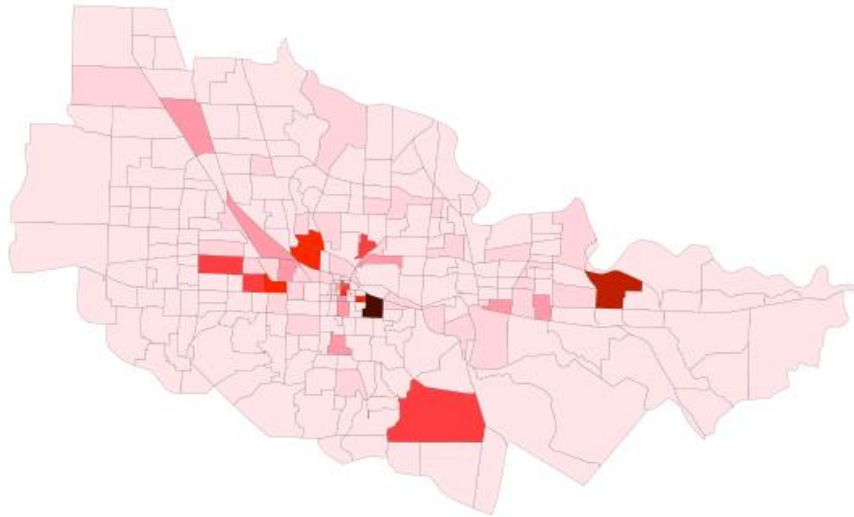




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

DIANA RAQUEL DE ANDRADE ÁLVARES FURTADO

Licenciada em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Vias de Comunicação e Transportes

Orientador:

Mestre Paulo José de Matos Martins, Professor Adjunto (ISEL)

Júri:

Presidente: Licenciada Luísa Maria da Conceição Ferreira Cardoso Teles Fortes, Professora Adjunta (ISEL)

Vogais:

Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis,
Investigador no Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos (IST)

Mestre Paulo José de Matos Martins, Professor Adjunto (ISEL)

Dezembro de 2013

Resumo

Os usos do solo e os sistemas de transportes interagem de forma crucial na perceção do desenvolvimento económico, na qualidade de vida e na sustentabilidade das áreas urbanas. Devido à crescente necessidade de organizar o espaço urbano e à complexidade do mesmo, surgiram os modelos de transporte e usos do solo. Estes modelos começaram a ser desenvolvidos nos anos 50 e 60 do século passado e esse trabalho de desenvolvimento dura até à atualidade, para dar resposta à dificuldade em antecipar os efeitos de determinadas políticas, no que diz respeito ao padrão de usos do solo.

Um dos modelos de transporte e usos do solo desenvolvido foi o *UrbanSim*, desenvolvido por uma equipa da Universidade da Califórnia sob a coordenação do professor Paul Waddell. Este modelo é um sistema integrado de microssimulação de modelos para planear e analisar o desenvolvimento urbano, incorporando a interação entre o uso do solo, os transportes e as políticas públicas. O *UrbanSim* é essencial na previsão do impacto de políticas de desenvolvimento urbanístico em grandes cidades e áreas metropolitanas.

Assim, concretamente na área dos Transportes, o *UrbanSim* assume grande utilidade, pois, por exemplo, o impacto nos usos de solo de uma alteração na rede de transportes pode ser previsto através de uma simulação efetuada a partir deste modelo e vice-versa.

O *UrbanSim* começou por ser aplicado nos Estados Unidos da América (em Eugene, no estado de Oregon) e, a partir daí, começou a ser utilizado em vários outros estados norte americanos e até em cidades europeias, africanas e asiáticas, perfazendo um total de 21 áreas metropolitanas onde já foram ou estão a ser feitas aplicações.

Atualmente, o *UrbanSim* apresenta uma plataforma aberta, o *OPUS*, com uma interface gráfica do utilizador, que tem como principal vantagem o fato de, sendo *open source*, estar acessível gratuitamente à comunidade científica em geral.

Palavras – Chave: Microssimulação, Modelos de transportes e usos de solo, *OPUS*, Planeamento urbano, Simulação urbana, *UrbanSim*.

Abstract

Land use and transport systems interact in a crucial way on the perception of economic development, quality of life and sustainability of urban areas. Land use transport models appeared due to the rising of the necessity to organize the urban space and its complexity. These models started to develop on the 50's and 60's of the twentieth century and were continued until nowadays, to respond to the difficulty in anticipating the effects of given policies, regarding land use pattern.

One of the land use transport models developed by Paul Waddell and his team of the California University, was UrbanSim. This model is an integrated system based on microsimulation models in order to plan and analyze the urban development, embedding the interaction between land use, transports and public policies. UrbanSim is essential on the prediction of the impact of urban development policies in big cities and metropolitan areas.

Specifically on the transports area, UrbanSim assumes a big value because it can predict what would be the impact, on land use of a change in the transport network using a simulation made by this model and vice versa.

UrbanSim was first used in the United States of America (in Eugene, Oregon) and, since then, in many American states and European, African and Asian cities, which are already using the model, in a total of 21 metropolitan areas, with many applications already done or in development.

Currently, the UrbanSim presents an open platform, also known as OPUS, with a graphical user interface, which has the advantage of being freely accessible to the scientific community in general as an open source tool, allowing a free access/use to everybody.

Keywords: Microsimulation, Land use transport models, *OPUS*, Urban planning, Urban simulation, *UrbanSim*.

Agradecimentos

A presente dissertação não ficaria completa sem agradecer a todos os que, de alguma forma, me ajudaram na sua concretização.

Em primeiro lugar quero agradecer ao Professor Paulo Matos Martins, meu orientador, pelo apoio e motivação, pelo conhecimento transmitido e pela paciência demonstrada ao longo dos últimos meses. Quero ainda agradecer os valiosos conselhos, a disponibilidade e o profissionalismo, que foram determinantes na execução da presente dissertação.

Em segundo lugar, agradeço à Daniela Lopes por ter sido mais do que uma companheira ao longo deste mestrado e por ter a certeza de que, sem ela, não teria tido o mesmo sucesso nem teria obtido os mesmos conhecimentos. Agradeço-lhe ainda ter lido e relido inúmeras vezes esta dissertação e pelas suas preciosas críticas que me ajudaram a corrigir e ajustar certos pontos.

Agradeço ao Pedro Farinha por também me ter acompanhado e apoiado de forma próxima ao longo dos dois anos de mestrado. E também a ele agradeço a paciência na leitura da minha dissertação.

Não posso deixar de agradecer também aos meus colegas de mestrado, ainda não mencionados, pelo incentivo e amizade com que me encorajaram e ainda pela companhia nos longos dias de trabalho na dissertação e pela partilha de dúvidas e conhecimentos.

Agradeço ainda aos meus amigos, com quem eu cresci, aprendi e que me acompanharam durante o meu percurso académico e pessoal durante os últimos anos, sempre apoiando e dando força para continuar a fazer mais e melhor.

Por último mas não menos importante, reservo um especial agradecimento à minha família, em particular aos meus pais, Antonieta e Ivo, por me terem ensinado tudo aquilo que sei, inclusivamente a importância de estudar, de tentar fazer sempre melhor e ainda pelo seu amor incondicional.

Agradeço ainda aos meus irmãos Andreia, Nádía e Ivo por estarem sempre prontos a apoiar-me e à minha sobrinha Violeta por me motivar a ser melhor dia para dia.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Agradeço aos meus avós Luísa e Massilon pelo amor e carinho que me deram ao longo de todos os anos de aprendizagem e por me terem sempre mostrado que com amor tudo se pode.

Agradeço aos meus avós Maria e Sales por me terem apoiado sempre e terem incentivado sempre a estudar.

Agradeço aos meus tios Laliya, Tó-Zé e Fatinha por serem pilares fundamentais na minha vida e terem estado presente em todas as etapas, inclusivamente nesta última que termina com a presente dissertação.

Por fim, ao André por estar presente nos momentos mais críticos da dissertação e da vida, por acreditar em mim e por nunca me deixar desistir.

Índice

CAPÍTULO I. - INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	12
1.4. METODOLOGIA.....	12
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
CAPÍTULO II. - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. INTRODUÇÃO	17
2.2. MODELOS BASEADOS EM ATIVIDADES	21
2.3. MODELOS BASEADOS EM AGENTES	26
2.4. MODELOS DE TRANSPORTE E USOS DO SOLO (LUT)	29
2.5. JUSTIFICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO MODELO URBANSIM	34
2.6. SÚMULA DO CAPÍTULO	35
CAPÍTULO III. - MODELO DE MICROSIMULAÇÃO URBANA	37
3.1. INTRODUÇÃO	37
3.2. OBJETIVOS DO URBANSIM	38
3.3. APLICAÇÕES EXISTENTES	39
3.4. ESTRUTURA DO MODELO URBANSIM	41
3.5. PONTOS FORTES E PONTOS FRACOS DO URBANSIM	52
3.6. SÚMULA DO CAPÍTULO	53
CAPÍTULO IV. - PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO URBANA – OPUS.....	55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.2. ORGANIZAÇÃO DA INTERFACE GRÁFICA DO UTILIZADOR (GUI).....	57
4.3. INDICADORES	62
4.4. TIPOS DE MODELOS	63
4.5. LINGUAGEM BASE – PYTHON.....	67
4.6. LINGUAGEM DE DESCRIÇÃO DO OPUS – XML	68
4.7. PROGRAMAS QUE PODEM SER LIGADOS AO OPUS.....	70
4.8. PONTOS FORTES E PONTOS FRACOS DO OPUS	71
4.9. SÚMULA DO CAPÍTULO	73
CAPÍTULO V. - ANÁLISE DE UM EXEMPLO	75
5.1. INTRODUÇÃO	75

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

5.2.	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	76
5.3.	INDICADORES OBTIDOS.....	77
5.4.	COMPARAÇÃO DOS INDICADORES SIMULADOS E DOS INDICADORES REAIS	79
5.5.	COMO ANALISAR UMA APLICAÇÃO.....	81
5.6.	ANÁLISE DE ALGUNS MODELOS DO URBANSIM.....	92
5.7.	SÚMULA DO CAPÍTULO	96
CAPÍTULO VI. - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS		97
6.1.	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	97
6.2.	CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS.....	98
6.3.	PRINCIPAIS DIFICULDADES ENCONTRADAS	98
6.4.	PERSPETIVAS FUTURAS	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		101
ANEXO – TIPOS DE MODELOS PRESENTES NO URBANSIM		I

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 – CICLO DOS TRANSPORTES E USOS DO SOLO.	3
FIGURA 1.2 – MODELO DOS QUATRO PASSOS.	5
FIGURA 1.3 – DETALHE, EM DUAS DIMENSÕES, DOS MODELOS INTEGRADOS.	8
FIGURA 1.4 – DETALHE, EM TRÊS DIMENSÕES, DOS MODELOS INTEGRADOS.	8
FIGURA 1.5 – COMPLEXIDADE DAS LIGAÇÕES FUNCIONAIS NA DINÂMICA DO SISTEMA URBANO.	11
FIGURA 1.6 – ESQUEMA METODOLÓGICO PARA ABORDAGEM DO TEMA.	13
FIGURA 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS.	17
FIGURA 2.2 – SUBSISTEMAS URBANOS PELA VELOCIDADE COM QUE SOFREM MUDANÇAS.	21
FIGURA 2.3 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ATIVIDADES E VIAGENS COMPLETAS NUM HIPOTÉTICO DIA DE TRABALHO DE UM INDIVÍDUO.	22
FIGURA 2.4 – ATIVIDADES, CIRCUITOS, VIAGENS E OBJETIVOS DIÁRIOS.	23
FIGURA 2.5 – PERCURSO ESPAÇO-TEMPO E PRISMA ESPAÇO-TEMPO.	24
FIGURA 2.6 – INTERAÇÕES ENTRE OS TRANSPORTES E OS USOS DO SOLO.	29
FIGURA 3.1 – APLICAÇÕES EXISTENTES.	40
FIGURA 3.2 – ARQUITETURA DO <i>URBANSIM</i>	42
FIGURA 3.3 – FLUXO DE DADOS DO <i>URBANSIM</i>	44
FIGURA 3.4 – UNIDADES GEOGRÁFICAS DO <i>URBANSIM</i>	46
FIGURA 3.5 – MODELOS DO <i>URBANSIM</i> , PELA ORDEM QUE SÃO EXECUTADOS (DE CIMA PARA BAIXO).	49
FIGURA 3.6 – AGENTES DE MODELAÇÃO DO <i>URBANSIM</i> QUE INTERAGEM NAS ÁREAS URBANAS.	50
FIGURA 3.7 – AGENTES, ESCOLHAS E INTERAÇÃO PARA REPRESENTAR UM MODELO URBANO COMPLETO.	51
FIGURA 4.1 – INTERFACE GRÁFICA DO UTILIZADOR DO <i>OPUS</i>	57
FIGURA 4.2 – SEPARADOR “GERAL” COM O PROJETO EUGENE ABERTO.	58
FIGURA 4.3 – SEPARADOR “DADOS” COM OS DADOS PROJETO EUGENE.	59
FIGURA 4.4 – SEPARADOR “DADOS” COM AS FERRAMENTAS DO PROJETO EUGENE.	60
FIGURA 4.5 – SEPARADOR “MODELOS” COM O PROJETO EUGENE ABERTO.	61
FIGURA 4.6 – SEPARADOR “CENÁRIOS” COM O PROJETO EUGENE ABERTO.	61
FIGURA 4.7 – SEPARADOR “RESULTADOS” COM O PROJETO EUGENE ABERTO.	62
FIGURA 4.8 – ESTRUTURA LÓGICA DE UM DOCUMENTO <i>XML</i>	69
FIGURA 4.9 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO <i>XML</i> À DESCRIÇÃO DE UM MODELO DE ENVELHECIMENTO DA POPULAÇÃO.	69
FIGURA 5.1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE EUGENE-SPRINGFIELD.	76
FIGURA 5.2 – UNIDADES DE HABITAÇÃO, AGREGADAS POR <i>GRIDCELL</i> EM 1994.	78
FIGURA 5.3 – ÁREA NÃO RESIDENCIAL, AGREGADA POR <i>GRIDCELL</i> , EM 1994.	78
FIGURA 5.4 – DIFERENÇA ENTRE AS MUDANÇAS SIMULADAS E OBSERVADAS ENTRE 1980 E 1994 POR ZONA, PARA O PROJETO EUGENE.	80
FIGURA 5.5 – <i>VIEW DATASET</i>	82

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

FIGURA 5.6 – VISUALIZAÇÃO DE DADOS.....	82
FIGURA 5.7 – <i>BASE YEAR DATA</i>	83
FIGURA 5.8 – <i>RUN INDICATOR BATCH</i>	83
FIGURA 5.9 – VISUALIZAÇÃO EM MAPA.	84
FIGURA 5.10 – CONFIGURAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO.	84
FIGURA 5.11 – VISUALIZAÇÃO EM TABELA.	85
FIGURA 5.12 – VISUALIZAÇÃO EM TABELA.	85
FIGURA 5.13 – <i>RUN ESTIMATION</i>	86
FIGURA 5.14 – <i>START ESTIMATION</i>	86
FIGURA 5.15 – VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS.	87
FIGURA 5.16 – PORMENOR DOS RESULTADOS OBTIDOS.	87
FIGURA 5.17 – CRIAÇÃO DE UM MODELO DE REGRESSÃO.....	89
FIGURA 5.18 – CONFIGURAÇÃO DO NOVO MODELO.....	89
FIGURA 5.19 – EDIÇÃO DO SUBMODELO.....	90
FIGURA 5.20 – ADIÇÃO DA VARIÁVEL <i>BTT_CBD</i>	90
FIGURA 5.21 – ASPETO FINAL DO EDITOR DO SUBMODELO.	91
FIGURA 5.22 – EXECUÇÃO DE UMA ESTIMATIVA DO NOVO MODELO.....	91

Índice de Tabelas

TABELA 1.1 – ARGUMENTOS UTILIZADOS A FAVOR DOS MODELOS AGREGADOS E DOS MODELOS DE MICROSIMULAÇÃO.....	9
TABELA 1.2 – PONTOS FORTES E FRACOS DOS MODELOS DE MICROSIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES.	10
TABELA 1.3 – ÁREAS FUNCIONAIS DE DESENVOLVIMENTO NA DISSERTAÇÃO.	14
TABELA 2.1 – PROCESSOS DE MUDANÇA URBANOS.	19
TABELA 2.2 – COMPARAÇÃO DOS DOIS TIPOS DE MODELOS.	26
TABELA 2.3 – SUBSISTEMAS URBANOS REPRESENTADOS NOS MODELOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTES.....	32
TABELA 2.4 – COMPARAÇÃO ENTRE ALGUNS MODELOS DE TRANSPORTE E USOS DO SOLO.....	33
TABELA 2.5 – COMPARAÇÃO ENTRE ALGUNS MODELOS DE TRANSPORTE SEGUNDO CRITÉRIOS DE CREDIBILIDADE, USABILIDADE E VIABILIDADE.	34
TABELA 3.1 – INSTITUIÇÕES PARCEIRAS DO PROJETO <i>SUSTAINCITY</i>	41
TABELA 3.2 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE LOTES E ZONAS.	47
TABELA 3.3 – CINCO DADOS DE ENTRADA E SAÍDA PRINCIPAIS.	48
TABELA 3.4 – TIPOS DE DESENVOLVIMENTO.	50
TABELA 4.1 – MODELOS DE TRANSPORTES AOS QUAIS O <i>OPUS</i> FOI LIGADO.	70
TABELA 4.2 – FERRAMENTAS DE GESTÃO DE DADOS E DE SIG ÀS QUAIS O <i>OPUS</i> FOI LIGADO.	70
TABELA 4.3 – BIBLIOTECAS ESTATÍSTICAS E NUMÉRICAS ÀS QUAIS O <i>OPUS</i> FOI LIGADO.	71
TABELA 5.1 – CLASSIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS FAMILIARES.	77
TABELA 5.2 – CLASSIFICAÇÃO DO SETOR DO EMPREGO.	77
TABELA 5.3 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DOS VALORES SIMULADOS E OBSERVADOS DO MODELO DE EUGENE-SPRINGFIELD, PARA 1994.	79
TABELA 5.4 – IDADE DOS INDIVÍDUOS A CADA ANO DE SIMULAÇÃO.	92
TABELA 5.5 – RESULTADOS DO MODELO DE FERTILIDADE.	93
TABELA 5.6 – RESULTADOS DA 1ª ITERAÇÃO.....	95
TABELA 5.7 – RESULTADOS DA 2ª ITERAÇÃO.....	95
TABELA A.1 – TIPOS DE DESENVOLVIMENTO.	XIX

Lista de Abreviaturas

<i>BLAS</i>	<i>Basic Linear Algebra System</i>
<i>DBMS</i>	<i>Data Base Management System</i>
<i>EPA</i>	<i>Environmental Protection Agency</i>
<i>FHWA</i>	<i>Federal Highway Administration</i>
<i>GDAL</i>	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
<i>GIS</i>	<i>Geographic Information System</i>
<i>GUI</i>	<i>Graphical User Interface</i>
<i>Lapack</i>	<i>Linear Algebra Package</i>
<i>LCOG</i>	<i>Lane Council of Governments</i>
<i>MATSim</i>	<i>Multi-Agent Transport Simulation</i>
<i>MPO</i>	<i>Metropolitan Planning Organization</i>
<i>NSF</i>	<i>National Science Foundation</i>
<i>OPUS</i>	<i>Open Platform for Urban Simulation</i>
<i>QGIS</i>	<i>Quantum GIS</i>
<i>SIG</i>	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
<i>TLUMIP</i>	<i>Transport and Land Use Model Integration Program</i>
<i>XML</i>	<i>Extensible Markup Language</i>

Capítulo I. - Introdução

1.1. Enquadramento

As questões relacionadas com a mobilidade¹ representam, cada vez mais, nos espaços urbanos, uma condicionante na qualidade de vida da população. Por sua vez, a própria mobilidade, é condicionada pelas políticas de uso do solo e de transporte (Fermisson, Macário, & Carvalho, n.d.). Isto significa que tudo o que acontece no uso do solo tem implicações ao nível dos transportes e vice-versa.

O padrão de usos do solo e os sistemas de transportes disponíveis têm um papel crucial na determinação da viabilidade económica, habitabilidade e sustentabilidade das áreas urbanas.

Na abordagem às questões da mobilidade e da qualidade de vida da população, é necessário referir a acessibilidade² pelo seu papel determinante (Blana, 2003). A acessibilidade pode ser medida de duas formas: ou pelo número de oportunidades de viagem que podem ser alcançados com um dado tempo de viagem, distância ou custo; ou pelo tempo ou custo (médio ou total) necessários para aceder a um dado número de oportunidades (Geurs & van Wee, 2004).

Nesta temática da mobilidade e da acessibilidade, o investimento nos transportes é um fator influente. Este investimento leva ao crescimento económico, visto que pode atrair empresas e população para novas áreas, em detrimento de outras (Center for Urban Transportation Studies, 1999).

Pretende-se na dissertação utilizar a aplicação *UrbanSim* que é uma ferramenta de microssimulação urbana, criada pelo Professor Paul Waddell nos anos 90 (Simmonds, Waddell, & Wegener, 2011), tendo sido o primeiro protótipo implementado no estado norte-americano de

¹ É o tempo e o custo necessários para uma viagem. A mobilidade é avaliada com base na velocidade, distância, custo e tempo de viagem (Litman, 2011; Norwood & Casey, 2002).

² Indica a facilidade de acesso a bens, serviços e atividades. A acessibilidade reflete tanto a mobilidade como os padrões de uso de solo. Quanto maior a acessibilidade, menor o custo do movimento e, portanto, maior a propensão para a interação (Jotin & Kent, 1990; Litman, 2011).

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Oregon, em 1998. Desde essa altura esta ferramenta tem vindo a ser aperfeiçoada e desenvolvida por uma equipa, coordenada pelo próprio Paul Waddell, e constituída por outros elementos da Universidade de Berkeley, California; *Puget Sound Regional Council* e Universidade de Washington (Waddell, 2013b).

O *UrbanSim* serve de apoio ao planeamento e à análise do desenvolvimento das áreas urbanas, incorporando as interações entre os usos do solo, os transportes, a economia e o ambiente (Waddell, 2013b).

Segundo Wegener & Fürst (1999), para prever os impactos das políticas de usos do solo e transportes existem três tipos de abordagem:

- Preferência declarada – em que, através da abordagem da população, são colocadas questões diretas sobre quais seriam as suas reações à mudança;
- Preferência revelada – em que, através da observação empírica do comportamento da população, são tiradas ilações;
- Modelos matemáticos – nos quais é simulado o comportamento humano.

É no terceiro tipo que o *UrbanSim* se insere. Esta abordagem simula o desenvolvimento das áreas urbanas, incluindo o uso do solo e os transportes e os impactos ambientais, em períodos de 20 ou mais anos (Noth, Borning, & Waddell, 2001).

Através da utilização de modelos matemáticos é possível obter resultados mais abrangentes, considerando vários fatores individuais e podendo prever situações ainda desconhecidas (Wegener & Fürst, 1999).

1.2. *Conceitos fundamentais*

1.2.1. **Ciclo de transportes e usos do solo**

O ciclo de transportes e usos do solo, apresentado na Figura 1.1, indica que os usos do solo e os transportes interagem de forma circular: a distribuição espacial das atividades cria a necessidade de viagens; os padrões de viagem criam acessibilidade; a acessibilidade influencia a escolha da localização das famílias e empresas, e esta, por sua vez, determina a distribuição espacial das atividades (Wegener & Fürst, 1999).

Como se pode verificar, a procura pela participação em atividades dá origem à procura por transportes, esta procura por transportes vai levar a que sejam criadas acessibilidades e portanto, vai alterar os padrões de usos do solo, esta forma cíclica em que os acontecimentos ocorrem,

Capítulo I – Introdução

levou à necessidade de estudar os modelos de usos do solo e transporte (modelos *LUT*³) que simulam, de forma integrada, a influência do usos do solo e os transportes na dinâmica urbana.

Assim, no presente subcapítulo de conceitos fundamentais, surge a necessidade de abordar os modelos *LUT*, que por sua vez beneficiam da modelação por microssimulação e por agentes, com base em conceitos de atividades.

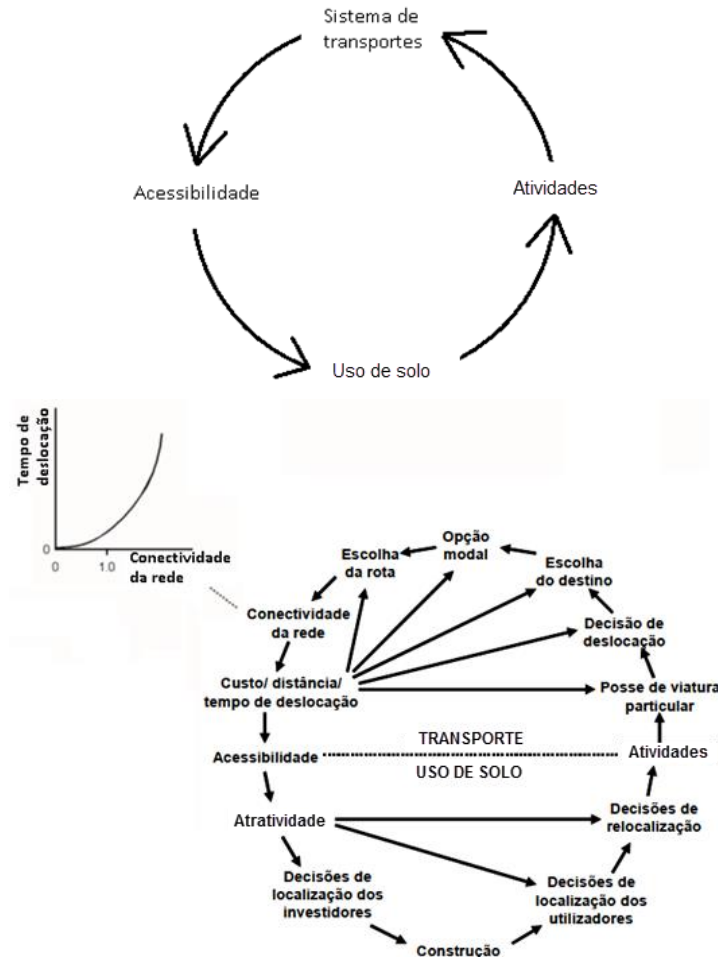


Figura 1.1 – Ciclo dos transportes e usos do solo.

