

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CIDADES: GESTÃO ESTRATÉGICA DO
TERRITÓRIO URBANO**

GUILHERME KRUGER DALCIN

**SIMULANDO CENÁRIOS URBANOS FUTUROS:
Modelagem e simulação de dinâmicas do uso do solo como suporte ao
planejamento urbano**

Porto Alegre

2018

GUILHERME KRUGER DALCIN

SIMULANDO CENÁRIOS URBANOS FUTUROS:

**Modelagem e simulação computacionais de dinâmicas do uso do solo como
aporte à prática de planejamento urbano**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica do Território Urbano, pelo Curso de Especialização em *Cidades: Gestão Estratégica do Território Urbano* da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. André de Souza Silva

Porto Alegre

2018

RESUMO

Com o aumento da população e das taxas de urbanização, os grandes centros urbanos mundiais têm se tornado elementos cada vez mais complexos, fazendo do crescimento urbano um dos fenômenos mais significativos para o desenvolvimento sustentável do planeta nas próximas décadas. Entretanto, há uma incompatibilidade entre a dinâmica das cidades contemporâneas e os conceitos dos instrumentos de planejamento que tentam controlar seu desenvolvimento, a qual existe principalmente porque as abordagens tradicionais de planejamento não entendem as cidades como sistemas complexos e auto organizados que são construídos a partir das interações de agentes urbanos em escalas locais. Para integrar tais conceitos à prática de planejamento, é necessário o uso de técnicas de modelagem específicas que buscam prever a configuração futura do ambiente urbano. Este trabalho teve o objetivo de verificar se a utilização dessas ferramentas de modelagem e simulação podem produzir resultados objetivos úteis para a elaboração de planos e projeto de planejamento. Para tanto, foram realizados estudos de casos de exemplos de modelos das dinâmicas de usos do solo e de sua aplicação em situações práticas, cujos resultados foram utilizados para embasar uma proposta de método para a aplicação de instrumentos de modelagem e simulação na elaboração de projetos de planejamento urbano.

Palavras-chave: Planejamento urbano. Modelagem geoespacial. Simulação computacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Funcionamento de um Autômato Celular	13
Figura 2- Funcionamento de um modelo baseado em agentes	14
Figura 3- Mapas de relevo e acessibilidade de Dhaka.....	19
Figura 4- Mapa do zoneamento do plano regulador de Dhaka	20
Figura 5 – Apresentação dos resultados das simulações.	21
Figura 6- Resultado das simulações.	23
Figura 7- Conjunto de regras do comportamento dos agentes do modelo.....	24
Figura 8- Distribuição de empregos e de população em Dongguan.....	26
Figura 9- Resultados das simulações realizadas para Dongguan.....	27
Figura 10- Elaboração e aplicação do Modelo Urbano Integrado.	30
Figura 11- Representação das alterações do índice de atividade urbana.....	32
Figura 12- Estrutura do processo projetual do Plano Estrutural de Jeddah	33
Figura 13- Elaboração de mapa de adequação	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros de construção das regras do autômato celular	22
Tabela 2- Resumo dos parâmetros de descrição dos elementos do modelo	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3 METODOLOGIA	16
4 ESTUDOS DE CASO	18
4.1 MODELO DE CRESCIMENTO DA URBANIZAÇÃO	19
4.2 MODELO DE ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO CONFORME CRITÉRIOS ECONÔMICOS	21
4.3 MODELO DE MOVIMENTAÇÃO POPULACIONAL	23
4.4 PLANO ESTRUTURAL DE JEDDAH	28
4.5 OBSERVAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DE CASO	34
5 PROPOSTA DE MÉTODO	37
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	37
5.2 DIAGNÓSTICO	40
5.3 PROGNÓSTICO	41
5.4 PROPOSTA	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização se mostrou como um dos fenômenos mais significativos do desenvolvimento global nas últimas quatro décadas. Nesse período, enquanto a população cresceu 1,8 vezes, a superfície urbanizada aumentou em 150% e o percentual de habitantes de áreas urbanas chegou a 53% do total existente, com estimativas de aumento desse número para 75% até o ano de 2050. Em outras palavras, há cada vez mais pessoas no planeta e elas estão se aglomerando em centros urbanos. Adicionando a tal panorama a estimativa de que 75% das emissões mundiais de dióxido de carbono são geradas em cidades, é possível definir o fenômeno do crescimento urbano como um dos principais desafios para o desenvolvimento sustentável do planeta nas próximas décadas. (BURDETT; SUDJIC, 2011; PESARESI et al., 2016; SANTOS; POLIDORI, 2017).

Entretanto, os métodos tradicionais de planejamento se mostram incapazes de regular de modo eficiente o funcionamento desses grandes centros urbanos. Isso ocorre, em parte, porque eles focam na proposição de soluções gerais para grandes escalas – desconsiderando as relações existentes em escalas locais – e originam planos que se colocam como entidades de controle externas em relação ao processo de desenvolvimento urbano, quando, na realidade, eles interagem de forma direta com o restante dos agentes que formam as cidades (PORTUGALI, 2004, 2008; TODES, 2012). Além disso, tais abordagens convencionais têm demonstrado dificuldades em prever os impactos gerados nos locais sobre os quais incidem, em incluir formas de mensurar a eficiência de suas propostas finais e em incentivar a apropriação de conjuntos amplos de dados sobre a área de intervenção e seus usuários. Tais aspectos condicionam o processo projetual, limitando as suas soluções possíveis e diminuindo as chances de os planos corresponderem à proposta mais adequada para o contexto de intervenção. Assim, contribui-se para que os planos finais acabem sendo baseados em preconcepções daqueles que os realizam, os quais passam a definir problemas e soluções conforme expectativas próprias e seu domínio cognitivo da situação. (ÇALIŞKAN, 2012; PHAM; YAMAGUCHI; BUI, 2011; STONOR, 2014).

Visando consolidar um conjunto de ferramentas teóricas e metodológicas que permitam investigar as dinâmicas da urbanização com maior propriedade, foi desenvolvida nas últimas décadas a denominada Ciência das Cidades (BATTY,

2013a), área de pesquisa que deu origem a estudos que buscam analisar o crescimento urbano com o apoio instrumentos computacionais, geotecnologias e métricas espaciais. Algumas das pesquisas levantaram possibilidades inéditas de compreensão dos fenômenos relativos à urbanização, gerando estimativas de seus impactos em cenários futuros (BURDETT; SUDJIC, 2011; COHEN, 2006; UN-HABITAT, 2009) e estabelecendo bases para o planejamento urbano em variadas escalas (ANGEL et al., 2016; BATTY, 2013a; PESARESI et al., 2016).

Dentre essas iniciativas, há uma linha de pesquisa específica que relaciona teorias relacionadas a sistemas complexos auto organizados ao desenvolvimento do território urbano. Ela procura explicar como fenômenos complexos e organizados emergem na cidade a partir das interações locais – e aparentemente caóticas – de seus habitantes entre si e com o território urbano (MITCHELL, 2009; PORTUGALI, 2004; WHITE; ENGELEN; ULJEE, 2015; ZELLNER; CAMPBELL, 2015).

Apesar de tais estudos terem surgido há mais de duas décadas (PORTUGALI, 1997), apenas com o recente aumento da capacidade de processamento dos computadores se tornou possível o desenvolvimento de modelos para serem utilizados como suporte para a simulação das teorias sobre complexidade e auto-organização. Tais modelos se baseiam na atribuição de conjuntos simples de regras para cada tipo de agente urbano, de forma a simular suas ações em relação aos outros agentes existentes e ao recorte de território onde eles se inserem. Através da simulação de tais regras, tenta-se recriar de forma simplificada o comportamento local de grupos populacionais com o objetivo de observar se alguma ordem surge no panorama geral da cidade a partir das interações simuladas (BATTY; TORRENS, 2005; WHITE; ENGELEN; ULJEE, 2015).

Com o auxílio desses modelos, é possível simular diversos fenômenos relativos às dinâmicas do ambiente urbano – fluxo de pessoas, mobilidade, dinâmicas de uso do solo, economia espacial – com o objetivo de entender melhor seu funcionamento (KOOMEN et al., 2007). Além disso, por serem elementos dinâmicos que simulam o desenvolvimento da cidade no tempo, tais técnicas de modelagem podem ser utilizadas tanto para a recriação da evolução de cidades em tempos passados, quanto para a simulação de possíveis cenários futuros. Por causa disso, tais instrumentos podem ser utilizados como suporte para o embasamento técnico e teórico de propostas de intervenção urbana (ABOLHASANI et al., 2016; BATTY, 2013a).

Partindo desse contexto, este trabalho tem como tema o uso de modelagem e simulação computacionais no ato de planejamento do ambiente urbano. Devido à amplitude do tópico, se delimitou o estudo à utilização dessas ferramentas especificamente para análises relativas à dinâmica do uso do solo que tentam prever o comportamento de grupos populacionais no território urbano para criar comparações entre possíveis cenários urbanos futuros.

Apesar de, nas últimas décadas, ter ocorrido um rápido desenvolvimento de tais técnicas de modelagem e simulação para o estudo do ambiente urbano, ainda há diversos questionamentos referentes à validação e à precisão dos resultados obtidos através delas, bem como à complexidade de elaboração e utilização dos modelos do ambiente urbano. Tais aspectos constituem alguns dos motivos pelos quais métodos de predição do desenvolvimento de cidades são pouco utilizados fora do ambiente acadêmico e de pesquisa. (KOOMEN et al., 2007; LEVY; MARTENS; HEIJDEN, 2016). Entretanto, há estudos que argumentam a favor da viabilidade do uso de tais ferramentas em aplicações práticas (STONOR, 2014; ZELLNER; CAMPBELL, 2015), bem como projetos pioneiros que testaram sua aplicação ao longo da elaboração de planos ou projetos urbanísticos (ABOLHASANI et al., 2016; ACHARYA et al., 2017; TODES, 2012).

De modo a contribuir com tal discussão, a pesquisa aqui proposta busca responder à seguinte pergunta: visto a complexidade dos grandes centros urbanos atuais, é possível obter de tais simulações da dinâmica de uso do solo resultados úteis para a fundamentação da prática de planejamento urbano? A hipótese de resposta que motivou a realização deste estudo era que o aporte das referidas técnicas pode contribuir com o planejamento através de:

- i) modelagem de grandes quantidades de dados para fundamentação das etapas de identificação do problema de projeto e diagnóstico geral;
- ii) simulação dos efeitos de diferentes cenários projetuais, permitindo a escolha da solução que melhor resolve o problema inicialmente observado;
- iii) mensuração da eficiência de propostas a partir da estimativa de parâmetros e medidas de qualidade do espaço urbano.

Partindo dessa questão central, se definiu que o objetivo geral da pesquisa seria analisar a integração de técnicas de modelagem e simulação de dinâmicas de uso do solo à elaboração de planos e projetos urbanísticos, verificando como ela

pode contribuir para a fundamentação das soluções finais de planos urbanísticos. Visando alcançá-lo, foi definido um conjunto de objetivos específicos que guiaram o desenvolvimento do estudo:

- i) consolidar um conjunto de variáveis de interesse relativas ao território e aos diferentes grupos de agentes urbanos para a aplicação nas técnicas de modelagem e simulação;
- ii) definir as etapas do processo projetual compatíveis com a aplicação das ferramentas estudadas, bem como verificar quais os formatos adequados para representação final dos resultados de análises simulatórias;
- iii) propor método de aplicação de modelos e simulações das dinâmicas do uso do solo como suporte técnico em situações práticas de planejamento urbano.

Esta pesquisa se justifica porque os instrumentos de modelagem e simulação podem se configurar como ferramentas úteis no embasamento do debate em torno de possibilidades projetuais, de forma que sua aplicação pode satisfazer a demanda de políticas públicas de planejamento de apoiarem suas decisões em atributos da realidade e medidas objetivas, mensuráveis em seus efeitos, legitimadas pela participação direta da sociedade (BONNET NETO, 2015). Somado a isso, modelos de alterações do uso do solo, quando utilizados com objetivos preditivos, possibilitam análises de como propostas de planejamento urbano podem afetar a área sobre a qual incidem, possibilitando, por exemplo, a identificação prévia de possíveis focos de gentrificação, de áreas não-urbanizadas que podem ser alvo do processo de crescimento urbano, ou de incompatibilidades entre objetivos e efeitos de propostas projetuais. Por causa disso, podem ser utilizadas tanto para fundamentar decisões projetuais, quanto para informar o debate acerca de propostas. (BRESSERS; EDELENBOS, 2014; KOOMEN et al., 2007).

A aplicação de técnicas de simulação e modelagem também permitem uma revisão metodológica das abordagens tradicionais de planejamento urbano. Conforme Caliskan (2012), o processo generativo do planejamento urbano ainda se baseia em processos lineares, não recursivos e que pouca incentivam a compreensão profunda das relações entre agentes e fatores constituintes da área de intervenção. O autor defende que, devido à complexidade do objeto de trabalho do planejamento urbano – a cidade – o planejador apenas toma consciência dos reais

problemas de um contexto durante o processo de tentar criar uma solução projetual. Por isso, a tradicional sequência de etapas do processo de planejamento – análise do local, diagnóstico, prognóstico e proposta – deveria deixar de ser linear e passar a ser cíclica, permitindo que a equipe projetual retornasse a etapas anteriores do processo sempre que notasse a necessidade de complementar informações importantes para a fundamentação final das propostas. Visto isso, as ferramentas de modelagem e simulação aparecem como recursos a serem integrados a essa nova lógica de projeto, uma vez que elas permitem a apropriação de quantidades maiores de informações em relação ao ambiente de estudo, bem como a rápida adaptação de diagnósticos e prognósticos a partir da mudança de variáveis e de pontos de vista.

