




XVII ENANPUR

SÃO PAULO • 2017



O Lugar dos Pobres na Cidade: contribuições sobre crescimento urbano da modelagem por agentes

Poor's Place in the City: agent based modelling
contributions on urban growth

*Alexandre Pereira Santos¹, Mestre, UFPEL – PROGRAU,
alexandre.pereira.arq@gmail.com.*

*Maurício Couto Polidori², Professor Doutor, UFPEL –
PROGRAU, mauricio.polidori@gmail.com.*

¹ **Alexandre Pereira Santos** Arquiteto e Urbanista pela UFRGS (2007), mestre em Arquitetura e Urbanismo pela UFPEL (2015). Desenvolve pesquisa e prática profissional nas áreas da Teoria da Urbanização e do Urbanismo Contemporâneo sobre forma da cidade enquanto processo social, relações com a pobreza e ambiente natural através da modelagem das dinâmicas urbanas, com uso de geotecnologias, modelagem com autômatos celulares (CA) e baseada em agentes (ABM).

² **Maurício Polidori** possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas (1982), especialização em Planejamento Energético e Ambiental pela UFRGS (1993), mestrado em Planejamento Urbano e Regional pela UFRGS – PROPUR (1996) e doutorado em Ciências pela UFRGS-PPGECO (2005). Atualmente é diretor e professor da Universidade Federal de Pelotas, concentrando atividades na área de Planejamento Urbano e Regional, com ênfase em planejamento urbano e ambiental, projetos, modelagem urbana e simulações, desenho urbano, instrumentos e análises espaciais, atuando principalmente nos temas de planejamento urbano, morfologia urbana, urbanismo, ambiente e geoprocessamento.

RESUMO

Os processos de formação de áreas de pobreza nas periferias urbanas são fenômenos multifacetados e compostos através da influência de numerosos agentes em processos nos quais a forma urbana é inserida em ciclos de crescimento e redefinição do valor da terra, com forte interação com processos sociais de diferenciação e segregação social. Esse conjunto de relações pode ser estudado através da teoria da complexidade, auto-organização e emergência, em aplicações dedicadas a compreender dinâmicas urbanas. 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. O modelo foi implementado em experimentos abstratos e empírico, este último para a cidade de Jaguarão/RS, Brasil. Os resultados demonstram que há constante competição por localizações no modo capitalista de produção da cidade, indicando a necessidade de ampliação da pesquisa sobre comportamento social integrado a dinâmicas morfológicas das cidades que considerem conflito e disputa pela forma urbana.

Palavras Chave: Crescimento Urbano, Morfologia Urbana, Autômato Celular, Modelos Baseados em Agentes, Pobreza.

ABSTRACT

Peripheral areas of poverty take shape through multifaceted phenomena in which the influence of numerous agents is perceived. These processes engage urban form through growth and land-valuing cycles that present strong interaction with the processes of social differentiation and segregation. Complexity, self-organization and emergency theories may provide the support to appraise this set of relationships. This work presents an agent based – cellular environment model for urban growth and social processes simulation, focused especially 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 abstract and empirical exercises, the latter referring to the municipality of Jaguarão/RS, Brazil. Results show constant competition over locations in the capitalist mode of production of the city, indicating increased research on approaches that integrate social behavior and morphological dynamics and represent conflict and dispute over urban form.

Keywords/Palabras Clave: Urban Growth, Urban Morphology, Cellular Automata, Agent-Based Models, Poverty.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano tem se mostrado como um dos fenômenos mais impactantes ao desenvolvimento global nas últimas décadas. Apesar do arrefecimento das taxas de crescimento populacional registradas recentemente para grande parte do mundo, os últimos 40 anos de urbanização resultaram em taxas de crescimento populacional da ordem de 1,8 vezes, enquanto a superfície ocupada pela urbanização cresceu 2,5 vezes, especialmente nos países industrializados, como revelam observações recentes e precisas da urbanização em escala global (PARESI et al., 2016).

Complementarmente, as cidades podem ser descritas como imensos artefatos criados pelo homem para suprir suas necessidades, especialmente de socialização e encontro, sendo base para sociedades humanas há pelo menos 5.000 anos (PORTUGALI, 2000). A evolução destas entidades socioespaciais foi fundamental para o desenvolvimento das relações sociais que deram forma a civilização tal como é conhecida atualmente, sendo base para redes de socialização, troca e cultura.

Contemporaneamente, abrigam a maior parte da população mundial (PARESI et al., 2016), o que aumenta sua relevância para a promoção da qualidade de vida e mesmo sobrevivência das sociedades humanas no planeta. A ciência urbana, no entanto, dá apenas seus primeiros passos (BATTY, 2014), no sentido de consolidar um conjunto de possibilidades teóricas e metodológicas que buscam abordar a complexidade dos processos urbanos com maior propriedade e investigar as dinâmicas associadas aos benefícios e externalidades da urbanização.

O fenômeno do crescimento urbano, portanto, aliado ao agravamento da crise ambiental global, forma um quadro de grandes desafios para o futuro do planeta. Avançando sobre as considerações que estudos anteriores (GILBERT, 1987; COHEN, 2006; UN-HABITAT, 2008) buscaram fazer sobre o crescimento urbano, a observação, análise e mensuração apoiada em instrumentos e geotecnologias têm suscitado possibilidades inéditas de compreensão dos fenômenos subjacentes à urbanização, assim como para estimar os impactos do desenvolvimento futuro das cidades (BATTY et al., 1989; ANGEL et al., 2010; PARESI et al., 2016), estabelecendo também as bases para seu planejamento local, nacional, regional e global. Desenvolvimento relevante também foi observado no campo teórico, especialmente com a consideração das complexidades dos processos urbanos (ALLEN, 1997; PORTUGALI, 2000; BATTY, 2007; ECHENIQUE et al., 2012).

Esta observação do crescimento urbano tem trazido atenção às bordas da urbanização e as relações centro-periferia, neste contexto, tem-se demonstrado reveladoras de padrões morfológicos diversos e processos sócio-espaciais associados, uma dinâmica de crescimento urbano interativa, na qual as periferias e os centros têm papel ativo (BARROS, 2004; ABRAMO, 2007), indicando um comportamento sistêmico, complexo e auto-organizado (PORTUGALI, 2000).

