UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física

PEDRO BUENO ROCHA CAMPOS

Modelo de Autômato Celular Aplicado no Estudo da Influência dos Centros Educacionais Unificados na Dinâmica de Transição do Uso e Ocupação do Solo da Periferia de São Paulo

PEDRO BUENO ROCHA CAMPOS

Modelo de Autômato Celular Aplicado no Estudo da Influência dos Centros Educacionais Unificados na Dinâmica de Transição do Uso e Ocupação do Solo da Periferia de São Paulo

Versão Corrigida

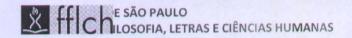
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz

Filho

Coorientadora: Prof.^a. Dr.^a Cláudia Maria de Almeida



ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE

Termo de Ciência e Concordância do (a) orientador (a)

Nome do (a) aluno (a): PEDRO BUENO ROCHA CAMIN	35
Nome do (a) aluno (a):	
Data da defesa: \(\frac{1}{1} \) \(\frac{1}{2}	0 - 0 -
Nome do Prof. (a) orientador (a): ALFREDO PEREREIRA DE C	XVAROL
TILT	W

Nos termos da legislação vigente, declaro <u>ESTAR CIENTE</u> do conteúdo deste <u>EXEMPLAR</u>

<u>CORRIGIDO</u> elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me <u>plenamente favorável</u> ao seu encaminhamento e publicação no <u>Portal Digital de Teses da USP</u>.

São Paulo, 04, 02, 2019

(Assinatura do (a) orientador (a)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação Serviço de Biblioteca e Documentação Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Campos, Pedro Bueno Rocha

C198m

Modelo de Autômato Celular Aplicado no Estudo da Influência dos Centros Educacionais Unificados na Dinâmica de Transição do Uso e Ocupação do Solo da Periferia de São Paulo / Pedro Bueno Rocha Campos; orientador Alfredo Pereira de Queiroz. - São Paulo, 2018.

146 f.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. MODELAGEM DE DADOS. 2. AUTÔMATOS CELULARES. 3. POLÍTICA URBANA. 4. SOLO URBANO. I. Queiroz, Alfredo Pereira de, orient. II. Título.

"E as paralelas dos pneus n'água das ruas São duas estradas nuas Em que foges do que é teu"

Agradecimentos

O engraçado é que o único momento em que posso escrever na primeira pessoa serve justamente para reconhecer que na capa deste trabalho não deveria constar apenas meu nome como autor. Digo isso, porque é obrigatório lembrar de todas as pessoas que produziram este trabalho comigo. Das pessoas que fizeram o papel e a tinta, fabricaram a tela do computador, até as que me alimentaram, inspiraram, orientaram, forneceram dados e informações, que conviveram em algum momento desta trajetória, merecem não só o agradecimento, mas também o reconhecimento da participação na elaboração de cada linha aqui escrita.

Para elencar todos os nomes seriam necessárias mais páginas que toda a tese, mas vou tentar resumir.

Obrigado Professor Alfredo Pereira de Queiroz Filho e Professora Cláudia Maria de Almeida, pelas orientações, pela paciência, pelas conversas, inspirações, exemplos, cafés, almoços e a constante disponibilidade em me ajudar. Prometo fazer o mesmo pelos meus futuros alunos.

Obrigado a minha família, base e motivação para chegar até aqui. Não consigo imaginar como seria se vocês não estivessem presentes em mais essa vida.

Obrigado Gi e Maria Flor, por me darem mais uma família, pela paciência e tudo que fizeram para me ajudar a acabar este trabalho.

Obrigado aos amigos que com certeza ressignificaram a existência deste trabalho. Todos da USP, do Crusp, do Lasere, do Batuíra e da São Judas. Em especial: João, Roger, Arthur, Melissa, Marcelo, Di, Danilo, W, Flora, Raul, Guará, Wilson, Munira, Agnes, Fabíola, Isabela, Beatriz, Rodrigo, Lu, Gabriel, Eloisa, Pablo, Ulisses, Vinas, Douglas, Juliana, Efigênia, Marquinhos, Jimmy, Paula.

Obrigado à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo financiamento da pesquisa.

Obrigado ao Silvio Ribeiro, pelas informações e dados. À Alexandra, pela ideia.

Por fim, obrigado a todos que não foram mencionados e a você que, porventura, esteja lendo.

RESUMO

Nesta tese, é discutida a possibilidade de se representar as variações sistêmicas das transições do uso e ocupação do solo, nos períodos compreendidos entre antes e após a construção dos equipamentos públicos denominados de centros educacionais unificados (CEUs). Foram elaborados modelos dinâmicos de simulação, baseados no paradigma de autômatos celulares, e aplicados na área de influência de 10 unidades deste equipamento, observando-se um raio de influência de 2 km. As unidades foram implantadas, em sua maioria, na periferia do município de São Paulo, Brasil. A pesquisa foi feita entre os anos 2000 e 2010, recorte temporal de maior implantação das estruturas, sendo que o recorte abrange as fases de projeto e apresenta avaliações das unidades implantadas. Para a parametrização das simulações de transição do uso e ocupação do solo urbano, foi utilizado o método bayesiano de pesos de evidência. Os resultados foram conclusivos sobre a relação dos centros educacionais unificados com a modificação de padrões e tendências de variação do uso e ocupação do solo no entorno das unidades estudadas. Houve um aumento de 35% nas probabilidades de transição entre as diferentes classes de uso do solo, indicando uma maior dinâmica de modificações após a construção dos centros educacionais unificados. Ainda no período posterior à implantação desta infraestrutura, foi identificada uma intensificação nas transições entre as classes de uso residencial, áreas urbanas vagas e assentamentos urbanos precários, em processos formais e informais de expansão urbana que estão diretamente relacionados com a condição inicial de uso e ocupação do entorno de cada unidade. Foi possível constatar uma explícita diferenciação espacial do processo de urbanização na área de influência de várias unidades, com a análise contínua da formação das manchas de transição das classes de uso em relação às faixas de distância aos CEUs. Nas unidades construídas em áreas com maior vulnerabilidade e precariedade das ocupações, a expansão urbana tende a ser informal e a ultrapassar os limites imobiliários formais, como no caso do CEU Paz, que concentrou o crescimento dos assentamentos urbanos precários nas áreas íngremes e mais próximas à Serra da Cantareira, em uma taxa anual 27% maior no período pós-implantação. A análise da variação da tendência de uso e ocupação entre os períodos de análise possibilitou comparar todas as unidades estudadas, demonstrando que não existe um caráter regional no padrão de modificação, mas sim uma grande heterogeneidade na organização espacial, em conformidade com os padrões da periferia de São Paulo. Por fim, foi possível observar que nem todas as classes de uso sofreram alteração na tendência entre os períodos, fato que confirma que a influência dos CEUs pode variar conforme o contexto de implantação.

Palavras-chave: Centros educacionais unificados. Autômatos celulares. Dinâmica urbana. Padrão espacial. Transição do uso e ocupação do solo.

Cellular Automata Modelling Applied to Assess the Impact of Unified Educational Centers in Land Use Dynamics at the Periphery of Sao Paulo City

ABSTRACT

In this thesis, a proposal for modelling land use dynamics is conceived, comprising periods immediately before and after the implementation of the so-called unified educational centers (or centros educacionais unificados - CEUs, in Portuguese). Cellular automaton-based models were applied to assess the influence of CEUs in land use change within circular catchment areas of a two-kilometer radius surrounding them. Most of these social infrastructure equipments were implemented at the periphery of São Paulo city, Brazil. The research was carried out between 2000 and 2010, period of intensive implementation of such social equipments. This time span covers the project phases and presents evaluations of the implemented units. For discretizing continuous variables and running the simulations, we used the Bayesian weights of evidence method. The results were conclusive on the relation between the unified educational centers with changes in land use variation patterns and trends around the studied units. There was a 35% increase in the possibilities of transition among the different land use classes, indicating a greater dynamic of change after the unified educational centers construction. Also, in the period after the implementation of this infrastructure, it was identified an intensification in the transitions among the classes of formal residential use, vacant urban plots and informal urban settlements, in formal and informal processes of urban expansion that are directly related to the initial condition of use and occupation found in the surroundings of each unit. It was possible to observe an explicit spatial differentiation of the urbanization process in the catchment area of several units, by means of the continuous analysis of the land use patches formation in relation to the distance ranges to CEUs. In the units built in areas with greater vulnerability and precarious occupations, urban expansion tends to be informal and invade the formal occupation limits, as in the case of CEU Paz, which concentrated the growth of precarious urban settlements in steep areascloser to the Cantareira Ridge, at a 27% higher yearly rate in the second period, i.e. after the CEU Paz construction. The trend variation analysis between the periods made it possible to compare all the studied units, demonstrating that there is no regional character in the modification pattern, but rather a great heterogeneity in the spatial organization, in accordance with patterns found at the periphery of São Paulo. Finally, it was possible to observe that not all land use classes suffered transition trend changes between the periods, confirming that the influence of the unified educational centers may vary according to the local context.

Keywords: Unified educational centers. Cellular automata. Urban dynamics. Spatial pattern. Land use transition.

Figura 1: Padrões espaciais, grafismo de um bairro traçado a mão	
Figura 2: Gráfico de comparação das linhas de tendência para valores (fictícios) em	
m² do uso residencial	
Figura 3: Influência da escola no espaço, representação de Hélio Duarte 25	
Figura 4: Exemplo de autômato celular para ambiente urbano uniforme 28	
Figura 5: Exemplo de autômato celular para ambiente urbano complexo 29	
Figura 6: Esquema Escolas Classe e Escolas Parque, projeto inicial para Salvador.	
Figura 7: Mapa do Índice de Exclusão Social – IEX, sem orientação e escala na	
fonte 45	
Figura 8: Mapa da densidade de variação de setores aglomerados subnormais,	
entre 2000 e 2010 50	
Figura 9: Delimitação da área de estudo 51	
Figura 10: Fluxograma da Metodologia56	
Figura 11: Cálculo do ângulo de inclinação 57	
Figura 12: Hierarquia dos critérios de classificação58	
Figura 13: Exemplo de espacialização dos pesos de evidência e valores de	
probabilidade64	
Figura 14: Comparação das funções de alocação de transições <i>patcher</i> e <i>expander</i> .	
Figura 15: Exemplos de simulações variando as funções de alocação 68	
Figura 16: Exemplo de simulação com diferentes tipos de transições	
Figura 17: Situações de comparação de células, considerando o conceito de	
fuzziness of location72	
Figura 18: Classe residencial em várias escalas. Fotografia aérea de 2004 74	
Figura 19: Classe assentamentos urbanos precários em várias escalas. Fotografia	
aérea de 200474	
Figura 20: Comparação para a classe assentamentos urbanos precários. Fotografia	
aérea de 2004 76	
Figura 21: Comparação para a classe uso residencial. Fotografia aérea de 2004.	
76	

Figura 37: Gráfico da variação local da porcentagem de área residencial formal.
Figura 38: Representação gráfica do grau de inclinação para o uso residencial
formal110
Figura 39: Gráfico comparativo do comportamento de variação das classes de uso
do solo. Região noroeste
Figura 40: Gráfico comparativo do comportamento de variação das classes de uso
do solo. Região sudoeste
Figura 41: Gráfico comparativo do comportamento de variação das classes de uso
do solo. CEU Paz e CEU Navegantes
Figura 42: Comparação da expansão urbana em faixas de distância. CEU Paz.
117
Figura 43: Comparação da urbanização por faixa de distância ao CEU Paz 118
Figura 44: Foto do avanço das autoconstruções sobre a vegetação arbórea da
Serra da Cantareira, ano 2017
Figura 45: Autoconstruções sobre o leito de um córrego, ano 2017 121
Figura 46: Consolidação de um assentamento urbano precário, ano 2017 122
Figura 47: Comparação da expansão urbana em faixas de distância. CEU Paz.

Lista de Tabelas

Tobolo 1. Dologo dos verióveis utilizados
Tabela 1: Relação das variáveis utilizadas
Tabela 2: Padronização das variáveis por modelo
Tabela 3: Totais em hectares por classe de uso e por ano
Tabela 4: Contagem das transições possíveis para o 1º período 80
Tabela 5: Contagem das transições possíveis para o 2º período 81
Tabela 6: Razão entre os períodos das taxas anuais de transições para
assentamentos urbanos precários 82
Tabela 7: Matriz de múltiplos passos do 1º período do CEU Paz 84
Tabela 8: Matriz de múltiplos passos do 2º período do CEU Paz
Tabela 9: Matriz de transição com taxas anuais em hectares para o CEU Paz 85
Tabela 10: Joint Information Uncertainty do modelo CEU Paz
Tabela 11: Valores de similaridade mínima para os modelos selecionados 98
Tabela 12: Índices de similaridade para modelos do CEU Pêra Marmelo 99
Tabela 13: Valores de área de cada classe de uso solo por ano 103
Tabela 14: Percentual da área total de cada classe de uso do solo por ano 103
Tabela 15: Grau de inclinação entre cada intervalo. CEU Navegantes 106
Tabela 16: Grau de inclinação entre cada intervalo. CEU Navegantes 107
Tabela 17: Média do grau de inclinação entre cada intervalo para todas as unidades
CEU estudadas
Tabela 18: Grau de inclinação da classe de uso comercial e serviços 108
Tabela 19: Grau de inclinação para o ano de construção das unidades 111
Tabela 20: Síntese das transições para assentamento urbano precário no 1º
período*
Tabela 21: Síntese das transições para assentamento urbano precário no 2º
período
Tabela 22: Síntese das remoções e urbanizações dos assentamentos urbanos
precários no 1º período
Tabela 23: Síntese das remoções e urbanizações dos assentamentos urbanos
precários no 1º período
Tabela 24: Síntese das transformações da expansão urbana formal no 1º período.

Tabela 25: Síntese das transformações o	da expansão	urbana forr	mal no 2º pe	ríodo.
				129

Sumário

1.	ı	Introdução	1
	1.1.	Contexto da Pesquisa	1
	1.2.	Estrutura da Tese	4
2.	ı	Objetivos e Hipótese	5
	2.1.	Objetivo Geral	5
	2.2.	Objetivos Específicos	6
	2.3.	Hipótese da Pesquisa	6
3.	ı	Modelagem Dinâmica Urbana	7
	3.1.	Transição do Uso e Ocupação do Solo Urbano 1	2
	3.2.	Padrões Espaciais na Variação do Uso e Ocupação do Solo	
		Urbano 1	6
	3.3.	A Influência dos Equipamentos Públicos no Uso e Ocupação do Solo	
	3.4.	Autômatos Celulares como Representação da Dinâmica	
		Urbana2	6
4.	ı	Centros Educacionais Unificados 3	1
	4.1.	Projeto, Implantação e Dimensões 3	2
	4.2.	Reflexos dos Centros Educacionais Unificados na	
		Comunidade 3	9
	4.3.	Critérios de Seleção da Área de Estudo 4	4
5.	ı	Proposta Metodológica de Análise 5	3
	5.1.	Fluxograma da Metodologia5	3
	5.2.	Preparação dos Dados 5	8
	5.3.	Parametrização 6	1
	5.4.	Calibração 6	5
	5.5.	Simulação 6	8
	5.6.	Validação7	0

6.	Resultados e Discussões	73
6.1	. Classificação do Uso e Ocupação do Solo	73
6.2	. Matriz de Transição	80
6.3	. Probabilidades de Transição	86
6.4	. Calibração	95
6.5	. Validação	97
6.6	. Simulação	102
7.	Considerações Finais	131
8.	Referências	137

1. Introdução

1.1. Contexto da Pesquisa

A questão sobre a representação dos processos urbanos torna-se fundamental frente à constatação de que a população mundial se concentra cada vez mais nas áreas urbanas do globo, bem como ao fato de que até 2050 é esperado que mais de 66% da população mundial resida em alguma cidade no mundo (United Nations, 2014).

Os processos de ocupação e expansão das cidades também passam a ser cada vez mais complexos, e seus reflexos na qualidade de vida dos habitantes nem sempre acompanham o desenvolvimento das tecnologias, oferta de serviços e de infraestruturas. Uma deseconomia de escala marca os processos de estruturação e organização espacial das cidades (Bettencourt *et al.*, 2007).

No Brasil, de acordo com Marques e Saraiva (2017), mesmo após as consecutivas políticas públicas habitacionais implantadas na redemocratização do país, a partir da década de 1990, parte da população brasileira ainda encontra a solução da necessidade de moradia em assentamentos urbanos precários. São ocupações com grande aglomeração de pessoas que dividem o mesmo teto, sem garantia de salubridade ou posse da terra, acesso a equipamentos ou serviços públicos (Un-Habitat, 2003).

Para melhor compreender e propor estratégias de urbanização mais integradoras, Friesen et al. (2018) apontam as possibilidades de representações dos processos e características intrínsecos às cidades modernas e complexas que estão em constante mudança. Os autores identificaram que existe um padrão espacial de formação e expansão dos assentamentos urbanos precários em várias cidades do mundo, ressaltando que a investigação foi realizada sem a consideração do tempo, o que torna muito difícil associar as questões sociais que dão origem aos padrões encontrados, mas sugerem que a dimensão temporal seja utilizada para correlacionar a organização espacial com os processos de urbanização.

A trajetória dos processos de urbanização, realizados na complexidade que é própria das cidades, reflete padrões de diferenciação do tecido urbano que se repetem e variam em relação ao tempo e ao espaço (Batty, 2011). A determinação desta trajetória, nome dado ao percurso realizado por um determinado corpo no espaço e tempo, torna-se, assim, fundamental para compreender a dinâmica da cidade.

Como a dinâmica urbana não é um processo contínuo e regular, a sua representação e análise não são tarefas triviais. Ainda porque, os fatores que determinam essa constante variação são tão complexos quanto o fenômeno que produzem (Couclelis, 1985). Entretanto, as relações que dão origem às cidades são materializadas no espaço e se modificam com o tempo.

As variações, portanto, são passíveis de registo e de serem rastreadas a partir da observação das mudanças que sofrem as formas ao longo do tempo, como o estudo das transições do uso e ocupação do solo urbano (Batty, 2009). Para a representação destas variações na organização do uso e ocupação do solo urbano, não podem ser utilizadas estruturas estáticas ou recortes seccionais no tempo.

Nessa perspectiva, pode-se propor que os modelos de representação, como pontos, linhas e polígonos, explicitem significados específicos da paisagem. Os pontos são focos, linhas são caminhos, e polígonos são abrangências do espaço, assim como estruturas de grades são representações do contínuo em valores únicos (Câmara *et al.*, 2002). Porém, para que estas representações explícitas do espaço sejam consideradas dinâmicas, é necessário que suas entradas e saídas variem ao longo do tempo e que seus estados dependam de estados anteriores (Wegener *et al.*, 1986).

Os modelos de representação da dinâmica urbana oferecem a possibilidade de observação de padrões espaciais em uma dimensão temporal explícita (Almeida, 2003). Os autômatos celulares são modelos de interação, no tempo e no espaço, entre os eventos ou estruturas locais que contêm, indiretamente, o comportamento global (Batty, 2012). Almeida (2003), Santé *et al.* (2010) e Iltanen (2012) apresentam vários modelos, baseados em autômatos celulares, que retratam com simplicidade e robustez a dinâmica urbana.

As simulações com os modelos dinâmicos, baseados em autômatos celulares, oferecem resultados contínuos que são relacionáveis com as teorias e os processos de urbanização amplamente estudados, como a justiça social do espaço urbano, teorias de localização, política econômica, sociologia urbana, paisagem e ambiente da cidade (Torrens e O´Sullivan, 2001).

Nos resultados contínuos, procedentes dos modelos dinâmicos, podem ser observadas e analisadas com mais facilidade as variações sistêmicas. Conforme Li et al. (2008), essas rupturas nas tendências dos modelos podem ser associadas a intervenções pontuais no espaço ou tempo. Algumas destas intervenções pontuais ou variações encontram sua origem nas implantações dos denominados equipamentos públicos, construções e infraestruturas de interesse social, que apresentam a capacidade de confluir vários interesses coletivos e serviços urbanos, resultando na interferência dos processos de organização espacial e influenciando na diferenciação do espaço urbano (Thisse e Wildasin, 1992; Lefebvre, 2006; Neves, 2015).

Quando o espaço urbano é dividido em usos específicos, correlacionados a uma ocupação com diferentes níveis de renda dos habitantes, existe a possibilidade de ocorrer uma valorização diferenciada do preço da terra, assim como a redução na qualidade de prestação dos serviços dos equipamentos públicos e na ruptura de fronteiras imobiliárias formais (Kowarick,1996; Caldeira, 1997; Ribeiro, 2012; Bettencourt, 2013).

Os centros educacionais unificados¹, implantados na periferia de São Paulo, como equipamentos públicos de serviços de educação, cultura e esporte, com o objetivo de proporcionar o desenvolvimento das comunidades do entorno de cada unidade construída, apresentam esta possibilidade de interferência na organização do espaço urbano. Padilha e Silva (2004), Oliveira (2017) e Sanches e Leone (2016) destacam os aspectos positivos da fase de projeto e da implantação, como o acesso a estruturas de piscina, cinema, teatro e mesmo universidades na periferia de São Paulo.

¹ Os centros educacionais unificados são abreviados pela sigla CEU(s) quando estão relacionados a uma unidade específica, como CEU Paz ou CEU Butantã. No caso de referência ao tipo de equipamento público, são tratados pelo nome completo e letras minúsculas.

Ao passo que, Pacheco (2011) afirma que estas estruturas foram utilizadas como plataforma eleitoral, através de um espetáculo de uma política pública; Angileli e Sandeville (2012) ressaltam a influência destes equipamentos na expansão de assentamentos urbanos precários sobre áreas vulneráveis e de preservação ambiental, e Oliveira (2017) reconhece a reprodução da exclusão progressiva da participação popular nas decisões e rumos dos centros educacionais unificados.

Portanto, a tese está inserida na temática de análise e representação espacial, inferindo os processos de variação da dinâmica das transições dos usos e ocupações do solo que possam ser decorrentes das implantações dos centros educacionais unificados, ressaltando as possibilidades de efeitos contraditórios na diferenciação do espaço urbano.

1.2. Estrutura da Tese

Esta tese foi elaborada em oito capítulos. O primeiro faz uma introdução ao contexto de pesquisa. O segundo determina os objetivos e hipóteses pensados para elaboração e direcionamento do trabalho. O Capítulo 3 trata das possibilidades de representação dos modelos dinâmicos, da utilização do uso e ocupação do solo como síntese de importantes processos urbanos, dos padrões espaciais que emergem das constantes alterações no tecido urbano, bem como da capacidade e influência dos equipamentos públicos em modificar a organização espacial. Por fim, neste capítulo são abordadas as principais características da técnica de modelagem utilizada nesta pesquisa, ancorada no paradigma de autômato celular, que podem reunir as informações espaço-temporais e relacionar os centros educacionais com a transição do uso e ocupação no raio de influência de cada unidade, além de apresentar ainda aplicações desta técnica que subsidiaram a proposta metodológica.

O quarto capítulo trata da especificação dos centros educacionais. Aborda as referências da fase elaboração do projeto, o projeto implementado, a legislação e os estatutos de funcionamento, a abrangência e as dimensões das unidades construídas. Neste capítulo são apresentadas algumas perspectivas das

influências após a implantação do projeto, relacionando-as aos processos de urbanização da periferia de São Paulo e a apropriação da estrutura pela comunidade beneficiada.

O quinto capítulo faz uma proposta metodológica de representação e análise da simulação das transições do uso e ocupação do solo, a partir da realidade observada. Um fluxograma resume a metodologia em cinco etapas principais: preparação dos dados, parametrização, calibração, simulação e validação. Esta sequência também é utilizada para a apresentação e discussão dos resultados, que ocorre no capitulo 6. O capítulo 7 é dedicado às considerações e conclusões sobre a corroboração na hipótese. No oitavo e último capítulo são apresentadas as referências utilizadas na pesquisa.

2. Objetivos e Hipótese

2.1. Objetivo Geral

Constitui-se como objetivo da presente pesquisa representar, através de modelos de simulação baseados em autômatos celulares, a influência da implantação dos centros educacionais unificados na variação da tendência de transição do uso e ocupação do solo no entorno de 10 unidades construídas na periferia de São Paulo, assim como, relacionar os resultados das variações entre os períodos antes e após a construção destes equipamentos públicos, que são representados por dois modelos diferentes, para cada unidade, com os processos de urbanização e expansão dos limites da periferia do município, entre os anos 2000 e 2010.

2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- classificar o uso e ocupação do solo no raio de influência dos centros educacionais unificados, em classes de uso representativas dos processos de urbanização;
- especificar as variáveis capazes de explicar as transições do uso e ocupação do solo urbano na periferia de São Paulo;
- elaborar um modelo de simulação do comportamento da dinâmica de transição do uso e ocupação do solo urbano, baseado em autômato celular, para cada período de análise;
- comparar os modelos elaborados para o período antes e após a implantação dos centros educacionais unificados e identificar a variação, caso ocorra;
- analisar a relação da variação entre os períodos de análise com a discussão teórica sobre a influência dos equipamentos públicos na organização do uso e ocupação do solo urbano.

2.3. Hipótese da Pesquisa

A hipótese desta pesquisa é que a simulação dinâmica, de cada período de análise, possibilitará a representação das variações sistemáticas na tendência de transição do uso e ocupação do solo. Os padrões de variação poderão ser representados no espaço e no tempo, possibilitando a relação com a implantação dos centros educacionais unificados analisados. Dessa forma, será possível analisar diferentes processos de urbanização que foram direcionados e influenciados por estes complexos equipamentos públicos. Partindo da premissa de que a periferia de São Paulo se organiza de forma heterogênea, os resultados das variações entre os modelos e entre as unidades estudadas poderão igualmente ser desiguais.

3. Modelagem Dinâmica Urbana

"Inutilmente, magnânimo Kublai, tentarei descrever a cidade de Zaíra dos altos bastiões. Poderia falar de quantos degraus são feitas as ruas em forma de escada, da circunferência dos arcos dos pórticos, de quais lâminas de zinco são recobertos os tetos; mas sei que seria o mesmo que não dizer nada. A cidade não é feita disso, mas das relações entre as medidas de seu espaço e os acontecimentos do passado..." (Calvino, 1990, p. 14).

A palavra modelo tem sentidos e funções que determinam diferentes interpretações com a sua utilização. Modelo pode ser a atribuição a alguma coisa do significado de exemplo, paradigma, padrão, personificação, sinônimos que indicam uma direção do que se deve seguir, almejar ou idealizar.

Há, entretanto, uma outra atribuição da palavra modelo que faz referência a representar, miniatura, maquete ou mesmo à construção teórica e sistêmica. Neste caso, a perspectiva muda de direção e tende a espelhar o que se segue, almeja e idealiza, ora o reflexo de um espelho plano com uma única perspectiva, em outra côncavo ou convexo, ressaltando algumas características e distorcendo outras.

Modelagem é, no sentido de representar, a forma análoga e abstrata do que se observa ou se idealiza da realidade. Considerando este conceito em uma visão sistêmica, torna-se possível a simplificação da realidade em um conjunto organizado de variáveis relacionáveis, uma estrutura que possibilita a mensuração de fluxos, direções e trajetórias. A seleção intencional dos processos de interesse reduz a complexidade do real ao compreensível (Bertalanffy, 1950; Chorley e Hagget, 1974; Christofoletti, 1998).

Dinâmica é a palavra que pode ser utilizada para descrever oscilação. A representação de qualquer movimento requer obrigatoriamente a consideração das dimensões espaço e tempo, pois indica ação. Para Wegener et al. (1986), um modelo é dinâmico quando o tempo e espaço são relacionados explicitamente na análise, suas entradas e saídas variam ao longo do tempo, e seus estados dependem de estados anteriores.

Batty (2009) conceitua a dinâmica urbana como as mudanças que ocorrem nos processos de interações espaciais, em uma série histórica, que afetam a

variação morfológica e os movimentos populacionais no espaço. Portanto, as especificidades da modelagem dinâmica, aplicada à representação dos fenômenos urbanos, têm a finalidade de compreender as relações espaço e tempo, os fluxos, direções e trajetórias dos elementos e processos que compõem e dão origem à complexidade urbana.

Posto desta forma, fica a impressão de que a realização da modelagem dinâmica urbana é tarefa trivial. Entretanto, conforme a classificação de modelos de representação urbana de Almeida (2003), três gerações de desenvolvimento desta ciência foram necessárias, em um período de mais de 130 anos, até que a relação espaço e tempo fossem passíveis de representação.

As gerações podem ser divididas da seguinte forma: primeira geração, contendo os modelos não dinâmicos (estáticos), entre anos de 1826 a 1940; segunda geração, compreendendo os modelos dinâmicos, porém não espacialmente explícitos, entre 1940 e 1980, e finalmente, a terceira geração, abrangendo os modelos de autômatos celulares ou de espaço celular, a partir de 1980 (Almeida, 2003). Algumas exceções de modelos podem ser citadas quanto à cronologia, mas a finalidade é uma generalização das pesquisas desenvolvidas em cada período.

Em 1826, o economista alemão J.H. von Thünen desenvolveu um modelo de ubicação de áreas agricultáveis, em vista da maior rentabilidade em relação ao tipo de uso e proximidade com o mercado. Esta teoria ficou conhecida como os anéis de Von Thünen e representa um ponto inicial para os estudos que atribuíam a dimensão espacial aos fenômenos de ordem econômica, social e urbana (Merlin, 1973; Briassoulis, 2000).

A dimensão espacial, não explicitamente, também foi abordada em outros modelos que, em geral, foram aplicados a problemas e teorias de localização de fenômenos urbanos ligados aos setores industriais e comerciais. Foram baseados em teorias econômicas, que consideravam a distância e a localização como fatores de variação do custo e da área de influência, porém os fenômenos eram considerados independentes entre si e não tinham uma relação com o tempo. Os

principais modelos dessa época foram apresentados por Weber, Christaller e Lösch, respectivamente em 1909, 1933 e 1940 (Almeida, 2003).

A ruptura para a segunda geração de modelos ocorre com a uma melhor contextualização dos locais onde os eventos ocorreram e ao advento da computação (Batty, 1979 e 2008). O modelo de localização residencial de Clark (Clark,1951), o modelo de transportes de Lowry (Lowry, 1964) e o modelo de localização comercial de Lakshmanan e Hansen (Lakshmanan e Hansen, 1965) exemplificam os modelos elaborados neste período. A consideração das diversas variáveis que compõem a realidade urbana ainda era feita de forma isolada.

Na segunda geração, a dimensão espacial era representada sob a forma de zonas, que constituíam um artefato para o processamento computacional, sem maiores considerações às características da localização geográfica, à exceção do modelo de Greensborough (Chapin e Weiss, 1968) que, apesar das limitações, a exemplo de analisar a questão da vizinhança de forma limitada, operava, de forma pioneira, em espaço genuinamente celular (Almeida, 2003).

A partir da década de 1980, os avanços foram significativos, principalmente quanto às possibilidades de relacionar as dimensões espaço e tempo, mas os resultados ainda não podiam ser representados graficamente e visualizados espacialmente. A capacidade de processamento computacional aumentou exponencialmente e os aprimoramentos foram consideráveis. Neste período de desenvolvimento computacional, entre o fim da década de 1980 e início da década de 1990, ocorreu uma importante transição para a terceira geração dos modelos urbanos.

Albin (1975) enuncia o termo espaço celular para conceituar a possibilidade de representação do espaço e seus elementos a partir de grades regulares, porém sem a submissão a pelo menos um dos preceitos rígidos de autômatos celulares, como estados e passos de tempo discretos, vizinhança local e uniforme, regras de transição universais e sistema sem interferência externa. Por definição, o espaço celular é bidimensional, contínuo e homogêneo formado por quadrículas. Cada grade consiste em um corte seccional do tempo, e a sucessão de grades em ordem cronológica representa uma série histórica do espaço. Tobler (1979) intitulou seu

artigo de Geografia Celular (Cellular Geography), no qual não só utiliza conceitualmente o espaço celular, mas infere sobre o efeito de vizinhança em modelos dinâmicos.

Os avanços gráficos e de processamentos na computação possibilitaram a efetiva demarcação da característica espacialmente explícita nos modelos. Um dos artigos que melhor representa esse período foi apresentado por Helen Couclelis (1985) que, inspirada no trabalho de Tobler (1979), abordou sobre a capacidade de modelar questões complexas de um espaço urbano e dinâmico, considerando a junção da teoria sistêmica com a teoria matemática denominada de Autômato Celular – AC (Iltanen, 2012).

A contar deste marco, os modelos foram especializados, com características cada vez mais dinâmicas e abrangiam o espaço urbano com sua ampla complexidade. Merecem destaque os trabalhos sobre detecção de mudanças do uso e cobertura da solo (Lu et al., 2004; Turner et al., 2007; Basse et al., 2014), simulações de uso do solo intraurbano (Almeida et al., 2003), saúde pública (Gong et al., 2012), clima urbano (Georgescu et al., 2014), o crescimento urbano (Li et al., 2015) e sistema viário (Barthelemy, 2015).

Batty e Cheshire (2011) afirmam que, após a dinâmica urbana conquistar a representação, o foco dos modelos passou a ser as conexões, interações e redes. Estas análises buscavam compreender os fluxos entre lugares e espaços, ao mesmo tempo em que a localização de determinado fenômeno é resultado desse movimento dinâmico. Os autores ressaltam ainda a capacidade de elementos, como infraestruturas, influenciar o movimento de pessoas e a transformação do espaço.

As representações dos fenômenos, nas dimensões espaço e tempo, fornecem informações importantes que podem ser vinculadas ao contexto que não foi abordado de forma direta no modelo, mas que pode influenciar as variáveis utilizadas. As associações a priori que determinam o funcionamento sistêmico dos modelos devem subsidiar o desenvolvimento da metodologia de representação e de análise, mas não necessariamente devem ser representadas de forma direta no

modelo. Estas considerações tornam os modelos análogos às realidades estudadas (Christofoletti, 1998).

É expressivo o salto qualitativo nas metodologias e técnicas de modelagem da dinâmica urbana, não só na representação da complexidade, mas principalmente na simplificação das ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de modelos e pela capacidade gráfica de apresentação didática dos resultados (Iltanen, 2012). Entretanto, Briassoulis (2000) destaca o distanciamento que existe entre a exaltação da técnica e as concepções teóricas que fundamentam os processos dinâmicos urbanos. Ressalta, ainda, que os modelos devem representar uma versão simplificada do mundo real, para ajudar a compreender o como as cidades funcionam em seu rápido processo de mudança, sem que, com isso, deixem de ser uma representação e passem a ser utilizados como moldes para o mundo real.

A partir da possibilidade de representação da dinâmica urbana, é possível realizar análises de variações de tendência e padrões espaciais, pois na representação são inferidos resultados contínuos que interligam os quadros estáticos, utilizados para as observações da realidade (Almeida et al., 2003; Godoy e Soares-Filho, 2008; Li et al., 2008). São resultados que permitem o resgate das trajetórias percorridas pelos elementos urbanos, que possibilitam contar parte da história da cidade e, por fim, estabelecer associações com os processos que determinam o comportamento do fenômeno.

3.1. Transição do Uso e Ocupação do Solo Urbano

"A cidade se embebe como uma esponja dessa onda que reflui das recordações e se dilata. Uma descrição de Zaíra como é atualmente deveria conter todo o passado de Zaíra. Mas a cidade não conta o seu passado, ela o contém como as linhas da mão, escrito nos ângulos das ruas, nas grades das janelas, nos corrimãos das escadas, nas antenas dos para-raios, nos mastros das bandeiras, cada segmento riscado por arranhões, serradelas, entalhes, esfoladuras." (Calvino, 1990, p. 14).

O ambiente urbano é um espaço que se caracteriza por ser complexo, heterogêneo e desigual. Além de se estabelecer a partir da materialização dos processos sociais e econômicos, distingue-se também por sua constante mudança e sucessão de usos que faz da superfície. É possível que seja essa a característica mais representativa da sua condição dinâmica (Batty, 2011).