Outro fator que justifica a pesquisa é que métodos baseados em *Big Data* desenvolvidos na última década têm possibilitado uma análise mais aprofundada das dinâmicas do território urbano através da coleta em grande escala de dados e seu contínuo processamento em algoritmos de inteligência artificial. Tais ferramentas possibilitam a descoberta de relações numéricas entre variáveis de interesse que não são visualizadas pela análise exclusivamente humana. Por causa disso, estima-se que tais técnicas de Big Data poderão ser a base de monitoramento das necessidades e demandas dos agentes urbanas em níveis locais, podendo ser integradas a ferramentas de modelagem e simulação de forma a indicarem tendências futuras para o ambiente urbano analisado, funcionando como suporte tecnológico para alterações contínuas dos instrumentos de planejamento urbano, tornando-os mais flexíveis às modificações do território e mais responsivos às demandas e necessidades da população. (BATTY, 2013b; BETTENCOURT, 2013).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Portugali (2004) descreve a cidade como um conjunto de componentes humanos que transformam o espaço através de interações entre si e com o seu ambiente construído. Esses agentes são movidos por processos internos – ideias, sentimentos, conhecimentos – que não necessariamente se baseiam em critérios lógicos ou racionais, dependendo das possibilidades momentâneas de resolução da situação, de suas limitações cognitivas ou do tempo disponível para tomar a decisão. Essa limitação da racionalidade do indivíduo faz com que seu comportamento seja, sob o ponto de vista do planejamento urbano, imprevisível. Entretanto, as interações desses agentes aparentemente caóticos entre si e com o ambiente construído dão origem à forma da cidade, ao mesmo tempo que esta afeta o comportamento dos tais agentes, criando uma cadeia de causalidade circular responsável pela evolução do ambiente urbano ao longo do tempo. Por isso, a lógica tradicional esperaria, que a partir dessa limitação de racionalidade de seus agentes constituintes e da complexa relação entre eles e seu ambiente construído, surgisse o caos. Porém, o que é observado na realidade é que o caos observado em seus menores constituintes resulta, em uma escala mais abrangente, na emergência de um ambiente relativamente organizado. (DE ROO, 2012; WHITE; ENGELEN; ULJEE, 2015).

Tal ordem não resulta da ação de uma força reguladora centralizada que possui o conhecimento sobre o estado de todo o sistema urbano. Na verdade, a forma da cidade surge a partir das decisões individuais de cada agente urbano somadas às decisões dos diversos órgãos governamentais e institucionais. Essa grande quantidade de agentes e sua variedade de tipos faz com que toda a decisão tomada seja guiada ou limitada pelas situações existentes no contexto momentâneo e pelo resultado cumulativo de decisões anteriores, resultando no fato de que, mesmo que alguns elementos da cidade reflitam as intenções de indivíduos ou organizações, a estrutura da cidade surge sem que ninguém especificamente tenha decidido sobre como será seu resultado. (WHITE; ENGELEN; ULJEE, 2015). Esse sistema complexo – a cidade – é adaptável e robusto, mantendo sua integridade e coerência por longos períodos, mesmo quando suas partes constituintes deixam de existir – pessoas deixando a cidade, edifícios sendo demolidos, novos funcionários sendo eleitos (ZELLNER; CAMPBELL, 2015).

Essa caracterização do ambiente urbano como um sistema complexo auto organizado entra em conflito com as denominadas teorias de planejamento clássico, as quais tratam as cidades como máquinas que sempre buscam um determinado estado de equilíbrio, os planejadores como observadores externos e os planos como elementos que exercem controle externo sem serem influenciados por seus controlados. Sendo a cidade um sistema complexo auto organizado, ela passa a exigir métodos de planejamento que partam do estudo do comportamento individual dos agentes constituintes da cidade, se adaptando constantemente ao seu comportamento, as suas demandas e às forças externas de seu ambiente (PORTUGALI, 2004, 2008).

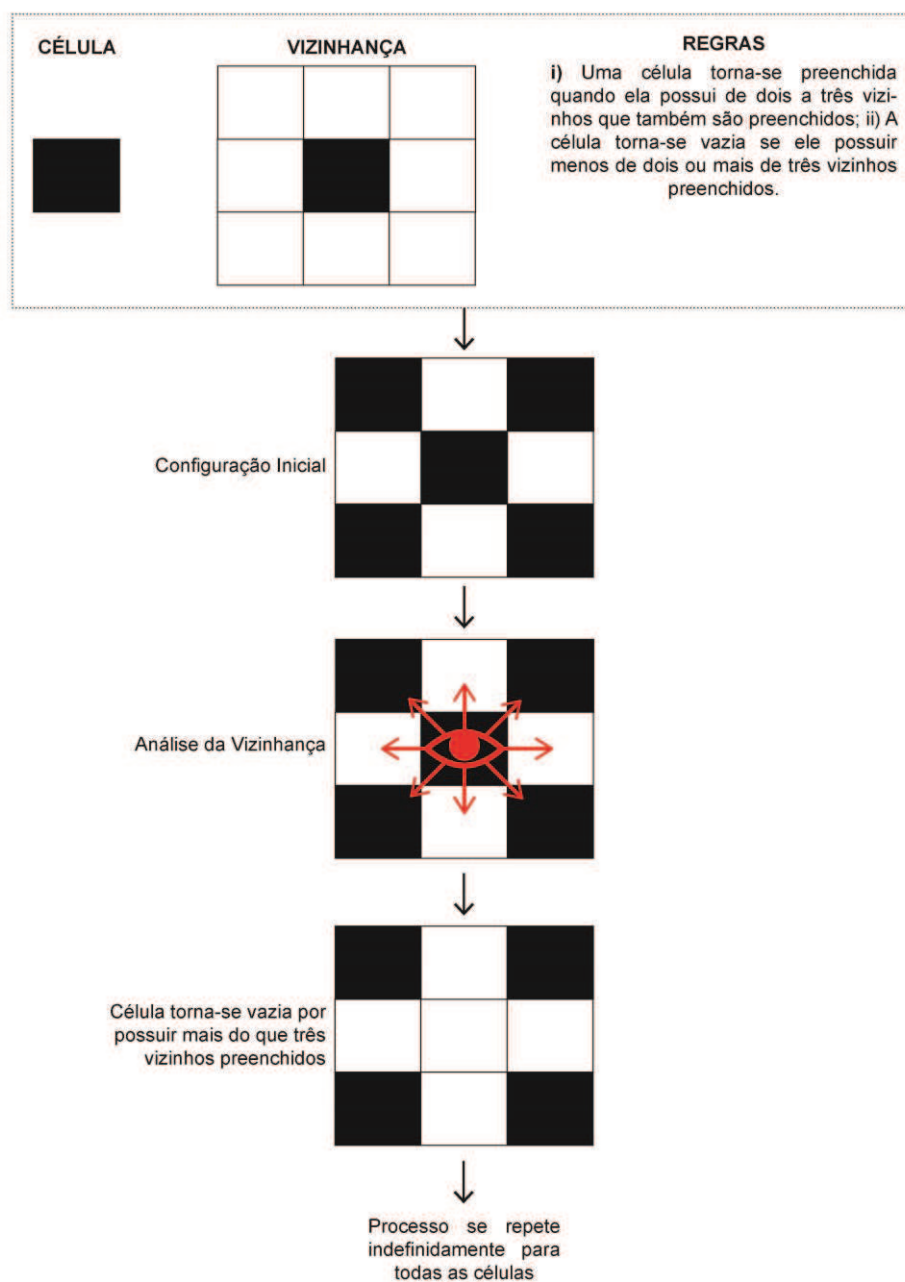
Para criar abordagens compatíveis com tais aspectos, é necessário o estudo de como o comportamento individual dos agentes urbanos afetam a geração da cidade como um todo. Um dos meios para se obter tal entendimento são as ferramentas de modelagem: executando simulações a partir da definição de regras de comportamento para diferentes grupos de indivíduos e para sua interação com o território, é possível ter um entendimento de como a relação entre os agentes locais resultará na emergência de fenômenos organizados e complexos em escalas mais abrangentes. (WHITE; ENGELEN; ULJEE, 2015).

Modelos dinâmicos baseados em Autômatos Celulares ou em Agentes fornecem ferramentas para tais tipos de estudo. A modelagem baseada em autômatos celulares utiliza conjuntos de células que dividem espacialmente uma região, possuindo cada um dessas células atributos que são alterados periodicamente pela variação de valores de entrada e pela observação dos atributos momentâneos de células vizinhos. Conforme variam os valores de entrada, os atributos das células variam, impulsionando um contínuo processo de alteração dos atributos de todo o conjunto de células vizinhas ao longo do tempo, dando forma a um processo generativo que pode replicar diferentes padrões de comportamento se for feito em paralelo para muitos indivíduos simultaneamente. (WILENSKY; RAND, 2015). Desse modo, um autômato celular pode ser dividido em três elementos constituintes: i) um conjunto de células que podem assumir um dos vários estados (valores de atributos) definidos no momento de criação do modelo; ii) a vizinhança de cada uma das células pertencentes a este conjunto; iii) e um conjunto de regras de transição que definem como qualquer célula deve mudar seu estado dependendo

da configuração, do estado de suas células vizinhas. (BATTY, 2013a; WILENSKY; RAND, 2015).

A Figura 1 ilustra o funcionamento de um Autômato Celular utilizando como exemplo uma estrutura conhecida como “Jogo da Vida”, proposta pelo matemático John Conway (MITCHELL, 2009). A ideia deste autômato é que, partindo de um estado inicial arbitrário, uma célula torne-se preenchida ou vazia dependendo da quantidade de células preenchidas adjacentes a ela.

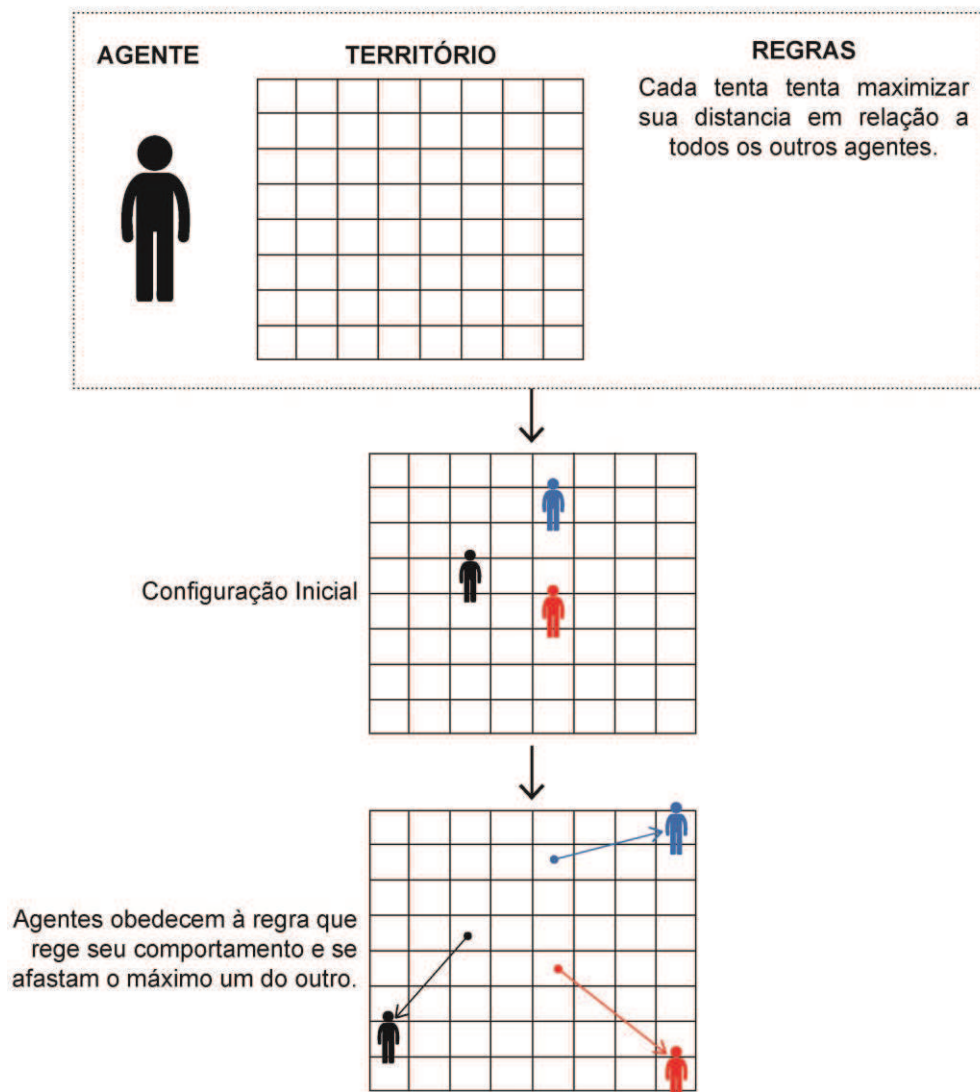
Figura 1- Funcionamento de um Autômato Celular



Fonte: elaboração do autor a partir de dados de Mitchell (2009).

Por outro lado, a modelagem baseada em agentes apresenta dois elementos constituintes: células imóveis – que representam o ambiente físico – e agentes móveis, que representam qualquer tipo de entidade autônoma (pessoas, famílias, empresas). Tais agentes são responsáveis pela tomada das decisões que conduzem o sistema estudado. A partir da aplicação de conjuntos de regras que regulam o comportamento de tais agentes, verifica-se como eles se distribuem pelo território analisado e como os atributos deste território mudam a partir das interações que os agentes têm entre si (LEVY; MARTENS; HEIJDEN, 2016; WILENSKY; RAND, 2015). Tal lógica de funcionamento é ilustrada na Figura 2.

Figura 2- Funcionamento de um modelo baseado em agentes



Fonte: elaboração do autor a partir de dados de Wilensky e Rand (2015).

Uma vez que ambas essas técnicas de modelagem podem ser utilizadas para a simulação dos fenômenos resultantes em escalas abrangentes a partir da contínua tomada de decisão por parte de agentes locais, elas podem ser usadas para simulação e consequente entendimento dos processos generativos das cidades. Entretanto, devido à diversidade de fatores influentes no funcionamento de um território urbano, é mais apropriada a elaboração de modelos direcionados à análise de determinados temas de estudo. Para o presente estudo, foi escolhido como tema a dinâmica de usos do solo.