Adaptado de: Wegener & Fürst (1999)

1.2.2. Noção de modelo e de simulação

Um modelo é uma representação da construção e do trabalho de um sistema de interesse. Um modelo é semelhante, mas mais simples do que o sistema do que representa. O objetivo de um modelo é permitir a análise, para que possam ser previstos os efeitos de mudanças efetuadas nesse mesmo sistema. Se por um lado o modelo deve ser muito próximo do sistema real e

³ *Land Use Transport*

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

incorporar as suas principais características, por outro lado, não deve ser tao complexo que torne impossível compreendê-lo e experimentá-lo. Deve por isso haver uma solução de compromisso entre o realismo e a simplicidade (Maria, 1997). Um modelo urbano representa as funções e processos que geram a estrutura espacial urbana em termos de usos do solo, população, emprego e transportes. Os modelos urbanos são habitualmente incorporados em programas de computador e permitem que as teorias de localização sejam testadas (Batty, 2009).

A simulação de um sistema é a operacionalização de um modelo desse mesmo sistema. Uma simulação é usada antes de um sistema existente ser alterado ou de ser construído um novo sistema, para reduzir as hipóteses de falha nas especificações, para eliminar imprevistos, para prevenir a sob ou sobre utilização de recursos e ainda para otimizar o desempenho do sistema (Maria, 1997).

1.2.3. Modelo clássico de transportes *versus* modelos baseados em atividades

Modelo clássico de transportes

O modelo clássico de transportes, também conhecido como modelo dos quatro passos, é uma ferramenta primária para prever a procura e o desempenho dos sistemas de transportes. Este modelo apareceu inicialmente nos EUA, no início da década de 60 e foi desenvolvido para avaliar os projetos de infraestruturas a larga escala. O fato de ser um modelo com grande simplicidade concetual e computacional faz com que tenha um elevado nível de utilização (Mcnally & Rindt, 2007; Viegas, 2010a, 2010b).

Como o próprio nome indica, este tipo de modelo baseia-se em quatro etapas distintas, indicadas na Figura 1.2.

Capítulo I – Introdução

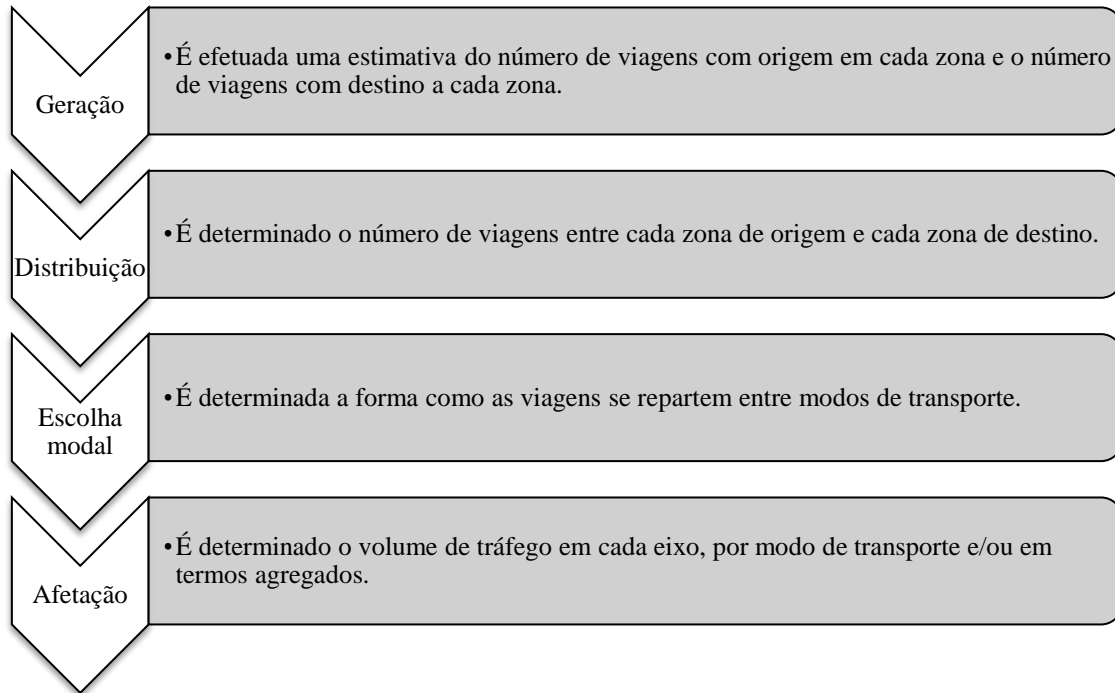


Figura 1.2 – Modelo dos quatro passos.

Adaptado de: Martins & Fontes (2009)

O modelo dos quatro passos apresenta, no entanto, algumas deficiências, sendo as principais apontadas por Viegas (2010):

- O facto de não incluir qualquer possibilidade de representação das interdependências entre as várias deslocações da mesma pessoa ao longo do dia ou das suas deslocações com as das outras pessoas do mesmo agregado familiar;
- O facto de não incluir qualquer consideração da escolha da hora a que se vai viajar;
- No segundo passo (distribuição) é feita a escolha (probabilística) de destinos a partir de cada origem, baseada nos custos de deslocação para cada uma das zonas, mas esses custos são dependentes das escolhas de modo, que são objeto do terceiro passo (escolha modal). A inversão desses dois passos resulta numa situação ainda pior, com a escolha de modo a ser feita antes de se escolher o destino;
- A escolha de modo no terceiro passo é feita baseada nos custos e tempos de cada um dos modos, mas o nível de congestionamento só é conhecido no final do quarto passo (afetação), e isso poderia alterar os termos da escolha anterior.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Modelo baseado em atividades

Segundo Jovicic (2001), uma atividade pode ser definida como um compromisso físico de um indivíduo com algo que satisfaça as suas necessidades ou da sua família. As atividades são motivadas pelas necessidades económicas, fisiológicas ou sociológicas de um indivíduo, podendo ser agrupadas em dois grupos:

- Subsistência (dormir, comer, vestíário e cuidados de saúde) além das atividades que fornecem a renda para as necessidades básicas (trabalho e escola);
- Atividades definidas cultural, social e individualmente (uma ampla variedade de atividades sociais e de lazer).

Ainda segundo o mesmo autor, uma atividade não tem necessariamente que resultar numa viagem. A decisão de viajar representa uma interação complexa do agregado familiar, das obrigações e responsabilidades individuais, do estilo de vida de um indivíduo e da sua família, das opções relativamente aos tipos, localização, duração e horário das atividades e às restrições a nível de orçamento.

Nos modelos baseados em atividades, os padrões de mobilidade são definidos em função de padrões de atividades concretas (Martins & Fontes, 2009). Esta abordagem surge da realização de que compreensão do comportamento das atividades sobrepõe-se à compreensão do comportamento das viagens (Caulfield, 2009).

De acordo com Caulfield (2009) enquanto no modelo clássico de transportes (modelo dos quatro passos) as viagens individuais são utilizadas como unidade de análise, na abordagem por atividades, a viagem é apenas um mecanismo para aceder à localização de uma atividade, com o propósito de participar na mesma. Estes modelos focam-se no que gerou a atividade, que por sua vez causou a viagem.

A modelação baseada em atividades surgiu para dar resposta às deficiências apresentadas pelo clássico de transportes. Uma das maiores críticas da abordagem por atividades é o facto de não ter uma base teórica sólida. Todos os modelos são abstrações da realidade, que, quando se trata de abordagem por atividades, é difícil reproduzir dado que o padrão de viagens depende do comportamento individual.

Ainda de acordo com o referido autor, como em qualquer modelação de transportes, também na modelação baseada em atividades a qualidade dos dados utilizados é fundamental para determinar a qualidade do modelo. As restrições de tempo e de custo limitam a recolha dos dados necessários na pesquisa.

Capítulo I – Introdução

Estes modelos olham para a interação entre tempo e uso do espaço, através da análise da relação entre as viagens que as pessoas fazem todos os dias e do tempo que as pessoas gastam em cada local.

1.2.4. *Microssimulação versus macrossimulação*

A microssimulação é usada para estimar a forma como as mudanças demográficas, comportamentais e políticas podem afetar os resultados individuais, possibilitando um melhor entendimento dos efeitos das políticas atuais (Urban Institute, 2013).

Um modelo de microssimulação é um programa de computador que simula o funcionamento de políticas do governo e de processos demográficos sobre os membros individuais de uma população – pessoas, agregados familiares ou empresas, por exemplo (Urban Institute, 2013). Estes modelos simulam grandes populações representativas destes membros individuais de baixo nível de agregação, com o objetivo de tirar conclusões que se apliquem a níveis mais altos de agregação, como um país inteiro. Este tipo de modelo é diferente dos modelos agregados cujas variáveis explicativas já representam propriedades coletivas (Statistics Canada, 2013).

Os problemas das políticas modernas exigem que se capturem as interações entre as políticas e a complexidade da vida social e económica, bem como entre outras políticas de vários tipos. A microssimulação é uma técnica cada vez mais utilizada para analisar esses problemas. Simultaneamente, a evolução do poder computacional e das técnicas de análise permitem uma maior sofisticação na visão do mundo que os modelos de microssimulação podem tentar retratar e, portanto, do conjunto de questões que possam resolver (Mitton, Sutherland, & Weeks, 2000).

A microssimulação foi utilizada inicialmente nas aplicações das ciências sociais nos anos 60, no entanto as aplicações num contexto espacial permaneceram apenas experiências ocasionais sem um impacto mais profundo abrangendo uma ampla gama de fenómenos como a difusão espacial, o desenvolvimento urbano, o comportamento de transporte, a dinâmica demográfica e familiar e a escolha de habitação. Só recentemente a microssimulação passou a ter interesse por causa da sua flexibilidade na modelação de processos que não podem ser modelados com modelos agregados (Moeckel, Spiekermann, Schürmann, & Wegener, 2003).

Na modelação integrada de transportes e usos do solo o nível de detalhe pode variar, o modelo tanto pode ser desagregado (microssimulação) como pode ser agregado. É preciso portanto definir zonas e quão detalhadas estas devem ser.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Nas figuras seguintes apresenta-se o nível de detalhe a duas dimensões (agentes e geografia) e a três dimensões (acrescentando o tempo).

Relativamente ao espaço e aos agentes, a forma mais agregada, e por isso menos detalhada, de um modelo integrado, acontece quando a informação relativamente aos agentes se restringe ao nível do agregado familiar e a informação relativamente ao espaço se restringe a zonas com pouco detalhe. No entanto, na forma mais desagregada de um modelo integrado, o agente é o indivíduo e o espaço está organizado por edifícios e lotes.



Figura 1.3 – Detalhe, em duas dimensões, dos modelos integrados.

Adaptado de: Waddell (2011b)

Quando o detalhe é a três dimensões (agentes, geografia e tempo), se o tempo não for representado, o modelo é estático, por outro lado se o tempo fizer parte do modelo, o modelo é dinâmico.

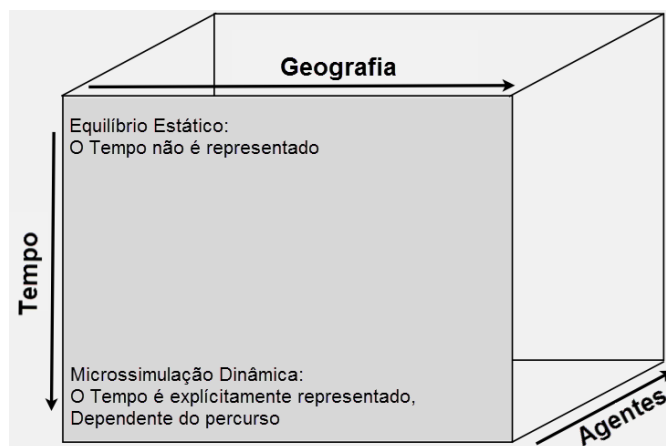


Figura 1.4 – Detalhe, em três dimensões, dos modelos integrados.

Adaptado de: Waddell (2011b)

Capítulo I – Introdução

Na Tabela 1.1 podem ser observados os argumentos invocados pelos defensores dos modelos agregados e pelos defensores dos modelos desagregados, ou seja, da microssimulação.

Tabela 1.1 – Argumentos utilizados a favor dos modelos agregados e dos modelos de microssimulação.

Vantagens dos modelos agregados	Vantagens da microssimulação
<ul style="list-style-type: none">• Os dados são mais compactos e fáceis de utilizar (quando são usados poucos tipos);• Dá origem a modelos mais simples (depende da lógica do modelo: pode ser muito complexo/ <i>black-box</i>⁴);• Os modelos são mais rápidos (embora seja discutível e dependa da complexidade e implementação do modelo);• Leva a menores erros de previsão devido à agregação.	<ul style="list-style-type: none">• É mais fácil trabalhar e compreender os dados uma vez que representam agentes reais;• Os modelos têm uma lógica mais transparente: os agentes fazem escolhas;• Os modelos podem ser projetados para serem executados, no mínimo, à mesma velocidade dos modelos agregados (especialmente os modelos agregados com muitas categorias de agentes e resultados);• Evita o erro comum de deduzir o comportamento individual a partir dos dados agregados;• Os parâmetros do modelo são menos suscetíveis de serem tendenciosos.

Adaptado de: Waddell (2011a)

1.2.5. Modelos baseados em agentes

De acordo com Sivakumar (2007) os modelos de microssimulação de usos do solo baseados em agentes são modelos que têm como base atividades e em que cada ator individual no sistema (uma pessoa, um agregado familiar, uma empresa, ou qualquer outro agente do sistema urbano) é modelado como agente individual autónomo, ou seja, é a unidade de análise.

Os desenvolvimentos na tecnologia disponível para a modelação dos comportamentos ao nível dos agentes têm impulsionado um desenvolvimento maior da modelação de usos do solo e transportes.

⁴ A lógica do modelo em '*black-box*' ou 'caixa negra' consiste na transformação dos dados de entrada em dados de saída sem qualquer explicação do processo de conversão (Savaneviciene & Stankeviciute, 2010). Estes modelos não são transparentes, quer porque são muito complexos, quer por outros motivos menos claros, impedindo uma completa perceção das motivações e escolhas inerentes aos resultados que apresentam.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

De acordo com Matthews, Gilbert, Roach, Polhill, & Gotts (2007), a modelação baseada em agentes é uma abordagem que tem ganho notoriedade na comunidade de modelação dos usos do solo, principalmente por incorporar a influência das tomadas de decisão humanas.

Na Tabela 1.2 apresentam-se as vantagens e desvantagens da microssimulação baseada em agentes, de forma sintetizada.

Tabela 1.2 – Pontos fortes e fracos dos modelos de microssimulação baseada em agentes.

Pontos fortes	Pontos fracos
<ul style="list-style-type: none">• Permite a modelação explícita das interações no tempo e no espaço;• Permite lidar com normas de decisão não-lineares complexas;• Adaptada para situações de não-equilíbrio;• Produz descrições claras do sistema de evolução do tempo.	<ul style="list-style-type: none">• Associado a escalas de tempo, espaço e âmbito de aplicação ambiciosas;• Exige grande quantidade de tempo de programação e de armazenamento de ficheiros;• Exige condições iniciais consistentes para a análise de políticas;• Necessita de uma forma de remoção dos efeitos dos números aleatórios.

Adaptado de: Sivakumar (2007)

1.2.6. Modelos de transporte e usos do solo (LUT)

De acordo com o Departamento de Transportes do Reino Unido (Department for Transport UK, 2003), na modelação de transportes, os usos do solo é considerado como fixo, não alterando ao longo do tempo e consoante determinados acontecimentos. Como se sabe, isto não acontece. Os usos do solo sofrem mudanças, com diferentes velocidades. É necessário considerar estas alterações nos usos do solo por três motivos:

- As atividades de usos do solo e as interações entre elas geram procura por transporte;
- Estas atividades e interações são influenciadas, em maior ou menor extensão, pela disponibilidade dos transportes;
- As ligações entre os transportes e as atividades podem ser importantes na avaliação das estratégias de transportes – especialmente quando se tenta verificar se um sistema de transportes está a fornecer acessibilidade adequada às atividades que as pessoas e empresas necessitam, em vez de simplesmente fornecerem mobilidade às mesmas.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

para modelos económicos e econométricos complexos do processo de mercado, o modelo dos 4 passos continua a representar a componente de modelação dos transportes (Sivakumar, 2007).

1.3. *Objetivos*

Com o desenvolvimento da presente dissertação pretende-se ajudar a esclarecer um conjunto de questões associadas ao desenvolvimento dos modelos *LUT* como resposta aos problemas existentes nos sistemas de transportes. Concretamente, pretende-se contribuir para o esclarecimento de questões como:

- Como é que se operacionaliza o modelo de transporte e usos do solo (designado na gíria científica anglo-saxónica por *Land-Use and Transport Model – LUT*) *UrbanSim*?
- Quais as vantagens e desvantagens da mudança de paradigma da modelação de Transportes para modelação conjunta *LUT*?
- Qual a dimensão e exequibilidade da afetação de recursos (e.g. dados, modelos e pessoal especializado) na modelação com o *UrbanSim*?

Em síntese, os principais objetivos da dissertação são:

- O estudo das vantagens e desvantagens/dificuldades da utilização do modelo *LUT UrbanSim* no planeamento de transportes;
- Contribuir para uma análise prospetiva do enquadramento necessário ao sucesso da implementação deste modelo.

1.4. *Metodologia*

O esquema metodológico apresentado na Figura 1.6 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** sistematiza os procedimentos que se foram adotados na realização da dissertação, para uma melhor organização dos trabalhos.

Os trabalhos iniciaram-se com a identificação dos problemas para os quais se pretendia dar resposta, seguindo-se a definição dos objetivos a atingir. Por fim, analisando os principais resultados, foi comprovada a verificação ou não dos objetivos inicialmente definidos.

Capítulo I – Introdução

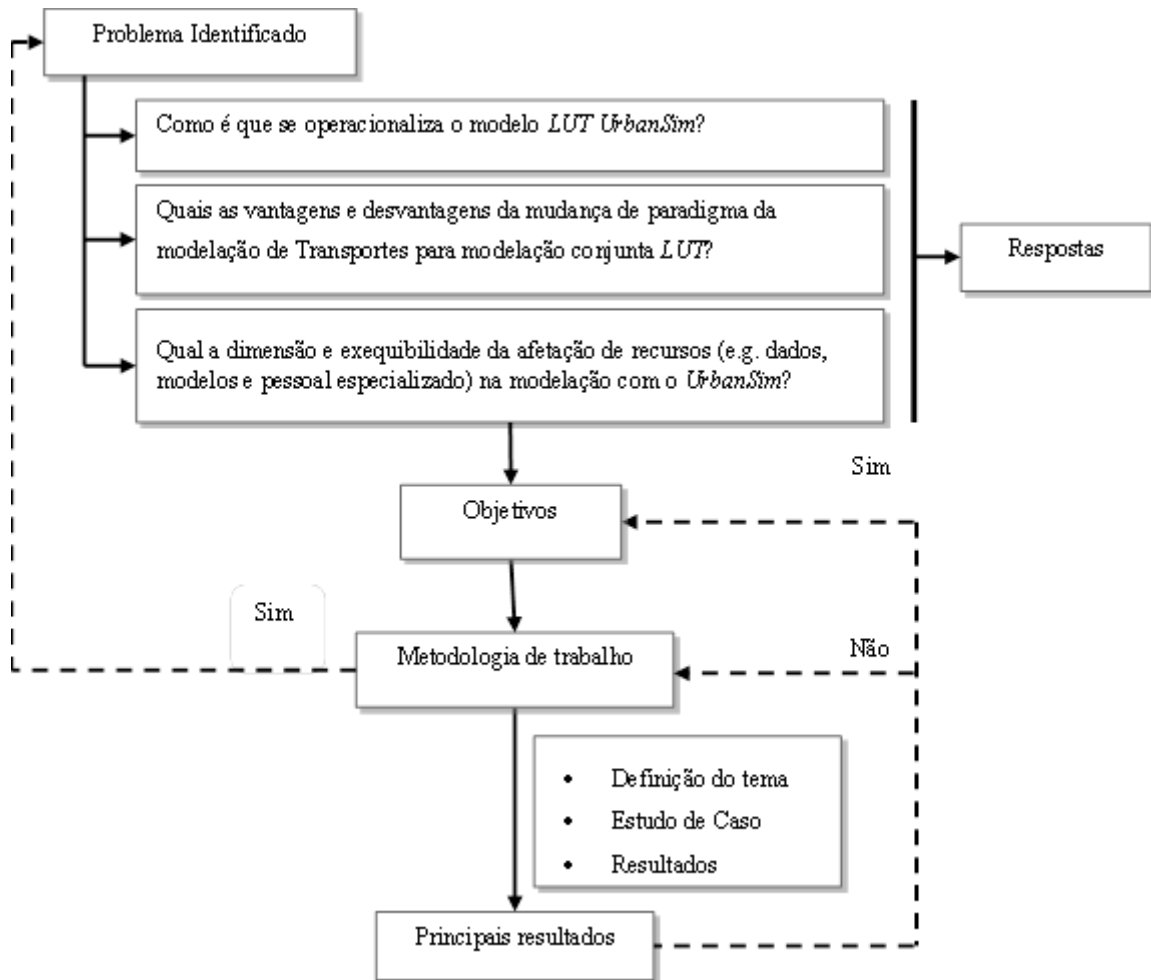


Figura 1.6 – Esquema metodológico para abordagem do tema.

A metodologia apresentada anteriormente engloba cinco áreas funcionais de desenvolvimento que são apresentadas na Tabela 1.3.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Tabela 1.3 – Áreas funcionais de desenvolvimento na dissertação.

Tarefa	Descrição
ÁREA FUNCIONAL 1	
Definição do problema a abordar	
AF 1.1	Análise preliminar de temas
AF 1.2	Estudo da problemática associada a temas específicos
AF 1.3	Identificação e escolha do tema. Focalização do tema à motivação pessoal
AF 1.4	Construção da proposta de tema/plano de estudos
ÁREA FUNCIONAL 2	
Compreensão dos modelos de microsimulação urbana	
AF 2.1	Revisão bibliográfica sobre modelos <i>LUT</i> e sobre as ferramentas existentes para a sua implementação
AF 2.2	Perceção da importância destes modelos para a Engenharia Civil
AF 2.3	Identificação dos conceitos fundamentais
AF 2.4	Justificação da utilização do modelo <i>UrbanSim</i>
ÁREA FUNCIONAL 3	
Modelo de microsimulação urbana	
AF 3.1	Estudo dos objetivos do <i>UrbanSim</i>
AF 3.2	Estudo da estrutura e modo de funcionamento do <i>UrbanSim</i>
AF 3.3	Estudo dos pontos fortes e fracos do <i>UrbanSim</i>
ÁREA FUNCIONAL 4	
Plataforma de simulação urbana	
AF 4.1	Estudo da estrutura e modo de funcionamento do <i>UrbanSim</i>
AF 4.2	Estudo da interface gráfica do utilizador, o <i>OPUS</i>
AF 4.3	Estudo dos indicadores gerados no <i>OPUS</i>
AF 4.4	Estudo dos <i>templates</i> de modelos presentes <i>OPUS</i>
AF 4.5	Estudo das linguagens de programação necessárias à compreensão do <i>OPUS</i> e dos seus modelos
AF 4.6	Estudo dos pontos fortes e fracos do <i>OPUS</i>
ÁREA FUNCIONAL 5	
Análise de um exemplo	
AF 5.1	Definição dos objetos de exemplo
AF 5.2	Organização dos dados
AF 5.3	Identificação e análise dos indicadores obtidos
AF 5.3	Análise de alguns modelos do <i>UrbanSim</i>
ÁREA FUNCIONAL 6	
Conclusões e perspetivas futuras	
AF 6.1	Principais conclusões
AF 6.2	Cumprimento dos objetivos propostos
AF 6.3	Principais dificuldades encontradas
AF 6.4	Avaliação do potencial de implementação e perspetivas futuras

1.5. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturado em seis capítulos.

O capítulo I apresenta primeiramente o enquadramento, onde é feita uma breve abordagem ao tema que se pretende desenvolver bem como a motivação que levou à escolha do referido tema. de seguida apresentam-se os objetivos que se pretende alcançar com o desenvolvimento do dissertação. No subcapítulo dos conceitos fundamentais é feita uma primeira abordagem aos conceitos mais importantes no entendimento da dissertação. Os referidos conceitos são desenvolvidos com maior profundidade no capítulo II.

No capítulo II apresenta-se uma introdução onde se aborda a classificação dos modelos de transporte e usos do solo e, de seguida, são abordados de forma mais aprofundada os conceitos definidos como fundamentais, ou seja, os modelos baseados em agentes, os modelos baseados em atividades e os modelos de transporte e usos do solo. Posteriormente é identificado o modelo mais adequado ao cumprimento dos objetivos apresentados no capítulo anterior.

No capítulo III apresenta-se uma introdução, onde se pretende dar uma visão alargada sobre do *UrbanSim*, de seguida são apresentados os objetivos que os modelos em *UrbanSim* pretendem alcançar. Ainda neste capítulo apresenta-se o levantamento efetuado às aplicações do referido modelo existentes pelo Mundo e, por fim, a estrutura do modelo, onde é feita uma abordagem aos componentes do *UrbanSim*, às suas características e aos nove modelos implementados no *UrbanSim*.

O capítulo IV inicia-se com uma introdução onde há um primeiro contacto com a plataforma de simulação urbana, o *OPUS*, e com a sua interface gráfica do utilizador e onde são apresentados os objetivos para os quais o *OPUS* foi projetado. Seguidamente faz-se uma abordagem à organização da interface gráfica do utilizador (aos cinco separadores que esta contém) e é referido o conceito de indicador e as categorias em que estes podem ser organizados no *OPUS*. São ainda apresentados os tipos de modelos que se podem criar a partir dos *templates* disponíveis na interface gráfica do utilizador do *OPUS*. Faz-se também ainda uma breve apresentação às linguagens de programação *Python* e *XML*, por serem as linguagens base do *OPUS* e dos seus modelos, respetivamente. Por fim são apresentados os programas que podem ser ligados ao *OPUS* e ainda os pontos fortes e fracos do mesmo.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

O capítulo V refere-se à análise de um exemplo, nesta dissertação refere-se especificamente ao projeto Eugene-Springfield, utilizado na exploração e compreensão do *UrbanSim*, da sua estrutura e funcionamento. Neste capítulo é feita uma introdução à referida aplicação e ao contexto da mesma. É ainda apresentada a organização dos dados bem como os indicadores obtidos. De seguida é apresentada uma comparação entre os indicadores simulados e os indicadores reais e são dados, ainda, pequenos tutoriais de como analisar uma aplicação (visualizar os seus dados, gerar indicadores, estimar parâmetros e criar um modelo a partir do *template*). Por fim são dados exemplos práticos do funcionamento de um modelo simples, de um modelo de amostragem e de um modelo de afetação, utilizando a ferramenta *Microsoft Office Excel*.

