer poder, com a Classe de Alta Renda tendo maior capacidade, seguida pelas Classe Média, estando a Classe Baixa com menor capacidade.

4.2.6.1 Parametrização

Os parâmetros deste cenário basearam-se no Cenário Tendencial, mas potencializaram a medida da Acessibilidade para todas as Classes de Agentes (que foi elevada a potência 1,3),

assim como assumiram Acessibilidade Alvo igual para as Classes. No cenário 1.1, mantiveram-se iguais os Parâmetros de Poder entre as Classes, enquanto que no cenário 1.2 eles variaram, com maior poder para a Classe de Alta, seguida pela Classe Média e com a Classe Baixa por último.

A Matriz de Copresença neste cenário foi determinada segundo hipótese baseada na Convenção Urbana de Abramo (2001). Adaptando a “crença coletiva” aos mecanismos do modelo, defini que as Classes Baixas e Médias toleram a Classe Alta, a Classe Baixa tolera a todas e a Classe Alta tem menos tolerância para a Classe Baixa do que para a Média. As definições destes parâmetros são apresentadas desde a Tabela 4.21 até a Tabela 4.25.

Tabela 4.21 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 dos Agentes para Inicialização	
Parâmetro	Todas as classes de agentes
Fator de divisão ($d\nu_f$)	15
Fator Aleatório dos Agentes (Δ)	20%

Fonte: do autor.

Tabela 4.22 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 do submodelo de crescimento urbano	
Parâmetros do ambiente	
Coeficiente Determinístico (α)	0,4
Coeficiente Aleatório (β)	0,6
Impedância Global (Ω)	0,65
Máscara de impedância local (ω)	Camada “estradas” (impedância = 1)
Limite populacional das células	180
Taxa Cresc. Urbano (θ_{urb})	0,71%

Fonte: do autor.

Tabela 4.23 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano				
Atributo	Tipo	Peso	Comportamento	Instável?
AEU 2010	Urbano	1	Atração	Sim
Rio Branco (UY)	Urbano	0	Atração	Não
Uso residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso não-residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso vazios	Urbano	-	Neutro	Sim
Rio Jaguarão	Natural	0,8	Resistência	Não
Bacias hidrográficas	Natural	0,3	Resistência	Não
Declividade	Natural	-	Neutro	Não
Camada aleatória	Natural	0,5	Resistência	Sim
Classe de Agentes Baixa Renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de Agentes Média Renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de Agentes Alta Renda	Pessoas	-	Neutro	Sim

Fonte: do autor.

Tabela 4.24 - Parametrização no Cenário Exploratório 1 dos Agentes, por Classe			
Parâmetro	Baixa	Média	Alta
População inicial ($Class. pop_{t0}$)	4.740	3.248	1.289
$Class. s_p$	1 (cen. 1.1) 3 (cen. 1.2)	1 (cen. 1.1) 2 (cen. 1.2)	1 (cen. 1.1) 3 (cen. 1.2)
$Class. p_p$	1	1	1
$Class. d_p$	4	4	4
$Class. \theta_{pop}$	0.52	0.52	0.52
$Class. Av$	0.9	0.9	0.9
$Class. wAr$	43	52	25
$Class. w$ AEU 2010	1	1	1
$Class. w$ Rio Branco (UY)	0	0	0
$Class. w$ uso residencial	7	8	5
$Class. w$ uso não-residencial	6	5	7
$Class. w$ uso vazios	7	7	5
$Class. w$ Rio Jaguarão	0	0	0
$Class. w$ bacias hidrográficas	4	3	2
$Class. w$ camada aleatória	11	11	11

Fonte: do autor.

Tabela 4.25 - Matriz de Copresença no Cenário Exploratório 1 entre os agentes				
Parâmetro	Baixa	Média	Alta	
<i>Class. c_p</i> Baixa	-	10	20	
<i>Class. c_p</i> Média	4	-	6	
<i>Class. c_p</i> Alta	2	6	-	

Fonte: do autor.

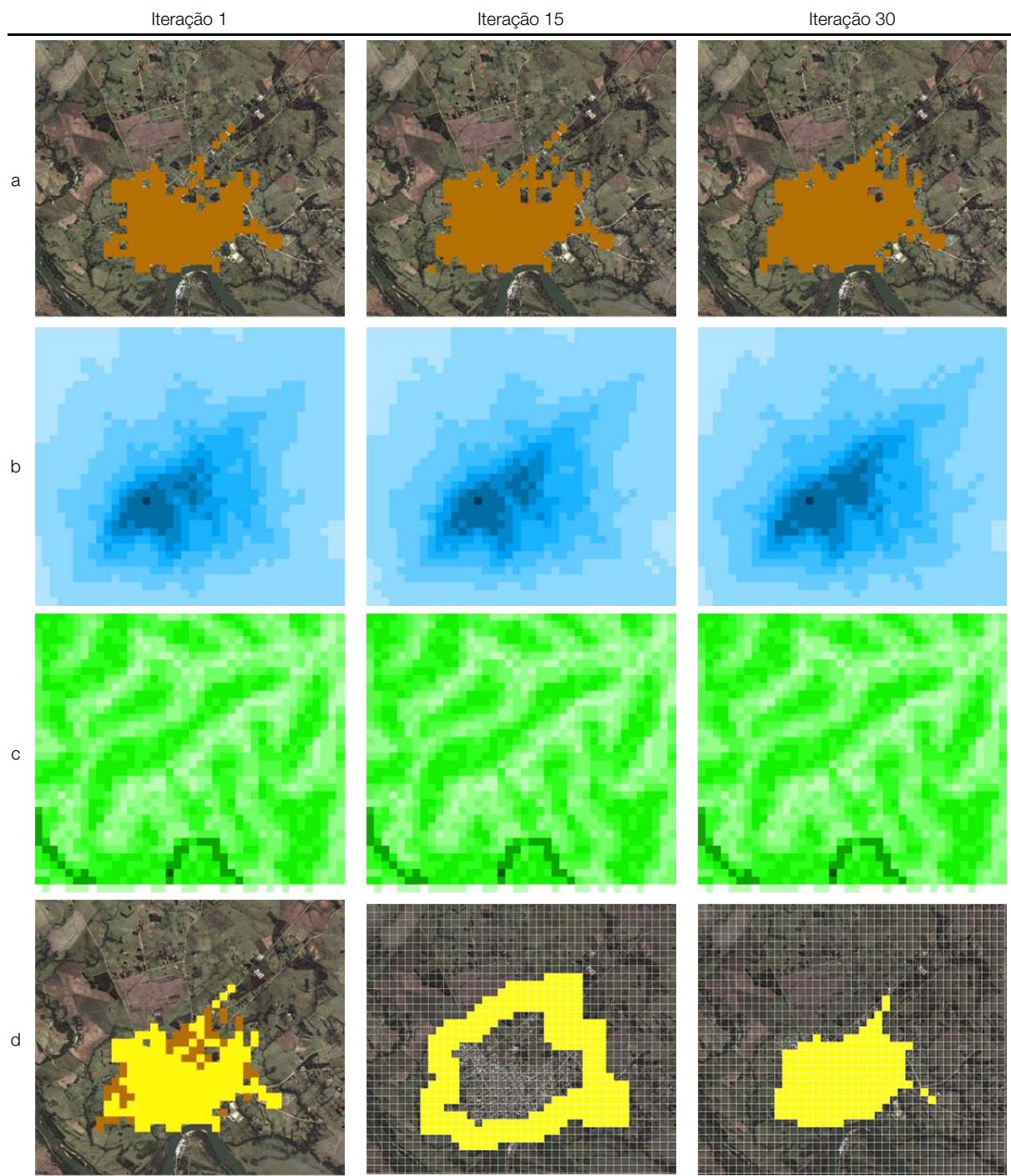
4.2.6.2 Resultados

Os resultados do Crescimento Urbano foram os mesmos do Cenário de Controle, com dados iniciais e finais para o número de células urbanas de 180 e 225, respectivamente, (25% de incremento); para o número de células da borda de 109 e 139, respectivamente (27,5% de aumento do perímetro, 0,88%a.a.).

Uma vez que este cenário apresenta duas variantes, os resultados populacionais serão apresentados em cada uma delas, a seguir.

A Figura 4.25 e Figura 4.27 demonstram a evolução das variáveis População Expulsa e População Dissonante, respectivamente; a Tabela 4.26 e Tabela 4.27 demonstram os cálculos de isolamento e exposição para as simulações. A Figura 4.24, Figura 4.26 e Figura 4.28 apresentam os resultados gráficos das simulações, incluindo Tipo Celular, Acessibilidade Relativa e Oportunidade Relativa e População para cada Classe de Agentes, nos dois cenários.

Figura 4.24 - Resultados do Ambiente da simulação do Cenário Exploratório 1 (comuns aos cenários 1.1 e 1.2): a) tipo da célula; b) acessibilidade relativa; c) Resistências Naturais; d) estado final da urbanização, em relação a AEU de 2010, sua borda e a região central



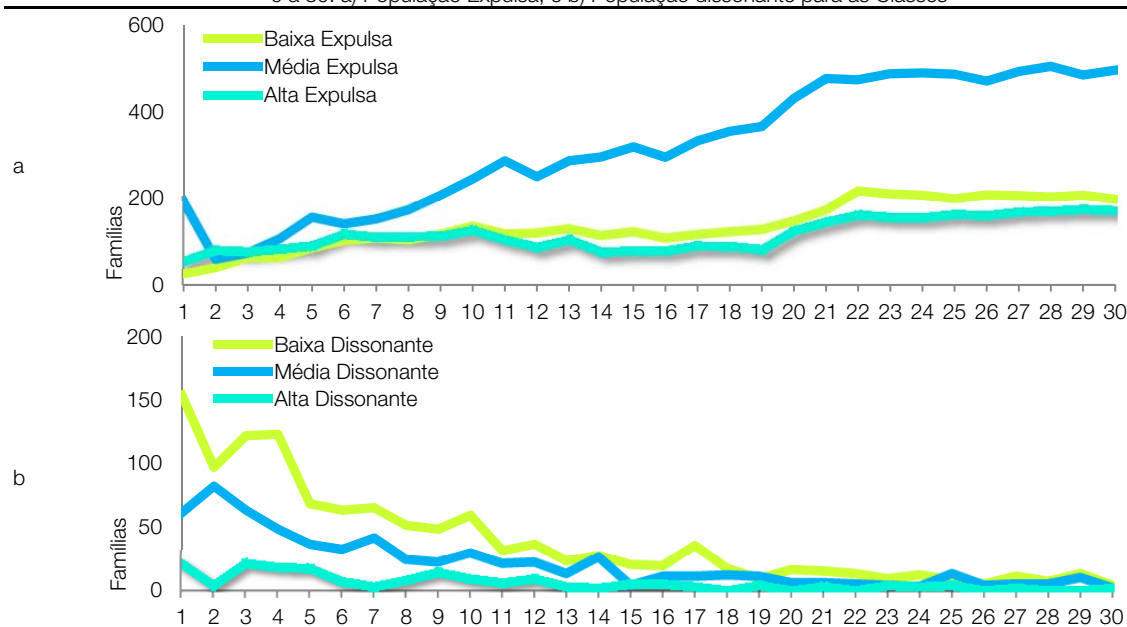
Cenário Exploratório 1.1

Com crescimento constante como no Cenário de Controle, não houve diferenciação nas proporções entre os Agentes, resultando em populações iniciais para as Classes Baixa, Média e Alta de 4.740, 3.284 e 1.289 famílias respectivamente; e populações finais de 5.283, 3.524 e 1.565 famílias.

Os conflitos ocorreram em intensidade equivalente ao Cenário de Controle, apresentando máximos de Expulsão para as famílias das Classes Baixa, Média e Alta de 216, 504 e 174 famílias, respectivamente. A Classe com maior quantidade de População Expulsa foi a Média, que manteve tendência ascendente de expulsão durante todas as iterações, sofrendo um aumento na 20ª iteração. Esta tendência crescente foi percebida nas demais Classes, mas não na mesma intensidade da Classe Média. Os totais da variável População Expulsa para as classes Baixa, Média e Alta foram 4.076, 9.563 e 3.500 famílias, respectivamente.

A População Dissonante total para as Classes Baixa, Média e Alta foi de 1.180, 632 e 177, respectivamente (ver Figura 4.25, abaixo).

Figura 4.25 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Exploratório 1.1 para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes



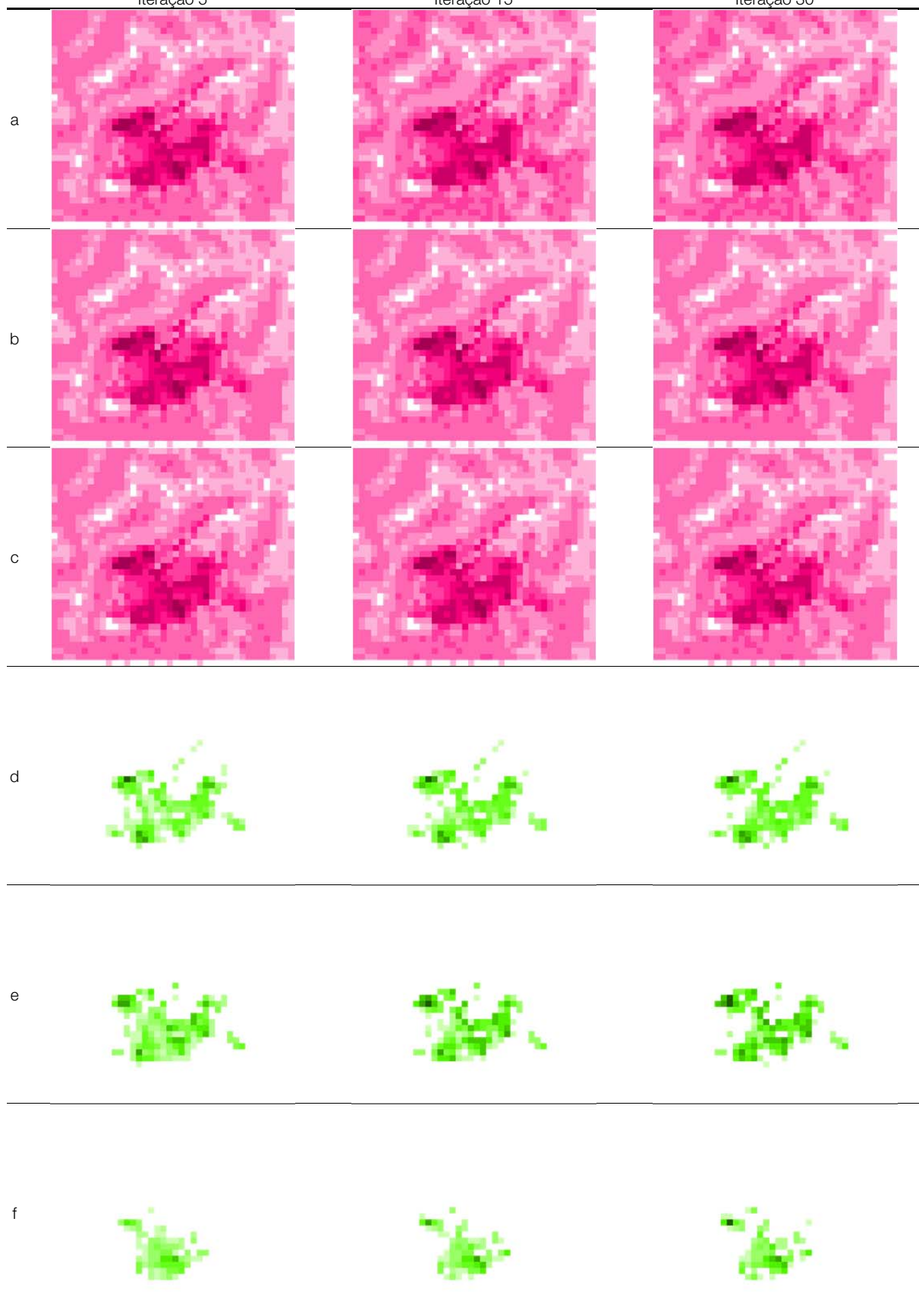
Fonte: do autor.

Tabela 4.26 - Índices no Cenário Exploratório 1.1 para isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes

	Baixa geral	Média geral	Alta Geral	Baixa borda	Média borda	Alta Borda	Baixa centro	Média centro	Alta centro
Baixa	57,195%	33,097%	9,708%	66,984%	29,771%	3,244%	56,046%	33,488%	10,466%
Média	49,618%	38,489%	11,893%	59,436%	34,663%	5,901%	48,777%	38,816%	12,407%
Alta	42,631%	34,840%	22,529%	33,973%	30,953%	35,073%	43,030%	35,019%	21,951%

Fonte: do autor.

Figura 4.26 - Resultados da população da simulação do Cenário Exploratório 1.1: a) oportunidade relativa classe baixa; b) oportunidade relativa classe média; c) oportunidade relativa classe alta d) população baixa; e) população média; f) população alta



Fonte: do autor.

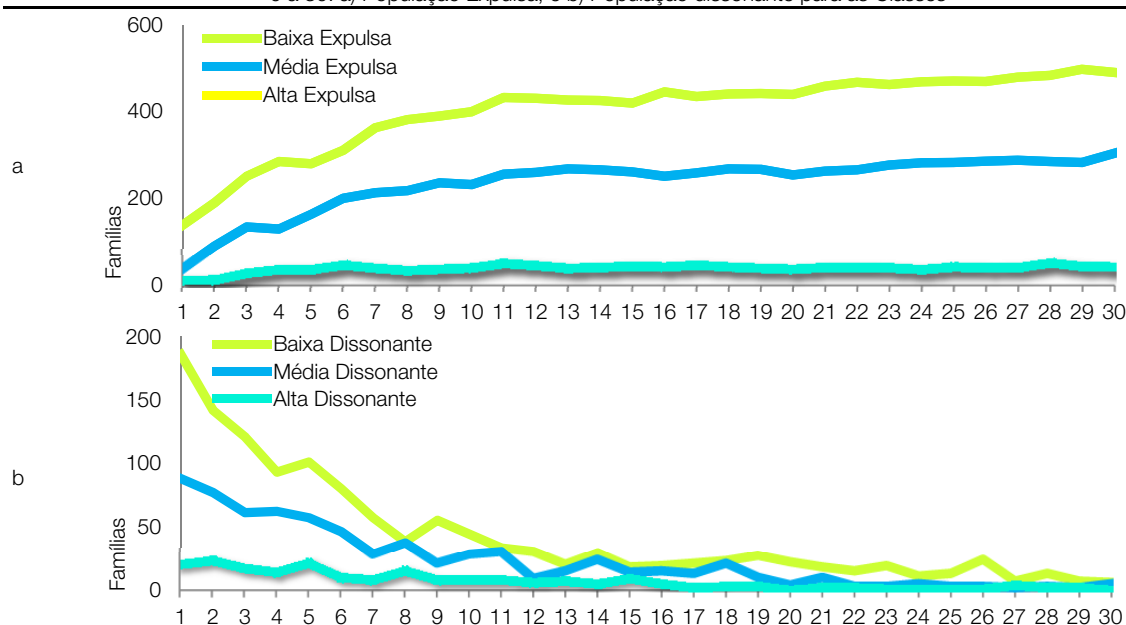
Cenário Exploratório 1.2

Mesmo com parametrização idêntica ao cenário anterior, os fatores estocásticos do modelo resultaram em populações ligeiramente diferentes. Das populações iniciais para as classes Baixa, Média e Alta de 4.740, 3.284 e 1.289 famílias, respectivamente; resultaram populações finais de 5.228, 3.527 e 1.302 famílias.

Os conflitos ocorreram em intensidade maior que o Cenário Exploratório 1.1, resultado da correlação de poder diferente entre os Agentes. Neste caso, os principais expulsos foram os Agentes da Classe Baixa, com máximo de 497, sendo que as classes Média e Alta tiveram 303 e 51, respectivamente. Esta competição se intensificou desde as primeiras iterações e diminuiu a partir da 9ª iteração, apesar de manter aumento até o fim da simulação. Os totais da variável População Expulsa para as classes Baixa, Média e Alta foram 12.054, 7.050 e 1.163 famílias, respectivamente.

A População Dissonante total para as classes Baixa, Média e Alta foi de 1.292, 699 e 208, respectivamente (ver Figura 4.27, abaixo).

Figura 4.27 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Exploratório 1.2 para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes



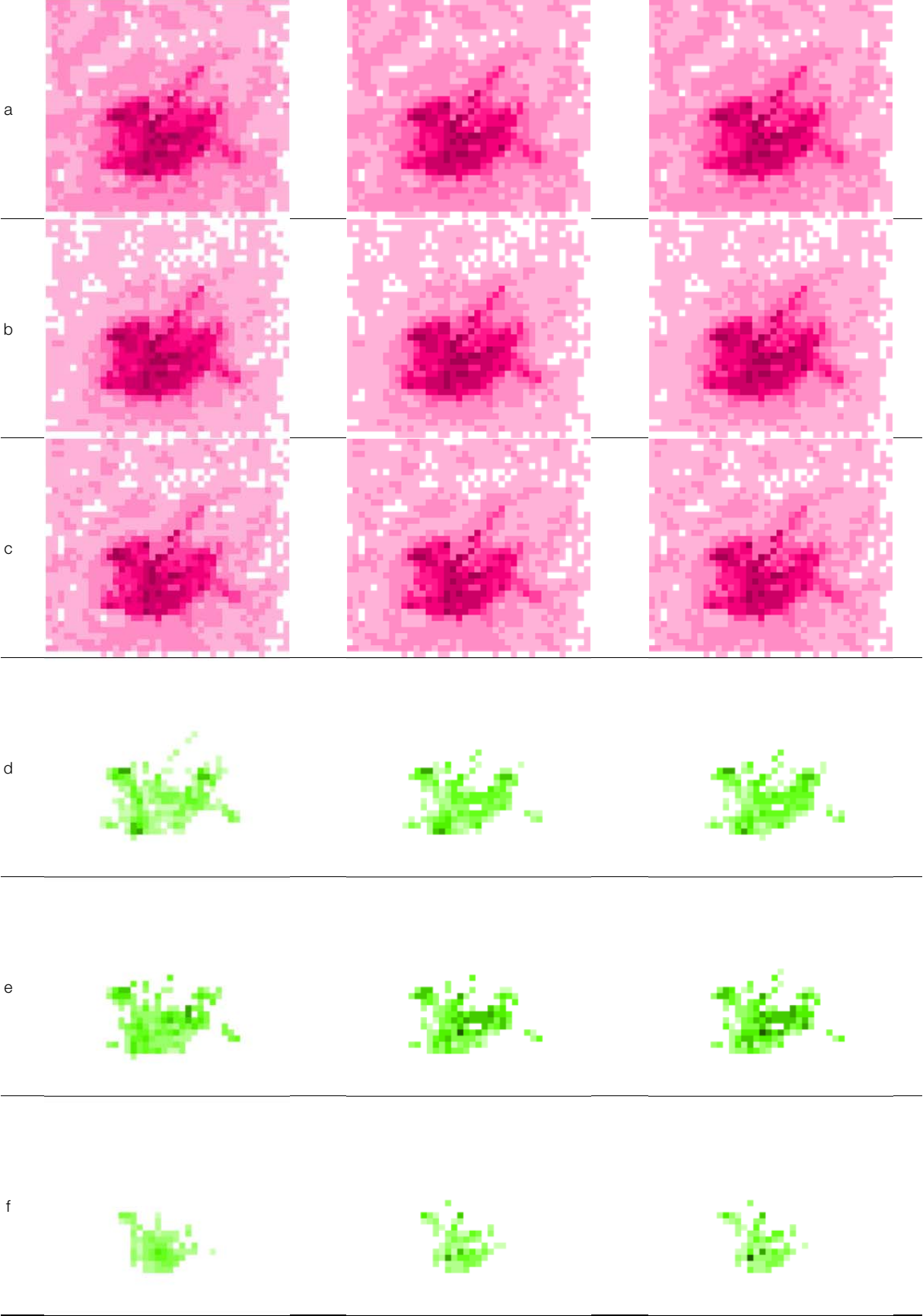
Fonte: do autor.

Tabela 4.27 - Índices no Cenário Exploratório 1.2 para isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes

	Baixa geral	Média geral	Alta geral	Baixa borda	Média borda	Alta borda	Baixa centro	Média centro	Alta centro
Baixa	55,727%	33,443%	10,830%	68,468%	28,192%	3,340%	53,931%	34,183%	11,886%
Média	49,572%	37,989%	12,439%	59,322%	36,758%	3,919%	48,642%	38,107%	13,251%
Alta	43,488%	33,696%	22,817%	45,914%	25,602%	28,484%	43,397%	33,999%	22,604%

Fonte: do autor.

Figura 4.28 - Resultados Da População Da Simulação Do Cenário Exploratório 1.2: A) Oportunidade Relativa Classe Baixa; B) Oport. Relativa Classe Média; C) Oportunidade Relativa Classe Alta D) População Baixa; E) População Média; F) População Alta
Iteração 5 Iteração 15 Iteração 30



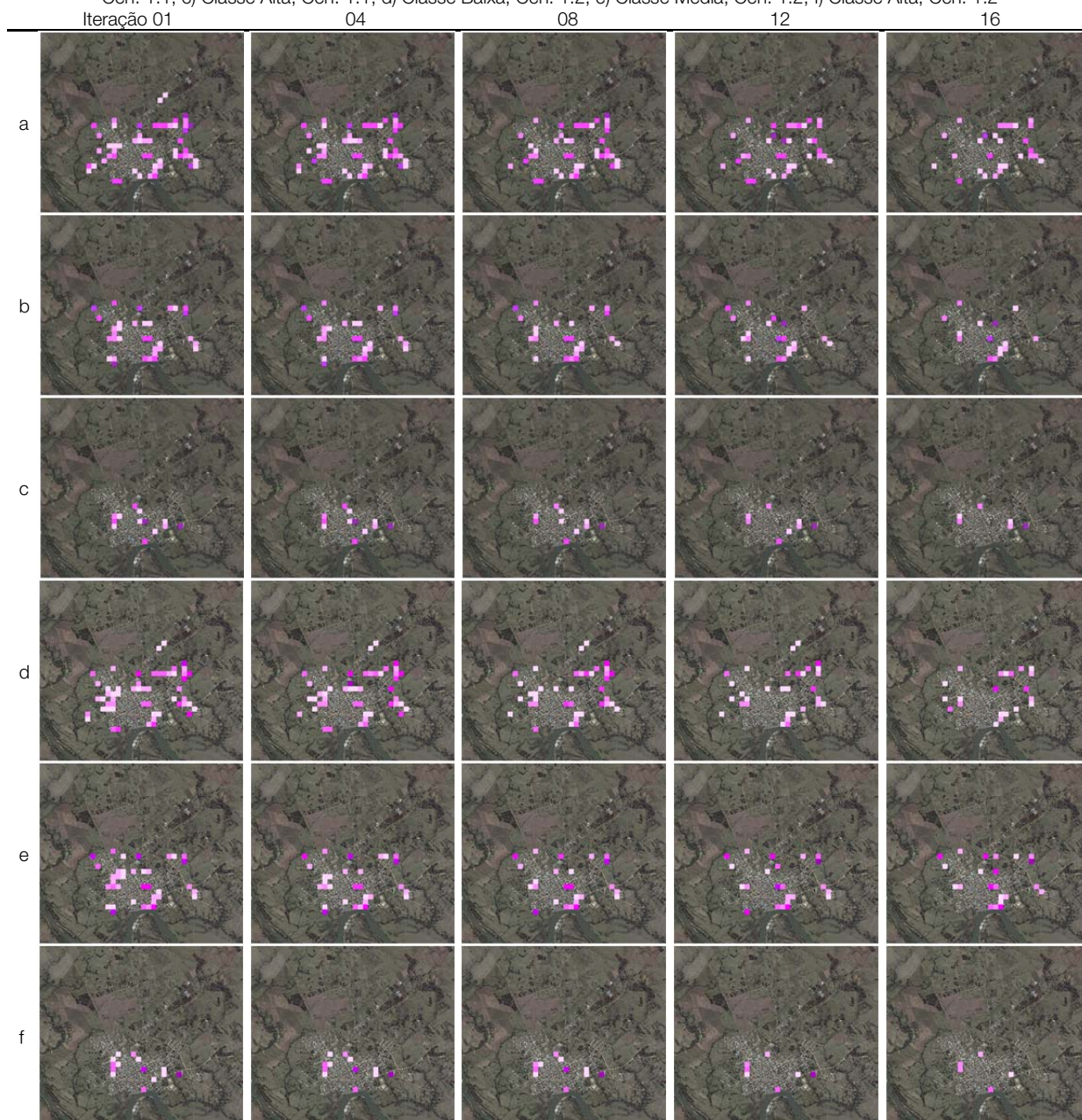
Fonte: do autor.

4.2.6.3 Observações

Os resultados do crescimento urbano foram idênticos aos dos cenários anteriores, mas sua apropriação pelos Agentes foi diversa, mesmo com crescimento populacional constante e igual para todas as Classes.

A Dissonância entre as duas parametrizações não se alterou, salvo para buscar compensar os efeitos da expulsão dos Agentes. Nota-se que enquanto no Cenário Exploratório 1.1 a Dissonância apresentou curva mais suave, no cenário 1.2 ela foi ligeiramente mais abrupta, como pode se observar na Figura 4.29.

Figura 4.29 - Detalhamento População Dissonante Cen. Exploratório 1 para Classes: a) Classe Baixa, Cen. 1.1; b) Classe Média, Cen. 1.1; c) Classe Alta, Cen. 1.1; d) Classe Baixa, Cen. 1.2; e) Classe Média, Cen. 1.2; f) Classe Alta, Cen. 1.2



Fonte: do autor.

No que se refere à distribuição da população no modelo, no entanto, notam-se diferenças marcantes, conforme demonstram a Figura 4.30. No primeiro cenário a competição se originou de padrão semelhante ao encontrado no Cenário de Controle (oriundo da comparação direta entre as populações de cada Classe), com equidade de condições de exercício de poder entre os Agentes. No segundo cenário, nota-se a prevalência do poder dos Agentes de Classe Alta contra os demais, especialmente ante aos Agentes da Classe Baixa. Pode-se observar esse rearranjo das condições de poder no Cenário Exploratório 1.2 pelos resultados das expulsões, com quantidades absolutas de expulsos muito superiores ao Cenário Exploratório 1.1 e concentradas na Classe Baixa. Ocorreu, portanto, a inversão de uma correlação de poder baseada na população, que privilegiava a Classe Baixa e lhe conferia menor quantidade de expulsos no Cenário 1.1.

Apesar de alterar o padrão geral de expulsões na simulação, no entanto, a correlação de forças não impactou a distribuição espacial dos Agentes, que aparentaram retornar para as células de maior Oportunidade, independente de serem expulsos novamente. Este resultado certamente expôs limitação do modelo no que se refere à memória dos Agentes e seu aprendizado, que não fizeram parte do escopo deste estágio da pesquisa. Esta aparente “teimosia”, no entanto, não deixa de ter paralelos na realidade, onde comunidades resistem ante as tentativas de expulsão de atores urbanos mais poderosos, por vezes sendo expulsas e retornando.

A concentração final das populações dos Agentes acompanhou a distribuição da Acessibilidade e sua sobreposição com os Atributos aos quais os Agentes se encontravam mais vinculados.

Estes cenários permitiram a reflexão sobre as capacidades de exercício de poder nas disputas sobre a urbanização, mesmo com suas limitações. Expuseram as diferenças entre a capacidade de ação não mediada das populações dos Agentes da Classe Baixa, no primeiro cenário, em que a simples “massa” de população é o principal ativo para a competição sobre a urbanização. Por outro lado, o cenário seguinte demonstra como, mesmo com populações inferiores, a Classe Alta pôde reverter as relações de poder a seu favor buscando controlar a urbanização, obtendo localizações mais próximas às suas Oportunidades.

Estas são reflexões centrais para a discussão sobre o direito à cidade e à equidade na distribuição dos benefícios da urbanização. No entanto indicam, também, uma existência de conflitos de forma constante na urbanização, cujo acesso pode ser visto como uma correlação de poder entre interesses sociais antagônicos e, muitas vezes, em disputa de bens e recursos finitos.

Figura 4.30 - Detalhamento da Competição no Cenário Exploratório 1 para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração, Cen. 1.1; b) Conflito Baixa – Média, Cen. 1.1; c) Conflito Média – Alta, Cen. 1.1; d) Conflito Média – Baixa, Cen. 1.1; e) Conflito total para a iteração, Cen. 1.2; f) Conflito Baixa – Média, Cen. 1.2; g) Conflito Média – Baixa, Cen. 1.2; h) Conflito Alta – Média, Cen. 1.2



Fonte: do autor.

4.2.7 Cenário Exploratório 2 – vetores de crescimento e ocupação das linhas de drenagem

Este cenário buscou explorar hipóteses sobre o crescimento urbano de Jaguarão para próxima década. Partiu de polos de atração ao crescimento encontrados na cidade na atualidade para verificar o impacto que poderão ter na forma urbana e distribuição da população.

A simulação é implementada através dos parâmetros do Cenário Tendencial, com a substituição da Máscara de Impedância local, na qual estão representados os seguintes polos de crescimento:

- a) área de entorno da Universidade Federal do Pampa, quadrante noroeste;
- b) área de expansão do Cerro das Irmandades, no quadrante sudoeste da AEU;
- c) área de expansão entre as estradas, no quadrante nordeste da AEU;
- d) Área Especial de Interesse Social, no quadrante sudeste da AEU.

A premissa inicial foi que existe uma tendência recente de crescimento da ocupação peri-urbana pelas classes Alta e Baixa, sendo que a primeira buscaria acessos viários e qualidades paisagísticas, enquanto a segunda buscaria o entorno das populações mais ricas, áreas com custo menor do solo e mesmo áreas de ocupação restrita, como a margem dos cursos d'água, mas que estivessem mais próximas das áreas mais acessíveis. Neste sentido, a Classe Baixa atuaria para além dos ditames das normas urbanas, ignorando proibições que as demais classes respeitam e exercendo vanguarda na ocupação de áreas frágeis ambientalmente.

A hipótese portanto, é que esta situação se traduziria em maiores isolamento de populações da Classe Alta no quadrante sudoeste, concentrações mais equilibradas entre as classes Alta e Baixa nos quadrantes nordeste e noroeste e maior isolamento da Classe Baixa no setor sudeste.

4.2.7.1 Parametrização

Os polos de desenvolvimento foram representados por uma camada de tensões de indução do crescimento, arbitrada sobre o sistema viário e entorno que atuou diminuindo a Impedância Local de certos trechos para representar as tendências observadas. Desde a Tabela 4.28 a Tabela 4.32 estão representados os parâmetros deste cenário, enquanto a Figura 4.31 demonstra três atributos específicos a ele: a máscara de indução, que localiza a Impedância Local; as áreas junto às Estradas, buscadas pela Classe Alta; e as áreas junto às linhas de drenagem, nas quais a Classe Baixa buscou localizar-se.

Figura 4.31 - Inputs específicos do Cenário Exploratório 2: a) máscara de indução; b) afastamento a estradas; e c) afastamento a linhas de drenagem



Fonte: mapa do autor a partir do SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

As Oportunidades neste cenário foram ajustadas para as Classes Baixa e Alta, sendo que a primeira passou a ter maior oportunidade em áreas de várzea, próximas às linhas de drenagem contíguas à área urbanizada, enquanto que a segunda passou a ter maiores Oportunidades junto ao sistema viário externo à mancha urbana. A Copresença foi semelhante à usada no Cenário Exploratório 1.1, contendo simetria de poder.

Tabela 4.28 - Parametrização no cenário exploratório 2 dos agentes para Inicialização

Parâmetro	Todas as classes de agentes
Fator de divisão (dv_f)	15
Fator Aleatório dos Agentes (Δ)	20%

Fonte: do autor.

Tabela 4.29 - Parametrização no cenário exploratório 2 do modelo de crescimento urbano

Parâmetros do ambiente	
Coefficiente Determinístico (α)	0,4
Coefficiente Aleatório (β)	0,6
Impedância Global (Ω)	0,65
Máscara de impedância local (ω)	camada "fatores de indução ao crescimento" (com valores de 0,5 a 1,5)
Taxa Cresc. Urbano (θ_{urb})	0,71%

Fonte: do autor.

Tabela 4.30 - Parametrização no cenário exploratório 2 dos atributos para Submodelo de Crescimento Urbano

Atributo	Tipo	Peso	Comportamento	Instável?
AEU 2010	Urbano	1	Atração	Sim
Rio Branco (UY)	Urbano	0	Atração	Não
Uso residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso não-residencial	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso vazios	Urbano	-	Neutro	Sim
Uso estradas (500m)	Urbano	-	Neutro	Sim
Rio Jaguarão	Natural	0,8	Resistência	Não
Bacias hidrográficas	Natural	0,3	Resistência	Não
Linhas drenagem (500m)	Natural	-	Neutro	Não
Declividade	Natural	-	Neutro	Não
Camada aleatória	Natural	0,5	Resistência	Sim
Classe de agentes baixa renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de agentes média renda	Pessoas	-	Neutro	Sim
Classe de agentes alta renda	Pessoas	-	Neutro	Sim

Fonte: do autor.

Tabela 4.31 - Parametrização no cenário exploratório 2 dos Agentes, por Classe

Parâmetro	Baixa	Média	Alta
População inicial (<i>Class. pop_{t0}</i>)	4.740	3.248	1.289
<i>Class. s_p</i>	1	1	1
<i>Class. p_p</i>	1	1	1
<i>Class. d_p</i>	4	4	4
<i>Class. θ_{pop}</i>	1,66%	0,31%	-2,14%
<i>Class. Av</i>	0,45	0,5	0,65
<i>Class. wAr</i>	18	21	12
<i>Class. w</i> AEU 2010	1	1	1
<i>Class. w</i> Rio Branco (UY)	0	0	0
<i>Class. w</i> uso residencial	7	8	5
<i>Class. w</i> uso não-residencial	6	5	7
<i>Class. w</i> uso vazios	7	7	5
<i>Class. w</i> uso estradas (500m)	4	4	21
<i>Class. w</i> Rio Jaguarão	0	0	0
<i>Class. w</i> bacias hidrográficas	4	3	2
<i>Class. w</i> linhas drenagem (500m)	21	3	11
<i>Class. w</i> camada aleatória	11	11	11

Fonte: do autor.

Tabela 4.32 - Matriz de copresença no cenário exploratório 2 entre os Agentes

Parâmetro	Baixa	Média	Alta
<i>Class. c_p</i> baixa	-	10	20
<i>Class. c_p</i> média	4	-	6
<i>Class. c_p</i> alta	2	6	-

Fonte: do autor.

4.2.7.2 Resultados

Esta simulação obteve resultados diversos para o crescimento urbano em relação às anteriores. A atuação da Máscara de Impedância Antrópica alterou especialmente na sua distribuição espacial. Uma vez que a Taxa de Crescimento Urbano é fixa, no entanto, os números de células permaneceram semelhantes aos demais, como foi observado ao fim da simulação, que teve 225 células urbanas ao final (contra 180 iniciais) e 122 células de borda (contra 109 iniciais), que totalizam crescimentos de 25 e 12% respectivamente.

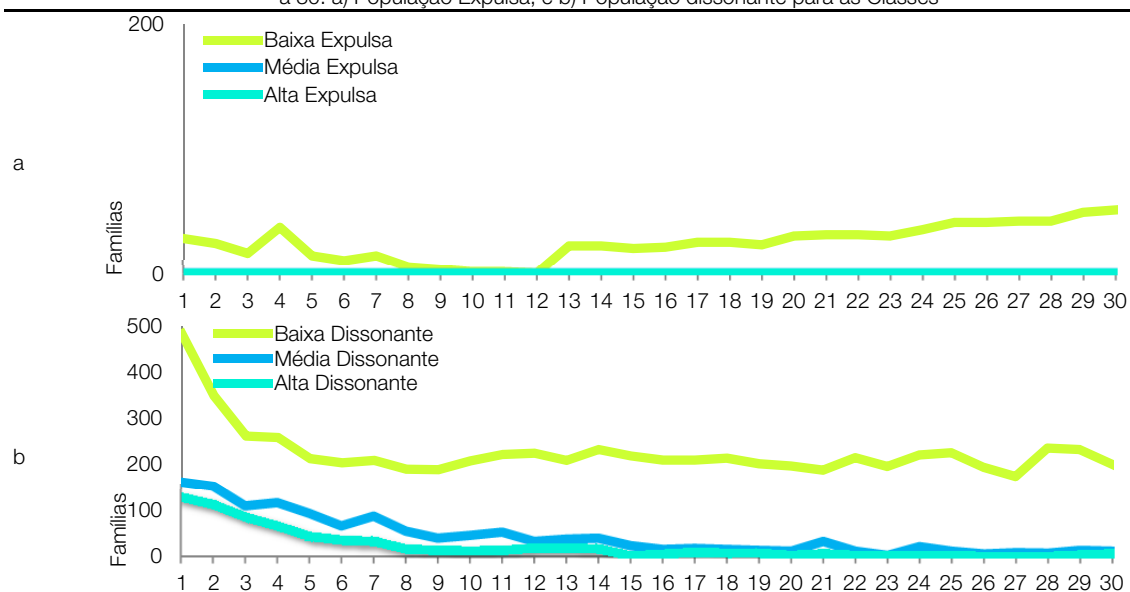
O crescimento populacional com taxa fixa também produziu resultados semelhantes aos demais experimentos, com populações finais das Classes Baixa, Média e Alta de 5.489, 3.787 e 1.559 famílias respectivamente, com incremento de 749, 508 e 270 famílias para cada.

A quantidade de conflitos foi muito inferior aos demais cenários, com total de 734 expulsos unicamente para a Classe Baixa.

A População Dissonante total para as classes Baixa, Média e Alta foi de 6.764, 1.290 e 684, respectivamente.

A Figura 4.32, demonstra a evolução das variáveis População Expulsa e População Dissonante. A Figura 4.33 e a Figura 4.34 apresentam os resultados gráficos da simulação, incluindo Tipo Celular, Acessibilidade Relativa e Oportunidade Relativa e População para cada Classe de Agentes, a Tabela 4.33 demonstra a segregação no cenário.

Figura 4.32 - Gráficos da evolução dos conflitos e dissonância nos resultados para o Cenário Exploratório 2 para as iterações de 0 a 30: a) População Expulsa; e b) População dissonante para as Classes



Fonte: do autor.

Tabela 4.33 - Índices no Cenário Exploratório 2 para isolamento (em negrito) e exposição para área urbanizada, borda da urbanização e área central para cada uma das Classes de Agentes

	Baixa geral	Média geral	Alta geral	Baixa borda	Média borda	Alta borda	Baixa centro	Média centro	Alta centro
Baixa	57,290%	31,502%	11,208%	66,641%	26,770%	6,589%	53,481%	34,185%	12,334%
Média	45,660%	41,028%	13,312%	48,000%	44,102%	7,897%	46,958%	39,766%	13,276%
Alta	39,463%	32,337%	28,200%	37,071%	24,782%	38,147%	41,604%	32,602%	25,795%

Fonte: do autor.

Figura 4.33 - Resultados do ambiente da simulação do Cenário Exploratório 2: a) tipo da célula; b) acessibilidade relativa; c) Resistências Naturais

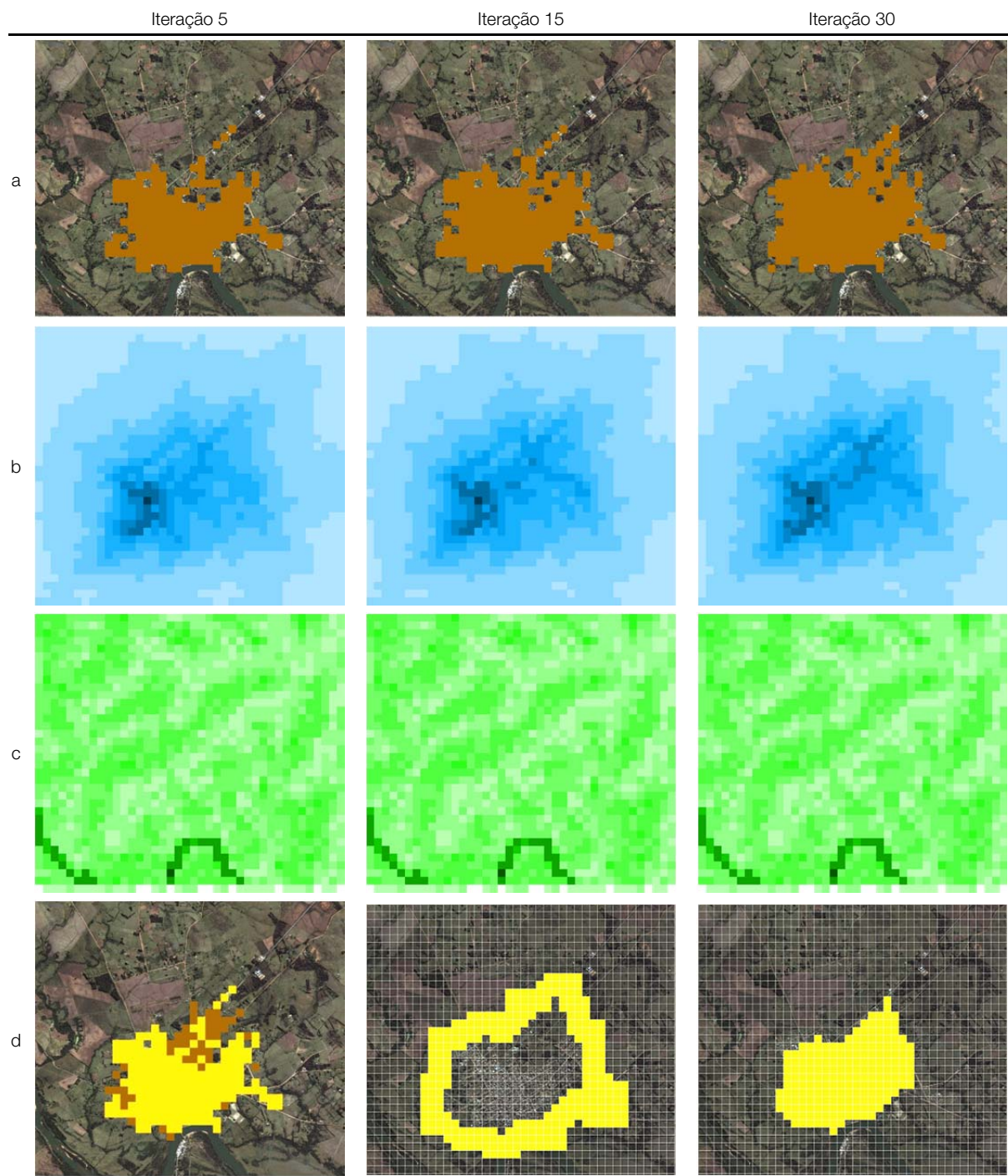
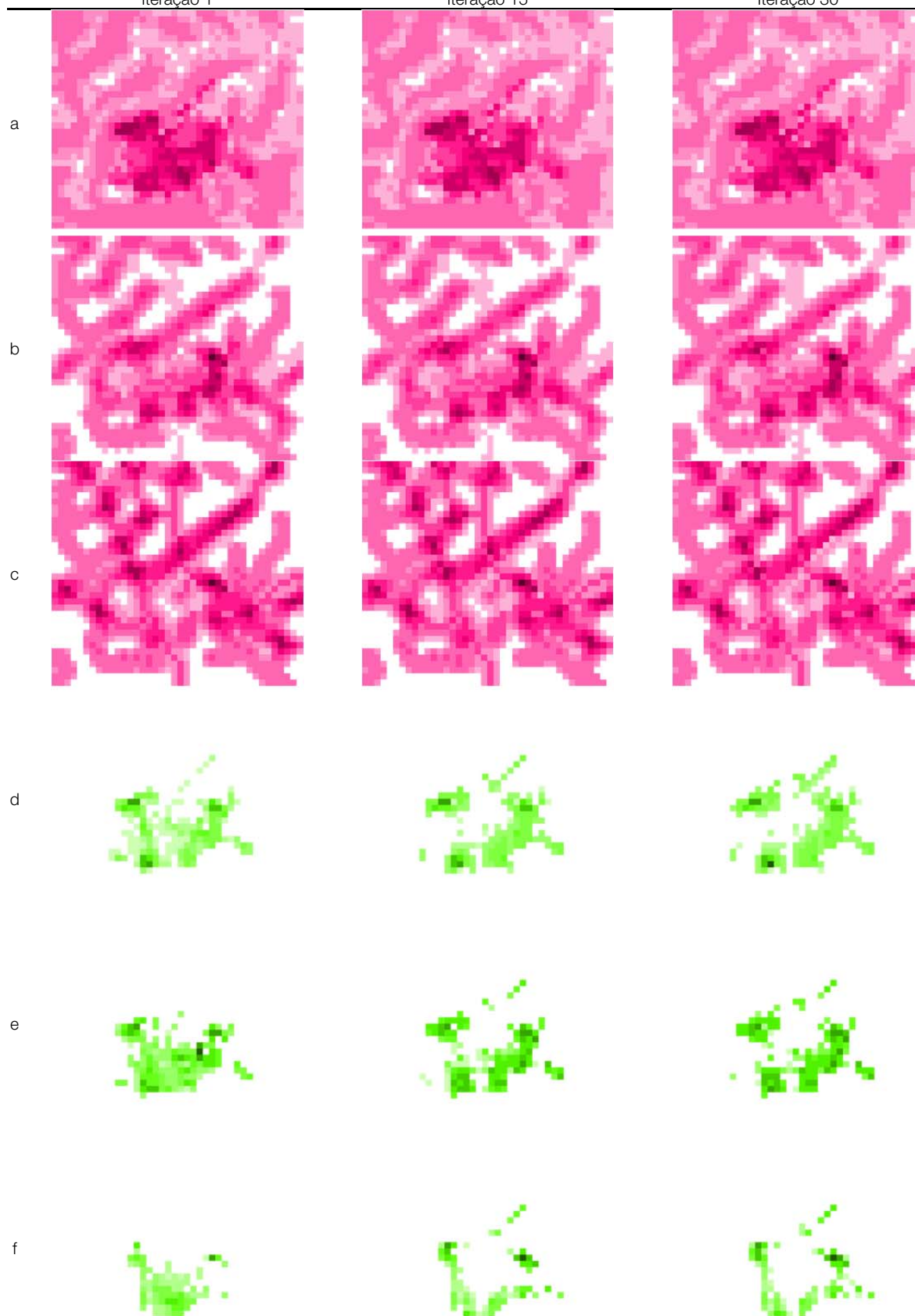


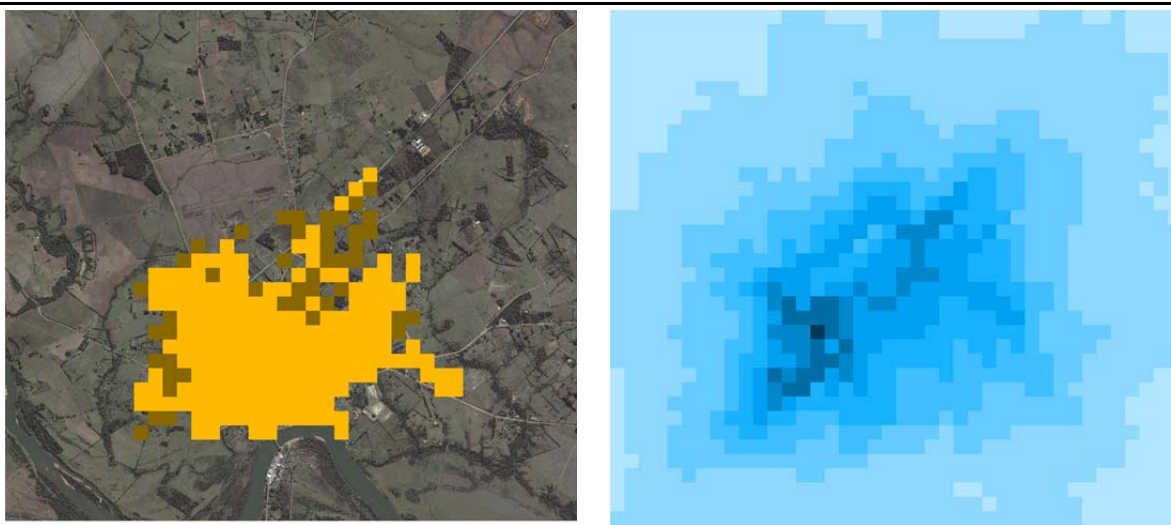
Figura 4.34 - Resultados da população da simulação do Cenário Exploratório 2: a) oportunidade relativa classe baixa; b) oportunidade relativa classe média; c) oportunidade relativa classe alta; d) população baixa; e) população média; f) população alta
 Iteração 1 Iteração 15 Iteração 30



4.2.7.3 Observações

O aumento do perímetro da urbanização foi a principal alteração da mancha urbana percebida, que se estendeu ao longo da BR-116 em direção nordeste, mas também avançou tentacularmente nas direções noroeste e sudoeste. A Acessibilidade Relativa também apresentou alterações em relação aos cenários anteriores, com maior intensidade no setor oeste da cidade, entre os polos da UNIPAMPA e do Cerro das Irmandades, revelando o impacto provocado pela camada de impedâncias, conforme demonstra a Figura 4.35, a seguir.