As alterações de usos do solo representam um processo complexo e dinâmico que depende da interação entre o ambiente natural, o construído e os agentes humanos. Devido a seus impactos diretos nas condições ambientais, este é um fenômeno bastante estudado pela literatura. Na escala urbana, em regiões densamente povoadas, as dinâmicas de uso do solo são uma expressão da pressão do contínuo processo de urbanização sobre os cada vez mais escassos espaços não-urbanizados ou subutilizados, servindo a modelagem dessas dinâmicas para o entendimento do processo de crescimento urbano e para a identificação de como privilégios locacionais influenciam a configuração das cidades. (KOOMEN et al., 2007, 2015). O uso de tais modelos, além de apoiar políticas de planejamento, pode ser estendido para fazer simulações sobre o desenvolvimento futuro de uma área sob diferentes cenários ou condições hipotéticas. Essa exploração de possíveis configurações do uso do solo como cenários são é uma forma eficaz de antecipar mudanças ou identificar áreas que precisam de mais atenção para a intervenção política em tempo hábil. (AHMED; BRAMLEY, 2015).

Desse modo, utilização das referidas técnicas de modelagem e simulação das dinâmicas de usos do solo vai ao encontro da metodologia de simulação de cenários proposta em diferentes estudos (BRESSERS; EDELENBOS, 2014; ZELLNER; CAMPBELL, 2015), os quais visualizam um processo de planejamento urbano baseado no teste de conjecturas projetuais que, ao serem simuladas e comparadas, podem ser utilizadas para informar a discussão em torno do processo de planejamento e embasar a tomada das decisões que caracterizarão a proposta final.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se propôs a utilizar estudos de casos referentes à aplicação da modelagem das dinâmicas de usos do solo na prática do planejamento urbano como fundamentação para definir o grupo de variáveis utilizadas para representar os fenômenos estudados e as formas como as técnicas de modelagem são utilizadas para auxiliar no processo projetual. As análises resultantes fundamentaram a elaboração de proposta de método para a utilização de modelos das dinâmicas do uso do solo em planos urbanísticos.

Conforme Dresch (2013), o estudo de caso é uma pesquisa empírica que visa à compreensão de um fenômeno contemporâneo e complexo em seu contexto real, permitindo descrições detalhadas a partir de fontes de dados diversas. Nele o pesquisador atua como um observador externo que analisa os dados coletados a fim de verificar possíveis padrões de comportamento e de explicar os fenômenos observados adequadamente. Esse método de pesquisa foi utilizado na primeira etapa do trabalho com o fim de produzir uma análise de métodos de modelagem das dinâmicas do uso do solo propostos na literatura. Em tal análise, se desejou verificar quais os dados de entrada exigidos pelos modelos existentes e quais os dados produzidos na saída, bem como a sequência de procedimentos geradores dos modelos. Desta forma, este primeiro grupo de estudos de caso se configurou como uma análise técnica dos modelos.

Como segundo passo, foi proposta a utilização de uma nova pesquisa de estudos de caso, desta vez com o objetivo de averiguar como técnicas de modelagem e simulação são inseridas durante o processo de elaboração de projetos de planejamento urbano. Para essa análise, desejou-se verificar em quais etapas foram utilizados modelos computacionais, quais as escalas dos dados fornecidos pela equipe de projeto, quais as formas de representação gráfica utilizadas para a apresentação dos dados obtidos do processo de modelagem em eventuais oficinas públicas ou consultas técnicas junto às instituições governamentais e qual foi a influência que os resultados das simulações na proposta final do projeto. Desta forma, este segundo grupo de estudos de caso se configurou como uma análise da aplicação dos modelos.

A partir dos conhecimentos adquiridos dos estudos de caso, foi proposto um método para a aplicação de técnicas de modelagem e simulação de dinâmicas do

uso do solo em projetos de planejamento urbano. Para a elaboração desse elemento, o método de pesquisa empregado foi o de *Design Science Research* que, conforme Dresch (2013), compreende a atividade de realizar mudanças em um determinado sistema em busca de sua melhoria, criando um novo artefato ou melhorando um existente de modo orientado à resolução de problemas específicos. O *Design Science Research* não busca necessariamente a solução ótima, mas uma solução satisfatória para o contexto proposto, sendo a principal razão para sua aplicação a diminuição da distância entre teoria e prática, produzindo conhecimentos que podem, posteriormente, servir de referência para o aprimoramento de teorias.

Este trabalho utilizou tal método de pesquisa na etapa de proposição de método de simulação com o objetivo de transformar as análises teóricas das etapas de estudo de caso em diretrizes a serem aplicadas em situações práticas. Em relação à referida proposta de método, esperava-se que ele traduzisse os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores em um conjunto de diretrizes que indicassem a melhor forma de utilização das técnicas de modelagem e simulação em situações práticas de planejamento urbano.

4 ESTUDOS DE CASO

Esta pesquisa se propôs a realizar dois tipos estudos de casos. O primeiro teve o objetivo de analisar três diferentes modelos de dinâmicas do uso do solo existentes na literatura para verificar suas características técnicas: dados de entrada exigidos por eles, dados obtidos na saída e sua sequência de procedimentos. O outro tipo de estudo de caso abordou a aplicação de técnicas de modelagem em um exemplo prático de planejamento urbano com o objetivo de verificar em quais etapas elas foram utilizadas, de que forma foram utilizados seus resultados e quais tipos de representação dos resultados foram utilizadas. As conclusões resultantes de tais análises fundamentaram a proposta de método apresentada no capítulo seguinte.

Os três modelos de dinâmicas do uso do solo escolhidos para compor o primeiro tipo de estudo de caso foram produzidos recentemente e foram escolhidos para serem analisados por terem sido desenvolvidos, cada um, para responder uma questão diferente dentro do tema de dinâmicas do uso do solo: Ahmed e Bramley (2015) elaboraram ferramentas para prever o crescimento da mancha urbana da cidade de Dhaka, em Bangladesh; Tsang e Leung (2011) procuraram prever alterações de uso do solo em grandes áreas através de critérios econômicos; e Li et al. (2013) construíram um modelo que relaciona a movimentação populacional de uma região da China ao surgimento ou fechamento de grandes polos de emprego. Essa diferença de abordagem dos objetos analisados permitiu que se observasse isoladamente como cada autor calcula, para a resolução de diferentes problemas, a evolução ao longo do tempo de variáveis individuais (densidades populacionais, alteração do custo do solo, crescimento de áreas urbanas) de forma a contribuir para a sua integração em uma abordagem integrada na proposta de método a ser apresentada no capítulo seguinte.

Por outro lado, para analisar a aplicação de modelos do uso do solo em uma aplicação prática de planejamento urbano, foi realizado o estudo da elaboração do plano estrutural da cidade de Jeddah, na Arábia Saudita, conforme descrito por Acharya et al. (2017). Tal exemplo foi escolhido por ser a descrição mais completa da aplicação de modelos de usos do solo encontrada na literatura e, apesar de não utilizar um modelo baseado em agentes ou autômatos celulares, sua utilização apresenta características similares à aplicação das referidas técnicas. Além disso, trata-se de um relato atual, que se baseia no cálculo das mesmas medidas utilizadas

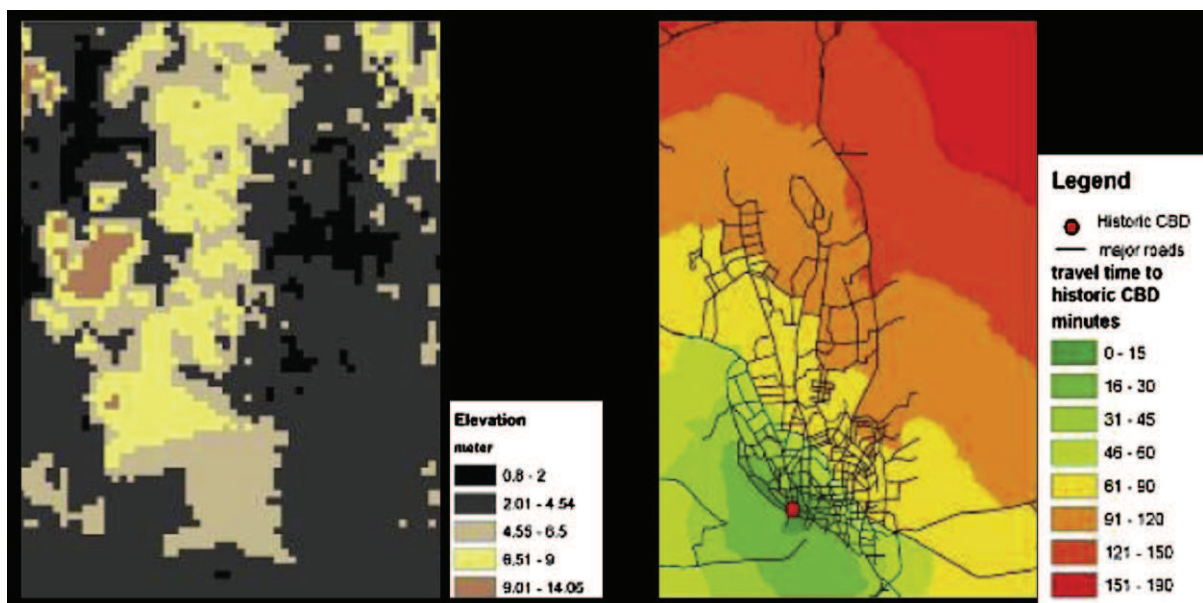
nos modelos analisados no outro estudo de caso e que trata do tema específico deste trabalho referente às dinâmicas de usos do solo.

4.1 MODELO DE CRESCIMENTO DA URBANIZAÇÃO

O primeiro modelo analisado (AHMED; BRAMLEY, 2015) é um autômato celular no qual cada célula é descrita como uma área urbanizada ou rural. Ele foi elaborado com o objetivo de prever o crescimento da área urbana da cidade de Dhaka, em Bangladesh, para o período entre 2015 e 2025. Para tanto, os autores utilizaram como regras para reger a transformação das células camadas de informações georreferenciadas referentes ao relevo (áreas mais altas e menos propensas a inundações tendem a ser mais ocupadas), à acessibilidade da malha viária (vista como medida das oportunidades econômicas existentes em um local e calculada através do tempo para se locomover de um local para o outro) e ao zoneamento do plano regulador municipal, que incentiva a ocupação intensiva de determinadas áreas através da oferta de maiores índices construtivos e proíbe a urbanização de zonas específicas. A

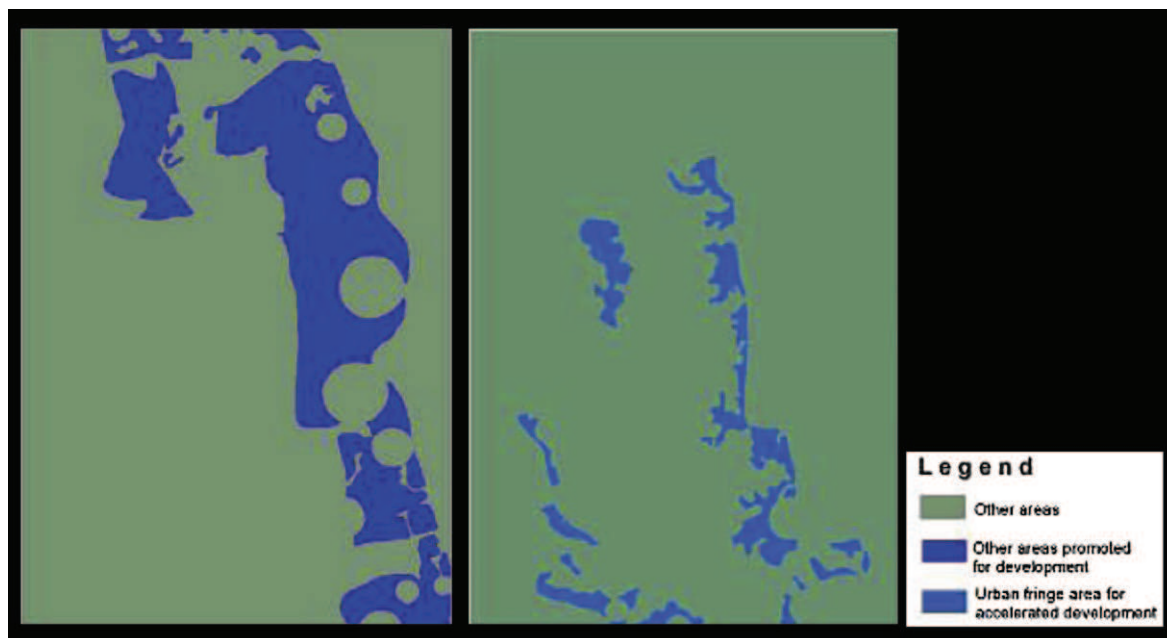
e a Figura 4 apresentam os mapas dos referidos parâmetros utilizados na elaboração do modelo.

Figura 3- Mapas de relevo e acessibilidade de Dhaka



Fonte: Ahmed e Bramley (2015).