No último capítulo da dissertação, apresentam-se as conclusões retiradas no final do trabalho desenvolvido, bem como as perspetivas futuras. Neste capítulo é feita uma análise às dificuldades encontradas no decorrer da dissertação e à forma como estas afetaram o resultado obtido, é ainda feita uma análise crítica aos objetivos propostos inicialmente e ao seu cumprimento ou não cumprimento.

Capítulo II. - Revisão Bibliográfica

No presente capítulo apresenta-se uma análise mais aprofundada sobre quatro conceitos fundamentais já descritos no capítulo anterior, referem-se aos modelos baseados em agentes, à microsimulação, aos modelos baseados em atividades e aos modelos de transporte e usos do solo.

Estes quatro conceitos são fundamentais para a perceção do funcionamento, da relevância e do enquadramento geral do *UrbanSim*

2.1. Introdução

Existem já uma série de modelos de usos do solo e transportes em fase de aplicação e em desenvolvimento e aperfeiçoamento contínuo.

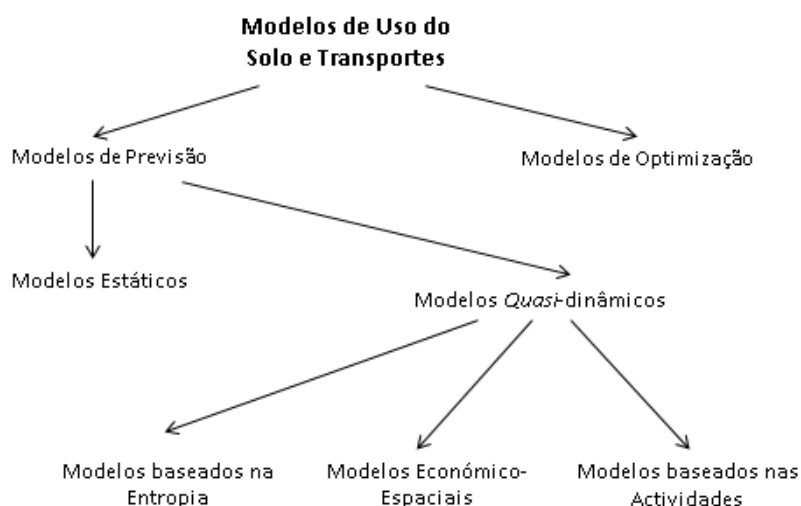


Figura 2.1 – Classificação dos modelos.

Adaptado de: *Land-Use / Transport Interaction Models TAG Unit 3.1.3 (2005)*

Como se pode verificar na Figura 2.1, os modelos de integração dos usos do solo e transportes podem ser classificados como modelos de otimização (cujo objetivo é otimizar os sistemas

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

urbanos) ou modelos de previsão (cujo objetivo é prever o comportamento dos sistemas urbanos). É nesta segunda classificação que se insere o *UrbanSim*.

Os modelos de otimização podem ser informativos, para pesquisa e planeamento a longo prazo, mas em geral requerem um esforço significativo para o desenvolvimento do modelo, a fim de associá-lo aos problemas práticos de planeamento de cidades ou regiões.

O Departamento de Transportes do Reino Unido (Department for Transport UK, 2005) propõe a seguinte classificação dos modelos de previsão, cuja função é prever situações que podem não ter ocorrido ainda:

- **Modelos estáticos**

Os modelos estáticos representam um único ponto no tempo (ao contrário dos modelos dinâmicos que abrangem uma série de períodos de tempo), abrangendo as mudanças dos transportes que levam geralmente dois ou mais períodos de tempo a ter efeitos no uso do solo. Os modelos estáticos não podem representar de forma realista os processos de mudança urbana que necessitam de tempo para reagir a qualquer situação de mudança. Assim, estes modelos apenas são utilizados quando é incomportável a utilização de modelos dinâmicos.

Estes modelos estáticos podem ser divididos em duas categorias: modelos que estimam padrões de usos do solo tendo um conjunto de entradas de transportes e modelos que estimam a mudança nos usos do solo tendo dois conjuntos de entradas de transportes.

- **Modelos dinâmicos**

Os modelos dinâmicos fazem a representação do movimento através do tempo, sendo o tempo tratado como contínuo. No entanto, atualmente, a forma de representação temporal mais comum nos modelos urbanos dinâmicos é através de modelos recursivos ou *quasi*-dinâmicos, nos quais o estado final de um período de tempo (normalmente em períodos de um ano) funciona como estado inicial do período de tempo subsequente (Simmonds et al., 2011).

- Modelos baseados na entropia – ou seja, são baseados em analogias com a mecânica estatística. Ex: LILT (Mackett, 1990);
- Modelos económico-espaciais – Ex: MEPLAN (Echenique et al., 1990), TRANUS (Tomás de la Barra, 1989);
- Modelos baseados em atividades – são definidos pelo seu foco nos diferentes processos de mudança que afetam as atividades e a ocupação dos espaços; são modelos de localização-interação, tipicamente caracterizados por segmentos de atividades mais detalhados, e tratamento mais elaborado tanto da decisão de

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

viajar como da escolha do destino. Estes modelos representam mudanças demográficas de forma mais detalhada do que os outros.

Os modelos baseados nas atividades são projetados para serem ligados aos modelos de transportes desenvolvidos em pacotes separados. Ex: IRPUD (Wegener, 2013), DELTA (Simmonds & Feldman, 2005), *UrbanSim*.

Segundo Simmonds, Waddell & Wegener (2011), o espaço urbano pode ser dividido em oito subsistemas: as redes de transportes, o transporte de mercadorias, as viagens, o emprego, a população, as zonas de trabalho, as zonas de habitação e ainda o uso do solo. Estes subsistemas urbanos sofrem mudanças ao longo do tempo, com diferentes velocidades. Pode-se considerar ainda um nono subsistema, que tem influência em todos os outros: o tempo.

Tabela 2.1 – Processos de mudança urbanos.

Velocidade	Processo de mudança	Stock afetado	Tempo de resposta (anos)	Duração da resposta (anos)	Nível de resposta	Reversibilidade
Muito lento	Construção de transportes	Redes de transportes	5-10	>100	Baixo	Difícilmente reversível
	Mudança de usos do solo	Padrões de usos do solo	5-10	>100	Baixo	Difícilmente reversível
Lento	Construção industrial	Edifícios industriais	3-5	50-100	Baixo	Muito baixo
	Construção residencial	Edifícios residenciais	2-3	60-80	Baixo	Baixo
Velocidade média	Mudança económica	Postos de trabalho/ Empresas	2-5	10-20	Médio	Reversível
	Mudança demográfica	População/ Agregados familiares	0-70	0-70	Baixo/ Elevado	Parcialmente reversível
Rápido	Relocalização de empresas	Ocupação de locais de trabalho	<1	5-10	Elevado	Reversível
	Mobilidade residencial	Ocupação de habitações	<1	5-10	Elevado	Reversível
Muito rápido	Mudança na procura	Transporte de mercadorias	<1	<5	Elevado	Reversível
	Mudança na mobilidade	Transporte individual	<1	<1	Elevado	Reversível

Adaptado de: Simmonds, Waddell, & Wegener (2011)

Ainda segundo estes autores, e de acordo com a estrutura ilustrada na Tabela 2.1, os referidos subsistemas podem organizar-se pela velocidade com que sofrem mudanças:

- **Mudanças muito lentas: redes de transportes e usos do solo**

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

As mudanças nas redes de transportes são muito lentas por necessitarem de elevados recursos económicos e ainda de um profundo planeamento. Desde o início do planeamento de uma infraestrutura de transportes até ao seu término são necessários cerca de dez anos.

Relativamente aos usos do solo este também se vai alterando muito lentamente ao longo do tempo, sofrendo apenas alterações incrementais.

Estas mudanças acabam por ser pensadas e planeadas como mudanças irreversíveis.

- **Mudanças lentas: construção**

A construção residencial e industrial sofrem mudanças lentas devido ao investimento substancial que necessitam. No entanto, estas mudanças, quando comparadas com as mudanças que ocorrem nas redes de transportes e nos padrões de uso do solo, são mais rápidas.

A construção residencial tem um tempo de vida inferior às construções industriais, conforme se pode verificar na Tabela 2.1.

- **Mudanças médias: mudanças a nível económico e demográfico**

As principais mudanças económicas são as mudanças do número de empregos e a sua composição setorial. Estas mudanças refletem a transição do sistema de produção dos setores industriais primários e secundários, para os setores industriais terciários e quaternários, causada pela inovação tecnológica e pela mudança do padrão de consumo. O tempo de vida da localização de um emprego relaciona-se com o ciclo de vida da empresa, que está num intervalo entre 10 e 15 anos.

As mudanças demográficas abrangem várias mudanças na população e nos agregados familiares (e.g. nascimento, envelhecimento, morte, casamento, vida em conjunto, separação), havendo uma grande variação no tempo de resposta e na duração.

- **Mudanças rápidas: realocação de empresas e mobilidade residencial**

A realocação dos locais de trabalho e dos agregados familiares demoram menos de um ano desde o seu planeamento até que sejam concretizadas. As empresas estabelecem-se ou fecham portas, expandem ou mudam de localização. Isto cria novos empregos ou faz com que os trabalhadores fiquem em excesso, afetando o emprego.

Os agregados familiares são criados, crescem, diminuem e eventualmente acabam, e em cada etapa do ciclo de vida ajustam a sua habitação (o local da mesma) e a motorização conforme as suas necessidades.

- **Mudanças muito rápidas: transporte de mercadorias e viagens**

Estas mudanças podem sofrer alterações em minutos apenas, ou em horas, consoante o congestionamento e as flutuações da procura, sendo as mais flexíveis nas áreas urbanas.

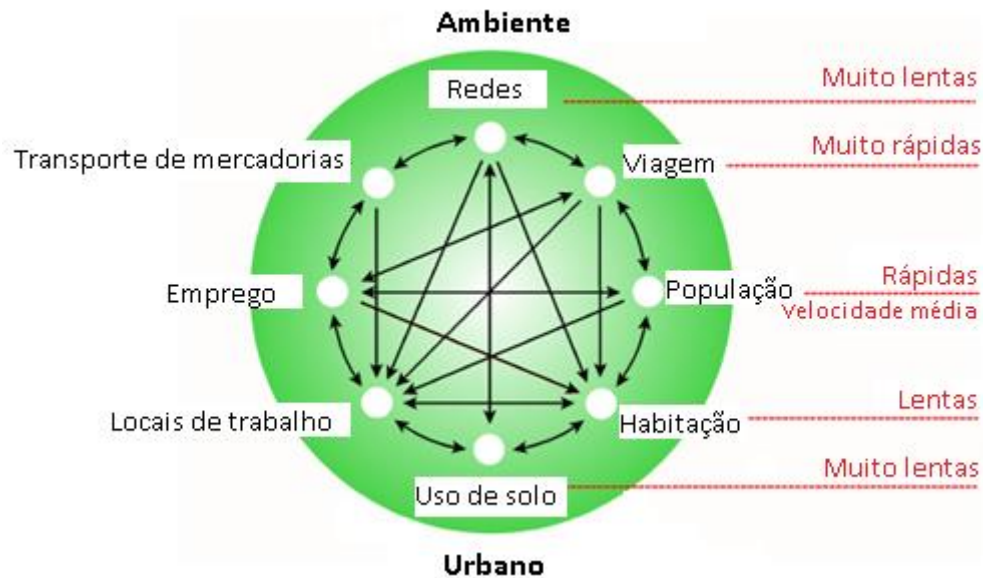


Figura 2.2 – Subsistemas urbanos pela velocidade com que sofrem mudanças.

Adaptado de: Simmonds, Waddell, & Wegener (2011)

2.2. Modelos baseados em atividades

Para falar de modelos baseados em atividades devem definir-se alguns termos-chave, conforme indicam Ortúzar & Willumsen (2011):

- Uma **atividade** é uma interação contínua com o ambiente físico, um serviço ou uma pessoa, com o mesmo ambiente socio-espacial, que é relevante para a unidade de amostra/ observação. Inclui todos os tempos mortos antes ou durante a atividade (por exemplo: a espera pelo médico antes de uma cirurgia);
- Uma **etapa** é um movimento contínuo utilizando um modo de transporte, mais precisamente um veículo. Inclui todos os tempos mortos imediatamente antes ou durante o movimento (por exemplo: a espera pelo autocarro, a procura por lugar de estacionamento, as manobras de estacionamento em si);
- Uma **viagem** é uma sequência contínua de etapas entre duas atividades (uma viagem pode ter apenas uma etapa, como numa viagem de carro, ou mais, como numa viagem multimodal);
- Um **circuito** é uma sequência de viagens que começam e acabam no mesmo local;
- Uma **cadeia de viagens** é o mesmo que um circuito mas pode não terminar no mesmo local;
- O **objetivo da viagem** é definido pela atividade mais importante realizada num dos extremos das viagens.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Os circuitos podem ser classificados pelo seu comprimento e pela sua atividade mais relevante, por exemplo: circuitos baseados na habitação, circuitos baseados no trabalho, etc., conforme se mostra na Figura 2.3.

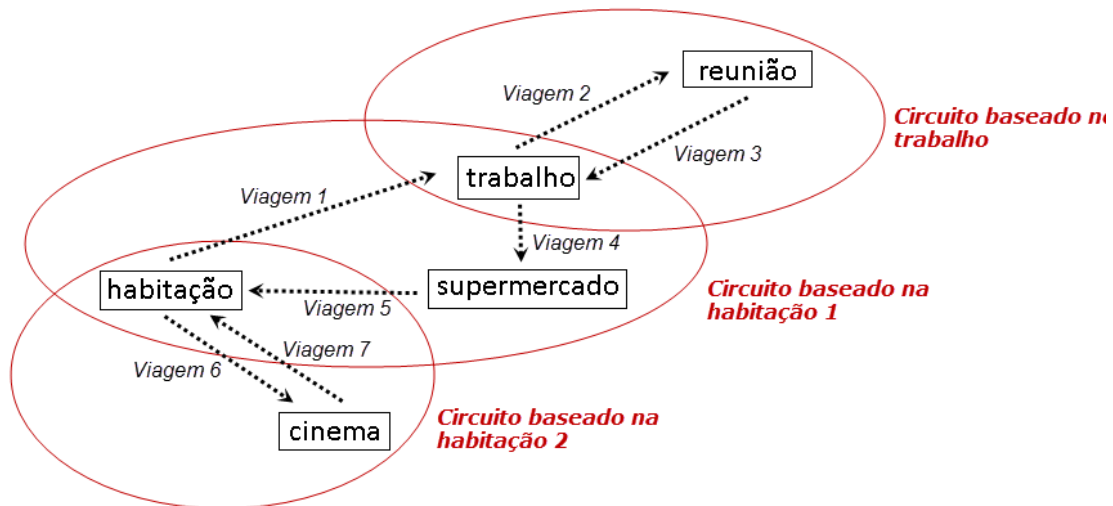


Figura 2.3 – Representação gráfica das atividades e viagens completas num hipotético dia de trabalho de um indivíduo.

Adaptado de: Jovicic (2001)

As viagens que constituem um circuito podem ter vários objetivos diferentes. Assim, podem considerar-se, por exemplo, os seguintes propósitos de viagem:

- Baseada na habitação trabalho (BHT), que inclui o regresso do trabalho para casa;
- Baseada na habitação educação (BHED), que inclui o regresso a casa;
- Baseada na habitação outros (BHO), que inclui a ida às compras, a atividades de lazer, etc;
- Não-baseada na habitação trabalho (NHT);
- Não-baseada na habitação outros (NHO).

Na Figura 2.4 é feita a simulação do percurso de quatro indivíduos diferentes (A, B, C e D), inseridos em diferentes agregados familiares. Neste diagrama o indivíduo A faz o seu circuito visitando a escola, a fábrica, o centro comercial e então regressando a casa. O indivíduo A pode ter levado o filho (indivíduo E, não mostrado) à escola e então ter seguido para o trabalho. O indivíduo B faz um circuito com três viagens: BHT, NHO e BHO. O indivíduo C faz dois circuitos. O primeiro é um constituído apenas por uma ida para o trabalho e o regresso do

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

mesmo. O segundo é constituído por duas viagens BHO. O circuito mais longo é efetuado pelo indivíduo D que vai para o trabalho numa empresa, visita a fábrica, vai às compras e finalmente vai a um curso ao final do dia antes de regressar a casa.

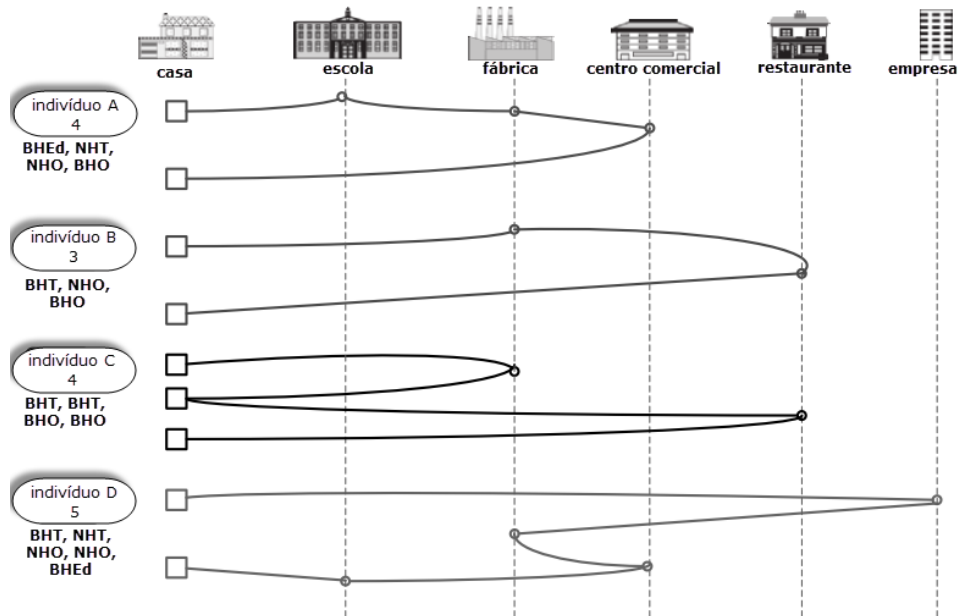


Figura 2.4 – Atividades, circuitos, viagens e objetivos diários.

Adaptado de: Ortúzar & Willumsen (2011)

Conforme referido anteriormente, os modelos baseados em atividades preveem o comportamento de viagem como sendo derivado das atividades. Assim sendo, prevendo que atividades vão ser executadas num certo destino e horário, as viagens, as suas datas e locais estão implicitamente previstas nos modelos baseados em atividades. Existem dois trabalhos teóricos que motivaram os investigadores a modelar a procura de transportes a partir do ponto de vista de participação em atividades. Estes trabalhos são de Torsten Hägerstrand, em 1970, e Stuart Chapin, em 1974 (Jovicic, 2001).

De acordo com Yu & Shaw (2007), Hägerstrand propôs uma forma de analisar as relações entre as várias restrições e as atividades humanas num contexto espaço-tempo, conhecido como geografia do tempo. Adotando um sistema espaço-tempo integrado, a geografia do tempo usa o conceito de um percurso espaço-tempo para descrever uma trajetória individual no espaço físico ao longo do tempo, e o conceito de prisma espaço-tempo para descrever a extensão do espaço físico e do tempo que está acessível a um indivíduo, tendo em consideração as restrições a que está sujeito.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Um percurso espaço-tempo (Figura 2.5a) é a trajetória dos movimentos de um indivíduo no espaço físico ao longo do tempo. Este percurso pode ser considerado como uma característica linear no sistema espaço-tempo 3D, o que permite uma representação contínua da história da localização de um indivíduo no espaço.

Um prisma espaço-tempo (Figura 2.5b) representa a extensão no espaço e no tempo que pode ser acedida por um indivíduo sob um determinado conjunto de restrições. Um prisma forma um espaço contínuo do sistema de coordenadas ortogonal espaço-tempo definido na geografia do tempo.

Os transportes servem como meio para trocar tempo por espaço, uma vez que as deslocamentos no espaço físico demoram tempo. Dando uma localização e um período de tempo, uma pessoa pode ficar na localização durante todo o tempo do período. Se essa pessoa quiser movimentar-se para uma nova localização, o movimento físico utiliza tempo e o tempo disponível para as atividades na nova localização fica encurtado. Se se projetar o prisma espaço-tempo para o plano 2D, o resultado é uma região, conhecida como área de percurso potencial (apresentada na Figura 2.5b)

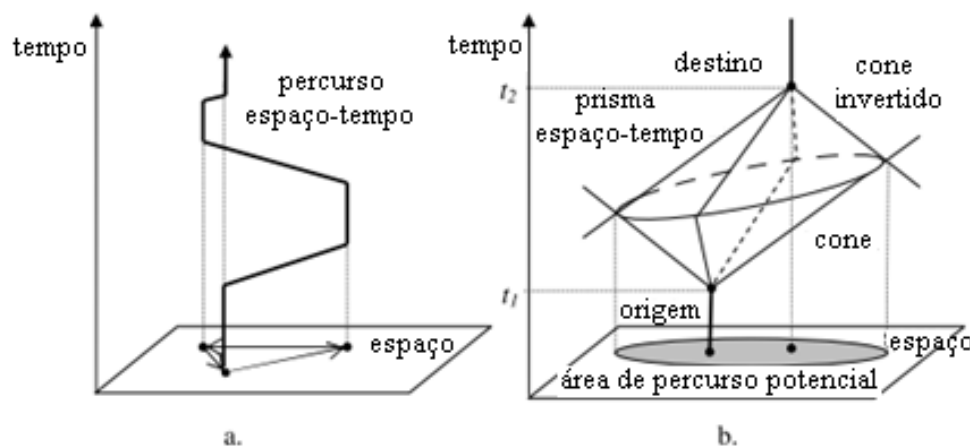


Figura 2.5 – Percurso espaço-tempo e prisma espaço-tempo.

Adaptado de: Yu & Shaw (2007)

De acordo com McCray & Brais (2007), Hägerstrand dividiu as restrições em:

- Restrições de capacidade – as necessidades biológicas;
- Restrições de reunião – as atividades coordenadas;
- Restrições de autoridade – as limitações sociais e culturais.

Esta teoria assume que viajar para certos destinos, a certa altura do dia e através de certos modos de transporte, resulta da procura por participação numa atividade (Jovicic, 2001).

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

Segundo Jovicic (2001) a teoria de Chapin é mais centrada nas oportunidades e escolhas do que nas restrições. A teoria diz que a procura por atividade é motivada por desejos humanos básicos, como o desejo de sobrevivência, encontros sociais e de gratificação do ego. Isto mais tarde foi modificado por alguns outros fatores incluindo compromissos, capacidades e saúde.

Jovicic (2001) indica ainda que, na modelação da procura de viagens do ponto de vista da participação em atividades, existem duas abordagens importantes diferentes:

- **Modelos baseados em atividades de escolha discreta**

Estes modelos assumem independência entre os diferentes objetivos de viagem no modelo de geração. Nestes modelos, as combinações dos objetivos das atividades são modelados explicitamente nos “modelos de padrão de atividades”. As alternativas disponíveis no padrão de atividades definem o conjunto de escolha. Um padrão de atividade pode ser definido como uma sequência de atividades planeadas por um indivíduo. Num calendário de atividades para cada uma das atividades do padrão de atividades é atribuído o tempo de execução e duração, destino e modo de transporte.

- **Modelos baseados em atividades de simulação**

Estes modelos constroem calendários das atividades considerando as restrições de Hägerstrand explicitamente na sua estrutura num tempo contínuo. O primeiro modelo de simulação foi desenvolvido aproximadamente na mesma altura que a teoria da escolha discreta e o primeiro modelo de escolha discreta, ou seja, no final dos anos 70, início dos anos 80.

A Tabela 2.2 resume os principais pontos fortes (indicados por ‘+’) e pontos fracos (indicados por ‘-’) dos dois tipos de modelos referidos. O símbolo ‘(+)’ significa que uma determinada característica está apenas parcialmente incluída nesse tipo de modelo.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

Tabela 2.2 – Comparação dos dois tipos de modelos.

Caraterísticas	Modelos de escolha discreta	Modelo de simulação
A viagem é uma função das atividades	+	+
Inclusão explícita de restrições	(+)	+
Inclusão explícita das interações entre membros de uma família na estrutura do modelo	-	+
Inclusão de efeitos a longo prazo na estrutura do modelo	+	-
Inclusão dos atributos do sistema de transportes na estrutura do modelo	+	-
O tempo é tratado como uma variável contínua	-	+
Não são necessários conhecimentos especiais de programação	+	-
É possível a verificação estatística das estimativas do modelo	+	-
Validação do modelo é possível	+	(+)

Adaptado de: Jovicic (2001)

Na dissertação será utilizado um modelo baseado em atividades. Um dos princípios básicos dos modelos baseados em atividades é que a procura por transporte é derivada da necessidade que as pessoas têm em realizar as suas atividades diárias distribuídas no tempo e no espaço. Os referidos modelos procuram simular a forma como os indivíduos de um agregado familiar organizam as suas programações de atividades diárias no tempo e no espaço e, a partir daí, avaliam quais as viagens necessárias para que esta programação de atividades possa ser cumprida (Arruda, 2005).

A decisão de viajar é feita cada vez mais considerado um processo complexo em que os indivíduos não só decidem a frequência das viagens, os modos de transporte e os caminhos que vão utilizar, como também decidem a participação em atividades, a hora e a duração das mesmas (Ettema, Borgers, & Timmermans, 1996).

2.3. Modelos baseados em agentes

A modelação e simulação baseada em agentes é uma abordagem relativamente nova para modelar sistemas complexos compostos por agentes autónomos, que interagem entre eles. Os agentes têm comportamentos, muitas vezes descritos por regras simples, e interações com outros agentes, que por sua vez influenciam os seus comportamentos. Através da modelação individual dos agentes, os efeitos totais da diversidade que existe entre eles, nos seus atributos e

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

comportamentos, podem ser observados, uma vez que esta modelação por agentes dá origem ao comportamento do sistema como um todo. Pela modelação de sistemas desde o *ground up* – agente por agente e interação por interação – a auto-organização pode ser observada nesses modelos (Macal & North, 2010).