Figura 4.35 - Destaques dos resultados da simulação do Cenário Exploratório 2: a) tipo da célula sobreposto à AEU de 2010; b) Acessibilidade Relativa



Com crescimento populacional contínuo e igual entre as Classes, as alterações na localização dos Agentes foram devidas ao ajuste das suas Matrizes de Oportunidade. A diferenciação aplicada aos parâmetros entre as Classes Alta e Baixa produziu uma polarização entre a ocupação das periferias da cidade. Enquanto a Classe Baixa estabeleceu padrão concêntrico, afastado das áreas centrais, mas presente em todos os setores, a Classe Alta concentrou-se intensamente sobre dois pontos do sistema viário, um a oeste, onde o Corredor das Tropas encontra o sistema viário urbano, próximo aos vazios urbanos da região; e outro no extremo oposto, a norte da área da ocupada pela UNIPAMPA. A população de Classe Baixa ocupou regiões semelhantes, porém suas concentrações principais raramente estavam nas mesmas células em que a Classe Alta se localizou. De certa forma, observou-se uma contiguidade entre as diferentes classes socioeconômicas que os Agentes representaram, com níveis baixos de conflito, como pode ser observado na Figura 4.36.

Figura 4.36 -- Detalhamento do Competição no Cenário Exploratório 2 para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Alta – Média; d) Conflito Média – Baixa



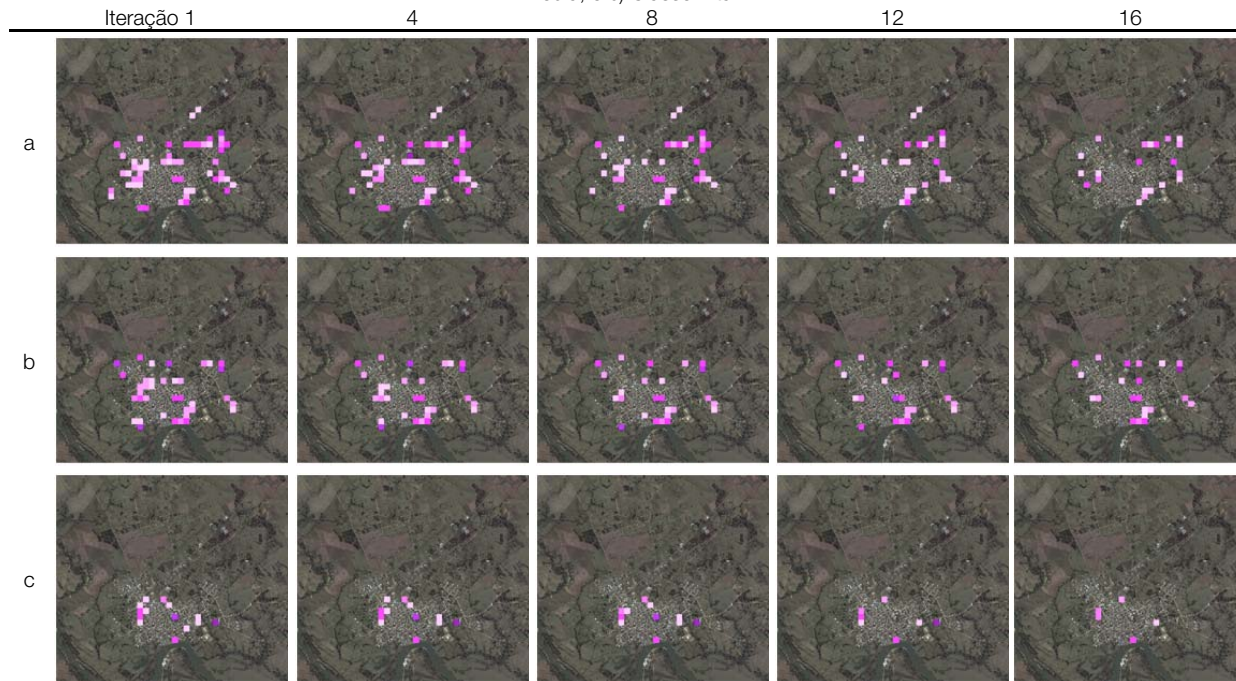
Fonte: do autor.

A Dissonância pôde ser avaliada na Figura 4.37, apresentou rápido decaimento que exemplificou a influência que a produção de novas localizações exerceu sobre a dinâmica de oferta de localizações. Sugere-se que ao se prover novas áreas (através do estímulo de modos de ocupação sobre áreas não urbanas), se fomentou mudança dos padrões de segregação urbana pela reestruturação da forma urbana.

No caso deste experimento, a busca por novas oportunidades pela Classe Alta foi equiparada pela ocupação de locais antes evitados pela Classe Baixa, cada uma valendo-se das suas ferramentas para a promoção da urbanização e acesso à terra. De um lado, a Classe Alta pôde ser vinculada ao poder econômico e à provisão de terra por via do mercado. De outro, pode ser atribuída à Classe Baixa habilidade de adaptação ante as oportunidades disponíveis. Assim, quando a Classe se encontra sob pressão da *necessidade*, como argumenta Abramo (2007), sem alternativas de mercado que a atendam, ela passa a subverter as normas da urbanização de modo a viabilizar ocupação das áreas que busca. A especialização dos modos de produção do território, portanto, se faz componente importante para a compreensão da urbanização por classes socioeconômicas diversas e em disputa. Esta condição, no entanto, suscita preocupação quanto a vulnerabilidade ambiental a que estariam sujeitas populações pobres ao ocupar áreas frágeis ambientalmente, especialmente

considerando sua pequena capacidade financeira para investimentos em adaptação do ambiente para sua ocupação (OJIMA; HOGAN, 2009).

Figura 4.37 - Detalhamento da Dissonância no Cenário Exploratório 2 nas iterações selecionadas: a) Classe Baixa; b) Classe Média; e c) Classe Alta



Fonte: do autor.

4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS E OBSERVAÇÕES SOBRE OS EXPERIMENTOS

Os experimentos realizados permitiram a reflexão sobre os modos de produção e apropriação da forma urbana contemporânea. Sem pretensões de explicar os fenômenos simulados ou de compor leis gerais para as cidades, os experimentos foram compostos de forma a explorar aspectos relevantes da urbanização recente do município de Jaguarão, além de permitir o teste de hipóteses formuladas sobre pressupostos teóricos e a realidade verificada empiricamente. O modelo composto e este conjunto de testes, portanto, parecem ter satisfeito os seus pressupostos iniciais em apoiar a formulação de teoria e crítica à urbanização com apoio na modelagem urbana. Desta forma, o modelo se situa entre aqueles destinados a ampliar a capacidade de pesquisadores em questionar a realidade, sem buscar esclarecê-la diretamente.

A partir do Cenário de Controle, apreende-se que existe um ambiente de disputa sobre os melhores locais da urbanização, especialmente quando atores com contingentes populacionais, características socioeconômicas e atributos diferentes interagem para determinar àqueles que terão acesso aos locais e seus benefícios associados. Este mesmo cenário indicou que a alteração da tolerância a classes sociais diversas nas parcelas do espaço modelado impacta o padrão de ocupação populacional ao evitar ou ampliar os conflitos.

O Cenário Tendencial permitiu visualizar a projeção de comportamentos inferidos da realidade para o futuro. A alteração das características que orientam a avaliação do ambiente pelos Agentes impactou não somente sua localização no Ambiente, mas contribuiu para o aumento dos conflitos. Além disso, foi notado que, ao aumentar seu isolamento social, a Classe Baixa tenha evitado conflitos. Pode-se apreender que, neste processo, o isolamento (por determinação de terceiros ou dos próprios Agentes) funciona como um mediador do conflito, evitando sua propagação. Pode-se argumentar que a composição de guetos, para as classes baixas ou enclaves privados, para as classes altas, funcionariam de forma semelhante, evitando conflitos através da segregação.

Já o Cenário Exploratório 1 com suas variantes, permitiu refletir sobre o exercício de poder nas disputas sobre a urbanização. O cenário tornou possível argumentar que as classes sociais menos numerosas necessitam revestir seu exercício de poder de elementos que multipliquem sua capacidade de ação, evitando que sejam sobrepujados pela maior parte da sociedade. O estabelecimento desta condição desigual de exercício de poder foi, neste cenário, fundamental para a reprodução do controle sobre o território da sua classe. Sobre isto, pode-se argumentar que o Estado, enquanto mediador dos conflitos sociais⁸², atua oferecendo estes elementos (LOGAN; MOLOTCH, 1993), mas também combatendo-os em um difícil e disputado jogo de promoção de direitos e manutenção de desigualdades sociais. O cenário ainda permitiu a reflexão sobre o papel do confronto na urbanização, indicando que a forma urbana tem sido impactada por relações sociais de anteposição continuamente.

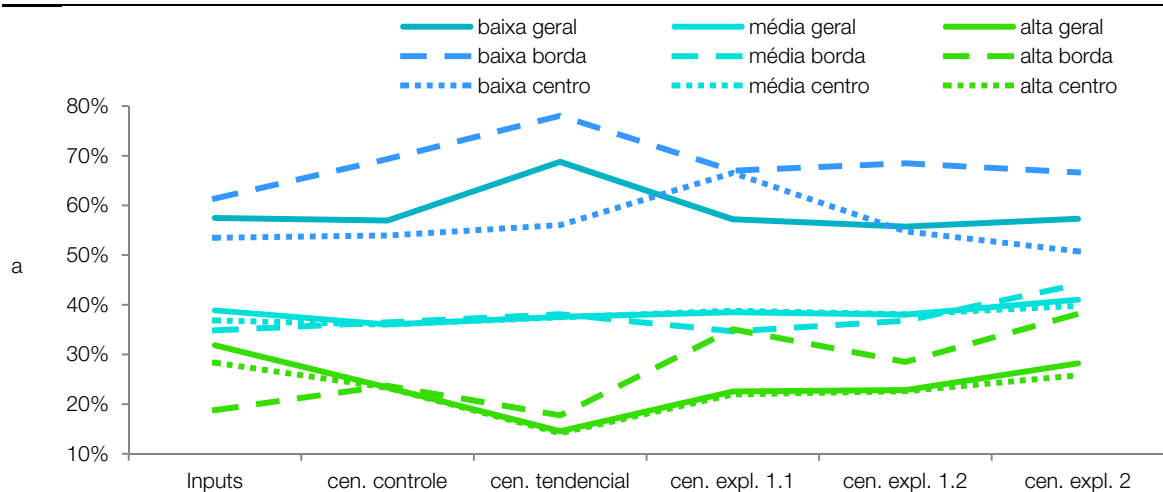
Finalmente, o Cenário Exploratório 2 indicou mecanismos de inovação territorial, ou produção de localizações (HARVEY, 1978) de duas classes nos extremos da pirâmide social. A capacidade de inovação da Classe Alta pode ser descrita como um exercício de antecipação às demais classes na busca por localizações mais vantajosas. No caso da Classe Baixa, dentro do delineamento do experimento, se sugeriram inovações sobre aspectos do território com os quais tenham vantagens para a disputa sobre as localizações, representando alternativas aos termos puramente econômicos do mercado imobiliário. Desta forma, os seus movimentos puderam ser vistos como menos previsíveis, por estarem alheios, em grande parte, ao mercado imobiliário, mas também por terem capacidade radical de inovação na busca por localizações. Sugeriu-se a existência de especialização dos modos de produção do território, que se fez componente importante para a compreensão da urbanização por classes socioeconômicas diversas e em disputa.

A análise dos indicadores de isolamento (Figura 4.38, abaixo) permitiu verificar que, de forma geral, a concentração das populações percebida visualmente nos *outputs* das

⁸² Segundo uma perspectiva Weberiana do Estado e suas origens (WEBER, 1964).

simulações não é tão grave na segregação global da urbanização. A exceção ocorreu no Cenário Tendencial em que tanto nas áreas centrais, como nas bordas, o isolamento da Classe Baixa aumentou, demonstrando a pressão exercida pela composição da população sobre o indicador, mas também revelando tendência de aumento das desigualdades se os padrões de evolução de renda indicados pelas variáveis do censo se mantiverem. Ainda se apontou a necessidade de ferramentas de análise tão desagregadas quanto os processos simulados, de forma a revelar a riqueza dos processos generativos, assim como acompanhar de forma adequada seus resultados. Nesta categoria certamente podem se inserir avanços como índices espaciais de segregação.

Figura 4.38 - Índices de isolamento para os cenários simulados para as áreas urbanas, bordas da urbanização e áreas centrais



Fonte: do autor.

5 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E CONTINUIDADES

Uma vez conduzidos os experimentos e realizadas considerações específicas sobre cada cenário, cabe retornar os objetivos destacados na introdução deste trabalho e realizar a discussão dos aspectos metodológicos, empíricos e teóricos levantados, verificando as questões de pesquisa colocadas e seu atendimento pela investigação realizada. Além disso, a discussão destes aspectos suscita a avaliação do modelo, de seu processo de implementação e dos seus resultados ante às possibilidades de desenvolvimento futuro, assim como ao reconhecimento de suas limitações e eventuais faltas.

São apontadas algumas conclusões, próximas a considerações pela natureza experimental do trabalho e seguem, portanto, discussões e apontamentos de finalização desta etapa da pesquisa que visam aferir os avanços e reconhecer o que há por ser realizado numa perspectiva de abertura ao questionamento, mesmo com o necessário encerramento deste trabalho.

5.1 CONSIDERAÇÕES QUANTO ÀS QUESTÕES E OBJETIVOS DE PESQUISA

O objetivo geral definido para pesquisa foi investigar o processo de localização da pobreza nas cidades e suas associações ao crescimento urbano através de modelo com técnicas de agentes e ambiente celular. Pode-se considerar que este objetivo foi alcançado, através da revisão da literatura e dos experimentos realizados.

A revisão teórica revelou características de modos específicos de crescimento urbano das cidades da América Latina e do Brasil, incluindo a localização da pobreza através de relações multifacetadas entre atores dos mercados formal e informal. A partir destas constatações, os experimentos trataram de implementar mecanismos representando aspectos destes fenômenos, na forma da heterogeneidade de representação e comportamento das classes socioeconômicas, nas condições assimétricas de acesso às oportunidades urbanas e no exercício do poder sobre as áreas ocupadas, assim como na capacidade específica das classes sociais de produzir a inovação no crescimento urbano.

A partir dos experimentos, verificou-se que a ocupação da urbanização por classes socioeconômicas pode ocasionar processos conflitivos, em que duas ou mais classes buscam os mesmos locais, mas não toleram a presença de outras classes. Além disto, pôde-se observar que modos de crescimento urbano associados à presença de infraestruturas, por exemplo, podem condicionar a localização das classes sociais, criando oportunidades desiguais na apropriação da urbanização. A associação entre estes dois pontos remete ao exercício de poder no espaço urbano, apontado como condição de reprodução das classes na

produção capitalista das cidades, como será discutido nos desdobramentos empíricos destes exercícios, a seguir.

Quanto aos objetivos específicos, considera-se que foram atendidos, com ressalvas. Foram identificados fenômenos associados à localização de pobreza, assim como mecanismos através dos quais estes fenômenos podem ser modelados, no entanto, deve-se ressaltar que esta pesquisa não teria como encerrar o assunto. As reflexões aqui realizadas contribuíram no sentido de vincular a pobreza como parte da urbanização contemporânea, no terceiro mundo em particular, avançando na sua compreensão integrada aos mecanismos de desigualdade das cidades.

A vinculação dos perfis socioeconômicos aos atributos do ambiente foi provada parcialmente, de vez que foram encontrados padrões de relacionamento entre estas entidades nos exercícios de análise prévios à simulação, mas as simulações não foram capazes de reproduzir estes padrões com clareza. Os resultados das simulações sempre apresentaram concentrações das populações mais intensas do que seus *inputs*, de onde depreende-se que há elementos não considerados nesta etapa de desenvolvimento do modelo que condicionem esta associação adequadamente. Através destas experiências de modelagem, pode-se sugerir que existam processos não incluídos nas dinâmicas modeladas, como limitações dinâmicas da densidade da ocupação, antecipação aos conflitos potenciais, valorização e desvalorização da forma construída. Estas limitações também podem ter se originado de erros na parametrização do modelo, oriundos da falta de dados, necessidade de outros métodos de análise prévia e especialmente de pesquisas auxiliares que permitissem conhecer em maior detalhe o comportamento dos grupos sociais modelados. Neste sentido, os ensaios realizados apontaram para complementações futuras a serem realizadas para a pesquisa do tema.

A identificação das lógicas de comportamento dos agentes autônomos e a simulação dos conflitos de forma explícita, por outro lado, parecem ter tido resultados satisfatórios, inclusive superando as expectativas iniciais. As escolhas locacionais dos Agentes, sua copresença, a mediação dos conflitos e o exercício assimétrico de poder no Submodelo de Competição produziram resultados que sugerem a integração do conflito nos modos de apropriação social do espaço urbano contemporâneo.

Pode-se argumentar que a copresença em parcelas do espaço pode ser mediada por elementos integradores, como a diversidade proposta por Jacobs (1961) ou segregadores, como os instrumentos de vigilância e muros registrados por Caldeira (1997) e Sabatini e outros (2001). Nos experimentos, o modelo provou ser capaz de simular estas diferentes capacidades de convivência, através da ampliação ou redução dos Parâmetros de Copresença. Da mesma forma, permitiu realizar diferentes correlações de forças entre as classes socioeconômicas,

exemplificando efeitos de políticas inclusivas, atuação de órgãos governamentais ou mesmo das forças do mercado imobiliário.

No que se refere às contribuições aos modelos da plataforma CityCell, pode-se considerar que houve avanço ao desenvolver rotinas mais desagregadas e que ampliaram as dinâmicas celulares. Desta forma, verifica-se que ocorreu um aumento das capacidades da plataforma, com a adição de novas funcionalidades específicas ao modelo desenvolvido, mas que podem ser integradas à plataforma ou adaptadas em modelos futuros. A principal complementação refere-se à representação explícita de entidades sociais, que ocorria de forma implícita nos modelos anteriores, avaliados na seção 2.5 e que ocorre de modo explícito, com os agentes representando a esfera social de modo autônomo e independente do crescimento urbano. Estes avanços serão discutidos a seguir, na seção dedicada aos aspectos metodológicos.

No que se refere à questão de pesquisa, pode-se afirmar que está respondida afirmativamente por meio do atingimento dos objetivos geral e específicos dos quais emanou. A hipótese formulada, por sua vez, está confirmada, uma vez que os processos de tomada de decisão e conflitos responderam positivamente à simulação de ocupação da forma urbana com a representação de entidades sociais heterogêneas, especialmente quando se considera a orientação exploratória da pesquisa realizada.

As questões auxiliares serão contempladas por comentários tecidos nos itens a seguir, que detalharão aspectos empíricos, teóricos e metodológicos destas considerações.

5.2 ASPECTOS TEÓRICOS

De forma geral, esta pesquisa parece se inserir junto a modelos feitos como apoio à crítica da realidade (EPSTEIN, 2008) e a partir das observações realizadas, permite fazer comentários sobre os aspectos teóricos dos fenômenos estudados.

A teoria do desenvolvimento desigual, a produção da cidade sob o capitalismo (HARVEY, 1978; WALKER, 1978) e o agravamento das desigualdades nas cidades (DAVIS, 2006a) foram representados pelo crescimento urbano baseado na medida de acessibilidade ponderada em conjunto com a apropriação desigual da urbanização realizada pelos Agentes. Estes padrões de ocupação desigual produzidos deram lugar, igualmente, a conflitos entre os Agentes, representando as disputas pela forma urbana. As dinâmicas propostas puderam, de forma semelhante, ampliar o contraste entre os modos de ocupação da cidade, destacando as desigualdades que em abordagens agregadas seriam diluídas nos comportamentos homogêneos modelados.

Complementarmente, a diferença entre os Agentes nos submodelos de Tomada de Decisão, Alocação e Competição trouxe aproximação à economia urbana heterodoxa

(ABRAMO, 2007), permitindo a representação de cenários em que atores urbanos tenham capacidades variadas, incluindo diferenças no seu conhecimento do sistema, racionalidade e tolerância à diferença. Aspectos dos mercados formal e informal puderam ser simulados, por exemplo, através das Oportunidades variadas para os Agentes, considerando áreas próximas às infraestruturas e no entorno das linhas de drenagem, no Cenário Exploratório 2.

Complementarmente, a interação entre pobreza, forma urbana e ambiente natural (ALBERTI et al., 2003; OJIMA; HOGAN, 2009) também foi abordada neste cenário. A apropriação realizada pela Classe Baixa sobre as áreas de várzea pode ser vista como um esforço desta Classe em superar as barreiras do mercado que a leva a acessar áreas de urbanização com características ambientais menos propícias à ocupação, mas que não estejam plenamente inseridas no mercado. Neste sentido, a inovação que a Classe realiza em relação ao mercado imobiliário ocorre em detrimento de normas que regulamentam a urbanização formal e potencialmente resultam em impactos ambientais elevados. Estas famílias, também estão expostas à vulnerabilidades oriundas da qualidade locacional de sua escolha, o que estabelece um paradoxo nas oportunidades que constituíram para acessar a cidade. Esta contradição suscita crítica aos mecanismos de mercado que orientam o acesso da terra por populações mais pobres à para-formalidade. A contradição também constitui exemplo da expropriação conforme definida por Harvey (2006), uma vez que os custos ambientais da urbanização são externalizados pelas classes mais altas para as mais baixas, tanto pela concentração de infraestruturas de adaptação, quanto pela apropriação desigual das classes mais altas das qualidades ambientais das áreas urbanas, relegando as classes baixas às áreas menos adequadas.

O submodelo de Competição buscou explicitar o papel de processos de disputa pelos benefícios da urbanização na ocupação da forma urbana. O modelo permitiu experimentação a respeito das relações de poder na cidade ao colocar a variável da copresença (TIMMERMANS; GOLLEDGE, 1990; CAMPOS-CASTILLO; HITLIN, 2013) na definição das localizações dos Agentes. Nos experimentos realizados, as disputas decorrentes puderam ser encaradas como exemplares do exercício de poder das classes sociais sobre a cidade, nos quais a sua localização é expressão e instrumento deste poder de que dispõem (LAGO, 2011), integrando o direito à cidade a experimentos de competição (AXELROD, 1997). A modelagem destes fenômenos parece ser importante ao relacionar a pesquisa a tema relevante à literatura na América Latina (GILBERT, 1987; UN-HABITAT, 2012a) e Brasil (RIBEIRO; LAGO, 1991; LAGO, 2011; RIBEIRO, 2011).

Percebe-se que a ocupação das periferias foi modelada segundo mecanismos de busca de oportunidades semelhantes aos presentes em modelos de alocação residencial (BENENSON; OMER, 2001; VINCENT, 2009), mas que oferecem abordagem distinta, focada

no vínculo de agentes aos atributos ambientais e ao processo de competição. Os experimentos representaram dinâmicas de tomada de decisão de forma desagregada, incluindo características específicas de Classes e Agentes, representando grupos socioeconômicos e famílias. Seria possível avançar nestes temas, incluindo outras capacidades como a memória para os Agentes. Além disto, os mecanismos de escolha locacional não permitiram a representação de ocupação menos concentradas, dificultando a simulação de processos de ocupação dispersa das periferias. De toda forma, indica-se que é possível, a partir das críticas realizadas e dos experimentos, avançar no desenvolvimento de sistemas de tomada de decisão calcados em bases geográficas e sociais de forma associada. A estes exercícios pode ser atribuída ensaio de inserção, mesmo que de modo incipiente, de modelo de crescimento urbano junto a uma importante tradição da modelagem social (TIMMERMANS; GOLLEDGE, 1990; EPSTEIN, 1999).

5.3 ASPECTOS EMPÍRICOS

O modelo permitiu a elaboração de observações sobre a realidade das cidades a partir dos seus resultados. As saídas do modelo mostraram um padrão emergente de disputa pela cidade nos cenários em que vários Agentes buscam se localizar nas mesmas áreas. Em uma sociedade dividida como a brasileira, marcada por relações assimétricas de poder, na qual o acesso à terra urbanizada é central para a inclusão socioterritorial (BÓGUS; TASCHNER, 1999; LAGO, 2011), pode-se argumentar que o conflito sinaliza apenas não um mal a ser combatido diretamente, com atenção aos seus sintomas. Ao contrário, o conflito sinaliza que há interação social nas dinâmicas de localização espacial das classes sociais que ocorrem sob bases desiguais.

A disputa por localização e mesmo a violência decorrente se apresentam como sinais mais claros de uma desigualdade elementar da cidade capitalista, que de outra forma se apresenta de forma subterrânea na limitação das escolhas locacionais, na segregação socioespacial e, em última análise, no cerceamento da liberdade dos grupos sociais inseridos em piores condições no mercado. De forma mais ampla, pode-se considerar que em cidades regidas pela forma-mercadoria – nas quais a produção do espaço se dá sob o capitalismo, seja nos mercados formal ou informal (HARVEY, 1978; LOGAN; MOLOTCH, 1993; ABRAMO, 2007) – o conflito é mais um dos patamares de mediação pelo controle do espaço, que pode ser antecedido por formas de convivência compartilhada, assim como pode ser seguido pela segregação e cisão socioespacial.

Neste contexto, a disputa atua como explicitação das tensões sociais subjacentes, próprias da assimetria na apropriação dos bens urbanos, assim como de seus benefícios. De forma sistêmica, pode-se argumentar que o conflito sobre a forma urbana se relaciona

intimamente com a expropriação (HARVEY, 2006) e mecanismos produtores de segregação socioespacial (BENENSON, 2004; FEITOSA et al., 2012). Estas formas de produção do espaço (ou de sua recontextualização) buscam maximizar a captura de benefícios para seus promotores enquanto externalizam os custos e impactos (diretos e indiretos) decorrentes. A relação com o conflito se estabelece uma vez que o acesso à cidade passa a ser mediado exclusivamente pelo mercado, com oportunidades desiguais e condições assimétricas de controle do espaço que impossibilitam estratégias de mediação não-conflitivas. Uma vez que o mercado se torna o espaço central de mediação, o conflito passa a ser parte fundamental para a inserção de atores economicamente vulneráveis⁸³.

Assim semelhante ao argumento de que a informalidade e as áreas de pobreza são partes fundamentais do processo capitalista de urbanização das cidades do terceiro mundo (BARROS, 2012), estes experimentos parecem sugerir que o conflito também é, sendo que sua existência indica interação social aumentada.

Por outro lado, os experimentos permitiram observar que é possível evitar conflitos aumentando a segregação social. Assim a especialização da urbanização para certos grupos sociais pode criar condições específicas de segmentação do espaço, vinculando a ocupação de parcelas do território a certas classes socioeconômicas de forma exclusiva, implantando a segregação como forma de evitar o contato entre as classes e consequentemente o conflito. Nesta linha, pode-se argumentar que o conflito tem sido evitado pelas classes de renda mais alta a partir de mecanismos de afastamento social como muros, o emprego de aparelhos e pessoal de segurança, assim como pela busca de localizações exclusivas (CALDEIRA, 1997; JANOSCHKA, 2004).

No entanto, os desdobramentos deste tipo de espacialidade são tidos como negativos, especialmente, quando ocorre em larga escala (VILLAÇA, 2013), mas também na escala intraurbana (SABATINI et al., 2001; VILLAÇA, 2011; FEITOSA et al., 2012), assim como sobre outras dimensões sociais, como o trabalho (LAGO, 2011), a socialização e a mobilidade socioeconômica (SPOSATI, 1998). A segregação tem sido vinculada à diminuição da mobilidade social pela limitação das oportunidades sociais e econômicas, ao aumento da discriminação social e racial, à maior exposição à violência e à diminuição da auto-estima (FEITOSA, 2005).

A busca ativa pela exclusividade, portanto, é descrita como ocasionada por ações independentes e que necessariamente não buscam os efeitos negativos da segregação, mas a

⁸³ É importante esclarecer que a definição de conflito aqui empregada pode tratar tanto daquele tipo de manifestação em que massas de *sans-culottes* saem as ruas para reivindicar direitos ou derrubar regimes, quanto o uso do aparelho do Estado para a defesa da propriedade privada ou dos interesses de agentes próximos às estruturas do poder, como relatam Logan e Molotch (1993).

promovem ativamente⁸⁴. Além disso, a segregação aparenta adicionar condição pacificada de convivência entre classes socioeconômicas diferentes que, pela ausência da convivência direta, deixam de entrar em conflito, ou ao menos protelam as relações conflitivas para além do convívio diário.

Resta questionar se os conflitos são realmente dirimidos pela segregação ou acabam acumulando-se para ocorrer em eventos mais drásticos. Uma hipótese de pesquisa futura é a de que as classes em conflito potencial promovam a segregação na tentativa de retardar o conflito, acumulando a negociação sobre o controle da cidade. Apresenta, portanto, possível investigação do conflito como um fenômeno complexo em que a agregação das relações conflitivas tenha consequências potencialmente maiores do que se resolvidas em escala menor ou em maior frequência, acumulando “conflito em potencial”, como no modelo *sandpile de Haken* e Portugali (1995). Pode-se sugerir, nesta hipótese, que existam mudanças de fase bastante imprevisíveis nas relações de conflito, a partir do acúmulo não-mediado da segregação em pequena escala.

Ainda sobre os aspectos empíricos, nota-se que é necessário qualificar as bases para atribuição dos parâmetros do modelo. A realização de pesquisas de campo, entrevistas, dinâmicas de grupo e o emprego de outros métodos indicados para a obtenção de parâmetros para modelos empíricos (SMAJGL; BARRETEAU, 2014) não estiveram ao alcance desta pesquisa e devem ser realizados de forma a validar os seus procedimentos e métodos.

5.4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

O modelo foi composto na plataforma CityCell (SARAIVA; POLIDORI, 2013) e implementou uma série de ampliações das capacidades dos modelos já desenvolvidos. O destaque fica pela inclusão das entidades dos Agentes, que representam explicitamente as entidades sociais nos modelos, em contraste com sua representação implícita nos modelos de centralidade (POLIDORI, 2004) e acessibilidade (SARAIVA, 2013). Nestes últimos, a sociedade está imbricada nos processos de interação entre parcelas da forma construída, sendo percebida através do seu reflexo na urbanização. No caso do modelo apresentado nesta pesquisa, as entidades são descritas a partir de conjunto de parâmetros novos e específicos para seu comportamento. Baseado na medida de Acessibilidade de Saraiva (2013), o modelo traz a tona, a partir da medida, ações específicas dos atores sociais na forma da ocupação da forma urbana e da competição com outros atores sociais modelados,

A inclusão dos Agentes criou também duas novas esferas de relacionamento entre as entidades modeladas (PATEL et al., 2012). Nos modelos anteriores, as relações davam-se

⁸⁴ Como demonstram ainda nos anos 1970 os experimentos de Schelling (1971).

entre parcelas do ambiente, a partir da inserção das entidades sociais na forma de Agentes, passa-se a contar com relações dos Agentes com o ambiente, assim como relações exclusivamente entre os Agentes. No caso da distribuição populacional, os Agentes seguem a configuração da forma urbana e dos demais atributos e acabam influenciados pelo conflito (formando um “vetor” de causalidade ambiente – agente); já no caso dos padrões dos atributos, a sua determinação ocorre no sentido inverso, uma vez que as células do tipo urbano têm sua composição de atributos determinada pelos Agentes que as ocupam (causalidade agente-ambiente). Uma limitação se impõe a estas vinculações uma vez que a nova composição de atributos não informa o modelo de Acessibilidade nas iterações seguintes, que segue suas dinâmicas exclusivamente a partir da influência do Tipo Celular. A superação desta limitação aponta potenciais de desenvolvimento bastante grandes para o modelo, que poderia apresentar propriedades de simulação de uso do solo em desenvolvimentos futuros.

Para a inclusão destas entidades, foi necessário desenvolver método de micro-especificação (EPSTEIN, 1999) para determinar, a partir das classes conhecidas através de dados empíricos, os parâmetros que controlariam suas ações no modelo. Esta rotina estocástica pode, futuramente, ser adaptada para a geração de outros tipos de detalhamento artificial de entidades, assim como pode ser complementada por métodos estatísticos e analíticos que estiveram ausentes destes exercícios, mas que seriam importantes para qualificar a parametrização do modelo, especialmente aqueles mencionados por Smajgl e Barreteu (2014) na sua Estrutura de Caracterização e Parametrização.

Quanto à implementação do modelo, verifica-se a influência das decisões individuais nos padrões de ocupação do solo, inclusive aqueles associados à pobreza. Nota-se que a micro-especificação dos Agentes produz diferenciação dos Agentes para suas Classes, resultando na variação dos parâmetros destas e em composições de Agentes variadas à cada execução do modelo. Os processos estocásticos decorrentes do método aleatório de especificação das propriedades dos Agentes se mostraram muito desafiadores na etapa de desenvolvimento do modelo e provaram ser o aspecto mais difícil da sua composição. Conforme apontado pela literatura (BATTY et al., 2007), a definição do grau de abstração e da escala de desagregação foram alguns dos aspectos que dificultaram não só a definição conceitual do modelo, mas também seu desenvolvimento em compatibilidade com as predefinições existentes na plataforma⁸⁵. Este seria um dos principais pontos a avaliar nas continuidades de aplicação deste modelo, buscando manter coerência com a plataforma, mas

⁸⁵ A rotina de alocação estocástica da População Acrescida, por exemplo, foi desenvolvida devido ao excesso de erro provocado por arredondamentos para números inteiros em grupos populacionais pequenos, para os quais não ocorreria o crescimento baseado apenas na população de cada célula.

agregando capacidades de simulação baseada em indivíduos que já considerem a obtenção de dados e parametrizações possíveis.

Sobre os componentes do modelo, destaca-se que o Submodelo de Crescimento Urbano foi sensível aos seus ajustes, reagindo a modificações na máscara de Impedância Local, assim como aos parâmetros e Atributos incluídos. O Submodelo de Crescimento dos Agentes também se mostrou efetivo, realizando o crescimento das suas populações. Deve-se notar, no entanto, que as taxas de crescimento dos Agentes (tanto intermediárias quanto finais às simulações) apresentaram variação excessiva, o que pode ser atribuído ao processo estocástico de alocação populacional que parece merecer ajustes.

O Submodelo de Competição foi sensível tanto aos parâmetros de Copresença, quanto à população de Classes diferentes em uma dada célula. O submodelo produziu competição e deslocamento para os Agentes expulsos e estes conflitos foram realizados tanto com influência dos Parâmetros de Poder, quanto exclusivamente em relação à população das Classes em conflito. No entanto, notou-se a possibilidade de desenvolvimento de um mecanismo de memória ou mesmo de antecipação à competição que orientasse os Agentes a não buscar as mesmas células das quais já foram expulsos ou que se antecipassem e adequassem suas decisões.

O modelo de Tomada de Decisão também se mostrou efetivo, com movimentação intensa dos Agentes em direção às suas oportunidades. As mudanças, no entanto, tenderam a ser realizadas logo nas primeiras iterações, restando para o submodelo de Competição realizar movimentação dos Agentes nas iterações intermediárias a finais. O modelo se mostrou sensível às alterações nos parâmetros dos Agentes, de forma que a caracterização diferenciada destes resultou em padrões ajustados de Oportunidades que, por sua vez, ocasionaram a ocupação de grupo específico de células do Ambiente. Nota-se, entretanto, que o padrão de concentração tendeu a ser mais intenso do que o observado nos *inputs*, o que limita as simulações possíveis e indica necessidade de melhorias no modelo para desenvolvimento futuro.

Adicionalmente, percebeu-se sensibilidade na Alocação dos Agentes conforme os comportamentos de crescimento, competição e dissonância que apresentaram resultados diferentes para os cenários produzidos. A Alocação de Atributos não foi o foco destes exercícios e deverá ser explorada em investigações futuras. Pode-se observar, no entanto, que a Alocação tende a reforçar as Oportunidades de um determinado local, intensificando a presença de Agentes que têm as oportunidades adequadas – o que não se verifica em casos da realidade.

Ainda sobre a implementação do modelo, observa-se que a validação dos resultados dos experimentos ocorreu por métodos de análise de sensibilidade que foram considerados

suficientes para os objetivos do exercício. No entanto, se houver interesse em obter maior robustez dos resultados ou mesmo se for interessante elaborar generalizações a partir das dinâmicas modeladas, a validação deve ser ampliada de forma a incluir capacidades descritivas aos resultados do modelo, especialmente através da verificação dos seus resultados com índices espaciais de distribuição espacial.

Como apontado na literatura (COUCLELIS, 2001; NGO; SEE, 2012; O'SULLIVAN et al., 2012), a construção do modelo apresentado também sofreu com problemas com a disponibilidade de dados, limitando as dinâmicas e condicionando os comportamentos modelados. Deste modo, a possibilidade de obter informações para embasar os comportamentos dos Agentes e seus atributos, assim como realizar sua verificação foram condicionantes muito importantes para a construção do modelo. Sentiu-se necessidade de dados históricos sobre as o caso modelado que fornecessem detalhe suficiente para a desagregação dos perfis socioeconômicos, o que não foi obtido. A vinculação destes perfis com os Atributos do Ambiente também apresentou-se difícil de verificar e acredita-se que seria interessante realizar experimentos empíricos e pesquisas de campo de forma a embasar a realização de simulações posteriores.

Para avançar nas simulações de processos sociais, portanto, parece ser fundamental aproximar-se dos fenômenos modelados, realizando pesquisas prévias a modelagem de forma a qualificar os dados de entrada e fornecer balizas para os resultados (SMAJGL; BARRETEAU, 2014). No modelo desenvolvido, no entanto, uma vez que a abordagem não era descritiva da realidade, mas exploratória ante aos fenômenos percebidos, estas demandas são parcialmente contornadas e os meios de desagregação dos dados desenvolvidos para estes exercícios apresentaram alternativas para a obtenção de dados na escala de desagregação estabelecida. Fica claro, portanto, que a implementação de ABM, como em outros tipos de modelagem, deve sempre orientar-se pelos objetivos delineados para a pesquisa, apoiando-se na modelagem para realizar a investigação junto a realidade de forma crítica. Deste modo, o passo principal a observar na composição do modelo é a orientação inicial do modelo com a definição de seus objetivos e finalidades, para então reconhecer a limitação de conhecimento e escolher as dinâmicas mais adequadas, com escala de desagregação ajustada aos fenômenos investigados.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de modelo, conjugando elementos de AC na plataforma CityCell e técnicas de ABM se mostrou uma composição laboriosa, mas com bons resultados para abordar o tema da pobreza nos processos de crescimento urbano. A desagregação das

entidades populacionais se provou o fator mais difícil de implementar, sugerindo desafio comum a outros modelos de ABM (BATTY et al., 2007; O'SULLIVAN et al., 2012) e reforçando a necessidade de avaliar a adequação do uso de ABM para os problemas que se deseja simular.

Os resultados alcançados apontam para convergência entre os experimentos realizados e observações feitas pela literatura referente à pobreza e formação de periferias (BARROS, 2012), especialmente no que se refere à ocupação das cidades. Neste contexto, a pesquisa buscou contribuir ao trazer a modelagem do conflito social e das disputas pela urbanização, avaliando cenários hipotéticos que permitiram explorar relações de poder e cooperação em ambiente dinâmico de oportunidades variadas para os agentes urbanos.

Neste sentido, também busca relacionar-se complementarmente a modelos de simulação de interação espacial, especialmente aqueles baseados na plataforma CityCell (SARAIVA; POLIDORI, 2013). As observações feitas sobre a inclusão da capacidade de “agenciamento” (BENENSON, 2004) para entidades sociais explícitas, no entanto, podem ser aplicadas a diversos modelos do tipo, buscando contribuir para a descrição natural e pormenorizada dos processos sociais nos modelos urbanos, que parece ser central para sua aplicação aos problemas contemporâneos (BATTY et al., 2012).

O modelo, portanto, parece apresentar desenvolvimento relevante aos seus objetivos e aos fenômenos em estudo. Suas limitações apresentam oportunidades para evolução futura de sua implementação, restringem em parte os resultados, mas não parecem invalidar as observações realizadas. Percebe-se que esta pesquisa tratou de abrir possibilidades de modo exploratório e tentativo ao invés de buscar a simplificação em torno de abordagem mais específica ou contida a aspectos mais próximos dos modelos conhecidos. Espera-se que este potencial de desenvolvimento seja maior que suas eventuais falhas de forma a contribuir para as pesquisas na área.

REFERÊNCIAS

- ABDOU, M.; HAMILL, L.; GILBERT, N. Designing and Building an Agent-Based Model. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. . Dordrecht: Springer, 2012. p.141–165.
- ABRAMO, P. **A Cidade Caleidoscópica**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand, 2001.
- ABRAMO, P. A Cidade Com-Fusa: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Recife, v. 9, n. 2, p. 25–53, 2007.
- ABRAMO, P. Compro uma casa na favela: mercado Informal, a nova porta de entrada dos pobres nas grandes cidades brasileiras. In: ENANPUR, 13., Florianópolis, 2009. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2009.
- ALAM, S. J.; GELLER, A. Networks in Agent-Based Social Simulation. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; M. Batty (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p.199–216.
- ALBERTI, M.; MARZLUFF, J. M.; SHULENBERGER, E. et al. Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. **BioScience**, Uberlândia, v. 53, n. 12, p. 1169–1179, 2003.
- ALLEN, P. M. **Cities and Regions as Self-organizing Systems** : models of complexity. London: Routledge, 1997.
- ALONSO, W. **Location and Land Use**: toward a general theory of land rest. Cambridge: Cambridge University Press, 1964.
- ALVES, J. E. D.; CAVENAGHI, S.; Tendências demográficas, dos domicílios e das famílias no Brasil. Rio de Janeiro, 2012.
- AN, L. Modeling human decisions in coupled human and natural systems: review of agent-based models. **Ecological Modelling**, v. 229, p. 25–36, 2012.
- ANAS, A. Dynamics of urban residential growth. **Journal of Urban Economics**, v. 5, n. 1, p. 66–87, 1978.
- ARAGÃO, L. R.; POLIDORI, M. C. **Simulação de Crescimento Urbano**: as bordas da cidade. Disponível em: <<http://prezi.com/04anttiwd-tn/simulacao-de-crescimento-urbano-e-bordas-da-cidade-exclusao-e-concentracao-simultaneas/>>. Acesso em: 31 dez. 2012.
- ARENTZE, T. A.; BORGERS, A. W. J.; TIMMERMANS, H. J. P. Multistop-based measurements of accessibility in a GTS environment. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 8, n. 4, p. 343–356, 1994.
- ASCHER, F. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010.
- ASHBY, W. R. **An introduction to cybernetics**. New York: John Wiley, 1956.
- AXELROD, R. M. The complexity of cooperation: agent-based models of competition and collaboration. Princeton: Princeton University Press, 1997.
- AXELROD, R. M. **The Evolution of cooperation**. New York: Basic Books, 2006.

BANDEIRA, M. D.; ZUANAZZI, P. T.; AGRANONIK, M.; SOUZA, V. R. E. Uma análise de fluxo migratório no Rio Grande do Sul e suas mesorregiões. **Indicadores Economicos FEE**, Porto Alegre, v. 41, n. 4, p. 115–134, 2014.

BARROS, J. X. Simulating urban dynamics in Latin American cities. In: International Conference on Geocomputation, 7., Southampton, 2003. **Anais...** Southampton: University of Southampton, 2003. P. 11.

BARROS, J. X. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p.561–579.

BARROS, J. X.; SOBREIRA, F. J. A. City of Slums: self-organisation across scales. **CASA Working Papers**, London, v. 55, p. 0–11, 2002.

BATTY, M. **Urban Modelling**: Algorithms, Calibrations, Predictions. London: Cambridge University Press, 1976.

BATTY, M. Cellular automata and urban form: a primer. **Journal of the American Planning Association**, Florida, v. 63, n. 2, p. 266–274, 1997.

BATTY, M. **Cities and Complexity**: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals. Cambridge: MIT Press, 2005.

BATTY, M. Model Cities. **CASA Working Papers**, London, v. 113, p. 0–38, 2007a.

BATTY, M. Complexity in city systems: understanding, evolution, and design. **CASA Working Papers**, London, v. 44, n. 0, p. 0–35, 2007b.

BATTY, M. Cities as Complex Systems: Scaling, Interaction, Networks, Dynamics and Urban Morphologies. In: MEYERS, R. A. (Ed.). **Encyclopedia of Complexity and Systems Science**. Dordrecht: Springer, 2009. P.1041-1071..

BATTY, M. A Generic Framework for Computational Spatial Modelling Antecedents: the origins of spatial models. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**.. Dordrecht: Springer, 2012a. p.19-20.

BATTY, M. **Building a science of cities**. Cambridge, MA: MIT Press, 2014.

BATTY, M.; COUCLELIS, H.; EICHEN, M. Urban Systems as Cellular Automata. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, v. 24, n. 2, p. 159–164, 1997. Pion Ltd.

BATTY, M.; CROOKS, A. T.; CASTLE, C. J. E. Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation. **CASA Working Papers**, London, v. 121, 2007.

BATTY, M.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; HEPPENSTALL, A. J. Perspectives on Agent-based Models and Geographical Systems: a little bit of history. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**.. Dordrecht: Springer, 2012. p.1–15.

BENENSON, I. Agent-Based Modeling: from individual residential choice to urban residential dynamics. In: M. F. Goodchild; D. G. Janelle (Eds.); **Spatially Integrated Social Science: Examples in Best Practice**. p.67–95, 2004. Oxford: Oxford University Press.

BENENSON, I.; OMER, I. **Agent-Based Modeling of Residential Distribution**. Tel-Aviv: Department of Geography and Human Environment, University Tel Aviv, 2001.

BENENSON, I.; TORRENS, P. M. **Geosimulation**: automata-based modeling of urban phenomena. London: John Wiley, 2004.

BERNARD, R. N. Using Adaptive Agent-Based Simulation Models to Assist Planners in Policy Development: The Case of Rent Control. **Santa Fe Institute Working Papers**, Santa Fe, v. 07, n. 52, p. 18, 1999.

BERUBE, A.; KNEEBONE, E. Two Steps Back: city and suburban poverty trends 1999–2005. **Living Cities Census Series**, Washington, DC: Brookings Institution Press, 2006. p.1–24.

BETTENCOURT, L. M. A. The Origins of Scaling in Cities. **Science**, Washington, D. C., v. 340, n. 6139, p. 1438–41, 2013. New York.

BIRKIN, M.; WU, B. A Review of Microsimulation and Hybrid Agent-Based Approaches. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, . M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 51-68.

BLANCO, H.; ALBERTI, M.; FORSYTH, A.; et al. Hot, congested, crowded and diverse: Emerging research agendas in planning. **Progress in Planning**, v. 71, n. 4, p. 153–205, 2009.

BLANCO, H.; ALBERTI, M.; OLSHANSKY, R.; et al. Shaken, shrinking, hot, impoverished and informal: Emerging research agendas in planning. **Progress in Planning**, v. 72, n. 4, p. 195–250, 2009. Seattle.

BÓGUS, L. M. M.; TASCHNER, S. P. São Paulo: velhas desigualdades, novas configurações espaciais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 1, p. 153–174, 1999. Rio de Janeiro.