Considerações anteriores sobre as influências da economia urbana nos processos de produção das cidades (SANTOS et al., 2015) estabeleceram argumentos em direção à participação das periferias, especialmente as pobres, nos processos de crescimento da América Latina. Destacaram também a participação da pobreza e das desigualdades nestes processos, nos quais o acesso às oportunidades e benefícios da urbanização é privilegiado às classes dirigentes, formando padrões de segregação socioespacial com alta interação entre a forma urbana e as condições de classe

socioeconômicas de seus habitantes. Apontaram também para a interinfluência entre pobreza e forma urbana, onde um descompasso socioespacial é refletido na desintegração espacial baseada na segregação e na interação do espaço com a sociedade, em processo pleno de conflitos.

É sobre os conflitos presentes na produção e ocupação da forma urbana, portanto, que o presente trabalho busca debruçar-se. A base teórica lançada por Harvey (1978) é ampliada pelas contribuições de Abramo (2001) e estes pressupostos são implementados em simulações computacionais que visam representar o desenvolvimento desigual, a produção do espaço capitalista e as teorias da complexidade aplicadas à urbanização.

A partir destas simulações, observaram-se padrões de distribuição das populações e dos conflitos que demonstraram 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.

PROCESSOS FORMADORES DAS PERIFERIAS CONTEMPORÂNEAS LATINO-AMERICANAS

Propõe-se que, na América Latina, os processos de produção urbana têm sido realizados por mecanismos mercadológicos híbridos entre formalidade e informalidade. A existência de áreas de informalidade e ocupação precária na região não pode, portanto, ser considerada equivalente às condições da Inglaterra vitoriana de Engels, uma vez que estas contradições não se estabelecem como condição passageira, mas tornam-se mecanismos de reprodução social do capitalismo através da forma urbana e que devem, portanto, perdurar e se ampliar conforme o processo capitalista de produção da cidade se desenvolve na região.

A análise dos processos sociais de produção da urbanização, portanto, pode ser realizada com maior precisão se considerar a combinação de mecanismos socioeconômicos do mercado imobiliário formal com o mercado imobiliário informal em interações estratégicas e desagregadas. Para estruturar esta investigação, indica-se a complementação das contribuições teóricas de Harvey (2006) e Abramo (2007) com abordagens que considerem explicitamente a complexidade nos processos produtivos da forma urbana contemporânea da região.

Harvey (1978, 2001, 2006) apresenta a leitura dos processos sistêmicos do capitalismo na produção do espaço, presentes especialmente no mercado formal. Identifica componentes processuais complexos, relacionados dialeticamente na reprodução capitalista através da desigualdade urbana, que permitem aprofundar as considerações sobre a pobreza na produção das cidades. As contradições da classe capitalista em seu processo de reprodução social, nomeadamente a anteposição das ações competitivas dos indivíduos aos interesses da classe definem processo de competição incessante entre os capitalistas que gera demanda constante por inovações, na busca de vantagens de um sobre todos os demais. Apesar dos mecanismos de ajuste anticíclicos constituídos pela classe capitalista para buscar evitar e mitigar as crises de crescimento, dos quais destaca-se o direcionamento de capital para o circuito secundário do capital, do qual fariam parte as infraestruturas e o tecido urbano, o alívio à tendência de crises de acumulação é temporário, uma vez que o comportamento da classe capitalista a levará a repetir as inovações consagradas, o que impele soluções localizadas a se transformarem em superinvestimentos generalizados no circuito secundário. Constitui-se assim um caráter cíclico de esgotamento dos benefícios da alternância, que ocasiona crises de acumulação no circuito secundário, que tendem a eliminar o efeito “racionalizador” das crises de “destruição criadora” envolvidas no “ajuste espacial” (HARVEY, 2001) provido pelos investimentos no ambiente urbano.

Pode-se argumentar, portanto, que as operações destrutivas e reorganizadoras do espaço que ocorrem na produção do espaço no modo capitalista são mecanismos integrais do seu funcionamento, sem os quais não seria possível resolver, mesmo que de forma limitada, as crises que limitam a acumulação. A incessante busca pela mitigação das crises através da expansão da base de investimento se transforma, no ambiente construído, em “um impulso insaciável de resolver suas tendências de crise internas pela expansão e reorganização geográfica.”³ (HARVEY, 2001, p. 24).

Harvey chega a salientar a fragilidade jurídica de que se revestem as favelas e ocupações informais, mas não lhes atribui, no entanto, papel ativo na reprodução do capital através do ambiente construído. De forma complementar, portanto, se apresenta a análise de Pedro Abramo (2007) sobre os mercados formal e informal nas regiões metropolitanas da América Latina. O autor compõe o que chama de “abordagem heterodoxa” para articular a economia na produção do espaço urbano, ocorra ela através mercado formal ou informal. Sua análise busca dar conta dos mecanismos sistêmicos operados por famílias independentes, porém coordenadas pela avaliação estratégica das oportunidades residenciais nas cidades latino-americanas, no que chama de “convenção urbana”.

Quando observados de modo sistêmico, percebe-se que estes mercados acabam por interagir de modo competitivo, complementar ou em efeitos de borda mistos, oferecendo oportunidades variadas em preço, legalidade jurídica, qualidade da localização, infraestrutura e urbanidade à sociedade dramaticamente desigual da América Latina. Nesta linha, argumenta-se, o crescimento urbano integra os mercados formal e informal, apesar destes modos de produção responderem aparentemente a demandas para classes sociais muito distintas. Entre os extremos da plena regularidade e da total ilegalidade, portanto, se distribuem graduações das qualidades e custos da urbanização, oferecendo oportunidades a compradores de diversas condições sociais e financeiras. Isto não implica apenas no atendimento a demandas sociais heterogêneas, no entanto, mas vincula a forma urbana à reprodução da pobreza através da produção da cidade que inclui a informalidade.

SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO E OCUPAÇÃO DA FORMA URBANA

Este trabalho propõe que as áreas periféricas pobres têm desempenhado função importante na evolução das cidades, calcada na especulação imobiliária, estratificação e exclusão socioespacial. Quando analisadas sistemicamente, estas áreas revelam ligações importantes entre o território e redes em múltiplas escalas de agentes e processos heterogêneos, o que indica que pesquisa sobre os processos de urbanização contemporânea deve considerar categorias, métodos analíticos e simulatórios que retratem a complexidade dos processos, seus agentes e determinações. Sugere-se, portanto, avançar na observação da informalidade e pobreza a partir das teorias da complexidade, observando as dinâmicas desde a base para o topo, focando especificamente nas redes relacionais entre agentes, ambiente e forma urbana.