Almeida (2003) observa que as definições para a expressão uso do solo ou da terra variam de acordo com a aplicação, como a utilização para evidenciar a destinação do perfil de recursos naturais, que vai da atmosfera até a subsuperfície, ou como uma das categorias de análise do espaço. Neste trabalho, a melhor definição para essa expressão é quando resume as atividades e finalidades humanas dadas à superfície terrestre, de forma implícita ou explícita. A adição da palavra ocupação foi utilizada na abrangência da classificação de coberturas antropogênicas.

O termo tecido urbano reflete uma boa correspondência para a expressão uso e ocupação do solo, quando esta é utilizada para representar a organização espacial das cidades. Essa superfície composta por partes cambiáveis de diferentes tipos de tecidos, cores, texturas, confortos, significados e funções, costurados por aviamentos denominados entremeios, as tramas de linhas que estabelecem a comunicação entre as variadas partes.

Nessa analogia, não é possível uma análise isolada das partes. É necessária a consideração da interferência entre os tipos de uso, da possibilidade de transição e sucessão entre as classes discretizadas, assim como da articulação de fatores de micro e macro escala. Desta forma, define-se o uso e ocupação do solo urbano como uma variável analítica que determina a dinâmica, pois varia no tempo e no espaço (Batty, 2011).

A variável uso e ocupação do solo na modelagem dinâmica urbana tem função explicativa nos diferentes modelos propostos por Gong et al. (2012), Georgescu et al. (2014), Li et al. (2015) e Barthelemy, (2015), ou seja, os fenômenos urbanos, como crescimento urbano, clima urbano, e consequentemente saúde pública, dependem ou são explicados a partir do tipo do uso que se faz da superfície. A extensa utilização do uso e ocupação do solo como uma variável

explicativa de fenômenos urbanos demonstra sua ampla capacidade de sintetizar informações importantes sobre variados processos.

Os modelos apresentados por Lu et al. (2004), Turner et al. (2007) e Basse et al. (2014) têm como resultado as classes de uso e ocupação do solo urbano, que por sua vez são determinadas por um conjunto de outras variáveis também presentes na organização espacial das cidades. Em outra perspectiva, Almeida et al. (2003) e Godoy e Soares-Filho (2008) utilizam, dentre outras, a variável uso do solo para mensurar as transições que ocorrem no espaço intraurbano, assumindo a possibilidade de as interações dinâmicas do tecido urbano alterarem sua própria organização.

Entretanto, existem implicações que devem ser consideradas no estudo de usos específicos do solo urbano. A primeira é relativa à utilização de expressões ou classes que carecem de uma relativização, como o termo periferia, que, em sua etimologia, refere-se ao oposto do centro. A questão está no que consideramos como centro e, em consequência, a periferia. Outros termos que geram uma necessidade de atribuição de referência são: pobreza, vulnerabilidade e precariedade.

A segunda relaciona-se à dificuldade de classificação de usos complexos, ou seja, que apresentam uma grande heterogeneidade de critérios, quando são consideradas diferentes regiões e se modicam em um curto espaço de tempo. As variações que ocorrem dentro de uma mesma classe de uso e as semelhanças com outros tipos de uso têm implicações na identificação e delimitação das áreas correspondentes. Segundo Ebert, Kerle e Stein (2009) é possível solucionar estes problemas considerando análises multiescalares.

Um dos usos que melhor demonstra essas preocupações nos estudos sobre a dinâmica das cidades são os denominados assentamentos urbanos precários, ou, como são conhecidos no Brasil, as favelas. A falta de uma definição consistente e critérios de classificação dificultam a identificação e estudos sobre este tipo de ocupação que, da sua formação aos efeitos na organização do espaço urbano, são, em sua característica principal, heterogêneos (Kohli et al., 2012; Patel et al., 2012).

Assentamentos urbanos precários são, segundo a definição da Un-Habitat (2003), a aglomeração de grande número de pessoas que dividem o mesmo teto, sem garantia de salubridade ou posse da terra, acesso a equipamentos ou serviços públicos. Em 2000, o crescimento e o adensamento deste tipo de ocupação precária já alcançavam quase o dobro das taxas de crescimento de outros tipos de domicílios em São Paulo (Pasternak, 2008).

Segundo Roy et al. (2014), as principais carências nos estudos sobre assentamentos urbanos precários são a compreensão da sua topologia e das forças que determinam sua formação. A visão sistêmica e complexa, que foi utilizada pelos autores, considera as favelas como um sistema dinâmico em desequilíbrio, em constante mudança e adaptação. Apontam ainda a modelagem e a simulação dinâmica como ferramentas eficazes no entendimento destas carências.

Calvino (1990) reconhece que a cidade não se representa só pela história de seus monumentos, mas também pelos processos de formação de suas cicatrizes e esfoladuras. As sucessões de ocupações de um mesmo espaço podem ressaltar a lógica e a racionalidade do que a priori parece espontâneo. As favelas são a materialização de um complexo embate desigual de forças (Davis, 2006).

Smith (1987), Kowarick (1996) e Ding et al. (2016) associam as formações dos assentamentos precários, no crescimento horizontal da cidade, com o incremento no custo de vida e no preço da terra. Essa lacuna que se forma entre a renda e custo de permanência em determinado local impulsiona o movimento populacional intraurbano. Este processo desencadeia sucessões de usos, abrindo novas fronteiras de urbanização formal e informal, com a ocupação de áreas vulneráveis e de preservação ambiental. Dentro dessa estrutura cíclica, com os investimentos em infraestrutura e equipamentos públicos, uma nova lacuna se forma e um nova migração se inicia. Esta lógica de transição de usos exemplifica a associação de processos de urbanização com a possibilidade de representação desta dinâmica.

Godoy e Soares-Filho (2008) observaram as forças que direcionam as transições de uso a partir da análise da tendência e dos padrões de oscilação dos

valores quantitativos de área, da morfologia espacial e nas relações que se estabelecem nas sucessões entre as classes de uso. O foco foi estabelecer possíveis processos de urbanização com base nos padrões de transição entre os usos de comércio, serviços e residencial, utilizando a simulação dos processos de modificação da paisagem urbana.

3.2. Padrões Espaciais na Variação do Uso e Ocupação do Solo Urbano

Padrão é uma regularidade de eventos e comportamentos sistêmicos de processos que emergem a partir da observação e da representação (Crooks, 2015). A análise de regularidades nas estruturas espaciais, bem como dos respectivos processos que organizam este espaço, pode trazer à tona o padrão espacial (Herold et al., 2005).

A compreensão do padrão espacial para a variável uso e ocupação do solo fica mais clara quando se define uma característica ou atributo a ser observado. A morfologia de manchas na classificação é uma característica que pode determinar o tipo de uso, cujo padrão se ressalta na repetição de formas, unidade e dispersão, tamanho, proporção, sequência e ênfase. Outro exemplo seria o padrão de textura, que pode ser entendido por liso ou rugoso, estriado em uma sequência de linhas e sulcos, ou a variação vertical e horizontal. O padrão ainda pode ser observado pela repetição e relação de diferentes outros atributos combinados, como cor, homogeneidade, brilho, tonalidade, densidade, sobreposição (Haack et al., 1997).

A Figura 1 demonstra a possibilidade de se reconhecer padrões espaciais em uma representação do uso do solo urbano, no caso específico, um bairro com diferentes formas de ocupação. As direções e sequências das linhas dão a ideia de textura, enquanto os encontros das linhas paralelas apresentam as formas. Neste exemplo, é possível perceber distintas densidades e vazios representados pela textura, formas com vários tamanhos e conexões, formando arranjos que rementem às possiblidades de ocupação.

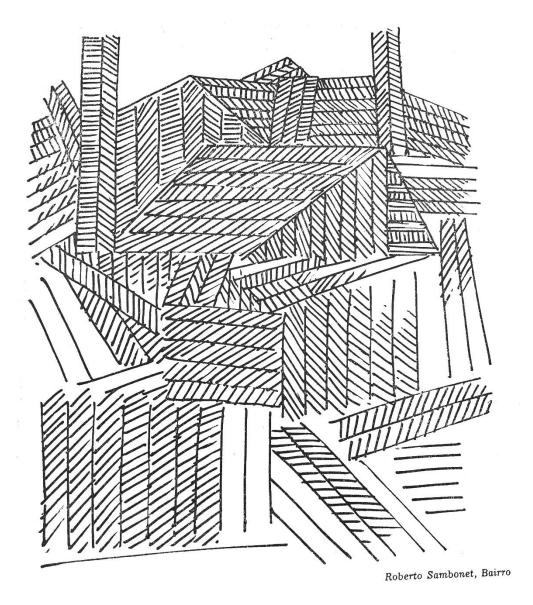


Figura 1: Padrões espaciais, grafismo de um bairro traçado a mão. Fonte: Sambonet (1951).

O estudo de padrões em uma dinâmica espacial urbana deve considerar uma análise multitemporal para a representação das modificações na organização do espaço (Herold et al., 2005). A avaliação de modificação dos padrões em uma série temporal pode resultar, através da análise de tendência, na função que a variável estabelece em relação ao tempo (Parker et al., 2001).

Tendência é interpretada como a inclinação da linha de variação em uma série temporal. Considerando a linearidade dos dados, a inclinação pode ser representada por uma reta modelo, obtida através do melhor ajuste entre a diferença dos valores observados e os valores estimados. Dependendo da escala

temporal utilizada, todos os valores observados são considerados, incluídas as variações que indicam pontos de ruptura sistêmica, mas que não afetam a linearidade. A tendência também pode ser observada diretamente na inclinação formada entre os pontos simulados ou entre os valores observados (Rey e Montouri, 1999; Vieira, 2009).

Os pontos de ruptura que não acarretam na perda da linearidade, segundo Carlino e Mills (1996), podem indicar a subdivisão da tendência em dois ou mais períodos da reta de representação ou do modelo. Caruso et al. (2007) afirmam que quando ocorre uma quebra na tendência, a partir de uma alteração nas forças que definem o modelo, há uma alteração no padrão morfológico de expansão e crescimento urbano.

Uma melhor definição sobre a variação de padrão, análise de tendência e ponto de ruptura é possível através do exemplo ilustrativo da Figura 2. O gráfico indica a relação entre uma linha de tendência calculada e outra interligando somente os pontos observados (fictícios) dos valores de área do uso do solo residencial, em metros quadrados. Na escala de variação anual, é visível que, entre os anos 2000 e 2004, o padrão era de constância na área deste uso, mas após esse período, o padrão muda e a classe residencial expande em área. O ponto de ruptura, no caso, pode ser indicado como o ano de 2004, pela abrupta variação de inclinação da reta. A linha de tendência considerou todo intervalo de dados, compreendido entre 2000 e 2010, e por mais que tenha aderência aos valores observados, não foi capaz de representar a oscilação observada na escala anual.

A linha de tendência foi calculada pela equação Y = a + bX, de acordo com a proposta de Vieira (2009), em que Y é a variável área; X a variável ano; o parâmetro regressivo b é calculado pelo método dos mínimos quadrados, conforme a Equação 1, e a é extraído pela substituição da equação Y = a + bX:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} , \qquad (1)$$

em que \bar{x} e \bar{y} são as médias das variáveis X e Y, e i indica cada uma das n observações.

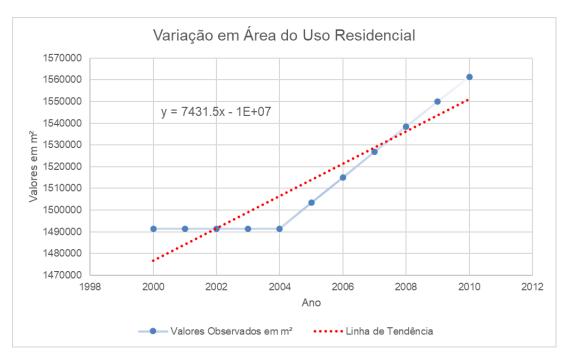


Figura 2: Gráfico de comparação das linhas de tendência para valores (fictícios) do uso residencial observados anualmente de 2000 a 2010.

Quando as rupturas ocorrem de forma dinâmica e sistêmica na linha de tendência de várias séries temporais, ou seja, se repetem no mesmo intervalo de tempo e em padrões espaciais semelhantes, é provável que exista uma correlação com algum fator exógeno ao modelo. A variável ou conjunto de variáveis utilizadas na análise continuam a exercer uma força determinante, mas em algum ponto da série algum fato alterou o funcionamento da dinâmica existente em todo o conjunto de relações. Caso os modelos calculados para cada período não apresentem variação ou uma diferente inclinação para a tendência, assume-se que estão na mesma linearidade (Chow, 1960; Rey e Montouri, 1999; Caruso *et al.*, 2007; Soares-Filho *et al.*, 2007).

Conforme Li et al. (2008), essas rupturas ou variações sistêmicas podem ser utilizadas como assinaturas espaciais ou temporais, possibilitando a subdivisão do espaço em regiões, e do tempo, em períodos. Os autores utilizaram os pontos de ruptura existentes na função entre um perfil sequencial da superfície (dimensão espacial) e as variáveis explicativas, para identificação de rupturas espaciais que pudessem determinar limites ou regiões de um determinado conjunto de variáveis.

Da ideia de assinatura, também é possível analisar particularidades nas classes de uso e ocupação do solo urbano e auxiliar na definição dos limites de vizinhança na classificação, variando a escala de observação das características e atributos de classe de uso e utilizando métricas espaciais (Herold et al., 2005; Kohli et al., 2016).

A análise de variação de padrões espaciais na modelagem dinâmica encontra muitas finalidades. Pode ser utilizada na parametrização, definição de regras e sistematização de modelos de análise de variação do uso e ocupação do solo (Herold et al., 2005). As informações presentes nas linhas de tendência também possibilitam fazer previsões em simulações de impactos futuros de políticas públicas no uso do solo urbano (Jantz, Goetz e Shelley, 2004).

Garcia et al. (2007) utilizaram a análise de tendência na validação da simulação de variação econômica de mercado. He et al. (2006) determinam variações nos padrões de crescimento das regiões da cidade de Beijing, China, definindo diferentes processos de urbanização para cada alteração na tendência e relacionando com as diferentes configurações espaciais das variáveis e delimitações regionais.

Um dos aspectos interessantes em que a modelagem dinâmica pode contribuir para a análise de padrão é a possibilidade de inferir valores contínuos entre intervalos de observações reais. Uma progressão cronológica e contínua da modificação morfológica, bem como da variação sucessiva da localização dos tipos de usos do solo, facilita a apreensão de padrões espaciais.

Muitos dos modelos dinâmicos, elaborados sobre uma grade celular, demonstraram grande capacidade em revelar as relações, até então imprevisíveis, entre eventos locais e a estrutura sistêmica global. A simulação da complexidade urbana em estados sequenciais e discretos de tempo, a partir de regras simples de transição entre um estado e o seguinte, conserva as propriedades estruturais da lógica dos processos e fenômenos observados na realidade. Esta possibilidade de processamento, presente na teoria dos autômatos celulares, torna as questões sobre as origens dos comportamentos dos resultados obtidos mais claras (Couclelis, 1985).

3.3. A Influência dos Equipamentos Públicos no Uso e Ocupação do Solo

De acordo com Haase et al. (2008), é possível estabelecer uma associação direta entre o desenvolvimento e implantação de infraestruturas de interesses sociais com os processos de expansão urbana que desencadeiam as transformações do uso e ocupação do solo urbano. Para Prasad e Shankar (2013), a influência dos equipamentos sociais pode definir a configuração e a organização espacial de uma cidade a partir do grau de oferta de infraestruturas, uma vez que a presença ou ausência de serviços sociais pode variar a economia e a precificação do valor da terra.

Alguns elementos presentes na organização urbana são capazes de sintetizar as forças que lhes deram origem. Os denominados equipamentos públicos são elementos que representam a localização pontual de variadas atividades, funções e significados que operam na conjunção de diferentes interesses sociais (Thisse e Wildasin, 1992; Lefebvre, 2006).

A influência dos equipamentos públicos atua na organização do espaço urbano, direcionando forças sociais e a demanda por novas áreas de expansão da cidade (Neves, 2015). A aglomeração de novas ocupações residenciais e outros tipos de uso do solo estão diretamente relacionados como o número, a localização geográfica e a finalidade dos equipamentos públicos (Berliant, Peng e Wang, 2006).

Os equipamentos públicos são essenciais para o funcionamento das atividades e a convivência de uma população urbana, fato que indica que sua existência é capaz de promover a urbanização, ou, em outros termos, pode-se dizer que funcionam com um polo indutor ou direcionador da demanda por novas áreas urbanas (PPIAF, 2007). A demanda por novos espaços urbanos ou pela transformação dos já existentes tem origem complexa nas questões profundas que constituem as sociedades, como as econômicas, sociais, políticas, religiosas, além do próprio espaço em suas mais amplas categorias de análise (Carlos, 2011).

Das creches aos cemitérios, todas as construções concebidas como ferramentas ou meios de suprir coletivamente as necessidades humanas podem ser denominadas de equipamentos públicos, equipamentos urbanos ou

infraestruturas de interesse social, quando atendem ao funcionamento da cidade. Uma característica importante destas intervenções no espaço urbano é a presença do Estado na gestão, fiscalização, regulamentação e implantação destes equipamentos, mesmo em unidades de caráter privado (BRASIL, 1979; Goudard et al., 2008).

Kowarick (1996) coloca o Estado como uma figura central nas discussões sobre os conflitos que existem na cidade, porquanto sua presença, materializada através dos equipamentos públicos, tem influência nas transformações do tecido urbano. Suprindo as necessidades, evidentes ou mesmo urgentes, agrega-se valor ao local assistido, valor este com significado de aditar importância, qualidade, prestígio e, em consequência, soma na precificação da terra. Ding et al. (2016) afirmam que a oferta de serviços e infraestruturas aumenta não só o preço da terra, mas também o custo de vida.

Bettencourt et al. (2007) e Bettencourt (2013) propõem que o crescimento da cidade, horizontal ou vertical, é acompanhado de uma deseconomia de escala, processo no qual, os custos com os fatores de produção crescem mais do que a produção resultante desse investimento, ocasionando um aumento no custo médio por unidade produzida. Em relação a áreas metropolitanas, como é o caso da cidade de São Paulo, sede da metrópole, essas deseconomias ocorrem devido ao inchaço urbano, levando a problemas que incluem o crescente aumento do preço da terra; a possibilidade de colapso dos sistemas de transporte, telecomunicações e/ou abastecimento de água; maior tempo e custos despendidos para deslocamentos diários; maiores salários; problemas ambientais e criminalidade (Almeida, 2003). Da mesma forma, o custo com a implantação e gerenciamento de equipamentos públicos aumenta em paralelo ao crescimento urbano, entretanto a qualidade dos benefícios e dos serviços se deteriora.

Ao assumir que as infraestruturas de interesse social são capazes de influenciar a dinâmica de transição do uso e ocupação solo em processos de urbanização que promovem a diferenciação do preço da terra, não há como desconsiderar uma perspectiva contraditória em relação à implantação de equipamentos urbanos, por exemplo, quanto à influência destes na expansão de

assentamentos urbanos formais e informais (Kowarick, 1996, Torres, 2008; Otsuki, 2016).

Estas inferências, propostas por Kowarick (1996), Bettencourt et al. (2007) e Bettencourt (2013), se dão pela análise de causa e efeito da relação entre processos sociais e seus reflexos materializados da paisagem urbana, como na representação da dinâmica urbana através das transições do uso e ocupação do solo. Quando se varia a escala ou o recorte de observação, passa-se a inferir erroneamente alguns efeitos como causa, sem que se perca a relação com a origem do processo. Assim, a variação destes elementos em um sistema pode dar a ideia de um espectro de efeitos, o que possibilita uma comparação, contraposição, classificação, quantificação, qualificação, qualquer que seja a estrutura utilizada para estabelecer uma comunicação com o fenômeno de origem.

Dessa forma, as influências nas transformações urbanas tornam-se compreensíveis a partir das leituras dos elementos da cidade. Lejano e Bianco (2018) afirmam que até mesmo o conceito sobre expansão urbana formal e informal podem ser observados na organização espacial e na leitura dos elementos arquitetônicos das ocupações existentes na cidade. Para os autores, a formalidade segue os padrões institucionalizados e que tendem a cumprir requisitos que garantem a salubridade, enquanto os informais apresentam padrões e estruturas espaciais, bem como aspectos construtivos, diretamente relacionados com a vulnerabilidade social e econômica dos seus habitantes.

Outra questão relacionada com a influência dos equipamentos públicos na organização espacial é que este tipo de infraestrutura social pode ser analisada como uma variável intermitente, o que representa um sistema funcionando sem a necessidade contínua desta variável, mas a sua inserção periódica modifica a tendência de organização morfológica e pode alterar o significado do local.

Soares-Filho et al. (2007) analisam a influência da construção de estradas na modificação dos padrões e intensidades de desmatamento, concluindo sobre os efeitos nos processos de ampliação da fronteira agropecuária e urbanização na região amazônica. Outra característica dessa infraestrutura, como uma variável intermitente, é o fato de que, em dado momento da análise histórica, o próprio

processo de desmatamento passa a influenciar a abertura de novas áreas agrícolas. As estradas, então, poderão ser atribuídas a outras relações, ou até mesmo, serem consideradas uma consequência.

Blecic et al. (2004) utilizou a variável infraestruturas sociais, que inclui entre vários equipamentos públicos, a escola como uma das forças que direciona a dinâmica de alteração do uso e ocupação do solo. Neste caso, as modificações urbanas são analisadas sob o viés da morfologia e arranjo de elementos, isto é, o contexto de organização que é composto por classes de uso.

Estes autores demonstram a possibilidade de representação dos equipamentos públicos como variáveis que direcionam ou influenciam a dinâmica das cidades. São abordagens em que estes elementos são considerados como políticas pontuais de intervenção, com a finalidade direta de modificação do espaço. Outra proposta é a consideração de que as infraestruturas urbanas devem ser analisadas como um índice sintético junto com outros fatores socioeconômicos (Xie, 1996).

Le Berre et al. (2016) elaboraram um modelo probabilístico de representação do desenvolvimento urbano da costa atlântica francesa, entre 1968 e 2008, que associava, entre outras variáveis, a presença de equipamentos públicos de educação com o crescimento de empreendimentos residenciais. Chapin e Weiss (1968), em um dos primeiros modelos de espaço celular, também destacaram o papel dos equipamentos públicos de educação na expansão urbana.

Para pensar na importância dos equipamentos públicos de educação na transformação de uma cidade, o arquiteto Hélio Duarte, que atuou principalmente com o Convênio Escolar no estado de São Paulo, nas reformas e modernizações nas escolas públicas na metrópole paulistana, afirmou que a escola funciona como um ponto, fonte e sede da sociedade à escala local (bairro), porém abrange a escala global quando observado que são construídas várias unidades em uma cidade (Duarte, 1951). A escola pode, para Duarte (1951), ser pensada como um foco de forças em uma lógica centrípeta, cuja resultante é a ação de dentro para fora deste equipamento, força centrífuga, com a formação de novos atores desse sistema de relações que produz o espaço.

A Figura 3, de Duarte (1951), representa este sistema de forças que atua no espaço e o modifica, onde C é a centralização da escola na observação, A são os vetores de força centrípeta que atuam na implantação, manutenção, gestão e vivência do equipamento público. As letras B seriam os vetores resultantes de A, a influência de B escapa aos limites imediatos da escola e atuam ciclicamente em A ao interferir na sua origem.

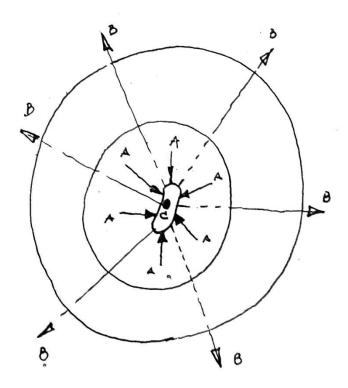


Figura 3: Influência da escola no espaço, representação de Hélio Duarte.

Fonte: Duarte (1951).

Wahyudi e Liu (2016) avaliam os impactos da inserção dos equipamentos públicos, incluindo escolas, em uma revisão de modelos da dinâmica urbana. Evidenciam a possibilidade de representação da influência na modificação da morfologia. A proposta de Van Delden *et al.* (2011) é um modelo denominado de bidirecional, no qual as transições do uso do solo modificam as variáveis socioeconômicas, que incluem os equipamentos urbanos, e as mudanças nestas variáveis alteram, ciclicamente, a morfologia das classes de uso. Esta linha de pesquisa encontra outros estudos que reforçam a utilização de equipamentos públicos como variáveis (Pinto, 2006; Wray *et al.*, 2015; Amujal, 2015).

Em outro estudo, que considera o comportamento de contexto, Kumar *et al.* (2009) propõem um modelo, baseado em autômato celular, para avaliar o efeito de políticas de planejamento sobre o uso do solo na urbanização de Bangalore, Índia. Os padrões de crescimento da cidade foram analisados em diferentes regiões. A conclusão foi de que existe uma proporcionalidade direta entre os padrões espaciais e a disponibilidade de infraestruturas e equipamentos urbanos. Outro modelo de autômato celular, que relaciona equipamentos públicos com as transições do uso e ocupação do solo urbano, foi desenvolvido por Okwuashi *et al.* (2012).

3.4. Autômatos Celulares como Representação da Dinâmica Urbana

Esta teoria genérica da matemática, denominada de Autômatos Celulares – AC, é amplamente difundida na análise de fenômenos e sistemas complexos. Sua origem remonta às teorias elaboradas pelo matemático Stanislav Ulam na década de 1950 e nos estudos pioneiros de Alan Turing e Jon von Neumann da década de 1960. A ideia era gerar padrões matemáticos globais de forma crescente, em intervalos discretos de tempo, para dois ou três espaços dimensionais, a partir de regras locais de ação. O desenvolvimento desta teoria está associado ao surgimento da própria teoria computacional de processamento (Ulam, 1962; Batty, 2000).

Os autômatos celulares, enquanto modelos, são os mais simples para representação da estrutura global e dinâmica das cidades. É uma técnica capaz de fundir comportamentos populacionais com o seu ambiente de vivência. As interações entre os eventos ou estruturas locais contêm indiretamente o comportamento global (Batty, 2012). Para o uso e ocupação do solo, comportam a possibilidade de inferir os processos complexos de urbanização a partir de regras simples e locais de transição entre classes de uso. As regras são locais, pois têm como base o arranjo espacial das variáveis.

Wolfram (1983) define os autômatos celulares como a representação sistêmica de um fenômeno dinâmico através de grades regulares (matrizes), onde

as linhas, colunas e a variação entre grades, variação esta que pode ser cronológica, são relacionáveis às dimensões do modelo, como espaço e tempo. As células, ou cada posição da grade, contêm os estados possíveis. O valor de cada estado é variável em função do valor das células vizinhas e do tempo. Portanto, as regras são locais, pois a alteração do estado de cada célula tem como base o arranjo espacial das variáveis explicativas das células do entorno.

A função de variação dos estados das células da grade é o que determina o funcionamento do sistema; são regras que estabelecem a lógica de transição. Para Wolfram (1983), as regras de transição são universais a todas as células e, quando assumem características lineares, podem produzir o mesmo resultado de comportamento, independente da configuração do estado inicial das células.

Liu (2008) em sua extensa revisão de modelos urbanos baseados em autômatos celulares, definiu cinco características básicas para a representação por esta técnica, anteriormente reportadas nos trabalhos seminais de John von Neumann (Neumann, 1966). A primeira é a célula, unidade espacial básica, que determina as possibilidades de arranjo. A segunda é o estado da célula, que define os atributos do sistema em cada passo de tempo e representa, por exemplo, a classe de uso do solo. A terceira é a vizinhança, é o conjunto de células imediatas à célula em análise. A quarta são as regras de transição que definem o estado de cada célula em função das vizinhas. A quinta é o tempo, dimensão que sincroniza as mudanças de estado. A Figura 4 e a Figura 5 são adaptações das apresentadas por Liu (2008) para representar exemplos do funcionamento de autômatos celulares. O tempo é contado cronologicamente, e *t* indica o passo registrado em cada quadro da imagem, no caso de cinco em cinco. As regras de transição são expressões booleanas lógicas de *se* e *então* (*if-then*).

O AC exemplificado pela Figura 4 retrata um ambiente urbano uniforme. A regra de transição é se três ou mais células de urbano (preta) forem vizinhas da célula em questão, então a célula continua ou se transforma em urbana. A resposta é um padrão uniforme de crescimento em torno do estado inicial, pois não existem restrições ou direcionamentos de crescimento.

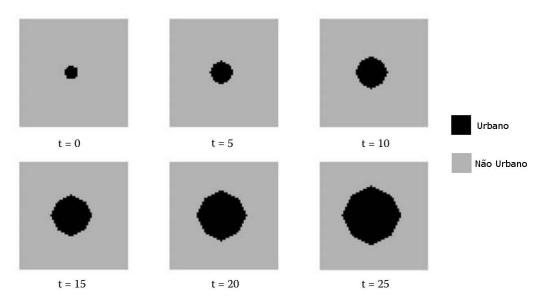


Figura 4: Exemplo de autômato celular para ambiente urbano uniforme. Fonte: Liu (2008).

No caso da Figura 5, o ambiente urbano assume uma dinâmica mais complexa. Foram inseridas duas variáveis, a primeira (a) representando o relevo acima e abaixo de 300 m. A segunda uma rodovia, elemento linear, que surge apenas no passo 5 de tempo. A regra de transição é: se o relevo estiver abaixo de 300 m e existir uma ou duas células urbanas (preta) vizinhas ou a rodovia cruzar a célula, então a célula continua ou se transforma em urbana. O resultado é um padrão complexo e representativo das características somadas ao ambiente. O crescimento urbano passa a ser direcionado em um sentido lógico, em direção às terras baixas ao longo da rodovia.

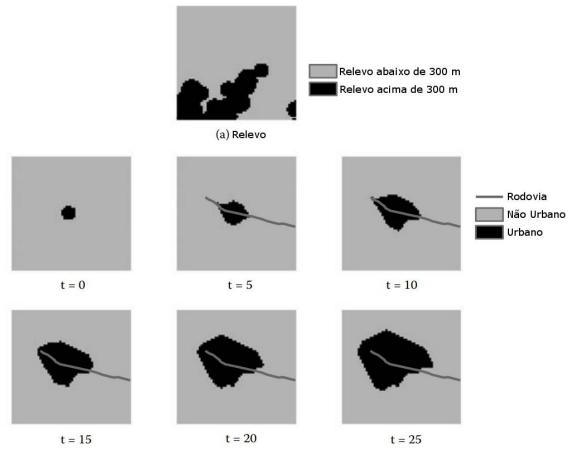


Figura 5: Exemplo de autômato celular para ambiente urbano complexo.

Fonte: Liu (2008).

Wolfram (1984) diz que a característica do termo autômato para a técnica pode se dar pela comparação com computadores de processamento paralelo, que dependem apenas de uma configuração inicial para que ao final das iterações sequenciais obtenha-se o resultado. Os autômatos celulares são uma técnica simples de ser construída, mas com um potencial de representar comportamentos complexos, pois mesmo partindo-se de uma dispersão aleatória, os padrões espaciais são observáveis.

A emergência de padrões é a principal característica dos modelos dinâmicos baseados em autômatos celulares. A organização de padrões deriva das funções e regras que sistematizam o modelo. Assim, a organização do espaço não pode ser prevista analisando-se as partes de um sistema separadamente (Iltanen, 2012).

Tal característica possibilitou o surgimento de modelos de autômatos celulares teóricos, que partiam de estados iniciais com poucas, ou mesmo uma

única célula, e resultavam em padrões já conhecidos nas teorias elaboradas sobre o desenvolvimento urbano. Entretanto, alguns efeitos que têm causas não adjacentes, ou seja, consideram uma função em relação à distância, não podiam ser modelados em AC estrito (Batty, 2008).

De acordo com Almeida (2003), mesmo com várias possibilidades na utilização de autômatos celulares para modelagem de fenômenos complexos, existem limitações impostas por restrições teóricas. Questões como universalidade de regras de transição, espaço homogêneo, vizinhança uniforme e sistemas fechados dificultam sua aplicação em modelagem urbana.

Os modelos dinâmicos urbanos carecem de representações mais realísticas. Portanto, as premissas podem ser adaptadas às necessidades de cada modelo sem que se perca a simplicidade e robustez da técnica (Couclelis, 1985). Entretanto, Albin (1975) faz uma ressalva quanto às generalizações, pois em certo ponto podem acarretar na utilização da técnica em uma categoria mais ampla, como os espaços celulares.

As primeiras abordagens da dimensão espacial, realizadas nos modelos baseados em espaço celular, podem ser atribuídas a Lathrop e Hamburg (1965) e Chapin e Weiss (1968). Este último analisou inclusive a importância de escolas, enquanto infraestruturas sociais, na modificação do uso e ocupação do solo. Entretanto, foi o trabalho de Tobler (1979) que apresentou uma aplicação mais próxima da teoria de AC, considerando a variação do estado de uma célula com base no padrão de vizinhança.

Na década de 1990, as aplicações de AC para ambientes urbanos foram amplamente diversificadas e várias especificidades inerentes às cidades foram pesquisadas, como: processos migratórios, crescimento urbano, sistema viário e alterações no uso e ocupação da superfície (Iltanen, 2012).

Dos modelos baseados em autômatos celulares e que analisam a dinâmica de transição do uso e ocupação do solo urbano, destaca-se o apresentado por Couclelis (1985) que possibilita o relaxamento de premissas de AC sem alterar sua robustez e significado, bem como os estudos de Almeida (2003) e Godoy e Soares-Filho (2008) por avaliarem a dinâmica intraurbana entre diferentes classes de uso.

Ressaltam-se também os modelos de Li et al. (2008), Herold et al. (2005) e He et al. (2006), pela capacidade de interpretação de variação de padrões e tendências em fenômenos urbanos.

Santé et al. (2010) destacam que as principais modificações das primeiras gerações de modelos são: grades irregulares; representação de espaços não homogêneos, como declividade e densidades de vias; inserção de funções de decaimento com a distância; vizinhança variável para cada categoria representada pelas células; regras complexas de transição; regras não estacionárias de transição; limitações de crescimento urbano; intervalos irregulares de tempo. O autor também reconhece a afirmação de Almeida (2003) e Batty (2000), de que o relaxamento de premissas teóricas pode descaracterizar a metodologia.

Os resultados apontados por Santé et al (2010), em sua revisão de modelos baseados em AC e aplicados a processos urbanos, indicam que a larga aplicação da técnica favoreceu um espectro maior de metodologias que se adaptam a vários casos e possibilidades de estudo. Ressaltam ainda que a evolução e sofisticação das regras de transição destes modelos têm ampla capacidade de representação de padrões espaciais, bem como do comportamento de processos dinâmicos do complexo ambiente urbano.

4. Centros Educacionais Unificados

4.1. Projeto, Implantação e Dimensões

"Se uma sociedade, como a brasileira, em que se encontram ingredientes tão incendiáveis, como os das suas desigualdades e iniquidades sociais, entra em mudança e agitação acelerada, sacudida por movimentos e forças econômicas e sociais que não podemos controlar, está claro que a mais elementar prudência nos manda ver e examinar as molas e instituições em que se funda essa sociedade, para reforçá-las ou melhorá-las, a fim de que suas estruturas não se rompam ao impacto produzido pela rapidez da transformação social." (Teixeira, 1959, p. 80)

Anísio Teixeira, respeitado educador e um dos responsáveis por tornar a escola de fato pública no Brasil, foi o idealizador da Escola Parque, ou o Centro Educacional Carneiro Ribeiro, inaugurada em 1950 em Salvador, Bahia. Estava à frente da implementação do projeto para a modificação, dito modernizante, da educação no Brasil. Alterava não só a carga horária e os conteúdos, mas também a proposta pedagógica em um caráter profissionalizante e integral, voltada para uma população carente das necessidades básicas de subsistência, em um conceito inovador de arquitetura e consórcio com a organização da cidade (Duarte, 1973; Pereira e Rocha, 2006).