BÓGUS, L. M. M.; TASCHNER, S. P. São Paulo: o caleidoscópio urbano. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 31–44, 2001.

BONABEAU, E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, n. Suppl 3, p. 7280–7287, 2002.

BORSODORF, A.; HIDALGO, R.; SÁNCHEZ, R. A new model of urban development in Latin America: The gated communities and fenced cities in the metropolitan areas of Santiago de Chile and Valparaíso. **Cities**, v. 24, n. 5, p. 365–378, 2007.

BROOKS, R. A.; MAES, P. Artificial life IV. Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems. **Anais...**, 1994. Cambridge, MA: MIT Press.

BUZAI, G. D. **Geografia Global**: El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del mundo del siglo XXI. Buenos Aires: Lugar Editorial, 1999.

BUZAI, G. D. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica: Aspectos Conceptuales y Aplicaciones**. Luján, 2010.

CALDEIRA, T. P. DO R. Enclaves Fortificados: a nova segregação urbana. **Novos Estudos CEBRAP**, p. 155–176, 1997.

CAMPOS-CASTILLO, C.; HITLIN, S. Copresence: Revisiting a Building Block for Social Interaction Theories. **Sociological Theory**, v. 31, n. 2, p. 168–192, 2013.

CASTLE, C. J. E.; CROOKS, A. T. Principles and Concepts of Agent-Based Modelling for Developing Geospatial simulation. **CASA Working Papers**, v. 110, 2006. London.

CHIN, N. Unearthing the roots of urban sprawl: a critical analysis of form, function and methodology. **CASA Working Papers**, v. 47, p. 0–25, 2002. London.

CHRISTALLER, W. **Central places in southern Germany**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1966.

COHEN, B. Urban Growth in Developing Countries: A Review of Current Trends and a Caution Regarding Existing Forecasts. **World Development**, v. 32, n. 1, p. 23–51, 2004. London.

COHEN, B. Urban Growth in Developing Countries: a review of current trends and a caution regarding existing forecasts. **World Development**, v. 32, n. 1, p. 23–51, 2004. London.

COUCLELIS, H. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, v. 24, n. 2, p. 165–174, 1997.

COUCLELIS, H. Why I no Longer Work with Agents. In: Special Workshop on Agent-Based Models of Land-Use, Land-Cover Change, CSISS, Irvine. **Anais...** Louvain-la-neuve: LUCC International Project Office, 2001. p.3–5.

CROOKS, A. T. The REPAST Simulation/Modelling System for Geospatial Simulation. **CASA Working Papers**, London, v. 110, 2007.

CROOKS, A. T. **GIS and Agent Based Modelling**. 2013. Disponível em: <<http://www.gisagents.org/p/research.html>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

CROOKS, A. T.; CASTLE, C. J. E. The Integration of Agent-Based Modelling and Geographical Information for Geospatial Simulation. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, . M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 219-250.

CROOKS, A. T.; HEPPENSTALL, A. J. Introduction to Agent-Based Modelling, In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, . M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 85-105..

CROOKS, A. T.; WISE, S. GIS and Agent-based Models for Humanitarian Assistance. **Computers, Environment and Urban Systems**, London, v. 41, p. 100–111, 2013.

DAVIS, M. **Planeta favela**. São Paulo: Boitempo Ed., 2006a.

DAVIS, M. **City of Quartz**: Excavating the future in Los Angeles. London: Verso, 2006b.

ECHENIQUE, M. Entender la ciudad. **Revista EURE**, Santiago de Chile, v. 21, p. 9–23, 1995.

ECHENIQUE, M. H.; HARGREAVES, A. J.; MITCHELL, G.; NAMDEO, A. Growing Cities Sustainably. **Journal of the American Planning Association**, Florida, v. 78, n. 2, p. 121–137, 2012. Routledge.

EPSTEIN, J. M. Agent-based Computational Models and Generative Social Science. **Complexity**, Malden, Ma., v. 4, n. 5, p. 41–60, 1999.

EPSTEIN, J. M. Remarks on the Foundations of Agent-based Generative Social Science. **Santa Fe Institute Working Papers**, Santa Fe, v. 06, n. 02, p. 1–22, 2005.

EPSTEIN, J. M. Why Model? **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v. 11, n. 4, 2008.

EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing Artificial Societies: Social Science from the bottom up**. Washington, DC: Brookings Institution Press, 1996.

EVANS, A. Uncertainty and Error. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p.309–346.

FALCÃO, T.; COSTA, P. V. DA. Linha de Extrema Pobreza e o Público-Alvo do Plano Brasil Sem Miséria. In: CAMPELLO, T.; FALCÃO, T.; COSTA, P. V. da (Eds.); **O Brasil Sem Miséria**. Brasília, DF: Ministério Do Desenvolvimento Social, 2014. p.1–28.

FAORO, R. A Questão Nacional: a modernização. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 6, n. 14, p. 7–22, 1992.

FEITOSA, F. F. Índices Espaciais para Mensurar Segregação Residencial: o caso de São José dos Campos (SP). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

FEITOSA, F. F. **Urban Segregation as a Complex System: an agent-based simulation approach**. Bonn: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2010.

FEITOSA, F. F.; LE, Q. B.; VLEK, P. L. G. Multi-agent Simulator for Urban Segregation (MASUS): a tool to explore alternatives for promoting inclusive cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, Berlin, v. 35, n. 2, p. 104–115, 2011.

FEITOSA, F. F.; LEE, Q. B.; VLEK, P. L. G.; et al. Countering Urban Segregation in Brazilian Cities: policy-oriented explorations using agent-based simulation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, v. 39, n. 6, p. 1131–1150, 2012.

FERREIRA, Á. Favelas no Rio de Janeiro: nascimento, expansão, remoção e, agora, exclusão através de muros. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 14, n. 828, p. 1–13, 2009.

FUJITA, M.; THISSE, J.-F. New Economic Geography: An appraisal on the occasion of Paul Krugman's 2008 Nobel Prize in Economic Sciences. **Regional Science and Urban Economics**, London, v. 39, n. 2, p. 109–119, 2009.

GASSER, L.; HUNS, M. N. **Distributed Artificial Intelligence**. San Mateo: Morgan Kaufman, 1989.

GHORBANI, A.; BOTS, P.; DIGNUM, V.; DIJKEMA, G. MAIA: a Framework for Developing Agent-Based Social Simulations. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v. 16, n. 2, p. 9, 2013.

GIBSON, K. D.; HORVATH, R. J. Global Capital and the Restructuring Crisis in Australian Manufacturing. **Economic Geography**, Hoboken, NJ, v. 59, n. 2, p. 178–194, 1983.

GILBERT, A. Urban Growth, Employment and Housing. In: PRESTON, D. A. (Ed.). **Latin American Development: geographical perspectives**. Harlow, Essex: Longman, 1987.

GOLLEDGE, R. G.; TIMMERMANS, H. Applications of Behavioural Research on Spatial Problems I: cognition. **Progress in Human Geography**, London, v. 14, n. 1, p. 57–99, 1990.

GRIMM, V. Ten Years of Individual-based Modelling in Ecology: what have we learned and what could we learn in the future? **Ecological Modelling**, Berlin, v. 115, n. 2-3, p. 129–148, 1999.

GRIMM, V.; BERGER, U.; BASTIANSEN, F.; et al. A Standard Protocol for Describing Individual-based and Agent-based Models. **Ecological Modelling**, Berlin, v. 198, n. 1–2, p. 115–126, 2006.

GRIMM, V.; BERGER, U.; DEANGELIS, D. L.; et al. The ODD Protocol: A review and first update. **Ecological Modelling**, Berlin, v. 221, n. 23, p. 2760–2768, 2010.

GUTOWITZ, H. **Cellular Automata: theory and experiment**. Cambridge, Ma: MIT Press, 1991.

HAEFNER, T.; CRIST, J. Spatial Model of Movement and Foraging in Harvester Ants (*Pogonomyrmex*) (I): the roles of memory and communication. **Journal of Theoretical Biology**, Watham, Ma., v. 166, n. 3, p. 299–313, 1994.

HAGEN, A. Fuzzy Set Approach to Assessing Similarity of Categorical Maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235–249, 2003. Taylor & Francis.

HAKEN, H.; PORTUGALI, J. A synergetic approach to the self-organization of cities and settlements. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, v. 22, n. 1, p. 35–46, 1995.

HAMILL, L. Agent-Based Modelling: The Next 15 Years. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v. 13, n. 4, p. 7, 2010.

HARVEY, D. The urban process under capitalism: a framework for analysis. **International Journal of Urban and Regional Research**, London, v. 2, n. 1-4, p. 101–131, 1978.

HARVEY, D. **The Urban Experience**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1989.

HARVEY, D. **Spaces of Global Capitalism**. London: Verso, 2006.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Centro de Ecologia, 2010.

HEATH, B.; HILL, R.; CIARALLO, F. A Survey of Agent-Based Modeling Practices (January 1998 to July 2008). **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v. 12, n. January 1998, 2009.

HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, . M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**.. Dordrecht: Springer, 2012.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The Social Logic of Space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

HORGAN, J. From complexity to perplexity. **Scientific American**, New York, v. 272, n. 6, p. 104–109, 1995. New York: Munn \& Co.

IBGE. **Censo Demográfico 2000**: dados do universo agregados por setores. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**: dados do universo agregados por setores. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011a.

IBGE. **Censo Demográfico 2010: resultados preliminares do universo**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011b.

IBGE. [Cidades@]. Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=rs>. Acesso em: 04 jan.2015.

INGRAM, D. R. The Concept of Accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**, Florence, v. 5, n. 2, p. 101–107, 1971.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **TerraME**: simulation and modelling of terrestrial systems. Disponível em: <<http://www.terrame.org>>. Acesso em: 29 jun. 2013.

JACOBS, J. The Death and Life of Great American cities. New York: Random House, 1961.

JAGUARÃO. **Lei Complementar N°07/2006**: Plano Diretor Participativo de Jaguarão. Jaguarão: Prefeitura Municipal de Jaguarão, 2006.

JANOSCHKA, M. Condomínios Fechados and Barrios Privados: the rise of private residential neighbourhoods in Latin America. In: GLASZE, G.; WEBSTER, C.; FRANTZ, K. (Eds.). **Private Neighbourhoods. Global and local perspectives**. London: Routledge, 2004.

JORDAN, R.; BIRKIN, M.; EVANS, A. Agent-Based Modelling of Residential Mobility, Housing Choice and Regeneration. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, . M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems..** Dordrecht: Springer, 2012. p.511–524.

KIM, D.; BATTY, M. Modeling Urban Growth: an agent based microeconomic approach to urban dynamics and spatial policy simulation. **CASA Working Papers**, London, v. 44, n. 155, p. 15, 2011.

KOOLHAAS, R. **La Ciudad Generica**. Barcelona: Gustavo Gilli, 1997.

KOZA, J. **Genetic Programming**: on the programming of machines by means of natural selection. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

KRAFTA, R. Spatial self-organization and the production of the city. **Cybergeo: European Journal of Geography**, Paris, p. 16, 1999.

KRAVARI, K.; BASSILIADES, N. A Survey of Agent Platforms. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v. 18, n. 1, p. 11, 2015.

LAGO, L. C. do. Trabalho e Moradia na Periferia de uma Grande Metrópole: para uma Política Urbana Economicamente Orientada. In: NATAL, J. L. A. (Ed.); **Território e Planejamento**. Rio de Janeiro: Letra Capital; IPPUR, 2011. p. 195-216.

LANGTON, C. G. Artificial Life II. In: Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems, 2., Redwood City, 1989. **Anais...** Redwood City: Addison-Wesley, 1989.

LEE, B. “Edge” or “Edgeless” Cities? Urban Spatial Structure in U.S. Metropolitan Areas, 1980 To 2000*. **Journal of Regional Science**, Sussex, v. 47, n. 3, p. 479–515, 2007.

LEE JR., D. B. Requiem for Large-scale Models. **Journal of the American Institute of Planners**, Florence, v. 39, n. 3, p. 163–178, 1973.

LEFEBVRE, H. **The Production of Space**. Oxford, UK.: Blackwell Publishing Ltd, 1991.

- LEISCH, H. Gated Communities in Indonesia. **Cities**, v. 19, n. 5, p. 341–350, 2002.
- LOGAN, J. R.; MOLOTCH, H. L. The city as a growth machine. In: Fainstein; Campbell (Eds.). **Readings in Urban Theory**. Oxford, UK.: Blackwell, 1993.
- LÖSCH, A.; WOGLOM, W. H.; STOLPER, W. F. **The Economics of Location**. New Haven: Yale University Press, 1954.
- MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modelling and simulation. **Journal of Simulation**, London, v. 4, n. 3, p. 151–162, 2010
- MARCELINO, E. V.; MARCELINO, I. P. V. DE O.; RUDORFF, F. DE M.; GOERL, R. F. Geoinformação e Desastres Naturais: o caso do furacão Catarina. **Geoinformação em Urbanismo**: cidade real x cidade virtual, São Paulo, p.210–229, 2007.
- MARZLUFF, J. M.; SHULENBERGER, E.; ALBERTI, M.; BRADLEY, G.; RYAN, C. **Urban Ecology**: an international perspective on the interaction between humans and nature. Dordrecht: Springer, 2008.
- MASSEY, D. In What Sense a Regional Problem? **Regional Studies**, Florence, v. 13, n. 2, p. 233–243, 1979.
- MNISZEWSKI, S. M.; VALLE, S. Y. DEL; STROUD, P. D.; RIESE, J. M.; SYDORIAK, S. J. EpiSimS Simulation of a Multi-component Strategy for Pandemic Influenza. In: Spring Simulation Multiconference [of the] Society for Computer Simulation International, 2008. **Proceedings ...** San Diego, Ca.: SCSI, 2008. , p.556–563.
- NEUMANN, J. von; BURKS, A. W. **Theory of Self-reproducing Automata**. Campaign-Urbana: University of Illinois Press, 1966.
- NGO, T. A.; SEE, L. Calibration and Validation of Agent-Based Models of Land Cover Change. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p.181–196.
- NOVY, A. **A Des-ordem da Periferia**: 500 anos de espaço e poder no Brasil. Petrópolis: Editora, 2002.
- NYSTUEN, J. D. Identification of some fundamental spatial concepts. **Michigan Academy of Science, Arts, and Letters**, St. Alma, Mi, v. 48, p. 373–384, 1963.
- O'SULLIVAN, D. Graph-cellular automata: a generalised discrete urban and regional model. **Environment and Planning B**, London, v. 28, n. 5, p. 687–706, 2001.
- O'SULLIVAN, D.; MILLINGTON, J.; PERRY, G.; WAINWRIGHT, J. Agent-Based Models – Because They're Worth It? In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p.109–123.
- O'SULLIVAN, D.; TORRENS, P. M. Cellular models of urban systems. **CASA Working Papers**, London, v. 22, p. 13, 2000
- OJIMA, R.; HOGAN, D. J. Mobility, Urban Sprawl and Environmental Risks in Brazilian Urban Agglomerations: challenges for urban sustainability. In: SHERBINIIN, A.; RAHMAN, A.; BARBIERI, A. ; FOTSO, J. C.; ZHU, Y. (Eds.). **Urban Population-Environment Dynamics in the Developing World**: Case Studies and Lessons Learned. Paris: Committee for International Cooperation in National Research in Demography (CICRED), 2009. p.281–316.

OJIMA, R.; MARANDOLA, E. Indicadores e Políticas Públicas de Adaptação às Mudanças Climáticas: vulnerabilidade, população e urbanização. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 18, p. 16–24, 2010.

OMER, I. Evaluating Accessibility Using House-level Data: a spatial equity perspective. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 30, n. 3, p. 254–274, 2006.

OPENSHAW, S. Ecological fallacies and the analysis of areal census data. **Environment and Planning A**, London, v. 16, p. 17–31, 1984.

PANERAI, P.; CASTEX, J.; DEPAULE, J.-C. **Formas Urbanas: a dissolução da quadra**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PATEL, A.; CROOKS, A. T.; KOIZUMI, N. Slumulation: an Agent-Based Modeling Approach to Slum Formations. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Surrey, v. 4, n. 15, 2012a.

PATEL, A.; CROOKS, A.; KOIZUMI, N. Simulating Spatio-Temporal Dynamics of Slum Formation in Ahmedabad, India. Sixth Urban Research and Knowledge Symposium. **Anais...**, 2012b. Barcelona: Urban Research and Knowledge.

PATEL, S. The Making of Global City Regions - Mumbai: the mega-city of a poor country. **The making of global city regions**: Johannesburg, Mumbai/Bombay, São Paulo and Shanghai. Baltimore: John Hopkins University Press, 2007. p.64–79.

PERES, O. M. **Crescimento Urbano e Hidrografia**: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas., 2010.

PERES, O. M.; POLIDORI, M. C. **Sistema de Informações Geográficas de Jaguarão/RS**. Pelotas: Laboratório de Urbanismo (LABURB). Universidade Federal de Pelotas, 2014.

POLIDORI, M. C. **Crescimento Urbano e Ambiente**: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade, 2004. Tese (Doutorado)- Programa de Pós Graduação em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

POLIDORI, M. C.; KRAFTA, R. Simulando Crescimento Urbano com Integração de Fatores Naturais, Urbanos e Institucionais. **Geofocus**, Madrid, v. 5, p. 156–179, 2005.

POLIDORI, M. C.; PERES, O. M.; SARAIVA, M. V. P.; TOMIELLO, F. Crescimento Urbano, Formação de Periferias e Modelagem Urbana com Autômatos Celulares. PLURIS 2010: Congresso Luso-Brasileiro Para o Planejamento Urbano e Regional, Integrado e Sustentável, 4., Faro, 2010. **Anais...** Faro: PLURIS, 2010.

POLIDORI, M. C.; PERES, O. M.; TOMIELLO, F. Efeito de Borda Urbano, Concentração, Exclusão e Irregularidade. **Projectare**: revista de arquitetura e urbanismo, Pelotas, n. 6, p. 108–120, 2014.

POLIDORI, M. C.; PERES, O. M.; TOMIELLO, F. Efeito de borda urbano, concentração, exclusão e irregularidade. **Projectare: revista de arquitetura e urbanismo**, n. 6, p. 108–120, 2014. Pelotas.

PONTIUS, R. G.; HUFFAKER, D.; DENMAN, K. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. **Ecological Modelling**, v. 179, n. 4, p. 445–461, 2004.

PORTUGALI, J. Notions Concerning the Nature of World Urbanization. **Progress in Planning**, Seattle, v. 46, n. 3, p. 145–162, 1996.

PORTUGALI, J. **Self-Organization and the City**. Berlin: Springer, 2000.

PORTUGALI, J.; BENENSON, I.; OMER, I. Sociospatial Residential Dynamics: stability and instability within a self-organizing city. **Geographical Analysis**, New York, v. 26, n. 4, p. 321–340, 1994.

PORTUGALI, J.; BENENSON, I.; OMER, I. Spatial cognitive dissonance: the urban process under capitalism. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, v. 24, p. 263–285, 1997.

PRASHAD, V. **The Poorer Nations**: a possible history of the global south. New York: Verso Books, 2013.

RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. **Agent-Based and Individual-Based Modeling**. Princeton: Princeton University Press, 2012.

REARDON, S. F.; O'SULLIVAN, D. Measure of Spatial Segregation. **Sociological Methodology**, London, v. 34, n. 650, p. 121–162, 2004.

REIS, N. G. G. Notas Sobre Urbanização Dispersa e Novas Formas de Tecido Urbano. São Paulo: Via das Artes, 2006.

RIBEIRO, L. C. D. Q.; LAGO, L. C. DO. Reestruturação nas grandes cidades brasileiras: o modelo centro/periferia em questão. Encontro Anual da ANPOCS, 15., Caxambu, 1991. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, 1991.

RIBEIRO, L. C. DE Q. Cidade, Nação e Mercado: gênese e evolução urbana no Brasil. In: NATAL, J. L. A. (Ed.). **Território e Planejamento**. Rio de Janeiro: Letra Capital; IPPUR, 2011. p.688.

RUMELHART, D. E.; MCCLELLAND, J. L. **Parallel Distributed Processing**: explorations in the microstructure of cognition. Cambridge, Ma: MIT Press, 1986. Volume 1: Foundations.

SABATINI, F.; CÁCERES, G.; CERDA, J. Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: tendencias de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción **Revista EURE**, Santiago de Chile, 2001. scielocl .

SAE. **Relatório Definição da Classe Média no Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos; Comissão para Definição da Classe Média no Brasil, 2012.

SARAIVA, M. V. P. **Simulação de Crescimento Urbano em Espaços Celulares com uma Medida de Acessibilidade**: método e estudo de caso em cidades do sul do Rio Grande do Sul. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2013.

SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C.; PERES, O. M. **CityCell**. Pelotas: Laboratório de Urbanismo (LABURB). Universidade Federal de Pelotas, 2013.

SASSEN, S. **Globalization and its Discontents**: Essays on the new mobility of people and money. New York: New Press, 1999.

SCHELLING, T. C. Dynamic models of segregation. **Journal of Mathematical Sociology**, Florence, v. 1, n. 2, p. 143–186, 1971.

SCOTT, A. J. **Global City-regions and the World System**. Oxford: Oxford University Press, 2000. p. 520.

SHOKO, M.; SMIT, J. Use of Agent Based Modelling in the Dynamics of Slum Growth. **South African Journal of Geomatics**, v. 2, n. 1, p. 54–67, 2013.

SMAJGL, A.; BARRETEAU, O. **Empirical Agent-Based Modelling** – Challenges and Solutions. Dordrecht: Springer, 2014.

SMAJGL, A.; BROWN, D. G.; VALBUENA, D.; HUIGEN, M. G. A. Empirical characterisation of agent behaviours in socio-ecological systems. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, n. 7, p. 837–844, 2011. Elsevier Ltd.

SMITH, L.; BECKMAN, R.; BAGGERLY, K. **TRANSIMS**: Transportation Analysis and Simulation System. Los Alamos: Los Alamos National Lab., 1995.

SMITH, N. Gentrification and the Rent Gap. **Annals of The Association of American Geographers**, Florence, v. 77, n. 3, p. 462–465, 1987.

SMITH, N. Uneven Development and Location Theory: towards a synthesis. In: PEET, R.; THRIFT, N. (Eds.). **New Models in Geography**, London, v. 1, p.142–163, 1989.

SOJA, E. W. The Socio-Spatial Dialectic. **Annals of the Association of American Geographers**, Florence, v. 70, n. 2, p. 207–225, 1980.

SPOSATI, A. Exclusão Social Abaixo da Linha do Equador. In: SEMINÁRIO EXCLUSÃO SOCIAL, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: PUC-SP, 1998. p.1–9.

STANILOV, K. Space in Agent-Based Models. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p.253–269.

STORPER, M.; WALKER, R. The Theory of Labour and the Theory of Location. **International Journal of Urban and Regional Research**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 1–43, 1983.

SUDHIRA, H. S. Integration of Agent-based and Cellular Automata Models for Simulating Urban Sprawl. Twente: University of Twente, 2004.

THÜNEN, J. H. VON. Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landschaft und Nationalökonomie. (English). Hamburg: Pergamon Press, 1826.

TIMMERMANS, H.; GOLLEDGE, R. G. Applications of Behavioural Research on Spatial Problems II: preference and choice. **Progress in Human Geography**, v. 14, n. 3, p. 311–354, 1990.

TOFFOLI, T.; MARGOLUS, N. **Cellular automata machines: a new environment for modeling**. Cambridge, Ma: MIT Press, 1987.

TORALLES, C. P. **Cidade e Crescimento Periférico**: modelagem e simulação da formação de periferias urbanas com autômatos celulares. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2013.

TORRENS, P. Urban Geosimulation. In: HEPPENSTALL, A. J.; CROOKS, A. T.; SEE, L. M.; BATTY, M. (Eds.). **Agent-Based Models of Geographical Systems**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 435–450.

TORRENS, P.; KEVREKIDIS, Y.; GHANEM, R.; ZOU, Y. Simple Urban Simulation Atop Complicated Models: Multi-Scale Equation-Free Computing of Sprawl Using Geographic Automata. **Entropy**, Basel, v. 15, n. 7, p. 2606–2634, 2013.

TORRENS, P. M. How Cellular Models of Urban Systems Work (1. Theory). **CASA Working Papers**, London, v. 28, p. 0–68, 2000.

TORRENS, P. M. Calibrating and Validating Cellular Automata Models of Urbanization. In: YANG, X. (Ed.). **Urban Remote Sensing: monitoring, synthesis and modeling in the urban environment**. Sussex: John Wiley, 2011. p.335-345.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Imagem de satélite LANDSAT-7/ETM+, WRS 222/83 (L71EDC1900366170201)**. Washington, DC: : U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2000.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Imagem de satélite LANDSAT-7/ETM+, WRS 222/83 (LE72220822010121EDC00)**. Washington, DC: U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2010.

UN-HABITAT. **The Challenge of Slums: global report on human settlements**. London: United Nations Human Settlements Programme, 2003.

UN-HABITAT. **State of the World's Cities 2008/2009 - Harmonious Cities**. London: United Nations Human Settlements Programme, 2008.

UN-HABITAT. **State of the World's Cities 2010/2011 - Cities for All: bridging the urban divide**. London: United Nations Human Settlements Programme, 2010.

UN-HABITAT. **State of Latin American and Caribbean Cities 2012**. Nairobi: UN-Habitat, 2012a.

UN-HABITAT. **Bridging the Urban Divide**. London: Earthscan, 2012b.

VILLAÇA, F. São Paulo: segregação urbana e desigualdade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 37–58, 2011.

VILLAÇA, F. Efeitos do espaço sobre o social na metropole brasileira. In: ENANPUR, 15., Recife, 2013. **Anais...** Recife: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2013. p.638–648.

VINCENT, O. O. Exploring Spatial Growth Pattern of Informal Settlements Through Agent-based Simulation. Utrecht: Utrecht University, 2009.

WALKER, R. A. Two Sources of Uneven Development Under Advanced Capitalism: Spatial Differentiation and Capital Mobility. **Review of Radical Political Economics**, London, v. 10, n. 3, p. 28–38, 1978.

WATSON, V. "The Planned City Sweeps the Poor Away ...": Urban planning and 21st century urbanisation. **Progress in Planning**, v. 72, n. 3, p. 151–193, 2009.

WEGENER, M. Operational Urban Models State of the Art. **Journal of the American Planning Association**, Chicago, v. 60, n. 1, p. 17–29, 1994.

WHEATON, W. C. Urban Spatial Development with Durable but Replaceable Capital. **Journal of Urban Economics**, v. 12, n. 1, p. 53–67, 1982.

WHITE, R.; ENGELN, G.; ULJEE, I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. **Environment and planning B: Planning and Design**, London, v. 24, p. 323–344, 1997.

WIENER, N. **Cybernetics; or, control and communication in the animal and the machine**. Cambridge, Ma: MIT Press, 1961.

WOLFRAM, S. **Cellular Automata and Complexity: collected papers**. Reading, Ma: Addison-Wesley, 1994.

WU, J.; HOBBS, R. J. **Key Topics in Landscape Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

XIE, Y.; BATTY, M.; ZHAO, K. Simulating emergent urban form: Desakota in China. **CASA Working Papers**, London, v. 95, n. 0, p. 0–32, 2005.

YWATA, A. X. DE C.; LAURETO, C. R.; PENA, M. G.; ALBUQUERQUE, P. H. M.; RODRIGUES, W. Um Estudo das Metodologias e Funcionalidades dos Índices de Segregação Espacial. **Texto para Discussão IPEA**, v. 1655, 2011. Brasília, D.F.: IPEA, 2011.

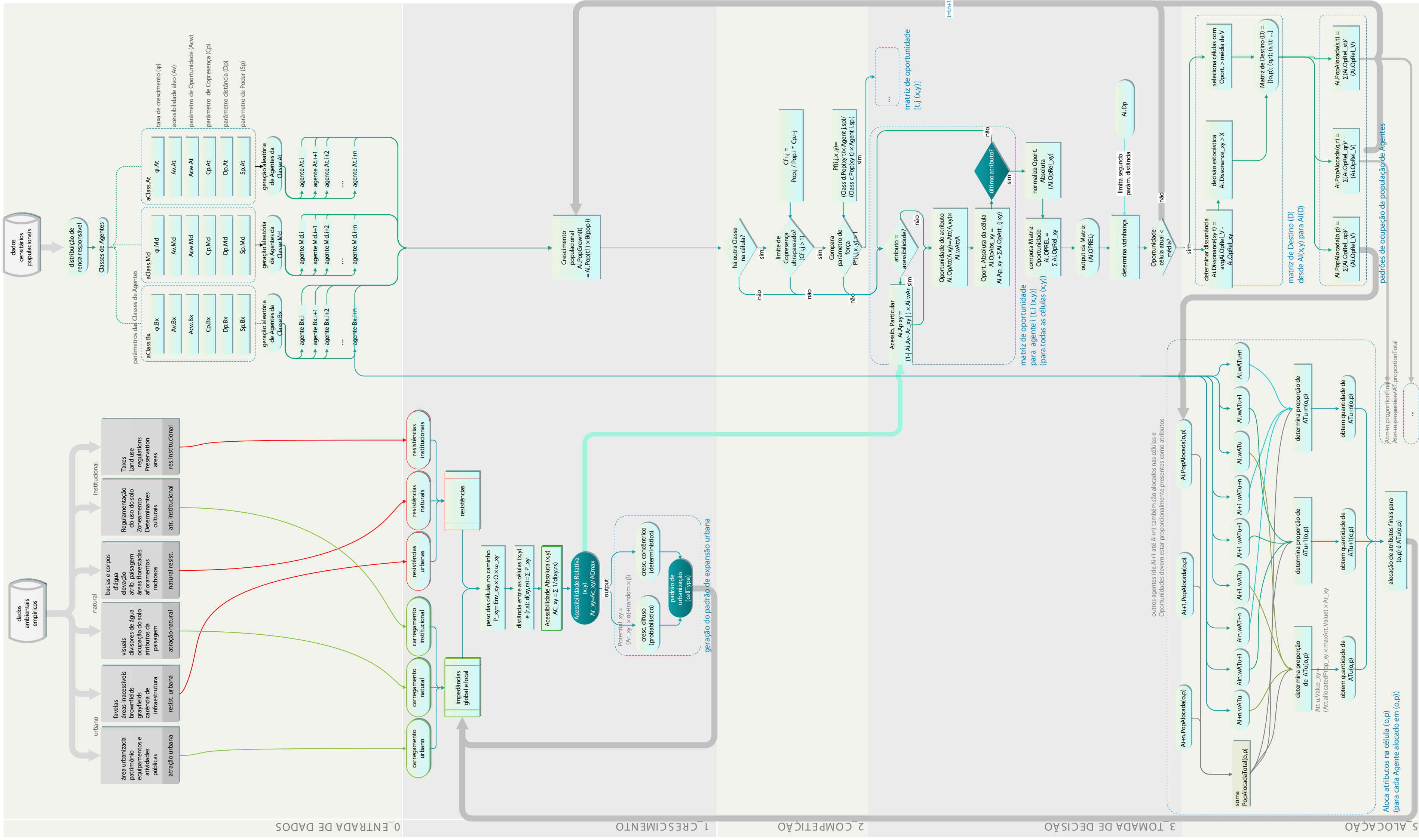
O LUGAR DOS POBRES NA CIDADE: CRESCIMENTO
URBANO E LOCALIZAÇÃO DA BAIXA RENDA VISTA ATRAVÉS DA
MODELAGEM POR AGENTES

APÊNDICES

SUMÁRIO - APÊNDICES

APÊNDICE A FLUXOGRAMA GERAL DO MODELO	217
APÊNDICE B TESTES DE SENSIBILIDADE ABSTRATOS	221
1 Testes relativos ao crescimento dos agentes	223
2 Testes relativos à competição entre os agentes	229
3 Testes relativos à acessibilidade	241
4 Testes relativos à heterogeneidade	255
5 Experimentos de alocação de agentes	263
6 Testes relativos à alocação de atributos	269
APÊNDICE C EXPERIMENTOS EMPÍRICOS	279
1 Experimento empírico de localização de baixa renda para cidades da fronteira do Rio Grande do Sul	281
2 Notas sobre experimento para Jaguarão	283
3 Vinculação de perfis de renda e atributos físicos e urbanos	289
APÊNDICE D GLOSSÁRIO DE VARIÁVEIS E PARÂMETROS	309
1 Glossário de variáveis e parâmetros	311

APÊNDICE A
FLUXOGRAMA GERAL DO MODELO



APÊNDICE B
TESTES DE SENSIBILIDADE ABSTRATOS

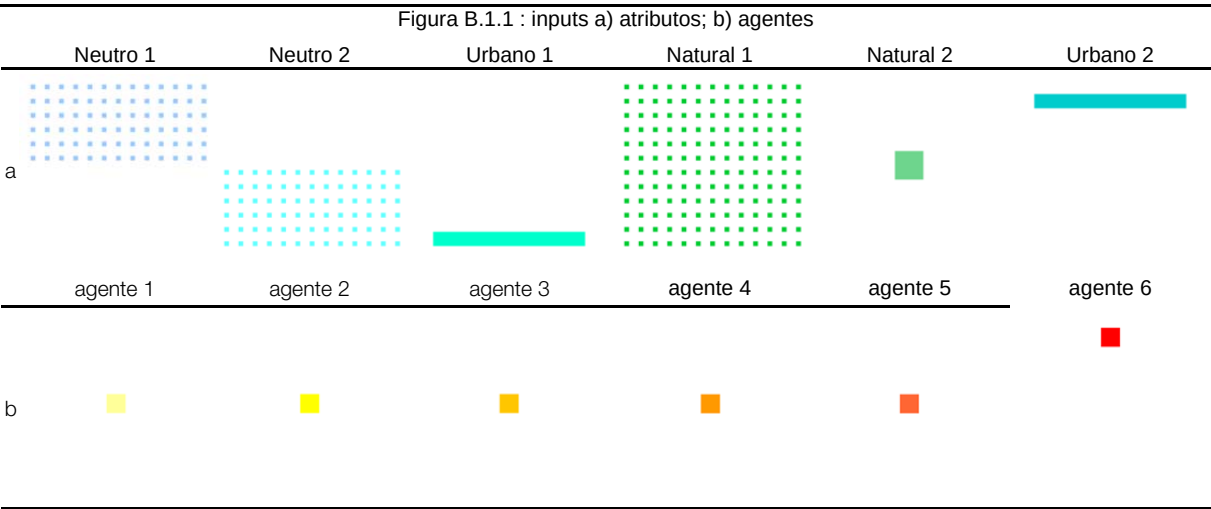
1 TESTES RELATIVOS AO CRESCIMENTO DOS AGENTES

Objetivo geral:

Verificar o processo de crescimento das populações de agentes e seu impacto nos resultados da simulação.

Objetivos metodológicos:

- a) Verificar se os agentes crescem da forma pretendida;
- b) Verificar se taxas de crescimento diferentes impactam sua distribuição espacial;



Fonte: do autor.

1.1 EXERCÍCIOS

1.1.1 Agentes com taxa de crescimento igual

Tabela B.1.1: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

Fonte: do autor.

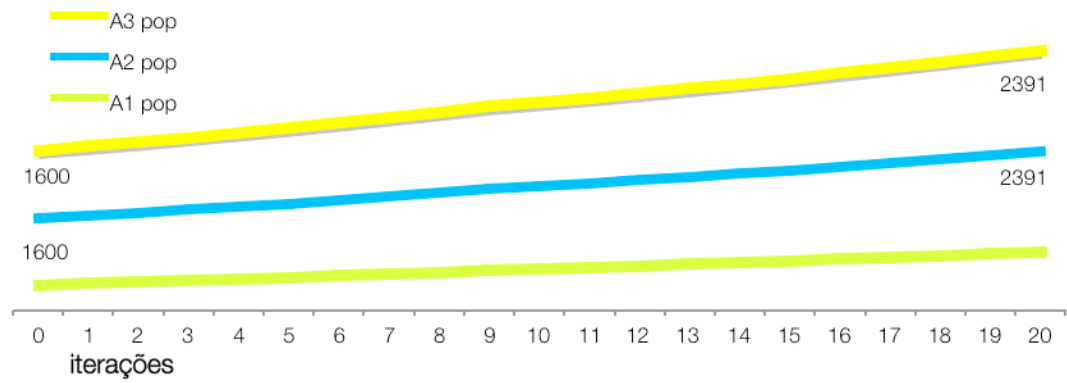
Tabela B.1.2: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	2%	2%	2%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	1	1	1
wurbano 1	0	0	0
wneutro 1	1	1	1
wneutro 2	1	1	1

Fonte: do autor.

Resultados e observações:

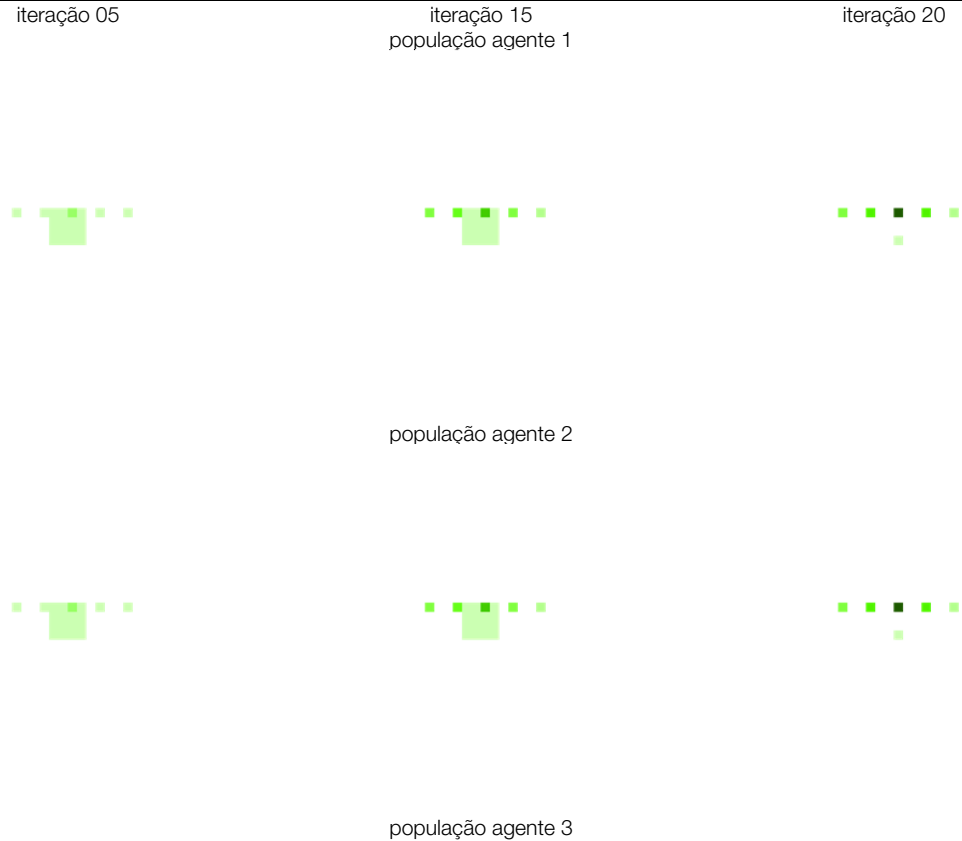
Com parâmetros de oportunidade e de crescimento iguais, todos os resultados foram idênticos para os agentes.

Figura B.1.3: população dos agentes 1, 2 e 3 para as iterações de 0 a 20.



Fonte: do autor.

Figura B.1.4: resultados do experimento.



Fonte: do autor.

1.1.2 Agentes com taxa crescente

Tabela B.1.3: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.1.4: parametrização dos agentes.

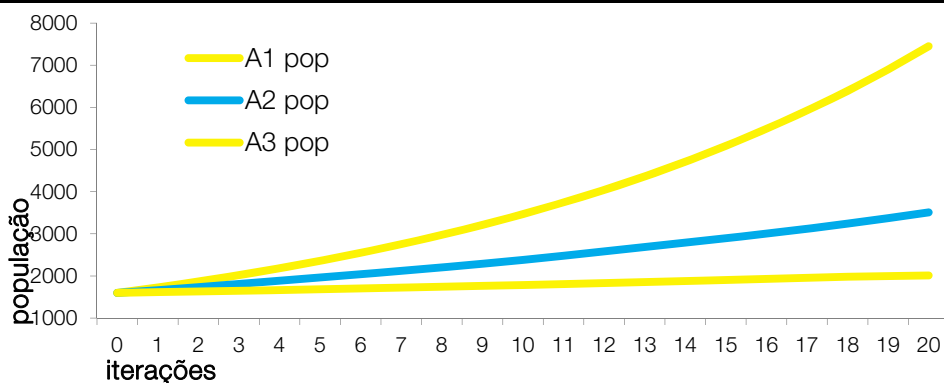
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	1%	4%	8%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	1	1	1
wurbano 1	0	0	0
wneutro 1	1	1	1
wneutro 2	1	1	1

Fonte: do autor.

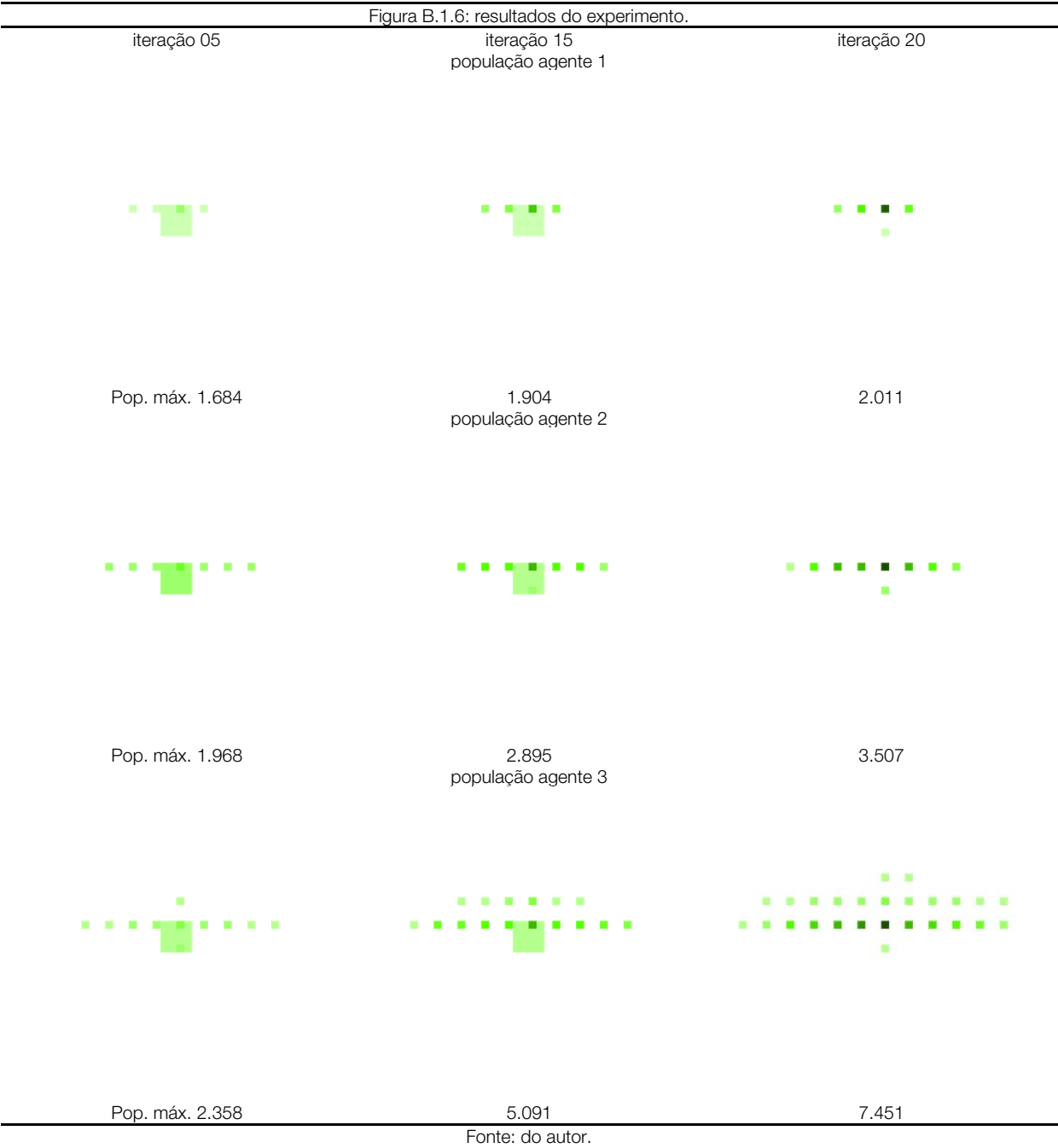
Observações:

- As curvas de crescimento comportam-se conforme esperado, como demonstra a Figura B.1.5.
- Com parâmetros de oportunidade iguais, os resultados foram semelhantes para os agentes, mas nota-se um espalhamento das populações nas células, que é maior para os agentes 3 e 2, nesta ordem.

Figura B.1.5: população dos agentes 1, 2 e 3 para as iterações de 0 a 20.



Fonte: do autor.



1.1.3 Agentes com taxa decrescente

Tabela B.1.5: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

Fonte: do autor.

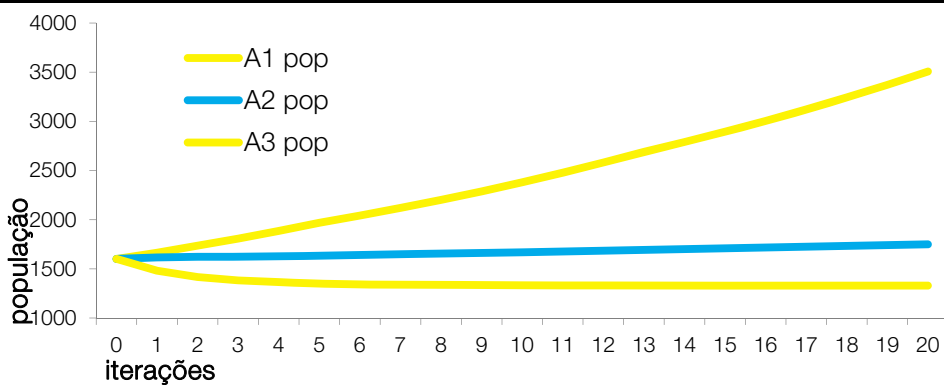
Tabela B.1.6: parametrização dos agentes			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	1%	-4%	-8%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	1	1	1
wurbano 1	0	0	0
wneutro 1	1	1	1
wneutro 2	1	1	1

Fonte: do autor.

Observações:

- A diferenciação entre as curvas de crescimento segue o esperado, com incremento constante do Agente 1 e decréscimo dos agentes 2 e 3 como demonstra a figura B.1.7;
- visualmente não há impacto na distribuição da população dos agentes, mas os máximos de cada série logicamente variam.

Figura B.1.7: população dos agentes 1, 2 e 3 para as iterações de 0 a 20



Fonte: do autor.



2 TESTES RELATIVOS À COMPETIÇÃO ENTRE OS AGENTES

A hipótese inicial é a de que a ocupação do espaço urbano por grupos sociais diferentes (que podem ser classes socioeconômicas, etnias, etc.) é influenciada pela capacidade destes grupos sociais de coexistirem em nas parcelas da urbanização, ou pela competição que travam em busca de exclusividade.

Abramo (ABRAMO, 2001, 2007) propõe que as classes socioeconômicas altas buscam exclusividade, mantendo distância das classes inferiores sempre que possível. Propõe ainda que as classes médias buscam aproximar-se sempre de classes mais privilegiadas, de forma a aproveitarem as oportunidades urbanas existentes junto a elas no que chama de “externalidades de vizinhança”. Com as classes baixas tanto as classes altas quanto as classes medidas de forma geral buscam distância. Espera-se que este tipo de relação possa ser representado através de copresença decrescente para as classes mais baixas, quanto mais baixa for a classe, menor a tolerância a ela – o que pode ser representado em baixos valores dos parâmetros de copresença.

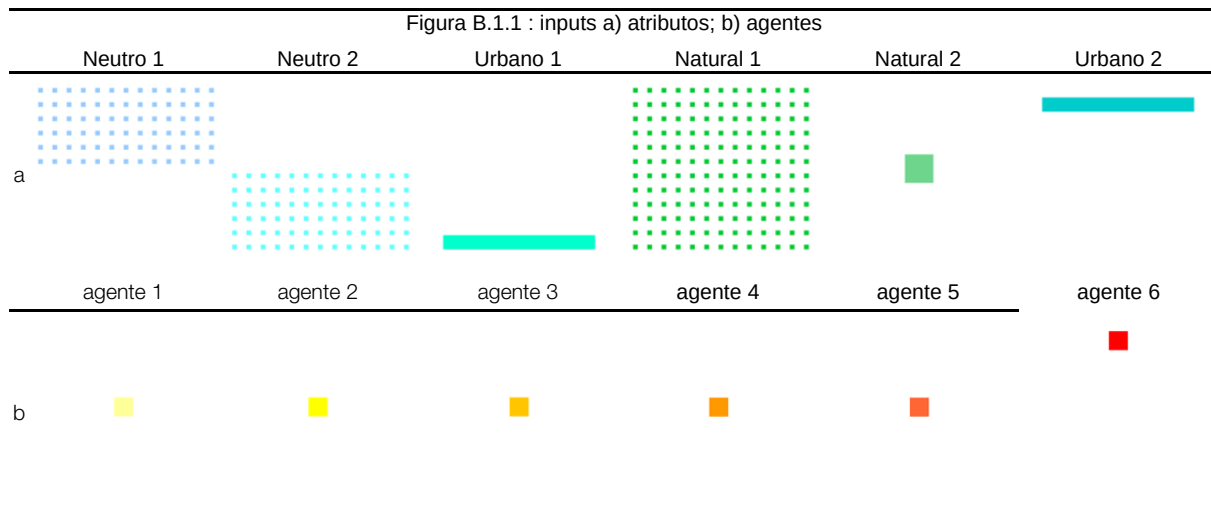
Autores como Caldeira (1997) salientam a busca de isolamento das classes mais altas que buscam novas localizações onde possam conviver exclusivamente com classes semelhantes ou mais altas que as suas. A auto-segregação imposta por estes grupos motivaria parcela importante da urbanização periférica da alta renda no país e elementos como condomínios fechados, *shopping centers*, equipamentos de vigilância muros diminuiriam a escala da segregação ao permitir uma contiguidade com pouco contato entre classes sociais díspares. Sugerimos que o auto-isolamento possa ser se traduzido numa baixa tolerância a outras classes (definida na variável de copresença), mas com alta mobilidade (representável através de um parâmetro de força baixo).