Figura 4- Mapa do zoneamento do plano regulador de Dhaka

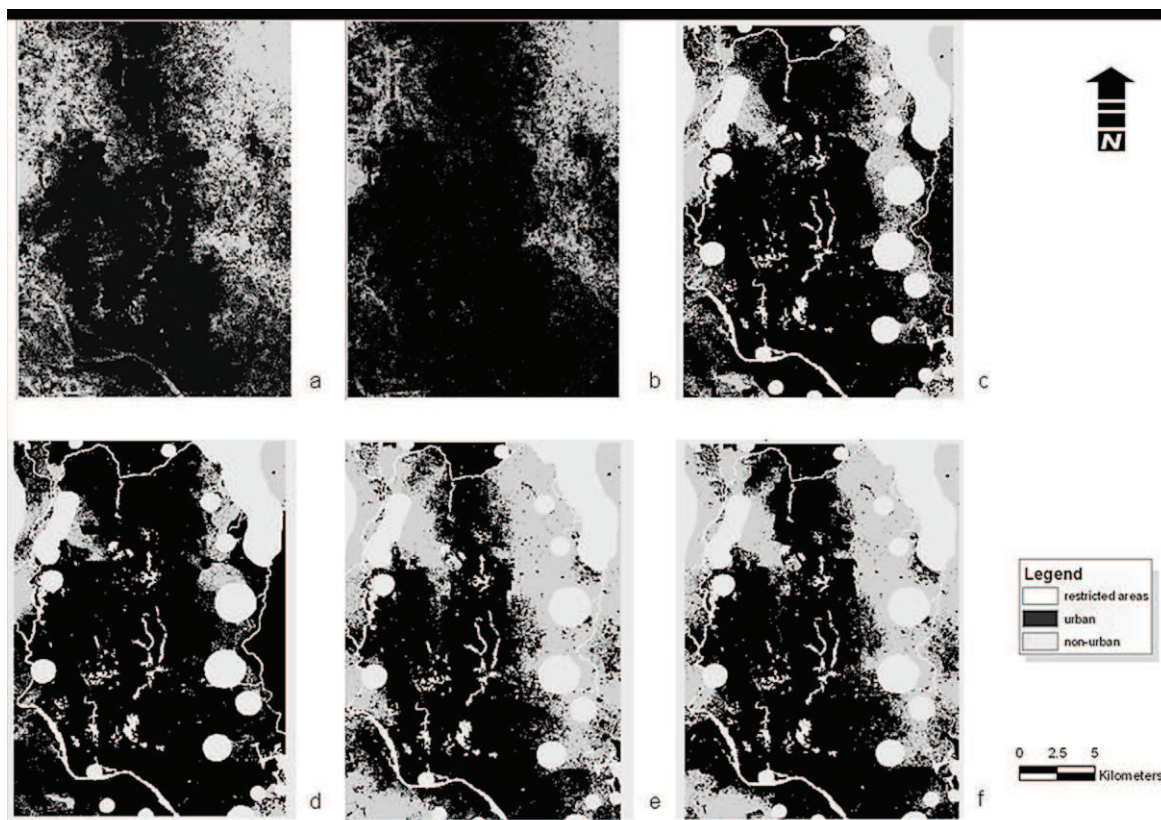


Fonte: Ahmed e Bramley (2015).

A calibração do modelo resultante foi realizada através da simulação da evolução da cidade no período entre 1988-1999 e a validação desse modelo foi realizada através da simulação para os anos entre 1999-2005. Os autores apresentam os resultados da simulação na forma de mapa gerado a partir do resultado obtido no autômato celular (Figura 5), no qual as áreas urbanizadas são representadas na cor preta, áreas rurais na cor cinza e áreas onde a ocupação urbana é proibida pela legislação na cor branca.

A partir dessas representações gráficas geradas, é possível observar a necessidade que a cidade de Dhaka teria de ocupar as áreas restritas à urbanização caso as taxas de crescimento populacional se mantivessem constantes. No caso da diminuição de tais taxas, a situação é amenizada, visto que, nesse caso, a mancha urbana cresce de maneira linear.

Figura 5 – Apresentação dos resultados das simulações.



Fonte: Ahmed e Bramley (2015).

4.2 MODELO DE ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO CONFORME CRITÉRIOS ECONÔMICOS

Tsang e Leung (2011) propõem um autômato celular que visa prever a movimentação de grupos de atividades no território conforme as regras da teoria econômica do “*gap* de aluguel”, a qual indica a diferença entre a quantia que poderia ser capitalizada pelo uso do solo mais indicado para o local e a renda realmente capitalizada pelo proprietário da terra sob o atual uso da terra. O fenômeno do *gap* de aluguel – que dá nome à referida teoria – é produzido principalmente pela depreciação de um terreno e pelo desenvolvimento urbano de seus arredores. O surgimento de um *gap* representa o momento em que a atividade atual do lote não consegue arrecadar tudo que poderia conforme previsões econômicas, tornando-se provável uma mudança de uso do solo no local, uma vez que há benefícios econômicos que poderiam ser obtidos dessa alteração.

Para elaborar as regras que descrevam como o *gap* de aluguel influencia os usos do solo existentes, os autores utilizam parâmetros que descrevem dois tipos de

efeitos: os espaciais e os econômicos. Conforme é apresentado na Tabela 1, os parâmetros espaciais são compostos pela medida de acessibilidade e pelas características específicas dos principais tipos de atividades que regem seu posicionamento no território urbano, enquanto que os parâmetros econômicos se configuram como medidas descritivas do estado geral da economia municipal.

Tabela 1- Parâmetros de construção das regras do autômato celular

PARÂMETROS ESPACIAIS (EFEITO LOCAL)
Acessibilidade: mede a facilidade de se alcançar o restante da malha a partir de cada um de seus pontos;
Aspectos demográficos: segundo a teoria do gap de aluguel, famílias de renda dupla preferem estar próximas de seu local e trabalho, ao mesmo tempo que habitante mais jovens preferem um estilo de vida alternativo com fácil acesso a centros de compras;
Aspectos das áreas residenciais: edificações residenciais tendem a ser construídas de forma agrupada para reduzir os custos de obtenção de infraestrutura;
Aspectos das áreas comerciais: edificações comerciais tendem a se organizar em configurações policêntricas;
Aspectos populacionais: áreas mais populosas apresentam maior demanda por áreas residências.
PARÂMETROS ECONÔMICOS (EFEITO GLOBAL)
Velocidade da deriva da taxa de juros: pode ser interpretado como um indicador para prever o custo futuro do capital;
Taxa de juros de longo prazo esperada: pode ser entendida como a expectativa adaptativa dos investidores;
Volatilidade da taxa de juros: representa a incerteza futura;
Velocidade de mudanças do PIB per capita: reflete a taxa de crescimento da economia e tecnologia;
PIB esperado de longo prazo per capita: depende das condições econômicas e implica o nível de tecnologia e capital humano em uma cidade;
Volatilidade do PIB per capita: representa a incerteza e a flutuação em uma economia.

Fonte: Tsang e Leung (2015).

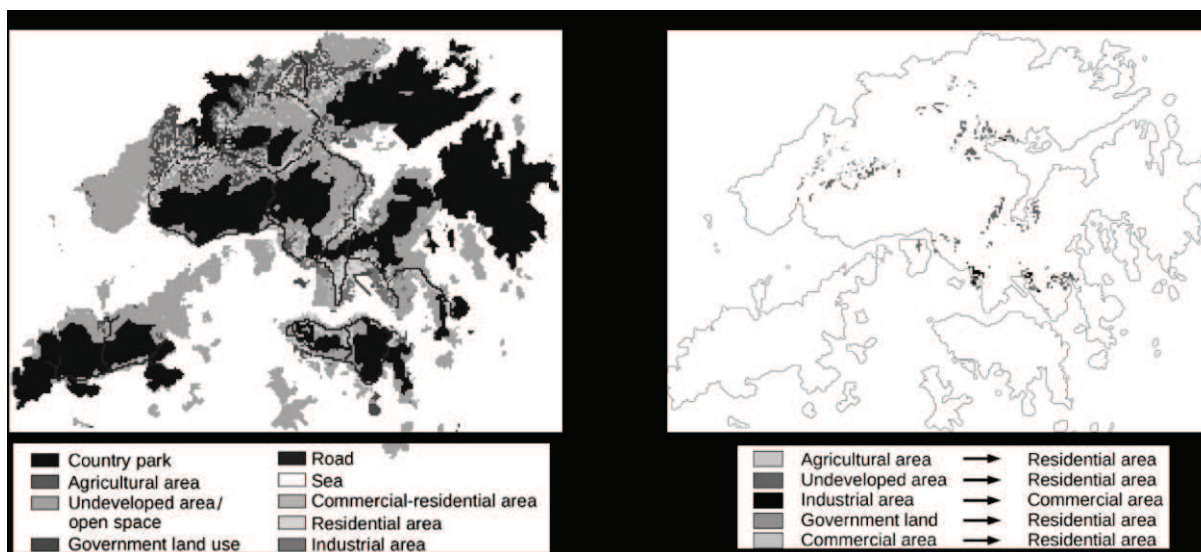
Partindo de tais parâmetros, os autores elaboraram um conjunto de regras para descrever a dinâmica de usos do solo que, partindo de uma situação existente observada, analisa a atividade existente em cada lote sob o ponto de vista econômico para definir se ele permanece a mesma ou se deve ser alterada.

A validação desse conceito de modelo foi realizada através da modelagem dos usos do solo de Hong Kong. A calibração dos parâmetros foi feita através da simulação das dinâmicas de uso do solo para o período entre os anos de 1966 e

2001. E previsões da evolução futura da configuração de usos do solo foram feitas através de simulações realizada para o ano de 2016.

Nos resultados – representados na Figura 6 - os autores identificam que há áreas de uso rural, industrial ou governamental que apresentam alta probabilidade de se tornarem residenciais devido à crescente urbanização do país, impulsionada pelo constante crescimento populacional observado.

Figura 6- Resultado das simulações.



Fonte: Tsang e Leung (2011).

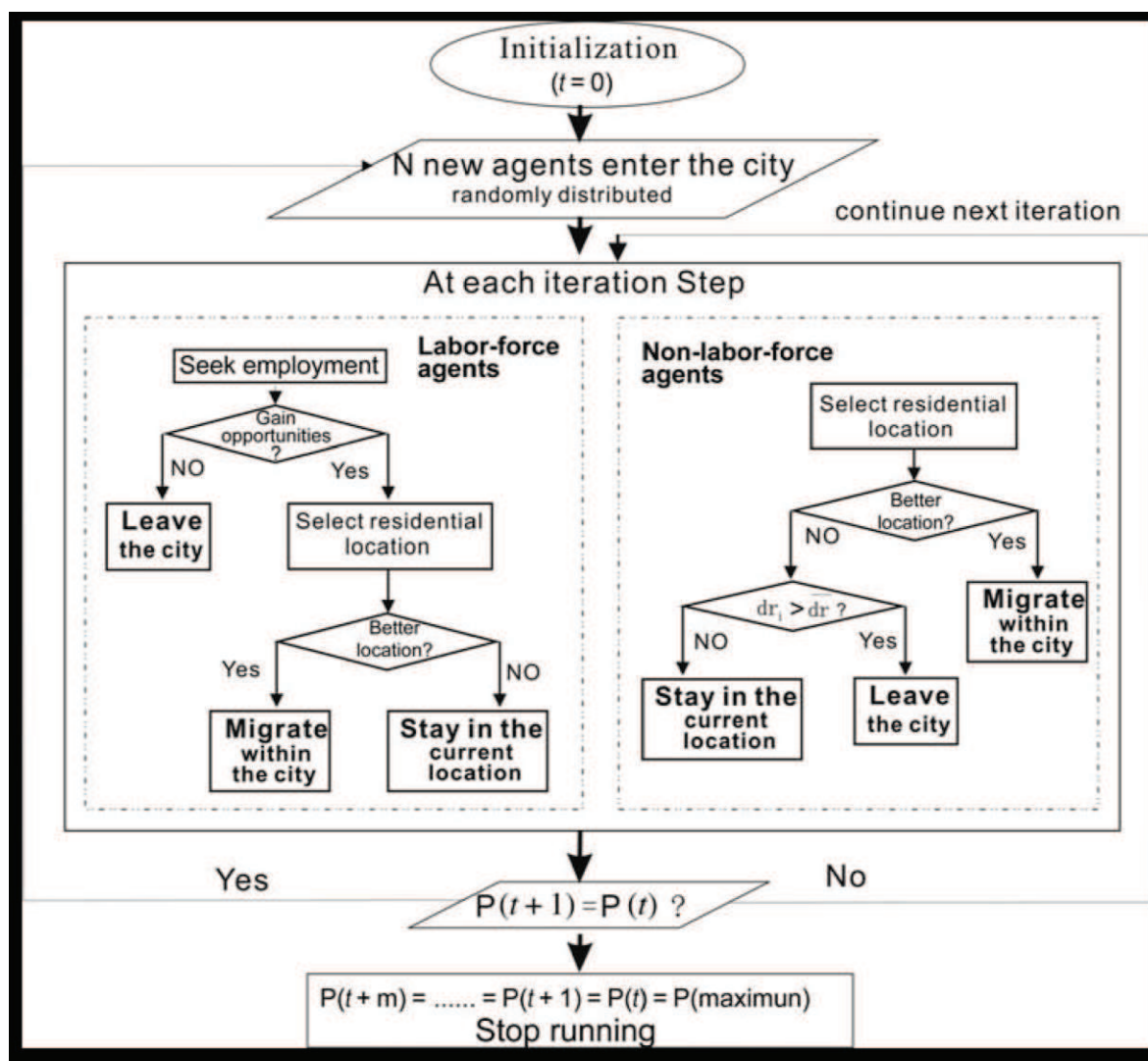
4.3 MODELO DE MOVIMENTAÇÃO POPULACIONAL

O último modelo analisado (LI et al., 2013) é baseado em agentes e aborda a distribuição populacional no território em virtude da localização dos grandes polos de emprego. O argumento dos autores é de que setores da economia que necessitam de grande quantidade de mão de obra são responsáveis pela migração populacional de indivíduos em busca de trabalho, fenômeno este que altera significativamente o total de habitantes de cidades em períodos de abertura ou fechamento de indústrias.

O modelo recebe como dado de entrada a localização das principais indústrias responsáveis pela oferta de empregos e a distribuição espacial da população caracterizada como alvo para tais vagas de trabalho. Simula-se então como a configuração espacial da densidade populacional se altera ao longo do tempo sob diferentes cenários de distribuição das ofertas de emprego.

Tal simulação se baseia no conjunto de regras que descreve o comportamento dos indivíduos esquematicamente descrito no diagrama da Figura 7: os indivíduos que procuram emprego migram para diferentes cidades e analisam se o conjunto de oportunidades existentes no local parece adequado; baseando-se na resposta para esta questão, é tomada a decisão de permanecer nessa cidade ou migrar para outra.

Figura 7- Conjunto de regras do comportamento dos agentes do modelo.