A simulação baseada em agentes mais antiga, referenciada em publicações, relativamente aos usos do solo foi de um estudo de Lansing & Kremer (1993), em que foram modelados os sistemas de irrigação na Indonésia. Desde então, diversos modelos de usos do solo baseados em agentes têm sido desenvolvidos. Houve uma progressão gradual destes modelos desde um modelo com representações relativamente abstratas, não necessariamente relacionado a situações reais, que eram usados para explorar aspetos conceptuais dos sistemas espacialmente explícitos, até representações mais complexas de sistemas socio-ecológicos baseados em dados empíricos. Versões recentes de alguns destes modelos começaram a ser aplicadas para responder a questões reais específicas. É de notar que outras áreas da simulação têm tido uma progressão semelhante.

Foram identificados cinco domínios para os modelos de usos do solo baseados em agentes:

- Modelos de análise e planeamento;
- Modelação participativa;
- Explicação de padrões espaciais de usos do solo ou de estabelecimento;
- Teste de conceitos de ciência social;
- Explicação das funções dos usos do solo.

Apesar de terem sido identificados os referidos cinco domínios, vários modelos encaixam-se em mais do que uma das categorias apresentadas.

Segundo Macal & North (2010), um modelo baseado em agentes típico tem três elementos:

1. Um conjunto de agentes, os seus atributos e comportamentos;
2. Um conjunto de relações entre agentes e métodos de interação: uma topologia subjacente de ligação define como e com quem os agentes interagem;
3. O ambiente dos agentes: Os agentes interagem com o seu ambiente, para além de interagirem com outros agentes.

Para criar um modelo baseado em agentes é necessário identificar e programar estes elementos. É necessário um mecanismo computacional que simule o comportamento dos agentes e as interações entre eles para que o modelo seja executado. Um conjunto de ferramentas de modelos baseados em agentes, linguagem de programação ou outros aspetos, fornecem este recurso. Executar um modelo baseado em agentes é ter agentes a executar repetidamente os seus

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

comportamentos e interações. Este processo opera habitualmente através da linha do tempo, embora não seja necessariamente modelado para tal.

A característica mais elementar que define um agente é a sua capacidade de agir autonomamente, ou seja, agir por conta própria, sem orientações externas, em resposta às situações encontradas. Normalmente os agentes são mais ativos, iniciando as suas ações para alcançar os seus objetivos internos, do que passivos, que reagem respondendo a outros agentes e à envolvente.

Macal & North (2010) definiram as principais características dos agentes como sendo as apresentadas de seguida:

- Um agente é independente, modular e tem uma identificação individual única. O requisito da modularidade implica que um agente tenha um limite. Pode-se determinar facilmente se algo faz ou não parte de um agente, ou se é um atributo comum. Os agentes têm atributos que permitem que sejam reconhecidos e distinguidos pelos outros agentes;
- Um agente é autónomo e autodirigido. Um agente pode funcionar independentemente da sua envolvente e das suas interações com outros agentes, pelo menos numa série de situações de interesse do modelo. Estado que varia ao longo do tempo;
- Um agente tem um estado que varia ao longo do tempo. Tal como um sistema tem um estado que consiste no conjunto das variáveis de estado, um agente também tem um estado que representa as variáveis essenciais associadas à sua situação atual. O estado de um agente consiste num conjunto ou subconjunto dos seus atributos. O estado de um modelo baseado em agentes é o conjunto de estados de todos os agentes, juntamente com o estado do ambiente. O comportamento de um agente é condicionado pelo seu estado. Como tal, quanto mais rico for o conjunto de estados possíveis dos agentes, mais rico é o conjunto de comportamentos que um agente pode ter. Numa simulação baseada em agentes, o estado a qualquer momento é toda a informação necessária para mover o sistema daí em diante.
- Um agente é social, tendo interações dinâmicas com outros agentes que influenciam o seu comportamento. Os agentes têm protocolos para interações com outros agentes, como por comunicação, por movimento e disputa de espaço, pela capacidade de responder ao ambiente e outros. Os agentes têm a capacidade de reconhecer e distinguir as características dos outros agentes.

Os modelos baseados em agentes têm diversas aplicações, tanto na área das ciências da biologia, como na ecologia e nas ciências sociais computacionais.

2.4. Modelos de transporte e usos do solo (LUT)

Conforme referido no capítulo anterior, os modelos *LUT* incorporam os processos mais essenciais do desenvolvimento espacial em regiões urbanas. Isto implica que seja feita a previsão dos usos do solo urbano, onde usos do solo denotam um conjunto de usos de solo como o residencial, industrial e comercial. Isto exclui os modelos parciais que apenas contêm um subsistema como a habitação ou o retalho. É essencial que a ligação dos transportes e dos usos do solo seja considerada. Os transportes podem ser modelados através de um modelo de transportes de forma endógena ou exógena (Wegener, 2004). Os transportes e os usos do solo interagem conforme se apresenta na Figura 2.6.

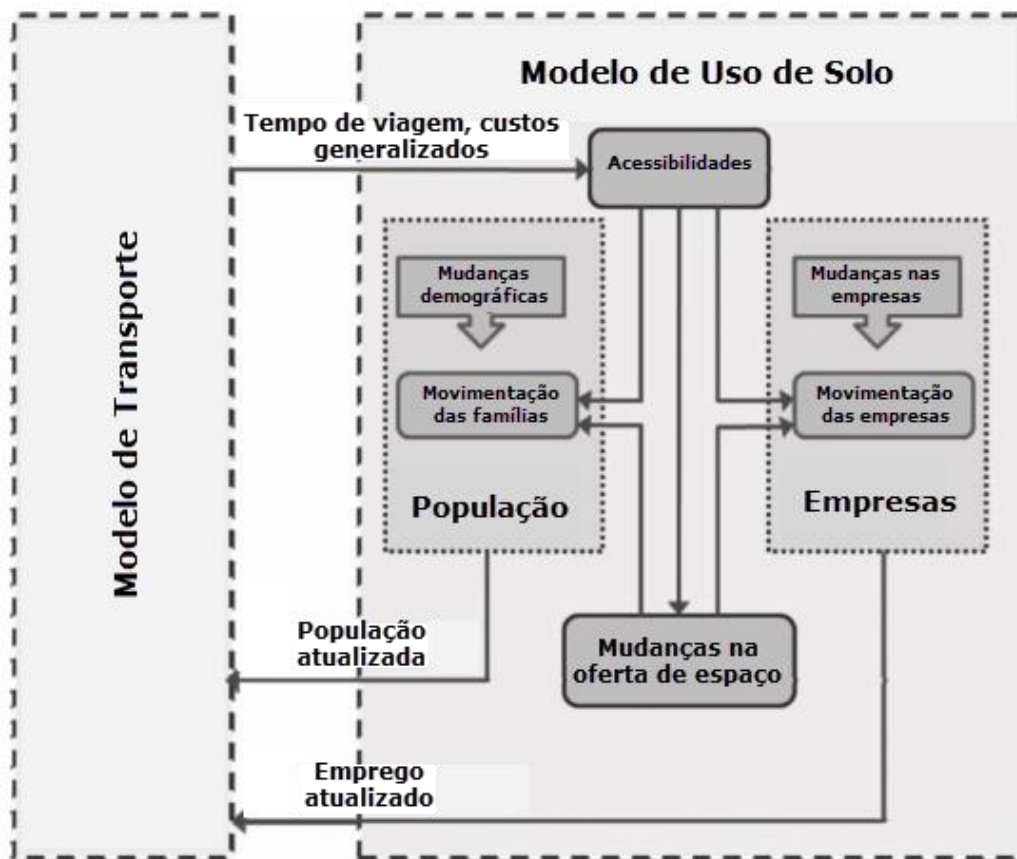


Figura 2.6 – Interações entre os transportes e os usos do solo.

Adaptado de: Ortúzar & Willumsen (2011)

A presente revisão baseia-se principalmente na análise dos principais modelos *LUT* existentes até ao momento. Para uma breve comparação entre estes modelos de usos do solo e transporte,

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

Wegener (2004) optou por analisar vinte modelos por representarem o estado de arte da modelação urbana. A lista dos modelos referidos pelo autor:

- *BOYCE*: modelo combinado de localização e escolha de viagem desenvolvidos por Boyce (Boyce & Mattsson, 1991; Boyce et al., 1985; Boyce, Chon, Lee, Lin, & LeBlanc, 1983; Boyce, Tatineni, & Zhang, 1992);
- *CUFM*: modelo do futuro das áreas urbanas da Califórnia, desenvolvido na Universidade de Berkeley, California (Landis & Zhang, 1998a, 1998b; Landis, 1992, 1993, 1994);
- *DELTA/ START*: novo pacote de modelação de usos do solo *DELTA* por David Simmonds Consultancy, Cambridge, Reino Unido. Ligado com o modelo de transporte *START* desenvolvido pela MVA Consultores e pelo Instituto de Estudos de Transportes (ITS) da Universidade de Leeds (Simmonds & Still, 1998; Simmonds, 1999);
- *ILUTE*: sistema de modelação Integrada de Usos do solo, Transportes, Ambiente a ser desenvolvido em várias universidades canadianas (Miller & Salvini, 2001);
- *IMREL*: Modelo Integrado de Localização Residencial e de Emprego por Anderstig & Mattsson (1991, 1998);
- *IRPUD*: modelo da região de Dortmund desenvolvido por Wegener (Wegener, Gnad, & Vannahme, 1986; Wegener, Mackett, & Simmonds, 1991; Wegener, 1982a, 1982b, 1985, 1996, 1998);
- *ITLUP*: Pacote Integrado de Transporte e Usos do solo desenvolvido por Putman (1983, 1991, 1998);
- *KIM*: versão não-linear do modelo de equilíbrio urbano por Kim (1989) e Rho & Kim (1989);
- *LILT*: modelo Integrado de Usos do solo e Transportes de Leeds desenvolvido por Mackett (1983, 1990, 1991a, 1991b);
- *MEPLAN*: pacote integrado de modelação por Marcial Echenique & Partners (Echenique & Williams, 1980; Echenique, 1985; Echenique et al., 1990; Echenique, Crowther, & Lindsay, 1969; Hunt & Echenique, 1993; Hunt & Simmonds, 1993; Hunt, 1994; Williams, 1994);
- *METROSIM*: modelo microeconómico de usos do solo e transportes desenvolvido por Anas (1992, 1994, 1998);
- *MUSSA*: “Modelo 5-Níveis de Usos do solo e Transporte” desenvolvido para Santiago de Chile por Martinez (Martinez & Donoso, 1995; Martinez, 1991, 1992a, 1992b, 1996, 1997a, 1997b);

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

- *PECAS*: o Sistema de Distribuição da Produção, Troca e Consumo desenvolvido pela Universidade de Calgary (Hunt & Abraham, 2003; Parsons Brinckerhoff Ohio and Hunt Analytics, 1999);
- *POLIS*: Sistema de Informação de Otimização Projetiva dos Usos do solo desenvolvido por Prastacos para a *Association of Bay Area Governments* (Caindec & Prastacos, 1995; Prastacos, 1986);
- *RURBAN*: modelo de Utilidade-Aleatória *URBAN* desenvolvido por Miyamoto (Miyamoto & Kitazume, 1989; Miyamoto, Nakamura, & Shimizu, 1986; Miyamoto & Udomsri, 1996);
- *STASA*: modelo integrado urbano/ regional e de transportes desenvolvido para a região metropolitana de Estugarda por Haag (1990);
- *TLUMIP*: modelo Usos do solo e Transporte do Estado Norte-Americano de Oregon desenvolvido no Programa de Integração do Modelos de Transportes e Usos do solo (ODOT, 2002);
- *TRANUS*: modelo de transportes e usos do solo desenvolvido por la Barra (T. de la Barra, Pérez, & Vera, 1984; T. de la Barra, 1982, 1998; Tomás de la Barra, 1989);
- *TRESIS*: o Simulador do Impacto da Estratégia de Transportes e Ambiental desenvolvido na Universidade de Sydney por Hensher & Ton (2001);
- *URBANSIM*: modelo microeconómico de escolha de localização dos agregados familiares e empresas por Waddell (Waddell, Moore, & Edwards, 1998; Waddell, 1998a, 1998b, 2002).

Os modelos *LUT* apresentados diferem nos subsistemas que representam, sendo que apenas seis dos vinte modelos analisados (*ILUTE*, *MEPLAN*, *PECAS*, *STASA*, *TLUMIP* e *TRANUS*) abrangem os oito subsistemas urbanos definidos anteriormente. Na Tabela 2.3 estão indicados os subsistemas incluídos na modelação através de cada um dos modelos referidos.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

Tabela 2.3 – Subsistemas urbanos representados nos modelos de uso do solo e transportes.

Modelos	Velocidade de mudança							
	Muito lenta		Lenta		Rápida		Imediata	
	Redes	Usos do solo	Locais de trabalho	Habitação	Emprego	População	Transporte de mercadorias	Transporte
<i>BOYCE</i>	+				+			+
<i>CUFM</i>	(+)	+	+	+	+			(+)
<i>DELTA</i>	(+)	+	+	+	+			(+)
<i>ILUTE</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>IMREL</i>	+	+	+	+	+			+
<i>IRPUD</i>	+	+	+	+	+			+
<i>ITLUP</i>	+	+			+			+
<i>KIM</i>	+				+	+	+	+
<i>LILT</i>	+	+	+	+	+			+
<i>MEPLAN</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>METROSIM</i>	+	+	+	+	+			+
<i>MUSSA</i>	(+)			+	+			(+)
<i>PECAS</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>POLIS</i>	(+)	+			+			(+)
<i>RURBAN</i>	(+)	+			+			(+)
<i>STASA</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>TLUMIP</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>TRANUS</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>TRESIS</i>	+	+	+	+	+			+
<i>URBANSIM</i>	(+)	+	+	+	+			(+)

(+) Através da ligação a um modelo de transporte

Adaptado de: Wegener (2004)

Para além de Wegener (2004), também Waddell (2002) e Peng (2010) efetuaram comparações entre alguns modelos de transporte e usos do solo. Essa comparação é resumida pela Tabela 2.4 apresentada de seguida:

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

Tabela 2.4 – Comparação entre alguns modelos de transporte e usos do solo.

Característica	DRAM/ EMPAL	MEPLAN	PECAS	<i>UrbanSim</i>	CUF-1/ CUF-2	Modelos CA/ Agente
Estrutura do modelo	Interação espacial (Lowry)	Modelo entrada-saída espacial	Modelo entrada-saída espacial generalizado	Escolha discreta (Regressão <i>Logit</i> Multinomial)	Escolha discreta	Escolha discreta (Regressão <i>Logit</i> Multinomial)
Escolha de localização do agregado familiar	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Escolha de localização do emprego	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Desenvolvimento imobiliário	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Medidas imobiliárias	Acres	Acres/ Área	Área	Acres, unidades, área	Acres	Acres
Base geográfica	Setores censitários/ agregados	Zonas definidas pelo utilizador	Zona (máx. 750)	<i>Gridcells</i> , zonas, lotes	<i>Gridcells</i>	Células <i>raster</i>
Sensibilidade às políticas	Não tem representação	Preço, zonamento, impostos	Políticas de uso do solo	Políticas de uso do solo, preço, zonamento, impostos	Políticas de uso do solo	Políticas de uso do solo, preço, zonamento, impostos
Base temporal	Quasi-dinâmico, equilíbrio	Multissetorial, equilíbrio	Anual	Anual, dinâmico	Anual, dinâmico	Anual
Interação com modelos de transporte	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Acesso ao <i>software</i>	Proprietário	Proprietário	<i>Open source</i>	<i>Open source</i>	Não disponível	<i>Open source</i>
Modelo CA integrado	Não	Não	Não	Não	Não	Sim

Adaptado de: Peng (2010); Waddell (2002)

Peng (2010) conclui que todos os modelos têm vantagens e limitações e, por esse motivo, não existe um modelo que melhor se adequa a todas as situações. A seleção do modelo de uso do solo depende do objetivo da modelação, da sensibilidade às políticas de usos do solo e de transporte, da disponibilidade e necessidade de dados e do empenho na modelação (tempo, orçamento e grau de especialização).

Também Johnston & McCoy (2006) efetuaram uma comparação entre alguns modelos integrados de transporte e uso de solo. Esta análise teve como base três critérios (a credibilidade, a usabilidade e a viabilidade dos modelos) e encontra-se resumida na Tabela 2.5 apresentada de seguida.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Tabela 2.5 – Comparação entre alguns modelos de transporte segundo critérios de credibilidade, usabilidade e viabilidade.

	UPlan	MEPLAN	<i>UrbanSim</i>	PECAS
Credibilidade				
Credibilidade	Moderada	Elevada	Elevada	Elevada
Validade	Baixa	Elevada	Elevada	Elevada
Usabilidade				
Nível geográfico	<i>Gridcells</i>	Zonas	<i>Gridcells</i> e Zonas	<i>Gridcells</i> e Zonas
Detalhe temporal	Todos os anos	Todos os anos	Todos os anos	Todos os anos
Tempo de execução	Curto	Longo	Longo	Longo
Nível de especialidade necessário	Mínimo	Elevado	Elevado	Elevado
Relevância das políticas	Baixa	Boa	Boa	Elevada
Capacidade de ligação	Sim	Sim	Sim	Sim
Código aberto	Sim	Não	Sim	Sim
<i>Software</i> gratuito	Sim	Não	Sim	Sim
Acessível ao público	Bom	Razoável	Razoável	Razoável
Apresentação de resultados	Boa	Fraca	Boa	Razoável
Viabilidade				
Custos (monetários)	Baixos	Elevados	Elevados	Elevados
Custos (horas de trabalho do pessoal)	Baixos	Moderados	Elevados	Elevados
Tempo para desenvolver	Baixo	Elevado	Elevado	Elevado
Necessidade de dados	Baixa	Elevada	Elevada	Elevada

Adaptado de: Johnston & McCoy (2006)

2.5. Justificação da utilização do modelo *UrbanSim*

Optou-se pela utilização do modelo *UrbanSim* para desenvolver o estudo de caso por se tratar de uma ferramenta gratuita e estar disponível em www.urbansim.org. É ainda *open source*, programável e adaptável, sendo fácil obter informação técnica e científica detalhada acerca dos módulos modelos parcelares do mesmo.

A plataforma *OPUS* (*Open Platform for Urban Simulation*) apresenta exemplos de aplicação que ajudam na compreensão do modo de funcionamento da ferramenta.

Capítulo II – Revisão Bibliográfica

Apesar do *UrbanSim* não modelar os transportes por si só, pode ser ligado a outros sistemas de modelação de transportes, como o *MATSim*⁵, cuja análise se encontra a ser desenvolvido por outro colega, também na sua dissertação. Pode igualmente ser ligado ao *Visum*, que o ISEL tem disponível.

O facto de o *UrbanSim* abordar as questões de avaliação imobiliária, por permitir estimar a variação do preço do solo e da habitação, é também importante no âmbito da Engenharia Civil.

O *UrbanSim* faz a modelação de variações demográficas e da formação (ou extinção) de agregados familiares. Esta ferramenta aborda o espaço urbano como um sistema hierárquico de subsistemas interligados, mas com uma estrutura interna independente. Faz ainda a modelação a um nível fino pois utiliza *gridcells* ou lotes (Wegener, 2004), sendo os modelos construídos segundo uma abordagem *bottom-up*.

2.6. *Súmula do capítulo*

No segundo capítulo da presente dissertação efetuou-se uma abordagem introdutória aos conceitos considerados fundamentais nesta temática.

Deste modo abordam-se os modelos baseados em agentes, dado que os agentes interagem no espaço urbano, levando ao desenvolvimento dos usos do solo, e a microssimulação, que simula com elevado nível de detalhe estas interações. Fez-se ainda uma breve abordagem aos modelos baseados em atividades, dado que a intenção de participação em atividades gera as viagens e portanto a utilização do sistema de transportes.

Seguidamente aborda-se o conceito de modelo *LUT* que é a grande temática da dissertação, sendo o seu principal objetivo a perceção da importância e utilidade destes modelos na compreensão da dinâmica do espaço urbano.

Por fim identifica-se o modelo de transporte e usos do solo mais adequado ao cumprimento dos objetivos definidos no capítulo anterior.

⁵ *Multi-Agent Transport Simulation*

Capítulo III. - Modelo de microssimulação urbana

3.1. Introdução

Como referido no primeiro capítulo, o *UrbanSim* é um sistema integrado de microssimulação de modelos para planear e analisar o desenvolvimento urbano, incorporando a interação entre o uso do solo, os transportes e as políticas públicas (Waddell, 2013b). Este sistema tem sido desenvolvido a partir do trabalho pioneiro de Paul Waddell e da sua equipa da Universidade da Califórnia desde os anos 90 (Waddell & Borning, 2008) e aplicado internacionalmente em numerosos estudos. A primeira aplicação documentada do *UrbanSim* corresponde a um protótipo para Eugene-Springfield, no estado de Oregon; posteriormente foram documentadas aplicações do *UrbanSim* a várias outras cidades americanas (como Detroit, Durham, Honolulu, Houston, Phoenix, Salt Lake City, San Antonio, São Francisco e Seattle), europeias (como Paris em França, Bruxelas na Bélgica, Zurique na Suíça, Amesterdão na Holanda e Roma em Itália), africanas (como Accra no Gana e Durban na África do Sul) e asiáticas (como Tel Aviv em Israel, Taipei em Taiwan, Seoul na Coreia do Sul e Pequim na China) (Waddell, 2011a).

O *UrbanSim* é flexível, tem uma estrutura modular na implementação dos modelos que podem ser adaptados a diferentes tipologias geográficas como zonas, *gridcells* ou lotes. O sistema do modelo enfatiza o realismo comportamental e tenta evitar pressupostos de modelação abstratas que não se refletem no comportamento observado (Waddell, 2010b).

O principal objetivo desta aplicação é simular a longo prazo o desenvolvimento das áreas urbanas, incluindo os usos do solo, transportes, e impactes ambientais. Através da determinação de dados socioeconómicos e ações dos utilizadores (por exemplo: baseadas em políticas de planeamento, restrições ambientais), a aplicação pode criar resultados de simulação urbana ‘realistas’, com diferentes cenários, o que permite ao utilizador do *software* avaliar os impactes de várias políticas com mudanças de restrições, permitindo a avaliação e teste de políticas de usos do solo e transportes. Os modelos no *UrbanSim* têm como base teórica conceitos econométricos, focados nas necessidades dos consumidores, nos processos de desenvolvimento

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

do solo e no papel do planeamento dos usos do solo, nos regulamentos do solo e nas restrições ambientais.

É um sistema de microssimulação bastante completo visto que simula inúmeras situações de escolha da população, distinguindo-se pela sua abordagem desagregada.

O *UrbanSim*, devido à sua abordagem desagregada (*bottom-up*), é um sistema de microssimulação bastante completo, destinando-se a ser utilizado por organizações de planeamento metropolitano, cidades, municípios, organizações não-governamentais e estudantes interessados em explorar os efeitos das escolhas de infraestrutura e da política sobre alguns indicadores (Waddell, 2013b).

Como referido anteriormente, os transportes interagem fortemente com o uso do solo. Tanto os usos do solo como os transportes têm papéis importantes relativamente ao ambiente, em particular às emissões, aos consumos de combustíveis, e à conversão dos solos rurais para solos urbanos ou suburbanos. Isto torna-se determinante na análise da viabilidade económica, habitabilidade e sustentabilidade das áreas urbanas.

3.2. *Objetivos do UrbanSim*

O *UrbanSim* foi projetado inicialmente, como já foi referido, no final dos anos 90 para dar resposta a uma lacuna dos modelos operacionais no apoio à coordenação à escala metropolitana do planeamento e análise dos transportes e usos do solo. As agências de planeamento metropolitano precisavam de modelos que simulassem as consequências de políticas e planos de transportes alternativos no desenvolvimento urbano e dos padrões de viagem. Havia ainda a necessidade de avaliar o impacto de políticas de usos do solo de forma clara e transparente, evitando os modelos *black-box*, que devido à sua complexidade e à sua lógica não podiam ser explicados, nem a quem tem como função definir as políticas, nem ao público em geral (Waddell, 2010b).

De acordo com Waddell e Borning (2008), os modelos no *UrbanSim* pretendem verificar as seguintes situações:

- Simular os principais agentes que fazem escolhas que afetam o desenvolvimento urbano, em particular, das escolhas de mobilidade e localização das famílias e das empresas, bem como a evolução das escolhas pelos agentes;
- Representar explicitamente os usos do solo, as estruturas (habitações e prédios comerciais) e os seus ocupantes (famílias e empresas);

Capítulo III – Modelo de microsimulação urbana

- Simular o mercado imobiliário como a interação entre a procura (preferência de localização de empresas e de famílias) e a oferta (espaço vazio existente, construção nova e reabilitação), com preços de mercado;
- Incorporar as hipóteses de políticas governamentais e avaliar os impactos dessas políticas, criando modelos de resposta dos mercados;
- Serem desenvolvidos para altos níveis de desagregação espacial e de atividades, através de um sistema de zonamento. Este sistema de zonamento é equivalente ao dos transportes, o que possibilita uma posterior ligação;
- Simular o desenvolvimento urbano como um processo dinâmico no tempo e no espaço;
- O modelo é baseado na teoria da utilidade estocástica⁶ e usa modelos *logit*⁷ para a implementação dos principais componentes;
- O modelo aborda tanto o novo desenvolvimento como a reconstrução, detalhados até ao nível do lote.

3.3. Aplicações existentes

Como referido anteriormente, embora a utilização do *UrbanSim* se tenha iniciado nos EUA, atualmente esta utilização já se expandiu um pouco por todo o Mundo. No âmbito do presente trabalho foram referenciadas 21 aplicações em *UrbanSim*, completas ou em desenvolvimento. Destas, 10 aplicações referem-se a cidades americanas.

Na Figura 3.1 apresenta-se um mapa-mundo com as localizações das 21 aplicações identificadas até ao momento.

⁶ Em que cada alternativa tem uma utilidade para o decisor (viajante), cujo conhecimento antes da decisão é imperfeito (Viegas, 2009) e que abordam as escolhas como um processo estocástico, ou seja, não determinístico.

⁷ São modelos econométricos de seleção qualitativa, uma vez que geram respostas de procedimentos qualitativos do tipo presença ou ausência de um determinado atributo (Scarpel & Milioni, 2002).