Procuramos investigar a formação de áreas de pobreza nas dinâmicas de produção e ocupação da cidade, procurando melhor compreender o comportamento de diferentes grupos sociais no processo de crescimento e expansão urbana e as emergentes formações de periferias urbanas associadas às áreas de pobreza. Metodologicamente o trabalho está apoiado em recursos de

³ No original “capitalism’s insatiable drive to resolve its inner crisis tendencies by geographical expansion and geographical restructuring”.

morfologia urbana, modelagem urbana e simulação de crescimento, aplicando recursos de Sistemas de Informações Geográficas e Geotecnologias.

O trabalho propõe um modelo crescimento urbano e ocupação da forma urbana por agentes autônomos que representam grupos sociais em interação e disputa. Estes agentes autônomos estão traduzidos para linguagem da modelagem urbana, matemática e computacional, construindo um modelo híbrido, articulando recursos dos autômatos celulares (CA) e dos modelos baseados em agentes (ABM). 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., 2012).

O modelo foi aplicado em experimentos empíricos, que investigaram a interação e competição entre agentes autônomos da 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.

Em síntese, para a construção de modelo de crescimento urbano baseado em agentes em ambiente celular que procura investigar o processo de formação de periferias e a localização de populações pobres nas cidades, como ponto de partida, o trabalho assume as seguintes diretrizes teóricas:

- a) a pobreza nas cidades tem papel central no desenvolvimento destas últimas sob a égide do capitalismo, servindo como mecanismo de diferenciação espacial e social e alimentando o crescimento urbano (HARVEY, 1978);
- b) o crescimento urbano ocorre através de ciclos alternados de expansão e consolidação nos quais as dinâmicas centro-periferia atuam sistemicamente sobre o valor sobre a forma urbana (ABRAMO, 2007);
- c) a desigualdade espacial e segregação social são interligadas e atuam como motores da ocupação da forma urbana por classes sociais diferentes, ocasionando conflitos pelos benefícios da urbanização (ABRAMO, 2007);
- d) a áreas pobres e irregulares atuam como fatores de adaptação à instabilidade geral dos sistemas urbanos, absorvendo variações e sendo sujeitas a alterações estruturais na sua organização social e espacial (BARROS, 2012).

RECURSOS DE MODELAGEM URBANA

O modelo proposto está construído mediante uma lógica híbrida, articulando recursos de ambiente de autômatos celulares do software CityCell (POLIDORI, 2004; SARAIVA; POLIDORI, 2013), com as possibilidades de modelagem baseada em agentes, os quais operam de modo autônomo na decisão sobre oportunidades de localização espacial urbana, a partir da leitura de ambiente urbano disponível.

A partir da descrição do ambiente, considerando características urbanas, naturais e institucionais, bem como da distribuição da população no território urbano, caracterizada por diferentes classes

socioeconômicas, o modelo pretende demonstrar o processo de apropriação do espaço urbano por populações pobres, partindo da hipótese de que a apropriação do espaço por classes socioeconômicas pode ser percebida pela associação das classes com características do espaço urbano e pelas disputas entre estas classes.

O modelo está desenvolvido sobre os recursos de simulação do crescimento urbano já implementadas no software CityCell, especialmente a dinâmica de crescimento aplicada no modelo desenvolvido por Saraiva (2013), na qual opera através de relações de vizinhança entre as células do ambiente (seguindo a lógica e os recursos dos autômatos celulares), calculando uma medida de acessibilidade celular ponderada que resulta em padrão emergente de crescimento urbano. Neste caso, o crescimento da forma urbana é simulado assumindo que os locais mais acessíveis são os espaços preferenciais para a conversão urbana. Esse mecanismo considera que há diferenças no ambiente que facilitam ou dificultam a urbanização, que podem ser construídas mediante características naturais (topografia, declividade, presença de corpos d'água, banhados e qualidades da paisagem), da urbanização (qualificação ou precariedade da infraestrutura instalada, ou qualidade da urbanização existente), ou mesmo normas e aspectos culturais da urbanização (zoneamento restritivo ou de estímulo a urbanização, crenças e valores culturais sobre as diversas áreas urbanas).

Sobre esta resultante do crescimento urbano, no modelo desenvolvido, atuam agentes autônomos que interpretam o ambiente urbano na busca de melhores condições de ocupação. Os agentes estão representados por grupos ou classes socioeconômicas que avaliam as áreas urbanizadas para decidir mudar-se ou permanecer nos locais em que estão.

A lógica do modelo está representada de modo conceitual no diagrama da figura 1, o qual detalha a origem dos dados empíricos (físicos e censitários) que alimentam a descrição do ambiente e a caracterização dos agentes, demonstrando o encadeamento entre o processamento do crescimento urbano segundo as técnicas de autômatos celulares e as dinâmicas de alocação da população, promovendo processos de competição, tomada de decisão e realocação das populações, segundo as técnicas de agentes.

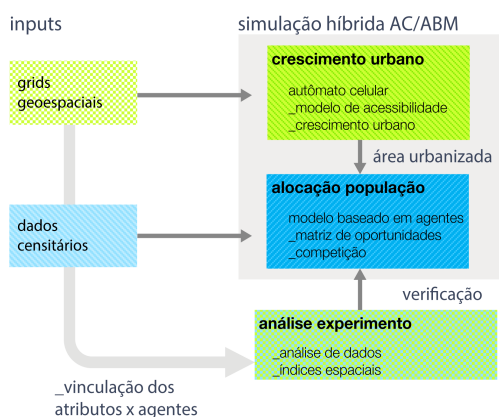


Figura 1 - Modelo conceitual, demonstrando as dimensões principais do modelo e seus encadeamentos.

A figura 2, a seguir, apresenta de modo mais detalhado o encadeamento global do modelo em seis etapas, desde a preparação inicial do ambiente de modelagem (input) até a saída das variáveis de cada ciclo (output). As etapas são executadas de modo iterativo, onde o tempo é representado em passos discretos associados a intervalos de tempo definidos (geralmente anos) e as variáveis do

ambiente e a interpretação de oportunidades espaciais para os diferentes agentes ocorre de modo sincrônico.