Objetivo:

- a) Investigar se a copresença pode ser usada para traduzir efeitos produtores de segregação na ocupação das áreas urbanizadas;
- b) Investigar se a competição pode ajudar a explicar os padrões de ocupação da forma urbana;

Objetivos metodológicos:

- a) No modelo, compreender o impacto da copresença nas relações entre agentes, verificando o quanto impactam os padrões finais de população dos agentes;
- b) Verificar se há interação entre copresença e crescimento populacional dos agentes.



Fonte: do autor.

2.1 EXERCÍCIOS

2.1.1 Populações e oportunidades iguais e copresença segundo input

Tabela B.2.1: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
neutro 2	0	attraction	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.2.2: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	2%	2%	2%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	1	1	1
wurbano 1	0	0	0
wurbano 2	10	10	10
wneutro 1	0	0	0
wneutro 2	0	0	0

Fonte: do autor.

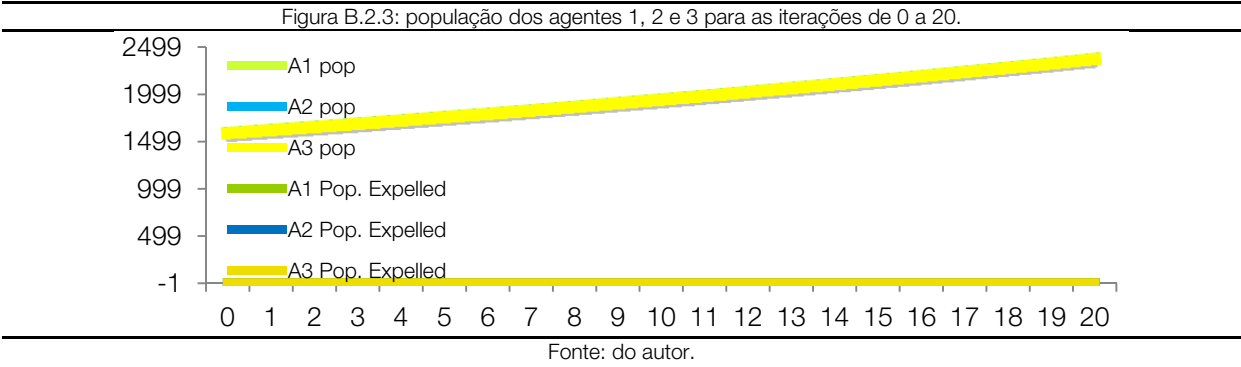
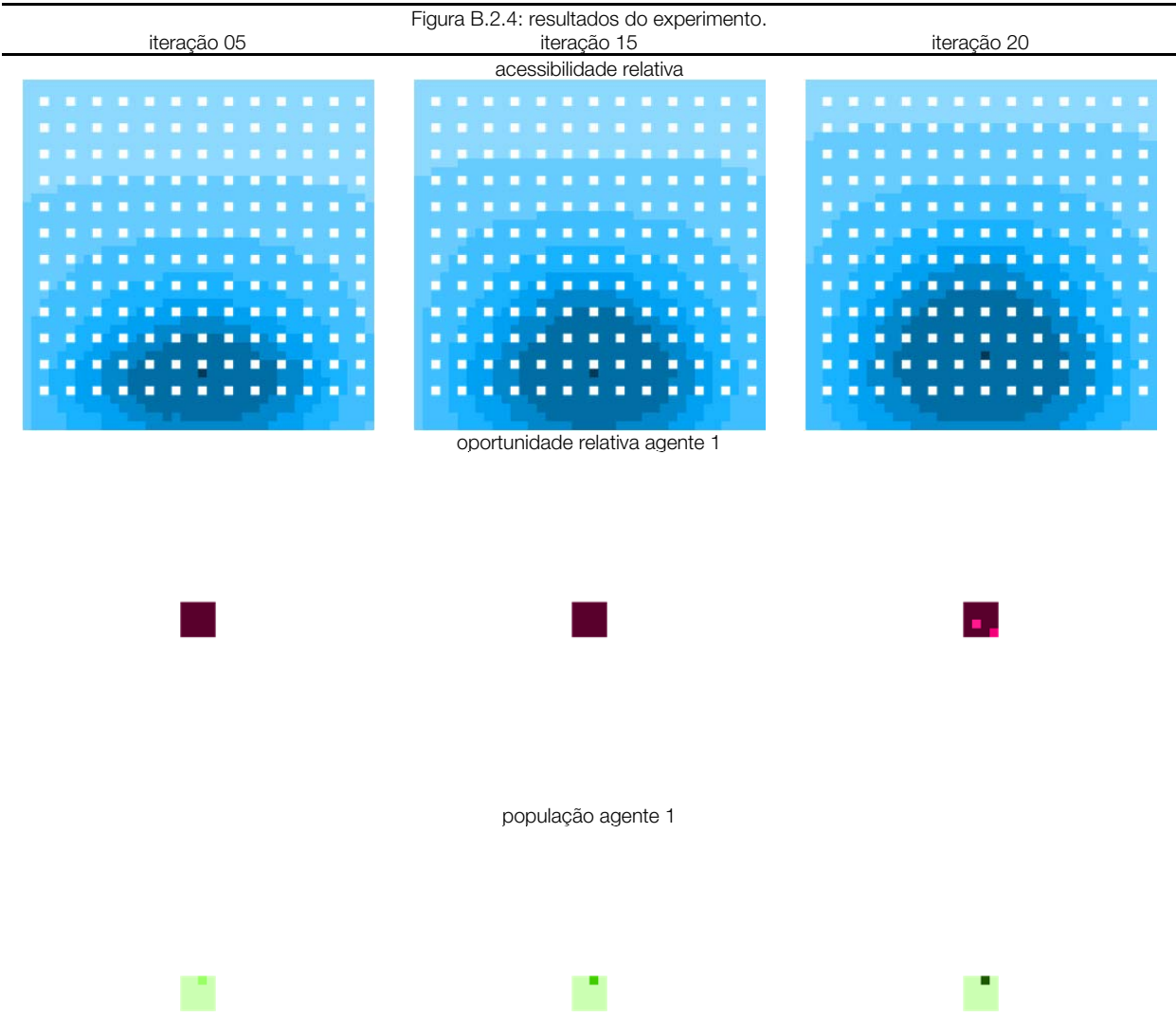
Tabela B.2.3: matriz de copresença dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
c_p agente 1	-	1	1
c_p agente 2	1	-	
c_p agente 3	1	1	-

Fonte: do autor.

Observações:

- Com as populações idênticas, e os parâmetros de copresença determinados a partir do input, o número de agentes entre as classes foi sempre proporcional ao input;
- Não se formou nenhuma condição de conflito, que ficou em zero para todos os tipos de agentes.



população agente 2



população agente 3



Fonte: do autor.

2.1.2 Populações crescentes, oportunidades iguais e copresença segundo input

Tabela B.2.4: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
neutro 2	0	attraction	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.2.5: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	1%	4%	8%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	1	1	1
wurbano 1	0	0	0
wurbano 2	10	10	10
wneutro 1	0	0	0
wneutro 2	0	0	0

Fonte: do autor.

Tabela B.2.6: matriz de copresença dos agentes.

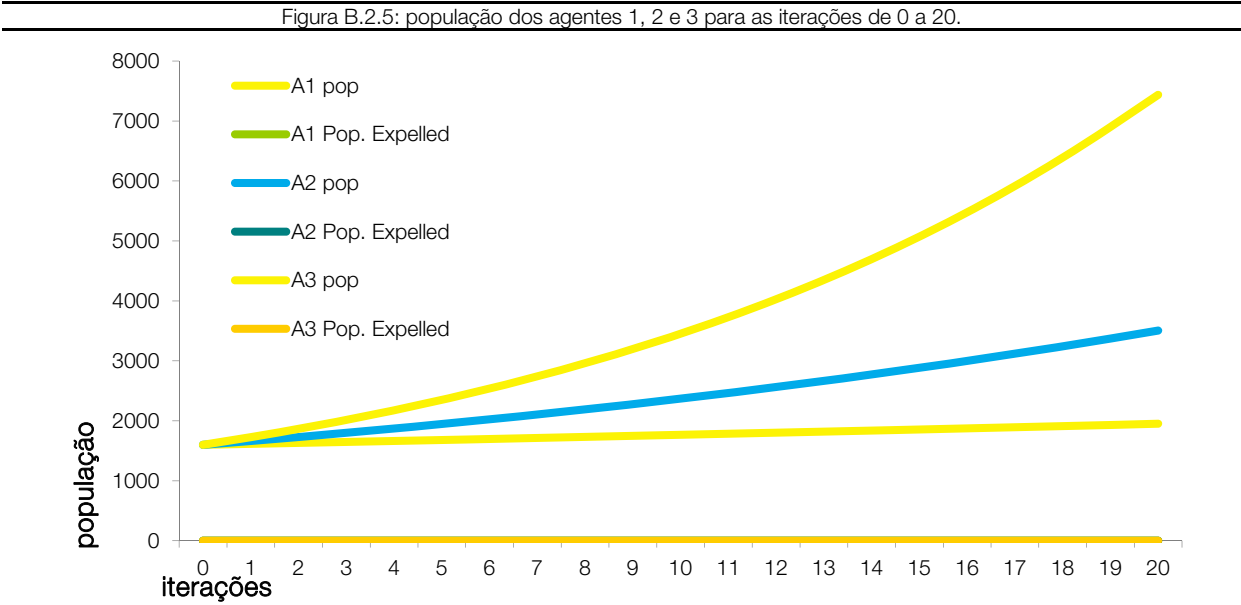
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
c_p agente 1	-	1	1
c_p agente 2	1	-	
c_p agente 3	1	1	-

Fonte: do autor.

Observações:

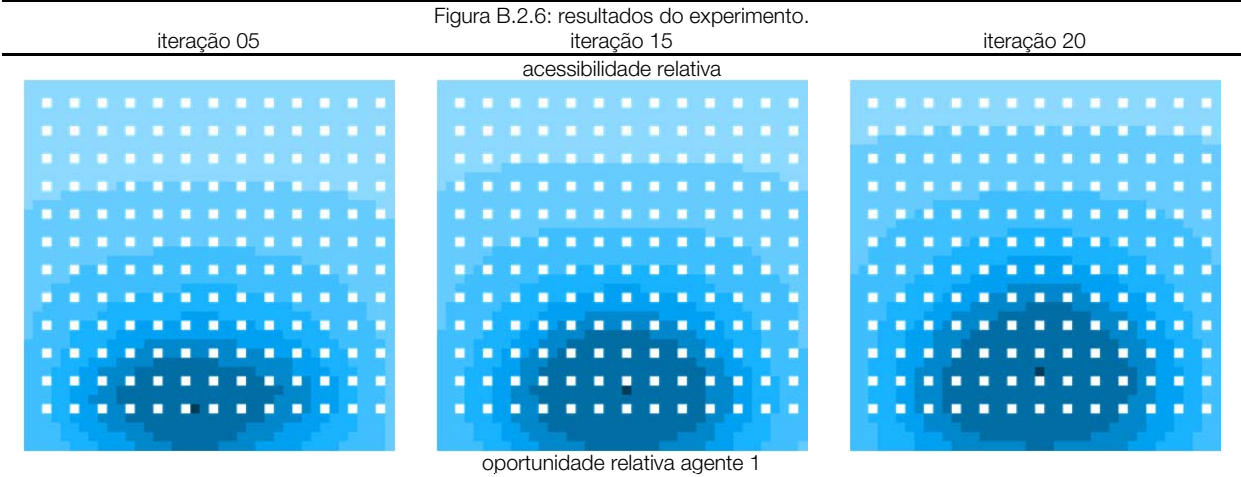
- a) Todos os agentes buscam as mesmas 16 células do atributo Urbano 2 para localizar-se;
- b) Uma vez que os parâmetros de copresença estabelecem um equilíbrio baseado nas condições iniciais, o crescimento das populações em taxa desigual propicia competição;
- c) No entanto, como os parâmetros de força dos agentes são idênticos, eles são incapazes de expulsar uns aos outros.

Figura B.2.5: população dos agentes 1, 2 e 3 para as iterações de 0 a 20.



Fonte: do autor.

Figura B.2.6: resultados do experimento.



população agente 1



população agente 2



população agente 3



Fonte: do autor.

2.1.3 Populações crescentes, oportunidades iguais, copresença segundo input e força desigual

Tabela B.2.7: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
neutro 2	0	attraction	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.2.8: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	10	5	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	1%	4%	8%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
waccessibilidade	1	1	1
wurbano 1	0	0	0
wurbano 2	10	10	10
wneutro 1	0	0	0
wneutro 2	0	0	0

Fonte: do autor.

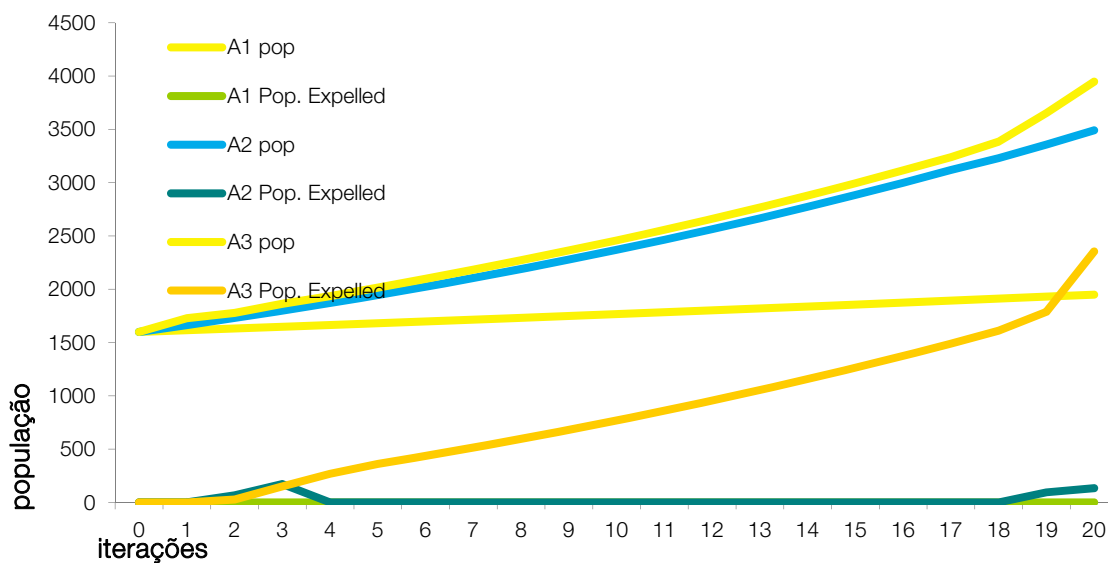
Tabela B.2.9: matriz de copresença dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
$c_{p\text{agente 1}}$	-	1	1
$c_{p\text{agente 2}}$	1	-	-
$c_{p\text{agente 3}}$	1	1	-

Fonte: do autor.

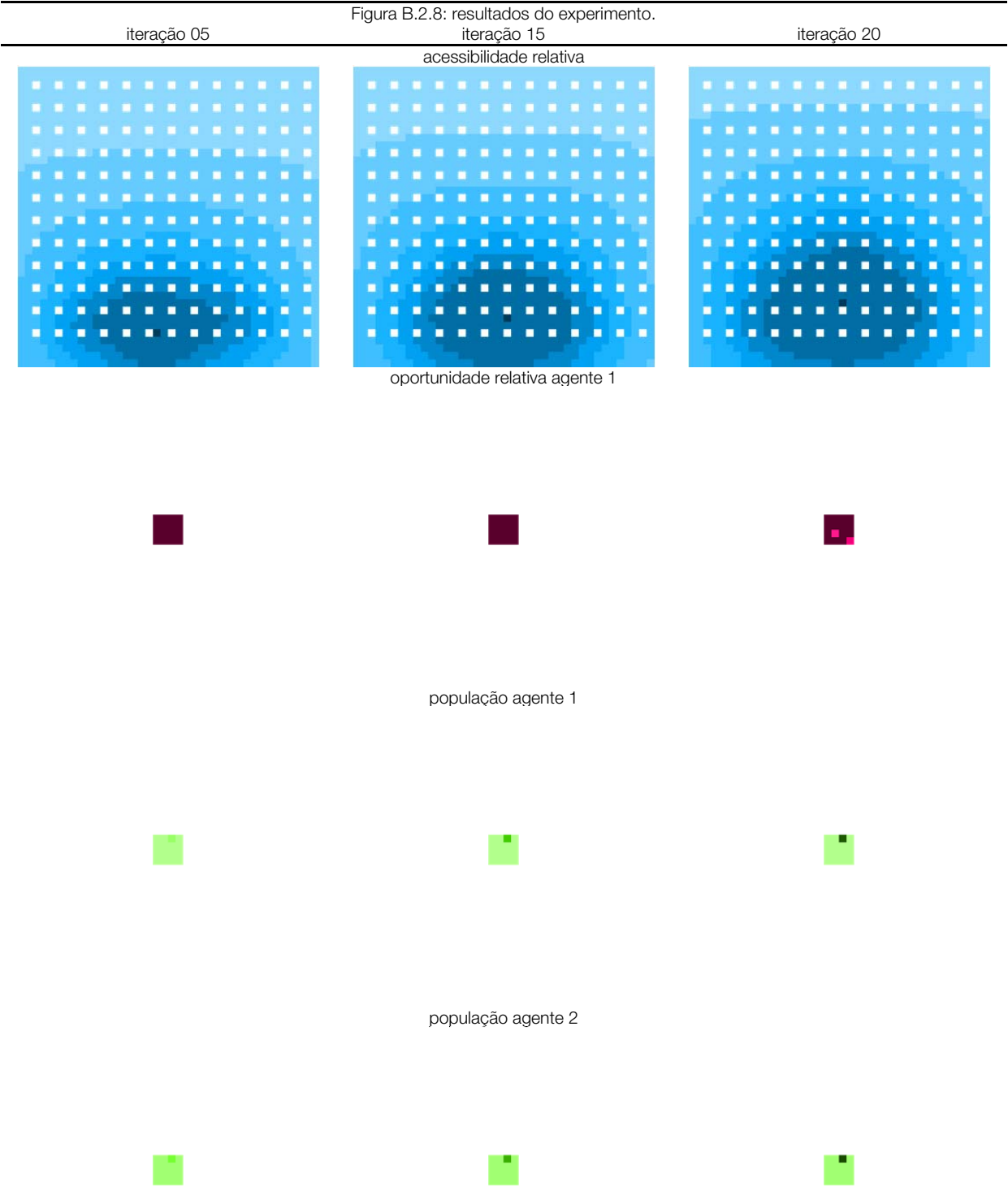
Observações:

- A partir das mesmas condições do experimento anterior, nota-se que nas iterações em que há picos de crescimentos, ocorrem também picos de expulsão das populações dos agentes com Parâmetros de Força mais baixos;
- O Agente 2 é impactado em apenas quatro iterações de nº 2, 3, 19 e 20, sendo que na de nº 2 é expulsa população igual a que foi acrescida;
- O Agente 3 é especialmente impactado nas iterações finais, apresentando crescente de expulsão que culmina com nada menos que 2.354 expulsos.

Figura B.2.7: população dos agentes 1, 2 e 3 para as iterações de 0 a 20.



Fonte: do autor.



população agente 3



Fonte: do autor.

2.1.4 Todos querem acessibilidade

Tabela B.2.10: parametrização dos atributos.			
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
neutro 2	0	attraction	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.2.11: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	10	5	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	1%	4%	8%
r_f	0%	0%	0%
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	10	10	10
wurbano 1	0	0	0
wurbano 2	1	1	1
wneutro 1	0	0	0
wneutro 2	0	0	0

Fonte: do autor.

Tabela B.2.12: matriz de copresença dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
c_p agente 1	-	1	1
c_p agente 2	1	-	
c_p agente 3	1	1	-

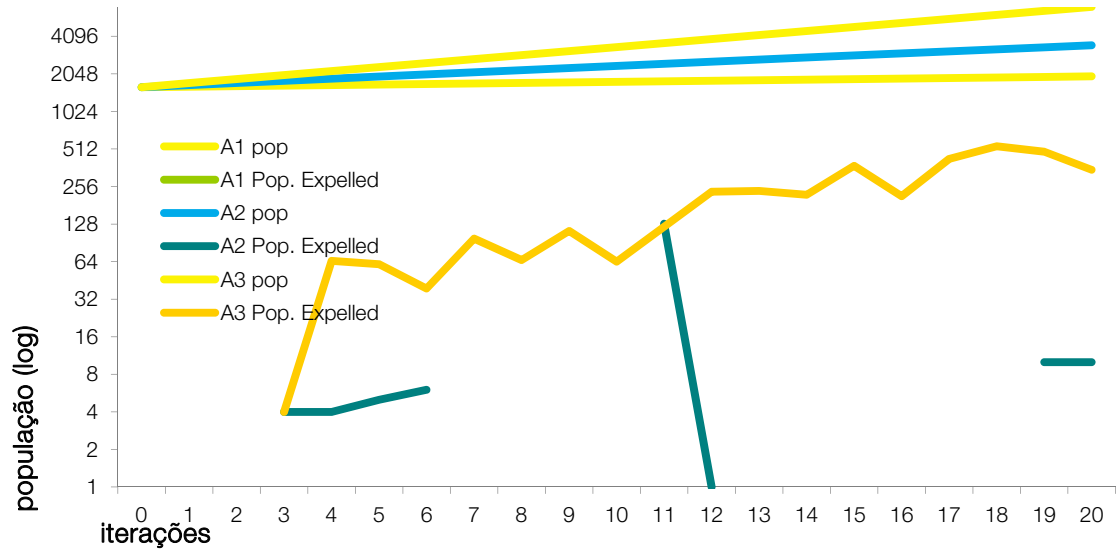
Fonte: do autor.

Observações:

- Os agentes perseguiram a acessibilidade, abandonando suas células de origem em direção às células com o atributo;
- Diferente dos exercícios anteriores, o atributo da acessibilidade mudou ao longo das iterações, criando referências novas de oportunidade a cada iteração;
- O pico de acessibilidade, pode-se dizer, moveu-se ao pelo grid ao redor do atributo urbano;
- Estas variações constantes, mesmo que com oportunidades idênticas para os três agentes, causaram variação no padrão de competição a cada ciclo, como pode ser visto nas quantidades de agentes expulsos a cada iteração;
- O Agente 2 apresentou, novamente, comportamento variável, tendo expulsões apenas em 8 iterações, sendo 7 delas de 10 ou menos agentes e a de nº11 com 129;

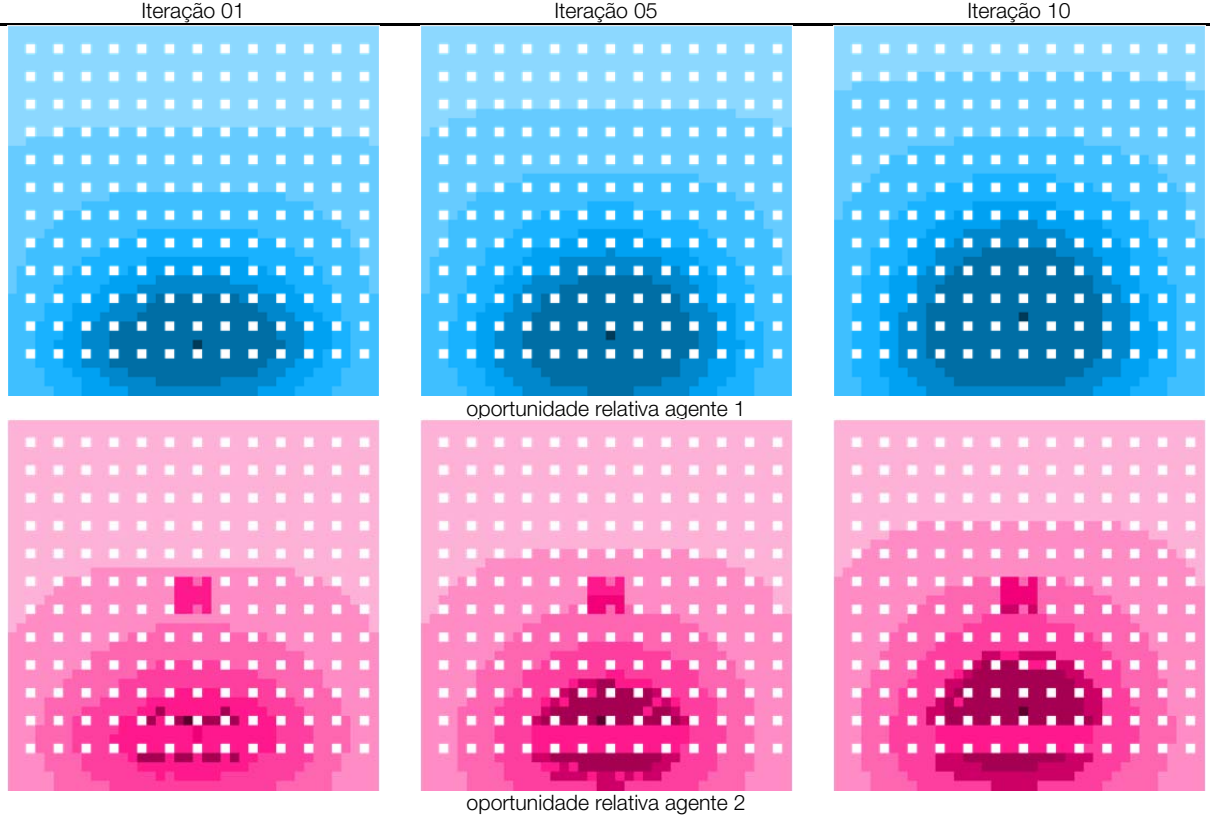
f) O Agente 3 apresente expulsões bastante mais frequentes, com tendência crescente, mas variando a cada iteração.

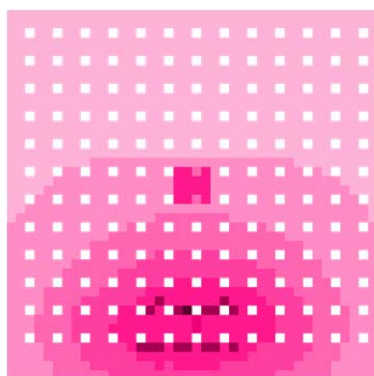
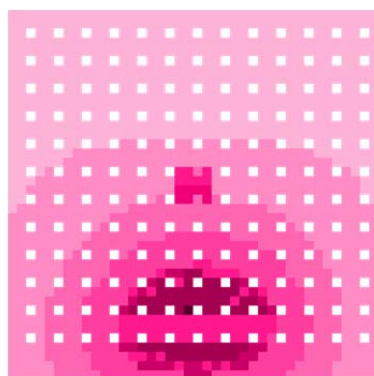
Figura B.2.9: população dos agentes 1, 2 e 3 para as iterações de 0 a 20.



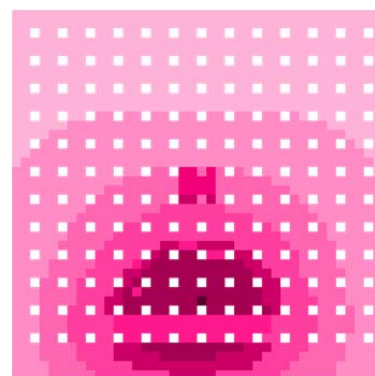
Fonte: do autor.

Figura B.2.10: resultados do experimento, acessibilidade relativa.





população agente 1



população agente 2



população agente 3



Fonte: do autor.

3 TESTES RELATIVOS À ACESSIBILIDADE

Estes testes pretendem embasar as demais fases de parametrização do modelo. Iniciarão com testes simples, implantando cada procedimento do modelo isoladamente para, em seguida, combiná-los.

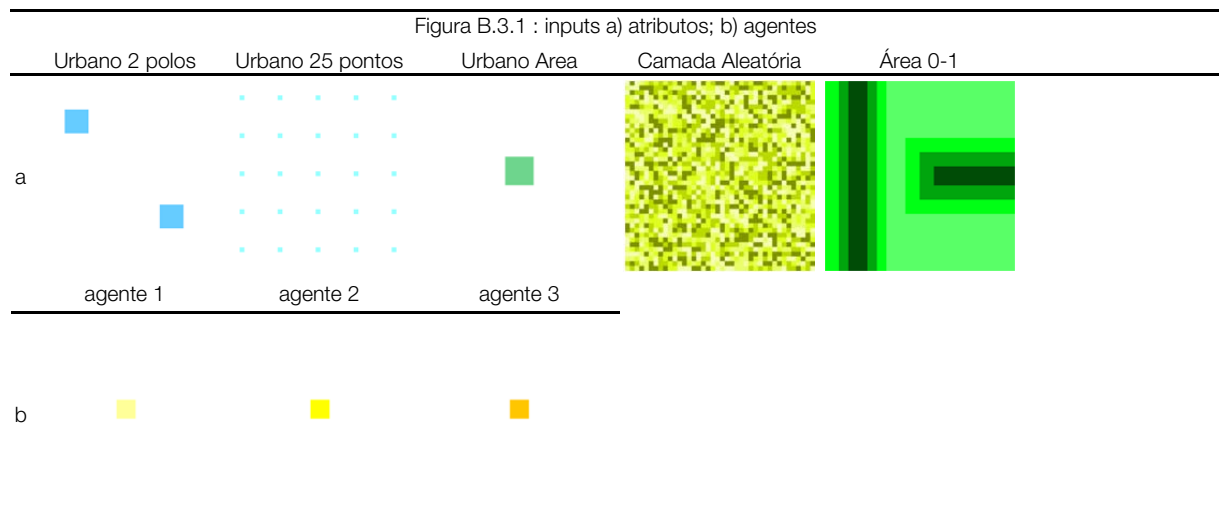
Objetivos metodológicos:

- a) verificar a parametrização dos pesos dos atributos em relação à medida de acessibilidade:
 - o impacto é diretamente proporcional?
 - há necessidade de ajustar os pesos dos atributos de alguma forma?
- b) verificar a influência do tipo de dado na parametrização dos atributos;
- c) definir os tipos de dados a serem usados para entrada de atributos:
 - booleanos;
 - contínuos de qualquer valor;
 - contínuos de 0 a 1;
- d) verificar se há a quantidade ideal de parâmetros a ser inseridos, entendendo que muitos “amaciarão” os resultados e poucos serão determinantes demais;

3.1 ACESSIBILIDADE RELATIVA VERSUS ACESSIBILIDADE PARTICULAR

Objetivo: verificar a influência da ponderação mais simples entre os agentes e sua relação com a distribuição espacial da acessibilidade;

Método: verificar o impacto da ponderação da *acessibilidade relativa* a partir da *acessibilidade particular* para três perfis de agentes, em quatro distribuições espaciais diferentes. Neste caso, a distribuição espacial dos agentes não tem sua influência avaliada.



Fonte: do autor.

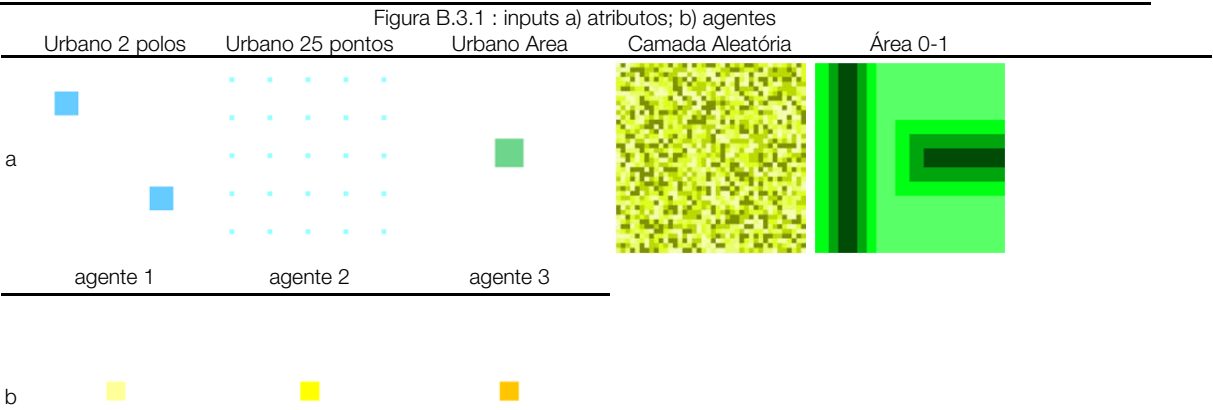
3.1.1 Áreas, dois pares

Tabela B.3.1: Parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim

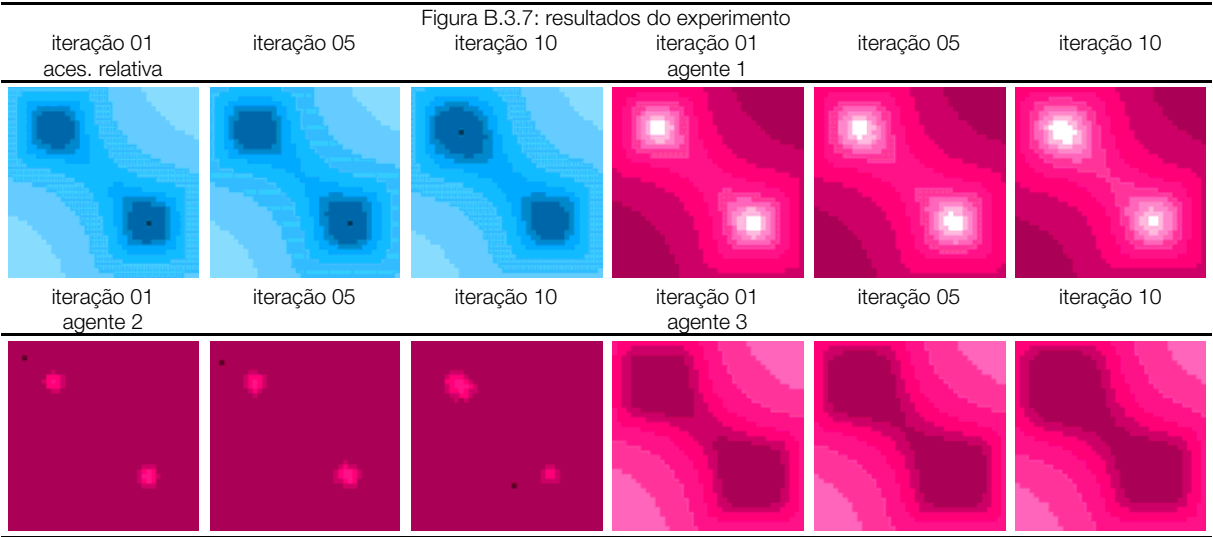
Tabela B.3.2: Parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
par.w	0	0	0
ac.w	1	1	1
av	0,2	0,5	0,8

Observações:

- a) A ponderação mais simples altera a acessibilidade deterministicamente;
- b) As oportunidades tornam-se inversas quando se usa acessibilidade alvo muito baixa;
- c) As oportunidades ficam homogêneas com acessibilidade-alvo em torno da média.



Fonte: do autor.



Fonte: do autor.

3.1.2 Pontos equidistantes

Tabela B.3.3: Parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

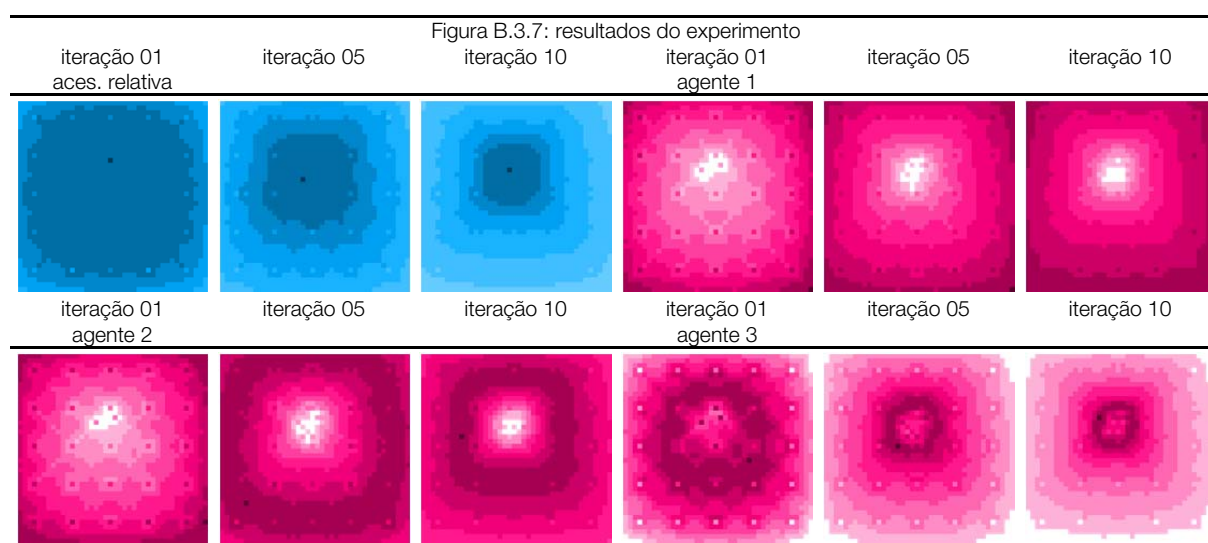
atributo	peso	behaviour	mutable?
pontos	1	attraction	sim

Tabela B.3.4: Parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
pontos.w	0	0	0
ac.w	1	1	1
av	0,2	0,5	0,8

Observações:

A distribuição espacial não tem impacto nas oportunidades, já que a visão dos “agentes” é de todo o sistema.



Fonte: do autor.

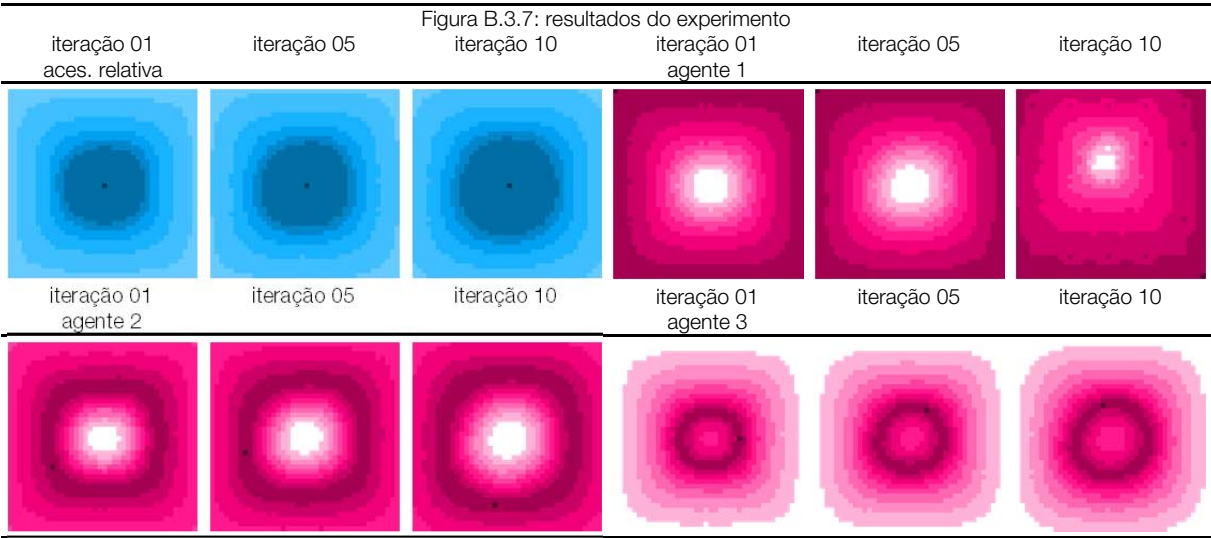
3.1.3 Área, um grupo de células central

Tabela B.3.5: Parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
areaA	1	attraction	Sim

Tabela B.3.6: Parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
areaa.w	0	0	0
ac.w	1	1	1
av	0,2	0,5	0,8

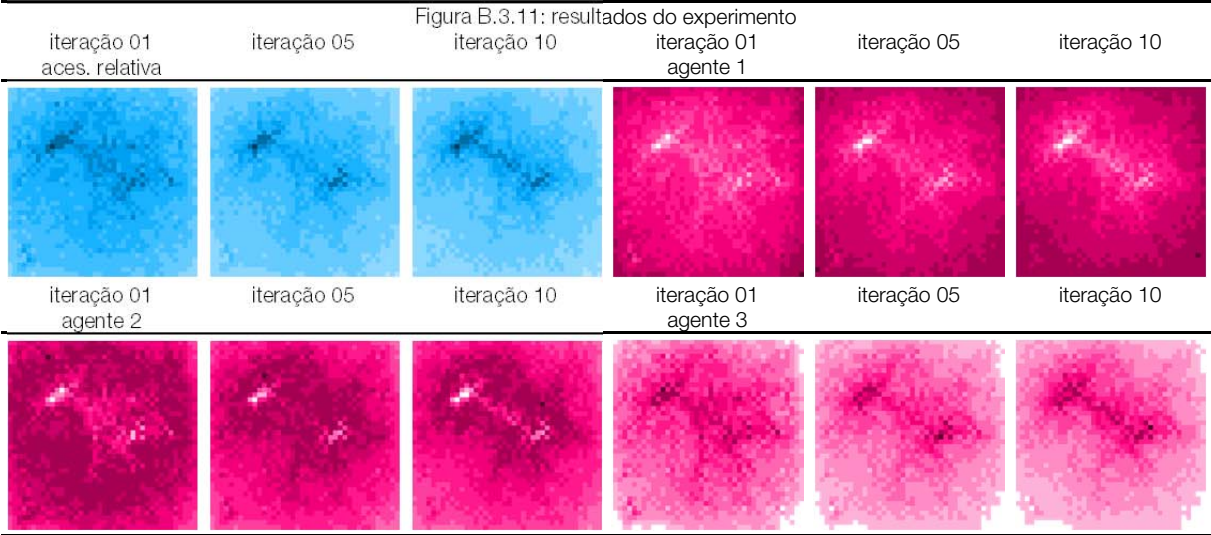


Fonte: do autor.

3.1.4 Pontos equidistantes e fundo aleatório

Tabela B.3.7: Parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
pontos	1	attraction	sim
rand0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.8: Parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
pontos.w	0	0	0
rand0-1	0	0	0
ac.w	5	5	5
av	0,2	0,5	0,8



Fonte: do autor.

3.1.5 Pontos equidistantes, fundo com variação de resistência

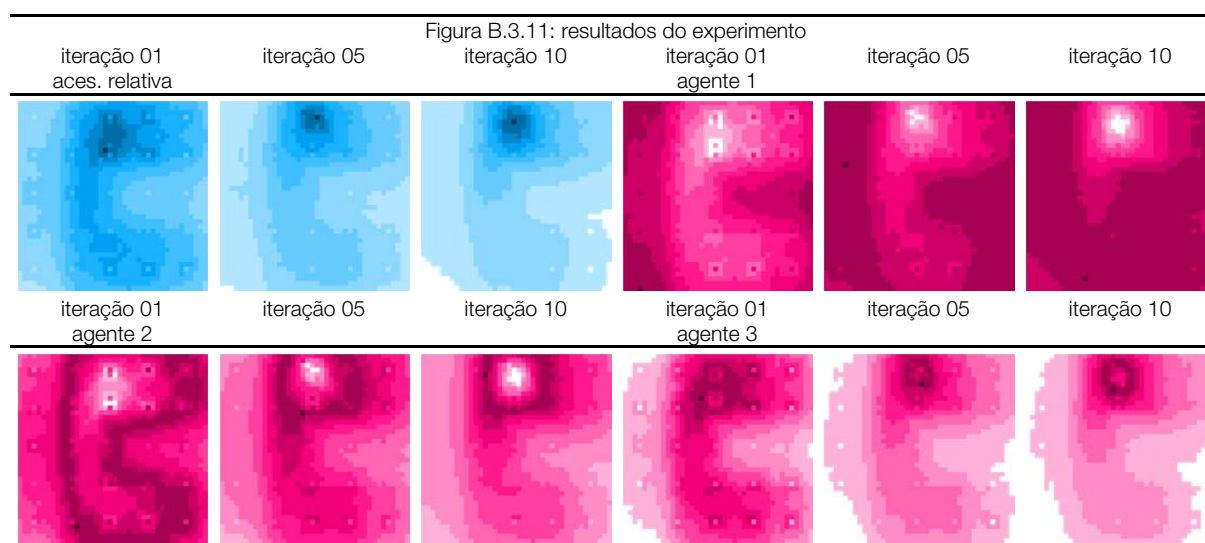
Tabela B.3.9: Parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
pontos	1	attraction	sim
area0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.10: Parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
pontos.w	0	0	0
area0-1	0	0	0
ac.w	5	5	5
av	0,2	0,5	0,8

Observações:

- A inserção de uma resistência traz impacto significativo na acessibilidade relativa;
- Esse impacto pode ser transferido diretamente para os agentes como nos demais casos, ou mediado por preferências específicas que podem, inclusive, neutralizar o efeito que tem na acessibilidade relativa.



Fonte: do autor.

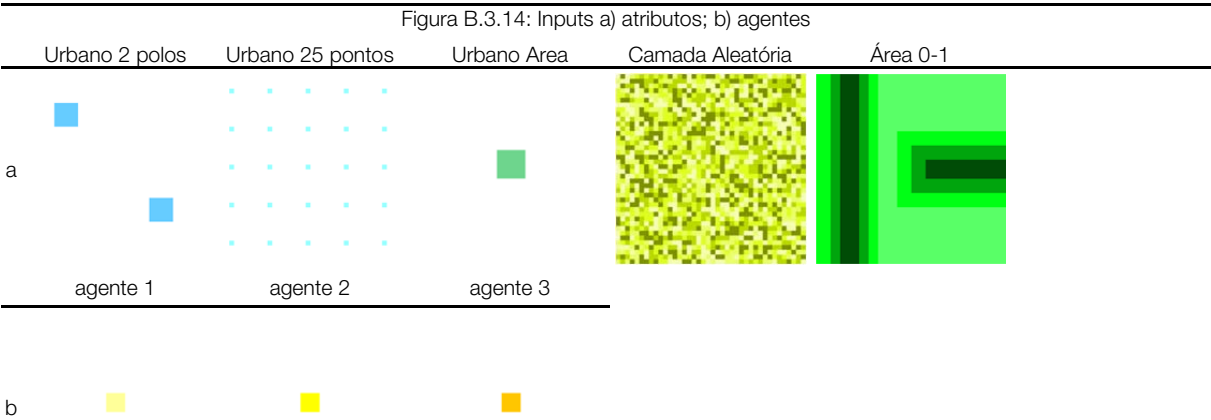
3.2 ACESSIBILIDADE RELATIVA X MATRIZ DE OPORTUNIDADES

Objetivo: verificar a influência da ponderação com atributos para os agentes e sua relação com a distribuição espacial da acessibilidade;

Método: verificar o impacto da ponderação da *acessibilidade relativa* a partir da *matriz de oportunidade* para três perfis de agentes, em combinações diferentes pesos para os atributos e da *acessibilidade-alvo*. Neste caso, a distribuição espacial dos agentes não tem sua influência avaliada.

A distribuição das atrações urbanas é a de dois polos enquanto as resistências estão na camada desigual (bacias).

- Parâmetros de oportunidade variam, mas acessibilidade-alvo permanece igual. Um agente considera apenas acessibilidade, outro considera acessibilidade e um atributo atrator e o terceiro finalmente considera todos os atributos e a acessibilidade;
- Parâmetros de oportunidade são iguais, mas acessibilidade-alvo varia entre os agentes;
- Parâmetros de oportunidade e acessibilidade variam entre os agentes.
- Acessibilidade-alvo varia e parâmetros de oportunidade variam muito entre os agentes.



Fonte: do autor.

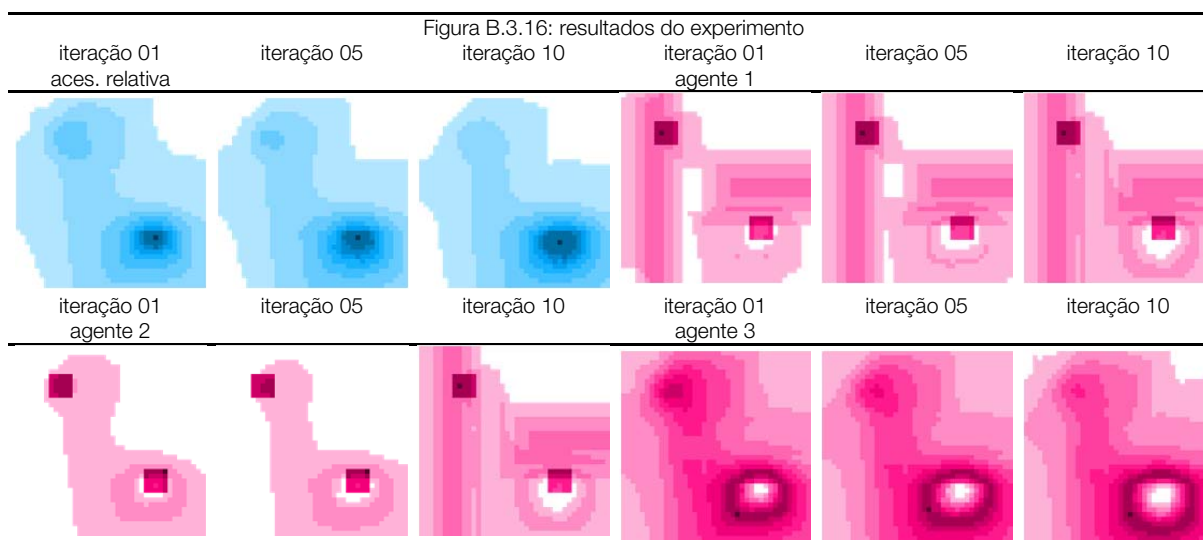
3.2.1 Oportunidade variada entre os agentes

Tabela B.3.13: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim
area0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.14: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
area0-1.w	1	0	0
par.w	1	1	0
ac.w	1	1	1
av	0,5	0,5	0,5

Observações:

- a) No caso do agente “alta”, a ausência de parâmetro de oportunidade para os atributos de entrada determina sua matriz a ser próxima à acessibilidade, variando diretamente conforme a acessibilidade-alvo;
- b) O agente “média” divide suas oportunidades mais baixas para a acessibilidade (que apresentam dinâmicas ao longo as iterações) e o atributo “par” (que é estático). Deve-se avaliar os pesos a serem aplicados, se houver a intensão de permitir a as dinâmicas a aparecer de forma clara nos resultados;
- c) A observação acima fica mais clara com o agente “baixa”, que tem pesos para os atributos “par” e “area0-1”. Neste caso, as células ocupadas por “par” e os valores mais altos de “area0-1”(próximos a 0,8) apresentam certo controle das oportunidades, com pouca influência da acessibilidade (que neste caso determina as oportunidades mais baixas apenas).