Figura 3.1 – Aplicações existentes.

Adaptado de: Waddell (2011a)

3.3.1. Projeto europeu

De acordo com o Instituto Federal Suíço da Tecnologia de Zurique (Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2011), o *UrbanSim* provou ser uma ferramenta muito poderosa e eficiente no contexto das cidades americanas. No entanto, vários projetos recentes utilizados na Europa apontaram para a necessidade de adaptar esta plataforma de modelação, para desenvolver novas ferramentas consistentes com as características históricas, políticas e sociais das cidades europeias e com estilos de vida e preferências específicas. A investigação académica de alto nível na área dos transportes, planeamento, economia, modelação econométrica e noutros campos como a geografia, a nova geografia económica, ciências computacionais e investigação operacional parecem ser particularmente relevantes na análise do desenvolvimento urbano e construção dos modelos integrados de transporte e usos do solo. Estes desenvolvimentos têm como objetivos:

- Melhorar as especificações, estimativas e validação dos modelos urbanos integrados (e portanto a validação das suas previsões);
- Adaptar o *UrbanSim* ao contexto europeu;
- Adicionar a simulação de viagens e o comportamento quotidiano ao *UrbanSim*;
- Adicionar ao *UrbanSim* os módulos de sustentabilidade e ambiental;
- Adicionar um módulo de microssimulação demográfica à plataforma integrada;

Capítulo III – Modelo de microssimulação urbana

- Introduzir alguns elementos dos processos de decisão coletiva nos agregados familiares (tendo em consideração potenciais conflitos de interesses entre os diferentes membros dos agregados familiares).

Este projeto europeu financiado pela comissão europeia, batizado como *SustainCity*, deu origem a uma versão europeia do *UrbanSim*, chamada de *UrbanSimE*, aplicada e testada em três cidades: Bruxelas, na Bélgica; Paris, em França e Zurique, na Suíça.

O projeto *SustainCity* conta com a participação das 12 instituições indicadas na Tabela 3.1 e é coordenado pelo Instituto de Planeamento de Transportes e Sistemas (IVT) do Instituto Federal Suíço da Tecnologia de Zurique (ETHZ) (Schirmer, 2010).

Tabela 3.1 – Instituições parceiras do projeto *SustainCity*.

Instituição		País	Nome do responsável
Swiss Federal Institute of Technology Zurich	ETHZ	Suíça	Prof. Kay W. Axhausen (coordenador)
Ecole Normale Supérieure de Cachan	ENSC	França	Prof. André de Palma (coordenador científico)
Institut National d'Etudes Démographiques	INED	França	Prof. Elizabeth Morand
Université Catholique de Louvain	UCL	Bélgica	Prof. Isabelle Thomas Prof. Jaques F. Thisse Prof. Dominique Peeters
Katholieke Universiteit Leuven	KUL	Bélgica	Prof. Stef Proost
STRATEC SA	STR	Bélgica	Sylvie Gayda
National Technical University of Athens	NTUA	Grécia	Prof. Constantinos Antoniou
Technical University Berlin	TUB	Alemanha	Prof. Kai Nagel
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	EPFL	Suíça	Prof. Michel Bierlaire
Bocconi University	BU	Itália	Prof. Francesco Billari Rodolfo Baggio
Université de Cergy Pontoise	UCP	França	Nathalie Picard
University of California	UCB	EUA	Paul Waddell

Adaptado de: Swiss Federal Institute of Technology Zurich (2011)

3.4. Estrutura do modelo *UrbanSim*

Os modelos são simplificações da realidade, captações teóricas que representam sistemas de tal modo que as suas características essenciais, cruciais na teoria e na sua aplicação, estão identificadas e destacadas. Os modelos servem de veículo que permite a experimentação,

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

através dos conceitos teóricos, numa perspetiva de previsão, ajudando na compreensão de situações que ainda não se verificaram (Batty, 2009).

Para simular áreas urbanas, o *UrbanSim* utiliza uma série de modelos interativos, representando diferentes agentes e processos do ambiente urbano, tal como os residentes, as empresas e redes de transportes. Cada modelo codifica o comportamento dos agentes da simulação, bem como os objetos sobre os quais eles operam, tal como lotes e edifícios. Os objetos correlacionam-se diretamente com os objetos reais, facilitando a compreensão das suas propriedades e comportamentos. Os agentes podem ser partilhados entre modelos. Muito mais do que os outros sistemas de modelação urbana, o *UrbanSim* é um modelo desagregado (*bottom-up*) e por esse motivo tem uma elevada necessidade de dados. Esta necessidade permite que a modelação dos processos possa ser feita a um nível muito fino, o que leva à utilização de dados espaciais detalhados. Este nível de detalhe não é possível obter nos sistemas mais agregados. Se por um lado esta elevada quantidade de dados se torna uma vantagem devido ao nível de detalhe, por outro também se torna uma desvantagem pois a implementação do sistema é mais complexa, numa perspetiva de *software* (Noth et al., 2001) e também da obtenção de dados.

Como se pode verificar na Figura 3.2, os componentes principais do *UrbanSim* são: o ‘armazém’ de objetos, o ‘coordenador’ dos modelos e a *layer* de agregação/ tradução.

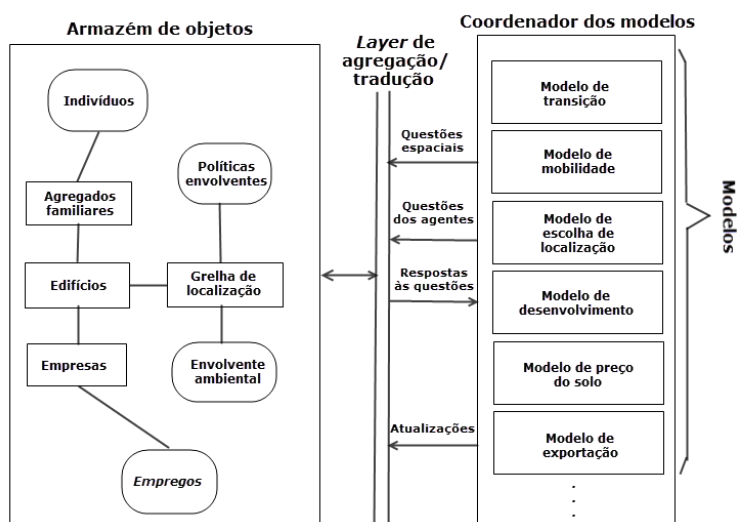


Figura 3.2 – Arquitetura do *UrbanSim*.

Fonte: Waddell et al. (2003)

O ‘coordenador dos modelos’ calendariza os modelos que estão a correr e faz a notificação quando os dados de interesse forem alterados. O ‘armazém de objetos’, como o próprio nome indica, armazena as representações de agentes e outras entidades do mundo da simulação, e a layer de agregação/ tradução executa uma série de conversões de dados, fazendo a mediação

Capítulo III – Modelo de microssimulação urbana

entre o armazém de objetos e o coordenador dos modelos. Os modelos não comunicam diretamente uns com os outros, em vez disso, comunicam com dados partilhados guardados no armazém de objetos, mediados pela *layer* de agregação/ tradução (Noth et al., 2001; Waddell et al., 2003).

Segundo Waddell et al. (2003), o *UrbanSim* precisa de vários dados-chave de entrada (de *input*) que são exógenos. Destes, dois são gerados por modelos externos: um modelo macroeconómico para prever as futuras condições macroeconómicas (como a população e o emprego por sector) e um modelo de procura de transportes, para prever as condições de viagem (como as alturas de congestionamento e as viagens entre zonas). O modelo de procura de transportes tem uma ligação imperfeita ao *UrbanSim*. Os dados são transmitidos de um modelo para o outro em cada iteração anual, ou seja, o modelo de transportes alimenta o *UrbanSim* e este também alimenta o modelo de transportes (que atualmente é externo).

Normalmente o *UrbanSim* calendariza cada modelo para operar uma vez por cada ano simulado, com o fluxo de dados descrito na Figura 3.3. O ‘armazém’ de dados contém o estado atual de todos os objetos do sistema, com o arquivo requerido pelos modelos individuais, ou quando solicitado pelo utilizador em arquivos para processamento por ferramentas externas (como os sistemas SIG).

O *UrbanSim* é um modelo quasi-dinâmico que, tal como foi referido na secção 2.1, funciona segundo um processo iterativo que se desenvolve por períodos de tempo fixo, normalmente de um ano. Ou seja, a variável tempo (t) não está explicitamente presente nos modelos internos, mas implicitamente nos ciclos evolutivos ao longo do tempo, correspondentes a um ano (habitualmente) de simulação do sistema, no qual os modelos principais são todos executados sequencialmente.

Cada um dos modelos principais é descrito de seguida. A estrutura matemática dos processos subjacentes aos modelos é praticamente idêntica para os modelos de agregados familiares e de emprego.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

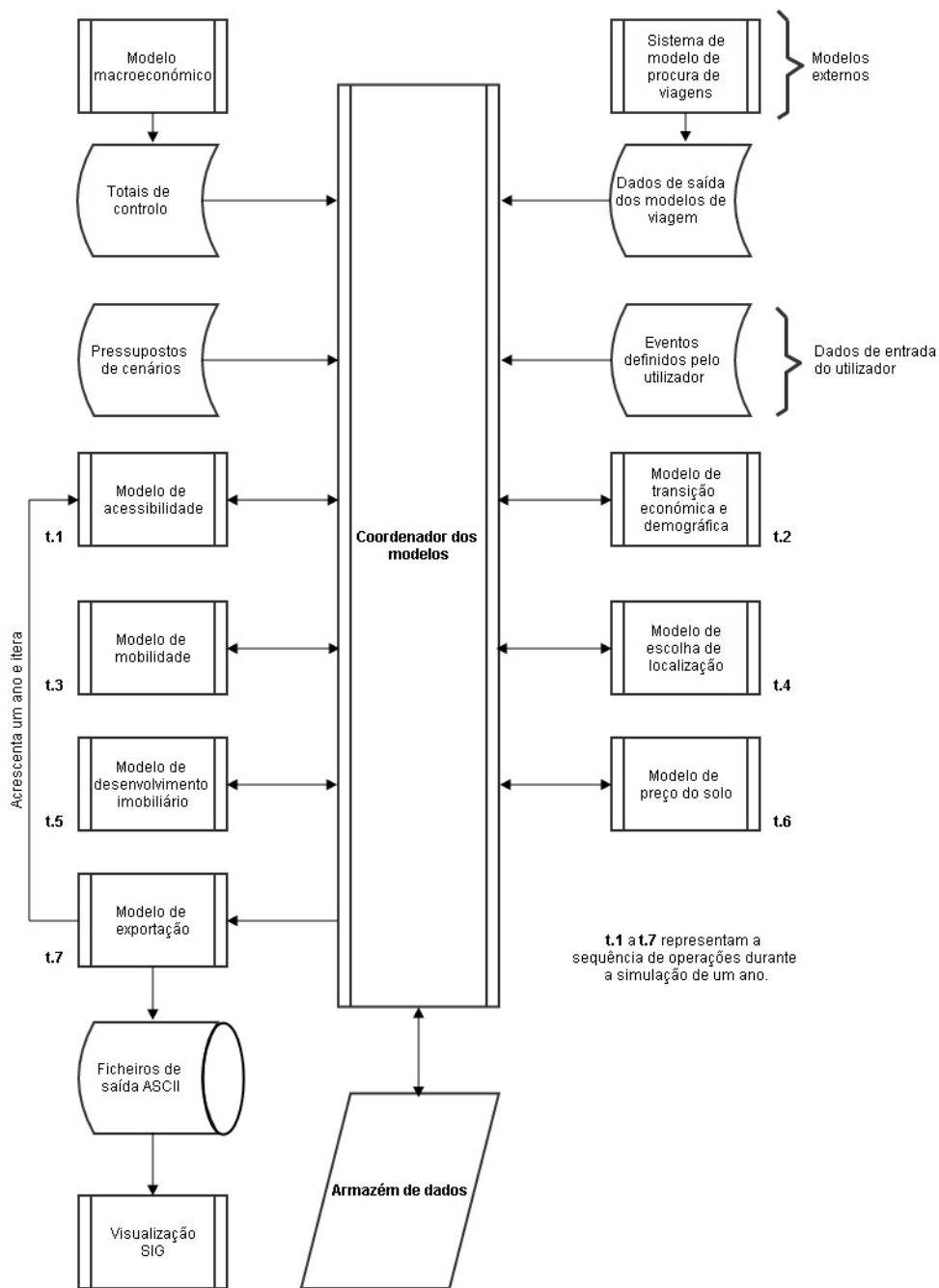


Figura 3.3 – Fluxo de dados do *UrbanSim*.

Adaptado de: Waddell et al. (2003)

Ainda segundo os referidos autores, o sistema lê dados de entrada exógenos, não apenas dos modelos macroeconómicos externos e de procura de transportes, mas também dos dados de entrada do utilizador. Estes dados do utilizador incluem hipóteses que refletem as políticas de usos do solo que regulam o desenvolvimento imobiliário, e quaisquer eventos programados

Capítulo III – Modelo de microssimulação urbana

especificados pelo utilizador que representam mudanças no emprego, no desenvolvimento imobiliário ou nas políticas de solo que o utilizador pretende aplicar ao modelo num ano de simulação depois do inicial ou o ano base.

Os principais componentes do modelo, pela ordem de execução num dado ano de simulação, são:

- Os modelos de transição económica e demográfica;
- Os modelos de mobilidade do agregado familiar e do emprego;
- O modelo de acessibilidade;
- Os modelos de escolha de localização do agregado familiar e do emprego;
- O modelo de desenvolvimento imobiliário;
- O modelo de preço do solo.

Um módulo de dados de saída escreve os resultados da simulação em formatos especificados pelo utilizador para os ficheiros de saída para posterior análise ou processamento, como por modelos de procura de transportes ou por SIG. Por questões relacionadas com o *software*, o módulo de dados de saída é implementado como um modelo, designado por modelo de exportação. Conceptualmente, no entanto, não é um modelo como os outros, visto que não é um ator ou processo no ambiente urbano, apenas lê informação e exporta-a para ficheiros externos.

3.4.1. Estruturação de dados

Segundo Waddell & Borning (2008), os dados no *UrbanSim* podem ser estruturados de três modos diferentes: com base em *gridcells*, por lotes ou por zonas.

- **Gridcells** – A estruturação dos dados através de *gridcells* (Figura 3.4a) começa com a decisão da resolução a adotar na área de estudo. A resolução que tem sido utilizada é uma grelha (*grid*) de 150 metros por 150 metros, como um compromisso entre o alto nível de resolução desejado e a quantidade de dados necessários (que cresce conforme o detalhe desta resolução).

A principal vantagem da utilização de uma grelha é que isso torna possível a utilização do processamento matricial (*raster*) de forma eficiente, como acontece no processamento de imagem ou na análise espacial SIG por matrizes. É possível calcular de forma eficiente, por exemplo, a quantidade de população ou emprego que se encontra dentro de um certo raio de cada célula. Esta eficiência computacional foi a principal motivação para utilizar a estruturação de dados *gridcell*.

- **Lotes** – De forma a resolver algumas limitações da estruturação de dados em *gridcells*, adota-se a estruturação por lotes, que utiliza um modelo de dados baseado nos lotes

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

como unidade máxima de agregação (dos edifícios, agregados familiares e empregos como objetos principais) e unidade de análise. Os agregados familiares e empregos ‘escolhem’ localizações, selecionando um edifício específico, que por sua vez é associado a um certo lote (Figura 3.4b). O modelo de desenvolvimento imobiliário baseia-se nos projetos de desenvolvimento que ocorrem em parcelas específicas.

- **Zonas**⁸ – Dada a flexibilidade de configuração dos modelos no *OPUS*, uma estrutura de dados por lotes pode ser substituída por dados estruturados por zonas com relativa facilidade. As localizações podem, por exemplo, ser definidas pelas zonas utilizadas no modelo de transportes, de forma a torná-las consistentes com os modelos de transportes baseados em zonas. Esta abordagem pode também ser utilizada para criar um modelo mais simples, devido à utilização de menos detalhes geográficos.

Utilizando a mesma estrutura de dados para agregados familiares, empregos e edifícios, a única mudança necessária para um modelo baseado em zonas é a atribuição de localizações a edifícios, num nível de detalhe inferior, ou seja, os agregados familiares e empregos continuam localizados em edifícios, que por sua vez podem ser ligados espacialmente a zonas (Figura 3.4c).

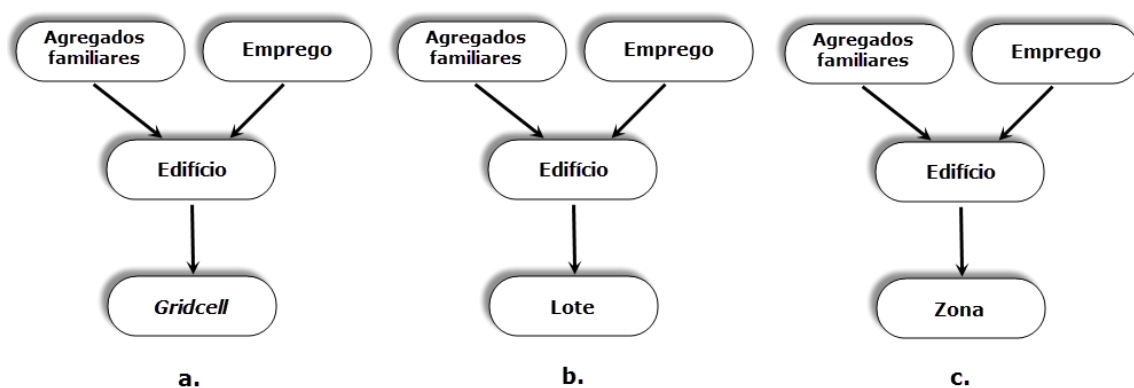


Figura 3.4 – Unidades geográficas do *UrbanSim*.

Adaptado de: Waddell & Borning (2008)

Na Tabela 3.2 apresenta-se uma comparação entre as vantagens da utilização de dados estruturados em lotes e em zonas.

⁸ Uma zona no *UrbanSim*, é um polígono qualquer irregular, desde as Zonas de Análise de Tráfego utilizadas nos modelos de transportes, até a unidades administrativas maiores como cidades ou pequenos blocos ou bairros dos Censos (Wang, 2010).

Capítulo III – Modelo de microssimulação urbana

Tabela 3.2 – Vantagens e desvantagens da utilização de lotes e zonas.

	Lotes	Zonas
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Os dados estão disponíveis através de fontes fiscais e comerciais; • Os lotes são reais: são a unidade de solo correspondente à propriedade, subdividida, e desenvolvida; • Facilidade na interface entre os planos e zonamento das jurisdições locais e os planos regionais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessitam de menos dados; • Facilidade no desenvolvimento; • Facilidade no diagnóstico.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Dados desorganizados; • Grande armazenamento e processamento de dados; • Dificuldade em padronizar todas as jurisdições; • O nível de precisão na modelação por lotes é grande, o que implica que a correta preparação dos dados demora dois ou mais anos, por ser muito trabalhosa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os resultados do modelo dependem muito da configuração das zonas, os parâmetros são sensíveis a esta mesma configuração; • Facilidade de cair no erro de deduzir o comportamento individual a partir de dados agregados; • Os modelos podem ser enviesados pelo facto de não haver uma escala suficientemente detalhada para contemplar o pormenor final das viagens, as viagens intrazonais.

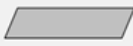




Adaptado de: Waddell (2011a)

Nos projetos em *UrbanSim*, cada indivíduo contém a identificação do agregado familiar a que pertence e, quando empregado, contém também a identificação da profissão. Por sua vez, tanto os agregados familiares como as profissões inserem-se em edifícios, que se inserem em lotes, que, finalmente, se inserem numa zona, cidade, código postal, etc.

Os dados da Tabela 3.3 referem-se à aplicação de Seattle, no estado de Washington, nos EUA e exemplificam a estruturação de dados explicada anteriormente.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Tabela 3.3 – Cinco dados de entrada e saída principais.

 Lotes (<i>Parcels</i>)	 Edifícios (<i>Buildings</i>)	 Agregados familiares (<i>Households</i>)	 Individuos (<i>Persons</i>)	 Empregos (<i>Jobs</i>)
Identificação do lote (<i>Parcel id</i>)	Identificação do edifício (<i>Building id</i>)	Identificação do agregado familiar (<i>Household id</i>)	Identificação do individuo (<i>Person id</i>)	Identificação do emprego (<i>Job id</i>)
Zonas, cidades, código postal, etc.	Identificação do lote (<i>Parcel id</i>)	Identificação do edifício (<i>Building id</i>)	Id do agregado familiar/ Id do emprego - se trabalhador (<i>Household id/ Job id</i>)	Identificação do edifício (<i>Building id</i>)
1,18 milhões de lotes	1,0 milhões de edifícios	1,28 milhões de agregados familiares	3,2 milhões de pessoas	1,85 milhões de empregos

Adaptado de: Waddell (2011a)

3.4.2. Modelos implementados

No *UrbanSim* estão implementados, como já foi referido, nove modelos, sendo eles:

- O modelo de acessibilidade;
- O modelo de transição económica;
- O modelo de transição demográfica;
- O modelo de mobilidade de emprego;
- O modelo de mobilidade de agregados familiares;
- O modelo de escolha de localização de emprego;
- O modelo de escolha de localização de agregados familiares;
- O modelo de usos do solo;
- O modelo de desenvolvimento imobiliário.

Estes nove modelos são executados numa determinada ordem por cada ano de simulação. Na Figura 3.5 ilustra-se a ordem de execução dos modelos, de cima para baixo, em que os modelos que se encontram no mesmo nível horizontal são independentes uns dos outros (Sevcikova, Raftery, & Waddell, 2007).

Capítulo III – Modelo de microsimulação urbana

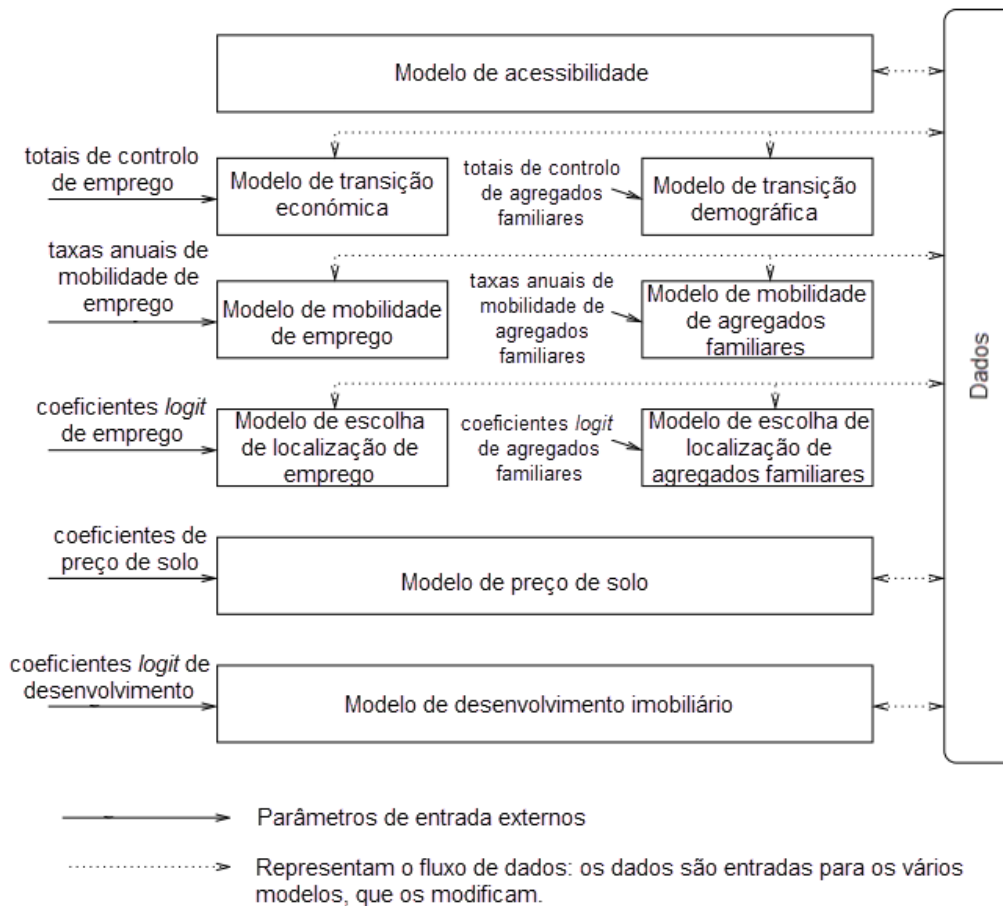


Figura 3.5 – Modelos do *UrbanSim*, pela ordem que são executados (de cima para baixo).

Adaptado de: Sevcikova, Raftery, & Waddell (2007)

A simulação é habitualmente realizada num determinado período de tempo (dado em anos), determinado pelo horizonte de planeamento em questão, que para o planeamento de transportes, normalmente pode oscilar entre os 20 e 30 anos. Supõe-se que no início da simulação, os dados refletem a verdadeira situação do ano de partida. Os dados do ano de partida são designados por ‘dados do ano base’. Cada modelo (analisado no Anexo I) utiliza uma determinada partição de dados como entrada e modifica uma determinada partição dos dados, de acordo com os resultados que produz. Estas relações estão representadas na Figura 3.5 pelas setas com linha a tracejado. A maioria dos modelos recebe parâmetros de entrada adicionais que estão representados pelas setas com traço contínuo, também na Figura 3.5.

Os nove modelos analisados sumariamente no Anexo e implementados no *UrbanSim* variam no seu tipo de procedimento, tipo de estimativa dos parâmetros de entrada, número destes mesmos parâmetros e na utilização ou não de variáveis aleatórias. Estas diferenças são apresentadas, para cada modelo implementado, na Tabela 3.4, que os modelos de transição económica e de

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

transição demográfica estão agrupados, por terem as mesmas características, assim como os modelos de mobilidade de emprego e de mobilidade dos agregados familiares.

Tabela 3.4 – Tipos de desenvolvimento.