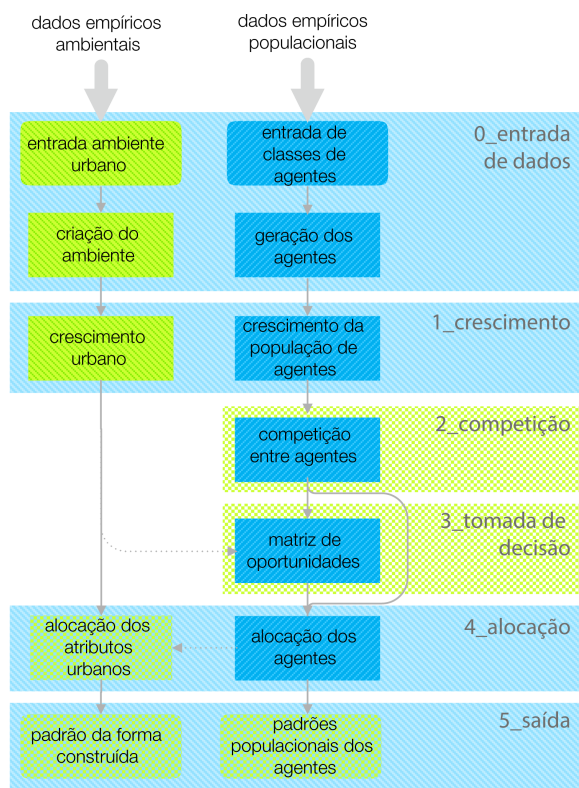


Figura 2 - Encadeamento geral do modelo, incluindo inicialização e etapas de cada iteração.

Na dinâmica de crescimento urbano, os agentes buscam as localizações mais alinhadas com suas preferências, caracterizando uma matriz de diferenciação das oportunidades espaciais no espaço urbano. Ao optar pela localização adequada, os diferentes agentes ou classes socioeconômicas entram em conflito com os demais agentes, resultando em um processo de competição espacial pelas melhores localizações. Estes conflitos ocorrem quando a população de uma determinada classe social opta em ocupar um determinado local da urbanização, ultrapassando uma determinada taxa de tolerância aos demais agentes. A partir deste ponto, classes sociais entram em disputa e uma delas acaba por ser expulsa daquele local, promovendo uma nova busca e interpretação do ambiente para nova localização na cidade.

Ao final, o modelo resulta na representação simulada da morfologia do crescimento urbano externo, bem como na diferenciação interna da distribuição das populações, estratificadas pelas respectivas classes socioeconômicas. Também são verificadas a localização e a intensidade de conflitos sócio espaciais, permitindo investigar os processos e os padrões de urbanização caracterizadas pelos agentes sociais.

ABORDAGEM EMPÍRICA: SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO URBANO EM JAGUARÃO/RS

A implementação efetiva do modelo de simulação foi realizada numa série de exercícios de simulação para o município de Jaguarão/RS. O município de Jaguarão está localizado na área de fronteira do Brasil com o Uruguai, conforme Figura 3. O 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).

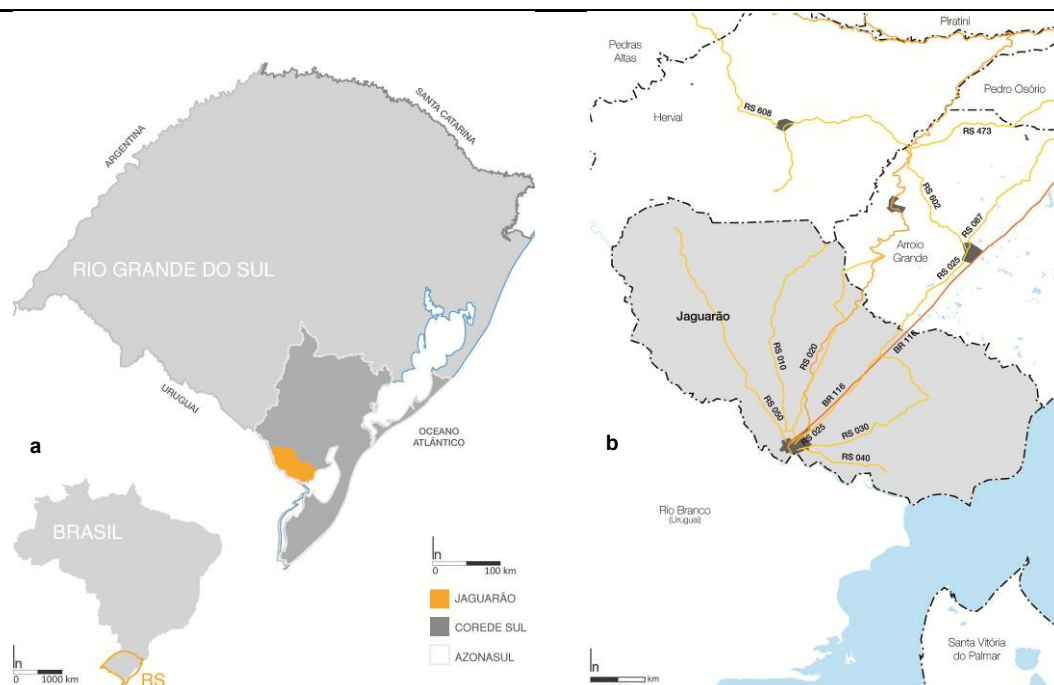


Figura 3 – Localização do município: a) no Brasil com destaque para Rio Grande do Sul e Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Sul; e b) na região junto à fronteira com o Uruguai, com destaque para as conexões viárias principais e área urbana

Para descrição dos atributos no ambiente de simulação foi delimitada uma área engloba o a área urbana de Jaguarão em 2010 e entorno estendido. Os atributos urbanos e naturais são representados em grids com células de 200 x 200m, em 40 colunas e 36 linhas, incluindo os seguintes atributos:

- a) área efetivamente urbanizada de Jaguarão em 2010 (atributo urbano, atração, figura 4a);
- b) área do município de Rio Branco, no Uruguai (atributo urbano, atração, estável, figura 4b);
- c) sistema viário de acesso às localidades do interior do município e à BR-116 (atributo máscara de impedância local, figura 4c);
- d) uso do solo residencial (atributo urbano, neutro, figura 4d): mapeamento das densidades dos usos residenciais no município, em três intensidades;
- e) uso do solo, atividades não residenciais (atributo urbano, neutro, figura 4e): mapeamento das densidades dos usos comerciais, industriais e de serviços no município, em três intensidades;
- f) uso do solo, vazios urbanos (atributo urbano, neutro, Figura 4f): mapeamento dos maiores vazios urbanos no município, em três intensidades;
- g) rio Jaguarão (atributo natural, resistência, freezing, figura 4g);

h) bacias hidrográficas (atributo natural, resistência, Figura 4h) construído com base nas sub-bacias hidrográficas, 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 4i): mapeamento das declividades, em três classes;