3.2.2 Acessibilidade alvo variada entre os agentes

Tabela B.3.15: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

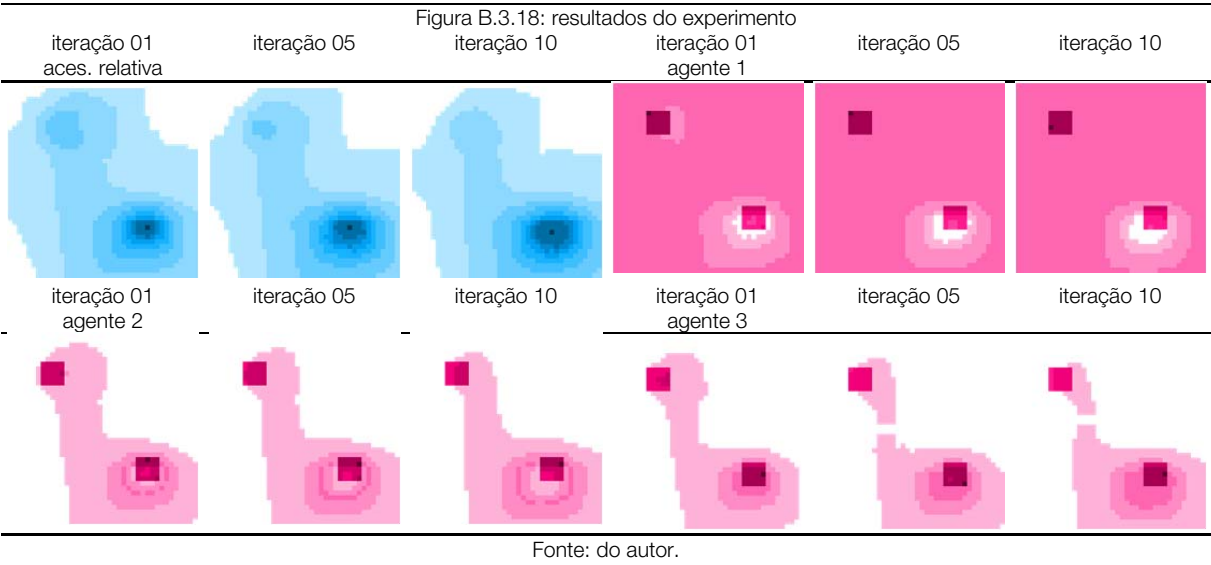
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim
area0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.16: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
area0-1.w	0	0	0
par.w	1	1	1
ac.w	1	1	1
av	0,2	0,6	0,8

Observações:

- A ausência de variação dos parâmetros de oportunidade para os atributos faz com que todas as matrizes apresentem valores mais altos para as células com o atributo “par”;
- As dinâmicas da acessibilidade acabam novamente no “pano de fundo”;
- Mesmo quando há baixos valores de acessibilidade-alvo o atributo “par” ainda prevalece por sobre padrões da acessibilidade que permanece “ao fundo” para os agentes “alta” e “baixa”;
- Nota-se que mesmo tendo estes últimos agentes acessibilidade-alvo em faixas opostas do espectro, o efeito polarizador é o mesmo ao redor do atributo “par”, o que resta são padrões quase opostos nas faixas médias a baixas da matriz de oportunidade, determinadas pela acessibilidade.



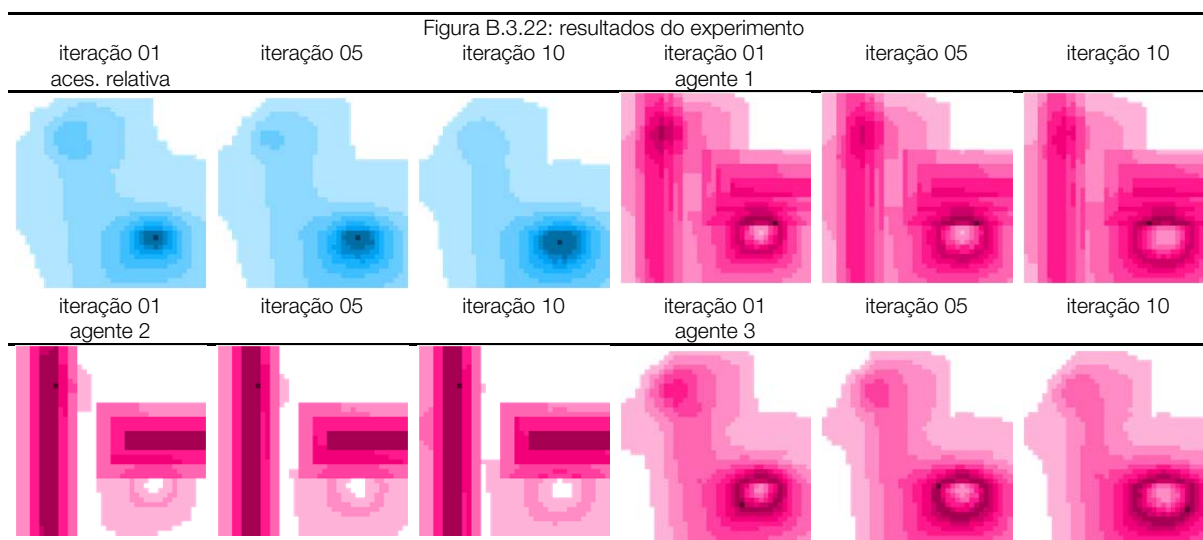
3.2.3 Oportunidade variada com grande diferença de parâmetros

Tabela B.3.19: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim
area0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.20: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
area0-1.w	3	0,5	0
par.w	0	0	0
ac.w	1	1	1
av	0,6	0,6	0,6

Observações:

- a) A aplicação dos pesos ao atributo “Area” pode reverter, na matriz de oportunidades, seu papel junto às dinâmicas de acessibilidade;
- b) A resistência que desempenhava no crescimento urbano é facilmente transformada em atração aos agentes “baixa” quando estes aplicam pesos maiores que 1 no parâmetro de oportunidade do atributo “bacia”;
- c) É necessário realizar testes mais aprofundados, ou mesmo explorar outros caminhos matemáticos, para tratar da acessibilidade. As questões são:
- d) como permitir às dinâmicas que emergam por sob os atributos após a sua ponderação?
- e) como evitar o determinismo dos atributos?



Fonte: do autor.

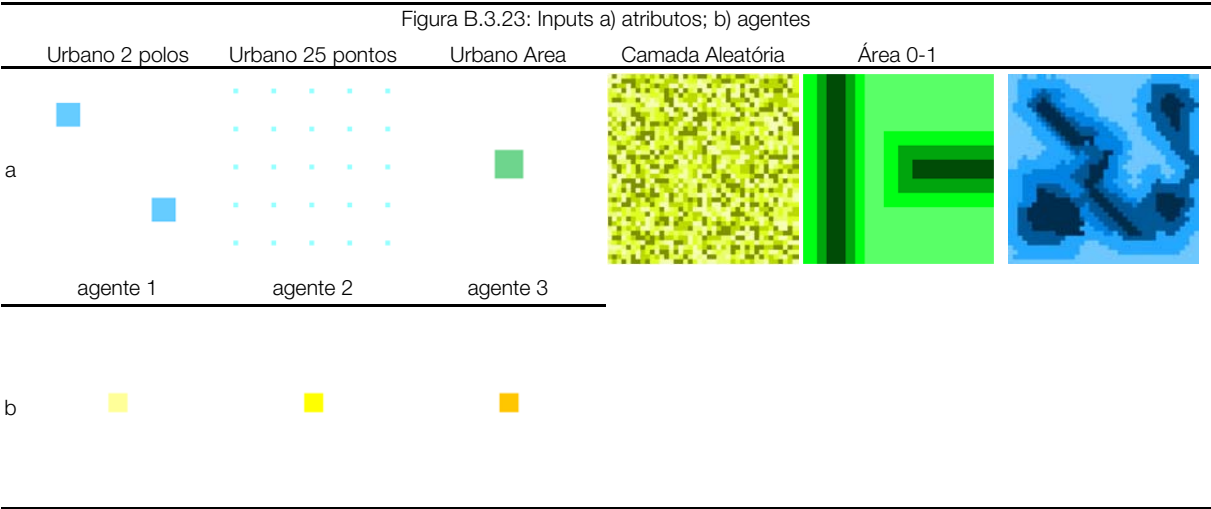
3.3 AJUSTE ENTRE OPORTUNIDADE DEVIDO AOS ATRIBUTOS E À ACESSIBILIDADE

Objetivo: ajustar a aplicação de pesos aos atributos de forma que as dinâmicas de acessibilidade sejam importantes nas matrizes de oportunidade, evitando o determinismo e a estática.

Método: verificar o ajuste necessário para o peso de acessibilidade para os agentes de forma a permitir que suas dinâmicas tenham efeito em conjunto com os atributos estáticos. Testar-se-ão variações dos pesos para acessibilidade em configuração simples com um atributo atrator e uma resistência. Neste caso, a distribuição espacial dos agentes não tem sua influência avaliada. A distribuição das atrações urbanas é a de dois polos enquanto as resistências estão na camada desigual (bacias).

- Parâmetros de oportunidade para acessibilidade variam entre os agentes, e permanecem constantes (em 0,6);
- Parâmetros de oportunidade para acessibilidade variam entre os agentes com maior distância de 1 (9, 6 e 3), e permanecem constantes; (em 1,0);
- Parâmetros de oportunidade para acessibilidade variam entre agentes com pouca distância (7, 6 e 5);
- Parâmetros de oportunidade para acessibilidade são constantes (6), mas número de atributos incluídos muda. São inseridos os atributos “pontos” e “quadra”.

3.3.1 Parâmetro de oportunidade da acessibilidade varia de 1 a 3



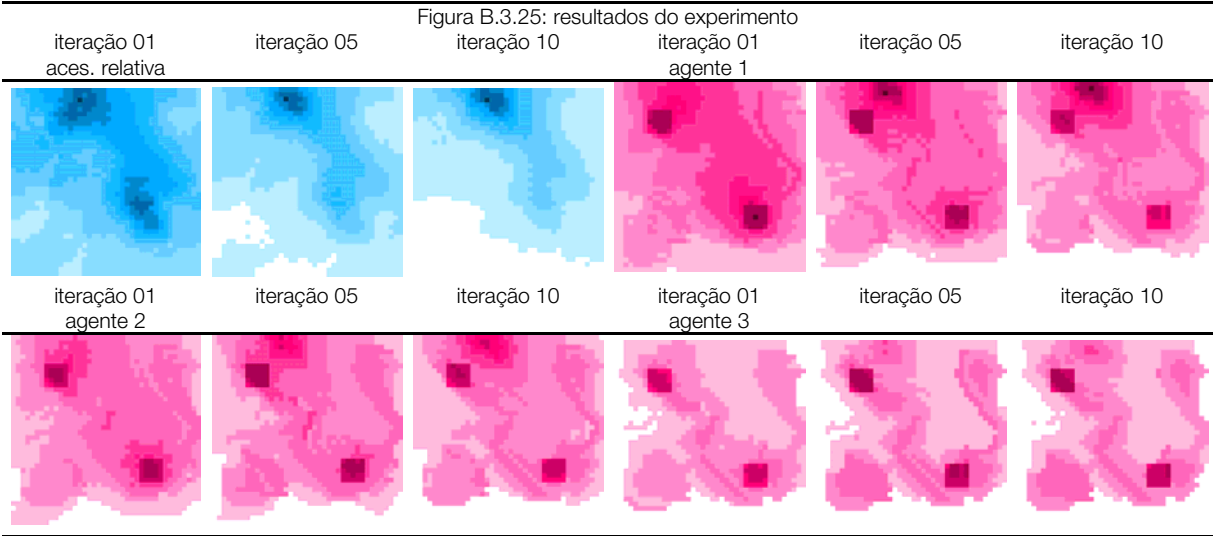
Fonte: do autor.

Tabela B.3.21: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim
bacia0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.22: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
bacia0-1.w	1	1	1
par.w	1	1	1
ac.w	3	2	1
av	0,6	0,6	0,6

Observações:

- a) A influência visual dos atributos estáticos nos resultados diminui drasticamente com o aumento do peso para a acessibilidade (agentes “média” e “baixa”);
- b) Para o agente “baixa”, os picos de oportunidade ocorrem na sobreposição dos valores mais altos de acessibilidade particular com o atributo “par”;
- c) Ainda assim, nas iterações finais quando a acessibilidade relativa migrou para a região ao topo e à esquerda é que o atributo “par” desponta na região inferior e a direita; como um pico isolado de altas oportunidades;
- d) Mesmo com duas vezes maior importância para o agente “média” a acessibilidade ainda não consegue determinar as oportunidades, ficando os picos mais altos de oportunidade para as células com o atributo “par”.



Fonte: do autor.

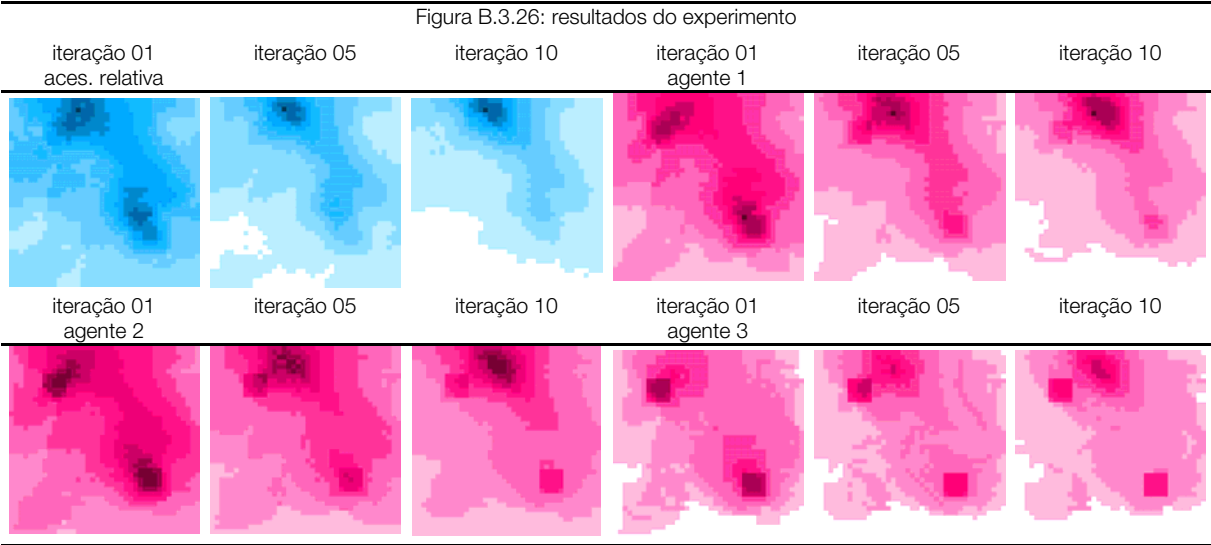
3.3.2 Parâmetro de oportunidade da acessibilidade varia de 3 a 9

Tabela B.3.23: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim
bacia0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.24: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
bacia0-1.w	1	1	1
par.w	1	1	1
ac.w	9	6	3
av	1	1	1

Observações:

- a) Percebe-se que para o agente “baixa” a influência dos atributos estáticos já começa a ser relativizada e se estabelece um controle da oportunidade dos picos mais altos dos resultados;
- b) No outro extremo, o agente “alta” ainda apresenta padrão de forte dependência dos atributos estáticos para seus picos mais altos. Os valores de oportunidade médios a altos são influenciados pela acessibilidade de forma mais determinante, mas apenas na última iteração é que há um controle da acessibilidade sobre as oportunidades mais altas;
- c) Na escala intermediária, o agente “média” apresenta controle bastante forte da **acessibilidade** nas suas oportunidades, mantendo os resultados mais altos para as células carregadas com este atributo. O atributo “par” apresenta influência, mas ele não determina os picos, mas sim eleva as células em que estão presentes em relação a sua vizinhança imediata.



Fonte: do autor.

3.3.3 Parâmetro de oportunidade da acessibilidade varia de 5 a 7

Tabela B.3.25: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

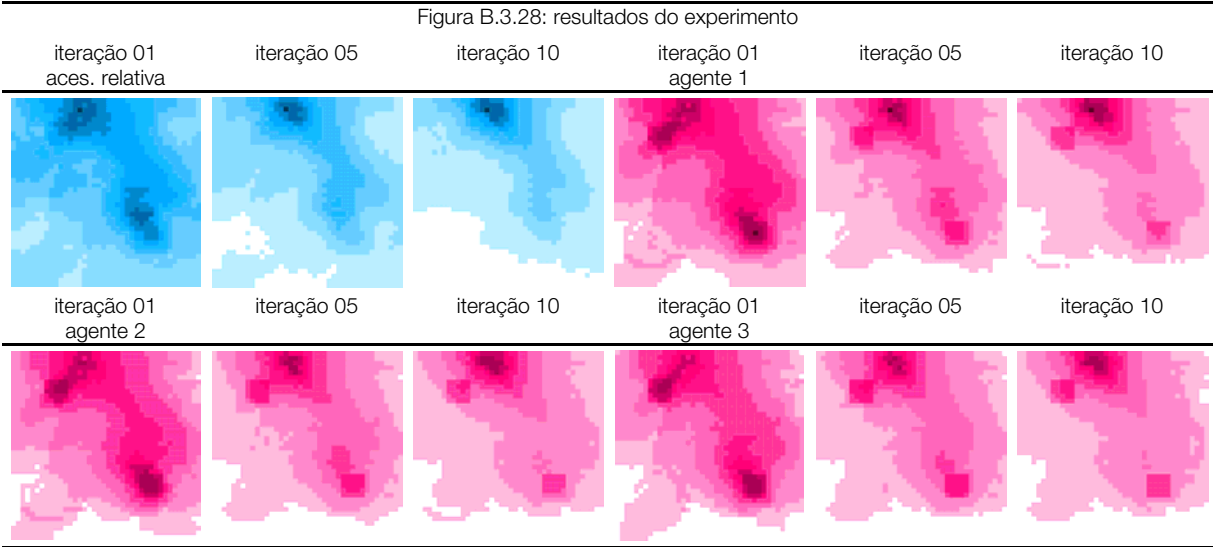
atributo	peso	behaviour	mutable?
par	1	attraction	sim
bacia0-1	1	resistance	sim

Tabela B.3.26: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
bacia0-1.W	1	1	1
par.w	1	1	1
ac.w	7	6	5
av	1	1	1

Observações:

- a) Nessa gama de valores, é possível notar que para todos os agentes os picos de oportunidade são em grande parte determinados pela acessibilidade relativa;
- b) O atributo “par” participa dos valores altos, mas secundários aos picos;
- c) Ele é importante em todas as iterações iniciais, mas já nas intermediárias passa a participar dos resultados intermediários apenas;
- d) Apesar de não haver diferenças marcantes entre os agentes, percebe-se proporção direta no “controle” exercido pela acessibilidade. No agente “baixa”, o atributo “par” passa a participar dos valores médios, enquanto no agente “alta” ele ainda está nos valores altos;



Fonte: do autor.

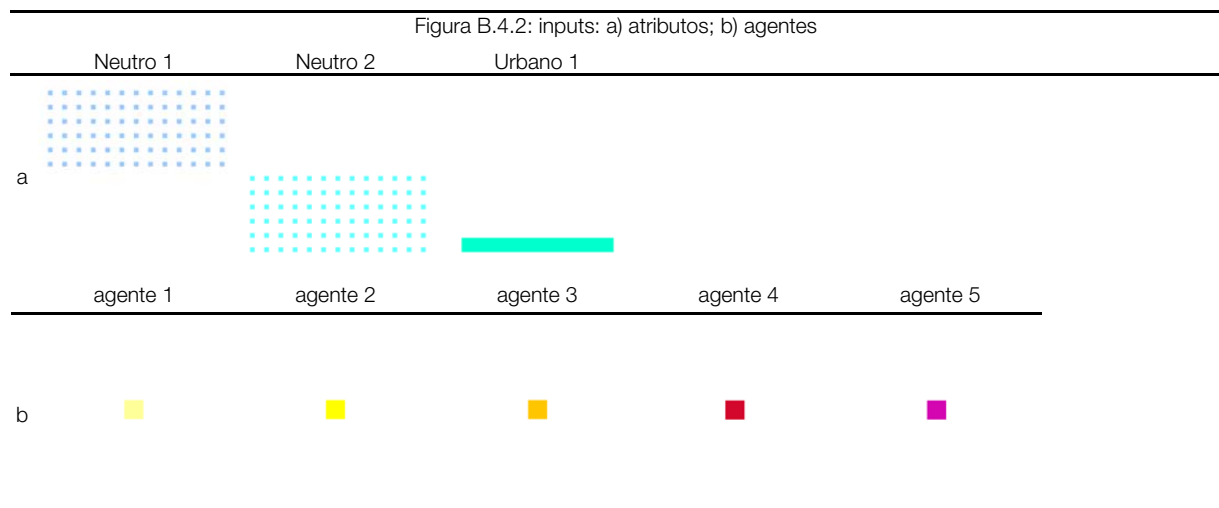
4 TESTES RELATIVOS À HETEROGENEIDADE

A bateria de testes seguintes busca verificar o impacto da heterogeneidade na composição de modelo baseado em lógicas de agentes.

A hipótese inicial é de que, em processos de urbanização, a alocação populacional varia de acordo com oportunidades disponíveis para cada domicílio. Essa hipótese será testada em modelos baseados em agentes em ambiente celular de forma a determinar os objetivos a seguir.

Objetivos metodológicos:

- verificar se a heterogeneidade da parametrização dos pesos dos atributos em tem influência nos resultados finais;
- verificar a sensibilidade do modelo em reproduzir variações entre os parâmetros para agentes:
- muito contrastantes (variações bruscas e/ou com grande diferença);
- pouco contrastantes (mudanças sutis ou proximidade entre os valores atribuídos aos pesos);
- verificar se a combinação dos pesos dos atributos (pouco dinâmicos) ao peso da medida de acessibilidade (altamente dinâmica) impacta os resultados;



Fonte: do autor.

4.1 VERIFICAÇÕES INICIAIS SOBRE A PRESENÇA DE ATRIBUTOS E ACESSIBILIDADE

Objetivos:

Verificar se a inclusão de 2 atributos que não participam do processo de crescimento urbano são capturados pelo modelo;

Método:

- Incluir 3 atributos abstratos (Neutro 1, Neutro 2 e Urbano 1) e 2 classes de agentes (Agente 1 e Agente 2) em ambiente abstrato;
- Atribuir pesos muito variados entre os agentes para os atributos, comparando os resultados obtidos para cada agente;
- Omitir a acessibilidade da parametrização dos agentes, de modo a verificar se sua ausência impacta os resultados;

- d) Posteriormente, incluir a acessibilidade e mais uma classe de agentes (Agente 3) de forma a verificar o impacto da acessibilidade nos resultados.

4.1.1 atributos contrastantes sem acessibilidade

Tabela B.4.1: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

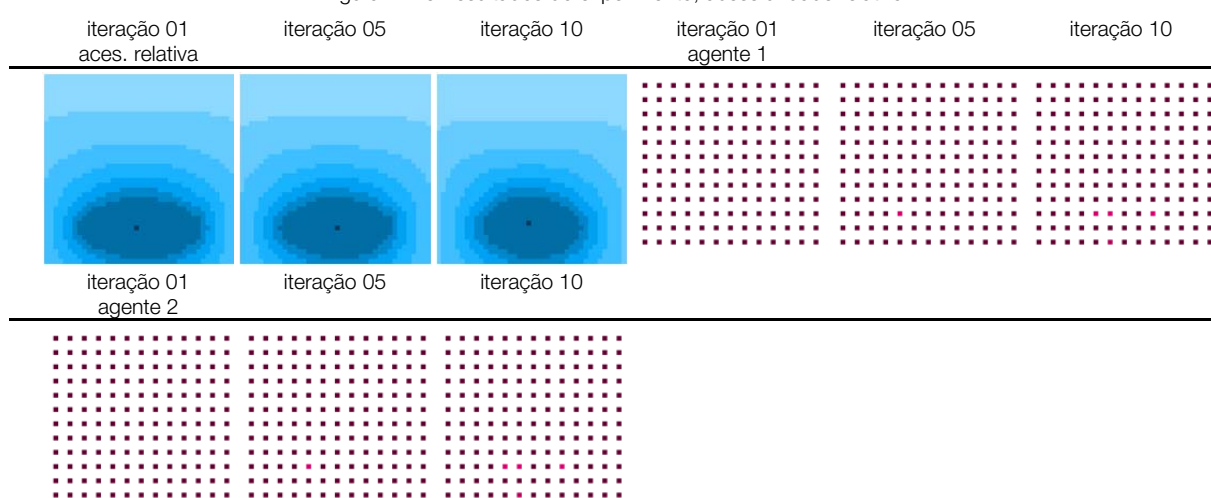
Tabela B.4.2: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2
neutro1	81	1
neutro2	81	1
urbano1	0	0
ac.W	0	0
av	0	0

Observações:

- As oportunidades absolutas são muito diferentes para os agentes, mas as oportunidades relativas são idênticas, uma vez que os atributos são os mesmos e os parâmetros aplicados entre os atributos são também idênticos;
- Não há influência da acessibilidade ou do atributo “urbano”, uma vez que para os agentes eles têm peso zero.

Figura B.4.6: resultados do experimento, acessibilidade relativa



Fonte: do autor.

4.1.2 atributos contrastantes, com acessibilidade

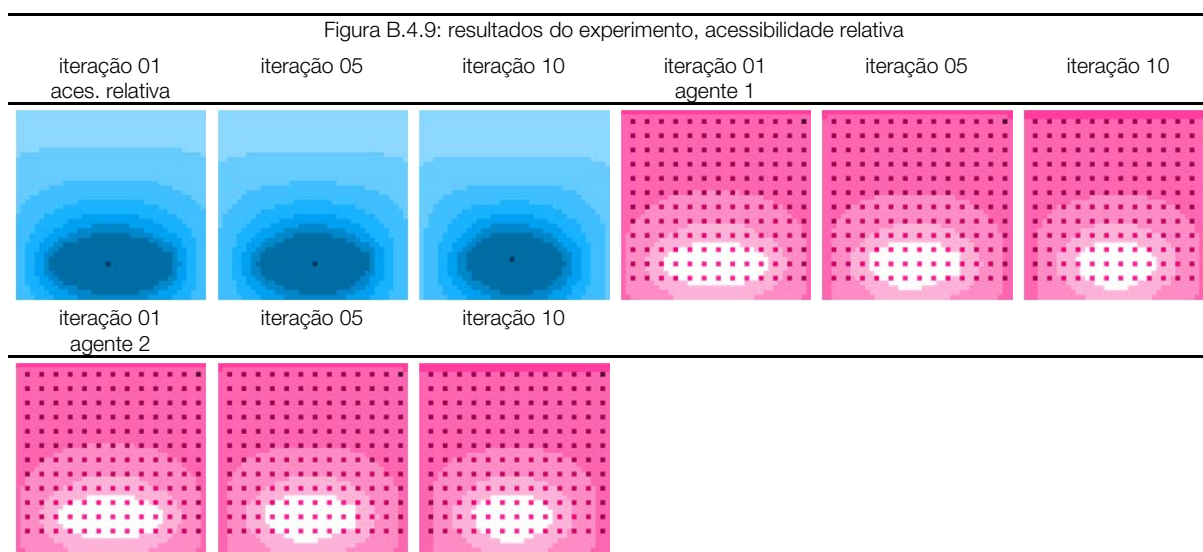
Tabela B.4.5: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

Tabela B.4.6: parametrização dos agentes		
parâmetro	agente 1	agente 2
neutro1	81	1
neutro2	81	1
urbano1	0	0
ac.W	81	1
av	0	0

Observações:

- Como no caso anterior, ao colocar, para cada agente, parâmetros iguais entre os atributos, obtêm-se homogeneidade da oportunidade relativa e grande heterogeneidade da oportunidade absoluta;
- Os padrões espaciais, no entanto, são idênticos.



Fonte: do autor.

4.1.3 atributos contrastantes, inversos, com acessibilidade

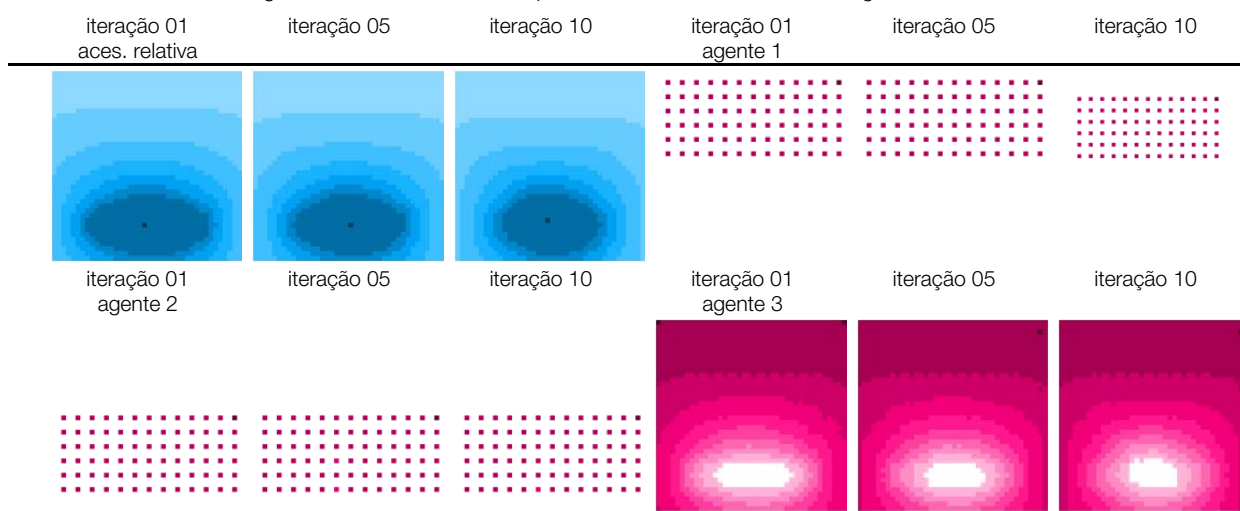
Tabela B.4.7: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

Tabela B.4.8: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
neutro1	81	1	1
neutro2	1	81	1
urbano1	0	0	0
ac.W	1	1	81
av	0	0	0

Observações:

- A inserção da acessibilidade no conjunto somente é percebida quando recebe peso equivalente aos demais;
- O peso de 81 para qualquer dos atributos, assim como para a acessibilidade, faz com que este atributo passe a dominar a oportunidade do agente;

Figura B.4.12: resultados do experimento, acessibilidade relativa, agentes 1, 2 e 3



Fonte: do autor.

4.2 VARIAÇÕES PROGRESSIVAS DA DIFERENÇA ENTRE PESOS

Objetivos:

- Verificar se a diferenciação entre os atributos é capturada pelo modelo;
- Verificar se a acessibilidade é capturada e em que intensidade isso ocorre em comparação com os demais atributos;

Método:

- Incluir atributos abstratos e até 5 tipos de agentes em ambiente abstrato;
- Incluir atributos ser claramente distintos entre si, sem sobreposições de modo a permitir a comparação sem margens de dúvida quanto a sua presença nos resultados;
- Parametrizar com variações decrescentes de forma a perceber a sensibilidade do modelo, especialmente nos seus outputs visuais;
- Variar os parâmetros de oportunidade entre os agentes para um mesmo atributo, denominado “ Utilizar como controle a camada de acessibilidade e;

4.2.1 atributos com contraste variado, com acessibilidade

Tabela B.4.9: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

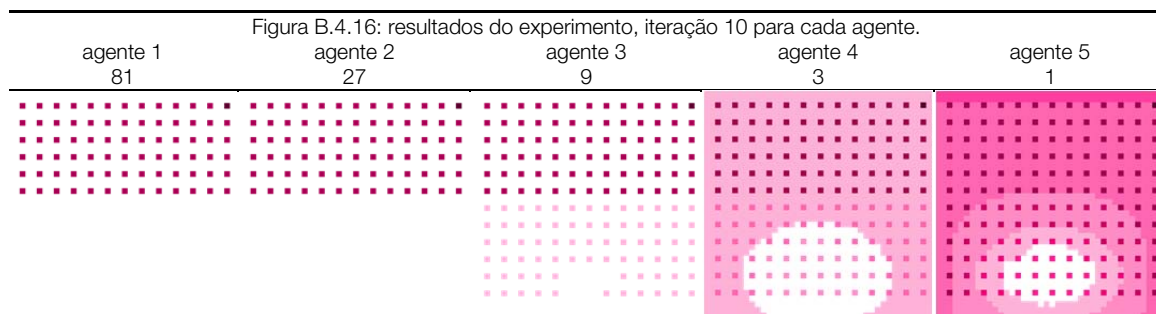
Tabela B.4.10: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3	agente 4	agente 5
neutro1	81	27	9	3	1
neutro2	1	1	1	1	1
urbano1	0	0	0	0	0
ac.W	1	1	1	1	1
av	0	0	0	0	0

Observações:

- A atribuição de pesos decrescentes para o atributo “neutro 1” permite constatar como os demais pesos passam a ter influência sobre as oportunidades;

- b) A Figura B.4.16 demonstra como, na última iteração de cada agente, variam as oportunidades de acordo com os parâmetros elencados;
- c) Os fatores acima de 10 acabaram por dominar as oportunidades, enquanto pode-se ver que, quanto mais próximo de 1, mais equilibrados ficam os resultados entre os atributos.



Fonte: do autor.

4.2.2 atributos com contraste variado suavemente, com acessibilidade

Tabela B.4.13: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

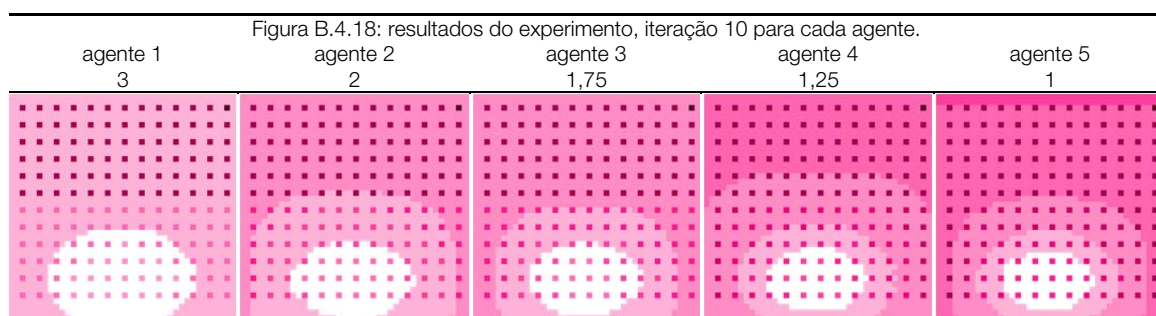
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

Tabela B.4.14: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3	agente 4	agente 5
neutro1	3	2	1,75	1,25	1
neutro2	1	1	1	1	1
urbano1	0	0	0	0	0
ac.W	1	1	1	1	1
av	0	0	0	0	0

Observações:

- a) As variações menores ainda foram capturadas pelo modelo;
- b) Mesmo diferenças de 0,25 puderam ser percebidas, como ocorre entre os agentes 4 e 5.



Fonte: do autor.

4.2.3 atributos com contraste variado muito suavemente, com acessibilidade

Tabela B.4.15: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro1	0	attraction	sim
neutro2	0	attraction	sim
urbano1	1	attraction	sim

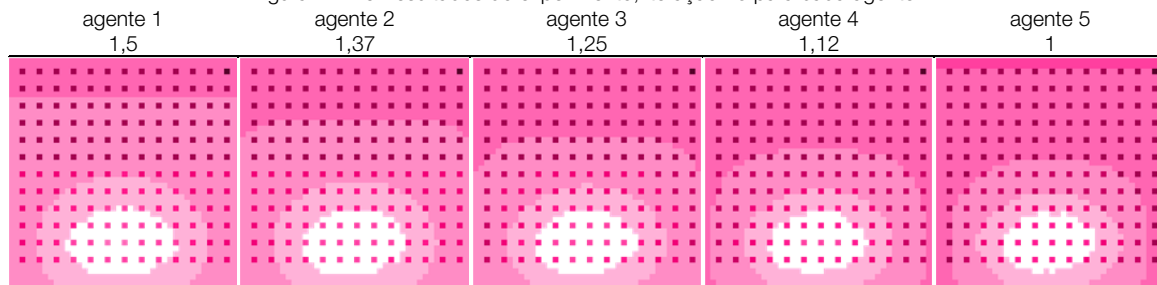
Tabela B.4.16: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3	agente 4	agente 5
neutro1	1,5	1,37	1,25	1,12	1
neutro2	1	1	1	1	1
urbano1	0	0	0	0	0
ac.W	1	1	1	1	1
av	0	0	0	0	0

Observações:

- Mesmo as variações diminutas da parametrização podem ser percebidas;
- A diferença de 0,12 já não é visualmente aparente, mas é capturada pelo modelo (apresentando diferenças de até 0,014 na oportunidade relativa entre os agentes 4 e 5).

Figura B.4.19: resultados do experimento, iteração 10 para cada agente.

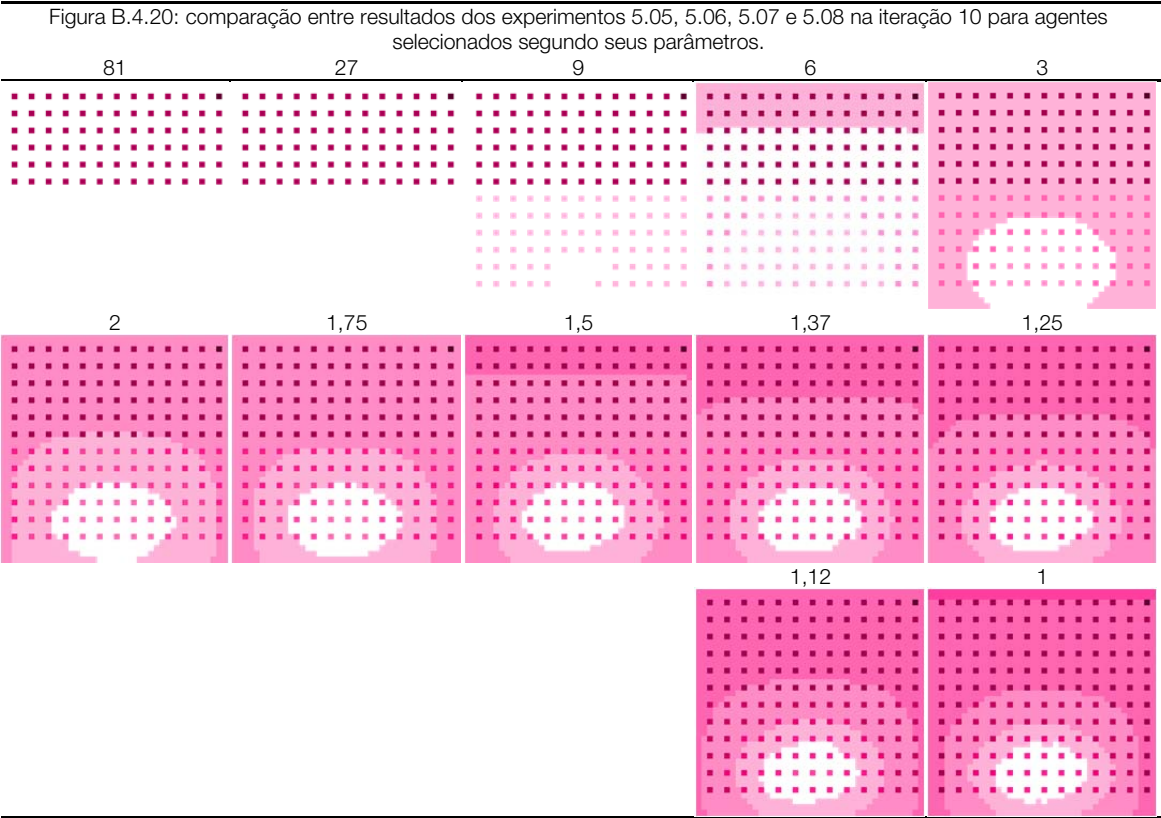


Fonte: do autor.

4.2.4 comparação entre os experimentos da série 5.2

Observações:

- Percebe-se claramente a influência mais variada para a parametrização mais homogênea (mais próxima de 1, que é o peso atribuído aos demais atributos);
- O atributo “neutro 2” somente pode ser visto com o peso de 9 para o atributo “neutro 1”, com pesos superiores tanto ele, quanto a acessibilidade não são detectados visualmente;
- A acessibilidade, por sua vez, passa a apresentar relevância ao redor do peso 3 para o atributo “neutro 1”, mas já está presente para o valor de 6;
- Nota-se que a influência dos atributos é sensível, portanto, a parametrização realizada.



Fonte: do autor.

5 EXPERIMENTOS DE ALOCAÇÃO DE AGENTES

Objetivo: verificar a movimentação dos agentes nos sistemas determinadas pela copresença nas células.

Objetivos metodológicos:

- Verificar a parametrização para a alocação de populações de agentes;
- Verificar os padrões de relacionamento entre atributos seus parâmetros de oportunidade associados e a alocação;

5.1 ALOCAÇÃO SIMPLES

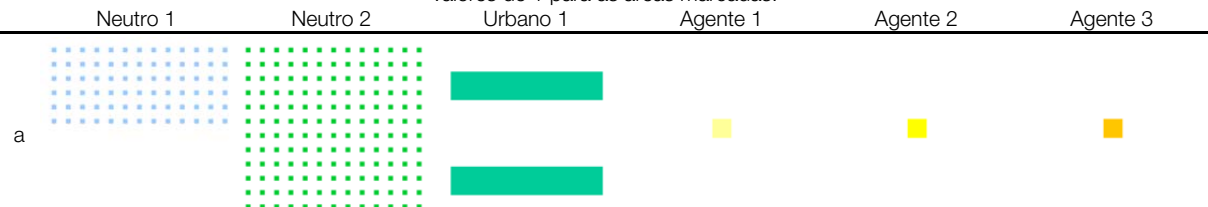
Objetivo:

- Verificar se a alocação de agentes ocorre de forma sensível aos parâmetros estabelecidos;
- Verificar o grau em que as alterações nos parâmetros são transmitidas à distribuição da população de diferentes tipos de agentes.

Método:

- Realizar simulações em ambiente abstrato com diversas composições de atributos e/ou agentes;
- Analisar os resultados buscando padrões de comportamento na alocação dos agentes.

Figura B.5.1: inputs comuns aos exercícios da série – três tipos de agentes localizados no centro do ambiente de simulação com populações de 1600 agentes (100 por célula, em 16 células).e atributos de input na série, urbano 1, natural 1 e neutro 1, com valores de 1 para as áreas marcadas.



5.1.1 um tipo de agente

Tabela B.5.1: parametrização dos atributos para crescimento urbano.			
atributo	peso	behaviour	mutable?
urbano 1	1	attraction	sim
neutro 1	0	attraction	sim
natural 1	1	resistance	sim

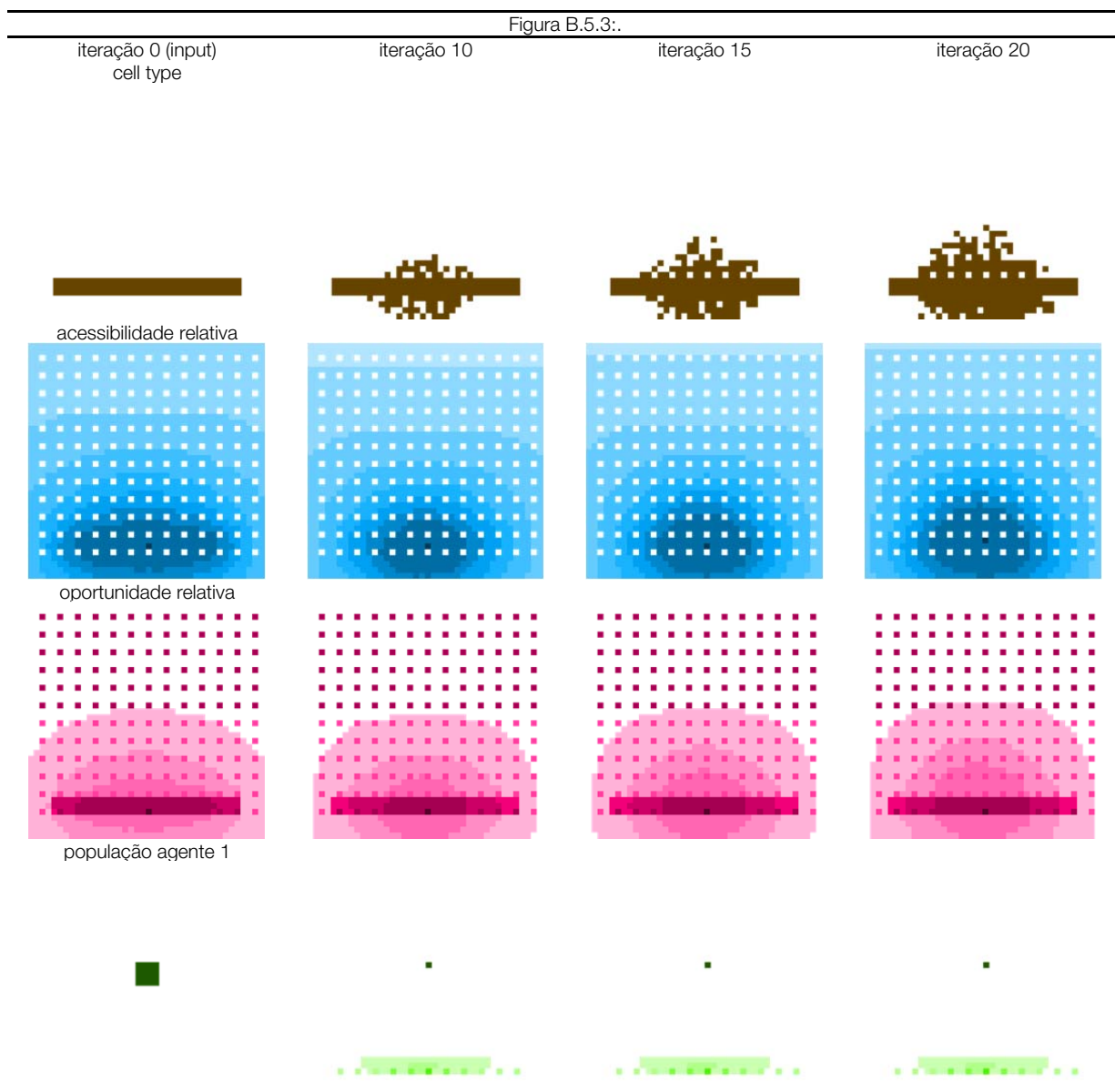
Fonte: do autor.

Tabela B.5.2: parametrização dos agentes.	
parâmetro	agente 1
população inicial	1600
s_p	1
p_p	1
d_p	40
θ_{pop}	0
Av	1
waccessibilidade	1
wurbano 1	1
wneutro 1	1
wnatural 1	1

Fonte: do autor.

Observações:

- A localização dos agentes reflete suas oportunidades, como pode ser percebido em todas as iterações (a partir da zero) na relação entre oportunidade relativa e população do Agente 1;
- O tempo não parece ser importante nesta simulação, talvez por sua simplicidade, já que desde a iteração 10 nota-se o mesmo padrão tanto na acessibilidade, oportunidade e população;
- A urbanização, representada pelo “cell type”, limita a alocação dos agentes, mas não influi nas suas oportunidades;



Fonte: do autor.