Modelo	Procedimento	Estimativa dos parâmetros de entrada	Número de parâmetros de entrada	Variáveis aleatórias
Acessibilidade	Determinístico	-	-	Não
Transição económica/ demográfica	Algoritmo baseado na distribuição probabilística	Fontes externas	17	Sim
Mobilidade do emprego/ agregados familiares	Amostragem aleatória	Taxas observadas	79	Sim
Escolha de localização de emprego/ agregados familiares	<i>Logit</i> multinomial	<i>Logit</i> multinomial	332	Sim
Preço de solo	Regressão hedónica	Regressão hedónica	49	Não
Desenvolvimento imobiliário	<i>Logit</i> multinomial	<i>Logit</i> multinomial	615	Sim

Adaptado de: Sevcikova et al. (2007)

3.4.3. Interações no espaço urbano

O mercado imobiliário utiliza o solo para a construção de habitação e de espaço não residenciais, que, por sua vez, são procurados pelos agregados familiares e pelas empresas, que também interagem no mercado de trabalho e nos mercados de bens e serviços. Os governos fornecem ainda infraestruturas e serviços e regulam os preços do solo e das infraestruturas. Na Figura 3.6 ilustram-se as principais interações criadas no mercado imobiliário entre os agregados familiares, as empresas, os responsáveis pelo desenvolvimento e os governos, as relações de trabalho e as transações de bens e serviços (Waddell & Ulfarsson, 2004).

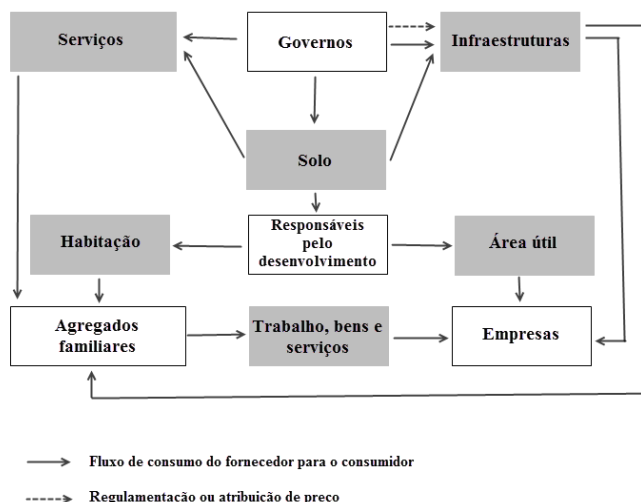


Figura 3.6 – Agentes de modelação do *UrbanSim* que interagem nas áreas urbanas.

Adaptado de: Waddell & Ulfarsson (2004)

Capítulo III – Modelo de microssimulação urbana

Na Figura 3.7 estão representados os agentes, escolhas e interações que Waddell & Ulfarsson (2004) sugerem que sejam representados num modelo urbano completo. Os referidos autores sugerem que as ações governamentais, como as normas e o investimento em infraestrutura, sejam tratados como exógenos, se o objetivo for avaliar políticas públicas alternativas.

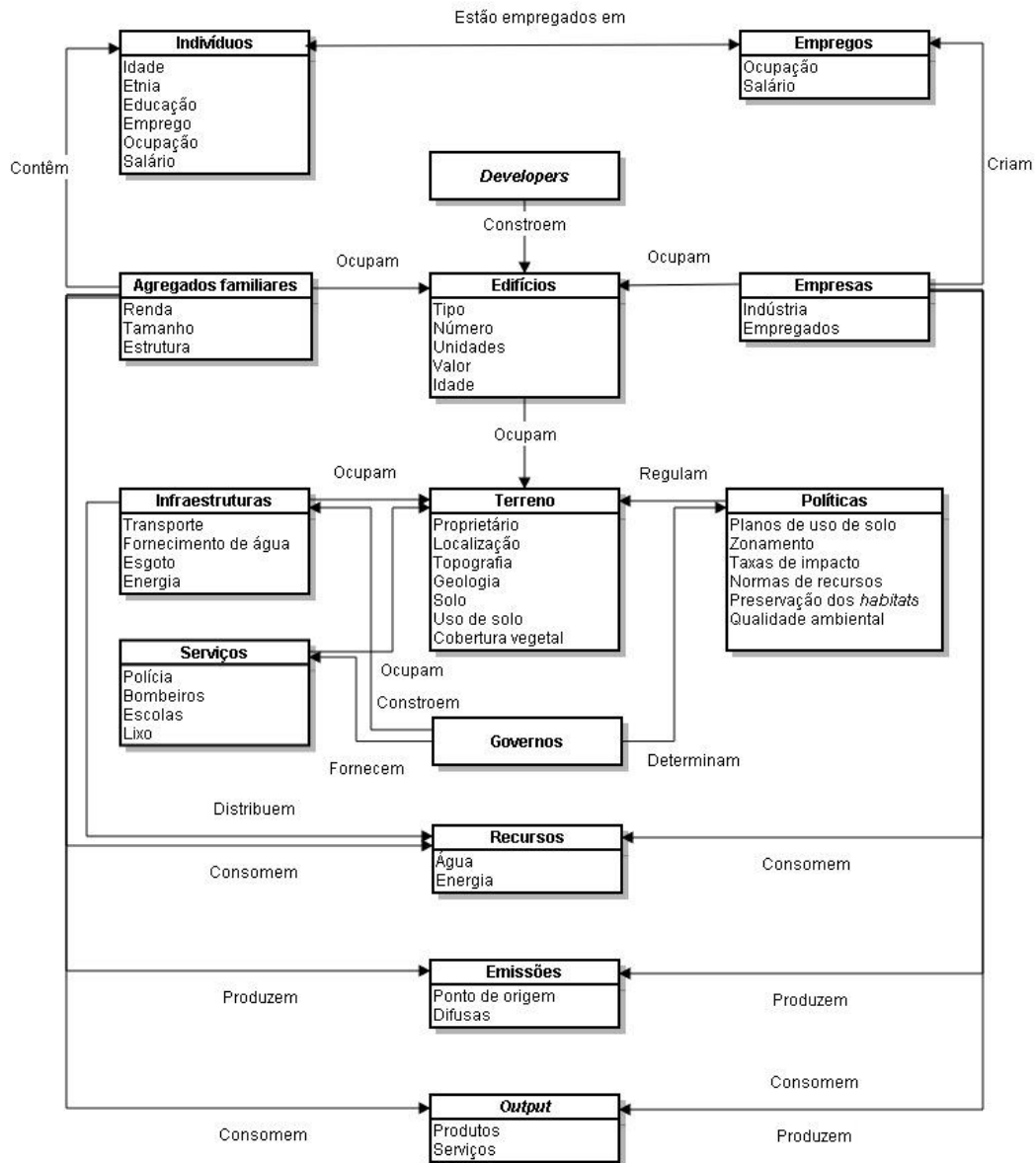


Figura 3.7 – Agentes, escolhas e interação para representar um modelo urbano completo.

Adaptado de: Waddell & Ulfarsson (2004)

Pela análise da Figura 3.7 é possível verificar que, no espaço urbano, interagem diversos agentes. Cada agente tem os seus atributos, por exemplo, o agente ‘agregado familiar’ tem como atributos a sua renda, o seu tamanho e a sua estrutura. Os agregados familiares (compostos por indivíduos) e as empresas (que contêm empregados e disponibilizam empregos) ocupam os

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

edifícios, que, juntamente com as infraestruturas e serviços, ocupam terrenos. Estes terrenos estão sujeitos às políticas públicas determinadas pelos governos. Os governos, por sua vez, fornecem serviços e constroem infraestruturas. Os agregados familiares e as empresas consomem água, energia, produtos e serviços, enquanto produzem emissões. No caso das empresas, não só consomem como produzem os referidos produtos e serviços.

3.5. Pontos fortes e pontos fracos do UrbanSim

Segundo o seu criador, Paul Waddell (2011a), o *UrbanSim* apresenta o conjunto de pontos fortes, bem como pontos fracos, que são apresentados de seguida.

3.5.1. Pontos Fortes

- Realismo comportamental e transparência: os agentes e escolhas são claros para os criadores dos modelos e partes interessadas;
- Bases teóricas fortes e internamente consistentes baseadas na economia urbana e na utilidade estocástica⁹;
- Ferramenta de microssimulação consistente e unificada;
- Pode ser configurado de forma a refletir diferentes comportamentos a diferentes níveis de desagregação de dados;
- Flexibilidade e modularidade para permitir aos utilizadores a adaptação e o desenvolvimento de novas funcionalidades;
- Comunidade de utilizadores extensa e em crescimento nos EUA, na Europa e noutros países;
- A experiência no planeamento operacional entre as organizações de planeamento metropolitano (*MPO's*¹⁰) encontra-se em rápido crescimento;
- Documentação e *web site* amplos;
- Facilidade na transformação de modelos menos detalhados para modelos mais complexos;
- Suporte alargado e contínuo da *NSF*¹¹, *EPA*¹², *FHWA*¹³, dos Estados federados e *MPO's*, bem como do Conselho Europeu de Investigação.

⁹ A função da utilidade estocástica representa a soma de componentes observáveis e não observáveis, incluindo um erro relativo a elementos que não foram observados (Constantino, 1997).

¹⁰ *Metropolitan Planning Organization* – Organização de Planeamento Metropolitano

¹¹ *National Science Foundation* – Fundação de Ciência Nacional

¹² *Environmental Protection Agency* – Agência de Proteção Ambiental

3.5.2. Pontos Fracos

- A desagregação de dados ao nível dos lotes requer uma grande quantidade de informação, o que leva a:
 - Dificuldades com a preparação dos dados: bases de dados grandes, desorganizadas e falta de dados;
 - Alguns dados detalhados, em certos casos, têm que ser sintetizados;
- A agregação de dados dos modelos ao nível das zonas diminui a capacidade de representar detalhes, no entanto, a sua execução é bastante rápida e é fácil fazer a interface com os modelos de transportes;
- Apesar das especificações e estimativas serem simples, a calibração e validação ainda são bastante complexas, sendo executadas num processo iterativo bastante demorado;
- A documentação, apesar de extensa, pode ser melhorada.

Um dos objetivos da presente dissertação é também o da verificação dos pontos fortes e fracos apresentados, face aos objetivos propostos e ao trabalho realizado. Nas conclusões será dado testemunho e reforçados os pontos fortes e fracos encontrados.

3.6. *Súmula do capítulo*

No presente capítulo efetua-se uma introdução ao modelo de microsimulação urbana, o *UrbanSim*, apresentando os objetivos para o qual foi projetado. Seguidamente referem-se as cerca de 21 aplicações identificadas ao nível mundial no âmbito desta dissertação, finalizadas ou em desenvolvimento, e apresenta-se o projeto europeu do *UrbanSimE*.

Ainda no terceiro capítulo é feita uma descrição global da organização do *UrbanSim*, com enfoque na estruturação dos dados e nos nove modelos que nele estão implementados, cuja descrição é efetuada com algum grau de detalhe. É também abordada a questão das interações do espaço urbano e identificados os diversos tipos de agentes e intervenientes.

Por fim, apresentam-se os pontos fortes e fracos do *UrbanSim*, identificados por Paul Waddell, o próprio criador da plataforma *UrbanSim*.

¹³ *Federal Highway Administration* – Administração Rodoviária Federal

Capítulo IV. - Plataforma de simulação urbana – *OPUS*

4.1. Introdução

O *UrbanSim* foi inicialmente desenvolvido em *Java*. A decisão de convertê-lo de *Java* para *Python*, e de desenvolver a plataforma *OPUS*, nasceu de interações com grupos de investigação na área dos modelos de transporte e usos do solo da América do Norte, Europa e Ásia, todos eles a desenvolver as suas próprias aplicações. Estes grupos chegaram à conclusão que estavam a demorar muito tempo no desenvolvimento e resolução de erros do *software*, e pouco tempo no desenvolvimento de modelos, aplicações e novas pesquisas. Assim, em Janeiro de 2005, após uma reunião em Toronto, foi decidido desenvolver uma plataforma aberta (o *OPUS*) que pudesse ser partilhada entre os investigadores para o desenvolvimento de modelos de transporte e usos do solo (Waddell, 2010b).

A criação da referida plataforma aberta foi liderada pela equipa de desenvolvimento do *UrbanSim* e terminou em 2006, tendo em 2008 sido adicionado uma interface gráfica do utilizador para criar modelos, estimar os seus parâmetros e combinar os modelos em sistemas que sejam executados em cenários criados, de acordo com políticas de transportes e usos do solo a serem analisadas. Foi estabelecido uma parceria internacional para os desenvolvimentos adicionais e aperfeiçoamento do *OPUS* (Waddell, 2010b).

De acordo com Waddell & Borning (2008) o *OPUS* tem como objetivos ser:

- Produtivo – para transformar o que os utilizadores podem fazer;
- Flexível – para suportar experiências;
- Rápido e dimensionável – para suportar ciclos de produção;
- Simples e direto – para tornar o sistema fácil de trabalhar e desenvolver;
- Partilhável – para poder beneficiar do trabalho de outros.

Ainda segundo os mesmos autores, como objetivos subsidiários dos objetivos anteriores, surgiram outros mais detalhados:

- Baixo custo para desenvolver novos modelos;

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

- Facilidade de execução de experiências e protótipos, passando facilmente para o modo de produção, com modelos que corram rapidamente;
- Ter uma linha de comandos interativa, de forma a ser mais fácil explorar o código, fazer experiências rápidas, verificar os dados, etc.;
- Ser flexível de modo a facilitar experiências com diferentes combinações de partes, algoritmos, dados e visualizações;
- Ser fácil de verificar os dados intermédios, de forma a ajudar ao diagnóstico de problemas mais complexos, encontrados nas produções em grande escala;
- Ser extensível para que os utilizadores possam modificar o comportamento dos modelos existentes sem modificarem as partes em desenvolvimento, ou construírem novos modelos a partir das partes existentes, ou substituírem as partes existentes por outras que forneçam o mesmo serviço de forma diferente;
- Facilidade de integração com outros sistemas que possam fornecer serviços complementares;
- Ser programável de modo a que se migre diretamente da experimentação/ desenvolvimento para a execução de grupos de simulações;
- Ser executável em vários sistemas operativos, com uma variedade de armazenamento de dados;
- Conseguir lidar com os conjuntos de dados que são bastantes maiores do que a memória computacional disponível;
- Permitir que se beneficie do processamento paralelo, porque muitos dos avanços no poder de processamento dos *chips*, advêm do facto de se terem vários *cores*¹⁴ num único *chip*;
- Proporcionar um mecanismo mais fácil de partilha de ‘pacotes’, para que as pessoas possam aproveitar o trabalho de outros;
- Proporcionar um mecanismo para as comunidades colaborarem na criação e utilização de modelos conforme os interesses.

A arquitetura do *OPUS* tem três camadas: um núcleo *OPUS*, que é a base, um conjunto de pacotes *OPUS*, que estendem a base, e um conjunto de bibliotecas externas que dão acesso a funcionalidades nos sistemas e linguagens externas. Os pacotes *OPUS* foram todos implementados em *Python*, enquanto as bibliotecas externas podem estar em *C*, *C++* ou *Fortran* (Waddell, 2010b).

¹⁴ A palavra *core* é usada num contexto informático e significa a existência de *chips* de processamento CPU com várias unidades de processamento, o chamado processamento *multi-core*, que permitem executar aplicações com grandes exigências de processamento de CPU.

4.2. Organização da interface gráfica do utilizador (GUI)

A interface gráfica do utilizador do *OPUS* está organizada em cinco separadores, conforme se mostra na Figura 4.1. Os separadores são: “Geral”, “Dados”, “Modelos”, “Cenários” e “Resultados”. Segue-se uma breve explicação sobre cada um dos referidos separadores.

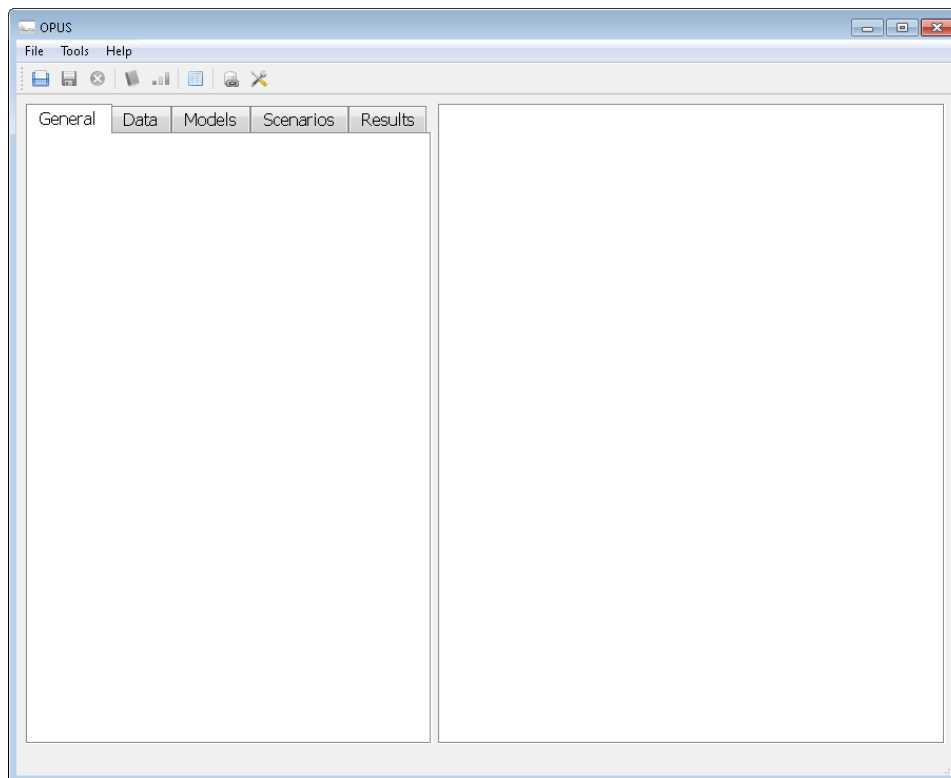


Figura 4.1 – Interface gráfica do utilizador do *OPUS*.

Separador “Geral”

Contém todos os detalhes de configuração global que precisam de ser acedidos (lidos) a partir de múltiplos locais na *GUI*. Por exemplo, a variável *library* é central, sendo necessária acedê-la para definir variáveis e indicadores (Waddell, 2010a).

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

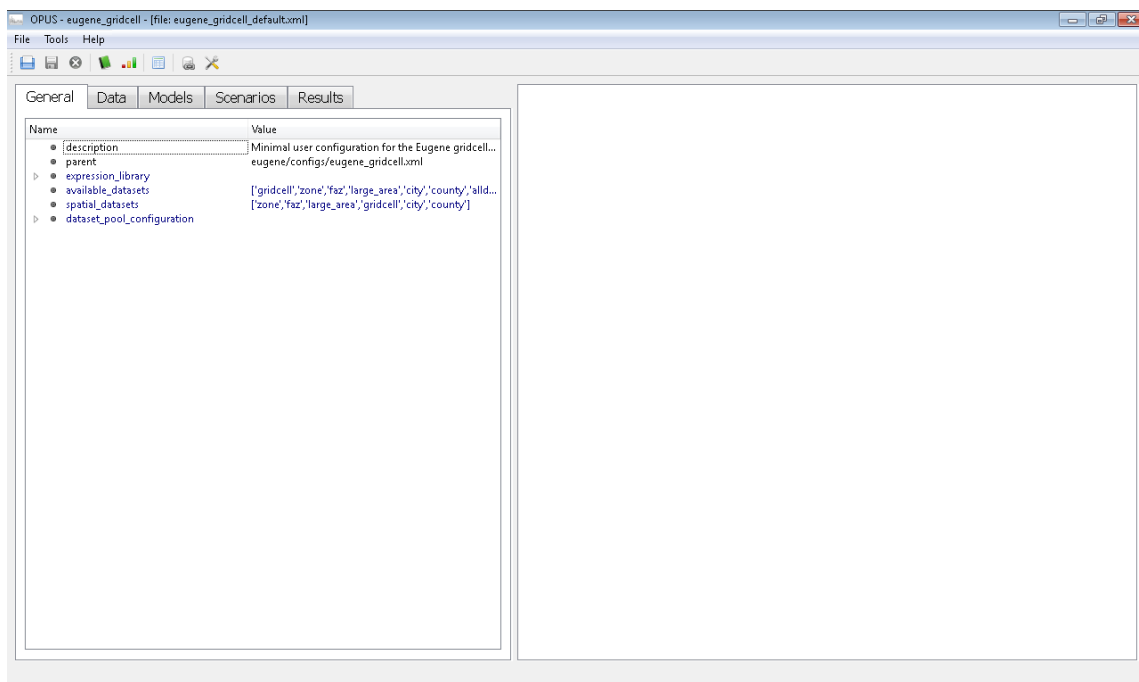


Figura 4.2 – Separador “Geral” com o projeto Eugene aberto.

Separador “Dados”

De acordo com Waddell (2010), o separador “Dados” permite uma visão global dos dados que compõem cada projeto que está carregado no *OPUS*. É neste separador que podem ser observados os conjuntos de dados do *OPUS* (que são na verdade matrizes *Numpy* armazenadas no disco).

Os dados podem ser importados para *OPUS* a partir de bases de dados SQL e ESRI ou exportados para as mesmas. Os conjuntos de dados *OPUS* podem também ser exportados para arquivos do tipo ASCII¹⁵ (mas não importados a partir destes).

¹⁵ Arquivos ASCII (*American Standard for Computer Information Interchange*) são arquivos de caracteres delimitados por tabulação.

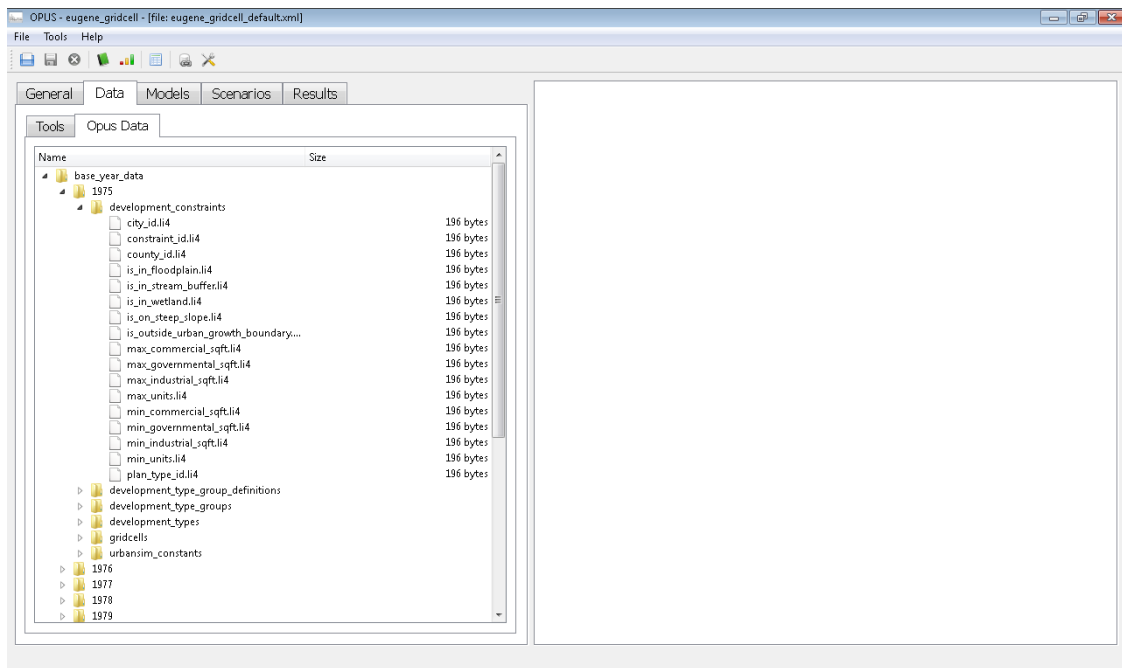


Figura 4.3 – Separador “Dados” com os dados projeto Eugene.

O separador secundário “Ferramentas” é o local onde se organizam e executam todas as ferramentas e conjuntos de ferramentas que são disponíveis com a interface, ou pode ser estendido com ferramentas criadas pelo utilizador. Uma ferramenta é simplesmente um *script*¹⁶ escrito em *Python* e executado pela interface. As ferramentas são executadas a partir da biblioteca de ferramentas (Waddell & Borning, 2008).

¹⁶ *Scripts* são listas de comandos que são executados por certos programas. Os *scripts* podem ser utilizados para automatizar processos e trazem informações que são processadas e transformadas em ações efetuadas por um programa principal (Christensson, 2005).

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

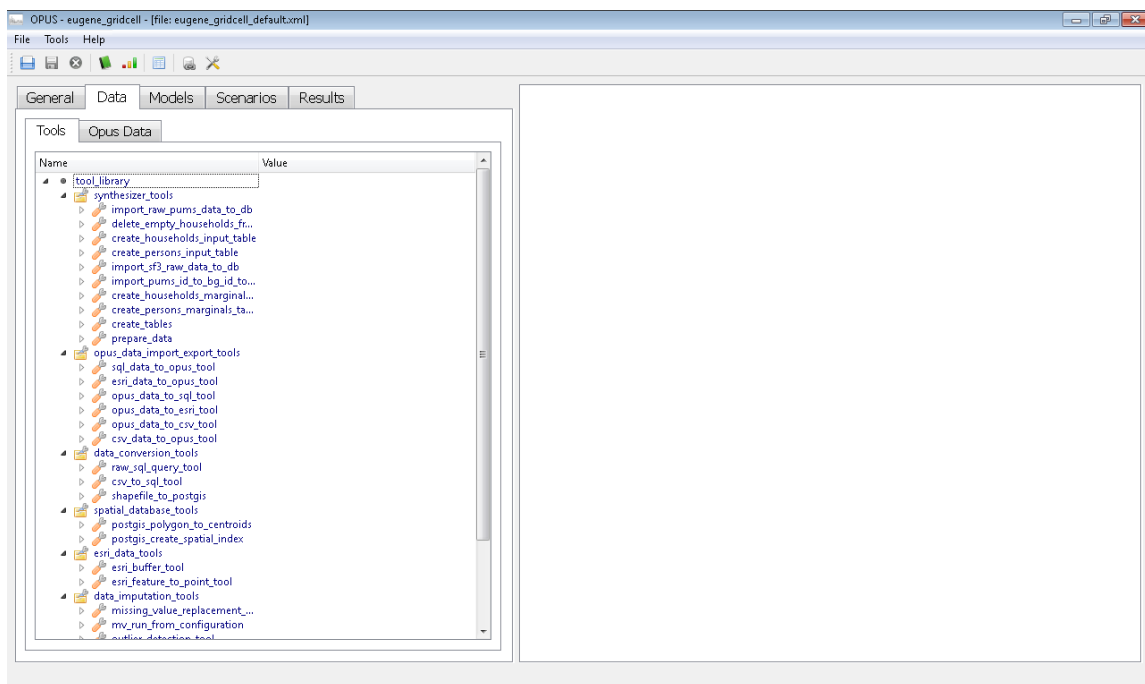


Figura 4.4 – Separador “Dados” com as ferramentas do projeto Eugene.