Fonte: Li et al. (2013).

A partir dessa simulação do comportamento humano frente à localização dos principais polos de emprego, os autores conseguem estruturar um modelo para prever a dinâmica de distribuição espacial do grupo populacional que procura oportunidades de trabalho pouco qualificado e que, portanto, necessita

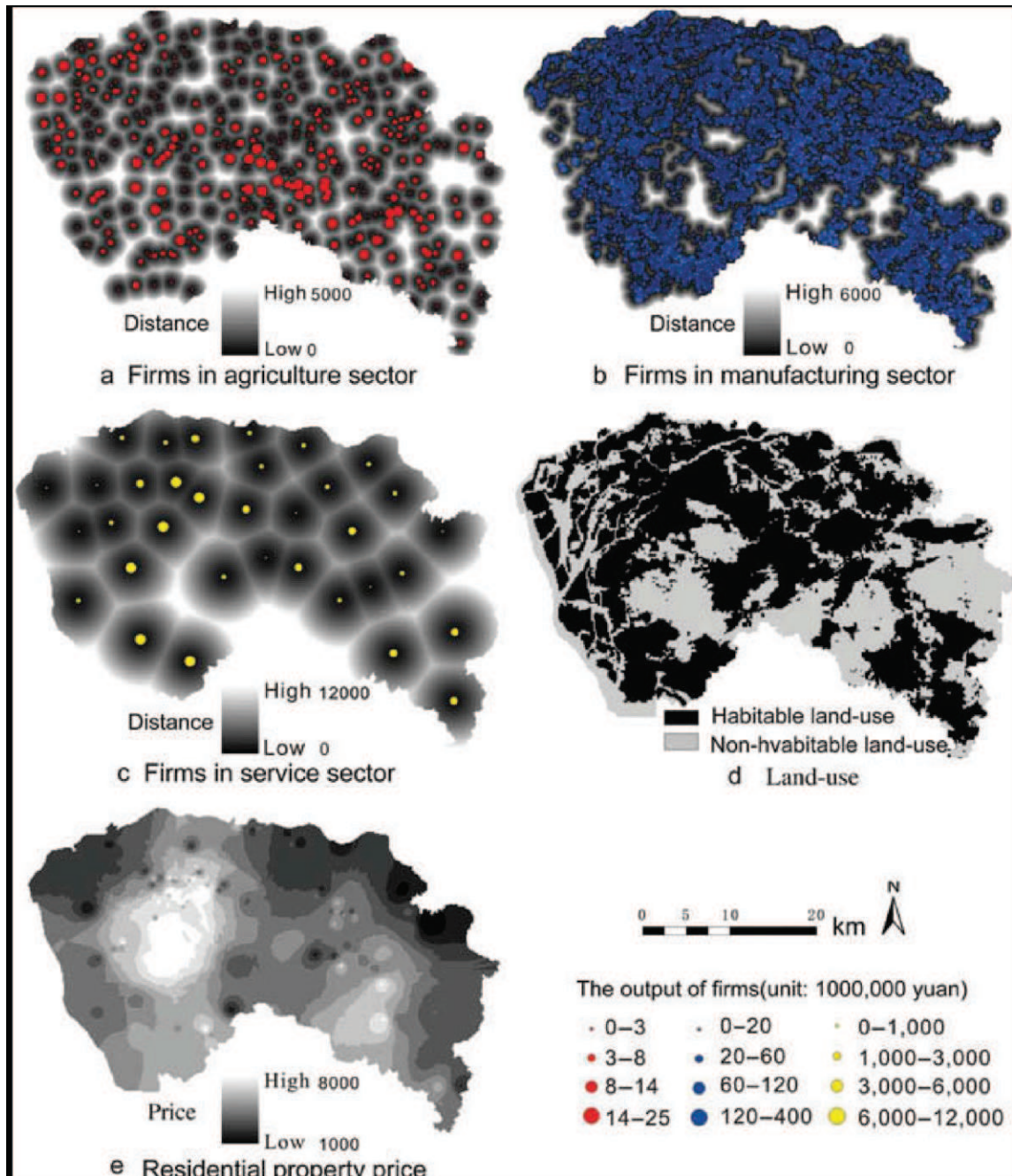
constantemente alterar seu local de residência conforme se altera o panorama econômico. Inclusive, a motivação para a criação de tal modelo surge da existência de tal questão no país de origem dos autores, a China, onde, devido à grande quantidade de habitantes e do crescimento de suas taxas de urbanização, o governo necessita realizar políticas de planejamento de forma a ordenar a distribuição dos polos de emprego para não criar desequilíbrios da configuração populacional nacional.

O modelo proposto foi testado em um estudo de caso para a cidade de Dongguan, metrópole industrial localizada no Delta do Rio das Pérolas, na China. Conforme os autores, ela se transformou de um tradicional condado agrícola em uma moderna metrópole industrial nas últimas duas décadas e é hoje um dos principais destinos de trabalhadores imigrantes de outras áreas da China - estudos mostram que eles representam 76% da população local. Por isso, a simulação e previsão da população de acordo com a economia industrial podem ser essenciais no planejamento de recursos urbanos para essa metrópole industrial.

Para a realização de tais simulações, conforme é ilustrado na Figura 8, foram levantados os dados de distribuição espacial das empresas pertencente aos diferentes setores da economia, bem como a área propícia para uso residencial, seu custo do solo e a atual densidade populacional da região. Tais informações foram utilizadas como descrição da situação inicial no local de estudo e serviram como estrutura territorial para a simulação do comportamento de agentes descritos pelas regras citadas anteriormente.

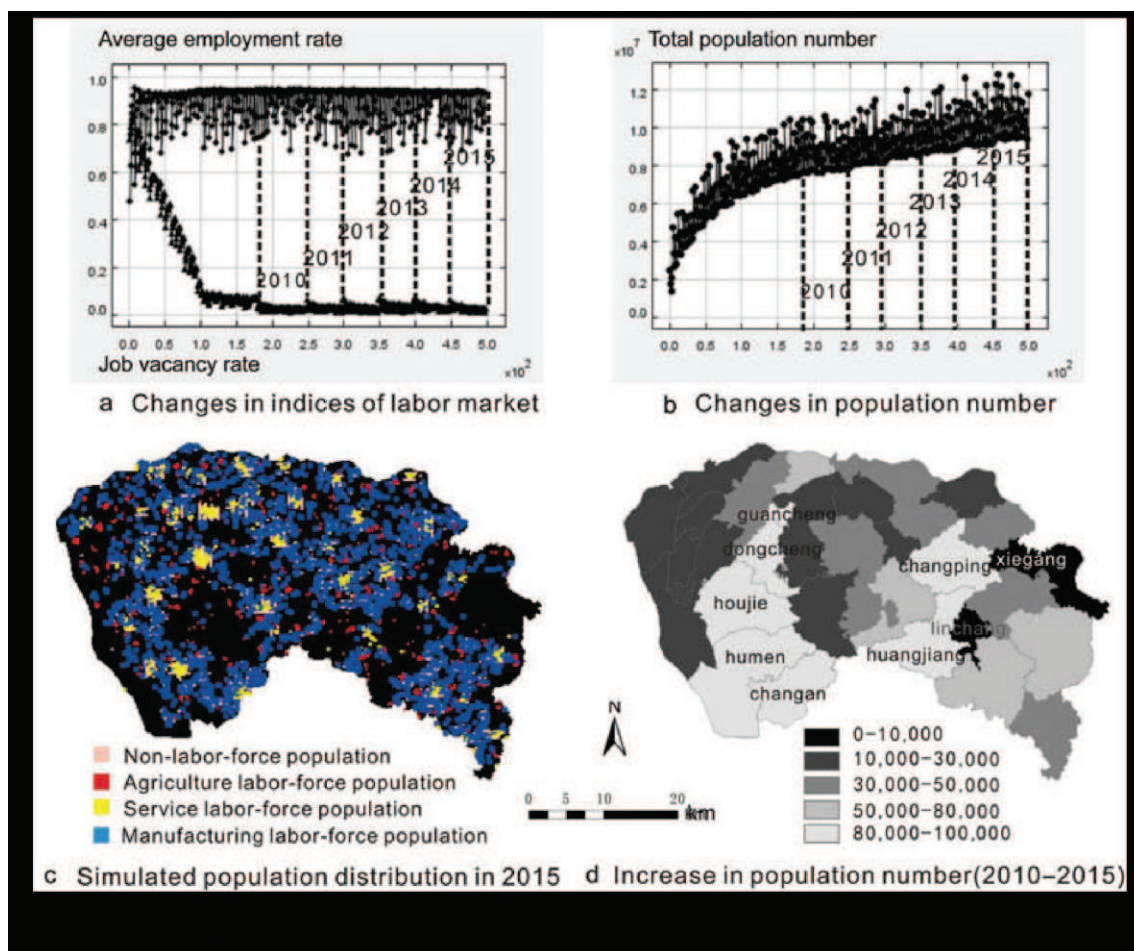
O resultado da simulação indicou que o aumento das empresas do setor manufatureiro na região de Dongguan resultaria em um significativo crescimento populacional, que ocorreria principalmente por causa da migração de indivíduos atrás das oportunidades de trabalho com baixas exigências de qualificação características do setor primário da economia. Entretanto, o desenvolvimento esperado para as indústrias manufatureiras elevaria o patamar desenvolvimento tecnológico local, alterando o perfil do trabalhador contratado por tais empresas. Tal dinâmica faria com que muitos dos habitantes que imigraram para o local devido à oferta de trabalho passem a não possuírem oferta de trabalho, gerando uma nova onda de imigração. Os diagramas representativos dos resultados das simulações são apresentados na Figura 9.

Figura 8- Distribuição de empregos e de população em Dongguan.



Fonte: Li et al. (2013).

Figura 9- Resultados das simulações realizadas para Dongguan.



Fonte: Li et al. (2013).

Em suas conclusões, os autores argumentam que o uso do modelo proposto permite o teste do efeito de diferentes políticas econômicas sobre a dinâmica populacional espacial, podendo fornecer uma orientação importante para os planejadores urbanos, já que eles lidam com a alocação de recursos urbanos. Considerando que as forças exógenas das economias globais ou nacionais teriam um impacto significativo no mercado de trabalho, especialmente para as metrópoles de manufatura em rápido desenvolvimento, eles entendem como uma perspectiva futura de extensão desta pesquisa a extensão do modelo de modo a simular as influências de tais mudanças econômicas exógenas sobre o desemprego e a dinâmica populacional nas metrópoles industriais. Outra perspectiva considerada é a calibração do modelo com algoritmos de inteligência de movimento de partículas.

4.4 PLANO ESTRUTURAL DE JEDDAH

Conforme descrito por Acharya e outros (2017), a elaboração do Plano Estrutural de Planejamento Urbano Integrado da cidade de Jeddah, na Arábia Saudita explora o uso de modelos de sintaxe espacial como ferramenta de diagnóstico da área de intervenção e de previsão dos efeitos das propostas do plano final apresentado. Além disso, a própria representação gráfica obtida dos testes com os modelos elaborados são utilizados como instrumentos de apresentação das propostas para um público leigo e argumentação sobre sua validade. Dessa forma, apesar de não se tratar da utilização de modelos baseados em autômatos celulares ou agentes, entendeu-se que esta aplicação de modelos baseados em sintaxe espacial era válida de ser analisada porque os princípios de utilização tendem a ser semelhantes aos outros tipos de modelos referidos, além da utilização de parâmetros de entrada e medidas calculadas semelhantes fazerem com que a estrutura de aplicação seja similar entre modelos baseados em sintaxe espacial, autômatos e agentes.

O local de intervenção, Jeddah, é caracterizada pelos autores como uma cidade sem uma hierarquia de centros clara, apresentando centros de atividades fragmentados por toda a área urbana, característica esta que reflete a natureza esporádica do desenvolvimento planejado da cidade, a qual, quando existente, priorizou a construção de estradas para o transporte individual. Tal fatores acarretaram uma estrutura urbana caracterizada por sua forma, a qual obriga as pessoas a viajarem distâncias significativas para realizar suas necessidades diárias.

O referido plano teve o objetivo de propor diretrizes de planejamento para a estrutura urbana da cidade de Jeddah de modo que ela pudesse acomodar o crescimento populacional de três milhões de habitantes que se previa para os 20 anos seguintes à elaboração do plano. Tal planejamento deveria incluir o desenvolvimento de centros para distribuir a população, as oportunidades de emprego e as instalações de apoio comunitário, juntamente com uma estratégia de transporte público para a cidade.

Para diagnosticar as necessidades da cidade e analisar quais eram as possíveis melhorias que se poderia propor para ela, um Modelo Urbano Integrado foi construído combinando dados relativos ao uso do solo, à população, ao emprego e ao transporte público. O objetivo de tal modelo era contribuir para a identificação de

problemas de projeto e testar o impacto que seria gerado por mudanças na distribuição da população e do emprego, permitindo que se avaliasse simultaneamente estratégias para o transporte público que se encaixassem com as alterações propostas. Tal aplicação parte do pressuposto que as cidades são combinações de sistemas de infraestrutura, redes humanas e atividades econômicas que criam sistemas complexos. Por isso, a fundamentação das propostas para o plano para Jeddah se baseou na combinação dessas diferentes camadas e dados urbanos de modo a analisar a cidade espacialmente e entender o impacto de propostas projetuais a partir das relações entre as suas diferentes partes.