5.1.2 duas classes de agentes

Tabela B.5.3: parametrização dos atributos para crescimento urbano.			
atributo	peso	behaviour	mutable?
urbano 1	1	attraction	sim
neutro 1	0	attraction	sim
natural 1	1	resistance	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.5.4: parametrização dos agentes.		
parâmetro	agente 1	agente 2
população inicial	1600	1600
s_p	1	1
p_p	1	1
d_p	40	40
θ_{pop}	0	0
Av	1	1
wacessibilidade	1	1
wurbano 1	1	1
wneutro 1	1	1
wnatural 1	1	1

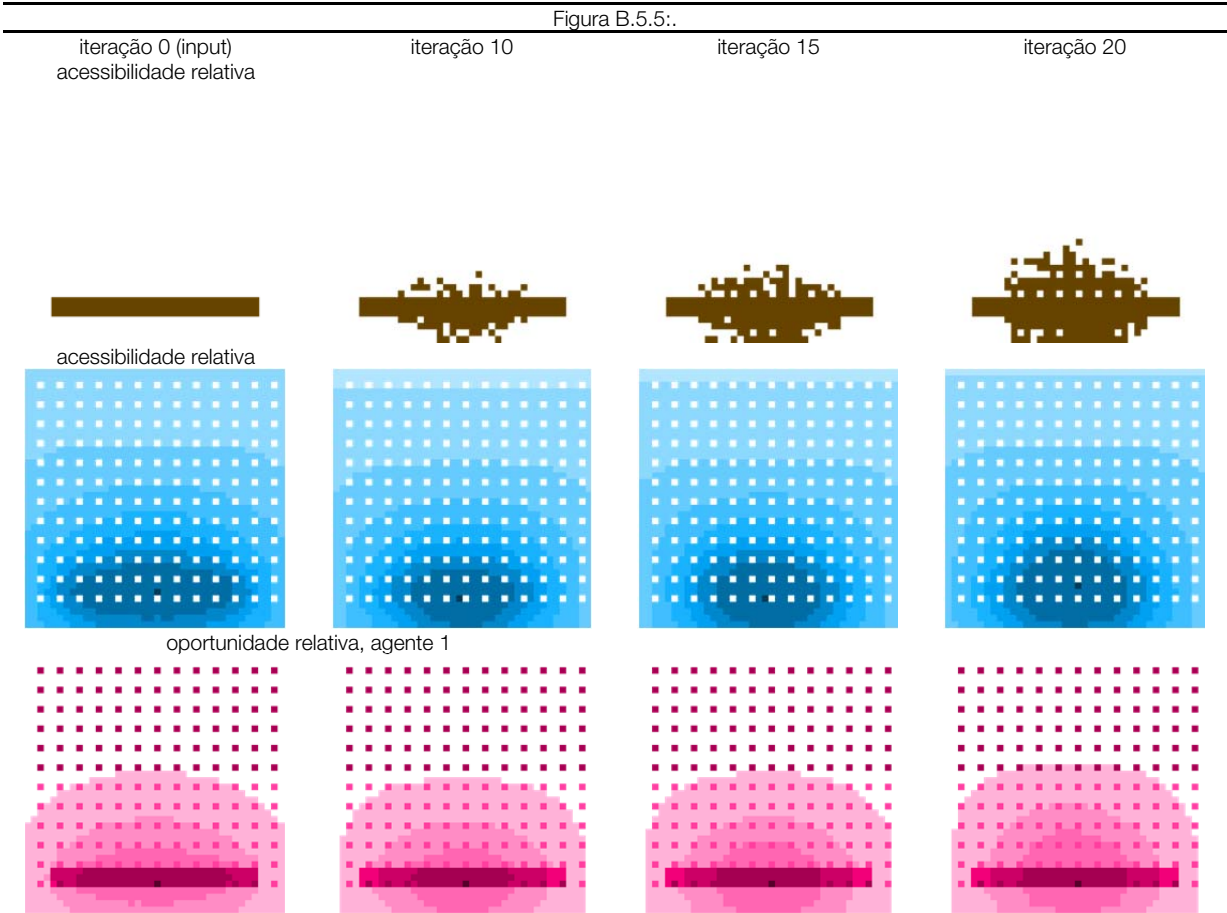
Fonte: do autor.

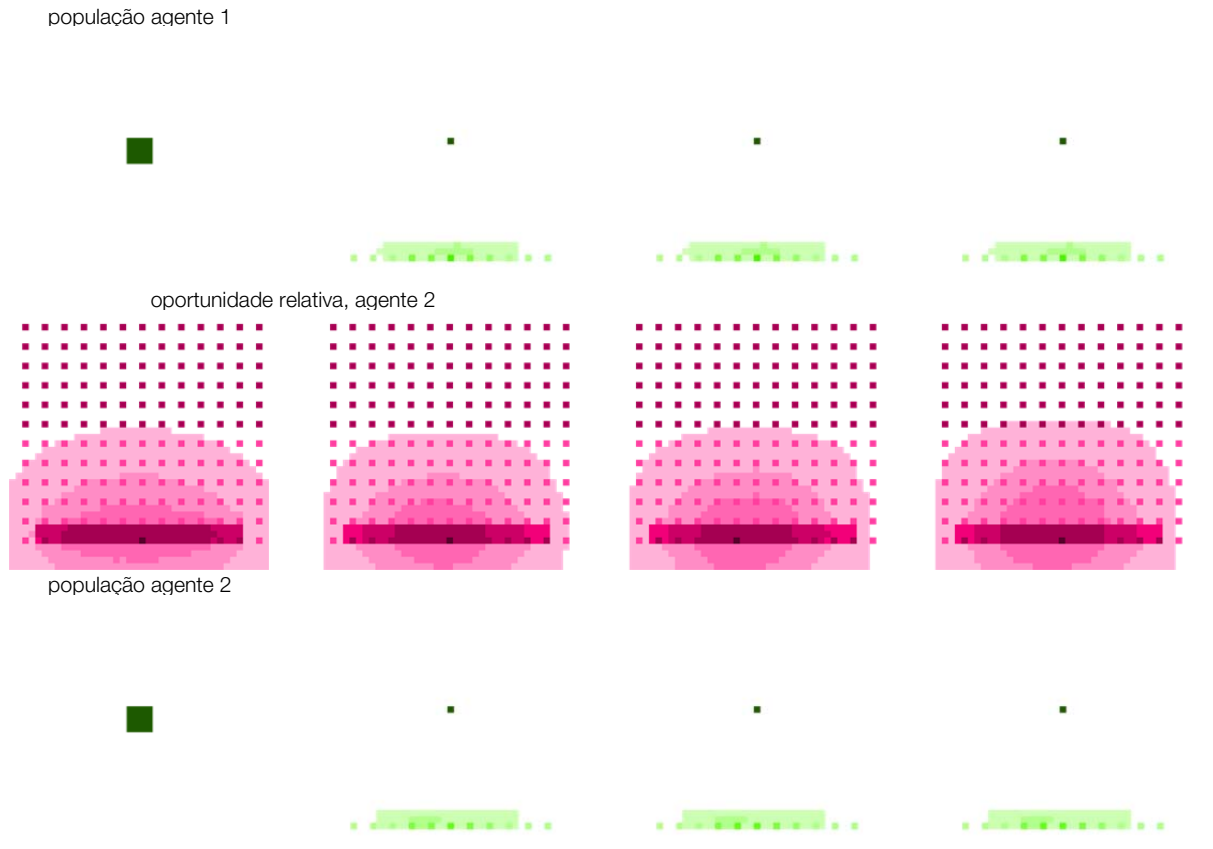
Tabela B.5.5: matriz de copresença dos agentes.		
parâmetro	agente 1	agente 2
c_p agente 1	-	1
c_p agente 2	1	-

Fonte: do autor.

Observações:

A inserção de novo tipo de agentes não impactou os resultados, que permaneceram idênticos para os dois tipos, como se espera que fosse.

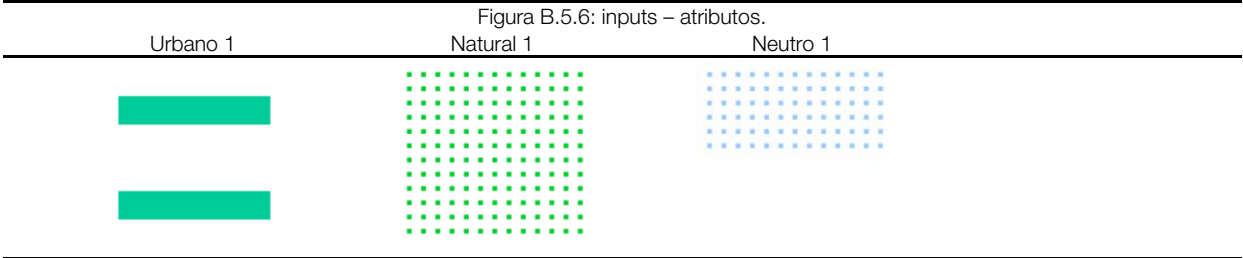




Fonte: do autor.

5.1.3 dois tipos de agentes, oportunidades variadas

Figura B.5.6: inputs – atributos.



Fonte: do autor.

Tabela B.5.6: parametrização dos atributos para crescimento urbano.

atributo	peso	behaviour	mutable?
urbano 1	1	attraction	sim
neutro 1	0	attraction	sim
natural 1	1	resistance	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.5.7: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2
população inicial	1600	1600
s_p	1	1
p_p	1	1
d_p	40	40
θ_{pop}	0	0
Av	1	1
waccessibilidade	1	0
wurbano 1	0	1
wneutro 1	1	0
wnatural 1	0	1

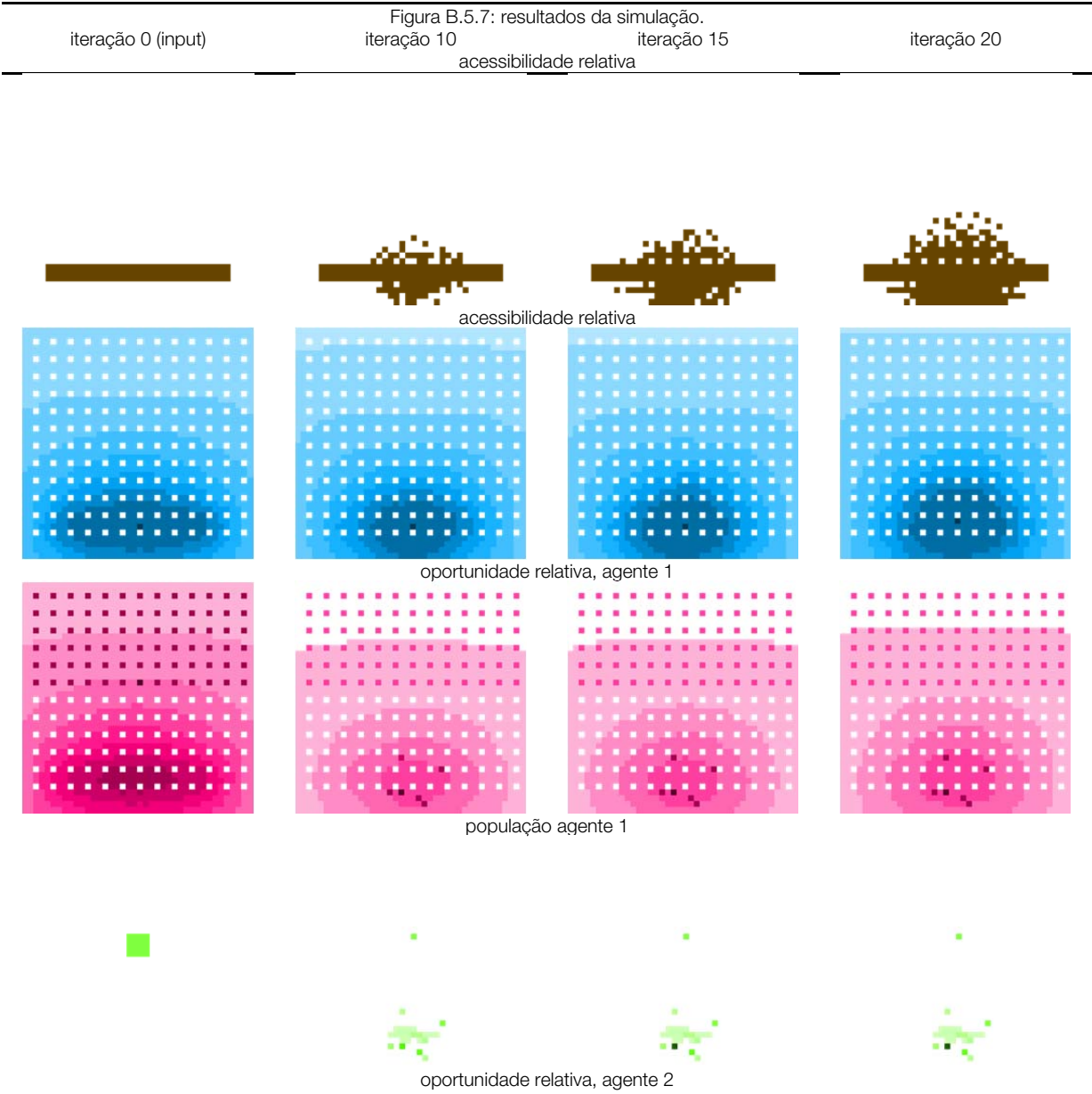
Fonte: do autor.

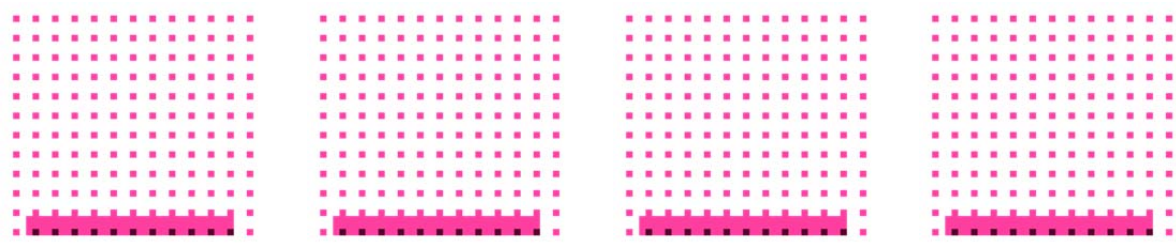
Tabela B.5.8: matriz de copresença dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
c_p agente 1	-	1	1
c_p agente 2	1	-	-
c_p agente 3	1	1	-

Fonte: do autor.

Observações:

- a) A variação na avaliação dos atributos pelos tipos de agente (representada pelo peso determinado para cada tipo, afeta a sua distribuição, sendo que esta última acompanha variações nas oportunidades,;
- b) O peso zero para a acessibilidade para o tipo de agente 2 alterou seu padrão de oportunidades de forma bastante clara: o grande número de células sem oportunidade visto para o agente 1 é reduzido e permanecem apenas as células dos atributos urbano 1 e natural;
- c) De forma análoga, o tipo de agente 1 tem oportunidade zero para as áreas do atributo natural, demonstrando sensibilidade direta;





população agente 2



6 TESTES RELATIVOS À ALOCAÇÃO DE ATRIBUTOS

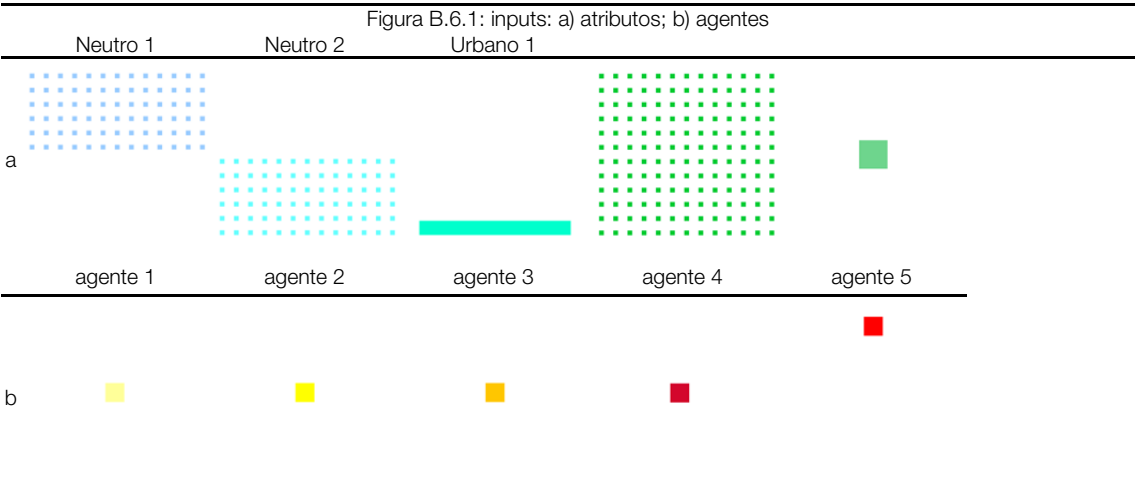
A hipótese de trabalho é que ao se localizar em um novo local, a população altera as características da urbanização encontrada, implantando suas oportunidades no novo local.

Objetivo:

- I. Verificar se há a alteração nos atributos urbanos a partir da alocação dos agentes;

Objetivos metodológicos:

Os testes terão 30 iterações, de modo a exacerbar as diferenças em relação aos inputs.



Fonte: do autor.

6.1 EXERCÍCIOS

6.1.1 Crescimento populacional e oportunidades iguais

Tabela B.7.1: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).			
atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
natural 1	0	resistance	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.7.2: parametrização dos agentes.			
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	4%	4%	4%
r_f	0	0	0
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	10	10	10
wurbano 1	0	0	0
wurbano 5	5	5	5
wneutro 1	0	0	0
wnatural 1	0	0	0

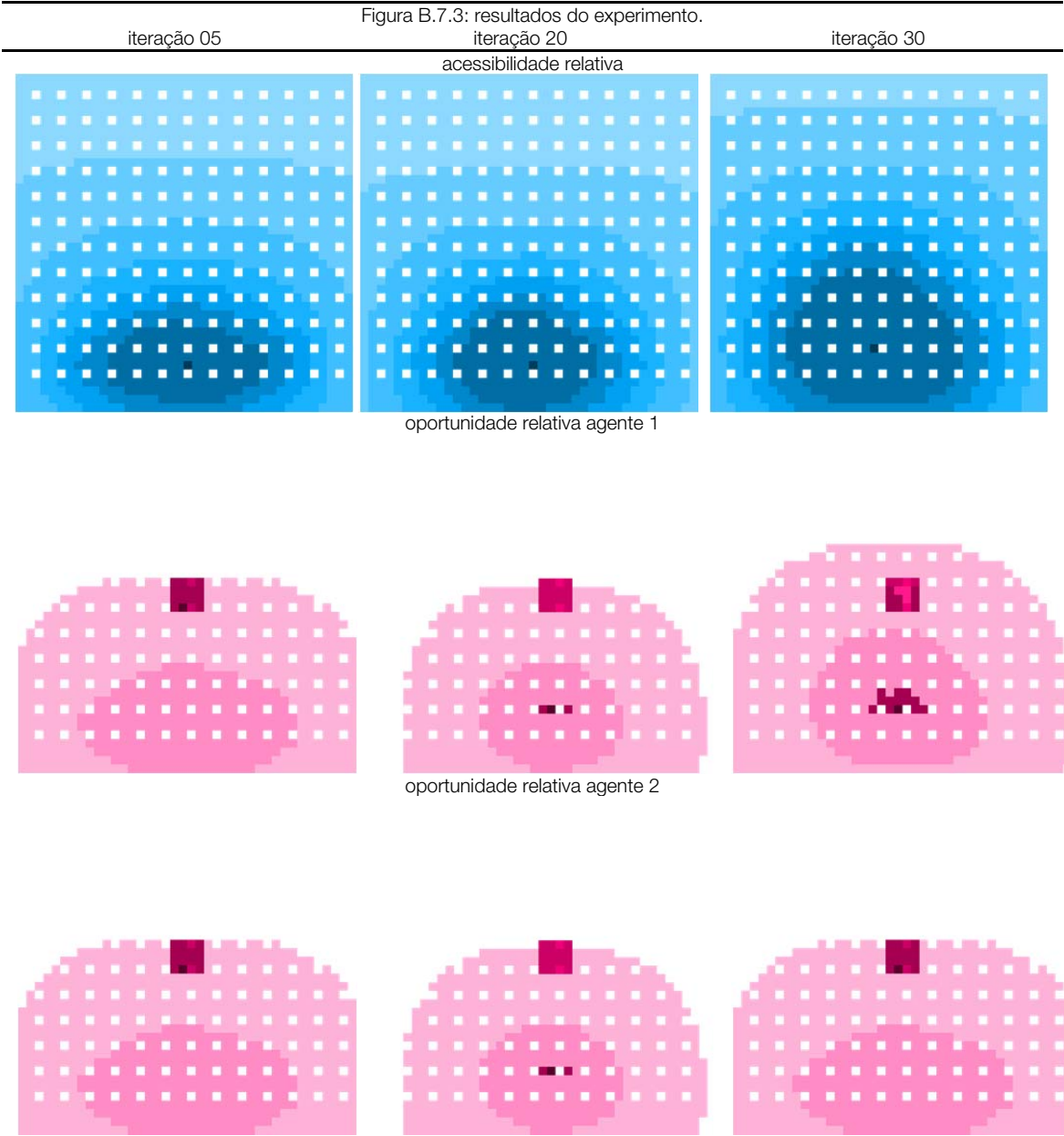
Fonte: do autor.

Tabela B.7.3: matriz de copresença dos agentes.				
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3	
$c_{p\text{agente } 1}$	-	1	1	
$c_{p\text{agente } 2}$	1	-		
$c_{p\text{agente } 3}$	1	1	-	

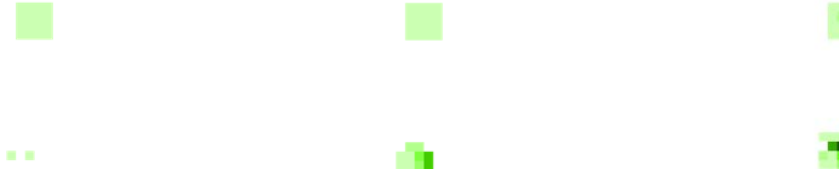
Fonte: do autor.

Observações:

- a) Todos os agentes têm oportunidades vinculadas a Acessibilidade e ao atributo Urbano 5 com parâmetros iguais; para os demais, as oportunidades são zero;
- b) O atributo Urbano 5, que tem maior vinculação aos agentes, é “transferido” das suas células de input, perdendo intensidade nelas e ganhando nas células com maior oportunidade para os agentes.



oportunidade relativa agente 3



atributo urbano 5



Fonte: do autor.

6.1.2 Crescimento populacional e oportunidades variadas para acessibilidade

Tabela B.7.3: parametrização dos atributos (para crescimento urbano).

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
natural 1	0	resistance	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.7.4: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	1%	4%	8%
r_f	0	0	0
dv_f	1	1	1
Av	1	1	1
wacessibilidade	5	10	20
wurbano 1	0	0	0
wurbano 5	5	5	5
wneutro 1	0	0	0
wnatural 1	0	0	0

Fonte: do autor.

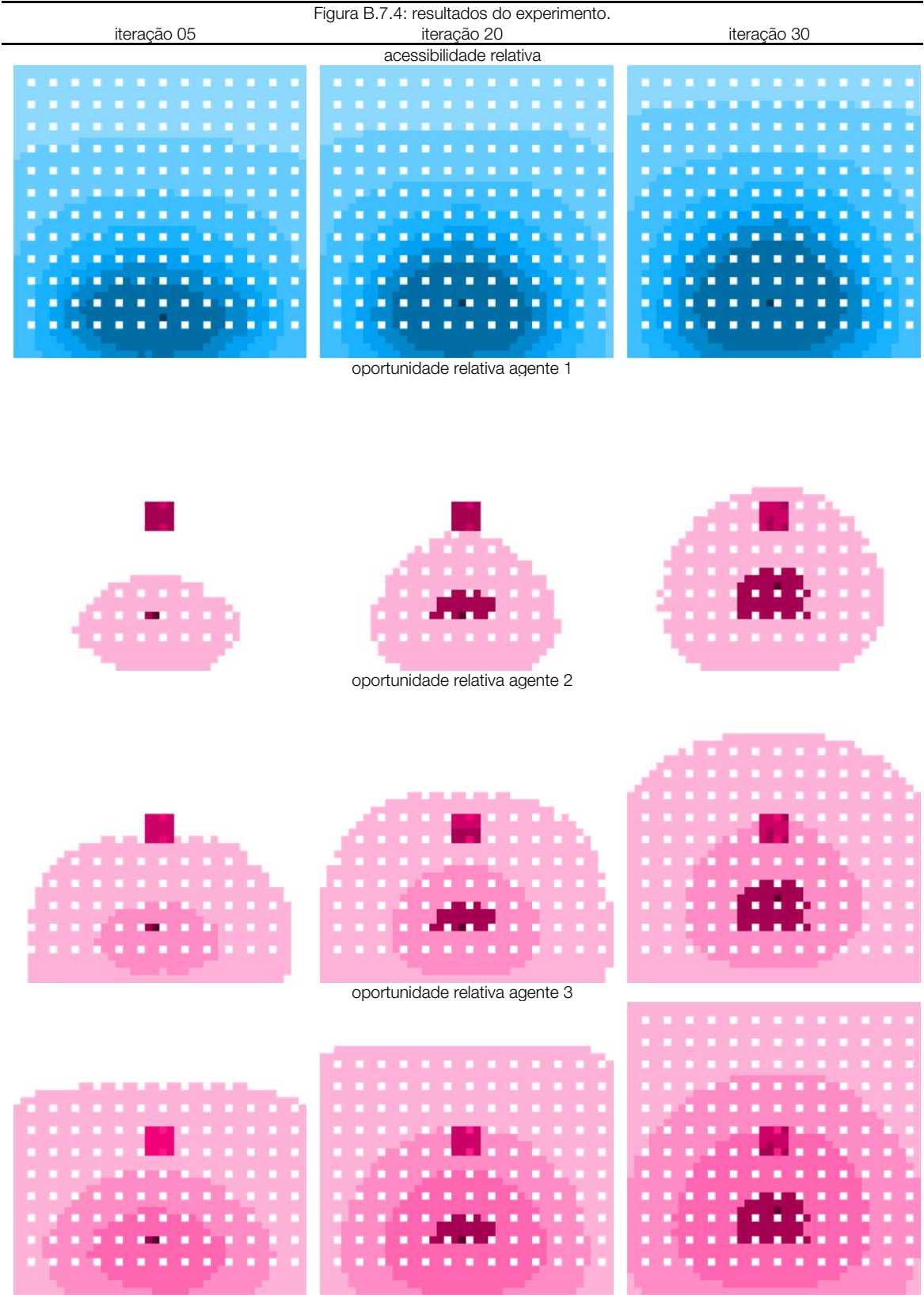
Tabela B.7.5: matriz de copresença dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
c_p agente 1	-	1	1
c_p agente 2	1	-	-
c_p agente 3	1	1	-

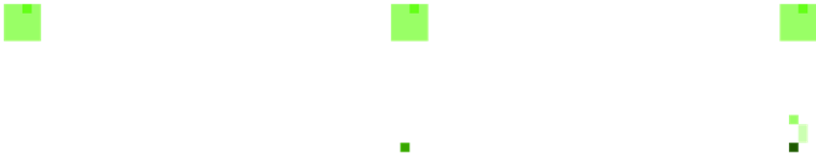
Fonte: do autor.

Observações:

- Todos os agentes têm oportunidades vinculadas a Acessibilidade e ao atributo Urbano 5, variando de forma crescente em relação ao primeiro;
- Para os demais, as oportunidades são zero;
- A transferência de população altera a distribuição do atributo Urbano 5 de forma proporcional;
- A transferência é gradativa, acompanhando a distribuição da população dos agentes.



população agente 1



população agente 2



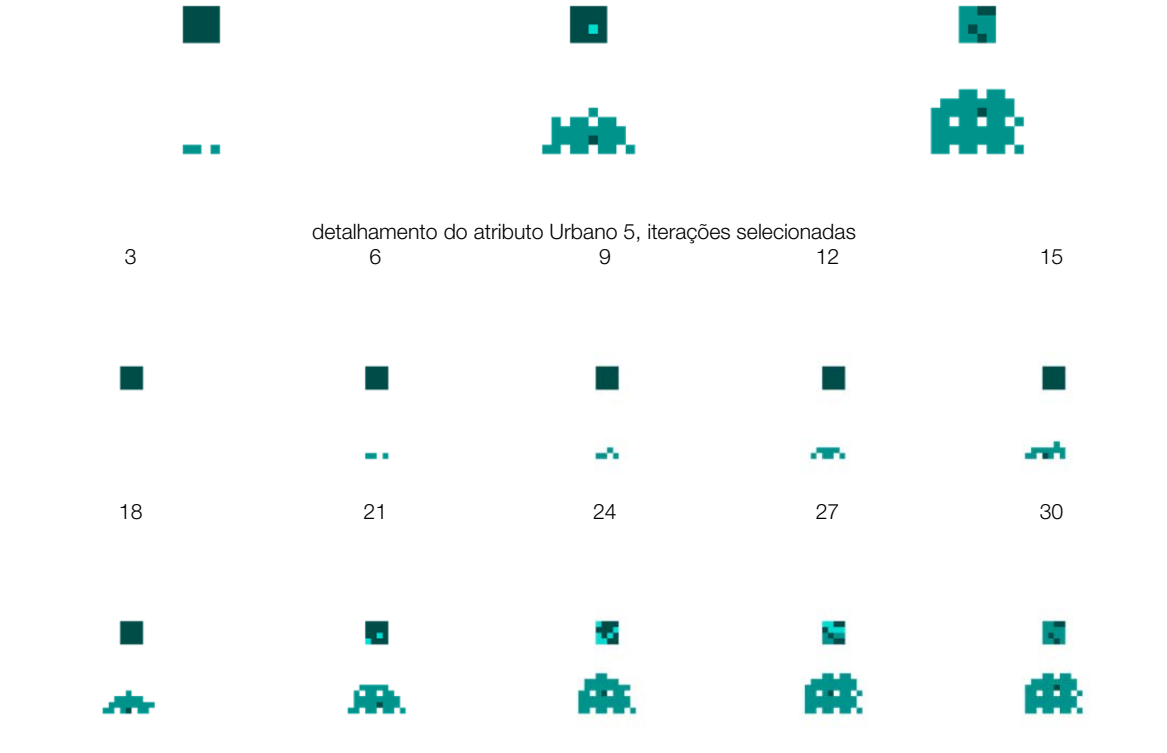
população agente 3



atributo urbano 1



atributo urbano 5



Fonte: do autor.

6.1.3 Crescimento igual, oportunidades diferentes

Tabela B.7.6: parametrização dos atributos para crescimento urbano.

atributo	peso	behaviour	mutable?
neutro 1	0	attraction	sim
natural 1	0	resistance	sim
urbano 1	1	attraction	sim
urbano 2	0	attraction	sim

Fonte: do autor.

Tabela B.7.7: parametrização dos agentes.

parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
população inicial	1600	1600	1600
s_p	1	1	1
p_p	1	1	1
d_p	40	40	40
θ_{pop}	4%	4%	4%
r_f	0	0	0
dv_f	1	1	1
wurbano 1	0	5	10
wurbano 5	10	5	0
wneutro 1	0	0	0
wnatural 1	0	0	0

Fonte: do autor.

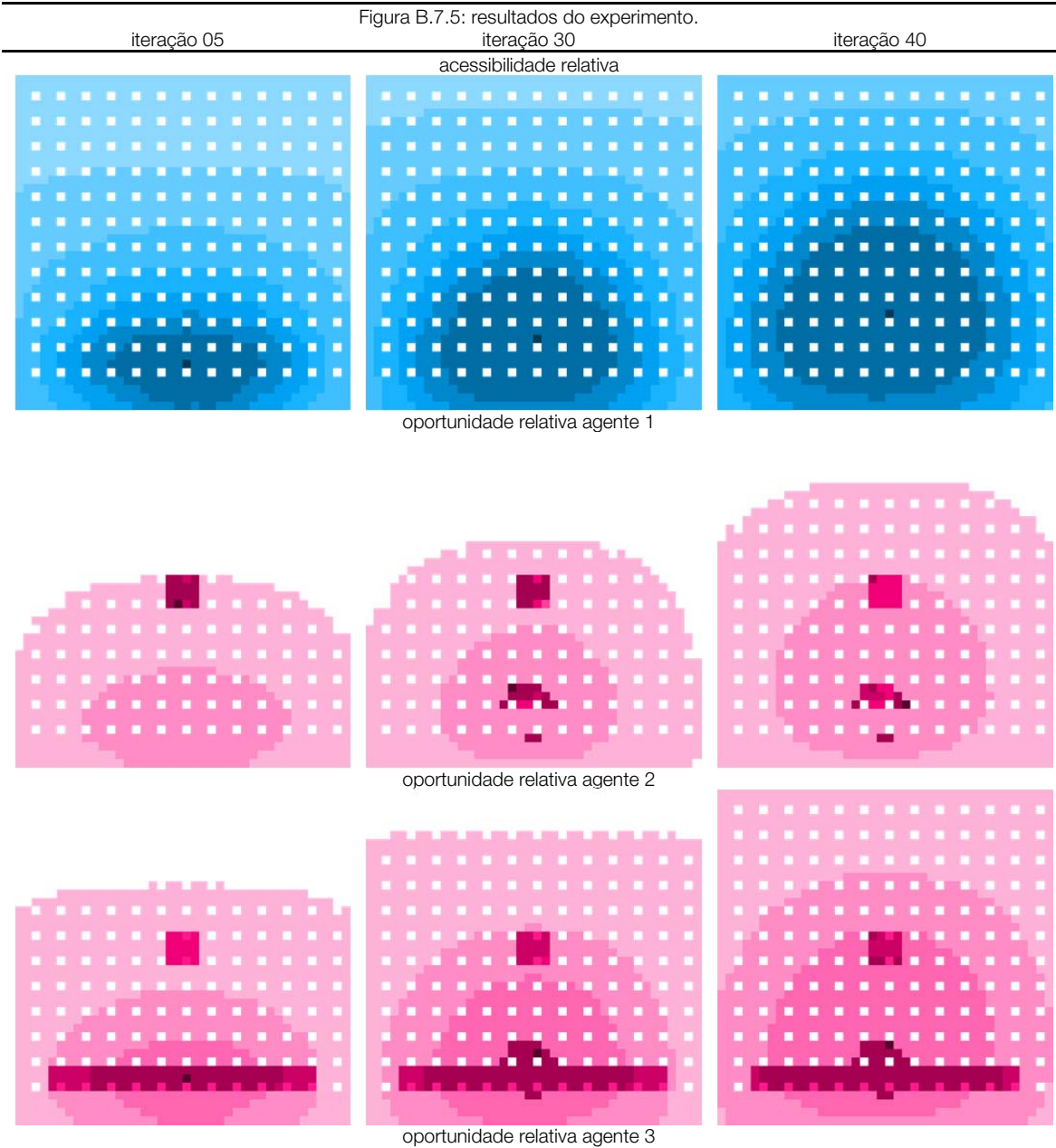
Tabela B.7.8: matriz de copresença dos agentes.

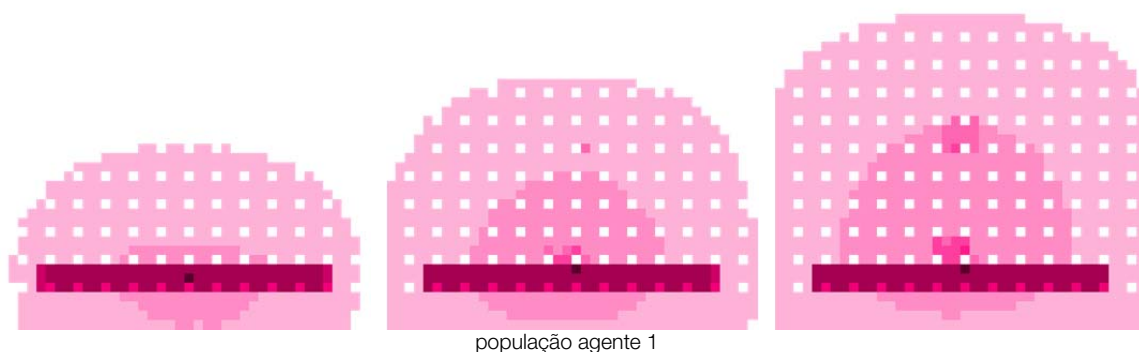
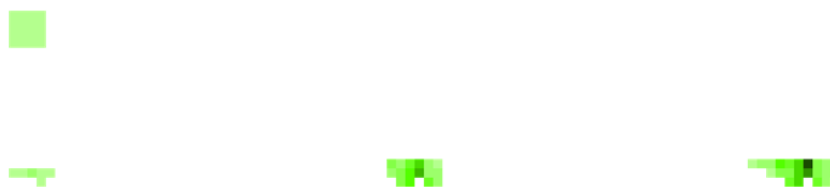
parâmetro	agente 1	agente 2	agente 3
c_p agente 1	-	1	1
c_p agente 2	1	-	-
c_p agente 3	1	1	-

Fonte: do autor.

Observações:

- a) As Oportunidades são vinculadas a Acessibilidade (de forma igual) e aos atributos Urbano 1 (variante) e Urbano 2 (variante); a Taxa de Crescimento será igual para todos os agentes;
- b) Os resultados mostram que a diferenciação entre os agentes resulta na alocação de atributos em diferentes células, de acordo com as preferências dos agentes;
- c) Os resultados tornaram-se aparentes após a iteração 20, o que levou a extensão da simulação para 40 iterações;
- d) A alocação do atributo Urbano 1 coincide com a matriz de Oportunidade Relativa do Agente 3;
- e) A alocação do atributo Urbano 5 coincide com a matriz de Oportunidade Relativa do Agente 1.

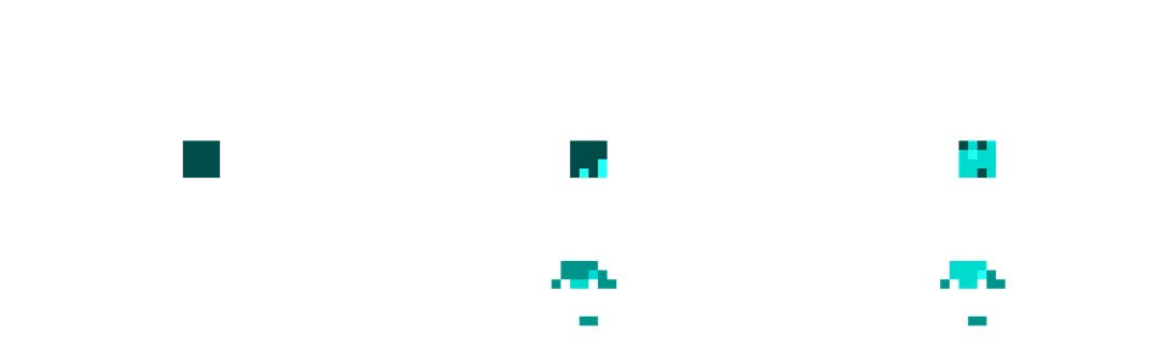




atributo urbano 1



atributo urbano 5



Fonte: do autor.

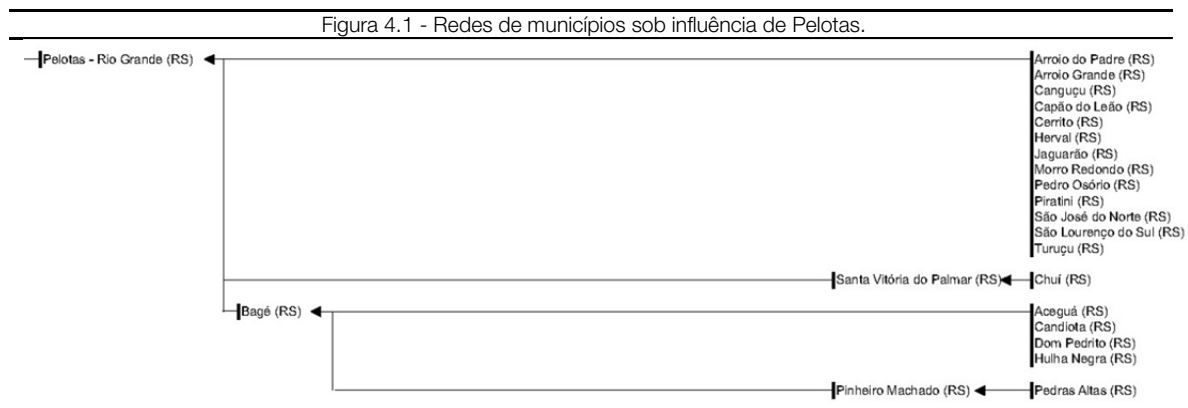
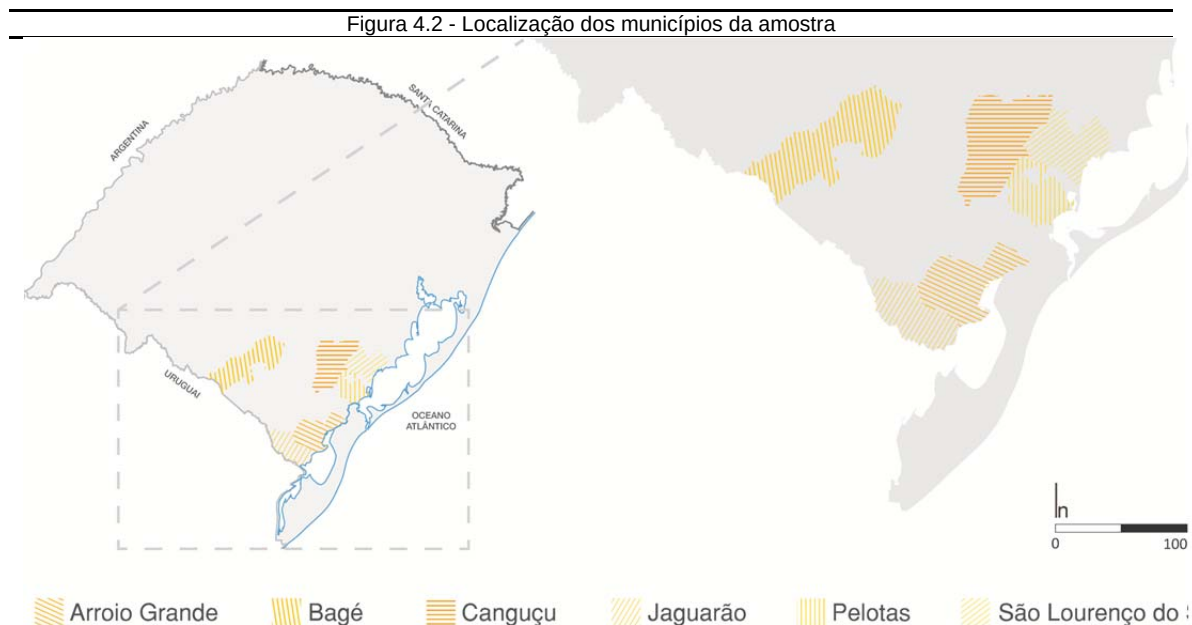
APÊNDICE C

EXPERIMENTOS EMPÍRICOS

1 EXPERIMENTO EMPÍRICO DE LOCALIZAÇÃO DE BAIXA RENDA PARA CIDADES DA FRONTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL

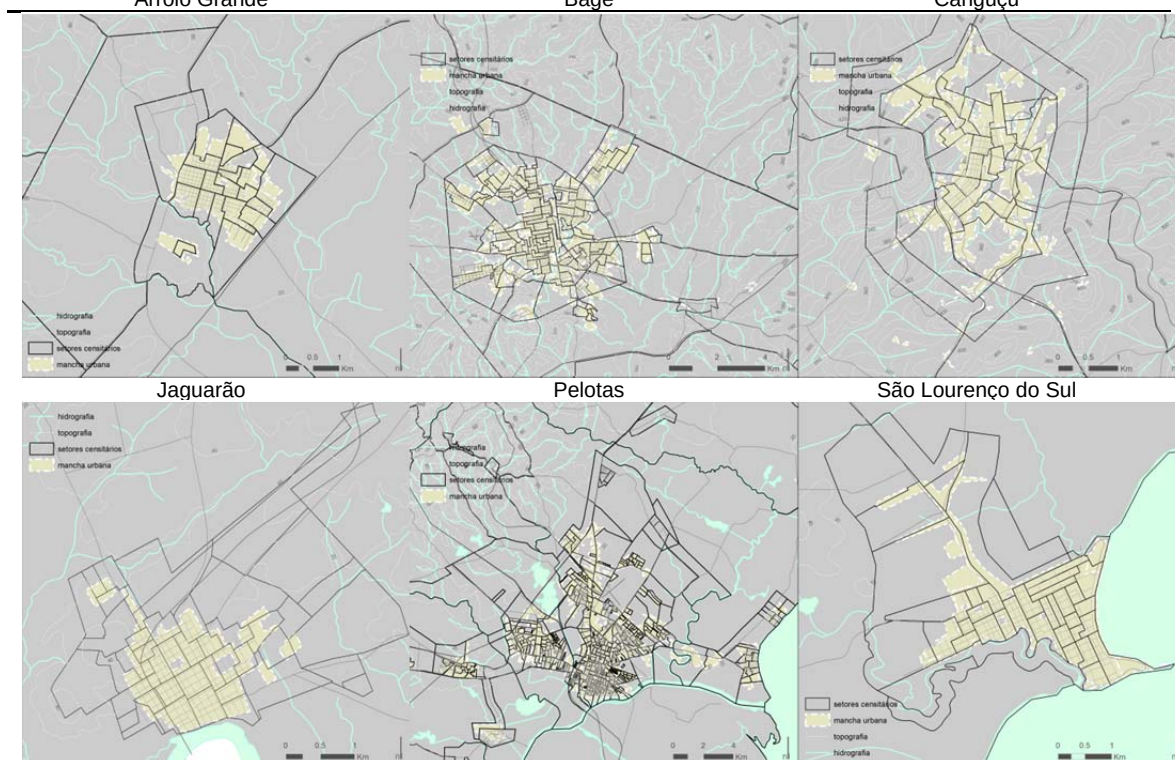
1.1 DADOS ADICIONAIS DO CONTEXTO DO EXPERIMENTO

A Figura 4.1 mostra a vinculação dos municípios à Capital Regional Pelotas, enquanto a Figura 4.2 mostra estes municípios na parcela mais ao sul do RS, com a localização mais a oeste de Bagé, junto à fronteira com o Uruguai como Jaguarão, a cidade mais ao sul do grupo e, junto à ela, encontra-se Arroio Grande. Mais ao norte destas e junto à Laguna dos Patos, um grupo formado por Pelotas, à sudeste, São Lourenço do Sul ao nordeste e Canguçu ao oeste.



A Figura 4.3 demonstra a estrutura urbana dos municípios da amostra.

Figura 4.3 - Estrutura espacial dos municípios da amostra segundo o Censo 2010



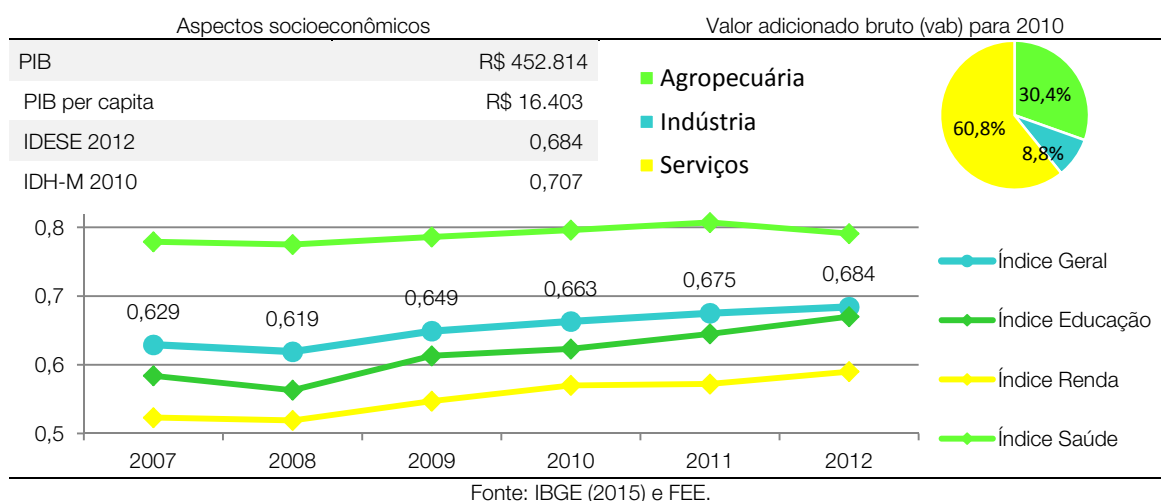
Fonte: mapas do autor, a partir de dados do Censo (IBGE, 2011a).

2 NOTAS SOBRE EXPERIMENTO PARA JAGUARÃO

2.1 CONTEXTO DO EXPERIMENTO

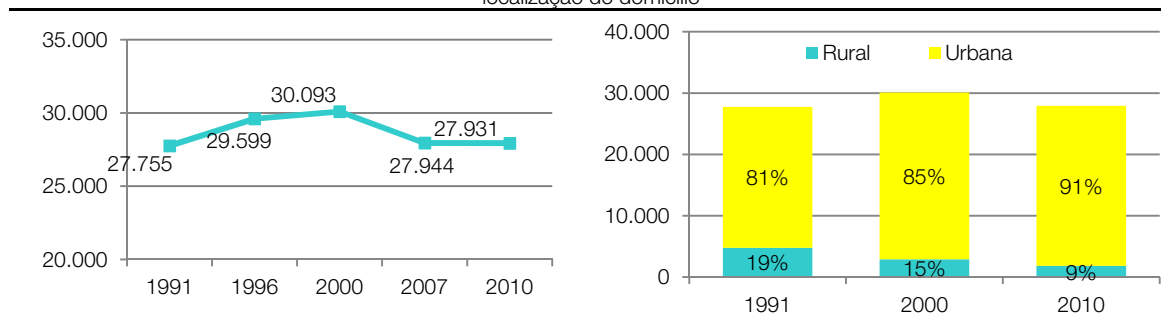
Jaguarão tem densidades populacionais bastante baixas, com 13,6 hab./km² equivalendo a 34% da densidade populacional registrada para o RS em 2010. Também apresenta PIB per capita bastante abaixo da média estadual, com R\$16.403 (70% da média e apenas 7% de Triunfo, município com maior PIB per capita). Cerca de 60% do PIB municipal vem do setor de serviços, mas parcela considerável (30%) vem da produção agropecuária. O Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDSE) para 2012 aponta condição média para o município, sendo que todos os componentes têm tido tendência de melhoria desde 2008 (Figura 4.11). O pior desempenho do índice, no entanto, se deve ao índice renda, com 0,590 (contra 0,745 para o RS).

Figura 4.11 - Aspectos socioeconômicos do município e segmentação do PIB municipal segundo valor adicionado bruto dos setores de agropecuária, indústria e serviços



As dinâmicas demográficas recentes do município merecem ser destacadas em dois aspectos, um relativo à perda de população e o segundo em relação à redistribuição da população em faixas de renda. O primeiro caso se trata de uma cidade com declínio populacional na última década, especialmente acentuado para a população rural, o que é um fenômeno reconhecido nas cidades da região desde os anos 1990 (BANDEIRA et al., 2014), como demonstra a Figura 4.12.

Figura 4.12 - Dinâmica demográfica de Jaguarão/RS: a) evolução populacional 1991 – 2010; b) evolução populacional por localização do domicílio



Fonte: do autor sobre dados dos censos de 2000 e 2010 e portal IBGE Cidades@ (IBGE, 2001, 2011a, 2015).