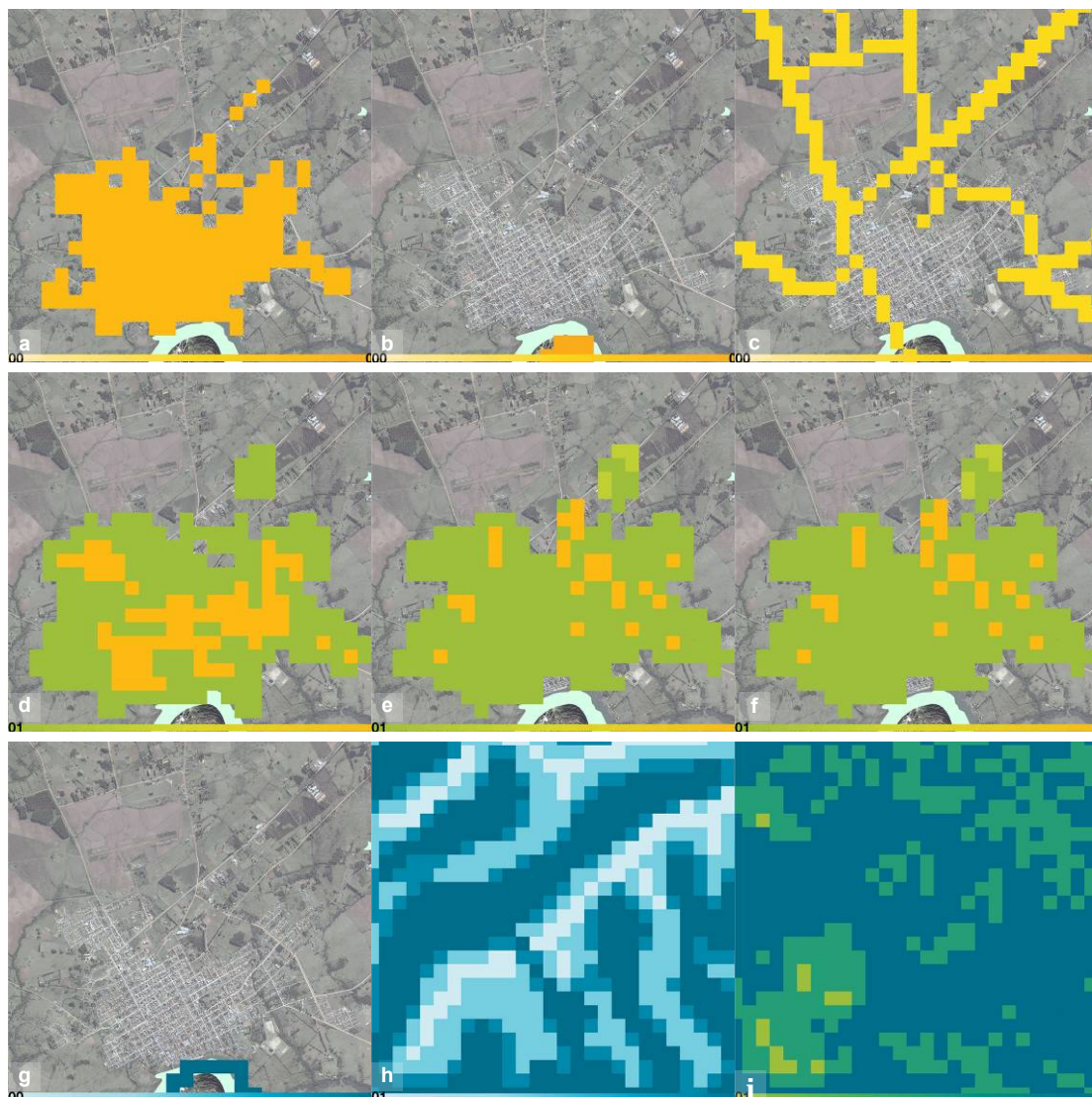


Figura 4 - Atributos de input no modelo: a) AEU 2010; b) fragmento do município de Rio Branco (UY); c) estradas; d) uso do solo residencial; e) uso do solo não residencial; f) uso do solo vazios urbanos; g) rio Jaguarão; h) bacias hidrográficas; i) declividade;

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

Além dos atributos físicos, necessários ao modelo preexistente de crescimento urbano em ambiente celular do CityCell, foram construídas estratificações socioeconômicas para delineamento e localização dos agentes da simulação. Para tanto, a população urbana do

município de Jaguarão está estratificada em três classes, baixa, média e alta rendas, construídos a partir dos dados censitários, ilustradas na figura 5 e descritos a seguir:

- a) agentes baixa renda: inclui o total dos “domicílios sem renda” (variável V014) e os domicílios com renda per capita entre 1/8 de salário mínimo e 1/2 de salário mínimo” (V005, V006, V007, do CENSO-IBGE, 2010);
- b) agentes renda média: domicílios com renda per capita de 1/2 a 2 salários mínimos” (V008, V009 e V010, do CENSO-IBGE, 2010);
- c) agentes renda alta: domicílios com renda per capita de 2 ou mais salários mínimos” (V011, 012 e V013, do CENSO-IBGE, 2010).