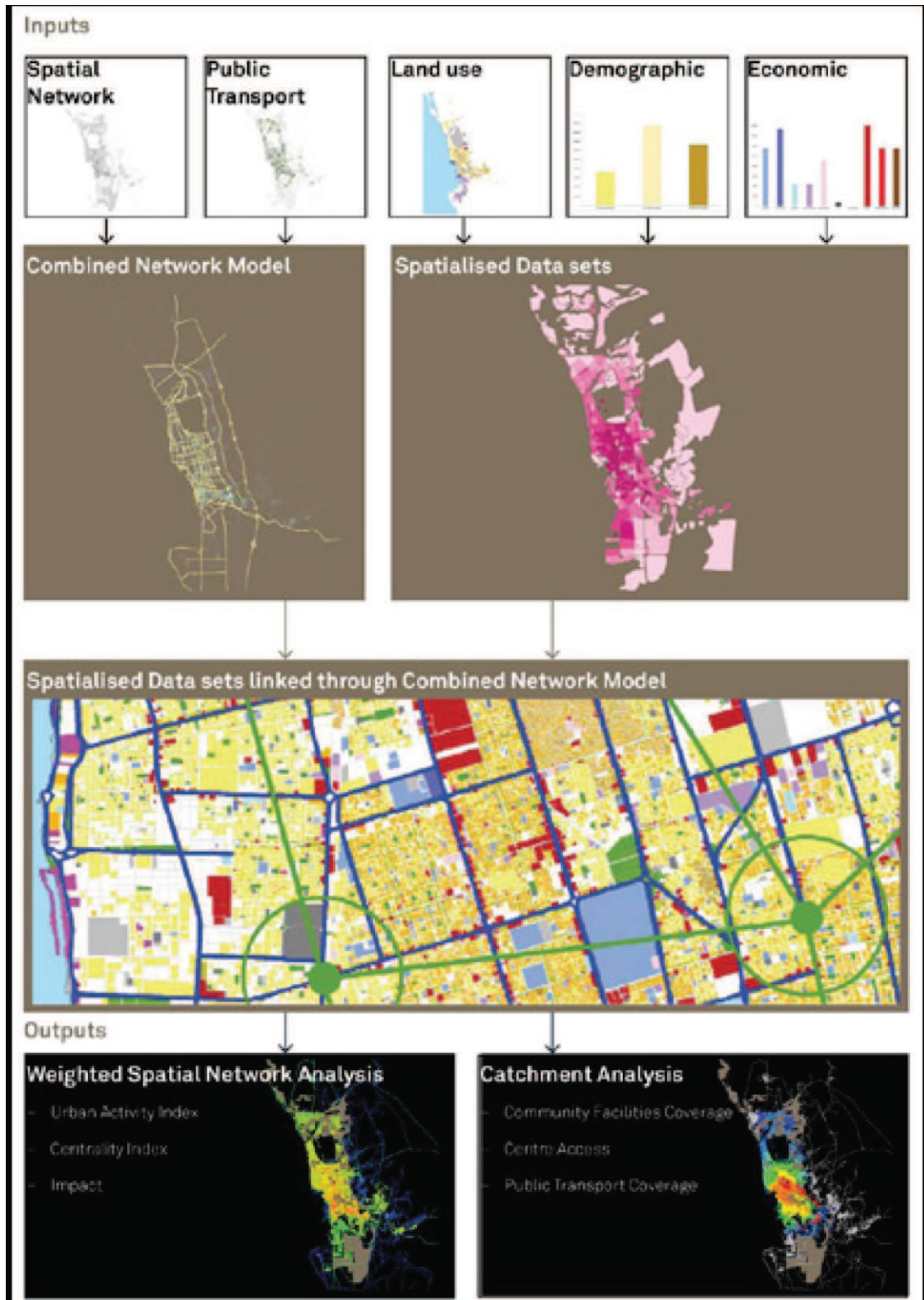
O referido Modelo Urbano Integrado é baseado em uma plataforma de Sistemas de Informações Geográficas e usa uma representação da malha viária municipal para vincular os dados obtidos das diversas camadas de dados a serem consideradas para o projeto. O resultado que ele fornece é o cálculo especializado de medidas de sintaxe espacial – gerado a partir de processamento no *software Depthmap* – cuja análise permitem a avaliação do efeito que as propostas projetuais gerariam na área de intervenção, verificando se ele está de acordo com os objetivos estipulados pelo Plano Estrutural. As etapas do processo de elaboração e aplicação desse Modelo Urbano Integrado são ilustradas na Figura 10.

Tal modelo foi utilizado em todas as etapas do processo de elaboração do Plano Estrutural de Jeddah, começando pela etapa de levantamento dos dados, na qual sua base cartográfica foi utilizada para a definição de módulos espaciais que permitissem a comparação das diferentes camadas de informação considerando uma subdivisão comum do território. Para isso, uma série de regiões denominadas “superblocos” foram definidas dentro da cidade e usadas como módulo de distribuição de dados não espaciais e área de agregação de dados obtidos por unidades de área ou por segmentos de eixos viários.

Na etapa de prognóstico, os dados de população e da oferta de empregos para calcular medidas de sintaxe espacial que descrevessem os níveis de utilização de cada trecho de via e seu potencial como área adequado para determinados usos. Na elaboração de tal modelo, cada segmento de rua foi ponderado pelo número de viagens geradas como origem ou destino dentro da cidade, baseando-se, para isso, no potencial de geração de movimento que cada uso do solo tende a apresentar. Esse potencial é expresso na forma do número de pessoas que residem (origem) ou

trabalham (destino) no lote urbano. Desse processo computacional, são extraídas duas medidas resultantes: atividade urbana e acessibilidade.

Figura 10- Elaboração e aplicação do Modelo Urbano Integrado.



Fonte: Acharya et al. (2017).

O denominado Índice de Atividade Urbana descreve o nível total de atividade que ocorre em uma rua. Ele mostra o número de vezes que cada espaço é usado para ligar todos os outros espaços levando em conta a população e as vagas de emprego, combinando assim as pessoas que passam pela rua como parte de uma jornada mais ampla, bem como as pessoas que ocupam os terrenos circundantes como seu local de trabalho ou residência. Desse modo, esse índice identifica a distribuição de atividade em toda a cidade, com as ruas que registrarem valores mais altos tendendo a captar mais movimento e sendo mais propícias para usos de varejo e atividades de pedestres, conforme os autores do projeto.

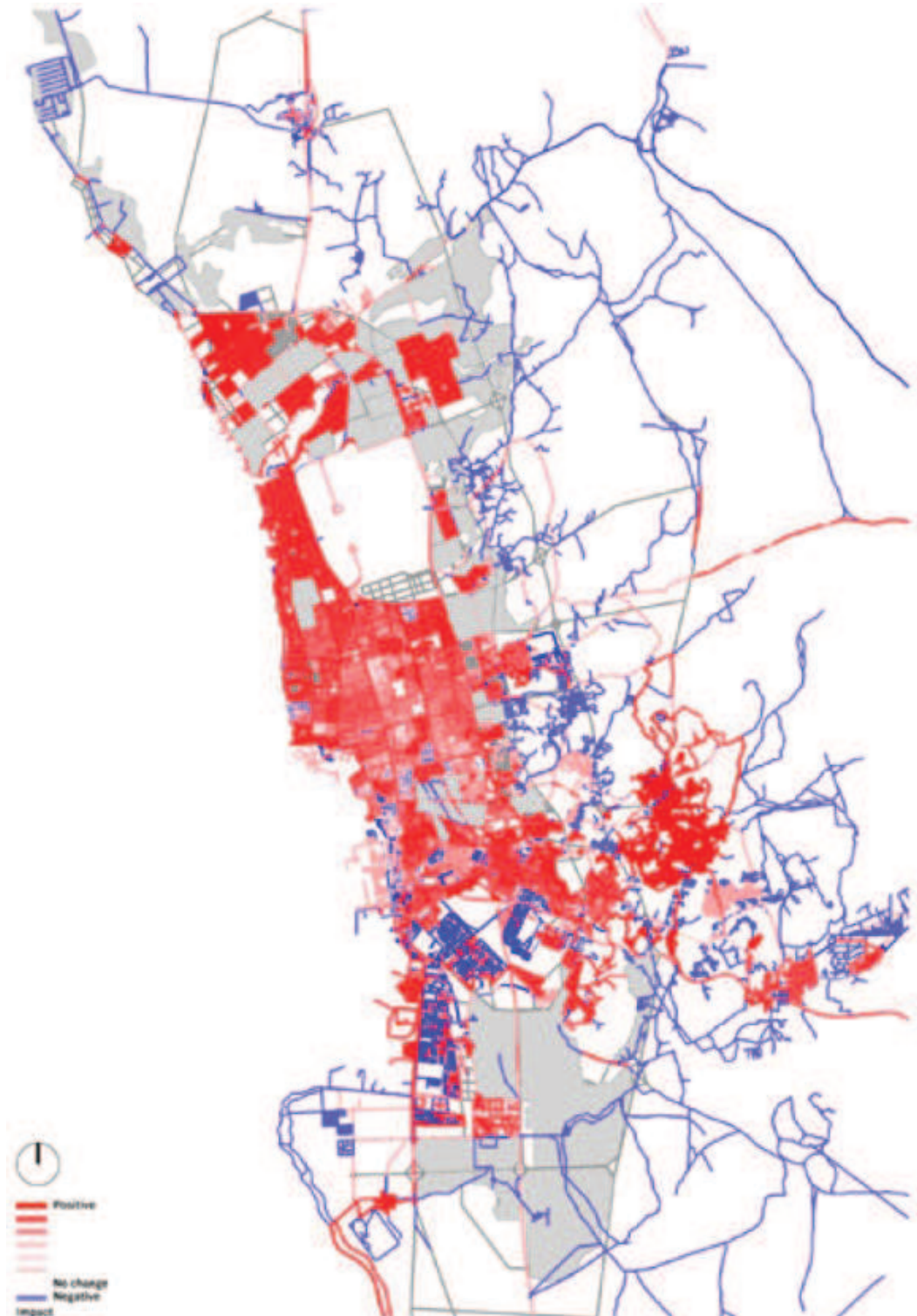
O Índice de Acessibilidade analisa as conexões dentro da rede viária para identificar áreas mais fáceis de se chegar a partir de todos os outros locais. Tal medida é calculada para raios de alcance de 2, 5 e 10 km, escalas usadas para representar espaços mais fáceis de chegar de carro, transporte público ou a pé. Conforme os autores do projeto, tal medida é adequada para representar áreas mais adequadas para implantação de centros municipais que concentrem grandes densidades de população e oferta de emprego.

Utilizando tais medidas em conjunto com o restante das camadas de dados levantadas, o Modelo Urbano Integrado foi usado na etapa de prognóstico para criar um perfil dos diferentes locais da cidade e identificar aqueles que eram adequados para cada tipo de uso do solo. Além disso, simulando para diversos cenários de projeto o impacto das mudanças espaciais, das distribuições de uso do solo, e das opções de transporte público, a utilização do modelo permitiu a realização de um processo de projeto iterativo, no qual as opções de distribuição de população e emprego, a localização dos centros de atividades e das linhas de transporte público foram testadas e refinadas para estarem alinhadas aos princípios de crescimento sustentável desejados conforme as diretrizes estipuladas para o Plano Estrutural.

Como o objetivo do Modelo Urbano Integrado era apresentar os resultados previstos em termos claros e precisos, na etapa de Proposta Final foram elaborados mapas para traduzir os resultados da análise espacial em uma representação que mostrasse o impacto das propostas de projeto em diferentes partes da cidade (Figura 11). Tais mapas não mostram a hierarquia emergente da cidade, mas identificam as áreas onde se estima que ocorrerão as maiores mudanças – positivas ou negativas – decorrentes da aplicação das diretrizes propostas. Desse modo,

torna-se possível a identificação de áreas com maior probabilidade de atrair desenvolvimento ou que precisam de mais atenção para garantir seu desenvolvimento.

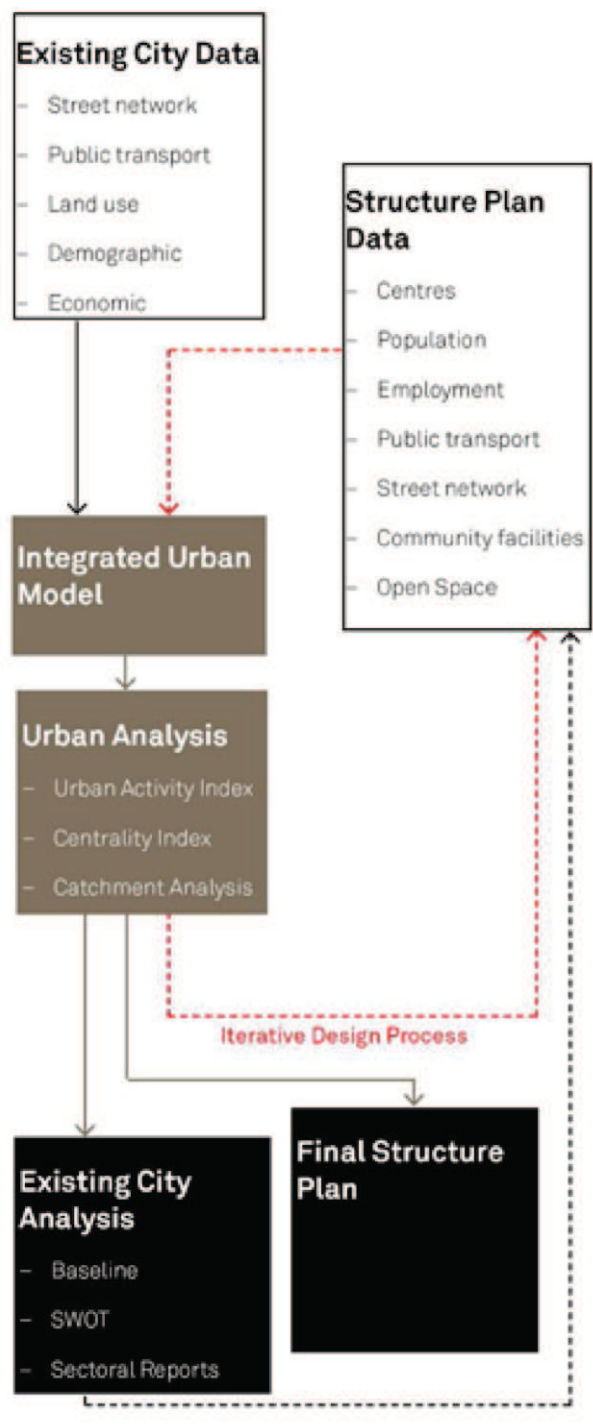
Figura 11- Representação das alterações do índice de atividade urbana



Fonte: Acharya et al. (2017).