2.2 SOBRE OS PERFIS DE RENDA

Para a segmentação dos perfis de renda mencionados no exercício, foram utilizadas as seguintes variáveis do censo 2010 (IBGE, 2011):

- a) baixa renda: incluindo “domicílios sem renda” (variável V010), “domicílios com renda do responsável até 1/2 de salário mínimo” (V001), “domicílios com renda do responsável de 1/2 a 1 salário mínimo” (V002) e “domicílios com renda do responsável de 1 até 2 salários mínimos” (V003);
- b) renda média: “domicílios com renda do responsável de 2 a 3 salários mínimos” (V004) e “domicílios com renda do responsável de 3 a 5 salários mínimos” (V005);
- c) renda alta: “domicílios com renda do responsável de 5 a 10 salários mínimos” (V006), “domicílios com renda do responsável de 10 a 15 salários mínimos” (V007), “domicílios com renda do responsável de 15 a 20 salários mínimos” (V008) e “domicílios com renda do responsável de 20 ou mais salários mínimos” (V009);

Outro dado importante a constatar é o aumento significativo da população do estrato mais baixo de renda e da retração do estrato superior. Em grande parte trata-se de um problema relacionado aos métodos de estratificação aplicados pelos recenseamentos do IBGE, que utilizam faixas de renda com base no salário mínimo corrente do período de pesquisa, definidos em R\$151,00 para 2000 e R\$ 510,00 para 2010 (IBGE, 2011b). Surge um condicionante importante para análises baseadas em renda a partir da política de reposição salarial posta em prática pelo Governo Federal durante o período. Elas proveram ganhos do poder de compra do salário mínimo bastante superiores à inflação do período. Como referência, pode-se citar o avanço de cerca de 70% sobre o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) do IBGE no período entre 2004 e 2014 (DIEESE, 2014). Esta reposição de renda para os assalariados não reflete, necessariamente, no aumento imediato da riqueza de toda a população e desde o princípio visa aumentar os valores mais baixos dos rendimentos mensais. Como ressalta publicação recente do DIEESE:

Essa tendência favoreceu uma redução da amplitude salarial. Em outras palavras, o fato de os menores salários terem tido aumentos maiores resultou em uma tendência de diminuição das diferenças entre menores e maiores salários. (2014, p. 8)

O resultado da reposição salarial somado ao uso do salário mínimo como referência para os recenseamentos ocasiona um aumento artificial das populações nas classes mais baixas acompanhado de uma diminuição das classes superiores, conforme Tabela 4.3. Apesar de suscitar estudos mais aprofundados, estes não fizeram parte do escopo deste trabalho¹, cabendo a constatação do avanço da classe de renda mais baixa e a diminuição da renda mais alta, além da manutenção das rendas médias.

No entanto, é possível considerar que outra parte da questão retrata um processo migratório que é observado entre as regiões do Rio Grande do Sul, com a metade sul perdendo população educada e qualificada para melhores condições de emprego na metade norte, enquanto absorve mão-de-obra menos qualificada (BANDEIRA et al., 2014). Entre outros

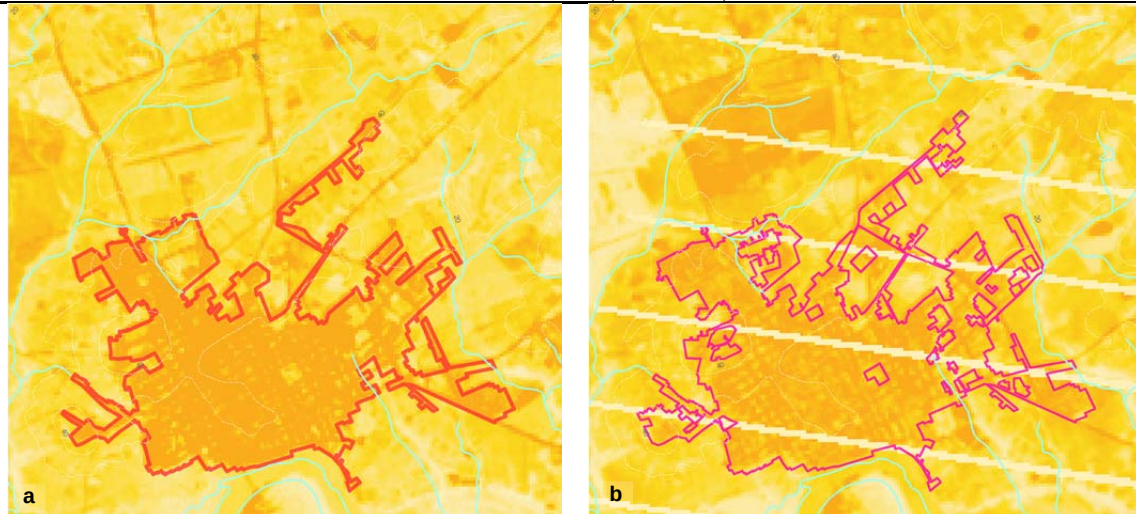
¹ O tamanho do descompasso entre as faixas de renda, no entanto, poderia ser determinado com estudos bastante mais aprofundados sobre a composição da riqueza da população, mas dada a amplitude do debate sobre composição de riqueza e o uso das fontes de recenseamento para tanto (KAGEYAMA; HOFFMANN, 2006; PATRÍCIO, 2012; DEDECCA, 2014) e a necessidade de dados complementares para sua realização, isto não foi contemplado pelo escopo deste trabalho.

desdobramentos, esta constatação auxilia a entender a perda de população rural e o aumento de domicílios urbanos no período, apesar do saldo negativo populacional.

2.3 SOBRE O CRESCIMENTO URBANO NO PERÍODO 2000-2010

A delimitação do crescimento urbano para o período pode ser vista na Figura 4.13, abaixo, onde são reproduzidos os vetores de limite da Área Efetivamente Urbanizada que resultou na Figura 4.8 do volume principal desta dissertação.

Figura 4.13 - Áreas efetivamente urbanizadas de Jaguarão/RS para: a) 2000; b) 2010 (com destaque pra os vazios urbanos com área superior a 1hA).



Fonte: do autor sobre imagens LANDSAT 7 (itens (a) e (b) (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2000, 2010) com apoio de dados do SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

2.4 SOBRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CLASSES DE AGENTES DO MODELO

A partir da determinação das Classes de Agentes segundo perfis socioeconômicos constantes no documento principal, cabem comentários sobre os métodos empregados para adequação das unidades de área dos dados empíricos (oriundos do censo 2010) e o *grid* celular implantado no modelo. Ressalta-se que o objetivo principal da distribuição espacial das Classes foi evitar os efeitos do problema de unidade de área modificável e de falácia ecológica (OPENSHAW, 1984).

A falácia ecológica pode ser descrita como um erro de descrição geográfica da informação, sendo que os setores censitários podem registrar domicílios muito próximos geograficamente em dois setores distintos, conferindo-lhes dados muito diferentes. O mesmo pode ocorrer com domicílios bastante distantes, mas que fazem parte de um mesmo setor censitário – para o censo, ambos teriam os mesmos valores nas suas variáveis, mesmo sendo parte de bairros diferentes, por exemplo. Estas podem ser consideradas questões comuns a estudos de distribuição e segregação populacional intraurbanas e se apresentam especialmente significativos para Jaguarão devido à grande área ocupada por alguns setores.

Ao integrar estas informações em um *grid* regular, onde as unidades de áreas são sempre de tamanho igual e, neste caso específico, menores que os setores censitários, se mostrou necessário realizar um tratamento que distribísse os dados de forma proporcional entre os valores encontrados para as séries de renda encontradas. Foi utilizado, para tanto, o método de

distribuição populacional de mapeamento dasimétrico a partir de uma superfície potencial, conforme proposto por Amaral e outros (2012) e Gavlak (2010).

De forma genérica, o método trata da transferência da população registrada dos setores censitários para outras entidades geográficas cujos limites não coincidam com os setores através de uma terceira entidade que é a chamada superfície potencial. Esta superfície indica as variações de densidades internas ao setor censitário, efetivamente quebrando em partes menores o polígono dos setores e distribuindo a população registrada proporcionalmente às densidades. No método descrito por Gavlak (2010), a superfície potencial era delimitada por atributos físicos da urbanização e ambiente natural (densidade edificada, declividade e outros).

Neste experimento, a superfície potencial foi composta por método alternativo, baseado em uma função de densidade de forma a evitar a predeterminação da vinculação dos agentes do modelo com atributos do ambiente, uma vez que isto seria objeto de estudo empírico específico para a parametrização do modelo. Para distribuir as populações de cada faixa de renda foi calculada, então, a densidade de ocupação dos setores censitários para cada um dos estratos através da função densidade de Kernel com raio de 200 metros. Os dados foram preparados para a função de densidade a partir dos seguintes passos, demonstrados na Figura 4.17:

- a) eliminar da malha de setores censitários urbanos (Figura 4.17, a) as áreas não ocupadas (externas a AEU e de imóveis urbanos não ocupados com área superior a 1hA) determinadas a partir de imagem Landsat ETM+ (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2010) e levantamento de uso do solo *in loco* (PERES; POLIDORI, 2014), resultando na Figura 4.17, b;
- b) subdividir os setores censitários em parcelas regulares através da intersecção da malha de setores ajustada com uma malha de células quadradas de 100m de lado, cujo resultado consta na Figura 4.17, c;
- c) eliminar dos fragmentos de setores resultantes, aqueles com áreas inferiores a 4.500m². Esta medida foi determinada experimentalmente para determinar fragmentos pequenos que constituíam as bordas entre setores (Figura 4.17, d);
- d) extrair os centroides, dos fragmentos remanescentes, como demonstrado na Figura 4.17, d;
- e) aplicar a partir dos centroides, a função de densidade de Kernel com raio de 200 metros e população dada pelos número de domicílios de baixa, média e alta renda, separadamente.

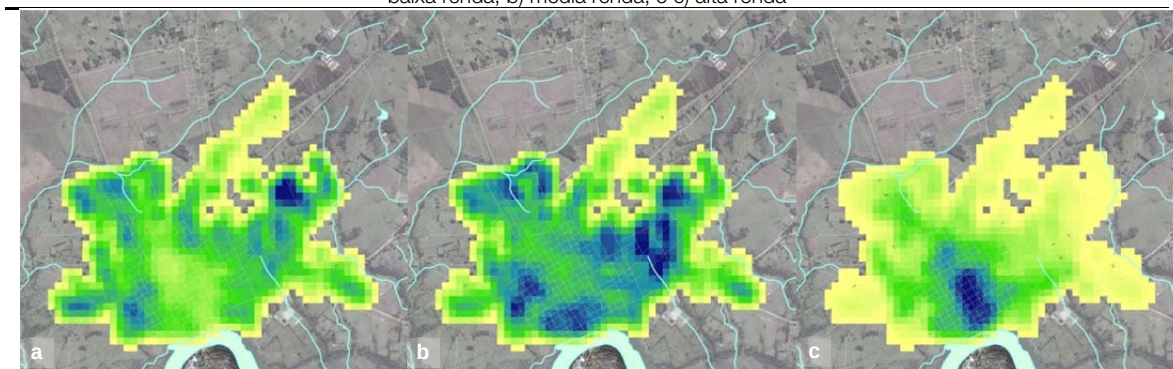
Figura 4.17 - Estágios do mapeamento dasimétrico realizado: a) setores censitários urbanos de Jaguarão; b) setores ajustados à AEU e vazios urbanos superiores a 10.000m²; c) fragmentos de setores após intersecção com malha de 100m com área superior a 4.500m²; e, d) centroides dos fragmentos selecionados



Fonte: mapa do autor a partir de dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011a).

A aplicação da função resultou em três superfícies independentes, conforme Figura 4.18, abaixo.

Figura 4.18 - Densidade de Kernel para superfície potencial de três estratos de renda na área urbana de Jaguarão/RS: a) baixa renda; b) média renda; e c) alta renda



Fonte: mapa do autor a partir de dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011a).

As três densidades resultantes foram aplicadas como superfícies potenciais segundo a Equação 4.1, após a totalização do número de pontos contidos em cada setor censitário. Resultaram em distribuição da população dos setores para células de 200 metros, para as quais observou-se erro desprezível em relação à população total dos setores censitários. Finalmente, as células com população inferior a dez famílias (cerca de 5% das células ocupadas) foram eliminadas dos *grids*, com sua população sendo distribuída para as células próximas².

Equação 4.1 - Função de distribuição da população das superfícies de pontos para células.

$$\text{PopPt}_{xy} = \text{popSetor} \times \frac{\text{Potencial}_{xy}}{\sum_{xy \in \text{setor}} \text{Potencial}_{xy}}$$

Onde:

PopPt_{xy} = população equivalente do ponto (x, y)

popSetor = população agregada para o setor no qual (x, y) está localizado

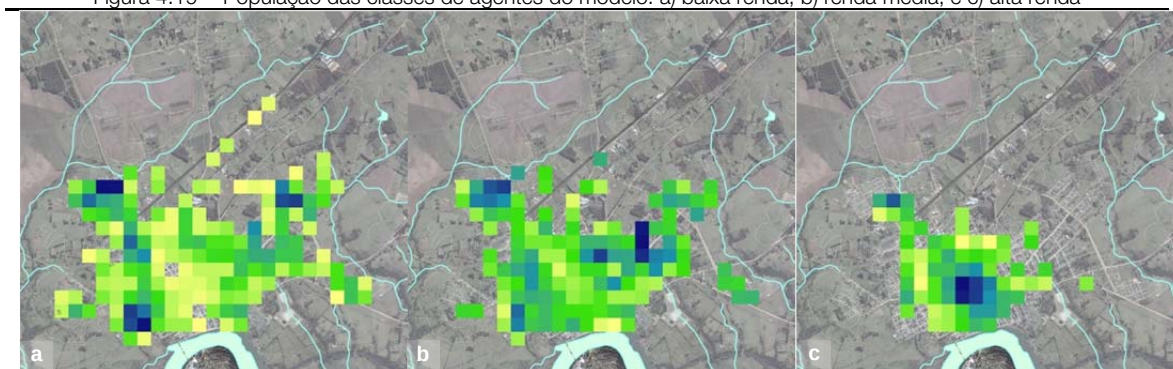
Potencial_{xy} = valor potencial registrado na superfície para o ponto (x, y)

$\sum_{xy \in \text{setor}} \text{Potencial}_{xy}$ = total de potencial dos pontos internos ao setor

Fonte: adaptado de Amaral e outros (2012).

A distribuição final da população, utilizada como dados de entrada para a população do modelo, pode ser visto na Figura 4.19, inserida a seguir.

Figura 4.19 - População das classes de agentes do modelo: a) baixa renda; b) renda média; e c) alta renda



Fonte: mapa do autor a partir de dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011a).

² Essa medida se faz necessária de forma a manter as populações das células acima do Fator de Divisão adotado para a simulação. Os resultados foram inconsistentes com populações iniciais abaixo deste fator nos experimentos realizados.

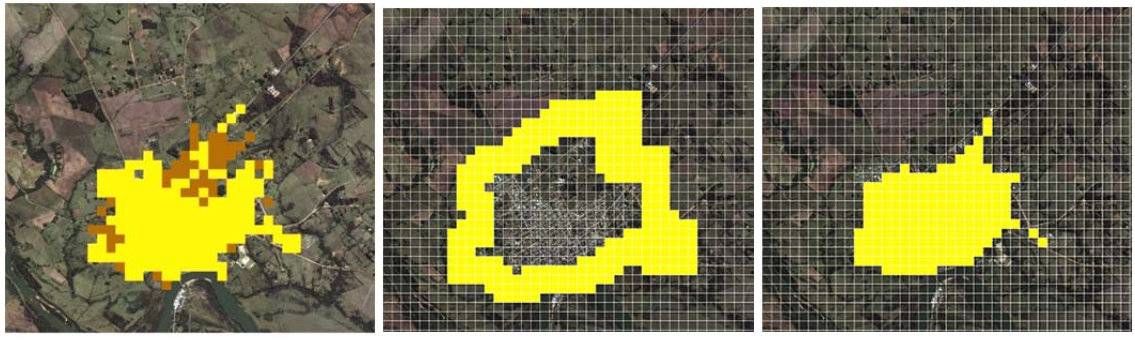
2.5 SOBRE O CÁLCULO DOS ÍNDICES DE EXPOSIÇÃO E ISOLAMENTO

O cálculo da medida foi realizado segundo a Equação 4.2 – Cálculo dos índices de Exposição e Isolamento, utilizando como dados de entrada os *grids* populacionais dos Agentes na última iteração de cada cenário.

Equação 4.2 – Cálculo dos índices de exposição e isolamento	
${}_iP_j = \sum_{m=1}^K \frac{i_m}{I} \times \frac{j_m}{t_m}$ ${}_iP_i = \sum_{m=1}^K \frac{i_m}{I} \times \frac{i_m}{t_m}$	<p>Onde:</p> <p>${}_iP_j$ = índice de exposição do grupo i ao grupo j</p> <p>i_m = população do grupo i na parcela de espaço m</p> <p>j_m = população do grupo j na parcela de espaço m</p> <p>I = população total do grupo i</p> <p>t_m = população total m</p> <p>${}_iP_i$ = isolamento de i, que é a exposição de i a ele mesmo</p>
Fonte: do autor.	

A determinação das áreas de borda e centro para efeitos deste cálculo foram operadas segundo função da plataforma CityCell de extração da borda, com raio de 2 células a partir das células com atributo *Border Mask* (que consiste na última célula com *cellType* urbano), conforme exemplifica a Figura 4.20.

Figura 4.20 - Exemplo da segmentação das células de borda e centro para simulação do cenário de controle do exercício empírico para Jaguarão/RS: a) estado final da urbanização comparado a AEU de 2010, *grid* da borda e a região central



Fonte: do autor.

3 VINCULAÇÃO DE PERFIS DE RENDA E ATRIBUTOS FÍSICOS E URBANOS

Este experimento foi composto durante o processo de desenvolvimento do modelo, de forma a buscar evidências empíricas que orientariam as hipóteses de trabalho e mesmo algumas das decisões sobre a integração das dinâmicas de agentes na plataforma CityCell. A integração das ações dos agentes aos atributos ambientais, de certa forma, advém da busca por esta integração com os modelos anteriores, em que dinâmicas celulares de vizinhança ocorrem por interação entre os atributos das células com diferentes ponderações e comportamentos em cada um dos modelos existentes na plataforma. Todos os modelos, no entanto, baseavam-se exclusivamente nestas dinâmicas celulares, fossem relações de vizinhança (com raios fixos ou variáveis) ou com funcionalidades de grafos, como ação a distância, cálculo de caminho-mínimo, entre outros.

A partir deste contexto, pode-se justificar um interesse inicial em verificar se os atributos que compõem o ambiente poderiam orientar ações mais desagregadas e explicitando comportamentos sociais. Para abordar a hipótese de que seria possível descrever padrões de localização populacional em modelos baseados em agentes a partir de seu relacionamento aos atributos ambientais, compus o exercício a seguir, que busca identificar padrões de localização para as populações de baixa, média e alta renda em Jaguarão para o ano de 2010.

No período final de composição do modelo e da dissertação, este exercício foi utilizado como base para cenário tendencial, em que se extrapolavam temporalmente os padrões encontrados para 2010 por 10 anos de forma a verificar os impactos destas tendências nos padrões de distribuição populacional.

3.1 OBJETIVOS

Objetivo geral: verificar a correlação espacial entre três diferentes faixas de renda per capita (alta, média e baixa) e atributos (naturais e urbanos) verificados empiricamente para o sistema urbano de Jaguarão.

Objetivos específicos:

- a) Verificar a influência de atributos ambientais (urbanos ou naturais) nos padrões existentes de distribuição espacial para três estratos de renda (alta, média e baixa), como *proxies* para classes socioeconômicas;
- b) Observar os padrões de concentração/distribuição das classes socioeconômicas entre si;
- c) Prover subsídios para a parametrização de modelo baseado em agentes;

3.2 DELINEAMENTO DO EXERCÍCIO

A área considerada foi delimitada por um retângulo ao redor da área urbanizada do município de Jaguarão/RS, totalizando 59 km². Para ela foi composto sistema de informações geográficas (SIG) em projeção WGS 1984, fuso 22 sul (datum WGS 1984) e dividida em grelha quadrada de 200 metros (ver figura C.1.1), usada para os diversos *raster* compostos para as comparações.

Figura C.1.1: área do exercício. a) imagem de satélite da área urbana de Jaguarão/RS em 2009; b) grid celular superposto a imagem, células de 200m.



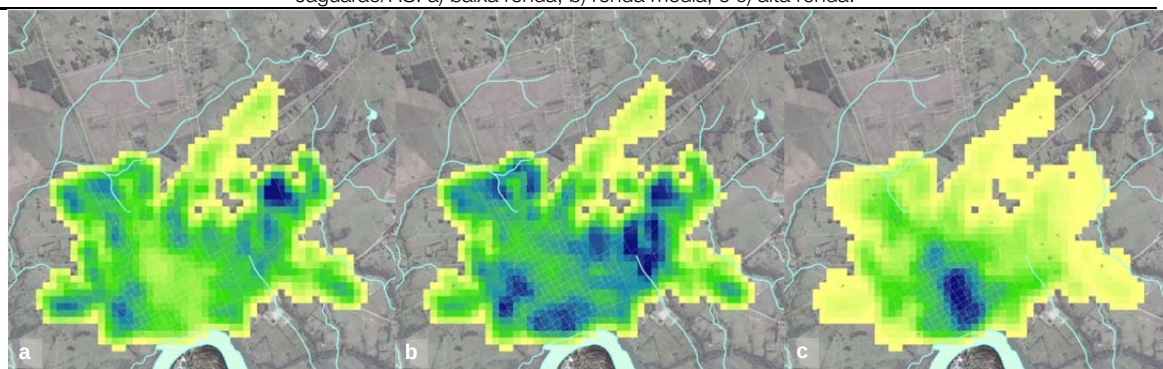
Fonte: mapa do autor sobre imagem de satélite Quickbird.

Os estratos de renda foram definidos (conforme a C.1.2) utilizando a estratificação seguinte:

- a) baixa renda: incluindo “domicílios sem renda” (variável V010), “domicílios com renda do responsável até 1/2 de salário mínimo” (V001), “domicílios com renda do responsável de 1/2 a 1 salário mínimo” (V002) e “domicílios com renda do responsável de 1 até 2 salários mínimos” (V003);
- b) renda média: “domicílios com renda do responsável de 2 a 3 salários mínimos” (V004) e “domicílios com renda do responsável de 3 a 5 salários mínimos” (V005);
- c) renda alta: “domicílios com renda do responsável de 5 a 10 salários mínimos” (V006), “domicílios com renda do responsável de 10 a 15 salários mínimos” (V007), “domicílios com renda do responsável de 15 a 20 salários mínimos” (V008) e “domicílios com renda do responsável de 20 ou mais salários mínimos” (V009);

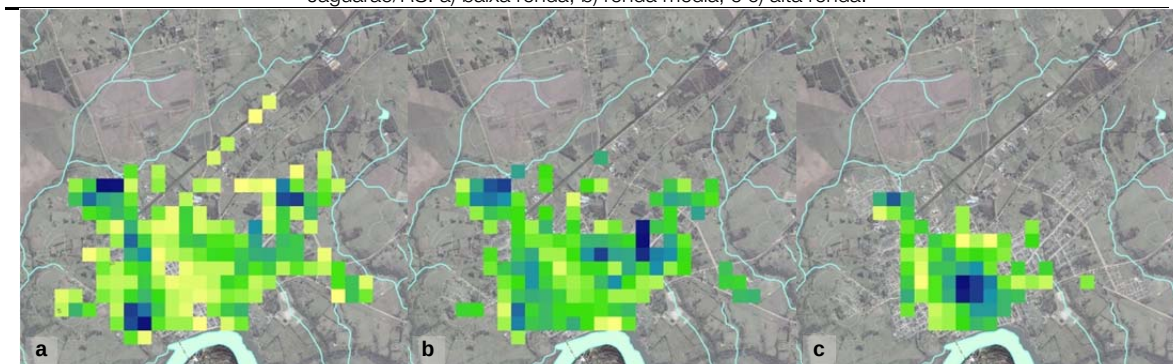
A partir dessa segmentação, foi calculada a densidade de ocupação dos setores censitários para cada um dos estratos, através de uma função de densidade de Kernel usando como campo de população o número de domicílios em cada faixa de renda. A densidade foi calculada a partir dos centroides de polígonos regulares quadrados determinados pela interseção da malha dos setores censitários com uma malha quadrada, de forma a minimizar os efeitos da falácia ecológica nas operações de sobreposição posteriores.

Figura C.1.2: densidade de Kernel para análise de concentração de três estratos de renda na área urbana de Jaguarão/RS. a) baixa renda; b) renda média; e c) alta renda.



Fonte: mapa do autor a partir de dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011a).

Os *rasters* de densidade de cada estrato foram reclassificados de forma a comporem 9 classes para cada estrato, segundo os *natural breaks* dos intervalos de dados específicos. Finalmente, foi realizada a re-amostragem das células para uma resolução de 200m, compatível com a malha determinada para a área do exercício, conforme figura C.1.3. Figura C.1.3: re-amostragem da densidade de Kernel para células de 200m, nos três estratos de renda na área urbana de Jaguarão/RS. a) baixa renda; b) renda média; e c) alta renda.



Fonte: mapa do autor a partir de dados do Censo de 2010 (IBGE, 2011a).

Estes estratos de renda foram comparados, um a um a diversos atributos físicos e da urbanização. Os atributos foram selecionados a partir de considerações da literatura visando relacionar o estudo da localização da pobreza a atributos ambientais (POLIDORI; KRAFTA, 2005; OJIMA; MARANDOLA, 2010), assim como a atributos da urbanização (VINCENT, 2009; BARROS, 2012; PATEL et al., 2012; SHOKO; SMIT, 2013) além de ter em conta a disponibilidade de dados oriundos de bases censitárias (IBGE, 2011b), imagens de satélite e levantamentos de campo (PERES; POLIDORI, 2014). Os atributos selecionados incluíram:

- a) Topografia (através de modelo digital do terreno (MDT), composto com curvas equidistantes a 1 metro);
- b) Declividade (calculada a partir do MDT acima, em graus);
- c) Uso do solo (levantado em campo³, para o ano e 2013);
- d) Estradas (a partir de dados de Hasenack (2010), atualizados segundo imagem Quickbird de 2013);
- e) Rio Jaguarão;
- f) Linhas de drenagem (calculada a partir do MDT);
- g) Bacias hidrográficas;
- h) Acessibilidade celular ponderada (calculada a partir do modelo de Saraiva (2013));
- i) Custo do solo (levantado em campo¹, para o ano e 2013).

3.3 MÉTODO

A partir dos atributos, foram preparadas as bases para as comparações em um SIG, no qual os atributos foram convertidos para *rasters* com células de 200m, com extensão e alinhamento da grelha definida na figura C.1.1 de forma a manter a perfeita compatibilidade nos exercícios de sobreposição. Além disso, os mapas foram compatibilizados entre si através da conversão dos diversos tipos de dados originais em até categorias similares, eliminando os valores absolutos em nome de uma escala de um a nove, na qual um representa menor intensidade.

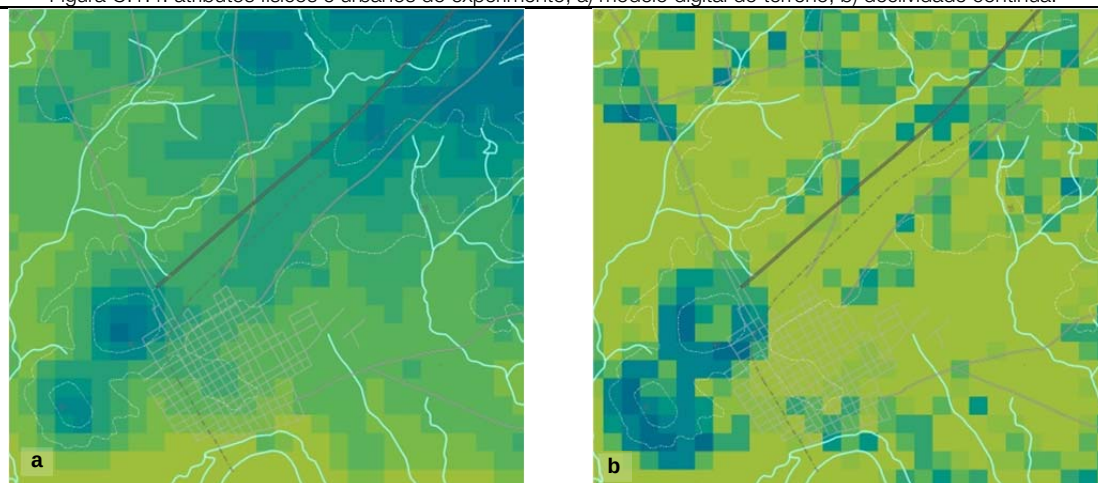
Para os dados quantitativos (especificamente MDT, declividade, acessibilidade e custo do solo) foram realizadas distribuições por *natural breaks* nas 9 classes). Para os polígonos de uso do

³ Levantamento realizado pela equipe do LabUrb/UFPEL no projeto PROEXT-Jaguarão 2012-2013 e por alunos da disciplina de Projeto 9, coordenada pelos professores Maurício C. Polidori e Otávio M. Peres. Os dados foram gentilmente cedidos ao autor, que se vincula ao LabUrb.

solo foi calculada a concentração de cada categoria (por densidade de *Kernel*) e esta foi distribuída também pelos *natural breaks*. Finalmente para os afastamentos (de estradas, do Rio Jaguarão e das linhas de drenagem) foi calculada a distância euclidiana (com decaimento linear) a partir dos seus vetores para os limites de 500 e 1.000 metros e estes foram, então, convertidos para a escala de 9 categorias através da sua re-classificação.

Além dessas operações básicas, alguns dos atributos de base foram subdivididos, de forma a permitir a comparação direta entre as faixas de renda e grupos das 9 categorias. Buscou-se, assim, comparar as classes socioeconômicas a condições específicas de declividade, acessibilidade e bacias hidrográficas, visando entender a sua vinculação aos atributos dentro de faixas mais ajustadas, sem que isso eliminasse a comparação com a distribuição contínua dos dados. A declividade foi subdividida em áreas planas (até 1,3%), áreas intermediárias (de 1,3 a 3,21%) e áreas mais inclinadas (de 3,21 a 12,5%), cada categoria abrigoando 3 das 9 divisões por *natural breaks*. O mesmo ocorre com a acessibilidade (baixa, até 0,3; média, de 0,3 a 0,6; e alta, acima de 0,6) e as bacias hidrográficas (fundos de vale, encostas e divisores de água). As figuras C.1.4 a C.1.10 contém os atributos de entrada para as comparações.

Figura C.1.4: atributos físicos e urbanos do experimento, a) modelo digital do terreno; b) declividade contínua.

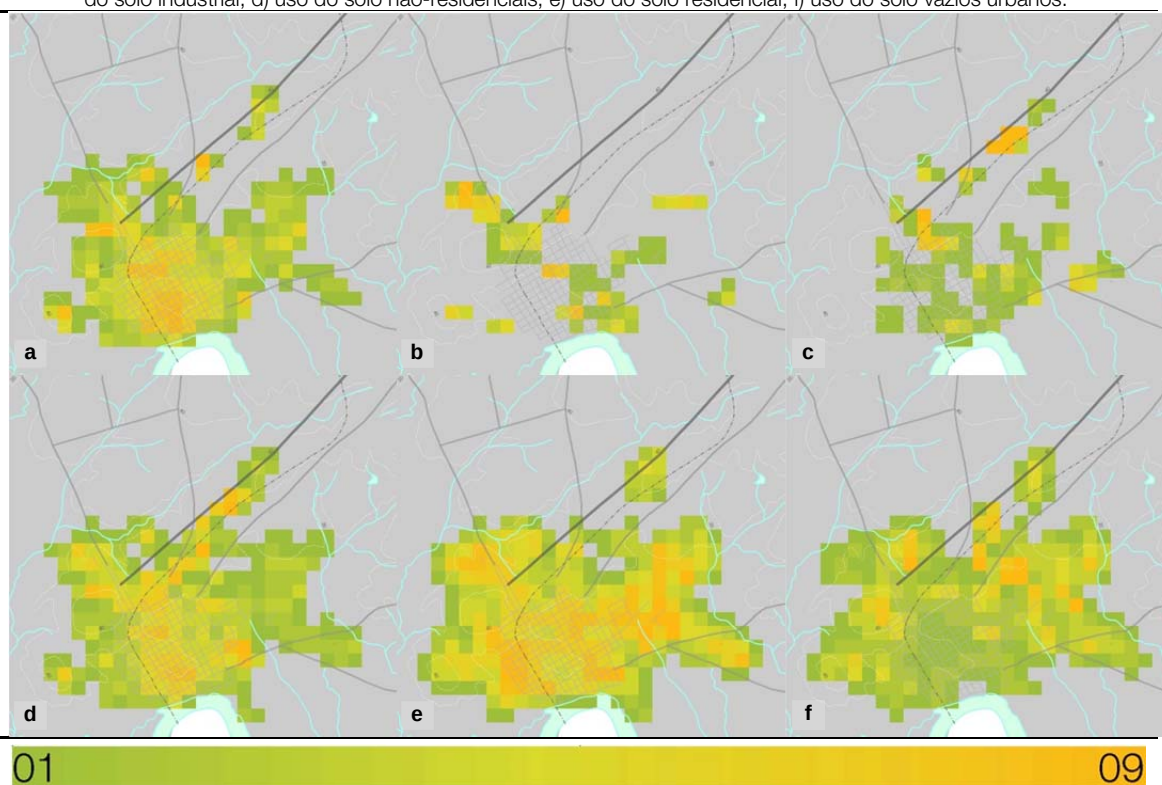


01

09

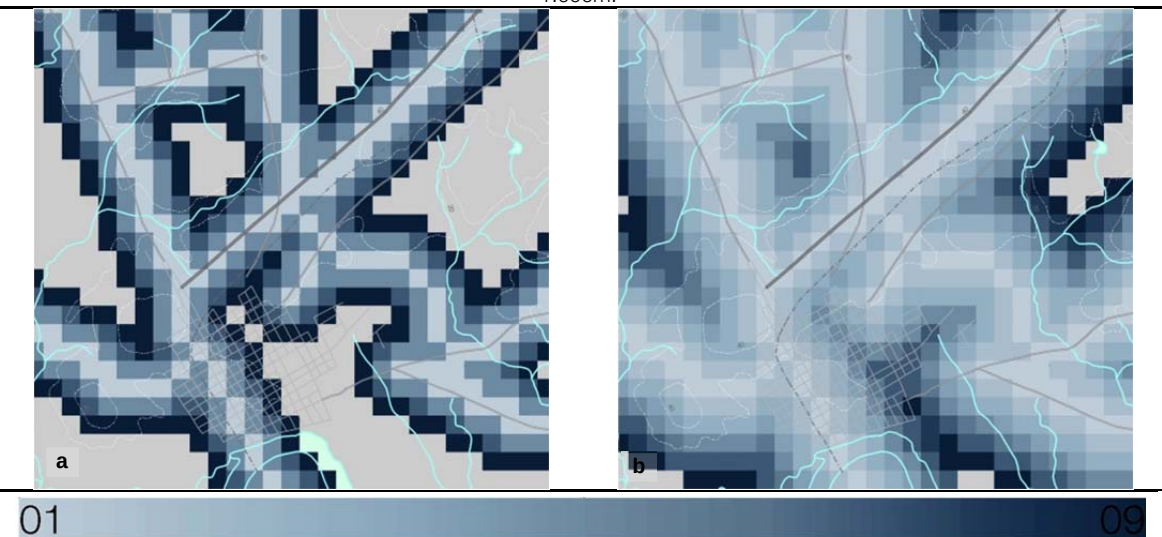
Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.5: atributos físicos e urbanos do experimento, a) uso do solo comercial; b) uso do solo de áreas verdes; c) uso do solo industrial; d) uso do solo não-residenciais; e) uso do solo residencial; f) uso do solo vazios urbanos.



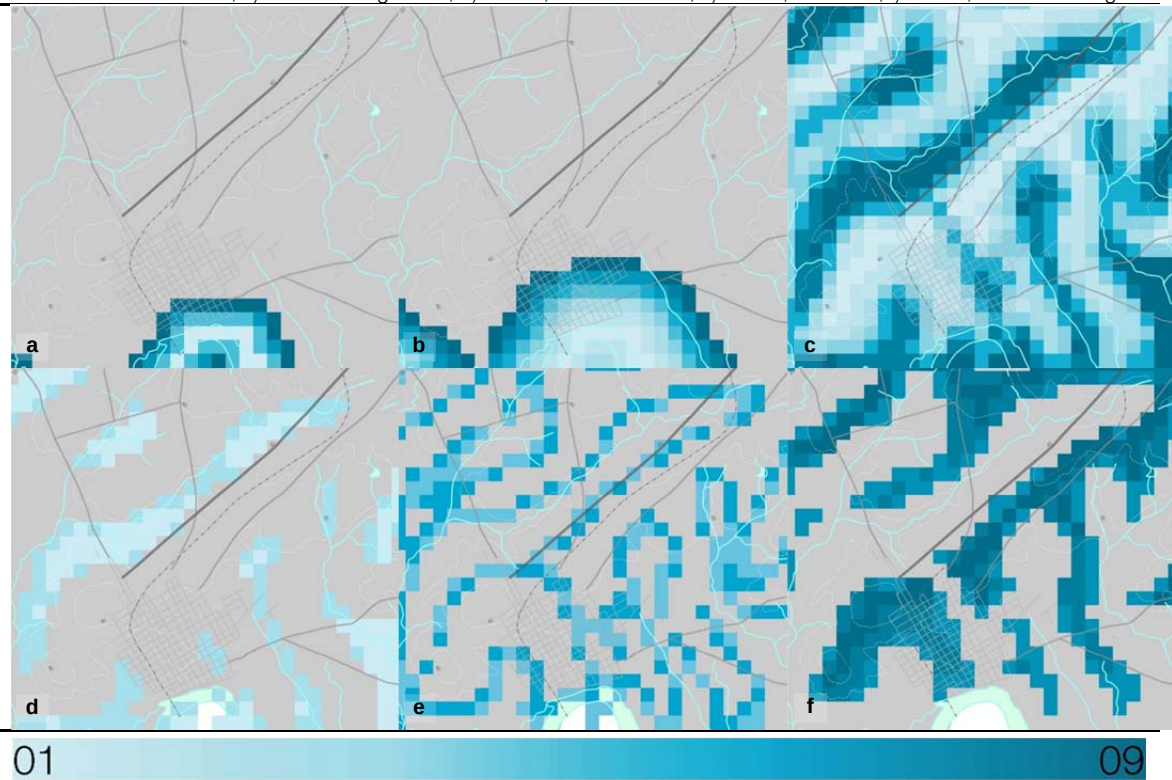
Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.6: atributos físicos e urbanos do experimento, a) estradas, afastamento de 500m; b) estradas, afastamento de 1.000m.



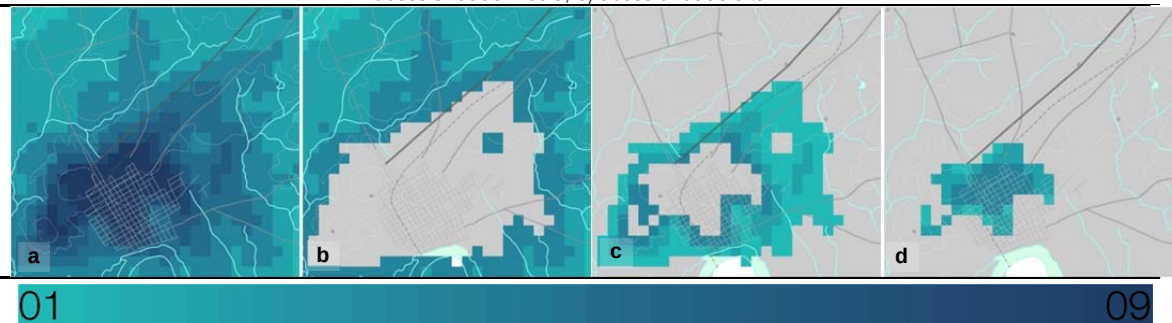
Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.7: atributos físicos e urbanos do experimento, a) Rio Jaguarão, afastamento de 500m; b) Rio Jaguarão, afastamento de 1.000m; c) bacias hidrográficas; d) bacias, fundos de vale; e) bacias, encostas; f) bacias, divisores de água.



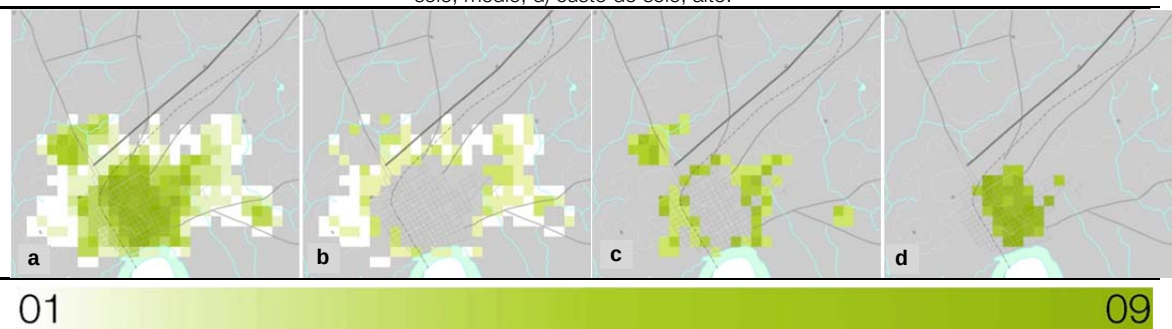
Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.8: atributos físicos e urbanos do experimento, a) acessibilidade contínua; b) acessibilidade baixa; c) acessibilidade média; d) acessibilidade alta.



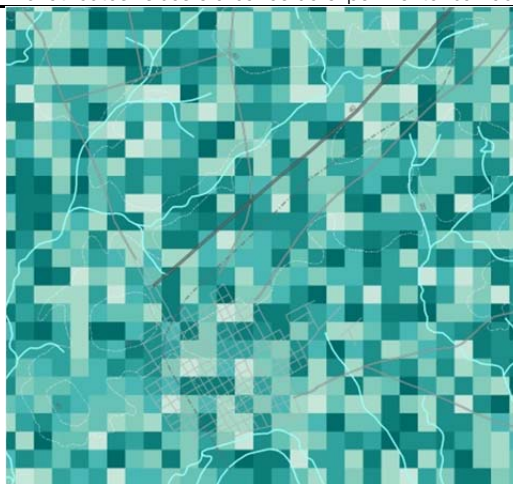
Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.9: atributos físicos e urbanos do experimento, a) custo do solo, contínuo; b) custo do solo, baixo; c) custo do solo, médio; d) custo do solo, alto.



Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.10: atributos físicos e urbanos do experimento: camada aleatória.



01

09

Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

As comparações foram realizadas usando o Map Comparison Kit (versão 3) (VISSER; NIJS, DE, 2006), através da regra Fuzzy Inference System (POWER et al., 2001). A ferramenta apresenta vantagens consideráveis ao permitir a análise das correlações espaciais de forma simplificada, mas com a verificação do grande número de atributos, adaptando método tradicional da comparação entre estados de simuladores de uso e cobertura do solo para a análise de correlações espaciais. Isto é possível uma vez que o “Kit” inclui funcionalidades de automação e composição de um elenco de atributos a serem comparados cujas correlações podem ser rapidamente verificadas em pares de mapas. É possível, inclusive, a consideração de diversas regras que vão desde as comparações categóricas diretas célula-a-célula a comparações por semelhança difusa, comparações numéricas ou mesmo entre mapas de resoluções diferentes (RIKS, 2011).

A regra Fuzzy Inference System foi selecionada por permitir a comparação entre mapas para além da simples sobreposição de células. Ela integra comparação das áreas de sobreposição difusa entre os mapas, realizada através da suavização das bordas dos dados, de forma a evitar cortes abruptos entre classes diferentes e da ponderação, por função de decaimento, dos quase-acertos⁴. A regra também integra a comparação da área de discordância entre os mapas e ainda ferramentas de comparação entre manchas, comuns no campo da Ecologia da Paisagem. Estas últimas permitem relacionar, além da sobreposição, a distribuição de padrões similares através da verificação da área, perímetro e medidas fractais de polígonos derivados das manchas encontradas para cada categoria nos mapas (POWER et al., 2001). A aplicação destas técnicas permite representar a mistura complexa de atributos da paisagem/realidade, o que é especialmente necessário ao comparar dados de naturezas diversas como no experimento delineado. Os algoritmos de classificação *fuzzy*⁵ permitem a presença dos atributos em mais de uma categoria de forma a representar a sobreposição ou mistura de atributos no espaço e as condições intermediárias entre classes.

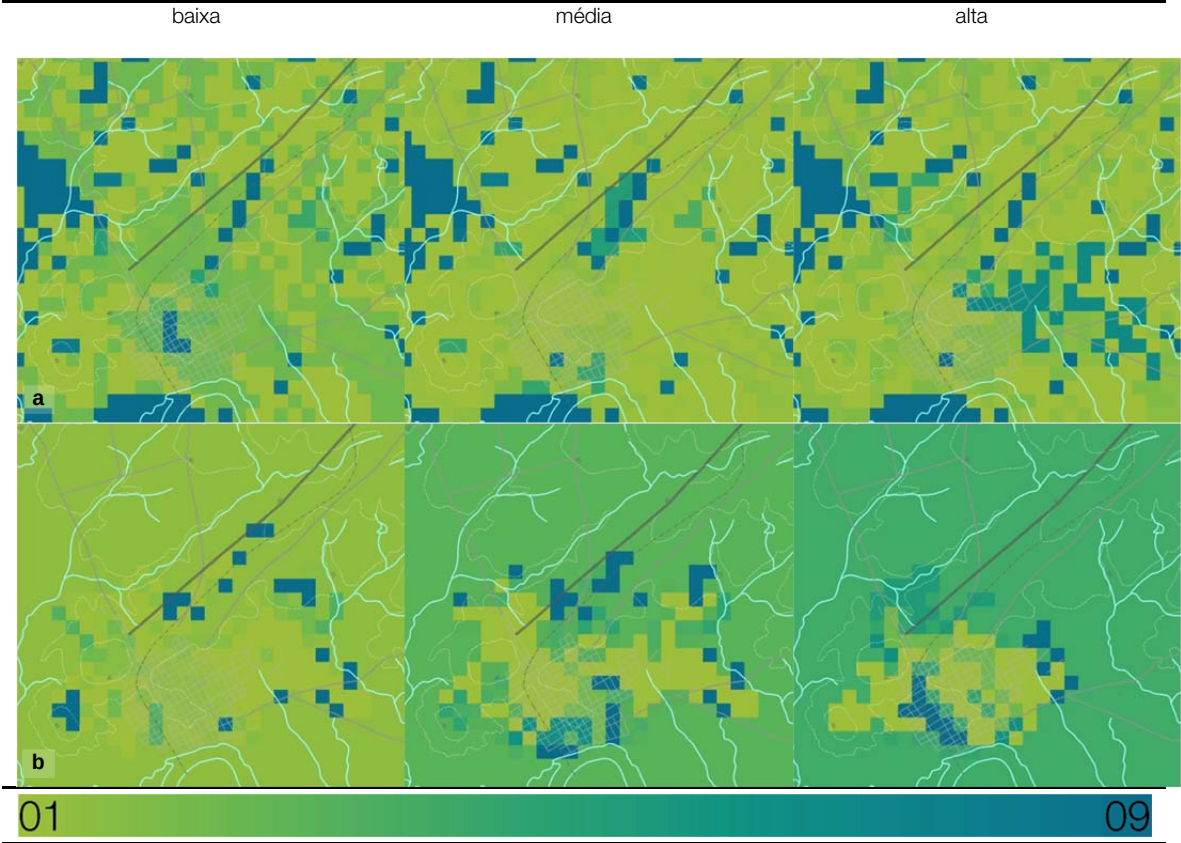
⁴ As chamadas lógicas *fuzzy* baseiam-se na imprecisão do raciocínio humano na comunicação de informações e visam manter a representação de pequenas variações nos dados que de outra forma seriam simplificados ou perdidos. Para maiores detalhes, sugere-se recorrer a Visser e de Nijs (2006).

⁵ Especificamente *fuzzy c-means clustering algorithm* segundo Mamdani. Para detalhes, ver seção 3 “Methodology” de Power et al. (2001).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados 96 testes, 42 destes com os atributos de forma integral (sem cortes ou seleções), apresentados na Tabela C.1.1: e outros que 54 com recortes parciais das classificações conforme Tabela C.1.2.

Figura C.1.11: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) modelo digital do terreno; b) declividade.



Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.12: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) uso do solo comercial; b) uso do solo de áreas verdes; c) uso do solo industrial; d) uso do solo não-residenciais; e) uso do solo residencial; f) uso do solo vazios urbanos.