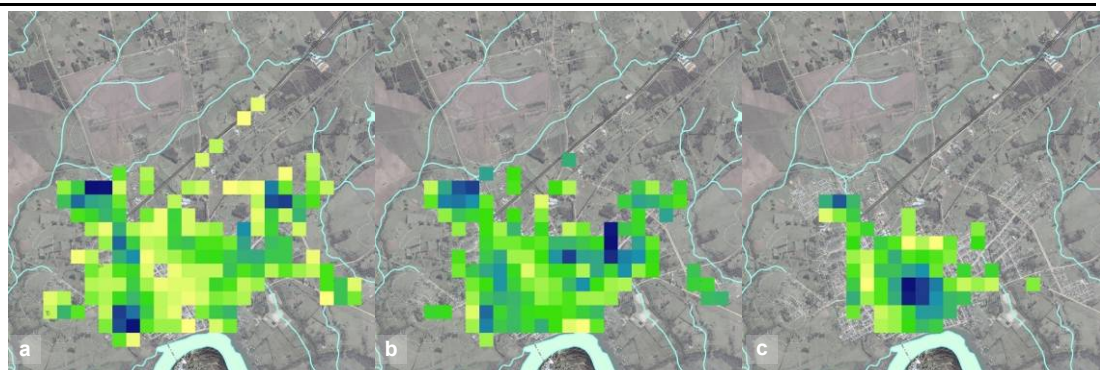


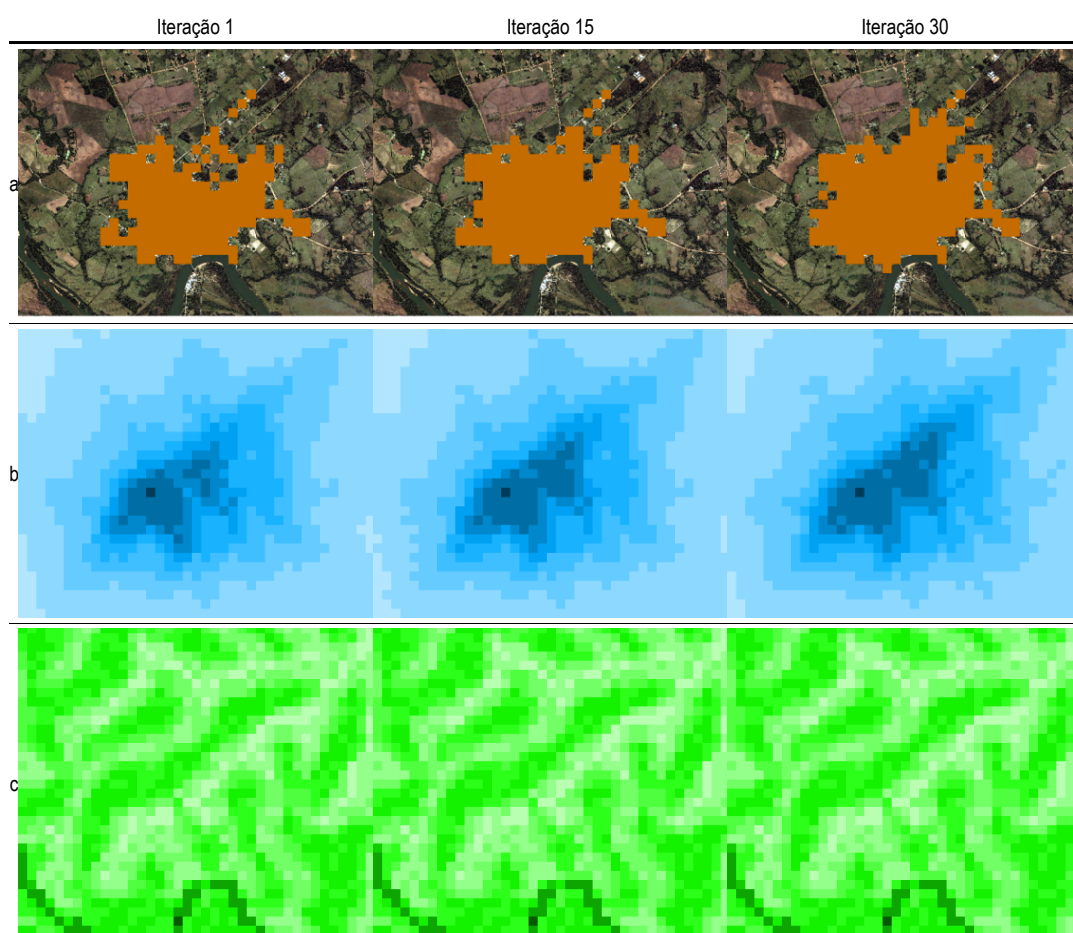
Figura 5 - Localização da População das Classes de Agentes do modelo: a) baixa renda; b) renda média; e c) alta renda

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

Para construir os respectivos mapeamentos foram realizados os seguintes procedimentos de mapeamento: a) corte dos polígonos dos setores censitários das áreas externas a área efetivamente urbanizada; b) divisão dos polígonos dos setores resultantes em uma malha regular de 100x100m, para obter mapa de pontos com respectivas populações associadas; c) cálculo de densidades para os respectivos agentes, mediante análises de vizinhança por interpolação, método Kernel, com raio de 200 metros.

A simulação inicia com 180 células urbanas, finalizando com 225 (25% de incremento) ao longo de 30 iterações, representando dez anos, ou 2,26% ao ano (a.a.). A borda da urbanização por sua vez cresceu de 109 para 114 células (4,59% de aumento do perímetro, 0,45% a.a.). Os resultados gráficos para as interações 1, 15 e 30 da área urbanizada simulada (CellType, no modelo), Acessibilidade Relativa e Resistências Naturais estão na Figura 6a, 6b e 6c, respectivamente apresentadas a seguir.

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. A localização das populações de Baixa, Média e Alta renda estão representadas na Figura 6d, 6e e 6f, respectivamente apresentadas a seguir.