A sequência completa de etapas de elaboração do Plano é apresentada na Figura 12.

Figura 12- Estrutura do processo projetual do Plano Estrutural de Jeddah



Fonte: Acharya et al. (2017).

Em suas conclusões, os autores consideraram o Modelo Urbano Integrado uma ferramenta de design importante para aprimorar a elaboração do Plano e otimizar as relações entre os diferentes elementos constituintes do território urbano. A ligação do modelo espacial ao uso do solo e ao transporte público permitiu que análises multicritérios fossem realizadas simultaneamente, permitindo que os componentes de diferentes departamentos dentro de uma administração testem o impacto de diferentes componentes urbanos ao mesmo tempo e compartilhem o resultado com outros profissionais. Isso possibilita que os planejadores avaliem rapidamente as opções de projeto e se comuniquem com clareza com os gestores públicos e a própria população sobre o porquê de um cenário projetual ter sido escolhido.

4.5 OBSERVAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DE CASO

Todos os modelos apresentados partem da simulação do comportamento de grupos de indivíduos e sua relação com o território urbano para visualizar os fenômenos resultantes em uma escala mais ampla, de forma que sua observação foi válida para a elaboração de diretrizes para a utilização de modelos de simulação *bottom-up* em situações práticas de planejamento urbano. Além disso, todos representaram como alterações na dinâmica de usos do solo alteram a configuração do território urbano ao longo do tempo conforme o propósito específico de cada modelo.

O estudo de tais casos permitiu a inferência de algumas características referentes à elaboração e à própria natureza dos modelos computacionais preditivos das dinâmicas de uso do solo. O primeiro aspecto a ser observado é que os modelos em questão tendem a ser uma simplificação da realidade orientada para levar em conta apenas os fatores que possuem relevância para a resolução do problema a ser resolvido. Apesar disso, de forma a representar de forma qualificada o fenômeno estudado, é necessária uma abordagem integrada que considere o conjunto multidisciplinar de parâmetros que podem afetar o objeto estudado e a abrangência da área de influência sobre esse objeto. Tal aspecto pode ser visualizado a partir dos comentários finais dos autores dos modelos estudados, que citam como possibilidades futuras de pesquisa a consideração de uma quantidade

maior de parâmetros de entrada ou o aumento da abrangência de determinada variáveis de forma a também considerar a influência das cidades vizinhas.

Em segundo lugar, uma vez que a modelagem por agente exige uma diferenciação entre diferentes tipos de indivíduos e visto que é impossível realizar essa diferenciação no nível do indivíduo, os modelos levam tais especificidades em conta na forma da generalização dos agentes em grupos populacionais. Porém, dentre as diferentes medidas que poderiam ser utilizadas para caracterizar um conjunto da população de outro (faixa etária, gênero, raça), observa-se que o seu poder econômico é aquele escolhido como o mais relevante para a determinação da interação entre um agente com o seu ambiente.

Da mesma forma, para descrever o território urbano, os modelos estudados utilizam como medida mais relevante o seu custo. Entretanto, a utilização do dado de custo do solo por si só é um dado que serve para descrever uma situação inicial, mas pouco contribui para determinar como tal aspecto evolui ao longo do tempo, uma vez que é difícil encontrar modelos que descrevam com precisão a evolução do valor do solo. Por isso, com o objetivo de permitir que o modelo leve em conta como as características do território evoluem a partir de sua interação com os agentes urbanos, relaciona-se o custo do solo às medidas de centralidade e acessibilidade, as quais podem ser recalculadas facilmente mesmo para cenários urbanos futuros que envolvam propostas de reconfiguração da malha viária ou da localização dos principais polos de atração de uma cidade.

Por último, observa-se que a validação dos modelos analisados ocorre através da simulação de sua evolução urbana em períodos anteriores, fazendo com que a demonstração de que o desenvolvimento passado de uma cidade seja considerado como atestado de que uma simulação que tenta prever o futuro possui valide o suficiente para ser levado em consideração no debate sobre as propostas de intervenção.

Em relação à aplicação prática de técnicas de modelagem na elaboração do Plano Estrutural de Jeddah observa-se como o modelo elaborado foi utilizado de maneiras diferentes e com objetivos distintos nas diferentes etapas projetuais:

- i) Na etapa de Diagnóstico, ele contribui para a identificação do problema projetual através, principalmente, da técnica de álgebra de mapas;

- ii) Na etapa de Prognóstico, a função de um modelo é possibilitar a simulação de diferentes cenários de projeto, visando descobrir qual resolve de maneira mais eficiente o problema projetual observado;
- iii) finalmente, na etapa de Proposta, o modelo tem a função de representação a eficiência da proposta.

Tal pluralidade de usos apresenta o benefício de integrar os diferentes estágios de desenvolvimento projetual, uma vez que, ao manter o mesmo instrumento de análise ao longo de todo o processo e compatibilizando o material utilizando em cada momento, torna-se fácil e prática voltar para etapas anteriores e depois avançar novamente para estágios posteriores. Desse modo, torna-se o processo projetual iterativo, visto que ele deixa de ter uma sequência de etapas rígida, permitindo à equipe de projeto o retorno a qualquer momento a etapas anteriores do processo de maneira recursiva.

Por último, é possível observar a importância de uma representação gráfica em forma de mapa que represente o resultado do processo de modelagem e simulação. Tal formato de representação de ideias e conceitos atua como uma interface entre os agentes técnicos que elaboram o projeto e o público leigo.

Tais observações complementaram o referencial teórico levantado de forma a tornar possível a elaboração de uma proposta de método para a aplicação de instrumentos de modelagem e simulação em situações práticas de planejamento urbano, conforme será apresentado no próximo capítulo.

5 PROPOSTA DE MÉTODO

A partir do referencial teórico levantado e dos estudos de caso realizados, foi possível chegar a uma proposta de método para a aplicação de ferramentas de modelagem e simulação de dinâmicas de uso do solo na prática de planejamento urbano. Tal proposta se baseia nos conceitos de complexidade e auto organização das cidades de que a cidade é formada a partir das interações entre indivíduos e território e complementada por políticas globais de planejamento e por fatores ambientais. Além disso, o método proposto busca incentivar a iteratividade do processo projetual conforme proposto por Çaliskan (2012) e pelos modelos analisados nos estudos de caso – principalmente Acharya et al. (2017) – portando, procurou-se incluir a utilização dos instrumentos de modelagem em todas as etapas do processo projetual – levantamento de dados, diagnóstico, prognóstico e proposta final – propondo diferentes maneiras de aplicação das técnicas estudadas para cada uma, porque, uma vez que o principal instrumento de apoio ao projeto permanece constante ao longo de todo o processo projetual, é facilitado o avanço ou recuo para diferentes etapas.

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A etapa de levantamento de dados é caracterizada pela obtenção do conjunto de informações que será utilizado no restante das etapas projetuais. Ela se inicia com a identificação das variáveis de interesse para o problema para o qual se deseja obter uma resposta. Uma vez que o presente trabalho considera um método específico de modelagem, é possível considerar as variáveis e os parâmetros observados nas etapas de pesquisa anteriores deste trabalho como sendo aqueles com influência relevante para o problema em questão e, conseqüentemente, com maior probabilidade de serem utilizados em processos de modelagem e simulação.

Dessa forma, para a descrição das características do território, sugere-se considerar a utilização de medidas de configuração urbana – tais como centralidade e acessibilidade – para descrever as potencialidades e privilégios inerentes à posição de um terreno na malha da cidade. Uma vez que tais características estão diretamente associadas com o custo do solo de um determinado local, elas também

se tornam adequadas para a representação da valorização ou desvalorização de determinados locais da cidade.

Conforme Zechlinski (2013), a medida de Acessibilidade é calculada por um processo que identifica a distância mínima entre todos os pares de pontos do sistema, sendo o valor da Acessibilidade de um ponto o inverso da soma das distâncias a todos os outros pontos do sistema. Dessa forma, o espaço mais acessível é aquele que apresenta as menores distâncias a todos os outros espaços do sistema.

Por outro lado, a Centralidade, conforme Zechlinski (2013), é uma medida calculada por um processo que identifica os menores caminhos que conectam todos os pares de pontos no sistema. A conexão entre estes pares gera uma tensão, cujo valor é obtido através do produto entre os carregamentos de cada ponto (atributos das atividades nos trechos da via) e distribuída entre todos os pontos identificados como parte dos caminhos que conectam o par. Desse modo, o valor da Centralidade em cada ponto é o resultado da soma das frações destas tensões, considerando os menores caminhos entre todos os pares de pontos do sistema.

No caso da descrição do comportamento dos grupos populacionais, conforme se observou nos exemplos estudados, propõe-se a sua diferenciação através da descrição de seu poder econômico – que pode ser obtido de forma desagregada por setor censitário através da base de dados do Censo do IBGE – visto que essa é uma medida representativa do valor do custo do solo que o indivíduo é capaz de lidar. Outra característica a ser levada em conta é o tipo de uso a ser desenvolvido no local (comercial, residencial, industrial), uma vez que diferentes tipos de atividades buscam características distintas do espaço, sendo um exemplo disso a relação entre medida de Centralidade e adequação de comércios (SABOYA; KRAFTA, 2001) e da Acessibilidade com usos residenciais (POLIDORI; KRAFTA, 2005).

Entretanto, as regras que regem as interações entre grupos populacionais devem ser desenvolvidas caso a caso, prioritariamente em dinâmicas de participação popular onde seja possível evidenciar os desejos e motivações que estão por trás da tomada de decisões dos agentes que compõem cada grupo populacional participante do processo de desenvolvimento urbano. Em termos de interação entre os agentes urbanos, tais regras provavelmente, como foi possível observar nos estudos de caso, levarão em conta o quanto cada grupo populacional aceita estar próximo dos outros grupos populacionais ou de outros tipos de uso do

solo. Em termos de relação entre agentes e território, tais regras de comportamento levarão em conta o valor do custo do solo cada grupo pode ou deseja ter, bem como outras características como distância a determinados tipos de uso do solo, níveis mínimos de centralidade ou acessibilidade, densidades máximas.

Outros dados que podem ser levantados para situações específicas são aqueles relacionados com as limitações ou incentivos previstos pela legislação local, bem como a taxa de crescimento populacional, que pode ser utilizada para a inserção contínua de agentes nos modelos de simulação. Conforme foi apresentado nos estudos de caso, o relevo pode ser uma variável que indica espaços mais adequados à ocupação por serem mais protegidos de eventuais inundações (AHMED; BRAMLEY, 2015), a proximidade a grandes polos geradores de empregos torna uma região mais atrativa para o estabelecimento residencial de indivíduos que buscam trabalho (LI et al., 2013) e políticas de planejamento podem indicar áreas com maior incentivo à ocupação ou de ocupação proibida (AHMED; BRAMLEY, 2015; TSANG; LEUNG, 2011). Um resumo dos parâmetros e medidas propostos para a elaboração de um modelo de dinâmicas do uso do solo é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Resumo dos parâmetros de descrição dos elementos do modelo

Elemento descrito	Parâmetros de descrição
<p style="text-align: center;">Território urbano (Autômato Celular)</p>	<p>Centralidade e Acessibilidade: medidas de configuração urbana que podem representar a adequação do espaço para usos específicos e das quais pode-se inferir o custo do solo de um ponto da estrutura urbana.</p>
	<p>Políticas de planejamento urbano: incentivo ou proibição à ocupação de determinada área.</p>
	<p>Proximidade ao Emprego e à Infraestrutura: variáveis de qualidade do espaço que podem incentivar o estabelecimento de determinados grupos da população no local.</p>
	<p>Relevo: dependendo do contexto da cidade, pode representar um incentivo à ocupação (áreas mais protegidas de inundações) ou um obstáculo à urbanização (áreas mais íngremes são mais custosas de serem ocupadas).</p>
<p style="text-align: center;">Grupo populacional / Conjunto de atividades (Agentes)</p>	<p>Poder econômico: descrição da capacidade do indivíduo de dar conta do valor do custo do solo onde ele reside.</p>
	<p>Uso do solo: tipo de atividade associada (residencial, comercial, industrial)</p>

Fonte: elaboração do autor.

Ao fim da etapa de levantamento de dados, uma vez que os modelos de simulação das dinâmicas de usos do solo são construídos sobre camadas de informação georreferenciadas, deve-se realizar a espacialização das informações de interesse em uma base padronizada, com escalas de desagregação compatíveis entre os diferentes tipos de dados e configurações de projeção das coordenadas geográfica semelhantes, da mesma forma que observado para o trabalho de Acharya et al. (2017). Nota-se que a modularização do território realizada nessa etapa será utilizada para a criação das células dos modelos de autômatos celulares.

5.2 DIAGNÓSTICO

A etapa de diagnóstico é caracterizada pelo objetivo de identificar o problema de projeto a partir da visualização conjunta de todas as camadas de informação levantadas na etapa anterior. Para tanto, elabora-se uma análise qualitativa das maiores necessidades do local de intervenção que devem ser resolvidas pelas propostas de projeto e das qualidades do espaço que devem ser mantidas para o futuro.

Um método que é comumente associado com tal tipo de análise é o da Análise Multicritério, tipicamente realizado em Sistemas de Informação Geográfica através da técnica de Álgebra de Mapas. Em tal método, o usuário sobrepõe os diferentes tipos de camadas de informações espacializadas através da utilização de arquivos do tipo *raster*, os quais descrevem todos os pontos do espaço através de um valor numérico conforme a variável representada pelo mapa. Desse modo, tal formato de arquivo possibilita que cada ponto da área de intervenção receba a álgebra de todos os valores atribuídos para ele conforme os diferentes mapas utilizados. Através da utilização da utilização de ponderações para dar maior importância para os fatores representados por determinados mapas, é possível destacar espacialmente locais com prioridade de intervenção (Figura 13). Tal processo atualmente é realizado em plataformas SIG; entretanto, seria conveniente que ela pudesse ser também realizada no mesmo ambiente no qual o modelo de usos do solo seria manipulado e as simulações seriam executadas, de modo a cumprir com as diretrizes propostas para a definição do método aqui descrito.