As ferramentas de geoprocessamento *ESRI* podem ser configuradas e submetidas para serem executadas pelo *ArcGis*.

Podem ainda ser adicionadas ferramentas pelos utilizadores, tal como na *ArcGis Toolbox*, e as ferramentas podem também ser agrupadas e executadas como um lote (*batch*), em sequência (Waddell, 2010a).

Separador “Modelos”

Waddell (2010) indica que o separador “Modelos” contém a configuração dos modelos usados pelo projeto; permite que sejam adicionados novos modelos, a partir de *templates*, permite que os modelos sejam especificados (variáveis adicionadas às equações) e calibrados (cálculo dos parâmetros do modelo, utilizando por exemplo, o método dos mínimos quadrados¹⁷).

¹⁷ Consiste numa técnica de calibração que minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre a curva ajustada e os dados experimentais obtidos, de forma a maximizar o ajuste do modelo.

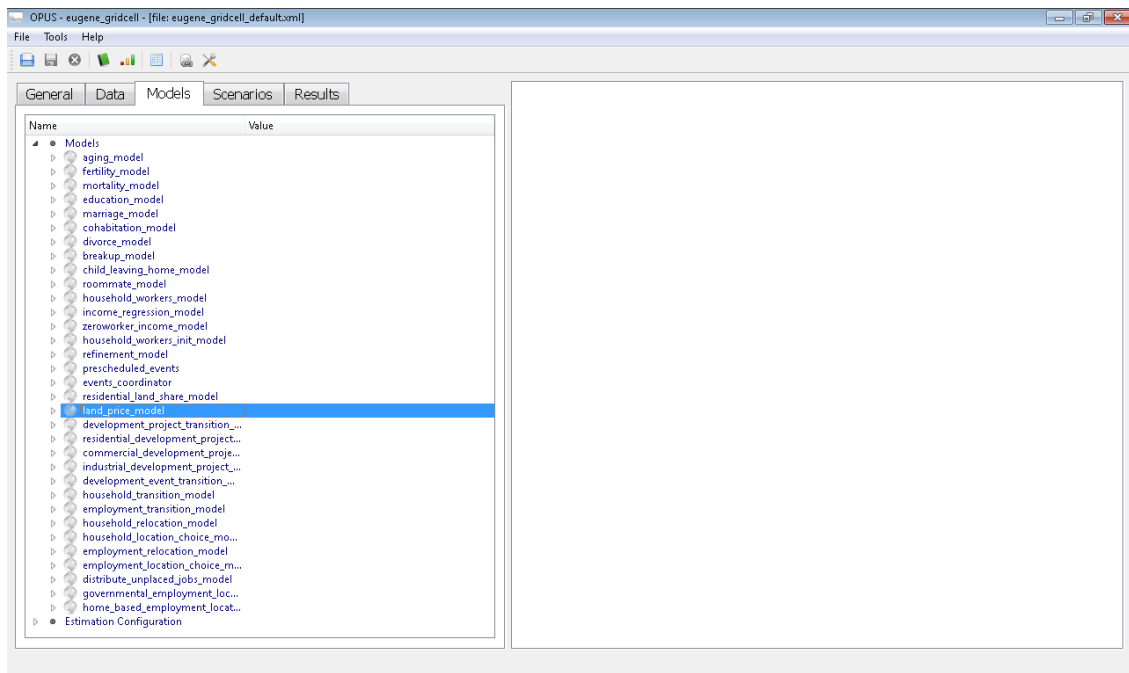


Figura 4.5 – Separador “Modelos” com o projeto Eugene aberto.

Separador “Cenários”

O separador “Cenários” permite criar configurações para executar diferentes cenários e proporciona uma interface para executar uma simulação num cenário e monitorizá-la (Waddell, 2010a).

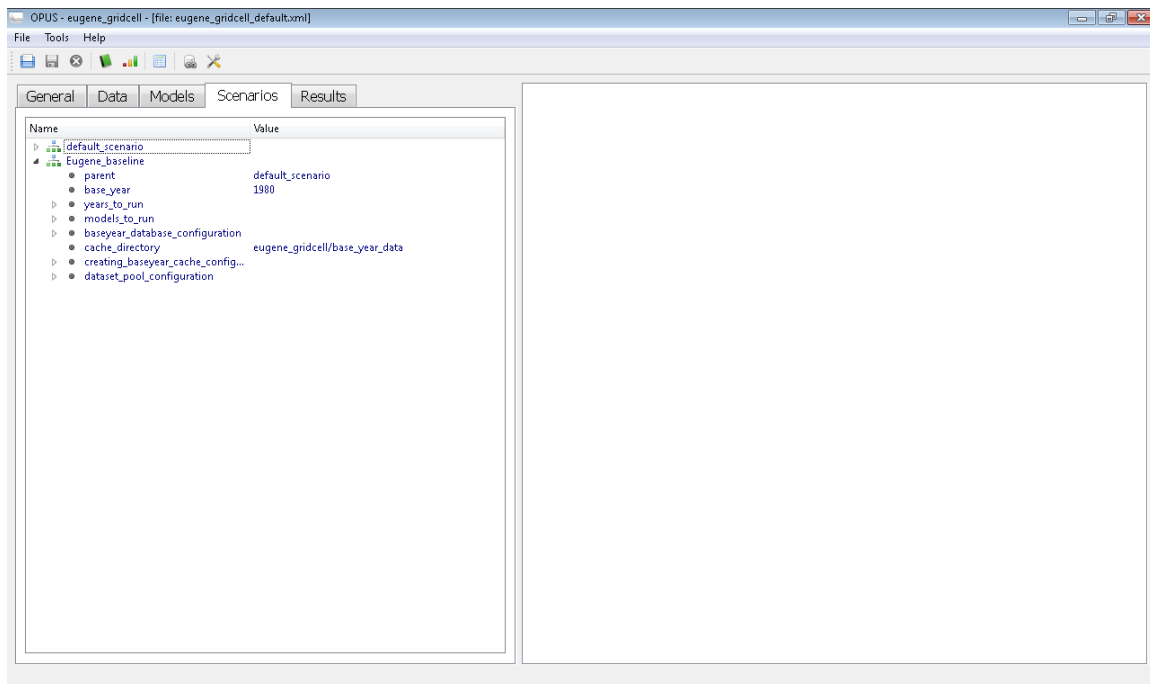


Figura 4.6 – Separador “Cenários” com o projeto Eugene aberto.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Separador “Resultados”

O separador “Resultados” permite criar configurações dos indicadores e exibi-los (em tabelas, mapas e mapas animados). Este separador proporciona ainda uma interface para executar os indicadores e visualizá-los (Waddell, 2010a).

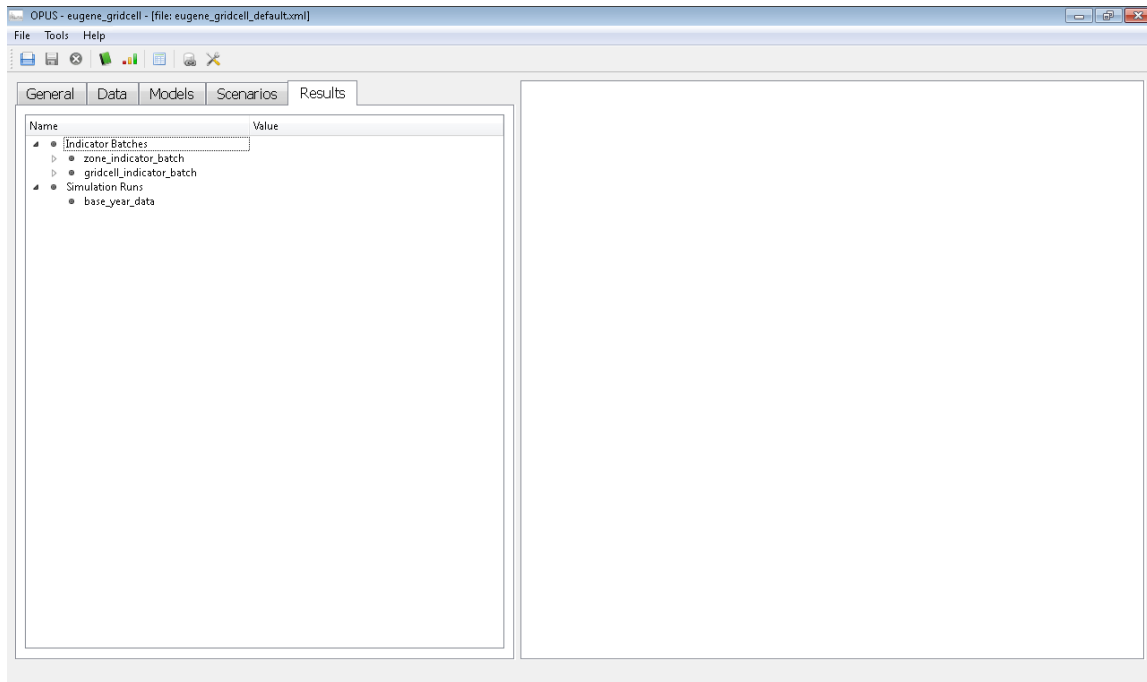


Figura 4.7 – Separador “Resultados” com o projeto Eugene aberto.

4.3. Indicadores

Os indicadores são peças de informação que caracterizam e resumem ou medem as condições, qualidades, inter-relacionamentos ou problemas de sistemas complexos, como um ecossistema ou o ‘movimento’ em direção ou de afastamento de um objetivo desejado ao longo do tempo, como a proteção da vida selvagem ou a melhoria das escolas. Geralmente os indicadores são quantitativos (Blana, 2003; Waddell & Borning, 2008).

Seguidamente descrevem-se as cinco categorias nas quais, segundo Waddell (2011), podem ser divididos os indicadores utilizados no *UrbanSim*:

- Solo e desenvolvimento:
 - Unidades de habitação por tipologia, densidade e preço (acessibilidade);
 - Edifícios não residenciais por tipologia, densidade e preço;
 - Lotes de terrenos agrícolas, florestais e espaços abertos;
- Demografia: agregados familiares, por renda e tamanho;

- Economia: emprego, por sector e tipo de edifício;
- Transportes: acessibilidade, quotas modais, distância percorrida pelos veículos e atrasos devido ao congestionamento;
- Ambiente:
 - Emissões de gases de efeito de estufa;
 - Poluição atmosférica;
 - Utilização de energia;
 - Utilização de água.

4.4. Tipos de modelos

Segundo Waddell & Borning (2008), a interface gráfica do utilizador do *OPUS* permite a criação de vários tipos de modelos, através de *templates* que podem ser configurados. Os *templates* foram criados inicialmente para seis tipos de modelos: os modelos simples, de amostragem, de afetação, de regressão, de escolha e de escolha de localização.

Atualmente existem já quatro tipos adicionais de modelos com *templates*, para além dos seis anteriormente indicados:

- Modelos de escolha hierárquica de localização dos agentes;
- Modelos de escolha hierárquica;
- Modelos de transição;
- Meta-modelos iterativos.

No entanto, por questões organizativas do presente relatório, apenas serão explicados os seis modelos inicialmente criados, seguindo a descrição apresentada em Waddell & Borning (2008).

4.4.1. Modelos simples

Como o próprio nome indica, é o tipo de modelo mais simples que se pode criar no *UrbanSim*. Calcula uma variável e guarda o resultado numa tabela de dados específica. Seguem-se exemplos do que pode ser feito com um modelo simples:

- Modelo de envelhecimento: adiciona um ano à idade de cada indivíduo, a cada ano;
- Modelo de acessibilidade pedonal: escreve o resultado de uma expressão que avalia em conjunto a quantidade de atividade de retalho e a distância pedonal;
- Modelo de potencial de remodelação: calcula a taxa de melhoria do valor total de cada lote e escreve-a na série de dados do lote.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

No *OPUS* está disponível um *template* para modelos simples e pode ser copiado e configurado de forma a criar um novo modelo simples. São necessários apenas três argumentos na sua configuração:

- Série de dados: a série de dados do *UrbanSim* na qual o resultado será escrito;
- Atributo resultante: o nome do atributo da série de dados que vai conter os valores previstos;
- Expressão: a expressão *OPUS* que calcula o resultado a ser atribuído ao atributo resultante.

4.4.2. Modelos de amostragem

Estes modelos comparam uma probabilidade (uma taxa) com um número aleatório, e se o número aleatório for maior do que a probabilidade dada, atribuem o resultado como sendo o escolhido. Por exemplo, se o objetivo fosse construir um modelo de evolução dos agregados familiares, seria necessário simular o envelhecimento, o que poderia ser feito através de um modelo simples. No entanto, seria necessário também simular: nascimentos, mortes, filhos que deixam a casa dos pais, divórcios, entrada no mercado de trabalho e trabalhadores que se reformam.

As referidas situações teriam que ser simuladas através de modelos de amostragem, baseando as previsões em taxas esperadas que variam por pessoa ou atributo do agregado familiar.

Os modelos de amostragem necessitam de cinco argumentos:

- Série de dados resultante: o nome da série de dados que recebe os valores previstos;
- Atributo resultante: o nome do atributo que vai conter os resultados previstos;
- Série de dados de probabilidades: o nome da série de dados que contém as probabilidades;
- Atributo de probabilidade: o nome do atributo que contém as taxas;
- Lista da classificação dos atributos: atributos da série de dados resultante que será utilizada para indexar diferentes probabilidades.

4.4.3. Modelos de afetação

Não requerem estimativas dos parâmetros do modelo. Estes modelos atribuem, proporcionalmente, uma quantidade agregada a uma unidade de análise mais pequena, utilizando uma ponderação. Este modelo pode ser configurado, por exemplo para atribuir as estimativas da população visitante, da população militar, da população em lares de idosos e

outras quantidades, às zonas de análise de tráfego para serem utilizadas nos modelos de transportes. Ou pode ser utilizado para construir um modelo de afetação de usos do solo incremental simplificado (embora não abranja muito a componente comportamental).

O algoritmo para este tipo de modelo é relativamente simples. Para criar um modelo de afetação, são necessários seis argumentos:

- Uma série de dados para conter a nova variável calculada;
- O nome da nova variável calculada, Y , que é indexada pela identificação da série de dados à qual está a ser atribuída, Y_i ;
- Uma série de dados contendo a quantidade total a ser atribuída;
- Uma variável contendo o total de controlo a ser atribuído, T ;
- Uma variável contendo o valor de capacidade C , indexado como C_i ;
- Uma variável contendo a ponderação a utilizar na afetação de w , indexada como w_i , com um somatório de todos os i , denominado por W .

O algoritmo é dado pela equação:

$$Y_i = \min\left(\text{round}\left(T \frac{w_i}{W}\right), C_i\right) \quad (1)$$

Se uma variável de capacidade for especificada, adiciona-se um ciclo iterativo, de m a M , para atribuir qualquer excesso de capacidade a outros ‘destinos’ que ainda tenham a capacidade restante:

$$T^m = \text{sum}\left(\text{round}\left(T \frac{w_i}{W}\right) - C_i\right) \quad (2)$$

Em cada iteração, excluem-se as alternativas onde $Y \geq C$ e repete-se a afetação com o total restante, não atribuído:

$$Y_i^m = Y_i^{m-1} + \left(T_m \frac{w_i}{W}\right) \quad (3)$$

Itera-se então até que $T^m = 0$.

Este algoritmo simples é versátil e pode ser utilizado de dois modos: como modelo de crescimento incremental ou só com os valores totais. Se utilizado no modo incremental, adiciona a quantidade atribuída às quantidades existentes. Se utilizado no modo total, substitui as quantidades existentes pelos novos valores previstos.

4.4.4. Modelos de regressão

Os modelos de regressão estão disponíveis para resolver problemas nos quais a variável dependente é contínua, e pode ser especificada satisfatoriamente por uma equação linear. A utilização principal destes modelos no *UrbanSim* serve para a previsão dos valores de propriedade. No contexto da previsão dos valores de propriedade, o modelo é referido como uma regressão hedónica, mas os modelos de regressão do *UrbanSim* são gerais e podem lidar com qualquer especificação de regressão múltipla padrão. Os modelos de previsão podem ser utilizados para prever o consumo de água ou energia por agregado familiar, a densidade populacional ou ainda o preço do estacionamento.

O seu algoritmo é:

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i \quad (4)$$

Onde:

X_i é uma matriz de variáveis ou atributos explicativos, ou independentes;

β é um vetor de parâmetros estimados.

O *OPUS* fornece um método de estimação utilizando o método dos mínimos quadrados, sendo que outros métodos de estimação estão disponíveis através da ligação do *OPUS* ao pacote estatístico *R*.

4.4.5. Modelos de escolha

Muitos problemas de modelação não têm resultados contínuos ou variáveis dependentes. É mais comum terem-se problemas de modelação nos quais o resultado é a seleção de um conjunto de resultados discretos possíveis, como o modo de transporte a utilizar para o trabalho ou se se quer comprar ou alugar um imóvel. Neste tipo de problemas, chamados de problemas de escolha discreta, utilizam-se os modelos de escolha discreta.

No *UrbanSim* a escolha recai sobre o conhecido modelo *logit* multinomial que pode ser especificado como:

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_j e^{V_j}} \quad (5)$$

Onde:

j é um índice de todas as alternativas possíveis;

$V_i = \beta x_i$ é uma função de utilidade linear nos parâmetros;

x_i é um vetor de variáveis ou atributos independentes, específicas alternativas, exógenas e observadas, que podem interagir com as características dos agentes que tomam a decisão;

β é um vetor de k coeficientes ou parâmetros estimados com um método adequado, como o da máxima verossimilhança.

O modelo *logit* multinomial é muito robusto e muito utilizado em aplicações práticas no âmbito do planeamento dos transportes, mercados e muitos outros campos. É fácil de calcular e, portanto, rápido o suficiente para ser utilizado em modelos computacionais de grande escala, como no caso da escolha da localização residencial.

Existem algumas limitações inerentes aos modelos *logit* multinomial, a mais importante delas é a propriedade da Independência das Alternativas Irrelevantes (IAI)¹⁸, que assume que as probabilidades relativas de quaisquer duas alternativas não serão afetadas, adicionando ou removendo uma outra alternativa. No entanto este pressuposto não se verifica na realidade.

4.4.6. Modelos de escolha de localização

O modelo de escolha de localização é um caso especial dos modelos de escolha discreta apresentados na subsecção 4.4.5., em que o conjunto de opções corresponde a um conjunto de locais que os agentes podem escolher. Pode ser feita uma amostragem de um conjunto de locais para cada agente, em que cada local tem um determinado custo de vida e uma dada capacidade de acolhimento, função dos residentes instalados, das mudanças de localização do ciclo e da reserva de capacidade de construção da zona (Waddell et al., 2011).

4.5. Linguagem base – *Python*

O *Python* é uma linguagem de programação desenvolvida por Guido van Rossum, no final de 1989, mas lançada apenas em 1991, tendo sido adotada, por exemplo, pela *ESRI*, como linguagem de programação do *ArcGIS* (University of Michigan, 1997).

De acordo com Rossum (2005) e Waddell, Miller, Sevcikova, Nagel, & Socha (2005), na escolha da linguagem de programação para a implementação do *OPUS*, foram consideradas várias opções como: *C/C++*, *C#*, *Perl*, *Python*, *R* e *Ruby*. Optou-se pelo *Python* por ser uma linguagem madura orientada para objetos, com boa gestão do uso da memória, limpando a mesma quando o objeto já não é necessário, entre outros fatores também apontados.

¹⁸ Ou seja, a propriedade IAI implica que as opções em avaliação sejam independentes umas das outras, o que muitas vezes não acontece. Por exemplo, no caso da escolha do modo de transporte, a escolha de duas alternativas de transporte público está correlacionada. O mesmo não acontece com a escolha entre o transporte individual e um modo de transporte público.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

Segundo os autores, o *Python* é uma linguagem “limpa” e concisa que resulta em programas que geralmente têm um quinto da extensão, comparando com outras aplicações como o *Java*. Adicionalmente, o *Python* tem um extenso conjunto de bibliotecas *open source*. Muitas destas bibliotecas estão codificadas em *C/C++*, sendo muito eficientes.

Segundo Waddell & Borning (2008), as principais bibliotecas *Python* utilizadas pelo *OPUS* são:

- *NumPy*: é uma biblioteca numérica *open source* que contém uma grande variedade de funções de matriz úteis e rápidas, que são usadas em todo o *OPUS* e que permitem um alto desempenho para grandes conjuntos de dados. A sintaxe para *NumPy* é bastante semelhante à de outras linguagens de processamento de matrizes em ‘pacotes’ utilizadas em estatística como nas aplicações *R*, *Gauss*, *Matlab*, *Scilab* e *Octave*, e fornece uma interface simples para essa funcionalidade do *Python*.
- *SciPy*: é uma biblioteca científica que se baseia em *NumPy* e adiciona muitos tipos de ferramentas estatísticas e computacionais, tais como a otimização não-linear que é usada para estimar os parâmetros para modelos estimados com o método da máxima verossimilhança.
- *Matplotlib*: um pacote de traçado bidimensional que também usa *Numpy*. É usado no *OPUS* para fornecer gráficos e capacidade de mapeamento de imagens simples.
- *SQLAlchemy*: proporciona uma interface geral a partir do *Python* para uma grande variedade de sistemas de gestão de bases de dados *DBMS*¹⁹, tais como *MySQL*, *Postgres*, *MS SQL Server*, *SQLite* e outros. Isto permite ao *OPUS* mover dados entre os ambientes de bases de dados e o *OPUS*, que os armazena internamente no formato *Numpy*.
- *PyQt4*: uma interface *Python* para a biblioteca *Qt4* para o desenvolvimento da *GUI* (*Graphical User Interface*). Foi usada para criar a nova *GUI* do *OPUS/UrbanSim*.

4.6. Linguagem de descrição do *OPUS* – XML

O *XML* é uma linguagem de marcação (chamada *markup*) que usa etiquetas (*tags*) para rotular, classificar e organizar informação de uma determinada forma. As marcações descrevem a estrutura e organização do documento ou dos dados. Os conteúdos, como o texto, imagens e dados, são a parte do código que as marcações contêm; é ainda o que é de maior interesse para quem lê ou interage com os dados ou documentos. O *XML* não é limitado a um conjunto de marcações – cada pessoa cria as suas próprias marcações, conforme as necessidades dos seus

¹⁹ *DBMS* – *Data Base Management System*. É um *software* responsável pela gestão de bases de dados, permite criar, editar e atualizar dados (PennState, 2013).

dados e documentos. A flexibilidade do *XML* levou ao seu uso generalizado para trocas de dados numa infinidade de formas (Dykes & Tittel, 2005).

Um documento *XML* é uma hierarquia de objetos, ou seja, um elemento pode conter outros elementos. Pode-se pensar na organização lógica do *XML* como uma árvore genealógica, com um elemento base com vários ‘filhos’ e esses ‘filhos’ contendo, por sua vez, os seus próprios ‘filhos’. Por exemplo, na Figura 4.8, o elemento base é “ListaProdutos”, cujos ‘filhos’ são os elementos “Produto”. O ‘filho’ “Produto” contém outros ‘filhos’, sendo eles: “nome”, “descrição”, “preço” e “lote”. Os elementos “Produtos” são considerados ‘irmãos’ uns dos outros (Myer, 2005).

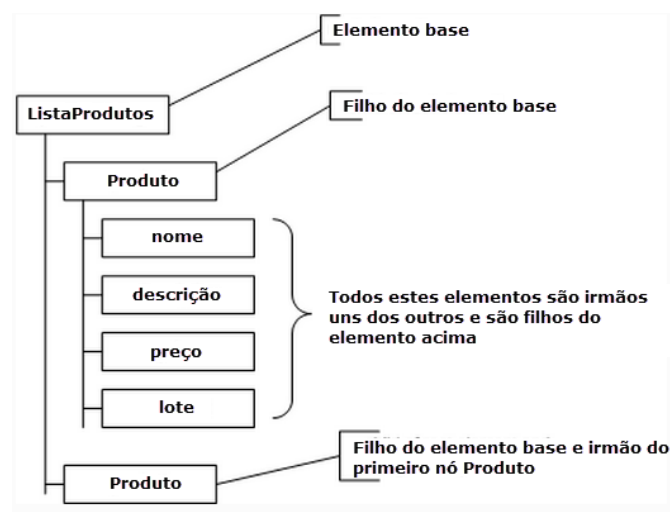


Figura 4.8 – Estrutura lógica de um documento *XML*.

Adaptado de: Myer (2005)

Apresenta-se um exemplo da aplicação do *XML* à descrição de um modelo de envelhecimento da população do projeto Eugene-Springfield.

```
<|model name="aging_model" type="model">
  <structure type="dictionary">
    <import name="import" type="dictionary">
      <class_module type="string">opus_core.simple_model</class_module>
      <class_name type="string">SimpleModel</class_name>
    </import>
    <init type="dictionary">
      <name name="name" type="string">SimpleModel</name>
    </init>
    <run type="dictionary">
      <argument name="dataset" type="string">person</argument>
      <argument name="expression" parser_action="quote_string" type="string">person.age+1</argument>
      <argument convert_blank_to_none="True" name="outcome_attribute" parser_action="quote_string" type="string">age</argument>
      <argument name="dataset_pool" type="string">dataset_pool</argument>
    </run>
  </structure>
</specification type="dictionary"/>
</model>
```

Figura 4.9 – Exemplo de aplicação do *XML* à descrição de um modelo de envelhecimento da população.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

4.7. Programas que podem ser ligados ao OPUS

O *OPUS* pode ser ligado, como referido anteriormente, a modelos de transportes, de forma a efetuar uma simulação integrada dos usos do solo e dos transportes. Até ao momento foram criadas interfaces entre o *OPUS* e quatro dos modelos de transportes existentes no mercado, indicados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Modelos de transportes aos quais o *OPUS* foi ligado.

Modelo de transportes	Web site oficial
<i>Emme</i>	http://www.inro.ca/en/products/emme/ (INRO, 2013)
<i>TransCAD</i>	http://www.caliper.com/tcovu.htm (Caliper, 2013)
<i>Visum</i>	http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/ (PTV Group, 2013)
<i>MATSim</i>	http://www.matsim.org/ (Technische Universität Berlin, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, & Senozon, 2013)

Adaptado de: Waddell (2011a)

A Tabela 4.2 indica as ferramentas de gestão de dados e de sistemas de informação geográfica que foram ligadas ao *OPUS*.