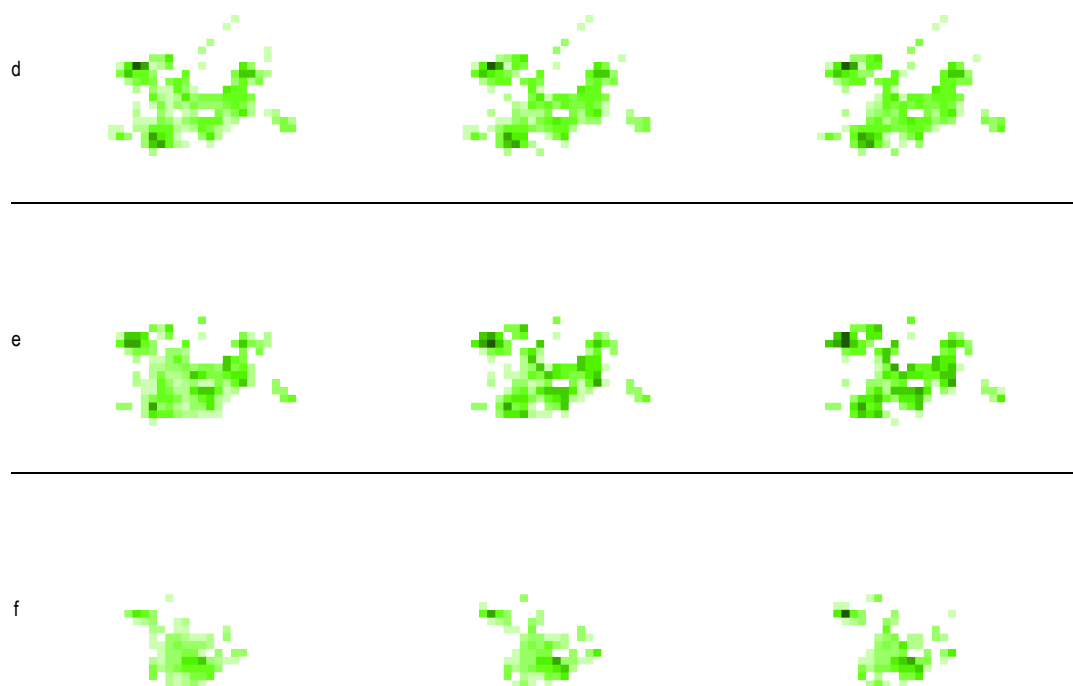


Figura 6 - Resultados do ambiente na simulação: a) Tipo da Célula; b) Acessibilidade Relativa; c) Resistências Naturais; d) População Baixa; e) População Média; f) População Alta

Da sobreposição e interação espacial entre os agentes, o modelo registra a série de conflitos e competições sócio espaciais ocorridos no processo, os quais estão representados na figura 7, a seguir, para as iterações 10, 15, 20: a) os conflitos entre todas as classes socioeconômicas; b) os conflitos ocorridos entre os agentes da baixa e média renda; c) os conflitos entre a média e a alta renda; d) os conflitos entre a alta e a baixa renda.

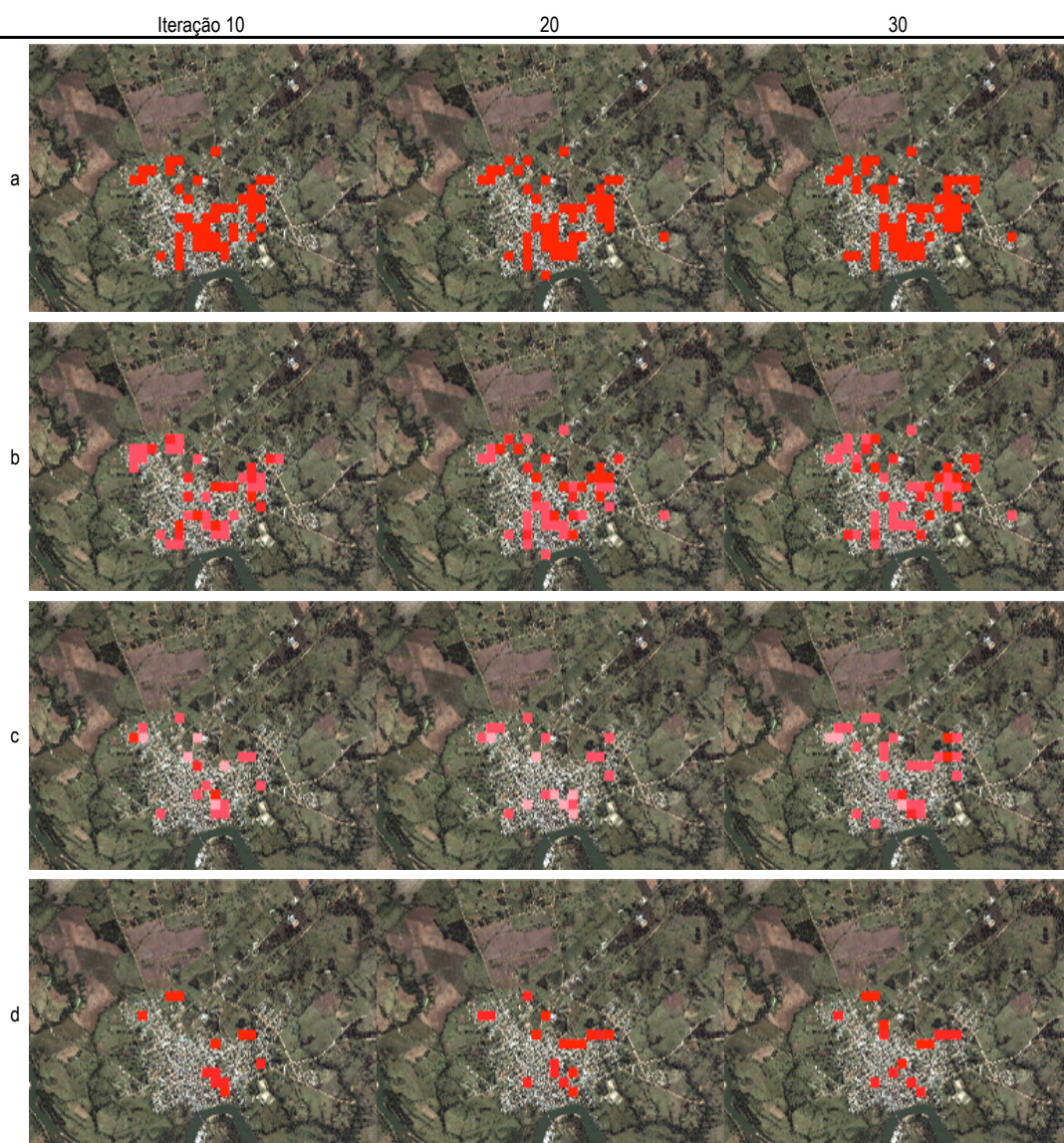


Figura 7 - Detalhamento do Competição no Cenário de Controle para todas as Classes, nas iterações selecionadas: a) Conflito total para a iteração; b) Conflito Baixa – Média; c) Conflito Média – Alta; d) Conflito Média – Baixa

Do exercício de simulação de crescimento urbano para o caso de Jaguarão/RS, dedicado a identificação de padrões, competição e conflitos socioespaciais decorrentes do processo de crescimento urbano podem ser feitas algumas observações:

Quanto à expansão da área efetivamente urbanizada, como ilustrada na figura 6a e 6b, nota-se um vetor de acessibilidade importante do centro no sentido nordeste, acompanhando a BR-116, que está localizada sobre um divisor de águas entre os setores norte e leste da área urbana. A presença da estrada conforma um maior crescimento da cidade na região norte da área urbana, uma dinâmica associada ao modelo setorial de Hoyt, orientando a configuração urbana associada aos acessos rodoviários e pela facilidade de urbanização das áreas sobre o divisor de águas. Desta dinâmica, nota-se ligeira propensão ao aumento da compactação da forma urbana pela ocupação dos vazios adjacentes à área urbana inicial.