Teixeira (1959) refere-se às instituições fundamentais da sociedade através da representação das funções e significados do Estado, Igreja, Família e a Escola. Destas, afirma que a mais elaborada e dirigível, enquanto propósito, é a Escola, à qual deveriam estar concentrados todos os esforços de modificação, pois é capaz de preencher os déficits das demais instituições. Entretanto, cabe uma ênfase na palavra esforços, pois, conforme o autor, são onerosos em recursos e devem ser garantidos em um ciclo de longo prazo.

Nesse mesmo ínterim, no município de São Paulo, se projetava uma reforma no sistema educacional do ensino primário para todo o estado, a servir de molde para todo país. O chamado Convênio Escolar, que em três etapas entre os anos de 1943 e 1959, construiu um total de 70 novas unidades, e destas, 52 unidades foram implantadas em um intervalo de apenas cinco anos (1949 – 1953), sob a coordenação do arquiteto Hélio Duarte (Abreu, 2007).

Lina Bo Bardi faz a pergunta: "O que é a escola?", e sua resposta provavelmente resume o pensamento modernista do período sobre as possibilidades do prédio escolar enquanto um equipamento, a partir de então, público. A resposta é que a escola é o lugar responsável pela formação do ser, para que questione as próprias experiências, acredite na transformação e volte para se modificar. No caso, a autora se referia à própria experiência, a qual buscava encontrar uma possibilidade de romper, arquitetonicamente, com os edifíciosprisão que vivenciou (Bardi, 1951).

Na sequência, outra pergunta que fundamentou o período do Convênio Escolar, agora de Hélio Duarte, reafirma o pensamento modernista sobre a escola: "Qual o ambiente físico mais propício à educação?", é, em resumo, a possibilidade de a forma e a técnica imporem as mudanças necessárias para uma reforma no ensino. Uma fase de projeto, que durou três meses, com três engenheiros, um arquiteto, um contador e uma datilógrafa, e considerava os métodos de ensino, ou as "teorias da Educação", como aspectos secundários a serem aperfeiçoados ao longo do tempo de desenvolvimento da experiência, deu origem a 52 unidades escolares e aproximadamente 48 mil novas vagas no ensino primário (Duarte, 1951).

Entretanto, os avanços devem ser reconhecidos. As formas antropomórficas, com referência no ser adulto, utilizadas no projeto arquitetônico de escolas infantis foram superadas. Neste período, as janelas, corredores, banheiros, subdivisões do espaço interno e externo foram adequadas à referência da criança. Existiram preocupações com o universo psicológico, filosófico e pedagógico específicos para cada faixa etária e adaptações do projeto a partir destas considerações.

Duarte (1951) expressa a sua admiração e inspiração na proposta feita por Anísio Teixeira, nos projetos da Escola Parque, de Salvador. Reconhece que a reforma político-pedagógica que estava em andamento em São Paulo, sob sua coordenação, tinha antes a preocupação e condução dentro da revolução modernista da arquitetura, do que o processo de renovação da educação que se alcançava na Bahia. Isto porque Anísio Teixeira pensou antes a proposta educativa, baseada no pedagogo John Dewey, que conheceu nos Estados Unidos, e somente depois adaptou seu projeto arquitetônico, em função da inserção de novas

atividades complementares, e não menos importantes, como as denominadas socializantes e profissionalizantes, que incluíam vivências de expressão artística, artes industriais e educação física.

A proposta inicial de Anísio Teixeira, em 1948, era a construção de 30 Escolas Classe, com o ensino regular de desenvolvimento intelectual, com até 30 mil vagas para crianças entre 7 e 14 anos em dois turnos. As Escolas Parque teriam 7 ou 8 unidades para as atividades complementares, conectadas e centralizando a rede de Escolas Classe, com 4 mil vagas cada uma, funcionando também em dois turnos. O projeto alcançaria todas as crianças em idade escolar da época na cidade (Duarte, 1951 e 1973).

Foram construídas apenas quatro Escolas Classe e uma Escola Parque em Salvador. O que parece a priori um fracasso, pois fere a premissa de continuidade de recursos do próprio Anísio Teixeira (1959), abre ao menos uma perspectiva de uma escola para todos, não uma escola para poucos. Anísio Teixeira "desapareceu" em 1971, após uma intimação de audiência com o governo militar da época, marcando não só a interrupção de um projeto de implantação de escolas, mas, principalmente, a ruptura política com a educação social (Duarte, 1973). A Figura 6 mostra o esquema do projeto inicial proposto por Anísio Teixeira para Salvador.

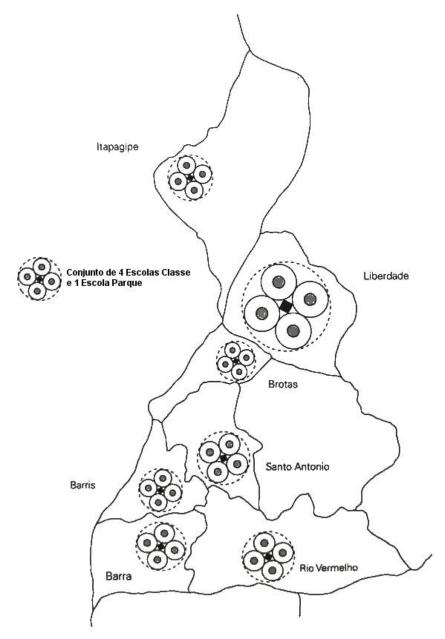


Figura 6: Esquema Escolas Classe e Escolas Parque, projeto inicial para Salvador.

Fonte: Adaptado de Duarte (1973).

Inspirados neste histórico de projetos reformistas do cenário educacional, a concepção dos centros educacionais unificados possui estreitas relações com as trajetórias de Anísio Teixeira e Hélio Duarte, porém surgiram há mais de 40 anos depois do Convênio Escolar em São Paulo (Anelli, 2004). Gadotti (2004) afirma que, apesar da necessária absorção das experiências com as Escolas Parques e com a larga expansão das unidades escolares em São Paulo, o projeto dos centros educacionais unificados considerou tanto os avanços quantos os fracassos,

partindo de articulações e esforços na esfera executiva do município para encontrar espaços físicos para construção de novas escolas, fortalecendo a ideia da escola pública e o desenvolvimento de áreas periféricas e pobres da cidade.

Os centros educacionais unificados tiveram início de sua fase de projeto nos anos 2000 e passaram a ser implantados nos anos 2002 e 2004. Surgiram na gestão da prefeita Marta Suplicy e tiveram continuidade nas gestões posteriores de José Serra e Gilberto Kassab entre 2005 e 2008. O projeto entre todas as gestões municipais se manteve praticamente o mesmo, com poucas adequações entre as unidades implantadas. Contaram com o apoio de várias secretarias, visto a possibilidade de intervenção em várias áreas, como meio ambiente, educação, emprego e renda, participação popular, desenvolvimento local, saúde, cultura, esporte e lazer. A visão de modificação e desenvolvimento da comunidade impactada orientou os estudos de localização de cada unidade (Gadotti, 2004).

A ideia inicial do projeto tinha como tema central a promoção da socialização de bens culturais, lazer e esportes, como instrumentos de inclusão social, no mesmo espaço que serviria de ambiente de educação infantil e ensino fundamental. A primeira concepção de um espaço capaz de agregar todas essas funcionalidades, em um projeto arquitetônico inclusivo, surgiu no fim do governo de Luiza Erundina, em 1992, ainda quando Paulo Freire era secretário de educação e a arquiteta Mayumi de Souza Lima estava na direção do Departamento de Edificações da Secretaria de Serviços e Obras (EDIF) do município de São Paulo. As denominadas Praças de Equipamentos Sociais seriam o ponto de partida para os centros educacionais unificados (Padilha e Silva, 2004; Oliveira, 2017).

O anteprojeto dos centros educacionais unificados foi idealizado para uma intervenção no extremo leste da cidade de São Paulo, no distrito administrativo da Cidade Tiradentes. O projeto de uma praça que reunia vários equipamentos públicos só veio a ser implementado anos depois, na gestão municipal da Martha. A maquete deste projeto foi apresentada pelo EDIF a outros órgãos da prefeitura, e o resultado foram os centros educacionais unificados (Delijaicov e Melendez, 2003).

A primeira legislação que efetiva os centros educacionais unificados nas suas primeiras 17 unidades, estabelecendo as diretrizes, orçamentos e determina do que serão constituídas as unidades criadas, como os Centros de Educação Infantil (CEI), Escola de Educação Infantil (EMEI), Escola de Ensino Fundamental (EMEF), teatro, salão de ginastica, telecentro, pista de skate, centro comunitário, biblioteca, piscinas semiolímpicas e de recreação, quadras poliesportivas e padaria-escola, é o Decreto Municipal de São Paulo nº 42.832 (2003). As demais unidades seguiram o mesmo decreto.

As diretrizes constituem os centros educacionais unificados, sob as considerações de que a educação é norteada pelos princípios da participação, descentralização e autonomia, da inclusão, não só escolar, mas também socioeconômica da população, capaz de reverter o quadro de exclusão social, cultural, tecnológica e educacional, como também suprir a escassez da oferta de lazer e entretenimento nos bairros da periferia, em evidente desigualdade com a região central da cidade, em um ambiente que dê um novo significado ao espaço escolar (Decreto Municipal de São Paulo nº 42.832, 2003).

No ano de 2008, foram criados os Conselhos Gestores dos centros de educação unificados, um colegiado com funções consultivas e deliberativas dos interesses dos usuários diretos dos equipamentos, assim como dos entornos imediatos a cada unidade. São responsáveis pelo orçamento, diretrizes, metas, organização, funcionamento e projetos políticos-pedagógicos. Os representantes de cada "núcleo" de uma unidade, como os núcleos escolares e os núcleos de esporte e lazer, são escolhidos em cargos comissionados (Lei Municipal de São Paulo nº 14.662, 2008). Os demais membros do conselho são representantes de outros equipamentos sociais do entorno, profissionais que atuam em cada unidade e da comunidade (alunos, pais e comunidade), elegidos por voto, conforme dispõe o artigo 3º do Decreto Municipal de São Paulo nº 50.738 (2009).

A última alteração na legislação estabelece o regulamento padrão de todas as unidades dos centros educacionais unificados, alterando a Lei Municipal de São Paulo nº 14.662 (2008). Faz um detalhamento exaustivo das atividades e determina o funcionamento ou o responsável pela deliberação por cada atividade. Uma importante alteração presente neste regimento é a regulamentação das

universidades de ensino superior e profissionalizantes que passaram a integrar algumas unidades, a partir do projeto Universidade Aberta do Brasil, do governo federal, criado em 2006 e implementado em 2013 em São Paulo (Decreto Municipal de São Paulo nº 57.478, 2016).

"Centro de Educação Unificado ou Centro de Estruturação Urbana?" (Padilha e Silva, 2004). Novamente, uma pergunta tenta resumir a ideia que fundamenta a implantação de equipamento público educacional. A concepção do projeto dos centros educacionais unificados pretende uma ampla relação entre arquitetura, urbanismo e educação, elementos determinantes na produção e organização do espaço urbano.

Os arquitetos Alexandre Delijaicov, André Takiya e Wanderley Ariza, que integravam o EDIF, na gestão da Martha, foram responsáveis pelo projeto básico das primeiras unidades dos centros educacionais unificados, criados pelo Decreto Municipal de São Paulo nº 42.832 (2003). Cada unidade, neste primeiro conceito, contempla um pavilhão escolar, um bloco destinado às atividades culturais, parque aquático com três piscinas e um edifício circular para creche, denominado de disco. A capacidade de cada unidade era de mais de 2.400 alunos, com espaços de usos mistos entre várias faixas etárias e adultos. Pequenas modificações e adequações foram realizadas, conforme as necessidades e especificações construtivas de cada unidades. A segurança patrimonial foi repensada. Considerações sobre mudanças nas legislações e especificações da prefeitura sobre espaços destinados às crianças foram inseridas no decorrer dos projetos (Delijaicov e Melendez, 2003; Delijaicov, Takiya e Ariza 2004).

Uma das propostas urbanísticas do projeto era estabelecer um referencial construtivo para a comunidade. De acordo com Padilha e Silva (2004), "A população constrói sua casa olhando para a do vizinho." Afirmam ainda ser obrigação do Estado dar "referências arquitetônicas" para a população que produz um espaço "fora dos padrões". Delijaicov e Melendez (2003) consideram que os centros educacionais unificados produzem um "contraste entre o referencial urbano positivo e a vizinhança empobrecida, que, a partir da presença do equipamento público de qualidade, esboça mudanças para melhor".

Oliveira (2017) defende que a implantação dos centros educacionais unificados, enquanto uma materialização de uma política social, foi capaz de reestruturar o caminho da organização urbana, com qualidade suficiente para promover a inclusão da população residente na periferia como parte atuante na transformação urbana. Para a autora, este equipamento público é um contraponto às intervenções urbanísticas geradoras de gentrificação e às associadas aos processos de valorização imobiliária.

4.2. Reflexos dos Centros Educacionais Unificados na Comunidade

Na análise e discussão sobre o centro educacional unificado, optou-se por elaborar esta seção que se inicia com a ressalva sobre a utilização do material e dados coletados em campo. As conversas e vivências, acumuladas na convivência com a comunidade que reside no entorno de algumas unidades dos centros educacionais unificados, serão mantidas enquanto inspiração na redação dos parágrafos que se seguem. Assim como as conversas e informações adquiridas com o Conselho Gestor de algumas unidades serão inseridas enquanto discussões sobre a legislação e as diretrizes que impactam substancialmente a comunidade.

"É inegável a qualidade do serviço que o CEU presta como equipamento público inserido em um contexto social de extrema carência, criando um espaço de oportunidades e construção de cidadania urbana" (Oliveira, 2017, p. 179). Parece quase uma afronta questionar a implantação de escolas em áreas de tão grande vulnerabilidade, principalmente essas que vêm acompanhadas de equipamentos, até então negados a uma boa parte da população, como teatros, piscinas, bibliotecas, computadores e cinemas, organizados em uma megaestrutura de arquitetura modernista reconhecida e replicada em outros estados. De fato, não há aqui a pretensão de desconsiderar um projeto social com tamanha envergadura.

No processo de formação da experiência e compreensão da realidade que nos cerca, e muitas das vezes nos dirige, necessita-se de uma reflexão dos contrapontos ou da possibilidade de questionar, ou seja, a garantia da autonomia do ser enquanto transformador da própria realidade (Freire, 1996). Será suficiente

o acúmulo de sucessivas intervenções pontuais, com variações somente quanto à forma, ser capaz de garantir a autonomia de questionar a própria realidade da população? A continuidade e a possibilidade dinâmica de uma política social não são mais importantes que a discussão sobre a sua forma estática de materialização?

No resgate da inspiração do projeto dos centros educacionais unificados, foram apontados nomes importantes para a discussão da relação entre educação pública, arquitetura e urbanismo, como Anísio Teixeira, Hélio Duarte, Lina Bo Bardi, Moacir Gadotti, Roberto da Silva e Alexandre Delijaicov, com questões importantes sobre como a educação interfere na organização do espaço ou como as modificações arquitetônicas e as estruturas urbanas afetam as políticas de ensino. Os resultados destas discussões foram importantes e contribuíram para que ocorressem intervenções no espaço urbano, a partir de significativos equipamentos públicos educacionais. Porém, são intervenções que priorizaram desenvolvimento da forma.

A afirmação objetiva apresentada pela aparência da forma, através do contraste que causa no contexto em que foi inserida, sem a alteração da realidade a que se sugere, indica sua definição enquanto espetáculo (Debord, 1991). Com esta afirmação, no caso dos centros educacionais unificados, pode-se propor uma espetacularização da arquitetura e da política educacional. Uma vez que a imposição pela forma não alterou o estado de reprodução sistemática de contradições presentes no acesso aos direitos sociais, nas relações e as restrições impostas à apropriação da cidade e seus equipamentos públicos, ocasionando reflexos na manutenção da organização desigual do espaço urbano (Pacheco, 2011).

Uma questão que pode ajudar a compreender a imposição da forma enquanto espetáculo é afirmação de Padilha e Silva (2004) e Delijaicov e Melendez (2003) de que os centros educacionais unificados serviriam de "referencial arquitetônico positivo". Kowarick (1980) afirma que o máximo da espoliação urbana é a autoconstrução, processo construtivo adotado por quase toda a população residente na periferia precária de São Paulo, que consome o que deveria ser o tempo de descanso do período de trabalho e parte significativa da renda na compra

do material que, quando não são reaproveitados de descartes e improvisados, alimenta o mercado de construção civil, um dos principais polos que absorve a mão de obra residente na periferia. Uma lógica que praticamente anula o termo "positivo" da afirmação deste equipamento como referencial. Em alguns casos, é a afirmação do próprio contraste que torna a barreira quase intransponível, destacando a diferença evidente para quem constrói a casa de lona justaposta a estruturas metálicas de cores vibrantes e concreto curvilíneo pré-moldado.

Da mesma afirmação de Kowarick (1980), retira-se a reflexão sobre o tempo disponível pela população residente de assentamentos urbanos precários na participação e definição das políticas pedagógicas de ensino das crianças, no acompanhamento e fiscalização da sua continuidade, ou mesmo dos conteúdos e programações das atividades culturais. Oliveira (2017) reconhece que, da fase de projeto à de gestão, não ocorreu a participação popular desejada, quando da idealização do equipamento público.

Draibe (1994) aponta que o sistema de políticas sociais, inaugurado na ditadura militar, foi marcado pelo clientelismo da máquina estatal e por provocar a falta de participação social, cujo financiamento das obras de interesse social tiveram origem na distribuição primária de renda, retroalimentando a força motriz que produz a desigualdade. Outra questão apresentada pela autora é a insuficiência de recursos ou a descontinuidade de investimento, enquanto há um aumento constante da população em situação precária. Esta relação reforça a teoria de deseconomia de escala existente na dinâmica urbana, proposta por Bettencourt (2013).

Em um balanço e análise da eficiência de políticas públicas no Brasil, Giambiagi e Urani (2004) destacam a necessidade de flexibilização da política social na sua aplicação em escala local e engajamento da população assistida. No caso da flexibilização da política social enquanto um equipamento público, cabe acrescentar a perspectiva da dinâmica do espaço urbano, como uma questão fundamental a ser considerada na fase de projeto e idealização da proposta.

A utilização de um conceito de paisagem estática, ou de evolução linear a partir do estado inicial, pode produzir efeitos e análises contraditórios à ideia de

transformação impulsionada por um equipamento público. Oliveira (2017) conclui que houve uma melhora dos indicadores sociais no raio de abrangência, em dois de três, dos centros educacionais estudados pela autora. Entretanto, desconsidera a questão desigual da espacialização dos índices e não aborda, por exemplo, que a maior parte dos domicílios favelados no entorno da unidade inserida no distrito da Brasilândia (CEU Paz) cresceram após a implantação do centro educacional unificado. A autora relata ainda que, no ano de 2014, a construção da fase norte do Rodoanel removeu violentamente parte desta favela.

Outra consideração sobre a dinâmica do entorno dos centros educacionais unificados segue na análise da proposta de Padilha e Silva (2004), na qual a construção modular dos centros educacionais unificados tinha como objetivo a possibilidade de flexibilização ao contexto espacial da comunidade, para que esta não tivesse nenhuma ou a mínima necessidade de modificação para receber o equipamento. Porém, a ausência de infraestruturas básicas, como acesso, transporte público e saneamento não se resolve só com uma intervenção pontual. Para Pacheco (2009), mudanças estruturais deveriam acompanhar a implantação de um equipamento público. Em algumas unidades, não há nem o recolhimento do lixo, pois não existe o acesso para grandes veículos e as altas declividades de algumas partes das zonas periféricas precárias geraram o recalque de algumas piscinas, com constantes interdições (Pacheco, 2009; Oliveira, 2017).

Duarte (1951), na sua afirmação sobre a influência recíproca entre a escola e seu entorno, abre a discussão da possibilidade de uma variação no engajamento da população, bem como na participação da gestão e utilização dos equipamentos educacionais, em relação ao nível de precariedade existente na heterogeneidade da periferia. Para alguns, os centros educacionais representam uma fonte de renda e uma sensação de segurança da posse da terra (Angileli e Sandeville, 2012) ou mesmo a possibilidade de cursar o ensino superior em uma infraestrutura de qualidade, como o caso da unidade Butantã (Sanches e Leone, 2016). Para outros, a situação se torna tão vulnerável que ocupam a pista de skate recém-construída com autoconstruções precárias, sem jamais ter participado de uma atividade cultural ou entrado na piscina, frequentemente interditada, como o caso da unidade CEU Paz.

Quanto à avaliação da legislação e regulamento, é importante ressaltar que os cargos comissionados se alteram a cada gestão da prefeitura, mudando significativamente as políticas educacionais, agendas culturais, a possibilidade de participação da comunidade do entorno na deliberação de diretrizes importantes ao funcionamento de cada centro e, principalmente, impactando a continuidade de políticas sociais. Os primeiros Conselhos Gestores contavam com ampla participação da população do entorno, mediadas, por exemplo, pelo Instituto Paulo Freire, mas as sucessivas mudanças nas gestões administrativas da prefeitura municipal criaram aprofundamentos na distância da população às decisões (Pacheco, 2009).

Pode parecer que não existe um responsável direto, algo como um mecanismo quase abstrato de reprodução da lógica excludente e limitadora da autonomia, imposta a boa parte da população, dificultando a participação no processo de construção da organização espacial, notável em quase toda contraposição feita às intervenções urbanísticas de interesse do Estado ou na especulação imobiliária. Entretanto, deve-se considerar na análise a capacidade de resistência e apropriação da população, resistência esta que frente ao clientelismo encontra resultados positivos que em geral são reconhecidos erroneamente como mérito das políticas sociais (Ribeiro, 2012).

Ribeiro (2012) retrata o processo de formação de uma favela na zona sul de São Paulo. A partir de relatos, análise do histórico de ocupação e da morfologia espacial local e regional, a autora estabelece uma lógica de resistência e luta pelo espaço que se altera através das inúmeras investidas cíclicas de tentativas de manter esta parte da população como não atuante ou pertencente à cidade. Porém, muitas das políticas sociais de habitação existentes hoje têm origem ou foram obrigadas a considerar os movimentos de resistência.

Como exemplo, Ribeiro (2012) cita um padrão construtivo que surgiu na década de 1980 e perdura ainda hoje como resistência aos processos de reintegração de posse. Os chamados "balões mágicos ", conforme a autora, são autoconstruções que têm origem na interpretação da legislação sobre a reintegração de posse, por parte da população afetada por sucessivas demolições em uma ocupação, que determina que a construção tem uma finalidade social

quando apresenta itens mínimos ao ato de morar e, portanto, deve seguir outro processo de reintegração que não a demolição.

Há uma tendência em reconhecer como uma conivência ou mesmo uma política social de habitação a manutenção de extensas áreas de domicílios autoconstruídos em situação precária, ao passo que, na verdade, existe um bloqueio legal na reintegração de posse do local, podendo o poder público se utilizar desse tempo legal para romper uma fronteira urbana de mercado imobiliário e, quando for conveniente, segue com o processo de remoção da favela para outro local mais distante ou inicia processos de urbanização que, como ressaltam Kowarick (1996) e Ding et al. (2016), podem ter o mesmo resultado que a remoção.

4.3. Critérios de Seleção da Área de Estudo

A área de estudo pode ser delimitada inicialmente pela periferia, ou o contorno do município de São Paulo, estado de São Paulo, Brasil. A cidade de São Paulo é uma das maiores do mundo e concentra uma população maior que a de muitos países. Em 2017, a contagem populacional oficial do município estava em mais de 12 milhões. Davis (2006), porém, estimou que São Paulo somava uma população de mais de 20 milhões de pessoas em 2004, das quais quase 20% viviam em favelas que cresciam a uma taxa de 16,4% ao ano, estimativas com expressiva amplitude, mas que demonstram a potencial complexidade deste ambiente urbano.

Segundo Sposati (1996) e Gamba e Ribeiro (2012), existe um aumento gradativo de vulnerabilidade social, econômica, ambiental e política em relação ao centro de São Paulo, com vários pontos de exceção, mas o padrão fica claro com o mapa do Índice de Exclusão Social – IEX, de Sposati (1996), representado pela Figura 7:

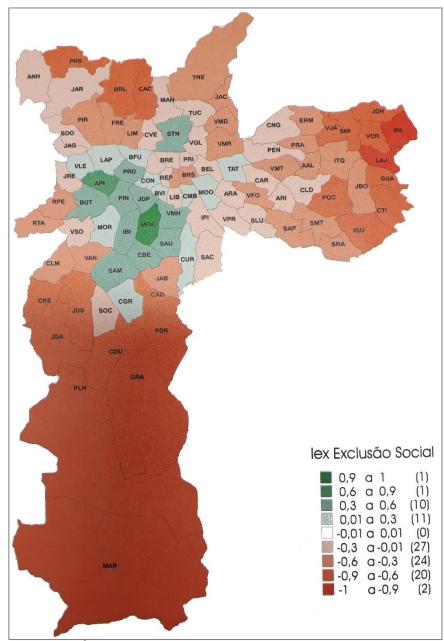


Figura 7: Mapa do Índice de Exclusão Social – IEX, sem orientação e escala na fonte. Fonte: Sposati (1996).

De acordo com Gadotti (2004), esse índice de exclusão social foi utilizado para a difícil tarefa de determinar os locais de implantação dos centros educacionais unificados. Condição difícil para o autor, pois estes equipamentos públicos têm como objetivo diminuir a desigualdade espacial evidenciada por Sposati (1996), a partir de uma proposta de educação ampla e integradora.

Em 2001, a Prefeitura Municipal de São Paulo - PMSP definiu que os objetivos com a implantação dos centros educacionais unificados eram: garantir o

acesso da população residente nas periferias da cidade de São Paulo aos serviços de educação, esporte, cultura e lazer, bem como ser um polo de desenvolvimento humano e social da comunidade em que está inserido (PMSP/SME, 2003 e 2004). O projeto foi concretizado com a inauguração de 21 unidades entre os anos de 2003 e 2004. Até 2017, foram construídas 46 unidades no município de São Paulo e outras estavam em fase de projeto.

Entretanto, 45 destas unidades foram projetadas e construídas entre os anos de 2000 e 2010, o que determina o recorte temporal da pesquisa. Este recorte foi dividido em dois períodos, delimitados antes da construção e depois da construção dos centros. O ano de construção define essa divisão dos períodos.

Neves (2015) dimensiona raios de abrangência de equipamentos urbanos comunitários de educação. O autor considera os níveis de educação oferecidos pela unidade, total de vagas, matrículas e área construída, variedades de atividades não formais, distância a ser percorrida pelos alunos, características do entorno e da população afetada. Como há muitas variáveis, o raio de abrangência pode mudar expressivamente, mas tem um limite relacionado com o acesso por pedestres, por idade escolar. A proposta mais restritiva é de 1,5 km para pedestres e aproximadamente 5 km para bicicletas.

Essa restrição, porém, não muda a ação indireta do equipamento, por exemplo, na evolução do uso do solo da região de construção de um edifício escolar. Como existe uma via dupla de influência entre o equipamento e o entorno, deve-se contar no raio de abrangência a possibilidade de atração e direcionamento de demandas que modificam a organização espacial urbana (Neves, 2015).

Oliveira (2017) apresenta o raio adotado na fase de projeto dos centros educacionais unificados, que têm origem na concepção dos projetos das Praças de Equipamentos Integrados, elaborados pelo Departamento de Edificações da Secretaria de Serviços e Obras (EDIF) na gestão da prefeita Luiza Erundina, visando à ideia integradora e de estruturação de bairros periféricos. O raio de ação de cada conjunto de equipamento públicos seria de 2km.

Segundo Preteceille e Valadares (1999), mesmo na pobreza, existem desigualdades, principalmente com relação ao espaço de reprodução social, ou

seja, a forma de interação e produção do local onde vivem, refletido de modo bem característico na organização do espaço. Estudos realizados por Gamba e Ribeiro (2012) evidenciam que a periferia do município de São Paulo está relacionada a um alto grau de exclusão social e alta vulnerabilidade social, apresentando diferentes níveis de pobreza, coexistindo com usos industriais, aterros sanitários, condomínios fechados para residência de classes abastadas, áreas de preservação ambiental, enfim, toda heterogeneidade própria de locais formados por uma complexidade e instabilidade na dinâmica de modificação do espaço.

De acordo com Marques e Saraiva (2017), em um estudo que estima a população assentamentos urbanos precários е seus socioeconômicos, existe uma heterogeneidade nas propostas e aplicações de políticas públicas, bem como de respostas das áreas delimitadas com escassez de infraestrutura e serviços socias. Ainda segundo os autores, é possível afirmar que, apesar da melhoria identificada em algumas regiões e da redução da intensidade de expansões informais, as soluções precárias de moradia continuam se contrapondo ao restante da cidade de São Paulo. Essa heterogeneidade identificada na organização espacial da periferia de São Paulo é uma importante consideração em um estudo que pretende identificar padrões, uma vez que o entorno exerce importe papel nas possibilidades de um equipamento público influenciar as modificações espaciais e, portanto, ocorrer diferentes respostas com a implantação dos centros educacionais unificados, implantados para os diferentes espaços e localidades.

Outra consideração a ser feita sobre a área de estudo é quanto à dinâmica de expansão horizontal da cidade de São Paulo. Até a década de 1980, grandes movimentos migratórios interurbanos, orientados pela demanda industrial, expandiram e adensaram grandes áreas na Região Metropolitana de São Paulo. Esta expansão se dava na forma de anéis cada vez mais periféricos e precários, sem infraestrutura física e social, onde eram alocados os migrantes recémchegados. A taxa de crescimento da periferia na década de 1970 era de 12,81% ao ano, enquanto no centro não chegava a 1% anual. Porém, a onda de desconcentração dos pátios industriais, com a transferência dos processos produtivos para o interior do estado e manutenção dos centros administrativos na

capital, alterou os fluxos migratórios após 1980 (Carlos, 2009; Pasternak e Bógus, 2011).

Pasternak e D'Ottaviano (2016) levantaram os dados populacionais de São Paulo após 1980 e identificaram que, apesar da diminuição do movimento migratório, com um equilíbrio entre entrada e saída de novos habitantes, a cidade continuou a se expandir, principalmente as ocupações do solo identificadas como domicílios favelados. O constante aumento na taxa de crescimento vegetativo da população e o aumento da demanda por espaço urbano de residência, associados a um processo contínuo de valorização do mercado imobiliário, promove um verdadeiro fluxo migratório intraurbano, em uma dinâmica que transforma o espaço rapidamente (Taschner e Bógus, 2001).

Esse processo de rápida transformação espaço periférico da cidade de São Paulo promove uma ruptura de barreiras imobiliárias, até então impostas por questões de preservação e fragilidade ambiental, domínio administrativo e ausência de infraestruturas básicas. Uma população pioneira, de modo geral expulsa da antiga habitação por processos de valorização do preço da terra e do custo de vida ou por reintegração de posse, abrem o espaço que era restrito ou inadequado construtivamente (Pasternak e Bógus, 2011; Alves, 2017).

Essas populações pioneiras são denominadas, por Alves (2017), de "amassa barro", pois constroem os acessos e as casas, retiram a vegetação, fazem ligações de água e luz, tornando-se clandestinas e lutando diariamente para se manter na posse do lote. Após o reconhecimento deste novo espaço como urbano, intervenções do Estado, como a implantação dos centros educacionais unificados, reiniciam o ciclo de valorização do preço da terra e do custo de vida. Os que se adaptam financeiramente têm a chance de permanecer, enquanto uma parcela tende a abrir novas fronteiras urbanas (Smith, 1987; Kowarick, 1996; Alves, 2017).

Diante das considerações sobre a complexidade da periferia de São Paulo e dos critérios de influência de cada unidade dos centros educacionais unificados, a área de estudo que foi proposta compreende um raio médio de 2 km abrangência para o entorno imediato de cada unidade, conforme os valores apresentados por Neves (2015) e por Oliveira (2017).

Dos 45 centros educacionais unificados construídos, foram selecionados 10 em uma amostra que visa à análise da variação do padrão de transição do uso e ocupação do solo urbano na escala local, ou seja, o entorno de cada uma das 10 unidades, assim como a variação entre diferentes regiões periféricas de todo o município de São Paulo. Foram consideradas no mínimo duas unidades por região para comparação de padrões intra-região.

Além desta questão metodológica, a seleção das unidades observou uma estimativa de densidade de variação em área, entre os anos de 2000 e 2010, dos setores aglomerados subnormais, definidos pelo Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE, 2010), como a aglomeração de no mínimo 51 unidades habitacionais de domicílios favelados, desprovidos de infraestrutura básica, a exemplo do fornecimento regular de água, esgoto, energia e coleta de lixo.

A concentração foi obtida por uma estimação kernel de densidade por pixel, conforme Silverman (1986) e calculado na plataforma do Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2002), onde cada pixel assume um valor binário, correspondente a presença ou ausência de variação. A densidade é dada em valores de pixel por m². A Figura 8 representa o mapa de densidade de variação de aglomerados subnormais, entre os anos de 2000 e 2010, sobreposta pela delimitação de 2km de todas as unidades dos centros educacionais unificados.

Cabe, porém, a ressalva de que existem incompatibilidades entre as bases geográficas dos setores dos aglomerados subnormais, produtos dos recenseamentos dos anos 2000 e 2010 (Pedro, 2016). Assim a análise da variação, entre os setores destes anos, foi utilizada apenas como uma informação de suporte na seleção de unidades de centros educacionais unificados, com maior possibilidade contemplarem no seu entorno a expansão horizontal de domicílios favelas na periferia da cidade.

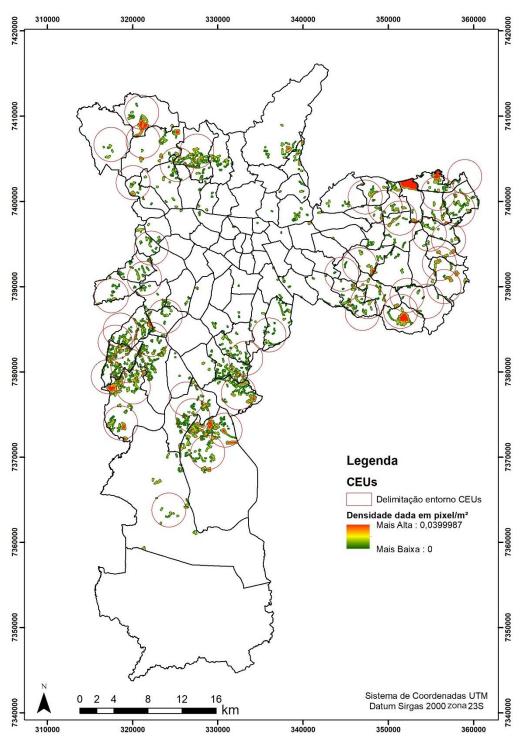


Figura 8: Mapa da densidade de variação de setores aglomerados subnormais, entre 2000 e 2010 para o município de São Paulo.

Na sequência, a Figura 9 apresenta no mapa da cidade de São Paulo todas as unidades implantadas entre anos de 2000 e 2010 e as unidades selecionadas como amostragem. A seleção das unidades foi dividida em quatro regiões: CEU Paz e CEU Pera Marmelo, na região noroeste; CEU São Rafael, CEU Inácio

Monteiro e CEU Parque Veredas, na região leste; CEU Navegantes e CEU Alvarenga, na região sudeste e, por fim, CEU Feitiço da Vila, CEU Campo Limpo e CEU Butantã, na região sudoeste.