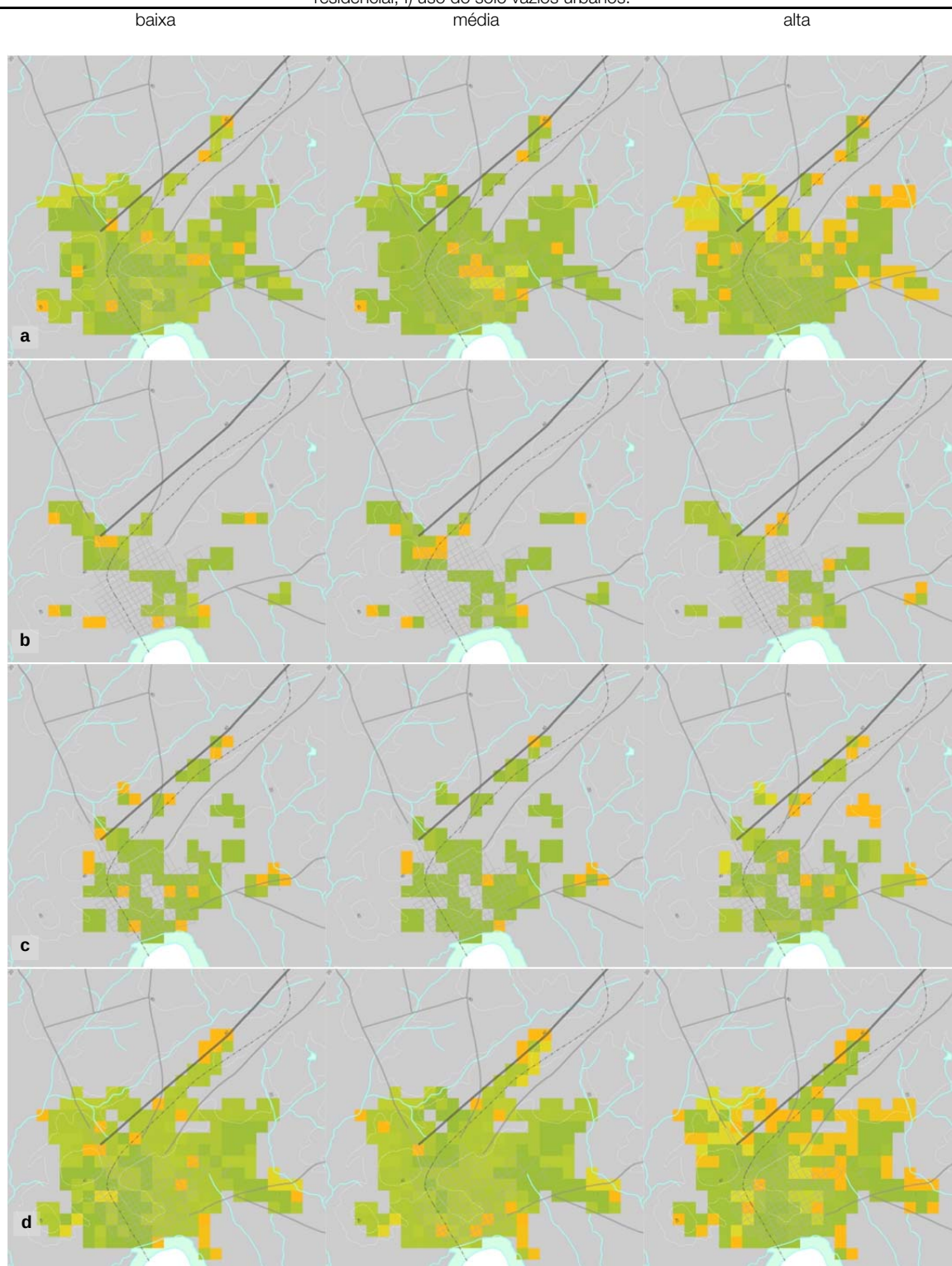
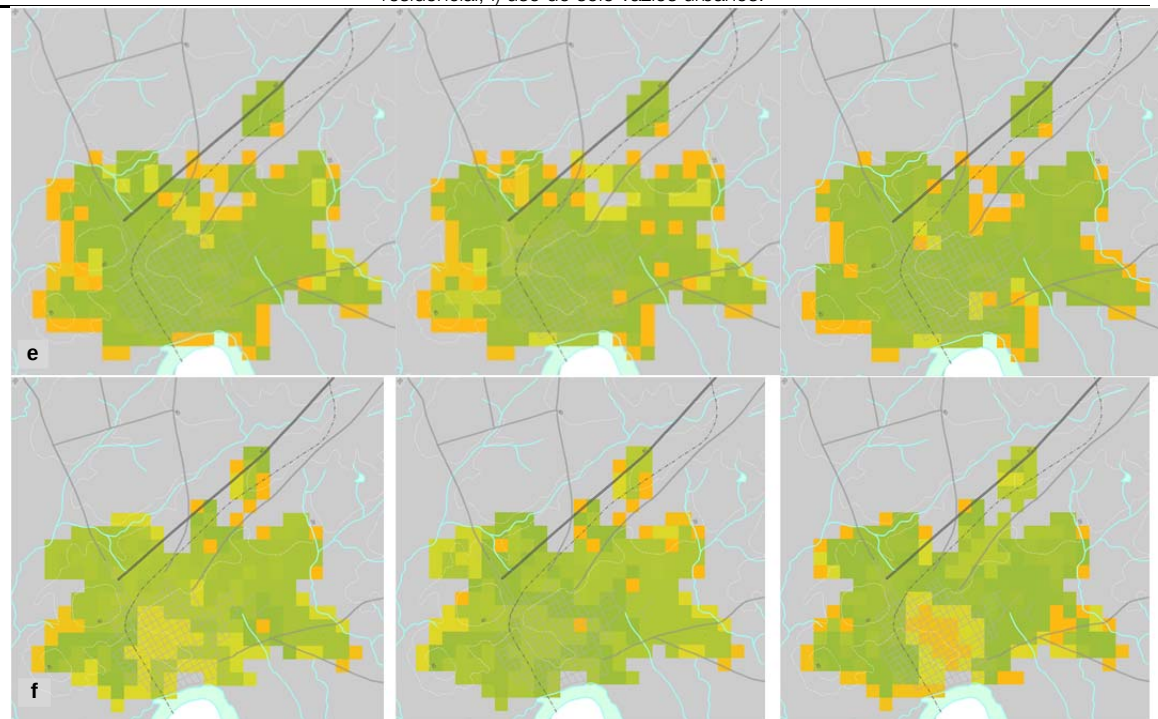


Figura C.1.12: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) uso do solo comercial; b) uso do solo de áreas verdes; c) uso do solo industrial; d) uso do solo não-residenciais; e) uso do solo residencial; f) uso do solo vazios urbanos.



Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014)..

Figura C.1.13: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) estradas, afastamento de 500m; b) estradas, afastamento de 1.000m.

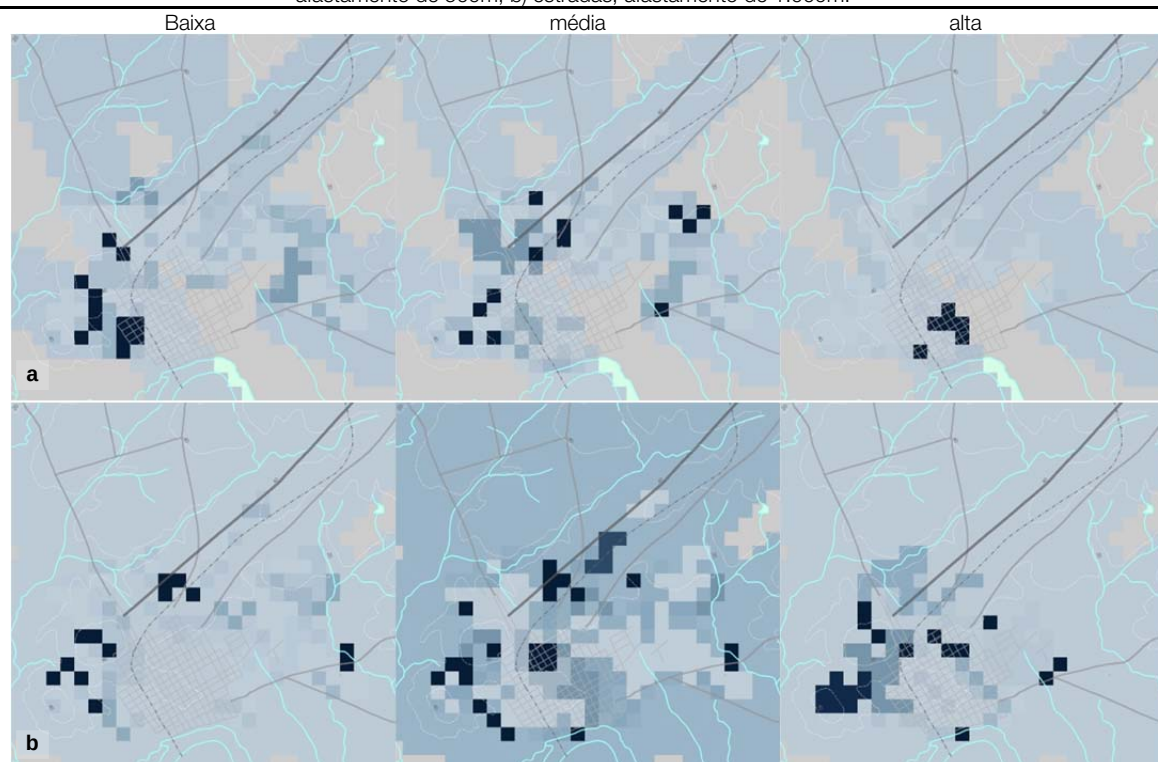


Figura C.1.14: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: , a) Rio Jaguarão, afastamento de 500m; b) Rio Jaguarão, afastamento de 1.000m; c) bacias hidrográficas; d) bacias, fundos de vale; e) bacias, encostas; f) bacias, divisores de água.

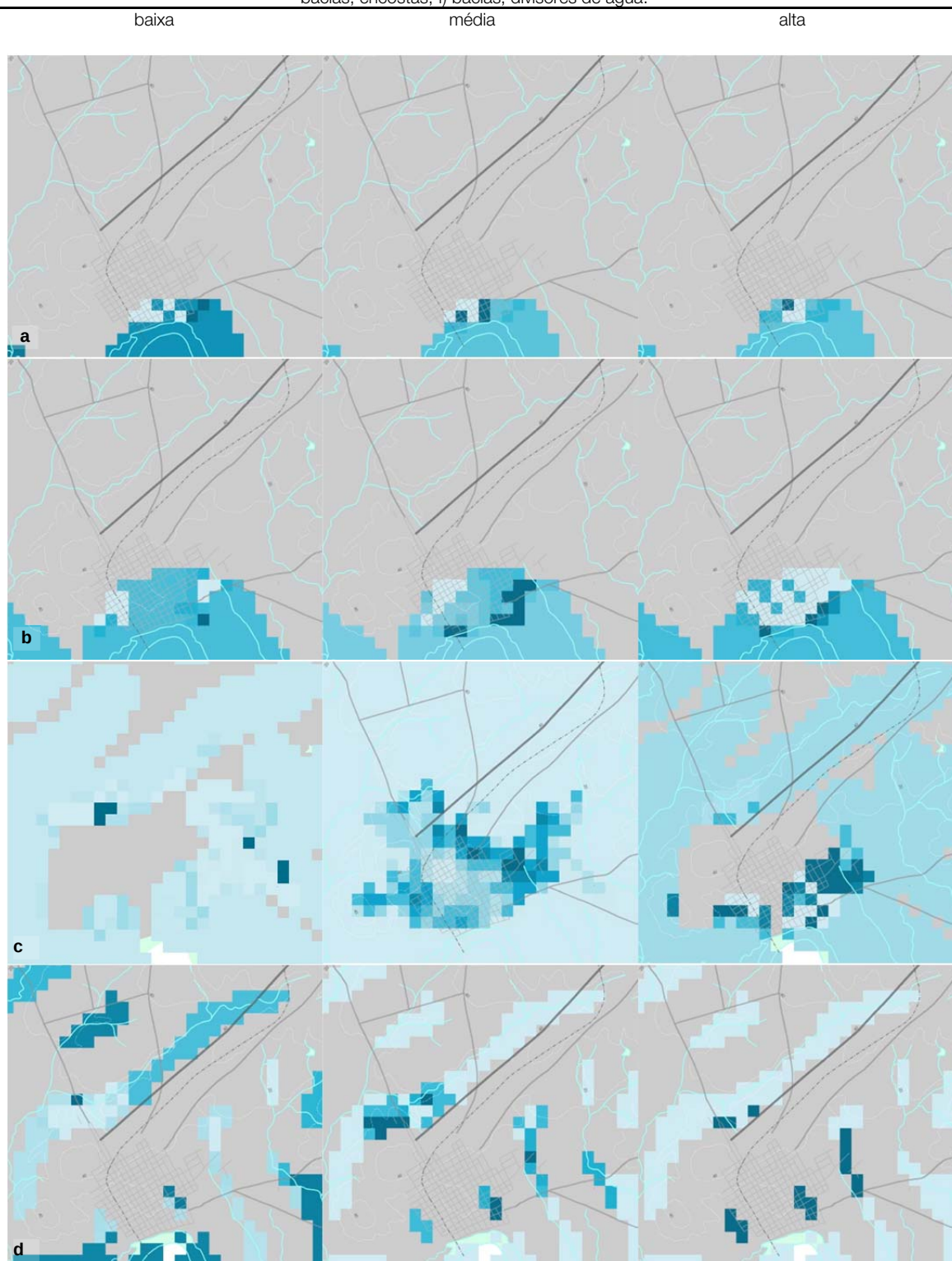
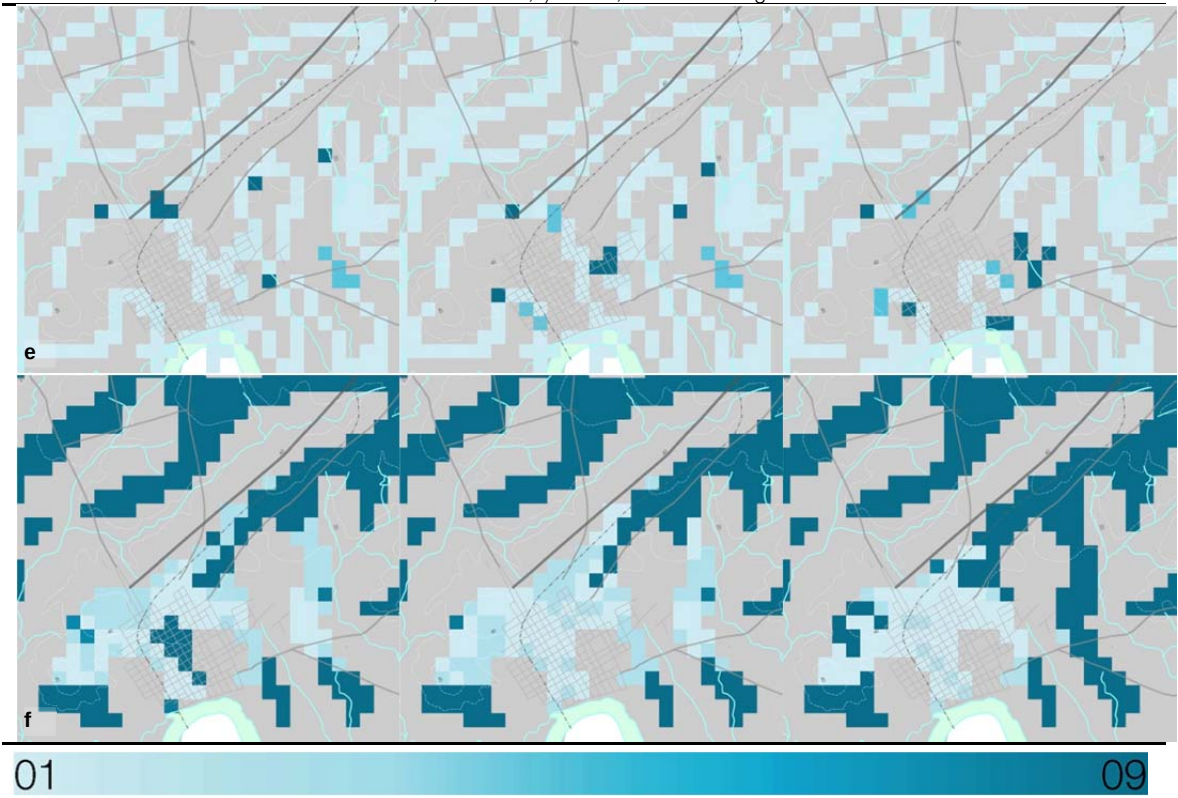


Figura C.1.14: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: , a) Rio Jaguarão, afastamento de 500m; b) Rio Jaguarão, afastamento de 1.000m; c) bacias hidrográficas; d) bacias, fundos de vale; e) bacias, encostas; f) bacias, divisores de água.



Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.15: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) acessibilidade contínua; b) acessibilidade baixa; c) acessibilidade média; d) acessibilidade alta.

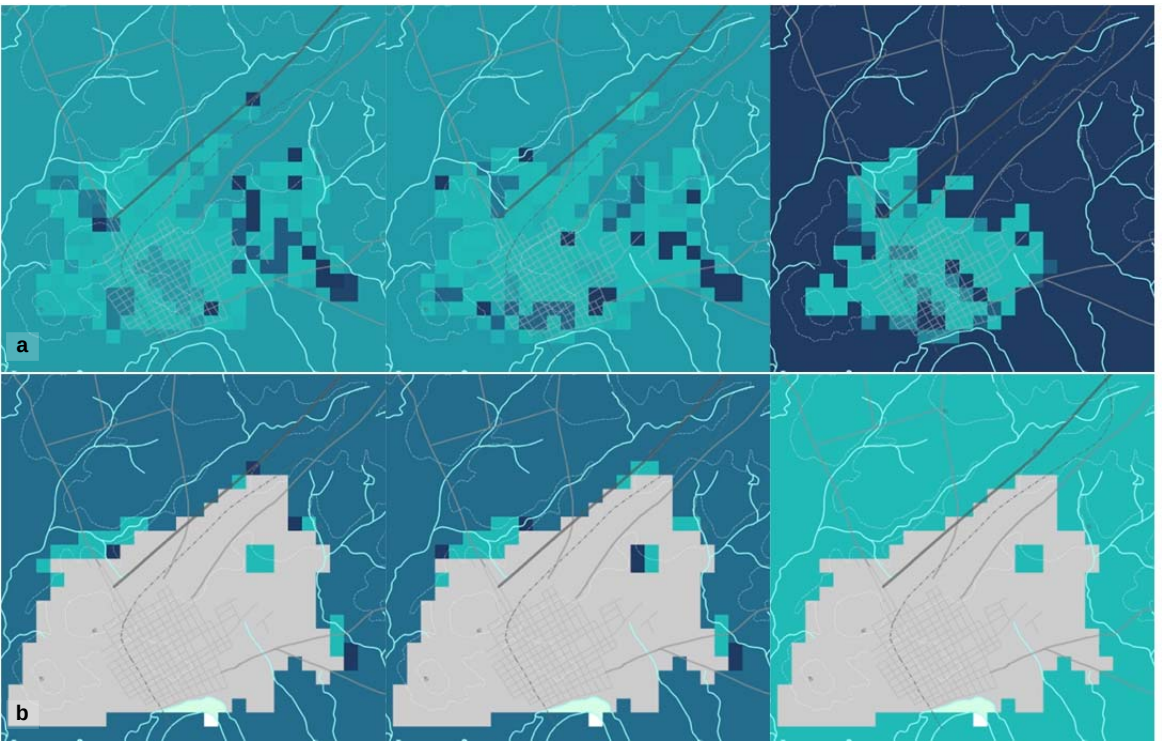
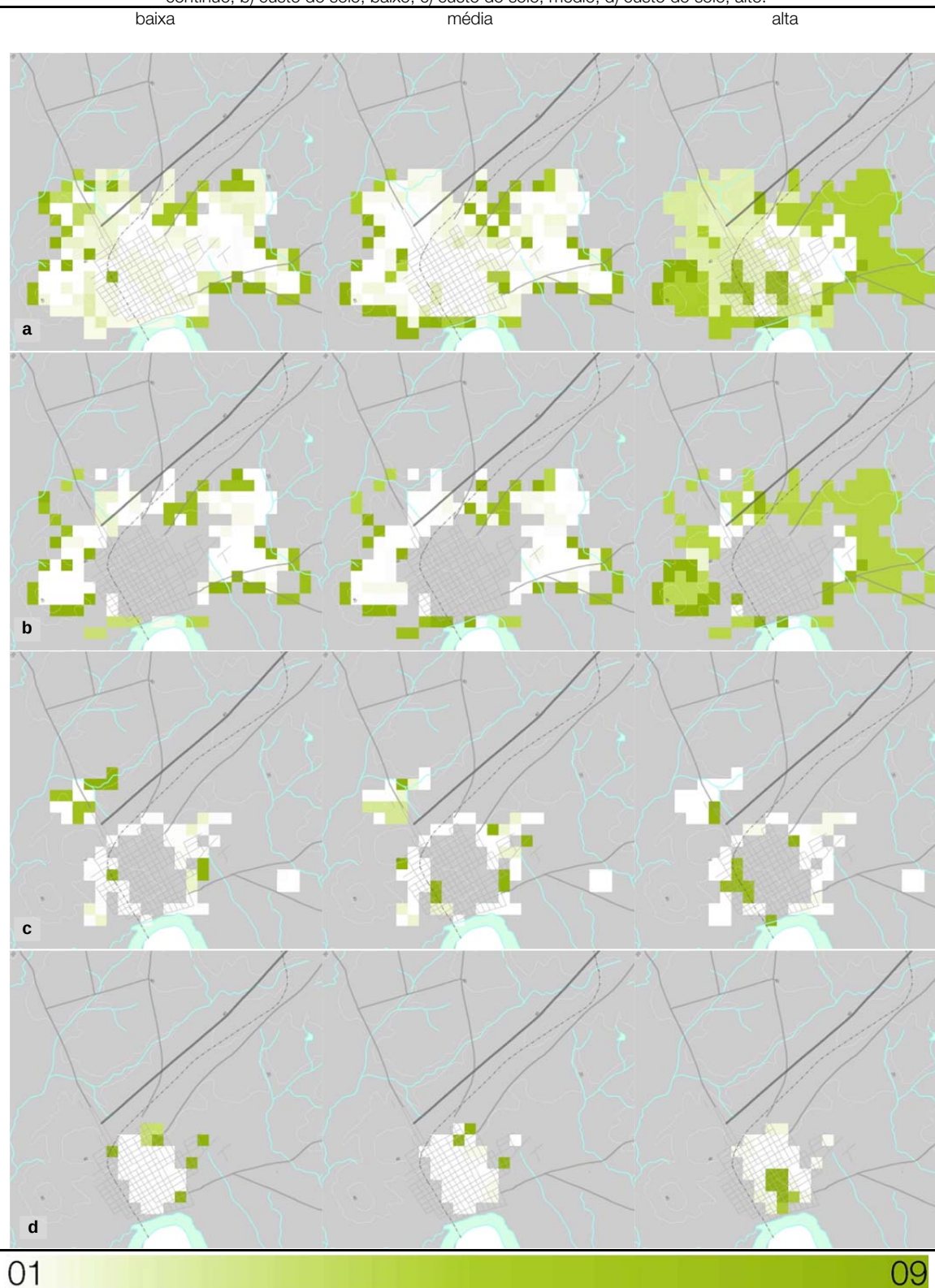


Figura C.1.15: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) acessibilidade contínua; b) acessibilidade baixa; c) acessibilidade média; d) acessibilidade alta.



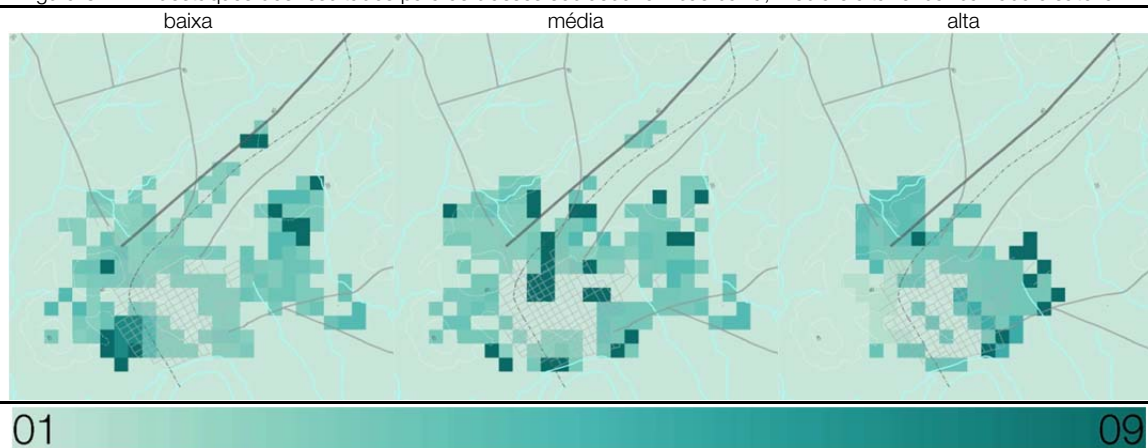
Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

Figura C.1.16: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: a) custo do solo, contínuo; b) custo do solo, baixo; c) custo do solo, médio; d) custo do solo, alto.



Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014)..

Figura C.1.17: destaques dos resultados para as classes socioeconômicas baixa, média e alta renda: camada aleatória.



Fonte: mapas do autor a partir de Censo (IBGE, 2011a) e SIG Jaguarão (PERES; POLIDORI, 2014).

3.4.1 Atributos integrais

A comparação mais geral, realizada com os 42 testes integrais, apresenta correlação maior com as áreas residenciais, seguidas pelo agrupamento de usos de serviço, indústria e comércio nas chamadas atividades não residenciais. Isto é esperado no sentido de representar a proximidade das áreas de ocupação urbana mais intensa. A topografia também pertence ao grupo com maior relevância para todas as rendas, sendo os locais mais elevados preferidos para a urbanização de forma praticamente homogênea entre as três classes sociais. Comportamento semelhante é percebido para os vazios urbanos, que tem a quarta mais intensa correlação (na média) e apresentam pouca diferença entre as faixas de renda. O custo do solo é mais relevante que os vazios na média, mas apresenta assimetria tendendo para a renda mais alta, como se discutirá abaixo.

Há, no entanto, resposta diferenciada entre as faixas de renda para os atributos que é capturada pela variância entre os resultados de cada atributo para os estratos de renda. Na série analisada, a variância é maior para os atributos de usos não residenciais, custo do solo e usos comerciais nesta ordem, que são associados de forma mais intensa à renda mais alta. Em um patamar inferior de variância, mas ainda com representatividade encontram-se os usos industriais, os usos residenciais puros e acessibilidade, que apresentam associação mais forte com as rendas baixa e média.

Desta análise geral, apreende-se que há correlações mais claras com a localização da alta renda. Ela se apresenta vinculada aos cinco atributos com maior correspondência da série, sendo que destes apenas os vazios urbanos não têm correlações mais fortes para a renda alta. Este é o estrato com maior correlação com os atributos de topografia, usos não residenciais, custo do solo, proximidade das linhas de drenagem, proximidade das estradas e uso comercial.

A renda média se apresenta como intermediária entre as demais faixas de renda, apresentando correlações mais fortes naqueles atributos que apresentam variância média a baixa. Desse modo, pode-se perceber que o comportamento da renda média é pouco específico e apresenta pequena diferenciação das outras classes sociais. É o estrato mais vinculado aos atributos do uso residencial, acessibilidade, declividade e proximidade ao Rio Jaguarão.

Quanto à renda baixa, percebe-se que ela também está associada a atributos com pequena variância, especialmente nos cinco atributos mais relevantes para si. Nota-se, entretanto, que a baixa renda tem a maior correlação entre os três estratos com os atributos dos vazios urbanos, áreas verdes, usos industriais e bacias hidrográficas. No que tange ao custo do solo, por

outro lado, a baixa renda apresenta a menor correlação entre os estratos, assim como aos usos comerciais.

Tabela C.1.1: resultados para os testes do experimento considerando integralmente os atributos. Ordem de classificação determinada pela média.

atributos	renda baixa	renda média	renda alta	media comp.	variância
uso_residencial	0,357	0,385	0,345	0,3623	0,00028088
uso_não residenciais	0,320	0,318	0,435	0,3577	0,00299088
topografia	0,355	0,354	0,359	0,3560	0,00000466
uso_vazios urbanos	0,364	0,334	0,359	0,3523	0,00017222
custo do solo	0,316	0,326	0,409	0,3503	0,00173755
acessibilidade	0,346	0,355	0,327	0,3427	0,00013622
uso_áreas verdes	0,346	0,331	0,334	0,3370	0,00004200
uso_comercial	0,267	0,281	0,400	0,3160	0,00356066
uso_industrial	0,336	0,251	0,333	0,3067	0,00155088
declividade_continua	0,291	0,293	0,291	0,2917	0,00000088
hidro_linhas drenagem	0,282	0,283	0,285	0,2833	0,00000155
hidro_rio jaguarão (1000m)	0,280	0,292	0,275	0,2823	0,00005088
estradas	0,279	0,281	0,287	0,2823	0,00001155
bacias	0,283	0,282	0,281	0,2820	0,00000066

3.4.2 Atributos estratificados

Para além dos atributos analisados acima, realizou-se a estratificação de certas séries, de forma a comparar classes específicas dos atributos com cada um dos perfis de renda. Declividade, bacias hidrográficas, acessibilidade e custo do solo foram subdivididos em três classes cada um, enquanto que para os afastamentos das estradas, linhas de drenagem e do Rio Jaguarão foi realizada uma comparação auxiliar, com distância de 500 metros do eixo de cada entidade. Estes testes em maior detalhe totalizaram 54 novas comparações, apresentadas na tabela C.1.2.

O objetivo dessas comparações foi verificar se existem sub-padrões de vinculação entre os estratos e os atributos ambientais. A literatura considera, por exemplo, que a proximidade das vias é fator determinante para o desenvolvimento de assentamentos informais (VINCENT, 2009) e nos interessa avaliar se isto se aplica a Jaguarão e se há alguma diferença de correlação entre afastamento de 500 ou 1000 metros. Ainda imagina-se que a renda esteja diretamente associada ao poder de compra e, portanto, que a localização das populações coincida com o custo do solo que podem adquirir. De forma semelhante, a acessibilidade é tida como próxima do custo do solo, uma vez que remete ao esforço realizado na urbanização que por sua vez é refletido no valor do solo urbanizado. O interesse, nestes casos, foi de investigar, considerando método quantitativo, a intensidade com a qual esses atributos assemelhavam-se ou diferiam nas suas relações com as faixas de renda.

Tabela C.1.2: resultados para os testes do experimento considerando integralmente os atributos. Ordem de classificação determinada pela média.

atributos	renda baixa	renda media	renda alta	media comp.	variância
declividade_baixa	0,434	0,433	0,449	0,4387	0,00005356
declividade_média	0,184	0,194	0,180	0,1860	0,00003467
declividade_alta	0,222	0,225	0,207	0,2180	0,00006200
estradas_afastamento de 500m	0,280	0,287	0,284	0,2837	0,00000822
estradas_afastamento de 1000m	0,279	0,281	0,287	0,2823	0,00001156
rio jaguarão_afastamento de 500m	0,297	0,305	0,303	0,3017	0,00001156
rio jaguarão_afastamento de 1000m	0,280	0,292	0,275	0,2823	0,00005089
linhas drenagem_afastamento de 500m	0,282	0,283	0,285	0,2833	0,00000156
bacias_baixas (fundo de vale)	0,529	0,528	0,546	0,5343	0,00006822
bacias_médias (encostas)	0,182	0,186	0,172	0,1800	0,00003467
bacias_altas (divisores de água)	0,176	0,178	0,165	0,1730	0,00003267
acessibilidade_baixa (0,0-0,3)	0,400	0,400	0,390	0,3967	0,00002222
acessibilidade_média (0,3-0,6)	0,409	0,410	0,542	0,4537	0,00390156
acessibilidade_alta (0,6 - 0,9)	0,357	0,294	0,334	0,3283	0,00067756
custo do solo_baixo	0,393	0,375	0,510	0,4260	0,00358200
custo do solo _médio	0,321	0,327	0,284	0,3107	0,00036156
custo do solo _alto	0,176	0,256	0,324	0,2520	0,00365867
camada aleatória	0,229	0,230	0,222	0,2270	0,00001267

fonte: do autor.

As frações de atributos que apresentaram maior relevância foram os fundos de vale das bacias hidrográficas, a faixa média de acessibilidade e as faixas baixas da declividade, custo do solo e acessibilidade, nesta ordem. Estas frações apresentaram relevância acima da média para todas as faixas de renda e os fundos de vale apresentam vinculação expressiva para todas as rendas. Os atributos com menor vinculação aos perfis de renda foram os divisores de água, as encostas (ambos das bacias hidrográficas), a declividade alta, declividade média e a camada aleatória.

A diferenciação entre as faixas de renda pode ser percebida nas frações de atributos da acessibilidade média, custo do solo alto e custo do solo baixo. Para a acessibilidade e custo do solo baixo, percebeu-se importância crescente da baixa renda para a média e alta, sendo que para a última faixa de renda estes atributos podem ser considerados muito relevantes. Já para o custo de solo alto, a distribuição crescente para as rendas médias e altas se mantém, mas a segunda maior variância da série se apresenta com a virtual exclusão das baixas rendas destas áreas. A vinculação da renda baixa com o custo do solo alto é muito fraca, próxima da metade da vinculação observada para a renda mais alta.

No que se refere às diferentes distâncias dos afastamentos, percebeu-se que os afastamentos maiores tiveram, em todos os casos, correlação menor do que os afastamentos menores.

Para a alta renda, os atributos mais relevantes são os fundos de vale, a acessibilidade média, o custo baixo do solo, a declividade baixa e a acessibilidade baixa. Para a renda média, os atributos mais relevantes são os fundos de vale, a baixa declividade, a acessibilidade média e baixa e o custo do solo baixo e médio. Para a renda baixa, são os fundos de vale, a declividade baixa, a acessibilidade média e baixa e o custo baixo do solo.

Um estudo auxiliar foi realizado junto ao custo do solo e a correlação simples entre os três níveis de custo e os três estratos de renda resultou na tabela C.1.3, abaixo. Percebe-se que os resultados mais para cada estrato são os do custo de nível equivalente, baixa renda com baixo custo e assim em diante. O custo alto, no entanto, é bastante mais contrastante que os demais e a correlação muito fraca entre ele e a renda baixa corrobora as análises anteriores.

Tabela C.1.3: verificação da correlação entre matrizes de custo do solo (alto, médio e baixo) e estratos de renda alta, média e baixa.

	custo baixo	custo médio	custo alto
renda baixa	0,545993096	0,456704988	0,091321472
renda média	0,412810877	0,538838688	0,3955844
renda alta	0,09310647	0,315543836	0,764268245

Fonte: do autor.

3.5 CONCLUSÕES

Os experimentos realizados apontaram a vinculação de perfis socioeconômicos aos atributos físicos para a área de análise. Foi corroborada a hipótese inicial de que há, na localização dos perfis socioeconômicos, relacionamento diferenciado com os atributos que compõem o ambiente urbano. Neste sentido, se aponta como possível utilizar a análise realizada como fundamento para a parametrização dos modelos experimentais a serem realizados.

Baseado nestas pode-se estabelecer referência a parametrização dos Agentes para o modelo. Esta referência foi arbitrada a partir de considerações dos resultados demonstrados acima com foco em dois aspectos: representar os atributos com maiores vinculações com pesos maiores; e diferenciar as classes socioeconômicas, buscando atributos que tenham vinculações medianas, mas permitam diferenciar os Agentes em seus processos de tomada de decisão. Foi estabelecida uma escala de 1 a 9 para todos os pesos, sendo o valor 9 atribuído aos atributos com maiores influências.

Conclusão possível deste estudo é que as três faixas de renda ocupam áreas em que são encontrados atributos em comum e, portanto, tenderiam a compartilhar ou disputar o espaço disponível. De forma geral, a urbanização de Jaguarão se localiza em área relativamente baixa, próxima ao rio que lhe dá nome, o que explicaria a prevalência das partes mais baixas das bacias hidrográficas. O custo do solo aparenta ser o atributo mais revelador de diferenças, uma vez que nas áreas em que é baixo, atrai principalmente a alta renda e, em segundo e distante lugar, a renda baixa, seguida de perto pela média. Essa diferença também é percebida no outro extremo do custo do solo, no qual novamente a renda mais alta tem prevalência e a renda baixa está muito distante, praticamente ausente, enquanto a renda média aproxima-se exatamente do ponto médio entre os outros estratos.

Tabela C.1.4: resultados dos experimentos de vinculação dos perfis socioeconômicos aos atributos ambientais.

atributo	classe baixa	classe media	classe alta	média result.	variância	parâm. baixa	parâm. média	parâm. alta
topografia	0,355	0,354	0,359	0,3560	0,0000	7	7	5
declividade_continua	0,291	0,293	0,291	0,2917	0,0000	5	4	3
declividade_baixa	0,434	0,433	0,449	0,4387	0,0001	9	8	7
declividade_média	0,184	0,194	0,180	0,1860	0,0000	1	0	0
declividade_alta	0,222	0,225	0,207	0,2180	0,0001	3	1	1
uso_comercial	0,267	0,281	0,400	0,3160	0,0036	4	3	6
uso_áreas verdes	0,346	0,355	0,327	0,3370	0,0000	6	7	4
uso_industrial	0,336	0,251	0,333	0,3067	0,0016	6	2	4
uso_não residenciais	0,320	0,318	0,435	0,3577	0,0030	6	5	7
uso_residencial	0,357	0,385	0,345	0,3623	0,0003	7	8	5
uso_vazios	0,364	0,334	0,359	0,3523	0,0002	7	7	5
estradas_buffer 500m	0,280	0,287	0,284	0,2837	0,0000	4	4	3
estradas_buffer 1000m	0,279	0,281	0,287	0,2823	0,0000	4	3	3
hidro_rio buffer 500m	0,297	0,305	0,303	0,3017	0,0000	5	5	3
hidro_rio buffer 1000m	0,280	0,292	0,275	0,2823	0,0001	4	4	2
hidro_linhas dren_500m	0,282	0,283	0,285	0,2833	0,0000	4	3	3
bacias_fundo vale	0,529	0,528	0,546	0,5343	0,0001	9	9	9
bacias_encostas	0,182	0,186	0,172	0,1800	0,0000	0	0	0
bacias_divisores água	0,176	0,178	0,165	0,1730	0,0000	0	0	0
bacias_continuas	0,283	0,282	0,281	0,2820	0,0000	4	3	2
acessibilidade_continua	0,346	0,331	0,334	0,3427	0,0001	6	7	4
acessibilidade_baixa (0,0-0,3)	0,400	0,400	0,390	0,3967	0,0000	7	8	6
acessibilidade_média (0,3-0,6)	0,409	0,410	0,542	0,4537	0,0039	7	8	9
acessibilidade_alta (0,6 - 0,9)	0,357	0,294	0,334	0,3283	0,0007	7	4	4
custo do solo	0,316	0,326	0,409	0,3503	0,0017	6	6	6
custo_medio	0,321	0,327	0,284	0,4260	0,0036	6	6	3
custo_alto	0,176	0,256	0,324	0,3107	0,0004	0	2	4
custo_baixo	0,393	0,375	0,510	0,2520	0,0037	7	7	8
random	0,229	0,230	0,222	0,2270	0,0000	3	1	1

Fonte: do autor.

APÊNDICE D
GLOSSÁRIO DE VARIÁVEIS E PARÂMETROS

1 GLOSSÁRIO DE VARIÁVEIS E PARÂMETROS

1.1 INICIALIZAÇÃO

Variáveis globais	símbolo	unidade	espectro padrão
Fator Aleatório dos Agentes	Δ	%	0 – a 100
Parâmetro de Divisão	dv_f	unidade	1 – população min. por célula

Parâmetros das Classes de Agentes	símbolo	unidade	espectro padrão
Parâmetro de Poder da Classe c	Class $c.s_p$	n/a	1 – 9
Parâmetro de Prioridade da Classe c	Class $c.p_p$	n/a	1 – 9
Parâmetro de Distância da Classe c	Class $c.d_p$	n/a	1 – raio do <i>grid</i>
Taxa de Crescimento da Classe c	Class $c.\theta_{pop}$	%	0 – 10%
Acessibilidade Alvo da Classe c	Class $c.Av$	n/a	0 – 1
Parâmetros de Oportunidade da Classe c	Class $c.wAtt$	n/a	1 – 9
Parâmetros de Copresença da Classe c	Class $c.c_p$	n/a	1 – máx. população de um Agente

Parâmetros dos Agentes	símbolo	unidade	espectro padrão
Classe de Agentes a que pertence o Agente i	Agent $i.Class$	n/a	classes modeladas
Parâmetro de Poder do Agente i	Agent $i.s_p$	n/a	1 – 9
Parâmetro de Prioridade do Agente i	Agent $i.p_p$	n/a	1 – 9
Parâmetro de Distância do Agente i	Agent $i.d_p$	n/a	1 – raio do <i>grid</i>
Taxa de Crescimento do Agente i	Agent $i.\theta_{pop}$	%	0 – 10%
Acessibilidade Alvo do Agente i	Agent $i.Av$	n/a	0 – 1
Parâmetros de Oportunidade do Agente i	Agent $i.wAtt$	n/a	1 – 9
Parâmetros de Copresença do Agente i para a Classe de Agentes d	Agent $i.Cp_d$	n/a	1 – máx. população de um Agente

1.2 SUBMODELO DE CRESCIMENTO

parâmetros do ambiente	símbolo	unidade	espectro padrão
Coefficiente Determinístico	α	n/a	0 – 1
Coefficiente Aleatório	β	n/a	0 – 1
Impedância Global	Ω	n/a	0,1 – 0,9
impedância local sobre atributos urbanos em (x, y)	ω_{xy}	n/a	0 – 2
Taxa de Crescimento Urbano	θ_{urb}	índice	n/a

variáveis de estado do ambiente	símbolo	unidade	espectro padrão
Acessibilidade Relativa em (x, y)	Ar_{xy}	n/a	0 – 1
Acessibilidade Celular Absoluta em (x, y)	AC_{xy}	n/a	>0
Potencial de Urbanização em (x, y)	Potencial xy	n/a	0,1 – 0,9
Resistências Naturais em (x, y)	Env_{xy}	n/a	0 – 1
Tipo da Célula em (x, y)	$cellType_{xy}$	booleano	0 ou 1

variáveis de estado dos agentes	símbolo	unidade	espectro padrão
População na célula (x, y) do Agente i	Agent $i.Pop_{xy\ t}$	famílias	inteiros positivos
População acrescida na célula (x, y) para o Agente i	Agent $i.PopGrown_{xy\ t}$	famílias	inteiros positivos
População total do Agente i na iteração t	Agent $i.Pop_t$	famílias	inteiros positivos
População acrescida na para o Agente i na iteração t	Agent $i.PopGrown_t$	famílias	inteiros positivos
População na célula (x, y) para a Classe c	Class $c.Pop_{xy\ t}$	famílias	inteiros positivos
População acrescida na célula (x, y) para a Classe c	Class $c.PopGrown_{xy\ t}$	famílias	inteiros positivos
População total para a Classe c na iteração t	Class $c.Pop_t$	famílias	inteiros positivos
População acrescida na para a Classe c na iteração t	Class $c.PopGrown_t$	famílias	inteiros positivos

1.3 SUBMODELO DE COMPETIÇÃO

variáveis de estado das classes	símbolo	unidade	espectro padrão
Grid de conflitos	n/a	booleano	verdadeiro/falso
Conflitos na célula	Conflict_{xy}	n/a	>0
Intensidade de Conflitos, entre as Classes c e d	$\text{TotalConflict}_{cd}$	n/a	0
População Expulsa da Classe c	$\text{Class } c. \text{PopExpelled}$	famílias	inteiros positivos
População a ser Alocada da Classe c	$\text{Class } c. \text{PopToAllocate}$	famílias	inteiros positivos

variáveis de estado dos agentes	símbolo	unidade	espectro padrão
Fator de Copresença do Agente i para o Agente j	$\text{Cf}_{ij,xy}$	n/a	n/a
Teste de Copresença entre o Agente i e o Agente j em (x, y)	$\text{Cpres}_{xy}(\text{Cf}_{ij,xy})$	booleano	verdadeiro/falso
Fator de Poder do Agente i para o Agente j	$\text{Pf}_{ij,xy}$	n/a	n/a
Teste de poder entre o Agente i e o Agente j	$\text{Ptest}_{xy}(\text{Pf}_{ij,xy})$	booleano	verdadeiro/falso
Intensidade de Conflito Total	TotalConflict	n/a	>0
População Expulsa do Agente i	$\text{Agent } i. \text{PopExpelled}$	famílias	inteiros positivos
População a ser Alocada do Agente i	$\text{Agent } i. \text{PopToAllocate}$	famílias	inteiros positivos

1.4 SUBMODELO DE TOMADA DE DECISÃO

variáveis de estado das classes	símbolo	unidade	espectro padrão
Oportunidade Absoluta da Classe c	$\text{Class } c. \text{OpAbs}$	n/a	>0
Oportunidade Relativa da Classe c	$\text{Class } c. \text{OpRel}$	n/a	0 – 1
Dissonância da Classe c	$\text{Class } c. \text{Dissonance}$	n/a	0 – 1
População Dissonante da Classe c	$\text{Class } c. \text{PopDissonant}$	famílias	inteiros positivos

variáveis de estado dos agentes	símbolo	unidade	espectro padrão
Oportunidade Absoluta do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{OpAbs}_{xy}$	n/a	>0
Oportunidade Relativa do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{OpRel}_{xy}$	n/a	0 – 1
Acessibilidade Particular Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{Ap}_{xy}$	n/a	0 – 1
Matriz de Oportunidades do Agente i para a célula (x, y)	$\text{Agent } i. \text{OPREL}_{xy}$	n/a	0 – 1
Matriz de Oportunidades do Agente i	$\text{Agent } i. \text{OPREL}$	n/a	0 – 1
Dissonância do Agente i	$\text{Agent } i. \text{Dissonance}$	n/a	0 – 1
População Dissonante do Agente i	$\text{Agent } i. \text{PopDissonant}$	pop. agentes	inteiros positivos
Localização do Agente i	$\text{Agent } i. \text{Location}_{x,y}$	coordenada (x,y)	

1.5 SUBMODELO DE ALOCAÇÃO

variáveis de estado das classes	símbolo	unidade	espectro padrão
População a ser Alocada da Classe c em (x, y)	$\text{Class } c. \text{PopToAllocate}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Acrescida do da Classe c em (x, y)	$\text{Class } c. \text{PopGrown}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Alocada do Agente i em (x, y)	$\text{Class } c. \text{PopAllocated}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Expulsa do Agente i em (x, y)	$\text{Class } c. \text{PopExpelled}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Dissonante do Agente i em (x, y)	$\text{Class } c. \text{PopDissonant}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
Oportunidade Relativa do Agente para a célula (x, y)	$\text{Agent } i. \text{OpRel}_{xy}$	n/a	reais
Soma das Oportunidades Relativas das células na vizinhança v	$\text{Agent } i. \text{OpRel}_v$	n/a	reais
Limite populacional das células	PopLimit_{xy}	pop. agentes	inteiros positivos
Atributos presentes	$\text{Att } A$	variável	reais

variáveis de estado dos agentes	símbolo	unidade	espectro padrão
População a ser Alocada do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{PopToAllocate}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Acrescida do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{PopGrown}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Alocada do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{PopAllocated}_{rs}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Expulsa do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{PopExpelled}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
População Dissonante do Agente i em (x, y)	$\text{Agent } i. \text{PopDissonant}_{xy}$	pop. agentes	inteiros positivos
Oportunidade Relativa do Agente para a célula (r, s) , onde $(r, s) \in c$ e $(r, s) \neq (x, y)$	$\text{Agent } i. \text{OpRel}_{rs}$	n/a	reais
Soma das Oportunidades Relativas das células na vizinhança v	$\text{Agent } i. \text{OpRel}_v$	n/a	reais
Atributos presentes	n/a	n/a	reais

1.6 RESULTADOS DO MODELO

variáveis de estado	símbolo	unidade	espectro padrão
População na célula (x, y) para a Classe c	Class c . Pop_{xy}	famílias	inteiros positivos
População acrescida em (x, y) para a Classe c	Class c . PopGrown_{xy}	famílias	inteiros positivos
População total para a Classe c	Class c . Pop	famílias	inteiros positivos
População Expulsa da Classe c	Class c . PopExpelled	famílias	inteiros positivos
População a ser Alocada da Classe c	Class c . PopToAllocate	famílias	inteiros positivos
Intensidade de Conflitos, entre as Classes c e d	TotalConflict _{cd}	n/a	
Intensidade de Conflito Total entre as classes	TotalConflict	n/a	
Oportunidade Absoluta da Classe c em (x, y)	Class c . Op_{abs}	n/a	
Oportunidade Relativa da Classe c em (x, y)	Class c . Op_{rel}	n/a	0 – 1
Dissonância da Classe c em (x, y)	Class c . Dissonance	n/a	0 – 1
População Dissonante da Classe c em (x, y)	Class c . PopDissonant	famílias	inteiros positivos
População Alocada do Classe c em (x, y)	Class c . PopAllocated_{rs}	pop. agentes	inteiros positivos
Acessibilidade Relativa em (x, y)	Ar_{xy}	n/a	0 – 1
Acessibilidade Celular Absoluta em (x, y)	AC_{xy}	n/a	>0
Tipo da Célula em (x, y)	cellType _{xy}	booleano	0 ou 1
Atributos presentes em (x, y)	Att A	variável	reais

variáveis dos Agentes	símbolo	variáveis equivalentes das Classes	símbolo	método de agregação
População na célula (x, y) Agente i	Agent i . Pop_{xy}	População na célula (x, y) para a Classe c	Class c . Pop_{xy}	soma
População acrescida em (x, y) do Agente i	Agent i . PopGrown_{xy}	População acrescida em (x, y) para a Classe c	Class c . PopGrown_{xy}	soma
População total do Agente i	Agent i . Pop	População total para a Classe c	Class c . Pop	soma
População Expulsa do Agente i	Agent i . PopExpelled	População Expulsa da Classe c	Class c . PopExpelled	soma
Oportunidade Absoluta Agente i em (x, y)	Agent i . OpAbs_{xy}	Oportunidade Absoluta da Classe c em (x, y)	Class c . OpAbs_{xy}	média aritmética
Oportunidade Relativa Agente i em (x, y)	Agent i . OpRel_{xy}	Oportunidade Relativa da Classe c em (x, y)	Class c . OpRel_{xy}	média aritmética
Dissonância Agente i em (x, y)	Agent i . Dissonance_{xy}	Dissonância da Classe c em (x, y)	Class c . Dissonance_{xy}	média aritmética
População Dissonante Agente i em (x, y)	Agent i . PopDissonant_{xy}	População Dissonante da Classe c em (x, y)	Class c . PopDissonant_{xy}	soma
População Alocada do Agente i em (x, y)	Agent i . PopAllocated_{xy}	População Alocada da Classe c em (x, y)	Class c . PopAllocated_{xy}	soma