Da análise da Acessibilidade Relativa, no entanto, introduz certa descontinuidade no padrão observado através do tipo celular urbano. Percebe-se um decaimento a partir dos eixos paralelos norte-sul do Corredor das Tropas e da Av. Uruguai, que cria 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) indica 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.

CONSIDERAÇÕES

Os resultados obtidos até aqui demonstram comprovação parcial desta hipótese através da vinculação de perfis socioeconômicos as características do ambiente e do impacto de processos de conflito na distribuição da população. Indica necessidades de ampliação da pesquisa sobre comportamento social integrado a dinâmicas morfológicas das cidades.

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, 2004), 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 morfológica, 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 BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO, P. **A cidade caleidoscópica**. JOUR, 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**, v. 9, n. 2, p. 25–54, 2007. article, .
- ALLEN, P. M. **Cities and regions as self-organizing systems : models of complexity**. book, London: Routledge, 1997.
- ANGEL, S.; PARENT, J.; CIVCO, D. L.; BLEI, A. M. **Atlas of Urban Expansion**. Lincoln Institute of Land Policy, 2010.
- ARAGÃO, L. R.; POLIDORI, M. C. Simulação de crescimento urbano: as bordas da cidade. .
- BARROS, J. X. **Urban Growth in Latin American Cities Exploring urban dynamics through agent-based simulation**, 2004. phdthesis, London: University College London.
- BARROS, J. X. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: A. J. Heppenstall; A. T. Crooks; L. M. See; M. Batty (Eds.); **Agent-Based Models of Geographical Systems**. p.561–579, 2012. incollection, Dordrecht: Springer Netherlands.
- BATTY, M. Complexity in city systems: understanding, evolution, and design. **CASA Working Papers**, v. 44, n. 0, p. 0–35, 2007. article, London.
- BATTY, M. **Building a Science of Cities**. JOUR, London, 2014.
- BATTY, M.; CROOKS, A. T.; CASTLE, C. J. E. Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation. **CASA Working Papers**, v. 121, 2007. article, London.
- 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: A. J. Heppenstall; A. T. Crooks; L. M. See; M. Batty (Eds.); **Agent-Based Models of Geographical Systems**. p.1–15, 2012. incollection, Dordrecht: Springer.
- BATTY, M.; LONGLEY, P.; FOTHERINGHAM, S. Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. **Environment and Planning A**, v. 21, n. 11, p. 1447–1472, 1989.
- 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. incollection, Oxford: Oxford University Pres.
- COHEN, B. Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. **Technology in Society**, v. 28, n. 1–2, p. 63–80, 2006.
- ECHENIQUE, M. H.; HARGREAVES, A. J.; MITCHELL, G.; NAMDEO, A. Growing Cities Sustainably. **Journal of the American Planning Association**, v. 78, n. 2, p. 121–137, 2012. JOUR, Routledge.

- 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**, v. 39, n. 6, p. 1131–1150, 2012.
- GILBERT, A. Urban Growth, Employment and Housing. In: D. A. Preston (Ed.); **Latin American Development: Geographical Perspectives**, 1987. in collection, Harlow, Essex: Longman.
- HARVEY, D. The urban process under capitalism: a framework for analysis. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 2, n. 1–4, p. 101–131, 1978. JOUR, Oxford, UK.: Blackwell Publishing Ltd.
- HARVEY, D. Globalization and the “Spatial Fix .” **Geographische Revue**, p. 23–30, 2001.
- HARVEY, D. **Spaces of global capitalism**. BOOK, London: Verso, 2006.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010: dados do universo agregados por setores**. techreport, Brasília, 2011.
- O’SULLIVAN, D.; MILLINGTON, J.; PERRY, G.; WAINWRIGHT, J. Agent-Based Models – Because They’re Worth It? In: A. J. Heppenstall; A. T. Crooks; L. M. See; M. Batty (Eds.); **Agent-Based Models of Geographical Systems**. p.109–123, 2012. Dordrecht: Springer.
- PARESI, M.; MELCHIORRI, M.; SIRAGUSA, A.; KEMPER, T. **Atlas of the Human Planet 2016: Mapping Human Presence on Earth with the Global Human Settlement Layer**. JRC Science Hub, 2016.
- PATEL, A.; CROOKS, A.; KOIZUMI, N. Slumulation: An Agent-Based Modeling Approach to Slum Formations. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 4, n. 15, 2012. article, .
- 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. phdthesis, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Biociências - Programa de Pós Graduação em Ecologia: Tese de Doutorado.
- PORTUGALI, J. **Self-Organization and the City**. book, Berlin: Springer, 2000.
- PORTUGALI, J.; BENENSON, I.; OMER, I. Sociospatial Residential Dynamics: Stability and Instability within a Self-Organizing City. **Geographical Analysis**, v. 26, n. 4, p. 321–340, 1994. JOUR, Blackwell Publishing Ltd.
- SANTOS, A. P.; POLIDORI, M. C.; PERES, O. M.; SARAIVA, M. V. O Lugar dos Pobres nas Cidades: explorações teóricas sobre a integração da periferização e pobreza na produção do espaço urbano. XVI ENANPUR Espaço, Planejamento e Insurgências: Alternativas Contemporâneas para o Desenvolvimento Urbano e Regional. **Anais...** , 2015. Belo Horizonte: ANPUR.
- 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**, 2013. phdthesis, Pelotas: Universidade Federal de Pelotas.

SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C. CityCell. , 2013. Software, Pelotas: Laboratório de Urbanismo (LABURB); Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <wp.ufpel.edu.br/citycell>.

UN-HABITAT. **State of the World's Cities 2008/2009 - Harmonious Cities.** book, London: United Nations Human Settlements Programme, 2008.