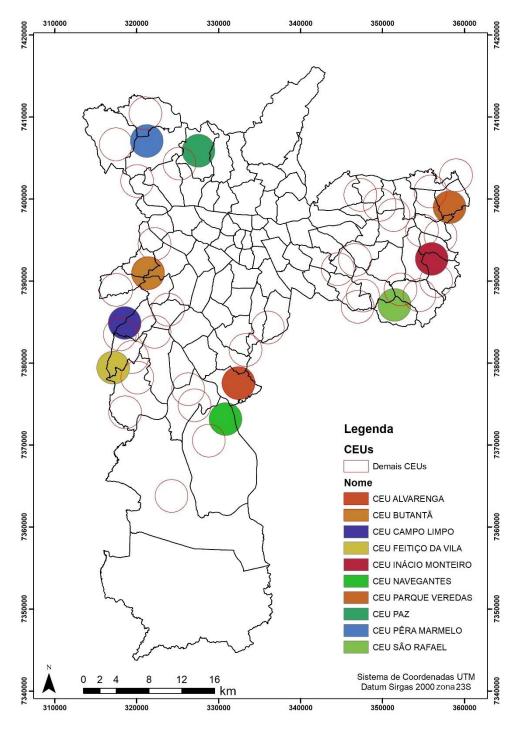


Figura 9: Delimitação da área de estudo.

Esta delimitação e caracterização da área de estudo possibilita estabelecer algumas especificidades da modelagem da dinâmica urbana, em um ambiente marcado pela heterogeneidade de usos e ocupações do solo, rápida transição e sucessão das classes de uso e implicações na tendência dos processos de organização do espaço.

Segundo Roy et al. (2014), a presença de assentamentos urbanos precários no tecido urbano implica uma maior complexidade na representação de seus processos de formação e origem. As variáveis endógenas e exógenas que determinam o grau de precariedade ou vulnerabilidade, como, por exemplo, a presença de equipamentos públicos, variação de declividade e existência de rede de acesso (vias e transportes públicos), têm grande peso no cálculo da probabilidade de surgimento ou transição para novas áreas de favelas, assim como devem ser consideradas variáveis específicas para mensuração da capacidade de permanência de um local na classe de uso como assentamento precário.

5. Proposta Metodológica de Análise

5.1. Fluxograma da Metodologia

A metodologia apresentada neste capítulo tem por finalidade propor elementos comparativos de padrões locais e regionais, presentes na dinâmica de transição do uso e ocupação do solo urbano. A comparação foi feita entre os dois períodos de análise que compõem a pesquisa e entre as 10 unidades dos centros educacionais unificados escolhidos. Os períodos foram delimitados pelas fases que antecedem a construção de cada unidade a partir do ano 2000 e as fases que ocorrem após a construção, com o limite do ano de 2010.

Foi delimitado um raio de abrangência de 2 km para as 10 unidades estudadas (Neves, 2015; Oliveira, 2017), e é nesta área que foram observadas as dinâmicas de transição do uso e ocupação do solo. A verificação de padrões entre as regiões da cidade de São Paulo se deu a partir da comparação do comportamento entre cada unidade e período.

Esta recapitulação da delimitação nas dimensões espaço e tempo da área de estudo é necessária para definição das diretrizes da metodologia assumida, a fim de estabelecer uma possível relação de causalidade entre os centros educacionais unificados e as variações na organização do tecido urbano.

Inicialmente, partiu-se da classificação do uso e ocupação do uso do solo para os limites espaço-temporais estabelecidos. Uma definição de classes que possua relação com a dinâmica urbana e escala é estabelecida. Kohli et al. (2012) apresentam uma metodologia multiescalar para ambientes de grande complexidade de gênese e heterogeneidade de usos.

Não foi possível analisar o fenômeno proposto, em sua perspectiva dinâmica, somente com os diferentes usos e ocupações do solo conhecidos para o ano inicial (2000) e final (2010), bem como para o ano de construção do equipamento público. Os três recortes estáticos não possibilitaram compreender o processo envolvido na formação da organização espacial da área de estudo, que foi estabelecia na sucessão dinâmica dos usos do solo.

Um processo dinâmico é mais bem entendido na sua representação contínua, ou, neste caso, por meio da linearidade formada entre os pontos observados no tempo, uma vez que o interesse é a comparação dos períodos formados entre os pontos de observação. A representação da linearidade pode ser obtida a partir de um modelo de simulação, baseado em autômato celular. Os elementos configuradores da paisagem urbana podem ser adotados enquanto variáveis explicativas no modelo, que infere a organização do tecido urbano (Batty, 2011).

Provavelmente, quando o assunto é definir as variáveis explicativas para um modelo dinâmico urbano, surgem questões sobre a infinidade, complexidade, escala e disponibilidade atribuídas às possíveis considerações com as análises que se pretendem. Entretanto, cabe novamente a ressalva sobre a diferença, mas, sobretudo, a estreita relação entre as forças que definem a produção do espaço, denominadas aqui como relações sociais, e as forças que organizam o reflexo materializado desta produção. Portanto, considerações sociais, políticas e econômicas podem ser extraídas de estudos sobre variações de estruturas físicas organizadas sob uma lógica racional de gênese social, política e econômica.

Deste modo, foram empregadas variáveis explicativas de expressividade no âmbito de estruturas biofísicas, de infraestruturas urbanas e a própria configuração do uso e ocupação do solo, enquanto variáveis dinâmicas. Foram feitas adaptações quanto à disponibilidade e escala das propostas, que utilizaram ou estabelecem as forças capazes de definir transições no uso e ocupação do solo, apresentadas por Almeida et al. (2003), Godoy e Soares-Filho (2008) e Roy et al. (2014).

Um modelo de simulação, baseado em autômato celular, carece de regras de transição que determinam o funcionamento da dinâmica. O processo denominado de parametrização é utilizado a fim de estabelecer as regras, relacionando as variáveis explicativas e conferindo pesos de influência na determinação da variável dependente (transição de uso e ocupação). O ajuste constante dos parâmetros, de modo a aproximar e aderir o modelo com fidelidade à realidade, denomina-se calibração. A validação já é o experimento que determina o grau de conformidade entre o real e o simulado (Almeida, 2003).

A técnica de parametrização escolhida é probabilística em nível local (células) e estacionária em nível macro (espaço celular). Foi utilizada a técnica denominada de pesos de evidência, derivada do Teorema da Probabilidade Condicional de Bayes, para a determinação dos locais com maior probabilidade de transição no uso e ocupação do solo, com base nas variáveis explicativas. As taxas de quantidade de mudança para cada intervalo contínuo foram determinadas pelas matrizes de transição estacionárias, que têm origem na teoria das cadeias de Markov (Bell e Hinojosa, 1977; Bonham-Carter, 1994; Godoy e Soares- Filho, 2008; Thapa e Murayama, 2011; Zheng e Lv, 2016; Campos e Queiroz, 2017).

A calibração foi desenvolvida em duas etapas. A primeira aplicada à primeira iteração do modelo, antes da validação, que consiste na avaliação do índice de interdependência das variáveis explicativas (*Joint Information Uncertainty*), remoção das variáveis ruído. (Kawashima et al., 2016; Gago-Silva, Ray e Lehmann et al., 2017) e definição dos primeiros parâmetros de simulação. A segunda etapa consiste na adequação, modificação e nova seleção de variáveis para parametrização, como parte do processo de refinamento para aproximação da simulação com o observado.

A simulação, através da plataforma Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2002), estabeleceu o processo de como foram formadas as manchas correspondentes a cada uso, com origem nas transições possíveis em cada um dos períodos de análise (Almeida et al., 2003; Soares-Filho et al., 2006; Li et al., 2008). A validação utiliza uma adaptação do índice de similaridade proposto por Hagen (2003), bem como contou com a análise da morfologia obtida na simulação do uso e ocupação do solo.

Portanto, para cada período, foram simulados intervalos contínuos de tempo, conforme as cinco etapas: 1) preparação dos dados (Kohli et al., 2012; Soares-Filho et al., 2002), 2) parametrização (Bonham-Carter, 1994; Godoy e Soares-Filho, 2008; Thapa e Murayama, 2011; Zheng e Lv, 2016), 3) calibração (Kawashima et al., 2016; Gago-Silva, Ray e Lehmann et al., 2017), 4) simulação (Almeida et al., 2003; Soares-Filho et al., 2006; Li et al., 2008) e 5) validação (Hagen, 2003). A Figura 10 representa o fluxograma da metodologia:

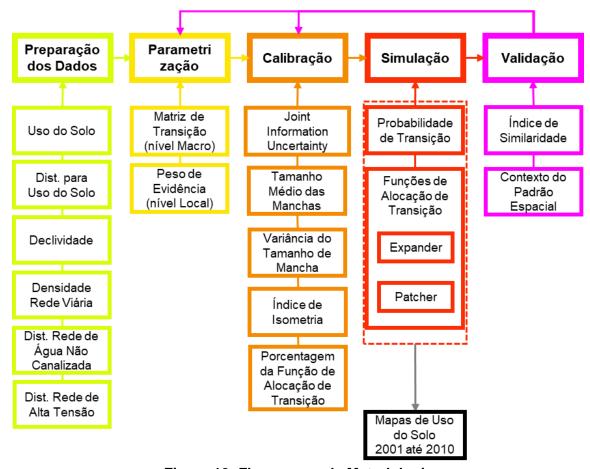


Figura 10: Fluxograma da Metodologia

Após a simulação, foi possível a representação contínua, com intervalos anuais, dos dois períodos de análise. Para cada período, é possível estabelecer uma reta ou um modelo de variação dos usos em função dos anos, a linha de tendência. Quanto mais próximos forem os valores dos ângulos de inclinação das retas, menor será a variação entre os dois períodos, e os modelos podem ser considerados lineares. Porém, caso haja uma variação abrupta da inclinação entre as retas, pode-se determinar um ponto de ruptura (Chow, 1960; Rey e Montouri, 1999; Caruso et al., 2007). A Figura 11 foi inserida para ilustrar o raciocínio de análise na quebra de tendência:

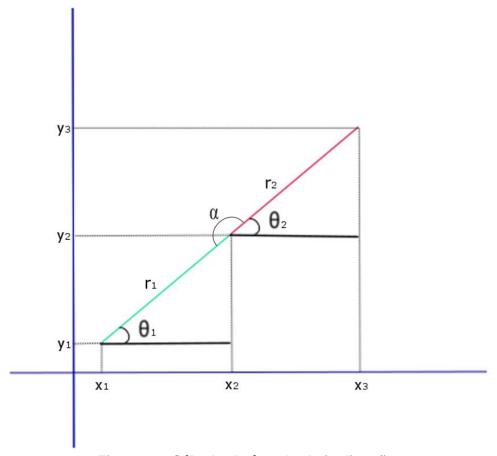


Figura 11: Cálculo do ângulo de inclinação.

Na Figura 11, temos dois modelos representados pelas retas r_1 e r_2 , em que é possível atribuir valores de tempo para o eixo X e valores de área ou qualquer outra variável no eixo Y em função de X. Os intervalos X_1 , X_2 , X_3 e Y_1 , Y_2 , Y_3 podem ser subdivididos, conforme o intervalo de tempo utilizado. Os ângulos α e θ podem ser encontrados por relações trigonométricas simples, como as Equações 2 e 3:

$$\theta_n = \frac{y_{n+1} - y_n}{x_{n+1} - x_n} \tag{2}$$

$$\alpha = 180^{\circ} - (\theta_n - \theta_{n+1}) \tag{3}$$

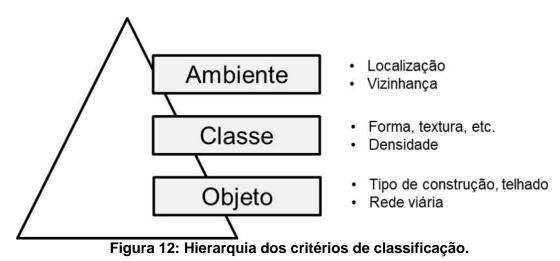
Nas Equações 2 e 3, n representa a sequência de observações das retas r_1 e r_2 . Caso as retas r_1 e r_2 forem lineares, o resultado de α deve ser 180°. A variação para mais ou para menos neste ângulo pode indicar, respectivamente, uma ascensão ou um decréscimo entre os modelos.

Todas as etapas do fluxograma da Figura 10 geram resultados específicos que auxiliam nas análises da variação da dinâmica. As próximas seções dedicamse a explicitar cada uma em seus detalhes.

5.2. Preparação dos Dados

A preparação dos mapas de uso e ocupação da superfície foram fotointerpretados, devido ao tipo de imagens orbitais disponíveis para os anos trabalhados e a escala. A metodologia utilizada para fotointerpretação foi uma adaptação da proposta de Kohli *et al.* (2012) para delimitação e identificação de classes em ambientes de dinâmica complexa, como assentamentos urbanos precários. A classificação foi conduzida na escala de 1:5.000.

Kohli *et al.* (2012) apresentam uma proposta para elencar critérios de classificação em diferentes escalas de análise. A hierarquia de critérios tem a finalidade de compor níveis espaciais diferentes para a observação. Podem ser estipulados três níveis iniciais, como nível do ambiente ou contexto, nível da classe e nível do objeto. A Figura 12 exemplifica esta divisão e uma proposta de critérios para classificação.



Fonte: Adaptado de Kohli et al. (2012).

Esta metodologia facilita a classificação de áreas, como assentamentos urbanos precários, pois identifica um conjunto de critérios dentro de um contexto

espacial. Classificar favelas é tarefa difícil em boa parte da periferia precária de São Paulo. Quando comparada com algumas regiões ricas da capital, a tendência é classificar quase tudo como favelas. O contexto adotado, neste caso, ressalta a discrepância evidente entre as duas áreas. Entretanto, quando o contexto de vizinhança considera apenas a periferia, é necessário estabelecer graus diferentes para a pobreza, conforme aponta Preteceille e Valadares (1999).

Foram estipuladas 10 classes, com possibilidades de transições de uso, para a classificação do entorno das unidades dos centros educacionais unificados: 1) vegetação arbórea, 2) uso residencial formal, 3) assentamentos urbanos precários, 4) lotes ou áreas urbanas vagas, 5) uso institucional, 6) centro educacional unificado, 7) vias pavimentadas, 8) uso industrial, 9) uso comercial e de serviços e 10) vias não pavimentadas. Outras classes foram utilizadas em casos específicos, cuja área era expressiva e não apresentaram transições dentro do período estudado, são elas: 11) represas e lagos e 12) aterros sanitários.

As variáveis explicativas utilizadas, conforme adaptação das propostas de Almeida et al. (2003), Godoy e Soares-Filho (2008) e Roy et al. (2014), foram: declividade, distância à rede não canalizada de água, densidade viária e distância à rede de transmissão de energia de média e alta tensão. Foram utilizadas também as variáveis de distância dinâmica aos usos classificados, definidas pelo cálculo da distância euclidiana a cada classe que sofre transições na simulação do modelo de autômato celular (Soares-Filho et al., 2002).

A Tabela 1 resume todas as variáveis que foram utilizadas, relacionando o tipo de dado, processamento utilizado para obtenção da informação e a fonte do dado. Todas as variáveis estão no formato matricial (raster) com células de 1m por 1m. Todas as imagens têm 4.000 linhas por 4.000 colunas, georreferenciadas em coordenadas planas do sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), no *datum* SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), zona 23S.

Tabela 1: Relação das variáveis utilizadas.

Variável	Dado	Processamento	Fonte
Uso e Ocupação ano 2000	Ortofoto de 2000 e base viária de 2000	Fotointerpretação (KOHLI <i>et al.</i> , 2012)	PMSP ¹ (2016)
Uso e Ocupação ano 2004	Ortofoto de 2004 e base viária de 2004	Fotointerpretação (KOHLI <i>et al.</i> , 2012)	PMSP ¹ (2016)
Uso e Ocupação ano 2008	Ortofoto de 2007/2008 e base viária de 2004	Fotointerpretação (KOHLI <i>et al.</i> , 2012)	PMSP ¹ (2016) EMPLASA ² (2011)
Uso e Ocupação ano 2010	Ortofoto de 2010 e base viária de 2010	Fotointerpretação (KOHLI <i>et al.</i> , 2012)	PMSP ¹ (2016) EMPLASA ² (2011)
Declividade	Isolinhas de altitude com 1m e 5m de resolução	Interpolação IDW e declividade dada pela variação de altitude (WATSON, 1985)	PMSP ¹ (2016)
Distância a hidrografia não canalizada	Base hidrográfica de São Paulo - SP	Distância euclidiana aos pixels de valor da classe (SOARES- FILHO et al., 2002)	PMSP ¹ (2016)
Densidade viária para 2000 e 2004	Base viária de São Paulo - SP	Pixels do vetor de cada via por km² (SILVERMAN, 1986)	PMSP ¹ (2016)
Distância rede de transmissão de energia de média e alta tensão	Base hidrográfica de São Paulo - SP	Distância euclidiana aos pixels de valor da classe (SOARES- FILHO et al., 2002)	PMSP ¹ (2016)

¹ PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo; ² EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano

Como são várias regiões mapeadas em São Paulo, nem todos os modelos utilizaram as mesmas variáveis explicativas. Outra consideração é quanto ao ano de construção de cada unidade dos centros educacionais unificados, pois dos 10 analisados, apenas um não teve a construção finalizada no ano de 2004. O CEU Feitiço da Vila teve a construção finalizada em 2008. Isto define delimitação diferente dos períodos e classificações de uso e ocupação do solo neste caso específico. A Tabela 2 apresenta uma padronização dos dados, mostrando as variáveis e o número de classes utilizadas para as 10 unidades.

Tabela 2: Padronização das variáveis por modelo.

nº	Nome Unidade	Densidade Viária	Declividade	Rede Energia	Rede Hidro.	Nº de Classes
1	CEU Alvarenga	Х	х		Х	10
2	CEU Butantã	Х	х	Х	Х	9
3	CEU Campo Limpo	Х	x	Х	Х	9
4	CEU Feitiço da Vila	Х	х	Х	Х	9
5	CEU Inácio Monteiro	Х	х		Х	9
6	CEU Navegantes	Х	x	Х		10
7	CEU Pêra Marmelo	Х	x	Х	Х	10
8	CEU São Rafael	Х	х		Х	9
9	CEU Parque Veredas	x	х	Х	x	9
10	CEU Paz	Х	Х		Х	10

Estas variáveis marcadas na Tabela 2 foram utilizadas para todas as transições possíveis, nos dois períodos de análise. Porém, nem todas as variáveis passam pela primeira calibração e, conforme os ajustes contínuos do modelo, é possível ter alterações quanto ao número de variáveis por tipo de transição.

No total, foram produzidos 30 mapas de uso e ocupação do solo urbano, para uma área de mais de 1.250 hectares cada, e contando com as variáveis explicativas de cada modelo, soma-se mais 32 mapas produzidos. Isto sem contar os repetidos testes não utilizados na produção dos resultados aqui apresentados. A grande quantidade de informação produzida foi exaustivamente analisada e utilizada na parametrização das regras de transição dos modelos.

5.3. Parametrização

A parametrização é a etapa que define a quantidade possível de transições no uso e ocupação do solo por tipo e a quantidade de células que podem mudar de classe, isto é, o cálculo de todas as mudanças que ocorrem no nível macro do sistema urbano. É ainda o momento em que se definem as regras locais para que uma célula mude de estado, e a probabilidade de um lugar mudar de classe. Portanto, serão utilizadas duas técnicas de parametrização. A primeira define as taxas anuais de transições, calculadas matrizes de transição, baseadas na teoria de cadeia de Markov de primeira ordem (Bell e Hinojosa, 1977). O cálculo de transições por cadeia de Markov de primeira ordem, também foi utilizado por

Almeida et al. (2003), e adaptações foram sugeridas por Godoy e Soares- Filho (2008), Basse et al. (2014), Lê et al. (2015), Ghosh et al. (2017) e Campos e Queiroz (2017).

A técnica de matrizes de transição utilizada neste trabalho foi adaptada de Almeida *et al.* (2003) e Godoy e Soares- Filho (2008). Segundo Bell e Hinojosa (1977), o cálculo das matrizes pode ser realizado conforme a Equação 4:

$$P = H V H^{-1} \quad , \tag{4}$$

em que, P é a matriz de transição do resultado da tabulação cruzada entre os mapas iniciais e finais de cada período de análise; H é o autovetor da matriz P, H^{-1} é a matriz transposta do autovetor de P, e V é a matriz de autovalor de P.

Entretanto, existe uma premissa para este processo de cálculo das taxas anuais: as matrizes devem ter propriedades ergódicas, que significa ter estados finitos de classes de uso, não ter alterações cíclicas e não possuir estados absorventes, ou seja, classes de uso e ocupação que são completamente convertidas em outras, ou então, usos e ocupações que não existem mais (Bell e Hinojosa, 1977). Quando a matriz não é ergódica, Godoy e Soares-Filho (2008) propõem uma adaptação, calculando as taxas líquidas médias a partir da taxa global de transição.

A segunda técnica de parametrização utilizada foi o cálculo dos pesos positivos de evidência, baseada no Teorema da Probabilidade Condicional de Bayes (Bonham-Carter, 1994). Várias foram as tentativas de resumir brevemente esta técnica. Aqui, será apresentada mais uma: cada peso representa a influência positiva de uma variável explicativa na transição de cada classe de uso e ocupação do solo, isto considerando a presença ou ausência da variável no local onde ocorrem as transições. Evidente que os cálculos são mais complexos que esta explicação, principalmente a forma como se processam os dados em um ambiente dinâmico, variando no tempo e no espaço.

A plataforma do Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2002) oferece o cálculo dos pesos positivos de evidência, conforme Bonham-Carter (1994), Agterberg e Bonham-Carter (1990) e Goodacre et al. (1993), reportado em Novaes (2010). Outras utilizações e formas de cálculo são encontradas em Sietchiping (2004), Thapa e Murayama (2011) e Zheng e Lv (2016). A formulação detalhada sobre o raciocínio metodológico é encontrada em Almeida et al. (2003). Novaes (2010) apresenta uma proposta mais resumida das equações e mais adaptada ao cálculo realizado pelo Dinamica EGO.

As Equações 5 e 6 estimam as probabilidades de transições locais e os pesos calculados para cada célula. Nestas equações, as variáveis explicativas, tanto estáticas quanto as dinâmicas, são divididas em intervalos discretos. Os pesos são dados para cada intervalo das variáveis. Portanto, é possível variar o peso da variável em relação aos seus intervalos discretos de distância.

$$P(T_i^{\alpha}/V_i^1, \dots, V_i^{m_{\alpha}}) = O(T_i^{\alpha}). e^{\sum_{v=1}^{m_{\alpha}} W_{i,v}^+} / 1 + \sum_{\alpha=1}^{\eta} O(T_i^{\alpha}). e^{\sum_{v=1}^{m_{\alpha}} W_{i,v}^+} , (5)$$

$$W^{+} = log_e \frac{P\{V_i/T\}}{P\{V_i/\overline{T}\}}, \qquad (6)$$

em que, P é a probabilidade de transição T de uso do solo; i corresponde às coordenadas x,y das células da matriz; α representa uma transição entre classes de usos em um total de η transições; V_i^1 a $V_i^{m_\alpha}$ são as variáveis utilizadas para explicar a transição α ; θ representa o θ 0 ou chance da transição θ 1 na i-ésima célula, expressa pela razão entre a probabilidade de ocorrência de θ 1 e a probabilidade complementar, isto é, θ 1 corresponde ao peso positivo de evidência θ 1, para a i-ésima célula referente à v-ésima variável.

Nesta aplicação, é possível que uma mesma variável possa apresentar comportamentos diferentes para explicar uma mesma transição, dependendo da modificação da configuração espacial na sequência temporal. O que demonstra a

estrita relação dos pesos de evidência com a capacidade de modificação das transições.

A Figura 13 mostra a relação entre as funções de peso de evidência para diferentes tipos de transição de uso/ocupação. No caso, são seis classes de uso/ocupação do solo, e a matriz calculou apenas transições da classe 1 para as outras. O mapa de probabilidade varia entre cores frias e quentes, e quanto mais quente, maior a probabilidade. Nota-se que há uma consideração de todas as funções de pesos de evidência para calcular a probabilidade de apenas uma transição. O número de mapas de probabilidade calculados coincide com a quantidade de transições possíveis na matriz.

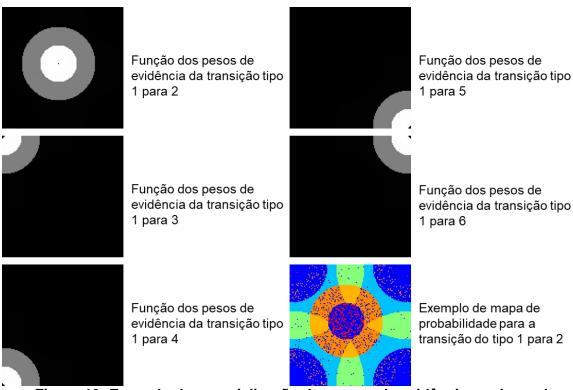


Figura 13: Exemplo de espacialização dos pesos de evidência e valores de probabilidade. Fonte: Adaptado de Soares-Filho *et al.* (2009).

5.4. Calibração

Na primeira etapa da calibração, foi calculado um índice para avaliar o grau de dependência ou associação espacial entre as variáveis utilizadas para explicar cada transição possível identificada na matriz de transição. Este é um índice proposto por Bonham-Carter (1994), para manter o pressuposto de independência das variáveis, necessário para aplicação da teoria da probabilidade condicional. O índice é denominado de Incerteza da Informação Conjunta ou, em inglês, Joint Information Uncertainty, e estipulou-se um limiar máximo de 0,5 para constatar a independência entre cada par de variáveis explicativas (também chamadas de evidências). Caso o limite seja ultrapassado, uma das variáveis deve ser retirada da análise.

As variáveis explicativas também são excluídas do modelo quando não apresentam relação direta com a transição ou quando apresentam comportamento ruidoso no cálculo da probabilidade. Quando a variável apresenta peso igual a zero no processo de discretização de variáveis contínuas, o comportamento do peso interfere no cálculo da probabilidade como um ruído.

Com as variáveis e seus respectivos pesos calibrados, é possível configurar a primeira simulação. Para tanto, é necessária a definição dos parâmetros de formação das manchas. Como os modelos funcionam em passos anuais, foram estabelecidas taxas anuais de quantidade de células que podem mudar de estado para cada tipo de uso, conforme o cálculo das matrizes de transição. A probabilidade indica onde essa transição é mais provável de acontecer. A simulação, por sua vez, estabelece onde e como as novas manchas, para cada tipo de uso, vão se formar.

A definição de onde e como as manchas serão formadas na simulação é atribuída pelas funções de alocação denominadas de patcher e expander, implementadas no Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2002). A função expander cria novas manchas para um estado ou tipo de uso apenas nas adjacências do próprio tipo, constituindo-se em um processo de expansão das manchas. A função patcher funciona como um difusor do tipo de uso, criando manchas nas adjacências de qualquer outro uso que não seja ele próprio. A quantidade total de células de

uma transição de uso, para cada passo de tempo, pode ser atribuída nas duas funções de alocação, sendo que devem ser complementares, e portanto, a soma das porcentagens de atribuição deve ser igual a 1 (Almeida e Gleriani, 2007). A Figura 14 representa uma comparação das funções de alocação de transição denominadas de *patcher* e *expander*.

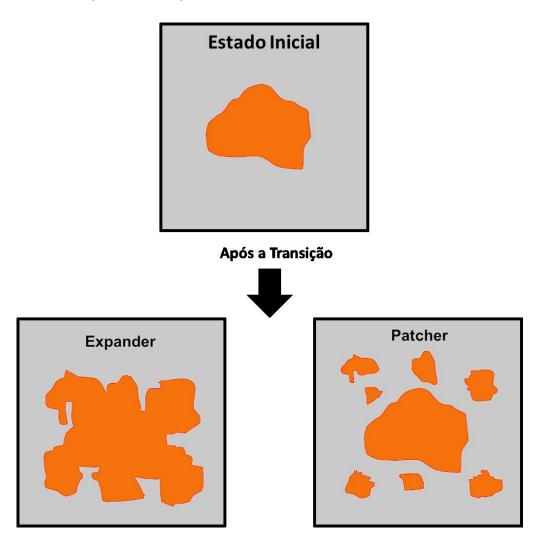


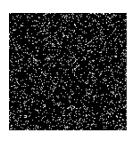
Figura 14: Comparação das funções de alocação de transições patcher e expander.

As novas manchas têm ainda a definição dos valores de tamanho médio, a variância e o índice de isometria. De acordo com Novaes (2010), estes valores, juntamente com as porcentagens das funções de alocação, podem ser obtidos de forma empírica a partir da análise das transições entre os mapas de uso observados, ou reais. Foram, então, relacionadas as áreas de cada mancha de transição entre os dois períodos de análise desta pesquisa. As áreas foram

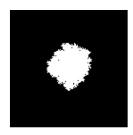
sumarizadas por tipo de transição, estabelecendo a média e a variância das manchas. Os usos do solo adjacentes a cada conjunto de manchas de um tipo de transição foram considerados para definição da função de alocação.

O índice de isometria é estabelecido em valores que variam de 0 a 2. É utilizado para multiplicar as probabilidades de transição dentro do rol de células estabelecidas pelas funções de alocação. O índice é utilizado para modificar a forma de uma mancha ou seu aspecto de agregação. Quanto mais próximo de 0, as manchas tornam-se fragmentadas ou dendríticas, e esses valores baixos de índice de isometria podem ser utilizados para formar manchas de uso linear, como uma rede viária, por exemplo. Os valores próximos a 2 tendem a gerar manchas mais compactas e regulares, como manchas que têm um formato geométrico específico, sendo que a tendência é produzir manchas de forma mais compacta, mesmo que não reproduza exatamente a forma observada (Almeida e Gleriani, 2007).

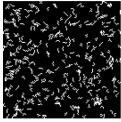
A Figura 15 representa seis situações de simulação, variando os parâmetros da função de alocação. As situações de 1 a 5 têm uma superfície de probabilidade constante, apenas um passo de tempo e um tipo de transição possível. A situação 6 tem uma superfície de probabilidade variando entre cores frias e quentes, quanto mais quente maior a probabilidade de transição, a matriz tem 15 passos de tempo e a figura mostra somente o resultado do último passo.



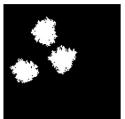
1- Não há função de alocação. Processo randômico, sem interação de vizinhança. Dinâmica controlada pela matriz de transição



4- 100% de expander, média de 1742 células, variância 0 e isometria 1,5. Uma única mancha concentrou toda a mudança.



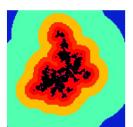
2- 100% de patcher, média de 5 células, variância 0 e isometria 0. Padrão linear.



5-80% de expander e 20% de patcher, média de 600 células, variância 0 e isometria 1,5. Novas manchas apareceram em forma concentrada.



3- 100% de patcher, média de 20 células, variância 0 e isometria 1,5. Maior concentração e menor número de manchas.



6- 80% de expander e 20% de patcher, variância 0 e isometria 2. Cores quentes maior probabilidade. As manchas surgem em função da probabilidade.

Figura 15: Exemplos de simulações variando as funções de alocação.

Fonte: adaptado de Soares-Filho et al. (2009).

5.5. Simulação

O modelo de simulação do processo dinâmico de transição do uso e ocupação do solo empregou uma lógica de procedimentos, que utilizam os dados produzidos e os parâmetros calculados, para sair de um estado inicial observado e produzir estados cronológicos sequenciais simulados a partir de um conjunto de regras que fazem emergir padrões similares à realidade. Os autômatos celulares são utilizados na simulação, pois permitem uma análise da trajetória do dado ou da informação. Esta metodologia foi adaptada de Almeida et al. (2003), Soares-Filho et al. (2006) e Li et al. (2008).

Nesta simulação, um mapa de uso e ocupação do solo vai ser gerado para cada ano, entre os anos 2000 e 2010. O modelo de simulação parte do estado inicial, o mapa de uso e ocupação do ano 2000, que segue uma atualização a cada passo de tempo, em um mapa dinâmico que acumula as modificações ocorridas, conforme os tipos e taxas anuais de transição presentes na matriz decomposta. As regras para transição de um estado para outro são estabelecidas pelos mapas de

probabilidade. Um novo mapa de uso e ocupação do solo, referente ao ano de implantação do centro educacional unificado, é inserido para que as modificações passem a ser acumuladas neste novo mapa. Novos pesos e outra matriz de transição também são inseridos, definindo, portanto, os dois períodos de análise ou os dois modelos de simulação implantados para cada unidade destes equipamentos públicos.

As variáveis explicativas dinâmicas, ou seja, que também variam ao longo do tempo, são atualizadas na simulação. A cada passo de tempo, a organização do tecido urbano se altera e, assim, novas malhas de distância aos usos devem ser recalculadas. Os pesos e intervalos de discretização das variáveis dinâmicas permanecem os mesmos nos dois períodos de análise.

Na simulação, ocorre também um sorteio de células sementes para a varredura das funções de alocação patcher e expander. O sorteio consiste em determinar um valor randômico entre 0 e 255, a mesma resolução de valores que tem o mapa de probabilidade, e comparar com uma lista dos valores de probabilidade das áreas de possíveis de ocorrer a transição. Caso o valor randômico da célula semente for menor que o valor de probabilidade, então ocorre a transição de uso. Senão, um novo sorteio é realizado para a célula seguinte, e assim por diante. A formação da mancha ocorre a partir desta célula semente, considerando as probabilidades das vizinhas. A quantidade de células que mudam de estado em cada mancha também é limitada por um valor randômico da distribuição lognormal, estipulada pela média e variância de cada tipo de mancha (Almeida et al., 2007).

Esta propriedade randômica do modelo incide na obtenção de diferentes configurações espaciais a cada vez em que é processado, sem a necessidade de alteração dos parâmetros e do estado inicial. A simulação de sistemas complexos não pode prever ou representar com exatidão a realidade. Assim como um espelho, o reflexo sempre vai apresentar distorções. Outro senão, pode ser destacado por processos de organização do espaço, encontrados entre duas cidades com características semelhantes. Apesar de parecidas, nunca serão a mesma.

A Figura 16 é um exemplo de simulação em um único período de análise. São considerados os mapas de probabilidade que foram gerados na relação dos pesos de evidência expostos na Figura 15. A simulação tem 10 passos de tempo e a Figura 16 mostra o primeiro e o último. Não foi utilizada nenhuma das funções de alocação, mas a média é igual e a 1 a variância é igual a 0 Fica visível o padrão de cores em função da probabilidade (classe 1 = branca, classe 2 = verde, classe 3 = vermelha, classe 4 = amarela, classe 5 = azul, e classe 6 = rosa).

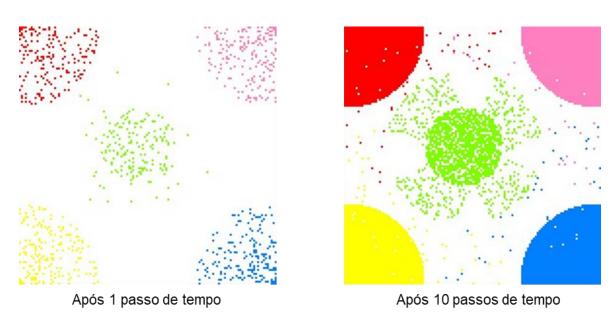


Figura 16: Exemplo de simulação com diferentes tipos de transições.

Fonte: Soares-Filho *et al.* (2009).

5.6. Validação

A validação é a etapa na qual o modelo é comparado com a realidade observada. A comparação não necessariamente deve resultar em um atestado de exatidão. Deve antes estabelecer um grau de confiança ou de similaridade entre os resultados (Hagen, 2003). Conforme apresentado anteriormente, não se objetiva aqui representar com perfeição o uso e ocupação do solo enquanto um recorte estático da realidade. O interesse está na possibilidade de reconhecer como funcionam os processos de formação desta organização espacial e qual a relação com a inserção de importantes intervenções na paisagem urbana.

Portanto, a técnica utilizada para validar o grau de assertividade dos modelos produzidos foi a proposta por Hagen (2003). Entre outras possibilidades, esta técnica permite estabelecer uma medida de semelhança entre dois mapas de uso e ocupação do solo, considerando um contexto de vizinhança local e não apenas uma comparação célula a célula. Este método é baseado no conceito denominado de fuzziness of location, que prevê um grau de pertinência a um determinado estado, em uma janela de vizinhança. O resultado da validação em valores graduados auxilia também na calibração do modelo. Como é possível saber onde ocorrem mais erros ou mais acertos, os parâmetros podem ser calibrados seguindo esta métrica.