Figura 13- Elaboração de mapa de adequação



Fonte: Dalcin et al. (2017)

Além disso, conforme foi visto nos estudos de caso realizados, a etapa de diagnóstico também pode ser utilizada como etapa de calibração do modelo. Em geral, tal calibração é realizada através da simulação da evolução da cidade de uma época a outra cujos dados são conhecidos para ambos estes momentos. Uma vez que tal processo também envolve a sobreposição de dados sobre a área de intervenção, é possível utilizar tal processo de reconstrução também como forma de entender os fatores que tiveram maior influência na evolução da cidade, inferindo a partir disso quais de seus problemas são de ordem estrutural e quais são questões pontuais.

5.3 PROGNÓSTICO

A utilidade dos métodos de modelagem e simulação para a etapa de Prognóstico se baseia na criação e teste de diferentes cenários de projeto orientados à resolução dos problemas projetuais definidos na etapa de Diagnóstico. Tais cenários têm seus efeitos simulados no modelo desenvolvido de forma a se verificar qual cenário resolve de maneira mais eficiente o problema projetual observado durante a etapa de diagnóstico.

A simulação é realizada tendo como situação inicial o conjunto de camadas de dados que descrevem o momento atual da área de intervenção, conforme levantado nas etapas anteriores. Para cada elemento do modelo – território, representando através de autômatos celulares, e grupos populacionais, representados através de agentes – é criado um conjunto de regras que descreverão sua transformação ao longo da simulação a partir de sua interação com o restante dos elementos do modelo.

Conforme visto nos exemplos analisados na etapa de estudo de casos, tal elaboração de regras depende do objetivo do modelo. Mas, de forma geral, recomenda-se realizar a partir do levantamento das variáveis que descrevem os agentes urbanos e o território qual o efeito que cada uma delas gera sobre cada elemento do modelo. Por exemplo, se o valor da Acessibilidade aumentar em determinado local, isso afetará cada grupo populacional do modelo de forma positiva, negativa ou não terá efeito.

Com a definição das regras de comportamento de cada elemento do modelo, é possível realizar um conjunto de simulações e observar as alterações ocorridas na configuração global da área de intervenção. Para cada cenário, analisando tais variações em conjunto o posicionamento final dos agentes do modelo, é possível inferir os possíveis efeitos que cada proposta projetual terá sobre o local de estudo através de uma comparação objetiva.

Conforme sugerido por Hewitt, Delden e Escobar (2014), a equipe de projeto deve levar os resultados dos cenários que melhor resolvem o problema de trabalho inicial para discussão com os *stakeholders* interessados na intervenção. Nessa dinâmica, seria possível observar a opinião da população e dos gestores públicos sobre a validade de cada proposta e entrar em consenso sobre os elementos de cada cenário que deveriam ser levados adiante para a elaboração de uma proposta final. Em caso de verificação da incompatibilidade dos resultados com a realidade, a equipe de projeto deve retornar a etapas anteriores do processo.

5.4 PROPOSTA

Na etapa de proposta final, a equipe de projeto realiza adequações ou complementações à solução mais eficiente observada nas simulações realizadas. Uma vez que os resultados obtidos a partir da modelagem computacional podem apresentar falhas ou problemas devido à qualidade do banco de dados utilizado ou mesmo devido a fatores difíceis de serem traduzidos para uma camada numérica de informação, esta etapa permite que os planejadores realizem modificações nos cenários projetuais a partir de seu conhecimento próprio.

De forma a validar sua versão final ante os diversos *stakeholders* interessados, a proposta final deve ser apresentada de forma clara e objetiva para que mesmo indivíduos leigos possam opinar sobre o assunto a partir de seu ponto

de vista. Dessa forma, recomenda-se a apresentação de mapas contendo a síntese dos resultados obtidos na simulação – uma sobreposição geral do estado final de todos os parâmetros utilizados para as simulações em cada cenário – bem como mapas individuais representando individualmente as alterações observadas para cada parâmetro modelado, explicitando as mudanças realizadas pela equipe de projeto na fase posterior às simulações.

Tal processo permite validar o material final que descreve as propostas de projeto. Caso notem-se divergências entre o conteúdo dessa proposta final com a realidade ou com as diretrizes iniciais sugeridas para o plano, há a possibilidade de retornar a etapas anteriores de projeto, seguindo os princípios de iteratividade propostos para o método aqui apresentado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propôs um método de aplicação de técnicas de modelagem e simulação em situações práticas de planejamento urbano. A motivação por trás desse tema foi a identificação de uma incompatibilidade entre os instrumentos de planejamento existentes e a verdadeira dinâmica de funcionamento dos grandes centros urbanos. Verificou-se que a principal razão para tal incompatibilidade é a falta de reconhecimento da cidade como um sistema complexo e auto organizado que se constrói de baixo para cima através de interações entre os agentes urbanos em um processo de auto organização que se adapta às forças externas, sejam elas ambientais ou governamentais. Para aplicar tais conceitos em métodos analíticos que permitam o aprofundado entendimento do fenômeno da urbanização são necessárias técnicas de modelagem que explicitem as alterações do território urbano resultantes dessas interações entre os agentes urbanos para diferentes cenários de uma cidade. Tais técnicas de modelagem e simulação – baseadas em agentes e em autômatos celulares – apesar de estarem desenvolvidas na literatura técnica, são pouco utilizadas em aplicações práticas do planejamento urbano, sendo tal panorama o incentivo para que o presente trabalho pesquisasse como métodos de modelagem e simulação podem ser aplicados na prática e quais as vantagens que se advém dessa aplicação.

Para que fosse elaborada a referida proposta de método, foram estudados modelos construídos com o intuito de simular as dinâmicas de uso do solo, bem como uma aplicação prática de técnicas de modelagem na elaboração de um plano de desenvolvimento de uma cidade. A partir de tais estudos de caso e da fundamentação teórica levantada, foi possível elaborar uma proposta de método de aplicação de técnicas de modelagem e simulação das dinâmicas de uso do solo. Tal método tenta ser o mais geral possível dentro do tema discutido para tornar possível a compatibilização com qualquer modelo referente a usos do solo; entretanto, ele busca realizar uma integração entre os diferentes fatores que influenciam no desenvolvimento de uma cidade, considerando também uma ampla escala de influência.

Conforme mencionado anteriormente, essa pesquisa se propôs a responder à pergunta “visto a complexidade dos grandes centros urbanos atuais, será possível obter de tais modelos e simulações de dinâmica de uso do solo resultados úteis para

a fundamentação da prática de planejamento urbano?”. Acredita-se que este trabalho demonstrou que a resposta para tal pergunta é afirmativa: técnicas de modelagem e simulação podem auxiliar o processo de planejamento urbano através da visualização de possíveis configurações futuras da forma urbana conforme a aplicação de diferentes cenários projetuais e mensuração da adequação de tais propostas através de medidas quantitativas. Tal aspecto permite que as decisões tomadas na elaboração de planos e projetos sejam baseadas em critérios objetivos e que a discussão em volta de tal processo seja mais inclusiva e transparente. A proposta de método apresentada por este trabalho se configura como um exemplo de como os conceitos analisados poderiam ser aplicados de maneira útil à prática de planejamento, de modo introduzir iteratividade ao processo projetual e de torna-lo capaz de fornecer as referidas medidas objetivas da realidade como argumentação técnica a favor de um determinado cenário.

Tais resultados poderiam ser discutidos com maior profundidade se o presente trabalho tivesse levado em consideração outros aspectos da utilização da modelagem e simulação em situações práticas, principalmente as questões de dificuldade de calibração e de falta de instrumentos de validação dos resultados simulados. Entretanto, a discussão de tais aspectos de forma adequada exigiria a prototipagem de um modelo, tornando-a mais concreta. Tais questões ficam, então, em aberto para serem melhor tratadas em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ABOLHASANI, S. et al. Simulating urban growth under planning policies through parcel-based cellular automata (ParCA) model. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 30, n. 11, p. 2276–2301, 2016.

ACHARYA, A. et al. **City planning using integrated urban modelling**: Jeddah Structure Plan. Proceedings of the 11th Space Syntax Symposium Lisbon. **Anais...**Lisbon, Portugal: Instituto Superior Técnico, 2017Disponível em: <<http://www.spacesyntax.com/wp-content/uploads/2017/09/City-Planning-Using-Integrated-Urban-Modelling.pdf>>

AHMED, S.; BRAMLEY, G. How will Dhaka grow spatially in future? Modelling its urban growth with a near-future planning scenario perspective. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 4, n. 2, p. 359–377, 2015.

ANGEL, S. et al. **Atlas of Urban Expansion**. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2016. v. 1

BATTY, M. **The New Science of Cities**. Cambridge: The MIT Press, 2013a.

_____. Big data, smart cities and city planning. **Dialogues in Human Geography**, v. 3, n. 3, p. 274–279, 2013b.

BATTY, M.; TORRENS, P. M. Modelling and prediction in a complex world. **Futures**, v. 37, n. Complexity and the limits of knowledge, p. 745–766, 1 jan. 2005.

BETTENCOURT, L. M. A. **The Uses of Big Data in Cities**. Santa Fe, USA: [s.n.].

BRESSERS, N.; EDELENBOS, J. Planning for adaptivity: facing complexity in innovative urban water squares. **Emergence: Complexity and Organization**, v. 16, n. 1, p. 77–99, 2014.

BURDETT, R.; SUDJIC, D. **Living in the Endless City**. London: Phaidon Press Ltd, 2011.

ÇALIŞKAN, O. Design thinking in urbanism: Learning from the designers. **URBAN DESIGN International**, v. 17, n. 4, p. 272–296, 2012.

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.

DALCIN, G. et al. **Jaguarão: Horizonte Urbano no Pampa**. (E. Mendonça, M. Esteves Júnior, Eds.)6ª Conferência da Rede Lusófona de Morfologia Urbana. **Anais...**Vitória, Brasil: Universidade Federal do Espírito Santo, 2017

DE ROO, G. Spatial Planning, Complexity and a World 'Out of Equilibrium': Outline of a Non-linear Approach to Planning. In: **Complexity and Planning Systems: Assemblages and Simulations**. Farnham: Routledge, 2012. p. 141–175.

DRESCH, A. Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção. **Dissertação do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS**, v. 1, p. 184, 2013.

HEWITT, R.; DELDEN, H. VAN; ESCOBAR, F. Participatory land use modelling, pathways to an integrated approach. **Environmental Modelling and Software**, v. 52, p. 149–165, 2014.

KOOMEN, E. et al. **Modelling Land-Use Change**: progress and applications. Doordrecht, The Netherlands: Springer, 2007.

_____. A utility-based suitability framework for integrated local-scale land-use modelling. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 50, p. 1–14, 2015.

LEVY, S.; MARTENS, K.; HEIJDEN, R. VAN DER. Agent-based models and self-organisation: addressing common criticisms and the role of agent-based modelling in urban planning. **Town Planning Review - Liverpool University**, v. 87, n. 3, p. 321–338, 2016.

LI, S. et al. Simulation of spatial population dynamics based on labor economics and multi-agent systems : a case study on a rapidly developing manufacturing metropolis. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 27, n. 12, p. 2410–2435, 2013.

MITCHELL, M. **Complexity : A Guided Tour**. Oxford [England]: Oxford University Press, 2009.

PESARESI, M. et al. **Atlas of the Human Planet 2016**. Mapping human presence on Earth with the Global Human Settlement layer. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.

PHAM, H. M.; YAMAGUCHI, Y.; BUI, T. Q. A case study on the relation between city planning and urban growth using remote sensing and spatial metrics. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 3, p. 223–230, 2011.

POLIDORI, M.; KRAFTA, R. Simulando Crescimento Urbano com integração de fatores naturais, urbanos e institucionais. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnologia de la Informacion Geografica**, n. 5, p. 156–179, 2005.

PORTUGALI, J. Self-Organizing Cities. **Futures**, v. 29, n. 4, p. 353–380, 1997.

_____. **What makes cities complex?** Delft: [s.n.]. Disponível em:

<http://www.bk.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/BK/Over_de_faculteit/Afdelingen/Urbanism/Onderzoek/Congress,_workshops_and_exhibitions/Congresses/CCUPD_conference/Short_paper_Portugali.pdf>.

_____. Learning from paradoxes about prediction and planning in self-organizing cities. **Planning Theory**, v. 7, n. 3, p. 248–262, 2008.

SABOYA, R.; KRAFTA, R. **Centralidade Espacial**: Uma nova operacionalização do modelo baseada em um Sistema de Informações Geográficas. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

SANTOS, A. P.; POLIDORI, M. C. O Lugar dos Pobres na Cidade: contribuições sobre crescimento urbano da modelagem por agentes. **XVII ENANPUR: Desenvolvimento, Crise e Resistência**: quais os caminhos do planejamento urbano e regional?, n. 1982, p. 1–18, 2017.

STONOR, T. Essay: Space syntax: A SMART approach to urban planning, design and governance. **A + U-Architecture and Urbanism**, n. 530, p. 12–23, 2014.

TODES, A. Urban growth and strategic spatial planning in Johannesburg, South Africa. **Cities**, v. 29, n. 3, p. 158–165, 2012.

TSANG, S. W.; LEUNG, Y. A Theory-Based Cellular Automata for the Simulation of Land-Use Change. **Geographical Analysis**, v. 43, n. 2, p. 142–171, 2011.

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

WHITE, R.; ENGELEN, G.; ULJEE, I. **Modeling Cities and Regions as Complex Systems**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2015.

WILENSKY, U.; RAND, W. **An Introduction to Agent-Based Modeling**: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo. Cambridge: The MIT Press, 2015.

ZECHLINSKI, A. P. P. **Configuração e Práticas no Espaço Urbano**: uma análise da estrutura espacial urbana. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

ZELLNER, M.; CAMPBELL, S. Planning for deep-rooted problems : What can we learn from aligning complex systems and wicked problems ? **Planning Theory & Practice**, v. 16, n. 4, p. 457–478, 2015.