Entretanto, apenas são consideradas as células que sofreram mudança entre os passos de tempo, retratadas nos chamados mapas diferença, resultantes, de um lado, da subtração entre o mapa final real e o mapa inicial real (mapa A), e de outro, da subtração entre o mapa final simulado e o mapa inicial real (mapa B). Assim, é possível uma comparação em dois sentidos, o mapa A em relação ao mapa B, como também o mapa B em relação ao mapa A, gerando valores máximos e mínimos de similaridade que raramente coincidem. O grau de similaridade é um valor que varia entre 0 e 1, e pode ser calculado com um decaimento exponencial, conforme a função 2-d/2, em que d é a distância entre os centroides das células. As janelas de varredura podem variar entre 1x1 e 11x11 células.

Esta forma de comparação ressalta, antes da exatidão, a tendência de acerto do modelo. Entretanto, existe a necessidade de estabelecer um limiar de confiança na aderência do modelo. De acordo com a literatura utilizada, cada modelo é um caso, haja vista a possibilidade de maior ou menor heterogeneidade nas transições, o objetivo do modelo e a qualidade dos dados (Hagen, 2003; Almeida et al., 2007). Foi utilizada nesta pesquisa uma margem maior que 0,4 no índice de similaridade para indicar uma satisfatoriedade no ajuste do modelo.

A Figura 17 apresenta algumas situações de comparação entre células, considerando o conceito de incerteza de localização (fuzziness of location). É possível perceber o efeito gerado pela consideração apenas das células que sofreram mudança de estado entre o mapa inicial observado e os dois mapas finais

(observado e simulado). O decaimento em função da distância também é exemplificado com clareza.

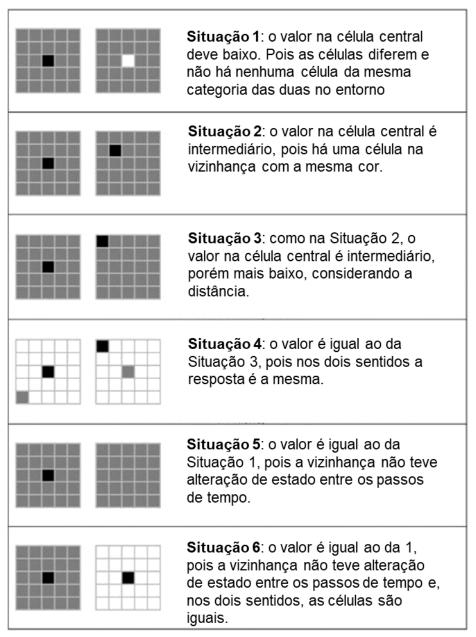


Figura 17: Situações de comparação de células, considerando o conceito de *fuzziness of location*.

Fonte: Adaptado de Hagen (2003).

Para agregar o índice de similaridade fuzzy, foi realizada uma validação do aspecto morfológico das manchas geradas. Este procedimento de inspeção e acurácia visual garante que, mesmo com altos valores de similaridade, o resultado alcance maior representatividade.

6. Resultados e Discussões

Como cada etapa da metodologia descrita no Capítulo 3 tem resultados diferentes, a estrutura deste capítulo segue a mesma proposta de sequência para apresentação e discussão desses resultados. Inicialmente, foram feitas considerações sobre os dados produzidos e utilizados nos modelos. Em seguida, os resultados da parametrização, calibração e validação foram descritos. Por fim, as simulações foram comparadas e os padrões espaciais ressaltados na discussão.

Para cada simulação, considerando os dois períodos de análise, é possível elencar uma infinidade de resultados. Somando os mapas simulados de uso e ocupação do solo e os mapas de probabilidades, foram gerados 20 mapas para cada unidade dos centros educacionais unificados, totalizando 200 mapas. Quando são incluídos os resultados das matrizes de transição, pesos de evidência e índices de similaridade, tem-se um universo de análise muito amplo.

Portanto, a apresentação dos resultados seguiu uma divisão entre dados gerais e específicos. Os primeiros referem-se aos resumos comparativos entre todas as unidades dos centros educacionais unificados, contextualizados em uma análise de escala regional da periferia de São Paulo. Os dados específicos são relativos a cada unidade. Porém, foi utilizado preferencialmente a unidade do CEU Paz para exemplificar as possibilidades de análise em escala local, fato que não impediu de apresentar dados específicos de outras unidades para retomar a discussão sobre a influência deste equipamento público na organização do espaço urbano.

6.1. Classificação do Uso e Ocupação do Solo

A primeira consideração a se fazer sobre a classificação do uso e ocupação do solo e a produção dos dados é relacionada à classificação das imagens utilizadas para delimitação dos usos e ocupações do solo. A metodologia de classificação a partir de critérios hierárquicos teve que ser adaptada a cada unidade, pois as mesmas classes uso não possuem os mesmos critérios em toda a periferia de São Paulo.

A Figura 18 e a Figura 19 representam uma análise em várias escalas das classes de uso residencial, com os limites representados na cor vermelha, e assentamentos urbanos precários na cor verde, em uma fotografia aérea do ano de 2004 para a unidade do CEU Alvarenga. Na escala de mais detalhes, é possível perceber os critérios utilizados para definição do nível de objeto, como os tipos de telhados, divisão de lotes, presença ou ausência de vegetação, quantidade de caixas d'água, espaços vazios ou vãos entre as coberturas. No caso da classe residencial, é perceptível, de uma forma bem objetiva, a divisão quase regular de lotes, todos com a mesma orientação e formato de cobertura. Para os assentamentos precários, a divisão é mais subjetiva, uma vez que se estabelece quase um contínuo de telhados, postos aleatoriamente em várias alturas, materiais e formatos.

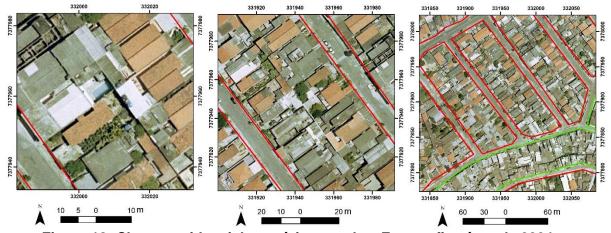


Figura 18: Classe residencial em várias escalas. Fotografia aérea de 2004.

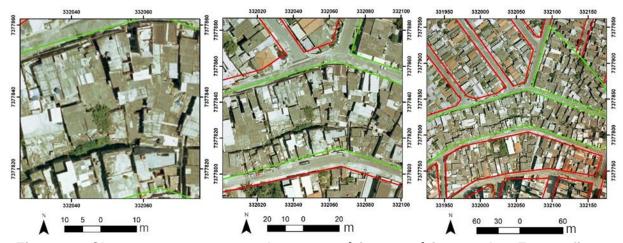


Figura 19: Classe assentamentos urbanos precários em várias escalas. Fotografia aérea de 2004.

Na escala intermediária, os acessos à rede viária ficam evidentes em cada classe e ressaltam o padrão de densidade de construções, a homogeneidade ou heterogeneidade de formatos e materiais quando definem as divisões de quadras ou quarteirões. Para a classe residencial, mesmo que o tipo de material mude, há uma uniformidade de acesso à rede viária e de formato, tanto dos lotes quanto dos telhados. Nessa escala intermediária, um vão linear demarca uma divisão na classe dos assentamentos precários, podendo-se inferir sobre a existência de uma drenagem ou canal aberto.

A escala mais geral auxilia a estabelecer critérios comparativos entre as classes de uso. É possível perceber uma divisão mais regular de quadras, cujos lotes têm acesso à rede viária nos polígonos delimitados como uso residencial. Os assentamentos urbanos precários possuem polígonos maiores e não seguem uma regularidade na forma, podem estar anexos a outras classes de uso e interrompem a linearidade das vias ou de um fluxo de acesso. Esta mesma análise é possível para as outras classes de uso, variando os critérios e as possibilidades comparativas.

A Figura 20 apresenta uma comparação dos critérios de classificação da classe de uso assentamentos urbanos precários, na escala intermediaria, em três unidades dos centros educacionais unificados, o CEU Paz, o CEU Navegantes e o CEU Butantã. No primeiro, há uma variação no tipo de autoconstrução em função da declividade, e quase não existem construções em alvenaria. No CEU Navegantes, existem acessos mais definidos, mas todos não pavimentados. No último caso, é possível notar uma grande concentração de autoconstruções, porém com maior regularidade de materiais. Esta variação de critérios demonstra a existência de diferentes níveis de pobreza, como aborda Preteceille e Valadares (1999).

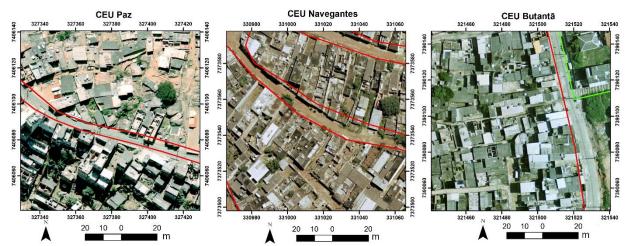


Figura 20: Comparação para a classe assentamentos urbanos precários. Fotografia aérea de 2004.

A Figura 21 é uma comparação de áreas classificadas como uso residencial. Foram utilizadas as mesmas três unidades dos centros educacionais unificados e a mesma escala da Figura 20. Mesmo apresentando uma maior regularidade no acesso às redes viárias, no formato e nos materiais utilizados, fica claro, também nesta comparação, a variação no padrão da mesma classe de uso, o que ressalta as diferenças regionais dos locais de implantação das unidades deste equipamento público. O CEU Butantã tem um destaque quanto ao padrão luxuoso de residência, quando comparado com os demais. Mesmo dentro do raio de análise desta unidade, é possível perceber o contraste entre os critérios para áreas residenciais, mas não justifica a criação de uma nova classe de uso.

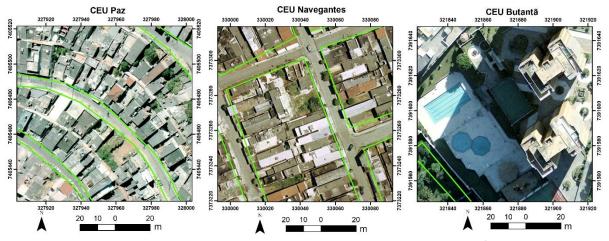


Figura 21: Comparação para a classe uso residencial. Fotografia aérea de 2004.

Outra consideração a ser feita quanto à produção dos dados é acerca dos usos do solo específicos encontrados em algumas das unidades estudadas. São duas as classes com maior expressividade, o reservatório de água denominado de Billings, presente no raio de análise das unidades CEU Navegantes e CEU Alvarenga. A área da represa na unidade Alvarenga representa 13,2% da área total do raio de análise, enquanto na unidade Navegantes a área da represa abrange 47,1% do total, o que reduz muito a possibilidade de expansão horizontal do tecido urbano. Outro uso específico é o aterro sanitário Bandeirantes, que está próximo à unidade CEU Pêra Marmelo, cuja representatividade é de 5,3% da área total do raio de análise, sendo que as atividades envolvidas com o aterro criam limitações ao uso no entorno, como a produção de chorume e gás metano. A Figura 22 mostra a classe de uso do solo Represa das unidades CEU Navegantes e CEU Alvarenga, sobre a fotografia aérea do ano de 2010.

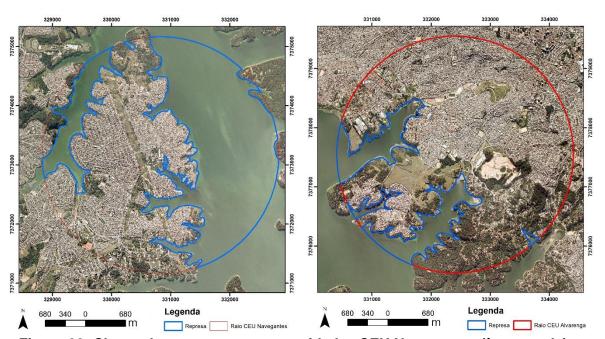


Figura 22: Classe de uso represas nas unidades CEU Navegantes (à esquerda) e CEU Alvarenga (à direita).

Dos resultados da primeira etapa da metodologia, foi possível ainda extrair uma sumarização da classificação do uso e ocupação do solo urbano de todas as unidades dos centros educacionais unificados que foram estudadas. A Tabela 3 apresenta o total em hectares para cada classe de uso por ano classificado. A porcentagem é referência ao total de área, considerando todos os 10 raios de 2 km.

No total, foram classificados 38.033 hectares nos três anos, e cada ano representa cerca de 8% da área total do município de São Paulo.

Tabela 3: Totais em hectares por classe de uso e por ano.

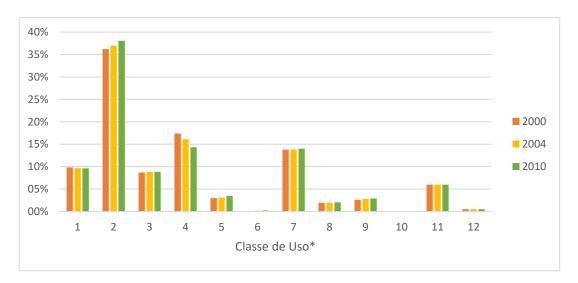
Classe	Uso do Solo	Ano 2000	%	Ano 2004*	%	Ano 2010	%
1	Vegetação Arbórea	1244,273	9,8%	1223,675	9,7%	1219,726	9,6%
2	Residencial Formal	4589,627	36,2%	4686,644	37,0%	4826,524	38,1%
3	Assentamentos Urbanos Precários	1103,441	8,7%	1121,852	8,8%	1118,782	8,8%
4	Áreas Urbanas Vagas	2204,240	17,4%	2044,528	16,1%	1815,826	14,3%
5	Institucional	375,885	3,0%	390,102	3,1%	442,759	3,5%
6	Centro Educacional Unificado	0,000	0,0%	25,449	0,2%	27,178	0,2%
7	Vias Pavimentadas	1750,300	13,8%	1753,123	13,8%	1775,882	14,0%
8	Industrial	246,291	1,9%	250,619	2,0%	258,176	2,0%
9	Comercial e Serviços	332,753	2,6%	353,755	2,8%	367,125	2,9%
10	Vias Não Pavimentadas	5,913	0,0%	3,094	0,0%	0,950	0,0%
11	Represas	758,452	6,0%	758,452	6,0%	758,452	6,0%
12	Aterros Sanitários	66,403	0,5%	66,403	0,5%	66,403	0,5%

^{*} O CEU Feitiço da Vila foi construído em 2008.

Na Tabela 3, é possível perceber a predominância do uso residencial formal no entorno das unidades classificadas. A somatória das classes vegetação arbórea, residencial formal, assentamentos urbanos precários, áreas urbanas vagas e vias pavimentadas representa quase 85% do total. As principais variações em área foram constatadas para os usos residencial formal, vegetação arbórea e áreas urbanas vagas. O primeiro uso do solo aumentou, enquanto os outros dois diminuíram, fato que pode induzir na expansão horizontal da cidade, rompendo inclusive limites de áreas de vegetação.

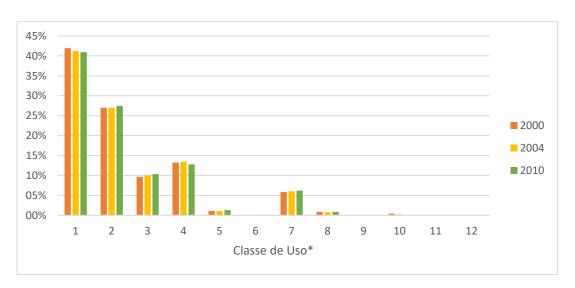
Entretanto, estes recortes estáticos não refletem a dinâmica real de modificação de áreas consideradas instáveis quanto às transições de usos e ocupações do solo urbano. A impressão que fica com pequena variação em algumas classes de uso, como os assentamentos urbanos precários, é que não há modificações significativas, isto é, que não ocorreram transições envolvendo este uso, mas as afirmações de crescimento expressivo de domicílios favelados, conforme Davis (2006) e Pasternak e Bógus (2011), contradizem esse resultado.

A Figura 23 e a Figura 24 reforçam as constatações sobre as variações nas classes de uso e expressam gráficos dos percentuais de cada classe, no qual cada série representa um ano classificado. A Figura 23 considera os percentuais em relação à área total das 10 unidades dos centros educacionais unificados, e a Figura 24, apenas do CEU Paz. As classes de uso estão representadas por números, conforme descrito na Seção 3.2 e na Tabela 3.



^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

Figura 23: Gráfico dos totais por classe de uso para todas as unidades.



^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

Figura 24: Gráfico dos totais por classe de uso para a unidade CEU Paz.

Na Figura 23, as modificações na classe de uso "assentamentos urbanos precários" já são perceptíveis. É compreensível, portanto, que a dinâmica envolvida na transformação do tecido urbano não é representável por estes recortes estáticos. As transições que envolvem a expansão e a retração de uma classe não são constatadas em valores finais de um processo, mas sim na trajetória que origina o resultado.

6.2. Matriz de Transição

As matrizes de transição oferecem uma solução para a necessidade de uma análise que envolve trajetória de um dado, pois determinam os sentidos de modificação entre todas as classes de uso e ocupação do solo urbano. Estabelecem ainda taxas anuais entre os períodos de análise e possibilitam a verificação de variações.

As Tabelas 4 e 5 representam uma contagem de todas as transições possíveis para o entorno de todas as unidades dos centros educacionais unificados. A Tabela 4 é referente às transições do 1º período, entre os anos 2000 e 2004 (2008 para o CEU Feitiço da Vila), e a Tabela 5, para o 2º período, entre os anos 2004 (2008 para o CEU Feitiço da Vila) e 2010. A contagem significa que, por exemplo, na Tabela 4 foram contabilizadas possibilidades de transições de assentamentos urbanos precários para áreas residenciais formais em 4 das 10 unidades dos centros educacionais unificados. Portanto, é possível comparar a quantidade de possibilidades de transições entre os períodos.

Tabela 4: Contagem das transições possíveis para o 1º período.

							Pa	ıra				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	Vegetação Arbórea		1	3	2		1				
	2	Residencial Formal										
De	3	Assentamentos Urbanos Precários		4		3						
De	4	Áreas Urbanas Vagas		8	9		8	10		2	9	
	5	Institucional										
	6	Centros Educacionais Unificados										

7	Vias Pavimentadas						
8	Industrial		1				
9	Comercial e Serviços						
10	Vias Não Pavimentadas				1		

Tabela 5: Contagem das transições possíveis para o 2º período.

					Pa	ara (ı	uso (de de	estin	o)		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	Vegetação Arbórea		1	3	2						
	2	Residencial Formal				1	1					
(n	3	Assentamentos Urbanos Precários	1	8		8						
origem)	4	Áreas Urbanas Vagas	1	10	9		9	1		3	7	
de or	5	Institucional		1								
	6	Centros Educacionais Unificados										
osn) a	7	Vias Pavimentadas										
De	8	Industrial				1						
	9	Comercial e Serviços		2		4						
	10	Vias Não Pavimentadas							1			

Na Tabela 4, foram contabilizadas 62 possibilidades de transições para todas as unidades, enquanto a Tabela 5 soma um total de 74 possibilidades de transições, isso considerando as transições de qualquer uso para qualquer outra classe contida na área de influência dos centros educacionais unificados. Sem estas transições, o aumento seria de 22 possibilidades e não 12. Este aumento mostra uma maior dinâmica de modificações no 2º período de análise.

As principais variações são em relação às classes de uso residencial formal, áreas urbanas vagas e assentamentos urbanos precários, o que pode indicar uma relação subjetiva entre mercado formal e informal imobiliário no crescimento horizontal urbano da periferia de São Paulo, conforme abordado por Ribeiro (2012) e Santos (2015).

Existe um aumento considerável de transições de assentamentos urbanos precários para domicílios residenciais formais e para áreas vagas, o que demonstra um aumento de processos de urbanização de favelas e ou remoções deste tipo de

domicílio. Porém, as possibilidades de transições de qualquer uso para assentamentos urbanos precários continuam as mesmas. Outra variação que se destaca é o aumento de possibilidades de transições de áreas urbanas vagas para uso residencial formal, indicando a expansão horizontal da cidade.

A Tabela 6 apresenta as taxas anuais de transição, em percentagem, de qualquer classe de uso para assentamentos urbanos precários, para todas as unidades que apresentaram estas possibilidades de transição. As taxas são apresentadas para os dois períodos de análise e, para as possibilidades que se repetem nos dois períodos, foi feita a razão para cálculo do aumento ou diminuição da taxa.

Tabela 6: Razão entre os períodos das taxas anuais de transições para assentamentos urbanos precários.

1º Período

1- 1-	Houc	<u> </u>		
Modelo	De	Para	Taxa	
CEU Butantã	4	3	0,006825545	
CEU Campo Limpo	4	3	0,002234431	
CEU Feitiço da Vila*	1	3	0,006436147	
CEU Feitiço da Vila*	4	3	0,003513409	
CEU Inácio Monteiro	4	3	0,001748887	
CEU Navegantes	4	3	0,001208378	
CEU Pêra Marmelo*	1	3	0,00267119	
CEU Pêra Marmelo	4	3	0,001047128	
CEU São Rafael	4	3	0,003554723	
CEU Parque Veredas	4	3	0,001028954	
CEU Paz	1	3	0,000898748	
CEU Paz	4	3	0,00509218	
2º Pe	ríodo)		
Modelo	De	Para	Taxa	Taxa 2º/ Taxa 1°
CEU Alvarenga*	1	3	0,003233128	
CEU Alvarenga*	4	3	0,004260113	
	4	<u>ى</u>	0,007200113	
CEU Butantã	4	3	•	0,303178366
CEU Butantã CEU Campo Limpo		3	*	0,303178366 11,53894349
	4	3	0,002069358	11,53894349
CEU Campo Limpo	4	3 3	0,002069358 0,025782971	
CEU Campo Limpo CEU Inácio Monteiro	4 4 4	3 3	0,002069358 0,025782971 0,002662568	11,53894349 1,522435331
CEU Campo Limpo CEU Inácio Monteiro CEU Navegantes	4 4 4 4	3 3 3 3	0,002069358 0,025782971 0,002662568 0,001347372 0,000355523	11,53894349 1,522435331 1,115024578
CEU Campo Limpo CEU Inácio Monteiro CEU Navegantes CEU Pêra Marmelo	4 4 4 4 4	3 3 3 3 3	0,002069358 0,025782971 0,002662568 0,001347372 0,000355523	11,53894349 1,522435331 1,115024578
CEU Campo Limpo CEU Inácio Monteiro CEU Navegantes CEU Pêra Marmelo CEU São Rafael*	4 4 4 4 1	3 3 3 3 3	0,002069358 0,025782971 0,002662568 0,001347372 0,000355523 0,001541513 0,007773521	11,53894349 1,522435331 1,115024578 0,133095478

 CEU Paz
 4
 3
 0,007266617
 1,427014979

*Possibilidades de transições que não se repetem entre os períodos.

Os valores abaixo de 1 na divisão entre as taxas demonstram uma redução entre os períodos, enquanto os valores acima de 1 representam o quanto a taxa aumentou. Portanto, é notório o aumento na taxa em 6 casos das 9 possibilidades de transições. No CEU Campo Limpo, a taxa anual de transição de áreas urbanas vagas para favelas foi mais de 11 vezes maior no 2º período, sendo que no CEU Parque Veredas o mesmo tipo de transição teve a taxa anual mais de 5 vezes maior no 2º período.

Nos CEUs Butantã e Pêra Marmelo, os assentamentos urbanos continuaram a ocupar áreas urbanas vagas, mas a taxa foi menor no 2º período, mais de 3 vezes menos para ambas unidades. Cabe ressaltar que, para estas duas unidades, o percentual de domicílios favelados em relação à área total, no ano 2000, era respectivamente de 4,2% e 2,5%, e em 2010, os percentuais foram 4,3% e 1,9%, respectivamente. A média deste uso do solo, para as 10 unidades, era de 8,7%.

Para os casos em que a taxa anual de variação aumentou no 2º período, o percentual de assentamentos precários em relação à área total era próximo ou acima da média, conforme Tabela 3. Esta constatação indica que a organização espacial inicial pode de fato modificar o comportamento ou a influência de uma variável intermitente. A resposta com a implantação dos centros educacionais unificados pode ter uma relação direta com o grau de vulnerabilidade e precariedade do local da periferia onde cada unidade foi implantada.

Estas variações nas taxas anuais entre os períodos demonstram ainda que, apesar dos valores absolutos em área, para a classe de assentamentos urbanos precários das 10 unidades continuar praticamente constante, existe uma intensidade maior na transformação do tecido urbano após o ano de construção das unidades dos centros educacionais unificados. Isto porque a resultante do processo considera também os domicílios favelados que foram urbanizados e ou removidos. Assim, fica clara a necessidade de considerar a dinâmica de transição do uso e ocupação do solo também na dimensão espacial.

As Tabelas 7 e 8 apresentam as taxas anuais das matrizes de transições de múltiplos passos, em porcentagem, para a unidade do CEU Paz. A Tabela 7 contém as taxas do 1º período, e a Tabela 8, as taxas do 2º período. Apesar de ser possível visualizar que existem modificações nos valores das taxas e nas possibilidades de transições, fica difícil de se elencar justificativas para tal com a representação dos valores em percentagens.

Tabela 7: Matriz de múltiplos passos do 1º período do CEU Paz.

						Pa	ıra		
		Área ha em 2000		2	3	4	5	7	8
	Vegetação Arbórea	5737,81	1		0,00089	0,00271	0,00064		
	Residencial Formal	3692,02	2						
	Assentamentos Urbanos Precários	1320,20	3	0,00085					
	Áreas Urbanas Vagas	1809,80	4		0,00509		0,00043		0,00044
De	Institucional	151,68	5						
	CEU	0,00	6						
	Vias Pavimentadas	796,92	7						
	Industrial	119,74	8			0,03456			
	Comércio e Serviços	0,00	9						
	Vias Não Pavimentadas	59,13	10					0,14914	

Tabela 8: Matriz de múltiplos passos do 2º período do CEU Paz.

						Pa	ıra		
		Área ha em 2004		2	3	4	5	7	8
	Vegetação Arbórea	5640,71	1		0,00085	0,00030			
	Residencial Formal	3696,61	2						
	Assentamentos Urbanos Precários	1373,22	3	0,00283		0,00525			
	Áreas Urbanas Vagas	1843,80	4	0,00322	0,00727		0,00219		0,00302
De	Institucional	151,68	5						
	CEU	17,97	6						
	Vias Pavimentadas	825,11	7						
	Industrial	104,02	8			0,03265			
	Comércio e Serviços	3,24	9						
	Vias Não Pavimentadas	30,94	10					0,17865	

A Tabela 9 representa a variação das taxas anuais entre o 1º e o 2º período, em hectares, para a unidade do CEU Paz. Nesta representação das taxas anuais

em área, torna-se mais clara a dimensão dessa transformação, pois é possível se ter uma ideia da quantidade em relação ao total. Esta matriz de múltiplos passos mostra que na escala local também é constatada uma variação nas principais taxas de transição após a implantação do equipamento público, para mais ou para menos.

Apesar de as outras possibilidades de transições apresentarem variações entre os períodos, não há como considerar que são tão abruptas quanto as principais. As transições para as classes de usos do solo institucional, industrial, comercial e serviços mantiveram uma constância na quantidade de possibilidades de transição, conforme Tabela 5, e as taxas locais do CEU Paz mostram que, apesar de existir uma variação entre os períodos, a mesma não ocorre de forma intensa para essas classes.

Tabela 9: Matriz de transição com taxas anuais em hectares para o CEU Paz.

									Pa	ra*							
		2	2	;	3	4	1		5	6		7	7		3	9	•
			2º	10	20	1º	2º	1º	2º	10	2º	1º	2º	10	2º	1º	2º
	1			5,2	4,8	15,6	1,7										
	3	1,1	3,9			0,0	7,2										
De*	4	0,0	5,9	9,2	13,4			0,0	4,0	0,8				0,0	5,6	0,8	
	8					4,1	3,4										
	10											8,8	5,5				
	Total	1,1	9,8	14,4	18,2	19,7	12,3	0,0	4,0	0,8	0,0	8,8	5,5	0,0	5,6	0,8	0,0
	2º/1°	8,	69	1,:	27	0,0	63			·		0,	63				·

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços e 10- vias não pavimentadas.

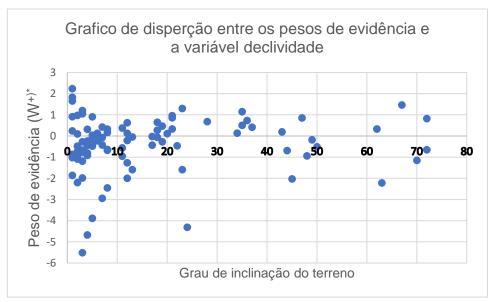
As classes de uso residencial formal, áreas urbanas vagas e assentamentos urbanos precários são as que apresentam uma importância maior em relação as outras transições pelos valores das taxas de variação. Porém, para este caso específico, a classe vegetação arbórea tem valores altos na transição para áreas urbanas vagas, indicando um processo de desmatamento acentuado no 1º período. Esta classe de uso representava mais de 41% da área do raio de análise do CEU Paz, sendo que a média deste uso para as 10 unidades é de 9,8%. Existem também ocupações de domicílios favelados em áreas de vegetação arbórea e sobre áreas

vagas a uma taxa anual de 18,2 ha. O aumento da taxa de expansão dos assentamentos urbanos precários foi mais de 27% entre os períodos.

6.3. Probabilidades de Transição

O cálculo dos pesos de evidência leva em consideração a relação espacial existente entre as variáveis explicativas e a variável dependente, e os parâmetros são calculados para os diferentes tipos possíveis de transições do uso e ocupação do solo. Como os pesos foram calculados para cada modelo e entre cada período de análise, a relação espacial tem um peso que se torna local, ou seja, próprio para cada célula do raio de abrangência dos centros educacionais unificados e para cada período.

Portanto, a análise de um padrão regional a partir dos valores dos pesos de evidência, neste caso não é possível. A comparação dos pesos de uma única variável para uma mesma transição de uso, considerando, porém, todas as unidades dos centros educacionais unificados, apresentou um comportamento que pode ser classificado como aleatório. A Figura 25, que representa um gráfico de dispersão entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, demonstra tal comportamento aleatório. Foi considerada neste gráfico a possibilidade de transição de áreas urbanas não ocupadas para domicílios favelados de todos os modelos, no 2º período de análise (2004- 2010).

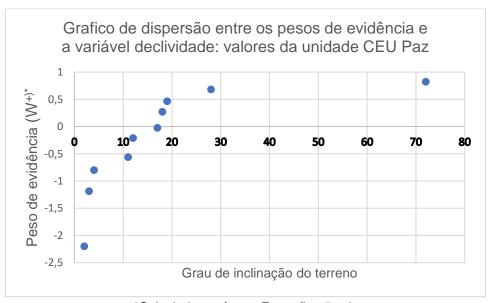


*Calculado conforme Equações 5 e 6.

Figura 25: Gráfico de dispersão entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno na transição de áreas urbanas não ocupadas para domicílios favelados, para o período de 2004 a 2010, de todas as unidades.

É praticamente impossível perceber uma tendência na variação entre os dados apresentados, cuja nuvem de pontos não apresenta uma relação com o grau de declividade do terreno. Apenas é possível determinar que existem mais pontos negativos de pesos de evidência, ou de baixo valor, nas faixas do eixo de declividade que indicam áreas planas, até 10°. Quanto maior a declividade, menos pontos negativos de peso de evidência.

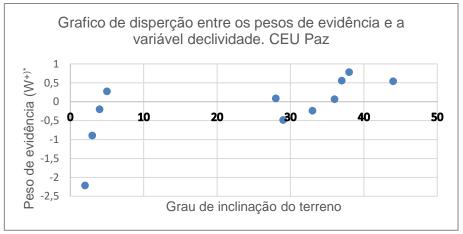
No entanto, quando se amplia a observação para a escala local, é possível determinar comportamentos dos pesos de evidência em função da dimensão espacial. Por exemplo, a Figura 26 apresenta um gráfico com a mesma relação de dispersão, entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, porém agora para a transição da classe de áreas urbanas não ocupadas para domicílios favelados de uma única unidade dos centros educacionais unificados, o CEU Paz.



*Calculado conforme Equações 5 e 6.

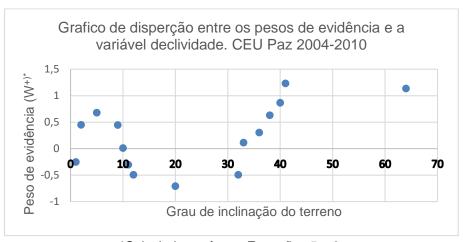
Figura 26: Gráfico de dispersão do CEU Paz, entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, na transição de áreas urbanas não ocupadas para domicílios favelados, para o período de 2004 a 2010.

Neste caso, fica mais clara a relação de variação dos pesos de evidência em função do grau de inclinação do terreno. Para a região do entorno do CEU Paz, existe uma maior influência de área com altos valores de inclinação, acima de 20°, na transição de áreas urbanas não ocupadas para assentamentos urbanos precários, no período após a construção do equipamento público. Esta forma de análise também é possível na comparação do comportamento de uma mesma variável para os dois períodos. A Figura 27 e a Figura 28 representam os gráficos de dispersão entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, calculados para a transição de assentamentos urbanos precários para áreas residenciais formais, sendo a Figura 27 referente ao 1º período (2000-2004) e a Figura 28 para o segundo (2004-2010).



*Calculado conforme Equações 5 e 6.

Figura 27: Gráfico de dispersão do CEU Paz, entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, na transição de domicílios favelados para áreas residenciais formais, para o período de 2000 a 2004.

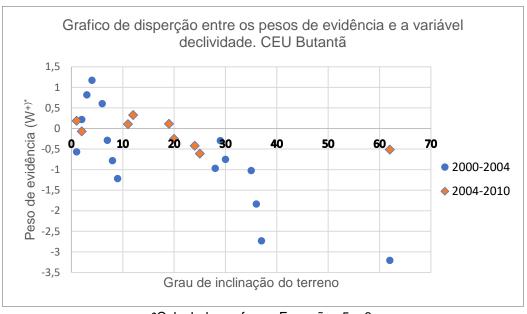


*Calculado conforme Equações 5 e 6.

Figura 28: Gráfico de dispersão do CEU Paz, entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, na transição de domicílios favelados para áreas residenciais formais, para o período de 2004 a 2010.

Na comparação das duas figuras, é notável a variação no comportamento da influência da mesma variável neste tipo de transição do uso do solo. No 1º período, Figura 26, há uma maior influência de processos de urbanização de assentamentos urbanos precários em áreas com maiores declividades. No 2º período, Figura 28, o comportamento para áreas íngremes continua semelhante, mas observa-se também uma alteração na influência de área planas, com declividades até 10º, na modificação de domicílios favelados para residenciais formais.

A Figura 29 mostra uma comparação do comportamento da variável declividade na explicação da transição de áreas urbanas vagas para residenciais formais, entre os dois períodos de análise da unidade CEU Butantã. O gráfico de dispersão entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, composto de duas séries, demonstra que, apesar de haver uma modificação dos valores dos pesos, o comportamento da variável é semelhante entre os períodos. Para ambos os períodos, há uma influência maior de áreas menos inclinadas na expansão horizontal formal da cidade.



*Calculado conforme Equações 5 e 6.

Figura 29: Gráfico de comparação dos períodos entre os pesos de evidência e as classes de declividade do terreno, na transição de áreas urbanas vagas para residenciais formais, para o CEU Butantã.

Nem todas as variáveis são passíveis de serem analisadas a partir dos seus valores de pesos de evidência, pois algumas transições ocorrem em faixas ou classes especificas das variáveis explicativas. Estas especificidades têm relação com a dimensão espacial quando todo o conjunto de variáveis é considerado e, quando isto acontece, não é possível utilizar somente esta variável para a análise do comportamento.

A espacialização dos pesos positivos de evidência é a consideração de todo o conjunto de variáveis explicativas e ocorre através dos mapas de probabilidade. Os mapas de probabilidade são calculados para cada transição, mas já não é possível separar o comportamento de uma única variável. Outro detalhe é que a probabilidade também é calculada em escala local, a partir da organização espacial do entorno de cada centro educacional unificado, mas como todas as variáveis são consideradas, a comparação entre unidades torna-se possível no estudo de comportamento para padrões de transição.

A Figura 30 apresenta uma comparação entre os períodos da probabilidade de transição de áreas urbanas vagas para assentamentos urbanos precários que ocorreram no entorno do CEU Paz. Neste caso, duas considerações são possíveis, a primeira, quanto à dispersão das manchas de probabilidade, e a segunda, quanto à localização. No 1º período, é possível perceber a ocorrência de maior dispersão de locais com alta probabilidade (cores quentes) à expansão de assentamentos precários, e não há uma localização específica onde essa transição possa ocorrer. Este comportamento se altera quando o 2º período é analisado, visto que as maiores probabilidades de transição aparecem concentradas em manchas com localização determinada. Existe uma relação com a proximidade ao CEU Paz, isto é, uma maior probabilidade de ocorrer esta transição no entorno imediato a este equipamento público.

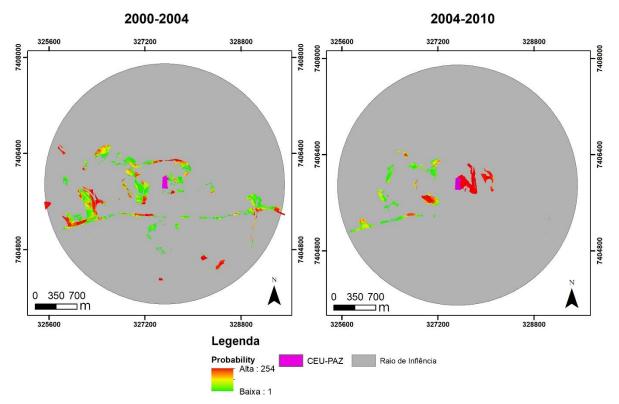


Figura 30: Comparação das probabilidades de transição de áreas urbanas vagas para assentamentos urbanos precários no CEU Paz.

Esta alteração no comportamento da probabilidade de expansão de assentamentos urbanos precários demonstra como o conjunto de variáveis pode alterar a organização espacial na escala local. Ressalta-se que no 2º período, a distância ao CEU Paz entra como uma variável intermitente ao modelo, fato que reforça a capacidade de influência deste equipamento público no seu entorno.

A Figura 31 foi inserida para reforçar esta alteração no comportamento, porém para outra transição, de assentamentos urbanos precários para áreas residenciais formais. No 1º período, existem muitas manchas com alta probabilidade (cores quentes) de os domicílios favelados serem urbanizados. No 2º período, apesar de a taxa anual de transição ser mais de três vezes maior (Tabela 9), existe uma única área com alta probabilidade para esta transição. A inserção da distância ao centro educacional unificado, neste caso, concentrou as áreas possíveis de serem urbanizadas.

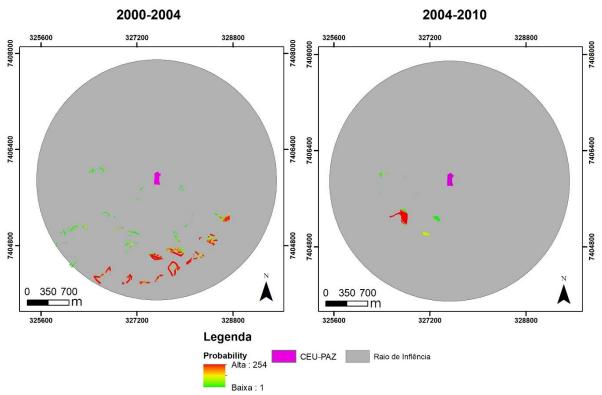


Figura 31: Comparação das probabilidades de transição de assentamentos urbanos precários para residencial formal no CEU Paz.

Quando foi feita a comparação entre as probabilidades do raio de influência de duas unidades dos centros educacionais unificados, também foi possível perceber a interferência da distância ao equipamento público, quando inserida como uma variável intermitente. A Figura 32 apresenta a probabilidade de transição entre a classe de áreas urbanas vagas para a classe de áreas residenciais formais, no 2º período de análise.

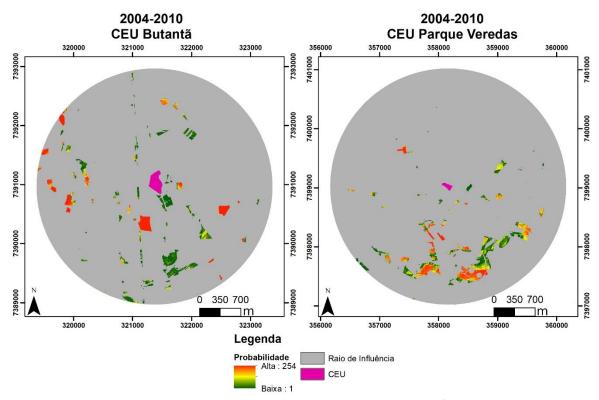


Figura 32: Comparação das probabilidades de transição entre áreas urbanas vagas para a classe de áreas residenciais formais das unidades CEU Butantã e CEU Parque Veredas.

Nesta comparação, é possível ver que a expansão horizontal urbana formal tem comportamento semelhante nos dois raios de influência dos centros educacionais unificados, no que se refere à probabilidade dessa transição. Os valores mais altos de probabilidade (cores quentes) se concentram em manchas com tamanhos uniformes, mais perceptível no CEU Butantã, e estão localizadas em uma faixa de distância quase contínua em relação às unidades dos equipamentos públicos.

O contexto em que se realizam as transições de uso e ocupação do solo em ambas as unidades também são semelhantes. Os dois raios tinham mais de 50% da área total, no ano 2000, de domicílios residenciais formais, que se elevaram em 2010 para 52% no CEU Butantã, e 54% no CEU Parque Veredas. No CEU Butantã, a taxa anual de expansão horizontal urbana foi 12 vezes maior no 2º período em relação ao primeiro. No CEU Parque Veredas, a taxa foi constante, porém alta, e somada a uma variação de quase 80% na taxa do 2º período de urbanização de

assentamentos urbanos precários, ao passo que os valores em área total de assentamentos urbanos precários diminuíram nas duas unidades.

Uma ressalva importante, que pode aliás justificar as pequenas diferenças na formação e localização dos valores de probabilidade na Figura 31, é quanto ao padrão das residências formais que foram construídas no CEU Butantã. Algumas construções mostram a concentração de um padrão de luxo que não foi identificado na mesma proporção na unidade CEU Parque Veredas. O tamanho do CEU Butantã e as atividades que ocorrem nesta unidade podem torná-la uma unidade de referência para os outros centros educacionais unificados que possuem planos de ensino superior (Sanches e Leone, 2016). Juntamente com essas características, sua localização indica a existência de uma centralidade nesta região, mesmo estando próxima aos limites da cidade, região periférica.

De acordo com Frúgoli Jr (2006), as áreas metropolitanas têm diversos núcleos ou áreas centrais, que são novos espaços produzidos não só pelo deslocamento da força produtiva, mas também do reposicionamento das ofertas de emprego, serviços e infraestrutura urbana. Ainda segundo o autor, a especulação imobiliária adquire papel fundamental na constituição destes novos espaços, e a implantação de equipamentos urbanos ou centros comerciais pode organizar este novo espaço em valorizações diferenciadas e impulsionar a abertura de novas fronteiras urbanas. Uma das consequências dessa valorização diferenciada foi proposta por Caldeira (1997), através da construção de enclaves fortificados, os denominados condomínios fechados de alto padrão construtivo, que se contrapõem aos domicílios favelados.

A implantação dos centros educacionais unificados pode ter estabelecido uma nova dinâmica de valorização nos espaços em que foi inserido. Faixas ou manchas de áreas valorizadas podem ter surgido em relação à distância do equipamento público, o que explicaria as modificações nas taxas anuais de remoção de assentamentos urbanos precários e da expansão urbana de domicílios formais e favelados, bem como a variação nos locais de maior probabilidade de transição destes usos do solo.

6.4. Calibração

A calibração do modelo foi dividida em duas etapas. A primeira realizou o cálculo do índice de dependência espacial (*Joint Information Uncertainty*) entre todas as variáveis explicativas, para cada transição possível. Nesta etapa, ainda foi realizada a definição dos parâmetros de formação das manchas na simulação, as funções de alocação *patcher* e *expander*. Após a escolha das variáveis independentes, a parametrização, a primeira simulação e a validação dos resultados do modelo, foi realizada a segunda etapa de calibração com a redefinição dos parâmetros e variáveis para as sucessivas simulações de aproximação dos cenários modelados com os observados.

Da primeira calibração, apenas os modelos da unidade CEU Paz apresentaram correlações acima do recomendável por Bonham-Carter (1994). Valores que ultrapassaram o limiar de 0,5 foram encontrados para as variáveis listadas na Tabela 10, que apresenta os resultados do índice *Joint Information Uncertainty* (JIU) para os dois períodos de análise, e a última coluna indica qual foi a variável excluída da simulação.

Tabela 10: Joint Information Uncertainty do modelo CEU Paz.

Classe de	Classe de			Índice		Variável
Origem	Destino*	Primeira Variável	Segunda Variável	JIU	Período	Excluída
Áreas	Centros	Distância a				Primeira
Urbanas	Educacionais	Residencial	Distância a Vias		2000-	
Vagas	Unificados	Formal	Pavimentadas	0,623	2004	
	Centros	Distância a			2000-	Primeira
Vegetação	Educacionais	Residencial	Distância a Vias		2004	
Arbórea	Unificados	Formal	Pavimentadas	0,5926		
	Áreas	Distância a			2000-	Primeira
	Urbanas	Residencial	Distância a Vias		2004	
Industrial	Vagas	Formal	Pavimentadas	0,5641		

O fato de apenas o modelo do 1º período do CEU Paz ter apresentado valores acima de 0,5 de associação espacial entre pares de variáveis não indica que não há consistência do modelo, mas que existe uma organização espacial em que mais de uma variável é capaz de explicar a mesma transição. Além destas variáveis, indicadas pela Tabela 10, foram excluídas na primeira calibração todas as variáveis de distância à classe de origem da transição, pois apresentaram comportamento ruidoso, ou seja, não apresentaram valores de pesos de evidência para nenhuma classe de distância.

Ambos os modelos da unidade do CEU Paz foram utilizados como projeto piloto para calibração e entendimento do comportamento da simulação na escala trabalhada. Isto significa que estes modelos foram utilizados como teste de resposta à variação dos parâmetros de formação das manchas e da alternação das variáveis explicativas, visando compreender o funcionamento do modelo construído. Foram elaboradas cinco versões do modelo até a apresentação do fluxograma final desta pesquisa. Da versão final, foram realizados ajustes finos na calibração. Este longo processo possibilitou que a calibração dos modelos das outras nove unidades fosse mais simples, pois as modificações implementadas tinham efeito mais imediato nas novas simulações.

A cada nova calibração do projeto piloto do CEU Paz, a simulação de cada modelo era rodada no mínimo 100 vezes para teste do efeito de aleatoriedade. Dessa forma, toda calibração tinha no mínimo 200 mapas para cada ano simulado, 200 mapas de probabilidade e 200 valores de similaridade. Como o protótipo teve mais de cinco versões, a conta chegou a mais de 1.000 análises para cada um destes resultados.

Nos modelos seguintes, essa conta diminuiu, pois foram feitas apenas 10 rodadas a cada calibração, além de serem mais assertivas que os protótipos. Nas outras nove unidades, foram realizadas três rodadas de calibração. Sendo que na primeira, dos 18 modelos, apenas 5 foram validados de imediato. Na segunda rodada, outros 12 modelos foram validados, e apenas um modelo teve necessidade uma nova rodada de calibração.

As principais modificações necessárias nas sucessivas calibrações foram em função dos parâmetros de alocação dos algoritmos de formação das manchas, como a criação de manchas dispersas para classes de uso que surgiam em um único local, como, por exemplo, a ocorrência de várias manchas com a classe de uso dos centros educacionais unificados. A porcentagem de alocação do tipo de formação das manchas é o principal parâmetro de alteração na calibração, pois sua estimação depende, apesar do processo empírico de análise das transições observadas na realidade, de uma acurácia visual e capacidade subjetiva de interpretação.

Em alguns poucos casos, a calibração dependeu de uma análise da relação das manchas dos valores de maior probabilidade e os locais onde as transições foram realizadas com baixa tendência de acerto na simulação. A solução, por meio deste tipo de análise, foi modificar os parâmetros de formação das manchas ou em nova seleção das variáveis. Quando as variáveis são modificadas, os efeitos na simulação são de difícil previsibilidade, uma vez que os respectivos pesos de evidência consideram a organização espacial local. As unidades CEU Paz e CEU São Rafael tiveram alteração na seleção inicial de variáveis. O CEU Paz apenas alternou variáveis explicativas para cada transição.

O processo de calibração do CEU São Rafael resultou na modificação da categorização de parte da classe de uso de vias pavimentadas. Durante o período de análise, entre os anos de 2000 e 2010, foi construído no raio de influência desta unidade, em 2007, um trecho do anel viário de São Paulo (rodovia SP-017). O comportamento da variável explicativa denominada de distância às vias pavimentadas concentrava a formação de manchas em várias transições. Dessa forma, a classe de uso vias pavimentas foi inserida como variável intermitente no modelo do 2º período, somente no trecho do anel viário no passo de tempo referente ao ano de 2007.

6.5. Validação

O primeiro resultado da validação é o índice de similaridade que utiliza múltiplas janelas e decaimento constante da função de distância ao centro da janela de varredura. Os valores apresentados para todos os modelos são os resultados das validações finais, referentes às simulações que foram aceitas após todas as sucessivas rodadas de calibração do modelo. Os valores apresentados como finais são também os que se submeteram a uma avaliação visual de conformidade morfológica das manchas e não necessariamente os valores mais elevados de similaridade.

A Tabela 11 apresenta os valores mínimos de similaridade dos modelos selecionados, calculados para uma janela de tamanho 5x5 pixels. Na tabela,

constam os valores para os dois períodos de análise de todas unidades dos centros educacionais unificados.

Tabela 11: Valores de similaridade mínima para os modelos selecionados.

nº	Modelo	Janela	2000-2004*	2004-2010*
1	CEU Alvarenga	5	0,86	0,74
2	CEU Butantã	5	0,91	0,81
3	CEU Campo Limpo	5	0,84	0,76
4	CEU Feitiço da Vila	5	0,85	0,56
5	CEU Inácio Monteiro	5	0,42	0,55
6	CEU Navegantes	5	0,73	0,59
7	CEU Pêra Marmelo	5	0,60	0,63
8	CEU São Rafael	5	0,59	0,65
9	CEU Parque Veredas	5	0,56	0,64
10	CEU Paz	5	0,44	0,77

^{*} Valores mínimos de similaridade.

Os menores valores de similaridade da Tabela 11 são dos modelos do 1º período das unidades CEU Inácio Monteiro e CEU Paz. Entretanto, foram considerados modelos aderentes à realidade observada, e além disso, foi possível constatar padrões morfológicos das manchas de transição semelhantes com a classificação de uso e ocupação do solo observadas.

O efeito da aleatoriedade pode ser grande na análise da similaridade entre o simulado e o observado. A Tabela 12 representa os valores máximos e mínimos do índice de similaridade com decaimento constante da função, para a janela de 5x5, dos modelos da unidade CEU Pêra Marmelo. Foram selecionadas as 10 rodadas da calibração utilizada para seleção do modelo final. A maior amplitude está no modelo do 2º período entre as rodadas 2 e 7, com uma variação de 0.19 no índice similaridade utilizando as mesmas variáveis e parâmetros de simulação.

Tabela 12: Índices de similaridade para modelos do CEU Pêra Marmelo.

Rodada	Janela	Mínimo 2000-2004	Máximo 2000-2004	Mínimo 2004-2010	Máximo 2004-2010
1	5	0,52	0,53	0,49	0,50
2	5	0,60*	0,63	0,44	0,46
3	5	0,51	0,53	0,50	0,51
4	5	0,49	0,51	0,54	0,55
5	5	0,61	0,63	0,56	0,57
6	5	0,59	0,60	0,58	0,58
7	5	0,59	0,61	0,63*	0,64
8	5	0,59	0,60	0,48	0,49
9	5	0,54	0,56	0,52	0,52
10	5	0,57	0,58	0,52	0,53

^{*} Modelos selecionados como resultado.

A aleatoriedade tem papel fundamental na formação de manchas, uma vez que, considerando apenas os valores do índice, todos os resultados dessa calibração são aceitáveis. Entretanto, cada rodada produz um uma organização única do espaço urbano. Esta possibilidade está de acordo com as propriedades dinâmicas e complexas dos processos de transição do uso e ocupação do solo.

A validação da morfologia foi feita por meio da comparação dos mapas simulados finais de cada período de análise com o mapa de uso e ocupação do solo observado. A Figura 33 é a comparação da simulação do ano 2004, resultado do modelo do 1º período, da unidade do CEU Paz. A Figura 34 é comparação da simulação do ano de 2010, resultado do modelo do 2º período, também para a unidade do CEU Paz.

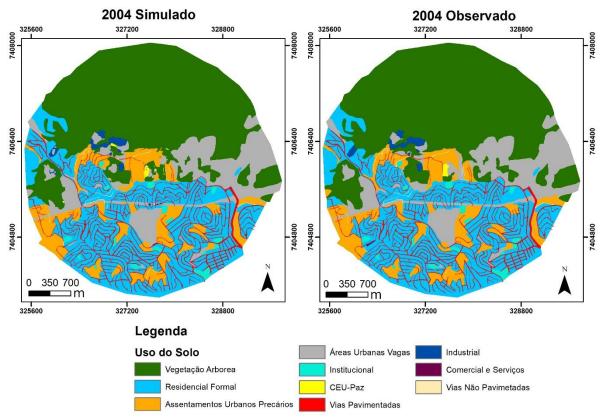


Figura 33: Comparação do mapa simulado de 2004 com observado. Unidade do CEU Paz.

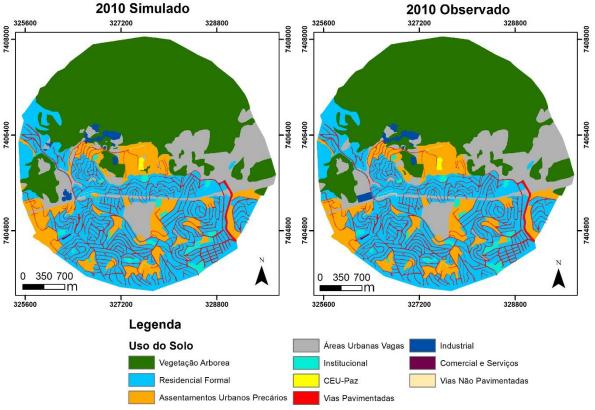


Figura 34: Comparação do mapa simulado de 2010 com observado. Unidade do CEU Paz.

Na Figura 33, é possível observar acertos maiores quanto à tendência de formação de manchas nos locais ou na proximidade dos locais observados. A morfologia tem algumas divergências do observado, principalmente quanto à classe de uso das áreas urbanas vagas (cor cinza). Há também uma pequena dispersão da formação da mancha do uso do centro educacional (cor amarelo) unificado, mas manchas muito pequenas e próximas ao local observado, o que não interfere no cálculo da variável dinâmica de distância a este equipamento público.

A Figura 34, com o resultado do modelo do 2º período, apresenta uma morfologia mais próxima ao observado. Existem falhas nas manchas de transição de áreas de vegetação arbórea para assentamentos urbanos precários, mas sem prejuízo à análise. Um detalhe que merece destaque é a mancha de uso industrial que surge sobre a classe de uso de áreas urbanas vagas, pois o formato retangular não apareceu na simulação. No entanto, formas regulares exatas não são possíveis de serem parametrizadas na metodologia utilizada, uma vez que a forma da mancha simulada tem alta relação com a aleatoriedade.

A Figura 35 apresenta uma comparação de resultados de simulação produzidos com a mesma configuração de parâmetros e variáveis. São as rodadas com maior amplitude do índice de similaridade para o modelo do 2º período da unidade CEU Pêra Marmelo, conforme a Tabela 12. Poucas alterações são perceptíveis nesta escala, mas é notável que existe uma variação quanto à dispersão de algumas manchas em locais bem divergentes. Esta diferença implica relações com as variáveis dinâmicas de distância aos usos do solo que, caso fossem prolongados os passos de tempo, resultariam em mapas muitos diferentes.

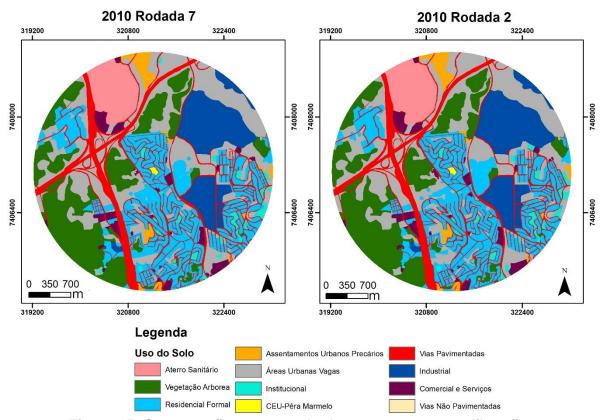


Figura 35: Comparação entre resultados com a mesma calibração.

6.6. Simulação

Com todos os modelos validados, foi possível realizar inúmeras análises dos mapas simulados. As principais informações trabalhadas são referentes aos mapas de uso e ocupação do solo urbano em intervalos anuais, inferidos pelos modelos de cada período de análise, e os padrões espaciais de formação das manchas de cada classe de uso, considerando as possibilidades de transição.

Portanto, entre cada mapa de uso e ocupação do solo, que foram classificados inicialmente para os anos 2000, 2004, 2008 (apenas para a unidade CEU Feitiço da Vila) e 2010, foram calculados mapas com passo de tempo anual. Assim, foi possível estabelecer, por exemplo, valores anuais de área para cada tipo de uso. A Tabela 13 sumariza os valores de área, em hectares, dos modelos de todas as unidades dos centros educacionais unificados, por classe de uso e por ano, entre 2000 e 2010. A Tabela 14 contém as porcentagens de cada uso, por ano, em relação à área total dos 10 raios de influência.

Tabela 13: Valores de área de cada classe de uso solo por ano.

Ano			Clas	se de	Uso de	o Solo	* (valo	res em	hecta	res)		
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	1244	4590	1103	2204	376	0	1750	246	333	6	758	66
2001	1240	4615	1107	2164	379	6	1751	247	338	5	758	66
2002	1235	4639	1111	2125	383	12	1752	248	343	4	758	66
2003	1230	4663	1114	2087	386	18	1753	250	348	4	758	66
2004	1226	4686	1118	2050	390	24	1753	251	353	3	758	66
2005	1225	4708	1121	2007	399	25	1757	252	356	3	758	66
2006	1223	4731	1124	1966	408	25	1761	253	358	2	758	66
2007	1222	4752	1127	1926	417	26	1765	255	361	2	758	66
2008	1221	4773	1129	1887	426	27	1769	256	363	1	758	66
2009	1220	4800	1124	1851	435	27	1772	257	365	1	758	66
2010	1220	4827	1119	1816	443	27	1776	258	367	1	758	66

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

Tabela 14: Percentual da área total de cada classe de uso do solo por ano.

Ana		Classe de Uso do Solo* (percentual da área total)												
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
2000	9,81	36,20	8,70	17,39	2,96	0,00	13,81	1,94	2,62	0,05	5,98	0,52		
2001	9,78	36,40	8,73	17,07	2,99	0,05	13,81	1,95	2,67	0,04	5,98	0,52		
2002	9,74	36,59	8,76	16,76	3,02	0,10	13,82	1,96	2,71	0,03	5,98	0,52		
2003	9,71	36,78	8,79	16,46	3,05	0,14	13,82	1,97	2,75	0,03	5,98	0,52		
2004	9,67	36,96	8,82	16,17	3,07	0,19	13,83	1,98	2,79	0,02	5,98	0,52		
2005	9,66	37,14	8,85	15,83	3,15	0,19	13,86	1,99	2,81	0,02	5,98	0,52		
2006	9,65	37,31	8,87	15,50	3,22	0,20	13,89	2,00	2,83	0,02	5,98	0,52		
2007	9,64	37,48	8,89	15,19	3,29	0,21	13,92	2,01	2,85	0,01	5,98	0,52		
2008	9,63	37,65	8,91	14,89	3,36	0,21	13,95	2,02	2,86	0,01	5,98	0,52		
2009	9,63	37,86	8,87	14,60	3,43	0,21	13,98	2,03	2,88	0,01	5,98	0,52		
2010	9,62	38,07	8,82	14,32	3,49	0,21	14,01	2,04	2,90	0,01	5,98	0,52		

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

Assim como a Tabela 3, que resume a área das classes de uso do solo classificadas, é possível estabelecer uma sequência da variação dos valores totais de cada classe de uso, porém com o detalhe do comportamento anual. Estes

valores representam todas as transições ocorridas em cada ano, o balanço entre aumento e redução da área de cada classe.

Porém, mesmo com a periodicidade anual do dado, a dinâmica não aparece nesta somatória de área. De acordo com Batty (2009), a representação da dinâmica urbana não é só uma questão de precisão ou de qualidade dos detalhes dos dados, como a possibilidade de inferência de intervalos anuais, mas sim da capacidade dos resultados refletirem as interações entre classes de uso em uma escala de tempo e espaço, compatíveis com o ciclo de vida e com os movimentos da cidade.

Em relação à análise em escalas diferentes, foram elaboradas a Figura 36 e a Figura 37, que representam gráficos de variação da porcentagem de área da classe de uso residencial formal, entre 2000 e 2010. A Figura 36 é o somatório total desta classe de uso, para todas as unidades dos centros educacionais unificados, conforme a Tabela 14. A Figura 37 é um comparativo das variações do percentual dos domicílios residenciais formais, considerando a escala local de três unidades: CEU Parque Veredas, CEU Feitiço da Vila e CEU Butantã, respectivamente.

O que fica evidente na comparação entre a Figura 36 e a Figura 37 é que existem padrões na escala local que não aparecem na escala regional. Por exemplo, em todos os casos retratados nas figuras existe uma tendência à expansão horizontal dos domicílios residenciais formais, o que pode demonstrar o padrão regional da cidade, mas na escala local existem variações na velocidade do crescimento que atestam uma ruptura com o padrão regional. Tanto o CEU Feitiço da Vila, implantado em 2008, quanto o CEU Butantã, implantado em 2004, apresentam variações exatamente entre os dois períodos de análise. O CEU Parque Veredas, construído em 2004, revela que, mesmo com os períodos modelados com parâmetros e variáveis diferentes, a velocidade de crescimento continua a mesma.

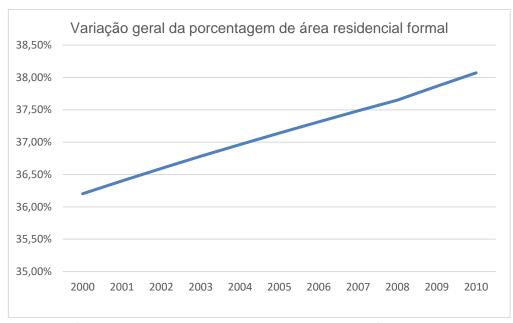


Figura 36: Gráfico da variação geral da porcentagem de área residencial formal.

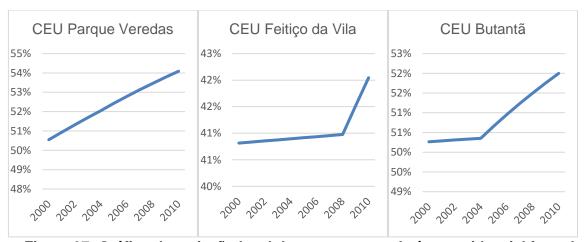


Figura 37: Gráfico da variação local da porcentagem de área residencial formal.

Acerca da velocidade de variação no comportamento da tendência das classes de uso do solo, é possível utilizar a simulação para comparar todas as classes a partir de um único parâmetro. O grau de inclinação, ângulo α , entre cada intervalo anual, calculado conforme a Equação 3, indica que quanto mais próximo de 180°, menor é a variação do ano em análise em relação ao ano anterior e subsequente.

A Tabela 15 representa o valor do ângulo α para cada ano da unidade do CEU Navegantes. O cálculo foi aplicado aos valores de área em hectares. Os valores abaixo de 180º indicam uma queda na taxa de variação da classe de uso,

e os valores acima de 180° um aumento. Os valores que estão marcados em vermelho são os que apresentam maior variação, em relação ao valor de 180°.

Tabela 15: Grau de inclinação entre cada intervalo. CEU Navegantes.

		Classes de uso do solo*										
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2001	180,00	180,00	179,88	180,32	179,72	179,75	180,00	180,00	179,64	180,00	180,00	180,00
2002	180,00	180,00	179,88	180,33	179,73	179,75	180,00	180,00	179,64	180,00	180,00	180,00
2003	180,00	180,00	179,89	180,33	179,73	179,75	180,00	180,00	179,64	180,00	180,00	180,00
2004	180,00	221,39	119,14	246,48	167,46	159,72	180,00	180,00	148,32	180,00	180,00	180,00
2005	180,00	179,79	180,27	179,71	180,01	180,00	180,00	180,00	179,97	180,00	180,00	180,00
2006	180,00	179,79	180,26	179,70	180,01	180,00	180,00	180,00	179,98	180,00	180,00	180,00
2007	180,00	179,79	180,27	179,70	180,01	180,00	180,00	180,00	179,99	180,00	180,00	180,00
2008	180,00	179,79	180,27	179,70	180,01	180,00	180,00	180,00	179,98	180,00	180,00	180,00
2009	180,00	179,79	180,27	179,71	180,01	180,00	180,00	180,00	179,98	180,00	180,00	180,00

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

Se os valores do ângulo α puderem ser avaliados como a velocidade de variação da tendência, é possível inferir que a classe de uso institucional (5) apresenta uma pequena variação de redução em área no ano de 2004. No mesmo raciocínio, nota-se que as classes de uso residencial formal, assentamentos urbanos precários e áreas urbanas vagas têm variações bruscas no comportamento da tendência exatamente no ano de implantação do equipamento público, uma vez que considera os valores de 2003 e 2005.

A Tabela 16 é semelhante à anterior, mas os valores são referentes à unidade CEU Feitiço da Vila. Neste caso, os pontos de ruptura estão localizados no ano de 2008, data de implantação desta unidade. Observa-se que as maiores velocidades de variação são as classes de uso residencial formal (2) e assentamentos urbanos precários (3). A classe de uso da área dos centros educacionais unificados (6) sempre irá variar no ano de implantação da unidade. Quanto às outras classes que mudam de inclinação na tendência, é possível ressaltar que o padrão local vai determinar diferentes comportamentos, como, por exemplo, as classes de uso comercial e serviços (9) e institucional (5), que possuem comportamentos diferentes em quase todos os modelos.

Tabela 16: Grau de inclinação entre cada intervalo. CEU Navegantes.

		Classes de uso do solo*										
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2001	180,16	179,99	179,71	180,23	179,94	179,85	180,00	180,00	179,94	180,00	180,00	180,00
2002	180,16	180,00	179,71	180,23	179,94	179,86	180,00	180,00	179,93	180,00	180,00	180,00
2003	180,16	179,99	179,71	180,23	179,94	179,86	180,00	180,00	179,94	180,00	180,00	180,00
2004	180,16	179,99	179,71	180,23	179,95	179,86	180,00	180,00	179,94	180,00	180,00	180,00
2005	180,16	179,99	179,71	180,23	179,94	179,86	180,00	180,00	179,94	180,00	180,00	180,00
2006	180,16	179,99	179,71	180,23	179,95	179,86	180,00	180,00	179,93	180,00	180,00	180,00
2007	180,16	179,99	179,71	180,23	179,94	179,86	180,00	180,00	179,94	180,00	180,00	180,00
2008	208,81	247,39	57,59	196,34	191,01	159,05	180,00	180,00	171,53	180,00	180,00	180,00
2009	179,99	179,80	180,24	179,56	179,89	179,99	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

A análise comparativa das Tabelas 15 e 16 retoma a discussão sobre os motivos dos pontos de ruptura estarem localizados na junção entre os dois períodos de análise. Seria plausível a pergunta acerca das consequências da utilização de um modelo para cada período, com variáveis e parâmetros diferentes para cada um. Mas as próprias transições, obtidas ainda na fase de parametrização, já demonstram a existência de uma dinâmica de alterações diferentes entre cada período, assim como a variação das áreas de algumas classes de uso presentes na Tabela 3.

Na tentativa de se aproximar os pontos de ruptura a uma causa provável, foi elaborada a Tabela 17, com a média do ângulo α entre todos os intervalos e para todas as classes de uso do solo, considerando todas as unidades dos centros educacionais que foram estudadas. Novamente, os pontos das principais variações estão localizados nos mesmos anos, 2004 e 2008. A amplitude entre os exemplos utilizados, Tabelas 15 e 16, e a média dos pontos de ruptura, podem demonstrar que existem inúmeras possibilidades de comportamentos da tendência, inclusive não obedecendo às diferenças entre os períodos de análise.

Tabela 17: Média do grau de inclinação entre cada intervalo para todas as unidades CEU estudadas.

		Classes de uso do solo*										
Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2001	180,08	179,72	179,86	180,18	179,68	179,58	179,55	180,02	179,64	180,45	180,00	180,00
2002	180,08	179,72	179,86	180,19	179,69	179,58	179,57	180,02	179,64	180,43	180,00	180,00
2003	180,08	179,72	179,87	180,19	179,69	179,58	179,60	180,02	179,65	180,40	180,00	180,00
2004	191,10	192,38	177,85	175,82	197,54	155,85	187,52	182,88	168,08	179,93	180,00	180,00
2005	179,97	181,67	176,13	180,30	179,40	179,87	179,50	179,78	179,58	180,48	180,00	180,00
2006	179,96	179,61	179,13	180,31	179,40	179,88	179,58	179,79	179,59	180,40	180,00	180,00
2007	179,97	179,61	179,15	180,32	179,39	179,89	179,63	179,79	179,60	180,34	180,00	180,00
2008	182,83	186,34	166,96	181,94	180,49	177,81	179,68	179,80	178,76	180,29	180,00	180,00
2009	179,95	179,58	179,25	180,28	179,38	179,91	179,73	179,81	179,62	180,24	180,00	180,00

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 6- CEU, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços, 10- vias não pavimentadas, 11 - represas e lagos e 12 - aterros sanitários.

A Tabela 18 representa o ângulo α entre os intervalos da classe de uso do solo comercial e serviços dos modelos que tiveram transições para esta classe de uso nos dois períodos de análise. Os graus de inclinação variam bastante entre os raios de influência de cada equipamento da tabela, mas o que chama a atenção neste caso é que a unidade CEU Campo Limpo quase não apresenta variação no comportamento da tendência, quando comparada com as demais unidades. Todas as transições da classe comercial e serviços desta unidade são de expansão do uso sobre áreas urbanas vagas. O padrão é semelhante entre os períodos, mesmo com variações entre os modelos. Outras classes apresentaram o mesmo comportamento.

Tabela 18: Grau de inclinação da classe de uso comercial e serviços.

			Unidad	les CEU		
Ano	Butantã	Campo Limpo	Inácio Monteiro	Navegantes	Pêra Marmelo	Parque Veredas
2001	179,03	179,24	179,50	179,64	179,57	179,89
2002	179,05	179,24	179,51	179,64	179,57	179,90
2003	179,06	179,26	179,52	179,64	179,57	179,90
2004	112,30	184,06	218,60	148,32	132,36	223,42
2005	180,12	178,30	179,40	179,97	179,83	178,31
2006	180,14	178,37	179,39	179,98	179,85	178,29
2007	180,16	178,43	179,39	179,99	179,85	178,29
2008	180,15	178,48	179,39	179,98	179,86	178,28
2009	180,15	178,55	179,38	179,98	179,86	178,29

A Figura 38 é a representação gráfica da comparação do grau de inclinação da variação de tendência, entre os períodos de análise. Na figura, está representada a classe de uso residencial formal, que tem possibilidades de transição em quase todos os modelos.

O eixo y, dos gráficos da Figura 38, contém os valores em graus do ângulo α , entre 90° e 270°. Nesta comparação, fica mais claro a continuidade do padrão de comportamento de tendência entre os períodos, fenômeno que ocorre para as unidades CEU Inácio Monteiro, CEU Campo Limpo, CEU Pêra Marmelo e CEU Parque Veredas. Outra informação da imagem é a comparação de um único parâmetro em uma mesma escala, o que é quase impossível para os valores de área.

Como estão contidas todas as unidades dos centros educacionais unificados, na mesma escala, é possível fazer comparações considerando subdivisões regionais. Por exemplo, as unidades CEU Paz e CEU Pêra Marmelo estão localizadas na região noroeste do município de São Paulo, conforme Figura 8. Os comportamentos dessas unidades quanto à variação da classe de domicílios residenciais formais não são semelhantes. Entretanto, é necessária a comparação entre as outras classes de uso para uma conclusão de um padrão regional.

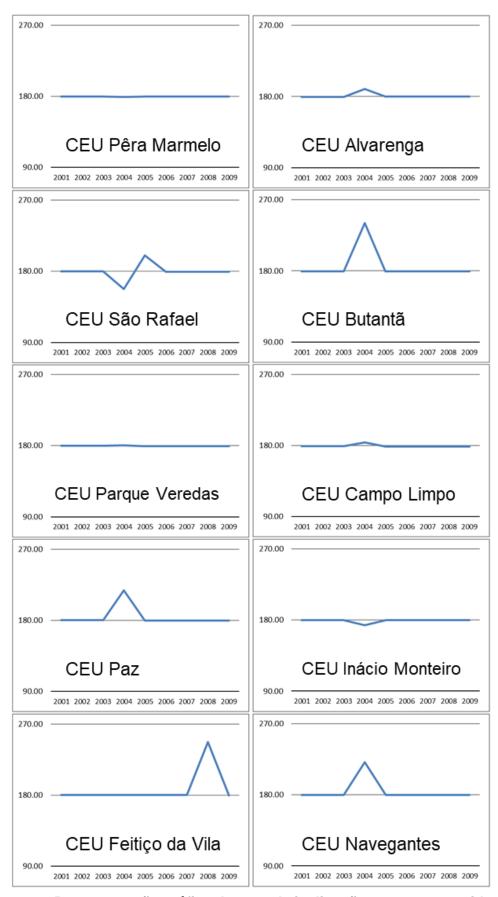


Figura 38: Representação gráfica do grau de inclinação para o uso residencial formal.

A Tabela 19 apresenta o ângulo de inclinação da tendência de variação em graus, para o ano de construção de todas as unidades dos centros educacionais unificados. As classes de uso que foram selecionadas são as que apresentavam variação significativa em relação aos outros tipos de uso do solo, e também foram retiradas as que não possuíam nenhuma transição de uso. A última linha da tabela é o valor médio de variação de α entre todas unidades.

Tabela 19: Grau de inclinação para o ano de construção das unidades.

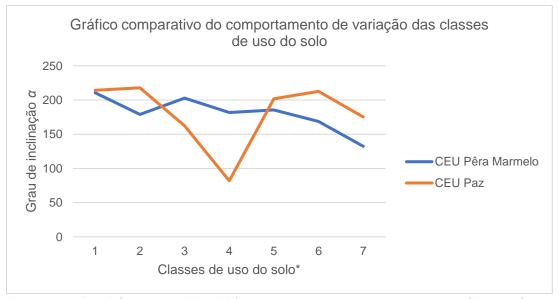
				Class	es de uso	do solo*		
Unidade CEU	Ano	1	2	3	4	5	8	9
Alvarenga	2004	158,47	189,24	229,82	192,91	162,38	180,00	130,42
Butantã	2004	170,93	240,49	160,98	173,48	224,93	180,00	112,30
Campo Limpo	2004	180,00	184,08	232,81	171,00	233,23	180,00	184,06
Inácio Monteiro	2004	185,02	173,46	131,24	182,03	217,57	180,00	218,60
Navegantes	2004	180,00	221,39	119,14	246,48	167,46	180,00	148,32
Pêra Marmelo	2004	210,64	178,94	202,87	181,70	185,51	168,59	132,36
São Rafael	2004	251,45	157,75	159,06	172,07	197,67	164,97	176,08
Parque Veredas	2004	180,00	180,60	200,58	176,33	204,71	202,54	223,42
Paz	2004	214,38	217,86	162,32	81,98	202,02	212,69	175,33
Feitiço da Vila	2008	208,81	247,39	57,59	196,34	191,01	180,00	171,53
Média		193,97	199,12	165,641	177,432	198,649	182,879	167,242

^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços.

A análise comparativa entre cada linha da Tabela 19, considerando o conjunto das classes de usos do solo, mostra que não há uma só sequência que seja repetida entre os modelos. O conjunto de variáveis e parâmetros utilizados na simulação são únicos para cada modelo. Assim como uma assinatura, o padrão de modificação do uso e ocupação, após a implantação de um equipamento público, pode ser interpretado como um comportamento dinâmico local, comparável e muitas vezes com semelhanças estreitas com outros locais.

A Figura 39 é a representação gráfica do comportamento dinâmico local das unidades CEU Paz e Pêra Marmelo, região noroeste do município. Foram consideradas as mesmas classes de uso e valores do grau de inclinação do ano de

implantação do equipamento público, conforme a Tabela 19. A comparação anterior para as mesmas unidades, feita com a Figura 38, mostrava um comportamento regional desigual para classe de uso residencial formal. As séries do gráfico da Figura 39 confirmam que, apesar da proximidade, a dinâmica de transições do uso e ocupação do solo de fato diferem entre as duas unidades. Os parâmetros utilizados na comparação foram os picos e os vales da sequência de cada série.

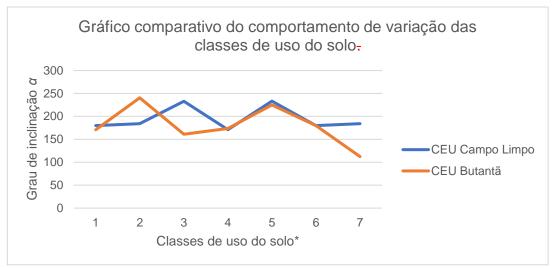


* 1- vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços.

Figura 39: Gráfico comparativo do comportamento de variação das classes de uso do solo. Região noroeste.

Para a região sudoeste as unidades CEU Butantã e CEU Campo apresentam maiores semelhanças, conforme a Figura 40. O gráfico da Figura 40 apresenta a mesma relação de dados da Figura 39, porém para as duas unidades da região sudoeste. Existem semelhanças em picos e vales para algumas classes de uso, a exemplo de áreas urbanas vagas (4) e institucional (5). Nesta comparação, um detalhe importante é que a organização espacial do uso e ocupação do solo para as duas unidades eram semelhantes quando da implantação do equipamento público. Uma diferença fundamental era a representação da área da classe assentamentos urbanos precários (3), sendo que no CEU Butantã a porcentagem era de 4,3% do total em 2004, e para o CEU Campo Limpo o percentual era de 8,8% no mesmo ano. No gráfico da Figura 40, os comportamentos das classes de domicílios favelados são opostos entre as unidades. As classes de uso residencial

formal (2), áreas urbanas vagas (4) e institucional (5) apesentavam configurações parecidas em 2004.



^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços.

Figura 40: Gráfico comparativo do comportamento de variação das classes de uso do solo. Região sudoeste.

Outras duas unidades com configuração espaciais semelhantes são as unidades CEU Paz e CEU Navegantes, conforme a Tabela 3. A Figura 41 é um gráfico comparativo do comportamento das modificações que ocorreram no ano de implantação dos equipamentos públicos destas duas unidades. O principal ponto de divergência entre as duas assinaturas das séries é a classe de uso áreas urbanas vagas (4). Cabe ressaltar que, na unidade do CEU Navegantes, a classe de uso represas e lagos representava mais de 47% da área total do raio de análise, o que pode ter obrigado a abertura de novas áreas urbanas vagas para a expansão horizontal da cidade, ao passo que para a unidade do CEU Paz, mais de 40% da área total de abrangência do equipamento público era da classe vegetação arbórea (1), e parte da ocupação se deu diretamente sobre este uso, conforme as Tabelas 6 e 9, das taxas anuais das matrizes de transição de uso e ocupação do solo. Os comportamentos das outras classes de uso, na comparação do gráfico, são semelhantes, apesar de as regiões de cada unidade serem opostas geograficamente.



^{* 1-} vegetação arbórea, 2- residencial formal, 3- assentamentos urbanos precários, 4- áreas urbanas vagas, 5- institucional, 7- vias pavimentadas, 8- industrial, 9- comercial e serviços.

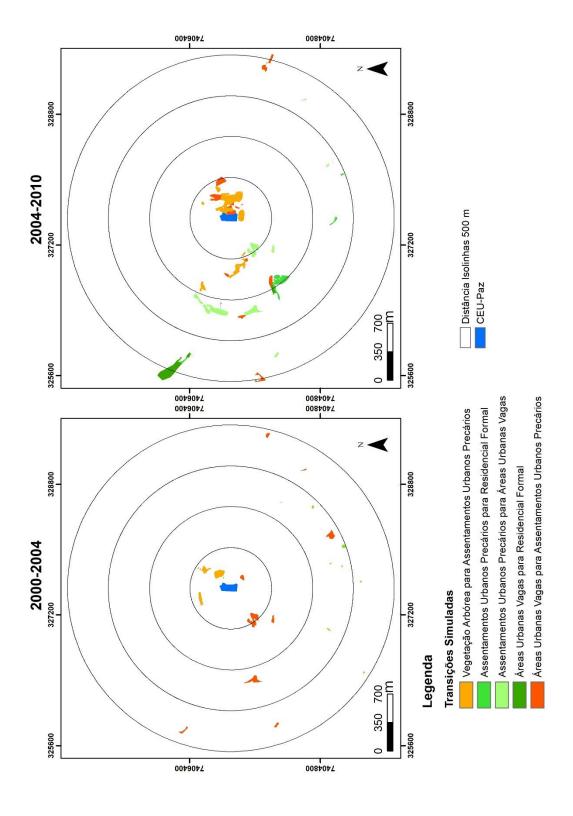
Figura 41: Gráfico comparativo do comportamento de variação das classes de uso do solo. CEU Paz e CEU Navegantes.

Portanto, as semelhanças encontradas nas análises dos valores de área para cada classe dos mapas de uso e ocupação do solo urbano, inferidos em intervalos anuais, são em relação à organização espacial do entorno de cada unidade dos centros educacionais unificados. As comparações realizadas em subdivisões regionais não demonstraram semelhanças de comportamento, principalmente quanto às semelhanças de modificações do uso do solo entre os períodos de análise. Este fato reforça a afirmação de Batty (2011), de que a cidade se configura como um espaço complexo, heterogêneo e desigual. Preteceille e Valadares (1999), Caldeira (1997) e Gamba e Ribeiro (2012) também afirmam sobre a heterogeneidade no contexto da periferia de São Paulo e complementam que existem processos de segregação e diferenciação espacial que não seguem limites geográficos regionais ou administrativos do município.

Esta desigualdade espacial de organização no tecido urbano é perceptível também no processo de posicionamento das manchas de transição do uso e ocupação do solo, formadas na simulação dos modelos com base nas probabilidades de transição. Foi realizada uma análise dos padrões espaciais de formação das manchas de cada classe de uso.

A Figura 42 é uma comparação das transições simuladas entre os dois períodos de análise, em que as cores quentes são referentes às transições de áreas urbanas vagas e vegetação arbórea para assentamentos urbanos precários.

As cores frias são representações das transições de áreas urbanas vagas para residencial formal, e domicílios favelados para áreas urbanas vagas e residencial



equipamento público CEU Paz.

Figura 42: Comparação da expansão urbana em faixas de distância. CEU Paz.

As cores no mapa representam diferentes processos de urbanização. As cores quentes são expansões horizontais de assentamentos urbanos precários, e as cores frias são processos de expansão urbana de domicílios formais ou remoções de assentamentos urbanos precários. No 1º período, o crescimento das manchas das áreas de domicílios favelados ocorre de forma dispersa e em quase todas as faixas de distância, ao passo que quase não é possível ver as pequenas manchas de expansão dos domicílios formais. No 2º período, as manchas de assentamentos urbanos precários se concentraram nos primeiros 1.000 m de distância. Nas faixas mais distantes, concentraram-se as manchas de cores frias, surgiram grandes manchas de remoção ou urbanização de domicílios favelados, bem como de expansão urbana formal.

A Figura 43 é uma comparação dos gráficos de crescimento da taxa líquida da área das classes de uso assentamento urbano precário e residencial formal, por faixa de distância ao CEU Paz. Foram consideradas como faixas mais próximas as duas primeiras, que somam 1.000 m da unidade. As duas últimas faixas, entre 1.000 m e 2.000 m, ainda estão no raio de influência do equipamento público, mas foram consideradas como mais distantes para comparação do efeito do padrão espacial de transição.

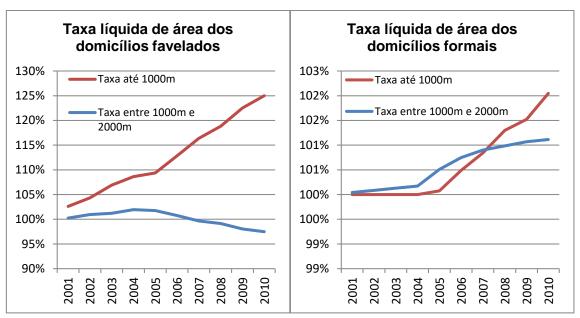


Figura 43: Comparação da urbanização por faixa de distância ao CEU Paz.

Existe uma explícita diferenciação espacial do processo de urbanização na área de influência do CEU Paz, após a construção deste equipamento público. Fica evidente a concentração, no 2º período, de domicílios favelados no entorno imediato, até 1.000 m, e de domicílios formais, entre 1.000 m e 2.000 m. Além da constatação visual da Figura 42, é possível perceber que, nas primeiras faixas de distância, a taxa foi de 15% de aumento dos domicílios favelados no 2º período, e de 9% no primeiro. As áreas residenciais cresceram em todas as faixas de distância no 2º período, mas o padrão espacial é visivelmente mais distante em relação às transições dos assentos urbanos precários.

A conclusão parece clara para esse processo de urbanização, mas existe uma complexidade a ser considerada que dificulta fazer associações diretas de causa e efeito, neste caso. Se o centro educacional for considerado como causa da expansão urbana informal, então todas as unidades deveriam apresentar o mesmo comportamento. Porém, o crescimento de assentamentos urbanos precários já era um fato antes da implantação do CEU Paz. Da mesma forma que, a partir das diversas análises feitas dos dados de área, ficou evidente que nem todas as unidades observadas estão relacionadas com o crescimento de domicílios favelados, em alguns casos ocorre a diminuição deste uso do solo, como, por exemplo, no CEU Butantã e no CEU Parque Veredas.

Portanto, as influências dos centros educacionais unificados estão mais relacionadas às possibilidades de organização espacial das mudanças e na diferenciação dos locais prováveis de ocorrerem as variações. Os fatores que determinam quais os tipos de transições vão ocorrer estão relacionados com os processos sociais e econômicos, conforme proposto por Batty (2011). Os equipamentos públicos são representações pontuais dos processos que determinam o funcionamento das cidades, do espaço e das interações sociais e econômicas em si (Thisse e Wildasin, 1992; Lefebvre, 2006).

No caso das transições para assentamentos urbanos precários, torna-se possível evidenciar as contradições existentes nas interações sociais e econômicas que, a partir da implantação de equipamentos públicos, passam a ser observáveis na organização espacial. As concepções na fase de projeto dos centros educacionais unificados, como o ideal emancipatório do beneficiado (Gadotti, 2004), ou a projeção do padrão arquitetônico como referência e a concretização de melhorias estruturais na comunidade (Delijaicov e Melendez, 2003), nem sempre são compatíveis com o interesse especulativo de valorização imobiliária, por exemplo.

Os limites formais para a expansão urbana podem encontrar rupturas na informalidade dos assentamentos urbanos precários, como mostram a Figura 44, Figura 45 e Figura 46. São fotografias obtidas em dois dos assentamentos urbanos precários, denominados de Jardim Paraná e Tribo, que surgiram após a construção do CEU Paz e estão a menos de 500 m da unidade. São fotos do ano de 2017, mas os locais das fotos e as ocupações já existiam no período de análise.

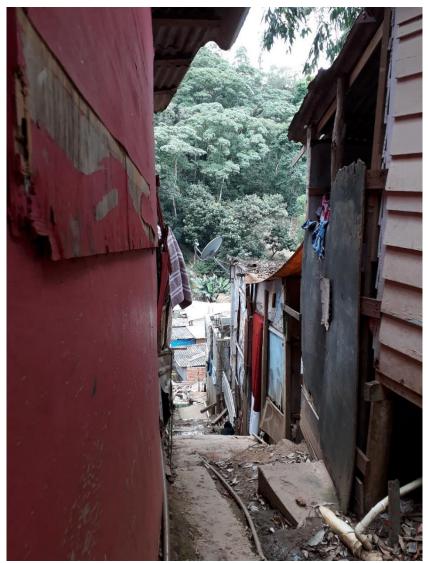


Figura 44: Foto do avanço das autoconstruções sobre a vegetação arbórea da Serra da Cantareira, ano 2017.

O processo de ruptura de barreiras formais urbanas fica claro com a Figura 44, em que se observa que as autoconstruções, altamente heterogêneas e precárias quanto aos materiais utilizados, avançam sobre a vegetação arbórea da Serra da Cantareira. No limite entre as casas e a mata, são notáveis algumas clareiras de áreas desmatadas. A Figura 45 mostra construções sobre o leito de um pequeno córrego; o contraste entre o varal de roupas limpas e a situação da água pode demonstrar a capacidade de resistência à imposição de se ter o direito à cidade negado.



Figura 45: Autoconstruções sobre o leito de um córrego, ano 2017.

A Figura 46 mostra uma área já consolidada do assentamento urbano precário Jardim Paraná, com a presença de autoconstruções em alvenaria. A alvenaria é o marco de uma estabilização da sensação de segurança da posse, pois esta geralmente só ocorre quando as remoções perdem força (Ribeiro, 2012). No primeiro plano, percebe-se que a foto foi tirada de dentro de uma das casas, localizada nos fundos do CEU Paz, onde a inclinação do terreno é muito grande e muitas casas estão em constante risco com os deslizamentos de terra. No segundo plano, aprecem várias casas sendo construídas e algumas árvores que sobraram de uma área antes completamente arborizada. Algumas das casas já recebem luz

regularizada, como mostra um dos postes da foto. No terceiro plano, aparecem algumas áreas residenciais formais urbanizadas pelo município.

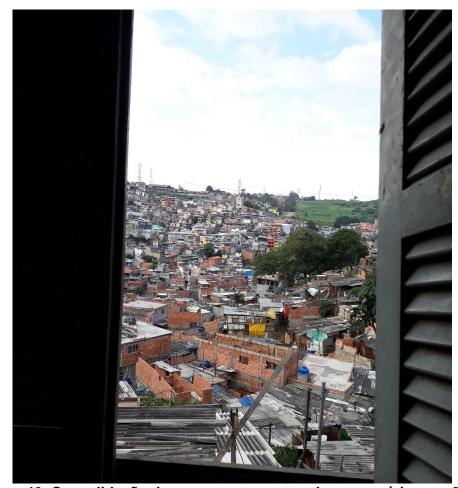


Figura 46: Consolidação de um assentamento urbano precário, ano 2017.

A trajetória de consolidação de assentamentos urbanos precários é marcada por muita luta e resistência, principalmente dos que têm a demanda por um lugar digno de moradia e são constantemente expropriados do seu direito à cidade. No processo de ocupação do espaço à estabilização da posse da terra, ou ao menos a possibilidade de sensação desta, a presença do Estado se faz marcante, seja através da participação do poder público nas consecutivas remoções ou nas políticas públicas de urbanização das áreas vulneráveis, como a implantação de equipamentos públicos. Em ambas as possibilidades, o interesse de valorização diferenciada do preço da terra é contemplado, porém a desigualdade social continua a transgredir as fronteiras urbanas em busca de espaços para a sobrevivência (Kowarick,1996; Ribeiro, 2012).

Esta representação dos padrões espaciais, que evidenciam a diferenciação e segregação do espaço urbano, são especificidades locais da unidade CEU Paz que, como foi observado nas Tabelas 13 e 19, nem sempre refletem o padrão regional ou o padrão local das outras unidades estudadas. Entretanto, a análise aprofundada da unidade CEU Paz serve para demonstrar o alcance de uma política pública na organização do tecido urbano.

Outras unidades também demonstraram um padrão de diferenciação do espaço, que ocorreram no processo de urbanização após a implantação do centro educacional unificado. Em um caso onde a organização espacial inicial era diversa daquela observada no CEU Paz, como o CEU Butantã, que continha uma ampla área residencial formal e apresentava porcentagem de assentamentos urbanos precários abaixo da média das outras unidades, o padrão espacial também foi diferente do CEU Paz.

Na Figura 47, é possível fazer a comparação da simulação entre os dois períodos de análise, em faixas de distância a cada 500 m. As cores quentes também representam aqui as expansões horizontais de assentamentos urbanos precários, e as cores frias são processos de expansão urbana de domicílios formais ou remoções de assentamentos urbanos precários. Porém, as possibilidades de transições são outras e, como os padrões das manchas, também indicam um processo de urbanização diferente do primeiro caso.

Nesta comparação, é evidente a expansão horizontal dos domicílios formais no 2º período de análise, sob a forma de grandes manchas que ocorrem em todas as faixas de distância. No 1º período, esta classe de uso tinha um crescimento tímido e mais distante do CEU Butantã, mas ocorria na área de influência desta unidade. Outra questão que chama a atenção são os tipos de transição que ocorreram para o uso residencial formal, em que algumas das áreas das classes institucional e comércio e serviços foram substituídas por domicílios formais após a construção do equipamento público, o que pode evidenciar a valorização do local.

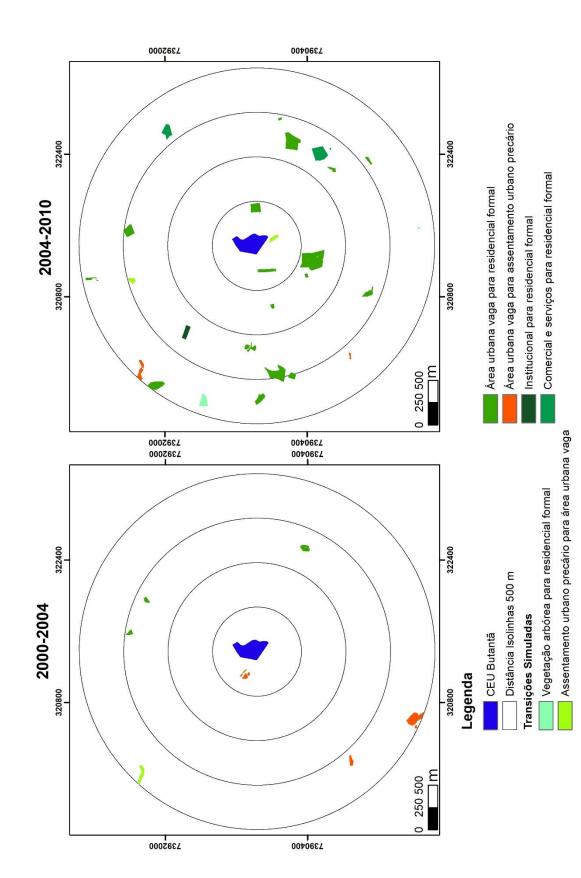


Figura 47: Comparação da expansão urbana em faixas de distância. CEU Paz.

A classe de uso assentamentos urbanos precários se expandiu no 1º período em faixas próximas e distantes do CEU Butantã. Entretanto, no 2º período, o padrão espacial de expansão de domicílios favelados mostrou-se bem mais distante do equipamento público e ocorreu em uma área de um assentamento urbano precário que havia sido removido no 1º período. Portanto, não só ocorreu uma redução da expansão deste tipo de ocupação, mas também uma redução dos locais possíveis para este tipo de transição e um aumento das remoções.

Pelos dados utilizados, não é possível concluir sobre a valorização diferenciada do preço da terra, mas os tipos de transições ocorridas e a configuração espacial evidenciada pelos padrões das manchas pode ajudar na inferência do comportamento indicado por Ding, Hwang e Divringi (2016) e Kowarick (1996) sobre valorização do preço da terra com a implantação de equipamentos públicos.

Ao analisar todos os centros educacionais unificados de uma única vez, quanto à localização das manchas de transição do uso e ocupação do solo, entre os períodos de análise, foi possível perceber que esta infraestrutura de interesse social não determina ou especifica os locais de alteração do tipo de classe, mas interfere na tendência do padrão espacial de formação das manchas de transição. As probabilidades locais de modificação do estado de uma célula mudam substancialmente, concentrando as novas possibilidades de mudança em relação ao tipo de uso e ocupação do solo, ou seja, uma nova divisão do espaço foi estabelecida no entorno do equipamento público.

As Tabelas 20 a 25 apresentam as porcentagens de variação em área e quantidade de manchas, para cada faixa de distância. Todas as manchas de transição que ocorreram nos períodos de análise foram indexadas, e as distâncias médias, a localização, o tipo de transição e a área de cada mancha foram associados ao indexador. Portanto, é possível estabelecer uma síntese das principais informações resultantes da simulação. As Tabelas 20 e 21 comparam todas as manchas de transição que têm origem em qualquer uso e mudaram para

assentamentos urbanos precários, sendo que as porcentagens estão relacionadas por faixa de distância em metros.

Tabela 20: Síntese das transições para assentamento urbano precário no 1º período*.

	0 – 500 m		501 – 1.000 m		1.001 – 1.500 m		1.501 – 2.000 m	
Modelos	Área	nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas
CEU Alvarenga								
CEU Butantã	23,7%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	76,3%	50,0%
CEU Campo Limpo	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
CEU Feitiço da Vila	0,0%	0,0%	4,9%	33,3%	54,7%	41,7%	40,4%	25,0%
CEU Inácio Monteiro	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
CEU Navegantes	82,3%	33,3%	17,7%	66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
CEU Pêra Marmelo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	73,7%	99,6%	26,3%
CEU São Rafael	16,4%	7,7%	15,3%	23,1%	53,7%	30,8%	14,5%	38,5%
CEU Parque Veredas	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
CEU Paz	55,1%	58,3%	5,4%	8,3%	31,2%	16,7%	8,3%	16,7%

^{*} Nas células vazias, não ocorrem transições do tipo indexado.

Tabela 21: Síntese das transições para assentamento urbano precário no 2º período.

	0 – 5	00 m	501 – 1.000 m		1.001 – 1.500 m		1.501 – 2.000 m	
Modelos	Área	nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas
CEU Alvarenga	22,3%	11,8%	0,0%	0,0%	51,8%	58,8%	25,9%	29,4%
CEU Butantã	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
CEU Campo Limpo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,0%	23,1%	86,0%	76,9%
CEU Feitiço da Vila								
CEU Inácio Monteiro	82,6%	88,9%	17,4%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
CEU Navegantes	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	60,0%	16,7%	40,0%	83,3%
CEU Pêra Marmelo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%
CEU São Rafael	37,3%	24,3%	25,5%	24,3%	28,4%	43,2%	8,9%	8,1%
CEU Parque Veredas	12,1%	21,4%	4,7%	14,3%	72,9%	57,1%	10,3%	7,1%

CEU Paz	72,6%	55,2%	27,4%	44,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
---------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------

^{*} Nas células vazias, não ocorrem transições do tipo indexado.

A comparação das Tabelas 20 e 21 destaca as unidades, cuja localização da concentração de manchas foi alterada entre os períodos. A unidade do CEU Paz passou a concentrar as manchas nas duas primeiras faixas de distância, como foi abordado nos gráficos da Figura 43. O CEU Navegantes, unidade que apresentou comportamento semelhante ao CEU Paz de variação em área total para quase todas as classes de uso, concentrou a expansão de assentamentos urbanos precários nas duas últimas faixas de distância. Portanto, não é possível afirmar que os centros educacionais atraem favelas para sua proximidade, mas que esse equipamento público direciona o crescimento para regiões especificas do entorno de cada unidade. A mesma modificação de padrão espacial foi identificada na comparação entre as unidades CEU Butantã, Pêra Marmelo, Inácio Monteiro e Campo Limpo. Na unidade CEU Parque Veredas, o padrão também é alterado, mas no sentido inverso, uma vez que as manchas passaram a se pulverizar no 2º período. Sete das dez unidades analisadas apresentaram variação no padrão espacial para a classe de uso assentamentos urbanos precários.

As Tabelas 22 e 23 apresentam os valores de variação, em porcentagem, de área e quantidade de manchas das transições dos usos identificados como assentamentos urbanos precários para qualquer uso, ou seja, a síntese dos assentamentos que foram removidos ou urbanizados no entorno de todas as unidades dos centros educacionais unificados.

As informações das Tabelas 22 e 23 possibilitaram identificar outros processos que estão relacionados com os abordados anteriormente, pelas Tabelas 20 e 21. Nas unidades CEU Butantã, CEU Pêra Marmelo e CEU Paz, as remoções e urbanizações do 2º período passam a se concentrar nas faixas opostas às que apresentaram expansão de assentamentos urbanos precários, fato que pode novamente demonstrar que passou a existir, após a construção dos centros educacionais unificados, uma nova divisão espacial de probabilidades e tendência de transição do uso e ocupação do solo.

Tabela 22: Síntese das remoções e urbanizações dos assentamentos urbanos precários no 1º período.

	0 – 5	00 m	501 – 1.000 m		1.001 – 1.500 m		1.501 – 2.000 m	
Modelos	Área	nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas
CEU Alvarenga								
CEU Butantã	0,0%	0,0%	0,3%	14,3%	0,0%	0,0%	99,7%	85,7%
CEU Campo Limpo								
CEU Feitiço da Vila	0,0%	0,0%	59,0%	70,0%	41,0%	30,0%	0,0%	0,0%
CEU Inácio Monteiro								
CEU Navegantes								
CEU Pêra Marmelo	71,2%	11,1%	19,1%	11,1%	9,8%	77,8%	0,0%	0,0%
CEU São Rafael								
CEU Parque Veredas	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
CEU Paz	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	79,9%	71,4%	20,1%	28,6%

^{*} Nas células vazias, não ocorrem transições do tipo tabulado.

Tabela 23: Síntese das remoções e urbanizações dos assentamentos urbanos precários no 2º período.

	0 – 500 m		501 – 1.000 m		1.001 – 1.500 m		1.501 – 2.000 m	
Modelos	Área	nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas
CEU Alvarenga								
CEU Butantã	40,9%	83,3%	0,1%	8,3%	59,0%	8,3%	0,0%	0,0%
CEU Campo Limpo	0,0%	0,0%	66,5%	13,3%	33,5%	86,7%	0,0%	0,0%
CEU Feitiço da Vila	0,0%	0,0%	53,6%	31,4%	41,0%	64,7%	5,5%	3,9%
CEU Inácio Monteiro	23,3%	14,8%	26,9%	11,1%	4,3%	37,0%	45,4%	37,0%
CEU Navegantes	26,6%	45,5%	40,1%	36,4%	33,3%	18,2%	0,0%	0,0%
CEU Pêra Marmelo	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	42,4%	54,8%	57,6%	45,2%
CEU São Rafael	0,0%	0,0%	56,5%	50,0%	43,5%	50,0%	0,0%	0,0%
CEU Parque Veredas	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	51,9%	73,3%	48,1%	26,7%
CEU Paz	0,0%	0,0%	41,6%	36,4%	49,3%	54,5%	9,1%	9,1%

^{*} Nas células vazias, não ocorrem transições do tipo tabulado.

As Tabelas 24 e 25 representam a comparação dos valores percentuais de variação em área e quantidade de manchas das transições de qualquer uso para as áreas identificadas como residenciais formais. É a tabulação de todas as áreas que foram substituídas pela expansão horizontal formal no entorno das unidades estudadas.

Tabela 24: Síntese das transformações da expansão urbana formal no 1º período.

	0 – 500 m		501 – 1.000 m		1.001 – 1.500 m		1.501 – 2.000 m	
Modelos	Área	nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas
CEU Alvarenga	0,0%	0,0%	9,2%	33,3%	90,8%	66,7%	0,0%	0,0%
CEU Butantã	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
CEU Campo Limpo	0,2%	12,5%	24,5%	37,5%	0,0%	0,0%	75,3%	50,0%
CEU Feitiço da Vila	37,4%	20,0%	62,6%	80,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
CEU Inácio Monteiro	0,0%	0,0%	23,6%	11,8%	41,4%	35,3%	35,0%	52,9%
CEU Navegantes								
CEU Pêra Marmelo	32,8%	10,0%	29,9%	20,0%	21,8%	45,0%	15,4%	25,0%
CEU São Rafael	0,0%	0,0%	3,3%	16,7%	96,7%	83,3%	0,0%	0,0%
CEU Parque Veredas	22,3%	17,6%	51,2%	52,9%	26,5%	29,4%	0,0%	0,0%
CEU Paz	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	79,9%	71,4%	20,1%	28,6%

^{*} Nas células vazias, não ocorrem transições do tipo tabulado.

Tabela 25: Síntese das transformações da expansão urbana formal no 2º período.

	0 – 500 m		501 – 1.000 m		1.001 – 1.500 m		1.501 – 2.000 m	
Modelos	Área	nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas	Área	Nº manchas
CEU Alvarenga	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	96,8%	71,4%	3,2%	28,6%
CEU Butantã	9,6%	10,7%	19,0%	10,7%	54,0%	60,7%	17,4%	17,9%
CEU Campo Limpo	3,1%	6,7%	29,6%	26,7%	8,5%	26,7%	58,8%	40,0%
CEU Feitiço da Vila	9,0%	14,3%	57,2%	42,9%	28,7%	28,6%	5,1%	14,3%
CEU Inácio Monteiro	9,0%	8,3%	9,0%	11,1%	23,3%	22,2%	58,7%	58,3%
CEU Navegantes	0,0%	0,0%	36,4%	14,3%	63,6%	85,7%	0,0%	0,0%
CEU Pêra Marmelo	62,0%	40,0%	6,9%	20,0%	15,7%	26,7%	15,4%	13,3%
CEU São Rafael	3,4%	13,3%	49,1%	46,7%	30,2%	33,3%	17,3%	6,7%
CEU Parque Veredas	0,0%	0,0%	44,8%	23,8%	45,6%	61,9%	9,6%	14,3%

CEU Paz 0,0% 0,0%	39,6% 33,3%	2,0%	33,3%	58,4%	33,3%
-------------------	-------------	------	-------	-------	-------

^{*} Nas células vazias, não ocorrem transições do tipo tabulado.

As Tabelas 24 e 25 ajudam a compreender a diferenciação da organização espacial do entorno dos centros educacionais estudados quanto à expansão horizontal formal e informal. As manchas de áreas residenciais formais têm maior permeabilidade entre todas as faixas de distância, ou seja, não se concentram como os assentamentos urbanos precários. Este fenômeno é corroborado pela afirmação de Caldeira (1997), na qual a autora diz que a possibilidade e a prioridade de escolha para mudar o local de residência está diretamente associada à renda. Assim, é plausível notar esta diferença nos padrões espaciais das classes de uso residencial formal e dos assentamentos urbanos precários.

Outra constatação é a semelhança dos padrões espaciais de novas manchas de residências formais e as faixas de distância de remoção ou urbanização de assentamentos urbanos precários, fato que pode ser relacionado às teorias de valorização do preço da terra, que induzem a novas possibilidades de ocupação. As unidades CEU Paz, CEU São Rafael e CEU Feitiço da Vila podem exemplificar esta observação. Nas unidades CEU Butantã e CEU São Rafael, é possível observar o fenômeno de desconcentração das manchas de expansão urbana para as diferentes faixas de uso.

7. Considerações Finais

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, é possível afirmar que as comparações dos períodos de análise, antes e após a construção dos centros educacionais unificados, apresentaram variações sistemáticas na tendência de variação nos parâmetros globais (matriz de transição) e nos parâmetros locais (pesos de evidência). A aplicação dos parâmetros na simulação resultou em manchas que variaram sistematicamente no tempo e no espaço, cujas principais modificações se deram em função espacial dos centros educacionais unificados, dimensão representada pelas faixas de distância a cada unidade construída, e em função dos períodos de análise. Dessa forma, as dinâmicas dos raios de influência das 10 unidades destes equipamentos públicos foram representadas.

Na análise dos parâmetros globais, foi possível observar um aumento de 35% nas possibilidades de transição entre as diferentes classes de uso do solo, indicando uma maior dinâmica de modificações após o ano de construção dos centros educacionais unificados. As classes de uso residencial formal, as áreas urbanas vagas e os assentamentos urbanos precários são os usos que apresentam uma importância maior em relação aos outros tipos de transições, quando considerados os valores das taxas de variação. Apesar de os valores absolutos de variação em área dos assentamentos urbanos precários, entre 2000 e 2010, permanecerem praticamente constante, foi registrado o aumento nas taxas anuais em 6 casos das 9 possibilidades de transições de qualquer uso para esta classe. Após a construção do CEU Paz, foram registradas ocupações de domicílios favelados em áreas de vegetação arbórea e sobre áreas vagas a uma taxa anual de 18,2 hectares. O aumento da taxa de expansão dos assentamentos urbanos precários foi mais de 27% entre os períodos desta unidade.

Nos parâmetros locais, foram identificadas variações nos padrões espaciais de influência de muitas das variáveis utilizadas como explicativas, como a relação entre os pesos de evidência e as classes de maior declividade do terreno, na transição de áreas urbanas não ocupadas para domicílios favelados, evidenciando um processo de segregação deste tipo de ocupação. Quando todas as variáveis

foram analisadas em conjunto, através dos mapas de probabilidade, foi possível a representação espacial das alterações sistemáticas da influência das variáveis nas principais transições dos usos do solo. As probabilidades foram associadas espacialmente com a localização das unidades dos centros educacionais unificados, em quase todos os casos.

Nas simulações dos intervalos anuais, que consideram os parâmetros locais e globais na definição da quantidade e dos locais de transição, foram representadas as variações sistemáticas e dinâmicas que ocorreram no raio de influência de todas as unidades dos centros educacionais unificados, após a construção das unidades. Os dados que melhor demonstraram a alteração na tendência de transição do uso e ocupação do solo foram o ângulo de variação, calculado entre os modelos elaborados para cada período de análise, e a síntese das porcentagens de variação em área e em quantidade de manchas de transição, para cada faixa de distância aos centros educacionais unificados.

Os ângulos de variação, formados na comparação entre os modelos de cada período de análise, informaram se ocorreram alterações na tendência de modificações de cada classe de uso do solo, ressaltando a possibilidade de associação temporal com a construção de cada unidade dos centros educacionais unificados. Em todas as unidades, as principais variações na tendência ocorreram sistematicamente em relação ao ano de construção do equipamento público.

Os resultados com as análises de velocidade de variação, grau de inclinação e assinatura de comportamento de variação possibilitaram a comparação entre os modelos elaborados para as diferentes unidades. Entretanto, não foram todas as classes de uso que refletiram modificações com a implantação dos centros educacionais unificados, mesmo alternando variáveis e parâmetros entre os modelos. Foi possível concluir sobre a maior relação das variações do uso e ocupação do solo com o contexto específico do entorno de cada unidade, e não em relação à configuração de divisão regional e administrativa do município, o que corrobora com a tese de que este equipamento público exerce influência em graus diferentes, dependendo do contexto em que foi projetado e implantado.

A síntese de todas as manchas de transição do uso e ocupação solo, que ocorreram entre cada período de análise, ressaltam os diferentes padrões espaciais estabelecidos após a construção das unidades dos centros educacionais unificados. Não foi possível constatar um padrão único de alteração na tendência da dinâmica do tecido urbano, mas sim um padrão relacionado ao contexto de cada unidade. A análise das manchas possibilita ainda o estudo das relações espaciais que aconteceram nas sucessões das principais classes de uso, como a ocorrência de remoções e urbanizações de assentamentos urbanos precários que, no 2º período, passam a se concentrar nas faixas de distância opostas às que apresentaram expansão de domicílios favelados e nas mesmas faixas de distância de expansão de áreas residenciais formais.

Assim, a hipótese foi corroborada quanto à possibilidade de representação da variação da tendência de transição do uso e ocupação do solo após a construção dos centros educacionais unificados estudados. Os resultados confirmam ainda que diferentes padrões espaciais podem se originar com a construção destes equipamentos públicos. As relações identificadas entre os padrões espaciais de modificação do tecido urbano do entorno de cada unidade estudada puderam ser associadas aos processos de urbanização próprios da periferia de São Paulo, como a diferenciação da organização espacial dos usos do solo que são vinculados a uma diferença de renda. As transições que ocorrem entre as classes de uso residencial formal e assentamentos urbanos precários são exemplos claros das conexões existentes entre os resultados e os processos de expansão urbana que funcionam sob a óptica da formalidade e informalidade.

A variação na concentração, dispersão e localização das manchas de transição, entre os períodos de análise, conta um pouco dos processos desiguais de urbanização das periferias de São Paulo após a implantação de um equipamento público. No CEU Paz, as possibilidades de transições, que podem ser traduzidas por locais de preferência ou de imposição, para a expansão horizontal de assentamentos urbanos precários se concentraram em locais de maior vulnerabilidade e precariedade, enquanto nas unidades Butantã e Parque Veredas foi observada uma priorização da expansão urbana formal. São processos de urbanização que, quando relacionados com o contexto de implantação das

unidades, podem ser compreendidos por meio das observações sobre a periferia de São Paulo propostas por Caldeira (1997) e Frúgoli Jr (2006).

Foi possível constatar o movimento cíclico de urbanização, muitas vezes impulsionado pela força da especulação imobiliária. Mesmo mudando de forma ou a sua organização espacial, o tecido urbano reflete processos que acompanham a ruptura de limites urbanos no transcorrer da formação das grandes cidades brasileiras. Marques e Saraiva (2017) relatam que, mesmo após as sucessivas melhorias dos assentamentos urbanos precários e a diminuição na intensidade de crescimento, promovidas por várias políticas públicas pontuais e regionais, este tipo de uso continua a se expandir e apresenta maior heterogeneidade de precariedades e locais vulneráveis de ocupação.

No cinejornal de 1971, produzido pela Agência Nacional, com o título Vida Nova Sem Favela, o narrador apresenta o seguinte texto: "Felizmente, a favela carioca é algo que tende a desaparecer de nossa realidade. O Governo Federal através da CHISAM² vem ajudando as autoridades estaduais a resolver o problema. O lema é demolir para construir!" (Cinejornal Brasil Hoje, 1971). Caso as fotos apresentadas nos resultados estivessem em tons de cinza, sem a identificação do ano e local, seria difícil determinar se as ocupações destes assentamentos urbanos precários são da metrópole de São Paulo do ano de 2017 ou do Rio de Janeiro, retratado no cinejornal de 1971, apesar das formas e organizações espaciais diferentes entre as duas cidades.

No que tange à elaboração deste trabalho, é possível considerar que a produção de dados, para escala escolhida, gera uma grande quantidade de informações e com muitas opções de análise, porém a disponibilidade de dados e a execução ganham proporcionalmente a mesma complexidade. Dessa forma, foi necessária a generalização de algumas classes de uso e ocupação do solo, mesmo diante das heterogeneidades marcantes na escala de detalhes utilizada.

O ambiente complexo trabalhado tem especificidades que abrangem inúmeras possibilidades de considerações. A depender dos critérios de classificação, novas divisões de classe de uso do solo podem ser sugeridas. Por

-

² CHISAM - Coordenação de Habitação de Interesse Social da Área Metropolitana.

exemplo, em um estudo específico sobre segregação socioespacial, um processo de urbanização que pode ser relacionado à implantação de um equipamento público, a classe de uso residencial formal pode ser subdividida por padrão construtivo, uma vez que fica evidente uma diferenciação espacial local e regional na análise detalhada desta classe de uso. A utilização de uma classe única, nesta pesquisa, foi considerada suficiente, pois possibilitou análises satisfatórias dos processos urbanos relacionados às outras classes de uso e à presença dos centros educacionais unificados.

A quantidade de unidades escolhidas foi abrangente e representativa para a investigação proposta. Foi possível fazer comparações locais e regionais de variações nos padrões e da dinâmica de transição do uso e ocupação do solo no entorno de cada unidade e entre cada centro educacional unificado. As áreas selecionadas continham contextos e processos de urbanização diferentes. Assim, a influência do equipamento público pode ser avaliada em diferentes situações.

A metodologia proposta facilitou a compreensão e interpretação dos resultados. Cada etapa da metodologia, conforme a Figura 10, forneceu dados que auxiliaram as conclusões e discussões realizadas sobre a dinâmica urbana. Os dados obtidos, entre uma e outra fase processual, foram analisados individualmente e em conjunto. Fica difícil considerar a dinâmica, ou seja, o comportamento dos resultados nas dimensões espaço e tempo, sem a consideração do conjunto total de dados. Individualmente, os resultados abrangem aspectos importantes e diversos da realidade, mas em conjunto favorecem a representatividade da análise.

As simulações foram validadas utilizando o cálculo do índice de similaridade fuzzy e comparação da morfologia de manchas. Em ambos os critérios, todos os modelos foram considerados representativos das observações realizadas da realidade. Os resultados da validação da morfologia de manchas mostram ainda as possibilidades com a calibração dos parâmetros de formação das manchas e da aleatoriedade do modelo.

Uma das vantagens da simulação, a partir da utilização da técnica de autômatos celulares, é a possibilidade da análise da variação do uso e ocupação

do solo em intervalos anuais. Uma inferência contínua auxilia na análise de formação de padrões espaciais no decorrer do tempo. É possível acompanhar as mudanças em outra escala temporal, verificar os efeitos da balança de alterações e não apenas os valores absolutos de mudanças.

Portanto, não se pretende concluir sobre as transformações especificas que ocorreram no raio de cada unidade dos centros educacionais unificados, mas sim na representatividade que as informações geradas adquirem ao considerar as dimensões espaço e tempo na pesquisa. A representação dos padrões espaciais na dinâmica das transições do uso e ocupação do solo urbano, associados aos processos de urbanização característicos da periferia de São Paulo, fornecem lastro para novas possibilidades de análise da influência dos centros educacionais unificados.

8. Referências

- ABREU, I. R. N. **Convênio Escolar: utopia construída**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2007.
- AGTERBERG, F. P.; BONHAM-CARTER, G. F. Deriving weights of evidence from geoscience contour maps for the prediction of discrete events. In: **Proceedings of the 22nd APCOM Symposium, Berlin, Germany**. p. 381-395. 1990.
- ALBIN, P. S. **The analysis of complex socioeconomic systems**. Lexington Books, 1975.
- ALLEN, P. M. *et al.* Models of urban settlement and structure as dynamic selforganizing systems. **US Department of Transportation**. 1981.
- ALMEIDA, C. M. *et al.* Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 27, n. 5, p. 481-509, 2003.
- ALMEIDA, C. M. Modelagem da Dinâmica Espacial como uma Ferramenta Auxiliar ao Planejamento: Simulação de Mudanças de Uso da Terra em Áreas Urbanas para as Cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. Brasil. Tese (Doutorado) Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2003.
- ALMEIDA, C. *et al.* Modelos Celulares de Dinâmicas Espaço-Temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos. In: MEIRELLES, M. et al (Orgs.). **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. 1 ed. Brasília: EMBRAPA, p.445-496. 2007.
- ALMEIDA, C. M.; GLERIANI, J. M. Redes Neurais e Autômatos Celulares como uma Plataforma para a Simulação de Mudanças do Uso do Solo Urbano. In: ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São José dos Campos, SP: Digital Press, p. 300-323. 2007.
- ALVES, G. A. Privação, justiça espacial e o direito à cidade. In: CARLOS, A.F.A.; ALVES, G; PADUA, R. F de. (Org.). **Justiça espacial e o direito à cidade.** 1ed.São Paulo: contexto, v. 1, p. 167-178. 2017.
- AMUJAL., C. Using cellular automata to analyze and model urban growth: A case study of the greater Copenhagen area from 1990 to 2010. Dinamarca. Dissertação (Mestrado). Aalborg University, Copenhagen, 2015.
- ANELLI, R. L. S. Centros Educacionais Unificados: arquitetura e educação em São Paulo. Arquitextos, São Paulo, **Vitruvirus**, v. 55, n. 2. 2004.
- ANGILELI, C. M. de M. M.; SANDEVILLE, E. Uma Experiência de Estudo Colaborativo de Paisagens na Brasilândia, São Paulo. Paisagem e Ambiente, n. 30, p. 29-44, 2012.

- BARDI, L. B. Prefácio. Revista Habitat. São Paulo, n. 4, p. 1, 1951.
- BARTHELEMY, M. From paths to blocks: New measures for street patterns. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 44, n. 2, p. 256-271, 2015.
- BASSE, R.M. *et al.* Land use changes modelling using advanced methods: cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale. **Applied Geography**, v. 53, p. 160-171, 2014.
- BATTY, M. Modelling cities as dynamic systems. **Nature**, v. 231, n. 5303, p. 425, 1971.
- BATTY, M. **Urban modelling: algorithms, calibrations, predictions**. Cambridge University Press, 1976.
- BATTY, M. Progress, success, and failure in urban modelling. **Environment and Planning A**, v. 11, n. 8, p. 863-878, 1979.
- BATTY, M. Geocomputation using cellular automata. In: **Geocomputation**. New York: Taylor & Francis, p. 95-126. 2000.
- BATTY, M. Fifty years of urban modeling: Macro-statics to micro-dynamics. In: **The dynamics of complex urban systems**. Physica-Verlag HD, p. 1-20. 2008.
- BATTY, M. Urban Modeling. In: THRIFT, N. e KITCHIN, R. (Eds.) International Encyclopedia of Human Geography, Oxford, UK, Elsevier, p. 51-58. 2009.
- BATTY, M; CHESHIRE, J. Cities as flows, cities of flows. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 38, n. 2, p. 195-196, 2011.
- BATTY, M. A generic framework for computational spatial modelling. In: **Agent-based models of geographical systems**. Springer, Dordrecht, p. 19-50. 2012.
- BELL, E. J.; HINOJOSA, R. C. Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 11, n. 1, p. 13-17, 1977.
- BERLIANT, M.; PENG, S.; WANG, P. Welfare analysis of the number and locations of local public facilities. **Regional Science and Urban Economics**, v. 36, n. 2, p. 207-226, 2006.
- BERTALANFFY, L. An outline of general systems theory. **British Journal of the Philosophy of Science**, v. 1, p. 134-165, 1950.
- BETTENCOURT, L. M. *et al.* Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 104, n. 17, p. 7301-7306, 2007.
- BETTENCOURT, L. M. The origins of scaling in cities. **science**, v. 340, n. 6139, p. 1438-1441, 2013.

- BLECIC, I. *et al.* Modelling urban dynamics with cellular automata: A model of the city of Heraclion. In: **7th AGILE conference on geographic information science**. 2004.
- BONHAM-CARTER, G. F. Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS. **Computer methods in the geoscientists**, v. 13, p. 398, 1994.
- BRASIL, Lei Federal nº 6.766, Brasília. 1979.
- BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. Lesvos, Greece. Tese (Doutorado em Geografia) University of Aegean, 2000.
- CALDEIRA, T. P. Enclaves fortificados: a nova segregação urbana. **Novos Estudos CEBRAP**, v. 47, p. 155-76, 1997.
- CALVINO, Í. As Cidades Invisíveis. [trad. Diogo Mainardi]. **São Paulo: Companhia das Letras**, 1990.
- CÂMARA, G. *et al.* Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, M. S.; CÂMARA, G. (eds). **Análise espacial de dados geográficos**, EMBRAPA/INPE, Rio de Janeiro, p. 3-29. 2002.
- CAMPOS, P. B. R.; QUEIROZ, A. P. Matriz de Transição na Detecção das Mudanças do Uso e Ocupação do Solo: Estudo de Caso do Centro Educacional Unificado da Paz–Zona Norte de São Paulo. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 225-238, 2017.
- CARLINO, G. A.; MILLS, Leonard. Testing neoclassical convergence in regional incomes and earnings. **Regional Science and Urban Economics**, v. 26, n. 6, p. 565-590, 1996.
- CARLOS, A. F. A. A metrópole de São Paulo no contexto da urbanização contemporânea. **Estudos avançados**, v. 23, n. 66, p. 303-314, 2009.
- CARLOS, A. F. A. A condição espacial. Editora Contexto, 2011.
- CARUSO, G. *et al.* Spatial configurations in a periurban city. A cellular automatabased microeconomic model. **Regional Science and Urban Economics**, v. 37, n. 5, p. 542-567, 2007.
- CHAPIN Jr., F. S.; WEISS, S. F. A probabilistic model for residential growth. **Transportation Research**, v. 2, p. 375-390, 1968.
- CHORLEY, R.J; HAGGET, P. Modelos Integrados em Geografia. Rio de Janeiro, **Editora Livros Técnicos e Científicos S.A.**, p. 279. 1974.
- CHOW, G. C. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 591-605, 1960.
- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo, **Edgar Blücher**, p. 236. 1998.

- CINEJORNAL BRASIL HOJE. **Vida Nova Sem Favela**. Direção: Agência Nacional. Texto: Hilson C. Waehneldt. Voz: Alberto Curi. Fotografia: Amir Ribeiro e Paulo Brandão. Montagem: Pery Santos. Som: SOMIL. Agência Nacional, (02 min), sem cor.1971.
- CLARK, C. Urban population densities. **Journal of the Royal Statistical Society A**, v.114, p. 490-496, 1951.
- COUCLELIS, H. Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. **Environment and planning A**, v. 17, n. 5, p. 585-596, 1985.
- CROOKS, A. Agent-Based Modeling and Geographical Information Systems. In: BRUNSDON, Chris; SINGLETON, Alex (Ed.). **Geocomputation: A Practical Primer**. SAGE, 2015.
- DAVIS, M. Planeta Favela. São Paulo, Boi Tempo, p. 272. 2006.
- DEBORD, G. A sociedade do espetáculo. Contraponto. 1991.
- DECRETO MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Decreto municipal nº 42.832. São Paulo, 2003.
- DECRETO MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Decreto municipal nº 50.738. São Paulo, 2009.
- DECRETO MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Decreto municipal nº 57.478. São Paulo, 2016.
- DELIJAICOV, A.; MELENDEZ, A. Escola-parque de Anísio Teixeira inspira projeto de CEU paulistano. São Paulo: **Projeto/Design**, v. 280 p. 61. 2003.
- DELIJAICOV, A.; TAKIYA, A.; ARIZA, W. Engenharia Construtiva e Arquitetura Social Estão Unidas nos CEUs A Arquitetura da Construção. **Revista Engenharia**, São Paulo: Órgão Oficial do Instituto de Engenharia, v.561, p.36 59. 2004.
- DING, L.; HWANG, J.; DIVRINGI, E. Gentrification and residential mobility in Philadelphia. **Reg. Sci. Urban Econ**. 61, 38–51, 2016.
- DRAIBE, S. M. As políticas sociais do regime militar brasileiro: 1964-84. In: G. S.; M. C. D'Araújo (Orgs.), **21 anos de regime militar: balanços e perspectivas**. v. 21, p. 271-307, 1994.
- DUARTE, H. O problema escolar e a arquitetura. **Revista Habitat**, São Paulo, n. 4, p. 4-6, 1951.
- DUARTE, H. Escolas-classe, escola-parque: uma experiência educacional. São Paulo: **FAUUSP**, 1973.
- EBERT, A.; KERLE, N.; STEIN, A. Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and spaceborne imagery and GIS data. **Natural hazards**, v. 48, n. 2, p. 275-294, 2009.

- EMPLASA, Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano. Mapeia São Paulo: Projeto de atualização cartográfica do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretária de Planejamento e Desenvolvimento Regional. 2011.
- FREIRE, Paulo. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática docente. São Paulo: **Paz e Terra**, p. 90, 1996.
- FRIESEN, J. *et al.* The similar size of slums. **Habitat International**, v. 73, p. 79-88, 2018.
- FRÚGOLI JR, F. J. Centralidade em São Paulo: trajetórias, conflitos e negociações na metrópole. **EdUSP**, 2006.
- GAGO-SILVA, A.; RAY, N.; LEHMANN, A. Spatial Dynamic Modelling of Future Scenarios of Land Use Change in Vaud and Valais, Western Switzerland. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 4, p. 115, 2017.
- GADOTTI, M. Educação com Qualidade Social. Projeto, implantação e desafios dos Centros Educacionais Unificados (CEUs). Prefácio. **Centro de Referência Paulo Freire**, São Paulo, p. 1-25. 2004.
- GAMBA, C.; RIBEIRO, W. C. Indicador e avaliação da vulnerabilidade socioambiental no município de São Paulo. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 31, p. 19-31, 2012.
- GARCIA, R.; *et al.* Validating agent-based marketing models through conjoint analysis. **Journal of Business Research**, v. 60, n. 8, p. 848-857, 2007.
- GEORGESCU, M.; *et al.* Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 8, p. 2909-2914, 2014.
- GHOSH, P. *et al.* Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 5, p. 64-77, 2017.
- GIAMBIAGI, F.; URANI, A. Reformas no Brasil: balanço e agenda. **Editora Nova Fronteira**, 2004.
- GODOY, M.; SOARES-FILHO, B. S. Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In: **Modelling environmental dynamics**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 319-338. 2008.
- GONG, P. *et al.* Urbanisation and health in China. **The Lancet**, v. 379, n. 9818, p. 843-852, 2012.
- GOODACRE, A. K. *et al.* A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. **Tectonophysics**, v. 217, n. 3-4, p. 285-305, 1993.
- GOUDARD, B.; *et al.* Reflexões sobre Cidade, seus Equipamentos Urbanos e a Influência destes na Qualidade de Vida da População. **INTERthesis: Revista Internacional Interdisciplinar**, v. 5, n. 2, p. 93-103, 2008.

- HAASE, D.; et al. Actors and factors bridging social science findings and urban land use change modeling. In Sànchez-Marrè, M., Béjar, J., Comas, J., Rizzoli, A., Guariso, G., (Eds.), Proceedings of the 4th Biennial Meeting of iEMSs International Environmental Modelling and Software Society. Barcelona, Spain. 2008.
- HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235-249, 2003.
- HAACK, B. N; *et al.* Urban analysis and planning. In Phillipson *et al.* (eds.) Manual of photographic interpretation p. 517–554. 1997.
- HE, C. *et al.* Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. **Applied Geography**, v. 26, n. 3-4, p. 323-345, 2006.
- HEROLD, M.; *et al.* The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. Computers, Environment and Urban Systems, v. 29, n. 4, p. 369-399, 2005.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. Resultados do Universo. Rio de Janeiro: IBGE. 2010. ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Aglomerados_subnorma is/Aglomerados_subnormais_informacoes_territoriais/notas_tecnicas.pdf Acesso em: 20 janeiro 2018.
- ILTANEN, S. Cellular automata in urban spatial modelling. In: HEPPENSTALL, A. J. *et al.* (eds.). **Agent-based models of geographical systems**. Springer Netherlands, p. 69-84. 2012.
- INTERGRAPH. Intergraph Microstation PC, Version 4 User's Guide. Bentley Systems, **Inc. and Intergraph Corporation**, 333 pp. 1991.
- JANTZ, C. A.; GOETZ, S. J.; SHELLEY, M. K. Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 31, n. 2, p. 251-271, 2004.
- KAWASHIMA, R. S. *et al.* Modelagem Dinâmica Espacial como Ferramenta para Simulação de Cenários da Paisagem na Região Portuária da Baixada Santista. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, 2016.
- KOHLI, D. *et al.* An ontology of slums for image-based classification. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 36, n. 2, p. 154-163, 2012.
- KOHLI, D. *et al.* Urban slum detection using texture and spatial metrics derived from satellite imagery. **Journal of spatial science**, v. 61, n. 2, p. 405-426, 2016.
- KOWARICK, L. F. F. Espoliação Urbana. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 203p. 1980.

- KOWARICK, L. Expoliación urbana, luchas sociales y ciudadanía: retazos de nuestra historia reciente. **Estudios sociológicos**, p. 729-743, 1996.
- KUMAR, U; *et al.* Cellular automata and Genetic Algorithms based urban growth visualization for appropriate land use policies. In: **The Fourth Annual International Conference on Public Policy and Management**, Centre for Public Policy, Indian Institute of Management (IIMB). 2009.
- LAKSHMANAN, T. R.; HANSEN, W. G. A retail market potential model. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 31, p. 134-143, 1965.
- LATHROP, G. T.; HAMBURG, J. R. An Opportunity-Accessibility Model for Allocating Regional Growth. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 31, n. 2, p. 95-103, 1965.
- LÊ, T. T. et al. Change detection matrix for multitemporal filtering and change analysis of SAR and PolSAR image time series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 107, p. 64-76, 2015.
- LEFEBVRE, H. A produção do espaço urbano. Belo Horizonte: **Editora UFMG**, 2006.
- LEJANO, R. P.; BIANCO, C. The logic of informality: Pattern and process in a São Paulo favela. **Geoforum**, v. 91, p. 195-205, 2018.
- LI, X.; *et al.* Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata. **Landscape and Urban Planning**, v. 86, n. 2, p. 177-186, 2008.
- LI, X.; *et al.* A 30-year (1984–2013) record of annual urban dynamics of Beijing City derived from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 166, p. 78-90, 2015.
- LIU, Y. Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata. **CRC Press**, 2008.
- LOWRY, I. S. A model of metropolis. Santa Monica: RAND Corporation, 1964.
- LU, D.; *et al.* Change detection techniques. **International Jornal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.
- MARQUES, E.; SARAIVA, C. Urban integration or reconfigured inequalities? Analyzing housing precarity in São Paulo, Brazil. **Habitat International**, v. 69, p. 18-26, 2017.
- MERLIN, P. Méthodes quantitatives et espace urbain. Paris: **Masson et Cie Éditeurs**, 190 p. 1973.
- NEVES, F. H. The planning of urban community education facilities: some reflections. **Cadernos Metrópole**, v. 17, n. 34, p. 503-516, 2015.
- NOVAES, M. R. Analysis of the reduction in the burn of sugarcane by means of spatial dynamic modeling. Brasil. Dissertação (Mestrado) Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2010.

- OLIVEIRA, P. C. **O CEU na integração da periferia**. Tese (Doutorado). Brasil. Universidade de São Paulo. 2017.
- OKWUASHI, O. *et al.* Predicting future land use change using support vector machine based GIS cellular automata: a case of Lagos, Nigeria. **Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 5, p. 132, 2012.
- OTSUKI, K. Infrastructure in informal settlements: co-production of public services for inclusive governance. **Local Environment**, v. 21, n. 12, p. 1557-1572, 2016.
- PACHECO, R. T. B. O espetáculo da educação: os Centros Educacionais Unificados do Município de São Paulo como espaços públicos de lazer. Tese (Doutorado). Brasil. Universidade de São Paulo. 2009.
- PACHECO, R. T. B. A Política Educacional como Espetáculo: a construção dos centros educacionais unificados em São Paulo. **Revista Psicologia Política** (Impresso), São Paulo, v. 11, p. 329-343, 2011.
- PADILHA, P.; SILVA, R. (orgs.). Educação com qualidade social: A experiência dos CEUs de São Paulo. **Centro de Referência Paulo Freire**. 2004.
- PARKER, D. C. *et al.* Measuring emergent properties of agent-based landcover/landuse models using spatial metrics. **Society for Computational Economics**, 2001.
- PASTERNAK, S. O Desafio da Mensuração. In: **BRASIL, Política habitacional e integração urbana de assentamentos precários: parâmetros conceituais, técnicos e metodológicos**. Ministério das Cidades. p.93-110. 2008.
- PASTERNAK, S.; BÓGUS, L. M. M. Urbanização, meio ambiente e saúde em São Paulo. **INTERFACEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, 2011.
- PASTERNAK, S.; D'OTTAVIANO, C. Favelas no Brasil e em São Paulo: avanços nas análises a partir da Leitura Territorial do Censo de 2010. **Cadernos Metrópole**, v. 18, n. 35, 2016.
- PATEL, A.; *et al.* Slumulation: an agent-based modeling approach to slum formations. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, England, University of Surrey, v. 15, no 2. 2012.
- PEDRO, A. A. Análise temporal dos setores de aglomerados subnormais dos censos 2000 e 2010: o estudo de caso da subprefeitura de São Mateus no município de São Paulo SP. 179p. Dissertação (Mestrado). Brasil. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 179p. 2016.
- PEREIRA, E. W.; ROCHA, L. M. F. Escola Parque de Brasília: uma experiência de educação integral. In: **VI Congresso Luso-Brasileiro de História da Educação**. 2006.

- PINTO, N. E. N. A microsimulation approach for modelling the growth of small urban areas. Dissertação (Mestrado). Portugal. (Planning and Project of the Urban Environment) University of Porto, Porto. 157 p. 2006.
- PMSP/SME Prefeitura Municipal de São Paulo/Secretaria Municipal de Educação. **Revista EducAção**. PMSP, n. 4. 2003.
- PMSP/SME Prefeitura Municipal de São Paulo/Secretaria Municipal de Educação. **Revista EducAção**. PMSP, n. 5. 2004.
- PMSP, Prefeitura Municipal de São Paulo. Mapa Digital da Cidade de São Paulo: Geosampa. geosampa.prefeitura.sp.gov.br Acesso em: 05 de janeiro de 2016.
- PPIAFP, Public Private Infrastructure Advisory Facility. Infrastructure Development and Service Provision in the Process of Urbanization. Background Paper prepared by UTC Ltd. ALMEC Corporation for Connecting East Asia: A New Framework for Infrastructure. 2007. https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/Cross-Border-Infrastructure-Toolkit/Cross-Border%20Compilation%20ver%2029%20Jan%2007/Resources/Urbanization% 20-%20excerpts.pdf. Acesso em: 20 Janeiro 2018.
- PRASAD, S. G; SHANKAR, B. Land Use Planning for Social Infrastructure in Bangalore Metropolitan Area: Issues and Policies. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, v. 2, 2013.
- PRETECEILLE, E.; VALLADARES, L. A desigualdade entre os pobres—favela, favelas. Desigualdade e pobreza no Brasil. Rio de Janeiro: **IPEA**, p. 459-85, 1999.
- REY, S. J.; MONTOURI, B. D. US regional income convergence: a spatial econometric perspective. **Regional studies**, v. 33, n. 2, p. 143-156, 1999.
- RIBEIRO, F. V. A Luta pelo espaço: Da segurança da posse à política de regularização fundiária de interesse social em São Paulo. Tese (Doutorado). Brasil. Universidade de São Paulo. 2012.
- ROY, D.; *et al.* The Emergence of Slums: A Contemporary View on Simulation Models. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, Elsevier, v. 59, p. 76–90. 2014.
- SAMBONET, R. Convite a colecionar. Habitat. São Paulo, n.4, p.41-43, 1951.
- SANCHES, A.; LEONE, M. F. A Rede Uniceu Como Política de Promoção da Democratização do Acesso ao Ensino Superior nas Periferias da Cidade de São Paulo. SIED: EnPED-Simpósio Internacional de Educação a Distância e Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância, 2016.
- SANTÉ, I.; *et al.* Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. **Landscape and Urban Planning**, v. 96, n. 2, p. 108-122, 2010.

- SANTOS, C. S. A fronteira urbana: urbanização, industrialização e mercado imobiliário no Brasil. **PPGH**, 2015.
- SÃO PAULO. Lei Municipal nº 14.662. São Paulo, 2008.
- SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. **Chapman and Hall/CRC**. 1986.
- SIETCHIPING, R. A Geographic Information Systems and Cellular Automata-Based Model of Informal Settlement Growth. Tese (Doutorado). Australia. School of Anthropology, Geography and Environmental Studies The University of Melbourne. 2004.
- SMITH, Neil. Gentrification and the rent gap. **Annals of the Association of American geographers**, v. 77, n. 3, p. 462-465, 1987.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* DINAMICA a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological modelling**, v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520, 2006.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, p. 74, 2007.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, v. 115, 2009.
- SPOSATI, A. Mapa da exclusão/inclusão social. São Paulo: EDUC/PUC. 1996.
- TASCHNER, S. P.; BÓGUS, L. M. M. São Paulo, uma metrópole desigual. **Eure** (Santiago), v. 27, n. 80, p. 87-120, 2001.
- TEIXEIRA, A. Centro Educacional Carneiro Ribeiro. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 73, p. 78-84, 1959.
- THAPA, R. B.; MURAYAMA, Y. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 1, p. 25-34, 2011.
- THISSE, J.; WILDASIN, D. E. Public facility location and urban spatial structure: Equilibrium and welfare analysis. **Journal of Public Economics**, v. 48, n. 1, p. 83-118, 1992.
- TORRENS, P. M.; O'SULLIVAN, D. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here? editorial. **Environment and Planning B**, v. 28, p. 163-168, 2001.
- TORRES, H. G. Social and Environmental Aspects of Peri-Urban Growth in Latin American Megacities. Report from the United Nations Expert Group Meeting on

- Population Distribution, Urbanization, Internal Migration and Development. **UNO**, New York. 2008.
- TURNER, B. L.; *et al.* The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.
- UN-HABITAT, The challenge of slums: Global report on human settlements 2003. London: **Earthscan**. p. 310. 2003.
- UNITED NATIONS, World urbanization prospects. **Department of Economic and Social Affairs**. New York, NY. 2014.
- ULAM, S. On some mathematical problems connected with patterns of growth of figures. In: **Proceedings of Symposia in Applied Mathematics**. Providence: Am. Math. Soc. Vol. 14, p. 215-224. 1962.
- VAN DELDEN, H.; et al. Integrating socio-economic and land-use models to support urban and regional planning. In: **Proceedings of the 14th AGILE International Conference on Geographic Information Science**. 2011.
- VIEIRA, R. S. Crescimento econômico no estado de São Paulo: uma análise espacial. **UNESP**. 2009.
- WAHYUDI, A.; LIU, Y. Cellular automata for urban growth modelling. **International Review for Spatial Planning and Sustainable Development**, v. 4, n. 2, p. 60-75, 2016.
- WATSON, D. F. A refinement of inverse distance weighted interpolation. **Geoprocessing**, v. 2, p. 315-327, 1985.
- WEGENER, M.; *et al.* The time escala of urban change. In: Hutchinson, B.; Batty, M. ed. **Advances in urban systems modelling**. Amsterdam: Elsevier, p. 175-197. 1986.
- WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. **Reviews of modern physics**, v. 55, n. 3, p. 601, 1983.
- WOLFRAM, S. Universality and complexity in cellular automata. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, v. 10, n. 1, p. 1-35, 1984.
- WRAY, C.; *et al.* Modelling urban spatial change: a review of international and South African modelling initiatives. Occasional Paper 06. Johannesburg: **Gauteng City-Region Observatory** (GCRO). 2015.
- XIE, Y. A generalized model for cellular urban dynamics. **Geographical Analysis**, v. 28, n. 4, p. 350-373, 1996.
- ZHENG, X.; LV, L. A WOE method for urban growth boundary delineation and its applications to land use planning. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 30, n. 4, p. 691-707, 2016.