Tabela 4.2 – Ferramentas de gestão de dados e de SIG²⁰ às quais o *OPUS* foi ligado.

Gestão de dados e SIG	Web site oficial
<i>MySQL</i>	http://www.mysql.com/ (Oracle Corporation, 2013)
<i>Postgres</i>	http://www.postgresql.org/ (PostgreSQL Global Development Group, 2013)
<i>PostGIS</i>	http://postgis.net/ (PostGIS Project Steering Committee, 2013)
<i>ArcGIS</i>	http://www.arcgis.com/ (ESRI, 2013)
<i>QGIS</i> ²¹	http://www.qgis.org/ (Open Source Geospatial Foundation, 2013b)
<i>GDAL</i> ²²	www.gdal.org (Open Source Geospatial Foundation, 2013a)

Adaptado de: Waddell (2011a)

²⁰ Sistemas de Informação Geográfica

²¹ *Quantum GIS*

²² *Geospatial Data Abstraction Library*

Capítulo IV – Plataforma de simulação urbana – *OPUS*

O *OPUS* foi ligado ainda, conforme se verifica na Tabela 4.3, a algumas bibliotecas estatísticas e numéricas.

Tabela 4.3 – Bibliotecas estatísticas e numéricas às quais o *OPUS* foi ligado.

Bibliotecas estatísticas e numéricas	Web site oficial
<i>Biogeme</i>	http://biogeme.epfl.ch/ (École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2013)
<i>R</i>	http://www.r-project.org/ (R Development Core Team, 2013)
<i>NumPy</i>	http://www.numpy.org/ (NumPy Developers, 2013)
<i>SciPy</i>	http://www.scipy.org/index.html (EnThought, 2013)
<i>BLAS</i> ²³	http://www.netlib.org/blas/ (National Science Foundation, 2013a)
<i>Lapack</i> ²⁴	http://www.netlib.org/lapack/ (National Science Foundation, 2013b)

Adaptado de: Waddell (2011a)

4.8. Pontos fortes e pontos fracos do *OPUS*

Segundo Waddell (2011a), tal como o *UrbanSim*, também o *OPUS* apresenta um conjunto de pontos fortes, bem como pontos fracos, descritos de seguida.

4.8.1. Pontos Fortes

- Interface gráfica do utilizador bem desenvolvida, em colaboração próxima com os utilizadores;
- Flexibilidade:
 - Geografia: zonas (de qualquer tamanho), *gridcells* (de qualquer tamanho) ou lotes;
 - Modelos: podem ser criados a partir dos *templates* para modelos de regressão, modelos de escolha e outros;
 - Modelos de transportes: interface com vários modelos dos 4 passos e modelos de procura baseados em atividades e de atribuição de tráfego dinâmicos;
 - Suporta modelos e extensões feitas pelos utilizadores;
- Linguagem por expressões para simplificar a adição de variáveis e indicadores;
- Ferramentas integradas para efetuar estimativas e calibrar o modelo;

²³ *Basic Linear Algebra Subprograms*

²⁴ *Linear Algebra Package*

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

- Análise e visualização espaciais integradas e novas ferramentas para visualização 3D;
- Ferramentas para a geração de cenários a partir de bases de dados, carregamento de dados e inclusão de dados;
- Elevado desempenho computacional;
- O *software* e a documentação são *open source* e o *download* é gratuito;
- Todo o sistema e a comunidade *web* estão abertos à participação e a contribuições (com desenvolvimento de código, documentação, tutoriais, casos de estudo, etc.).

4.8.2. Pontos Fracos

- A interface gráfica do utilizador ainda apresenta detalhes excessivos para os utilizadores inexperientes, o que pode ser confuso;
- É necessária uma certa ‘curva de aprendizagem’ para um utilizador se tornar capaz de criar variáveis e indicadores utilizando a sintaxe da linguagem por expressões do *OPUS* (por exemplo, para criar um indicador populacional por zonas: `zone.aggregate(households.persons)`);
- São necessárias mensagens de erro mais claras para que a resolução dos erros seja mais *user-friendly*;
- As ferramentas para entrada e síntese de dados têm que ser integradas de forma mais eficiente;
- As ferramentas para calibração do sistema de modelos devem ser integradas de forma mais eficiente;
- A visualização 3D ainda não está integrada na interface gráfica do utilizador do *OPUS*;
- Os indicadores internos são limitados, o enquadramento da interface gráfica do utilizador para a criação de relatórios de indicadores é limitada;
- Não é fácil criar novos cenários na interface gráfica do utilizador do *OPUS*.

Tal como referido relativamente aos pontos fortes e fracos do *UrbanSim*, também se pretende verificar, com a presente dissertação, os pontos fortes e fracos do *OPUS*. Nesta perspetiva, nas conclusões da dissertação dar-se-á testemunho e serão reforçados os pontos fortes e fracos agora apresentados.

4.9. *Súmula do capítulo*

O quarto capítulo da dissertação inicia-se com uma introdução ao *OPUS*, fazendo-se uma apresentação sumária da organização da sua interface gráfica do utilizador, isto é, dos cinco separadores onde se pode trabalhar no *OPUS*: “Geral”, “Dados”, “Modelos”, “Cenários” e “Resultados”.

De seguida apresentam-se os indicadores que podem ser obtidos com a utilização deste *software* e faz-se uma descrição detalhada dos *templates* existentes para a criação dos seis tipos iniciais de modelos previstos no *UrbanSim*. Faz-se ainda uma breve abordagem à linguagem de programação *Python*, por ser aquela que serve de base ao *OPUS*. Refere-se também a linguagem de marcação *XML* e o seu uso no âmbito do *OPUS*.

Para finalizar o capítulo identificam-se os pontos fortes e fracos do *OPUS*.

Capítulo V. - Análise de um exemplo

5.1. Introdução

No presente capítulo analisa-se a primeira aplicação completa implementada do *UrbanSim*, na área metropolitana de Eugene-Springfield, no estado de Oregon, baseada na análise efetuada pelo próprio Paul Waddell, publicada no Jornal da Associação de Planeamento Americano (Waddell, 2002). Esta aplicação integrou-se no projeto *TLUMIP*²⁵, suportado por fundos do Departamento de Transportes de Oregon.

A escolha desta área de teste deveu-se a várias razões como o tamanho reduzido da área metropolitana e a disponibilidade dos dados necessários para a aplicação, fornecidos pelo *LCOG*²⁶, a *MPO* da referida área metropolitana.

A área metropolitana de Eugene-Springfield situa-se nos Estados Unidos da América, no estado de Oregon, condado de Lane, no extremo sul da região Willamette Valley, fértil para a agricultura e que contém a maior parte da atividade económica do Estado, incluindo as áreas metropolitanas de Portland e Salem. Esta área metropolitana é relativamente pequena, com uma população, de acordo com os censos realizados junto da população, no ano de 2000, de 322.969 habitantes no condado de Lane, dos quais 137.893 residentes na cidade de Eugene e 52.864 residentes em Springfield.

Na Figura 5.1 apresenta-se a localização da área metropolitana de Eugene-Springfield e, conseqüentemente, do condado Lane.

²⁵ *Transport and Land Use Model Integration Program* – programa de integração dos modelos de transporte e usos do solo

²⁶ *Lane Council of Governments* – assembleia dos municípios da região de Lane

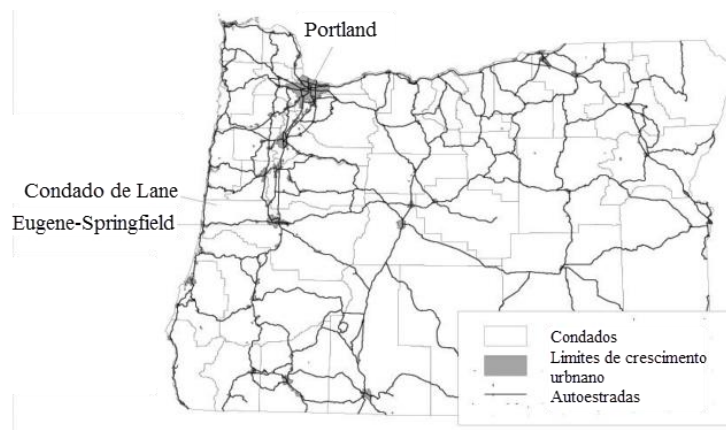


Figura 5.1 – Localização da área metropolitana de Eugene-Springfield.

Adaptado de: Waddell (2002)

5.2. Organização dos dados

Ainda segundo Waddell (2002) foi escolhido como ano base de simulação da aplicação Eugene-Springfield o ano de 1994, por existirem dados consistentes relativos aos inquéritos de emprego e agregados familiares, com informação desagregada por lotes.

Os dados da população derivam de um inquérito à mobilidade com entrevistas ao domicílio de 1994 e dos censos de 1990, e foram ajustados ao ano base 1994 utilizando uma distribuição do parque habitacional desse ano.

A área de estudo corresponde à extensão das 271 zonas de análise de tráfego representadas no sistema do modelo de transportes do *LCOG*, e foi subdividida em aproximadamente 15.000 *gridcells*, de 150 por 150 metros, utilizadas como unidade de análise espacial nos modelos de localização residencial, localização de emprego, desenvolvimento imobiliário e preço do solo.

Os resultados são elencados através das zonas de análise de tráfego de entrada para o modelo de transportes. A classificação dos agregados familiares para utilização no modelo é baseada na estratificação de cinco características dos agregados familiares, conforme se apresenta na Tabela 5.1.

Capítulo V – Análise de um exemplo

Tabela 5.1 – Classificação das características dos agregados familiares.

Rendimento	Idade do representante do agregado familiar	Indivíduos	Trabalhadores	Crianças
Menos de \$5.000	15 a 24	1	0	0
\$5.000 a \$9.999	25 a 34	2	1	1 ou mais
\$10.000 a \$14.999	35 a 44	3	2 ou mais	
\$15.000 a \$24.999	45 a 54	4		
\$25.000 a \$34.999	55 a 64	5 ou mais		
\$35.000 a \$49.999	65 a 74			
\$50.000 a \$74.999	75 ou mais			
\$75.000 a \$99.999				
\$100.000 ou mais				

Adaptado de: Waddell (2002)

O emprego foi classificado utilizando os códigos de classificação industrial padrão de 2 dígitos, agrupados em setores que são normalmente consistentes com os utilizados no modelo de transportes do *LCOG*, conforme se apresenta na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Classificação do setor do emprego.

Códigos de classificação industrial padrão	Descrição do setor
99 – 999	Agricultura
2400 – 2499	Silvicultura
2500 – 2599, 3200 – 3999	Outros produtos duráveis
2000 – 2099	Produtos alimentares
2100 – 2399, 2600 – 3199	Outros produtos não duráveis
1500 – 1799	Construção
1000 – 1499	Indústria mineira
4000 – 4999	Transportes
5000 – 5199	Comércio indiscriminado
5200 – 5999	Comércio de retalho
6000 – 6999	Combate a incêndios
7000 – 8199	Serviços
8200 – 8299	Educação
9000 – 9999	Governo

Adaptado de: Waddell (2002)

5.3. Indicadores obtidos

Os resultados do processamento dos dados da aplicação Eugene-Springfield, por lotes, são apresentados nas figuras seguintes, em que na Figura 5.2 se representam as unidades residenciais agregadas por *gridcell* e na Figura 5.3 se representam as unidades não residenciais, também alocadas por *gridcell*.

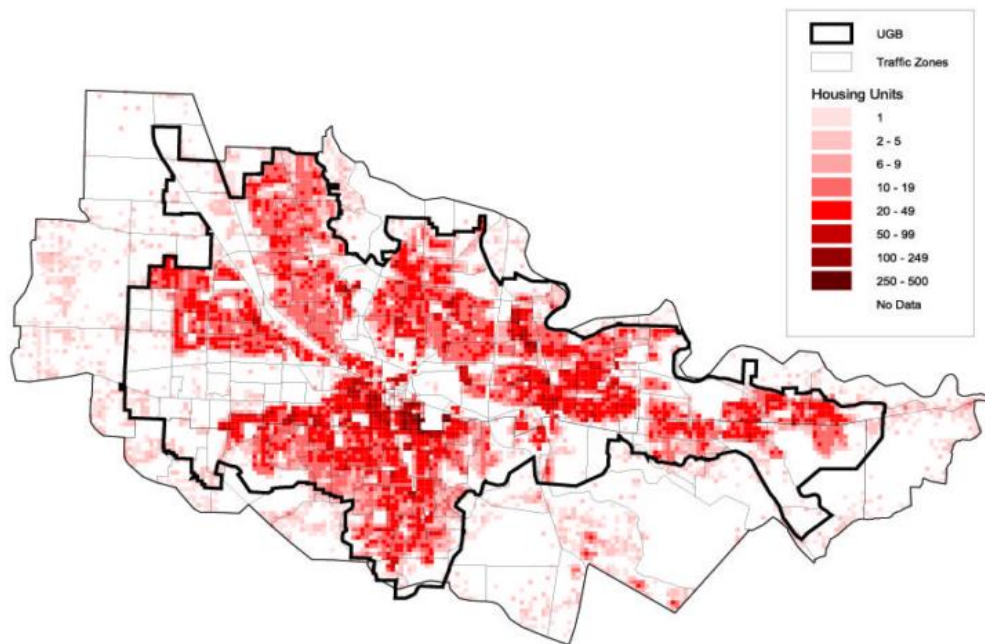


Figura 5.2 – Unidades de habitação, agregadas por *gridcell* em 1994.

Fonte: Waddell (2002)

Na Figura 5.2 a linha preta carregada representa o limite de crescimento urbano e quanto mais escuro for o tom de vermelho, maior a concentração de unidades de habitação da *gridcell*.

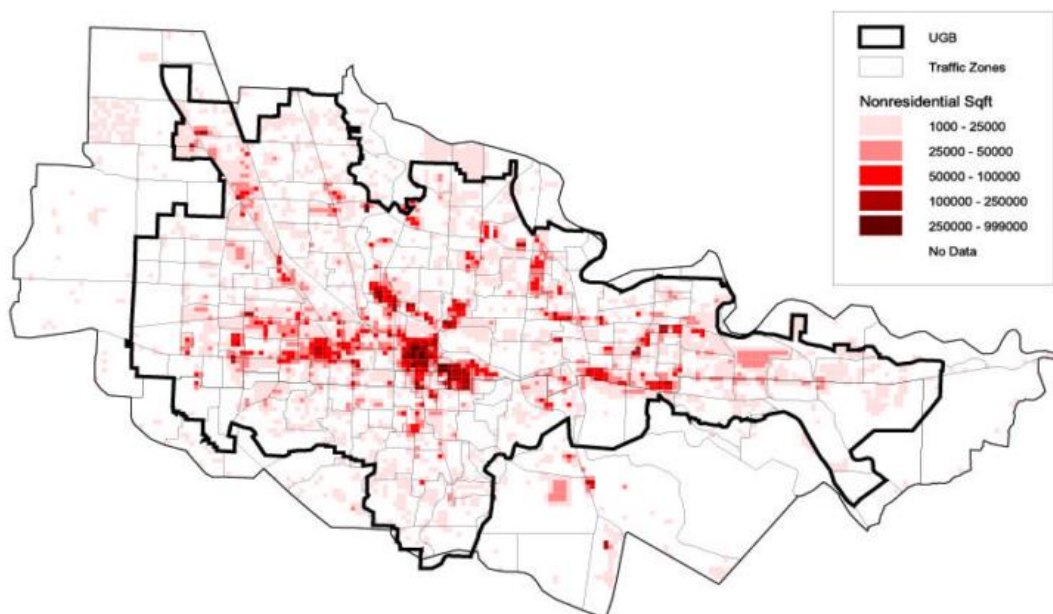


Figura 5.3 – Área não residencial, agregada por *gridcell*, em 1994.

Fonte: Waddell (2002)

Na Figura 5.3 a linha preta carregada tem o mesmo significado da Figura 5.2 e quanto mais escuro for o tom de vermelho da *gridcell*, maior é a área de usos não residenciais das células.

Capítulo V – Análise de um exemplo

5.4. Comparação dos indicadores simulados e dos indicadores reais

Após o desenvolvimento da base de dados e da estimativa dos parâmetros do modelo utilizando um *software* estatístico, o funcionamento do modelo no *UrbanSim* foi avaliado durante um certo período em Eugene-Springfield, no estado de Oregon.

Foi desenvolvida uma base de dados de 1980, e os dados da base de dados de 1994 que foi utilizada para calibrar o modelo, tornaram-se os ‘observados’ para comparação com os resultados simulados. O modelo foi executado em etapas anuais de 1980 a 1994 e então comparado com os dados observados de 1994. A Tabela 5.3 resume os coeficientes de correlação entre os dados de 1994 observados e simulados.

Tabela 5.3 – Coeficiente de correlação dos valores simulados e observados do modelo de Eugene-Springfield, para 1994.

	<i>Gridcell</i>	<i>Zona</i>	<i>Média da gridcell com as gridcells adjacentes</i>
Emprego	0,805	0,865	0,917
População	0,811	0,929	0,919
Área não residencial	0,799	0,916	0,927
Unidades habitacionais	0,828	0,927	0,918
Valor do solo	0,830	0,925	0,908

Adaptado de: Waddell (2002)

Os resultados de simulação foram comparados com os dados observados em três unidades geográficas. A unidade utilizada nos modelos é a *gridcell* de 150 metros, embora os resultados do modelo não sejam, regra geral, os desejados para este nível de detalhe. No entanto, os resultados da simulação do modelo estão bem correlacionados com os dados observados, ao fim de 15 anos de simulação. A agregação dos resultados às zonas de análise de tráfego (ZAT) utilizadas nos modelos de transporte deu origem a correlações ainda mais elevadas em todas as categorias (exceto uma) com um coeficiente de correlação acima dos 0,9 (como se pode verificar na segunda coluna da Tabela 5.3). Outra comparação espacial foi realizada através da análise combinada de uma *gridcell* com as oito *gridcells* adjacentes à mesma, que produzem correlações comparáveis com as obtidas através da análise detalhada ao nível da zona.

Uma referência mais rigorosa do que a comparação anterior dos valores simulados e dos observados para 1994 é a comparação das mudanças observadas entre 1980 e 1994 e das simuladas durante esse período. A Figura 5.4 ilustra essa comparação para os agregados familiares e o emprego, utilizando as 271 zonas de análise de tráfego como base para a comparação.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

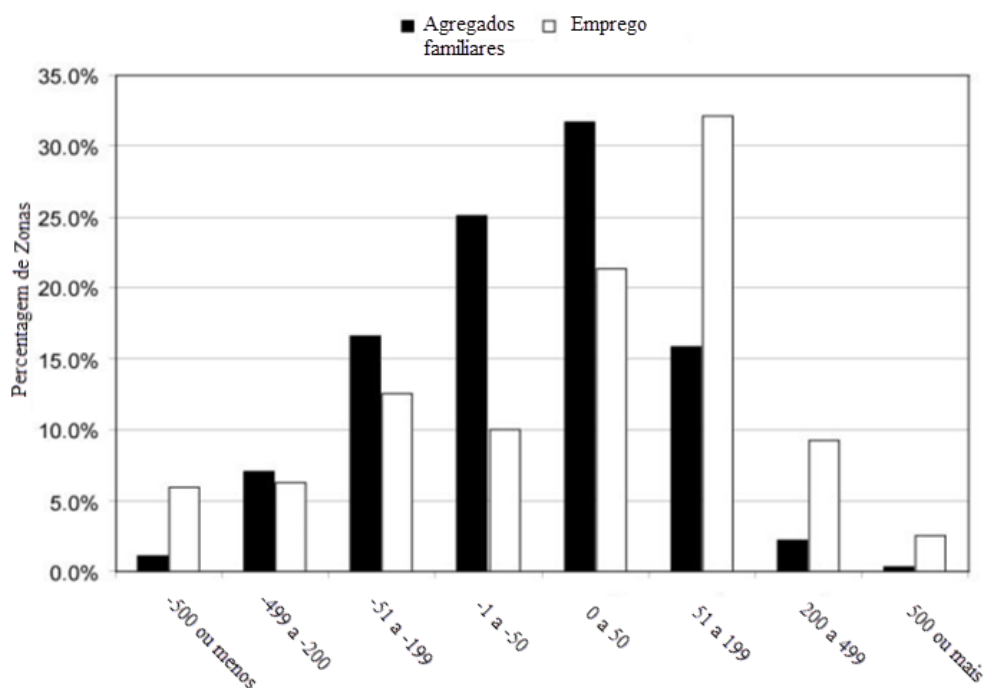


Figura 5.4 – Diferença entre as mudanças simuladas e observadas entre 1980 e 1994 por zona, para o projeto Eugene.

Adaptado de: Waddell (2002)

O gráfico demonstra a percentagem de zonas classificadas de acordo com o tamanho das diferenças entre o observado e o simulado para os agregados familiares e para o emprego entre 1980 e 1994. Por exemplo, a categoria “-500 ou menos” verifica-se nas zonas nas quais o modelo previu abaixo da realidade (mal) o número de mudanças nos agregados familiares ou empregos, ou seja, nestas zonas houve 500 ou mais mudanças. No entanto o número de zonas nessas condições é, globalmente, pequeno. Ainda na Figura 5.4, verifica-se que o modelo previu mudanças nos agregados familiares dentro de um intervalo de 50 famílias para aproximadamente 57% das zonas, e mudanças no emprego dentro de um intervalo de 50 postos de trabalho para aproximadamente 31% das zonas. Aumentando o intervalo para as mudanças dos agregados familiares para 200 famílias, então enquadram-se nesta categoria 89% das zonas, enquanto para os empregos, para um intervalo de 200 postos de trabalho, são 76% das zonas.

É de notar que este modelo não contém fatores de ajustamento, comuns na validação transversal dos modelos, para dados observados. Assim, estes resultados são obtidos a partir do comportamento subjacente ao modelo e não de um ajustamento para corrigir erros.

Muitos fatores condicionam a interpretação destes resultados. Primeiro, a área metropolitana de Eugene-Springfield é uma região relativamente pequena e o modelo simulou um período

Capítulo V – Análise de um exemplo

durante o qual a mudança foi moderada, com a população da área de estudo a crescer de 185.000 em 1980 para um pouco mais de 200.000 em 1994, enquanto o emprego cresceu de 75.000 para cerca de 100.000. Em segundo lugar, as políticas, como aquelas relacionadas com a definição dos limites de crescimento urbano, foram essencialmente aplicadas no início do período, e as mudanças no sistema de transportes foram relativamente menores, pelo que as alterações resultantes de intervenções políticas não foram significativas. Em terceiro lugar, as dificuldades de montar os dados do ano base para a implementação do modelo, que foram substanciais, mesmo com os dados atuais, foram ainda mais gravosas no processo de montagem do ano base 1980. Os mapas em arquivo dos lotes e os registos de emprego foram difíceis de trabalhar e, por último, não foi possível eliminar erros consideráveis nos dados históricos, diminuindo a capacidade do exercício de validação histórica sobre a qualidade com que o modelo foi executado.

O modelo não previu, nem foi projetado para tal, acontecimentos isolados que ocorreram na região durante este período. Um deles foi a redução significativa da instalação da empresa Weyerhouser, em Springfield, e outro foi a abertura do centro comercial Gateway. Este tipo de acontecimentos de grande escala não é simulado por qualquer tipo de modelo, o que relembra as limitações da modelação.

5.5. *Como analisar uma aplicação*

Na presente secção apresentam-se tutoriais explicativos de como analisar a referida aplicação de Eugene-Springfield, disponibilizada juntamente com o *OPUS*.

A principal vantagem da utilização do projeto Eugene-Springfield é o facto de, por ser pequeno, poder ser executado rapidamente, tornando-se numa ferramenta útil para testar a instalação do *OPUS* e do *UrbanSim*, e a execução de simulações. Atualmente o projeto Eugene-Springfield não tem sido atualizado, sendo as especificações e os coeficientes os obtidos na calibração inicial do modelo, utilizando o ano base de 1994. Por esta razão os resultados não são fiáveis, e este projeto deve ser usado apenas para demonstração e exploração das aplicações baseadas em quadrículas (Waddell, 2013a).

Nos referidos pequenos tutoriais explica-se como se visualizam os dados da aplicação a Eugene-Springfield, como se geram indicadores, como se estimam parâmetros e se analisam os resultados e, finalmente, como se cria um modelo a partir dos *templates* indicados na subsecção 4.4.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

5.5.1. Visualização de dados

Apresenta-se um exemplo de visualização dos dados no *OPUS*:

- 1º Passo – Abrir o projeto *Eugene gridcell*.
- 2º Passo – Ir ao separador *Data* e, com o botão direito do rato, clicar em *building_types* e, seguidamente, com o botão esquerdo seleccionar a opção *view dataset*.

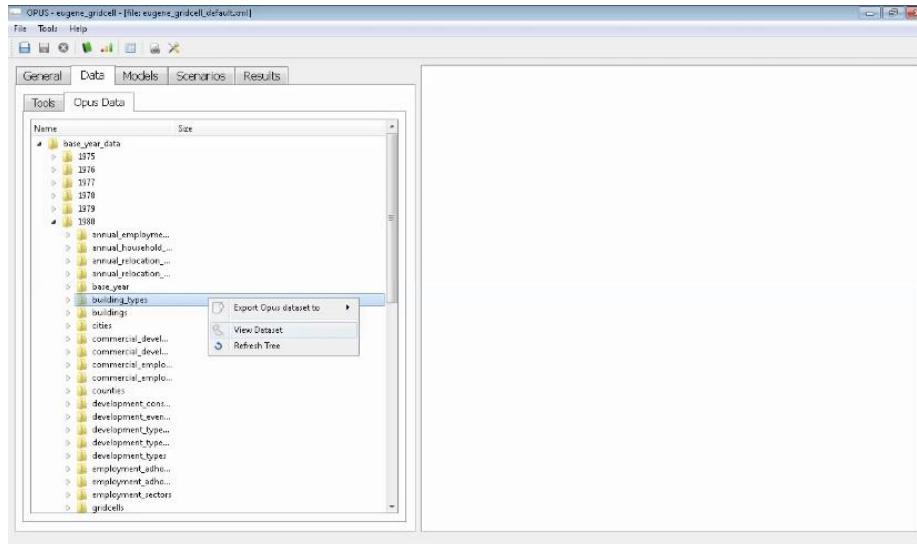


Figura 5.5 – View dataset.

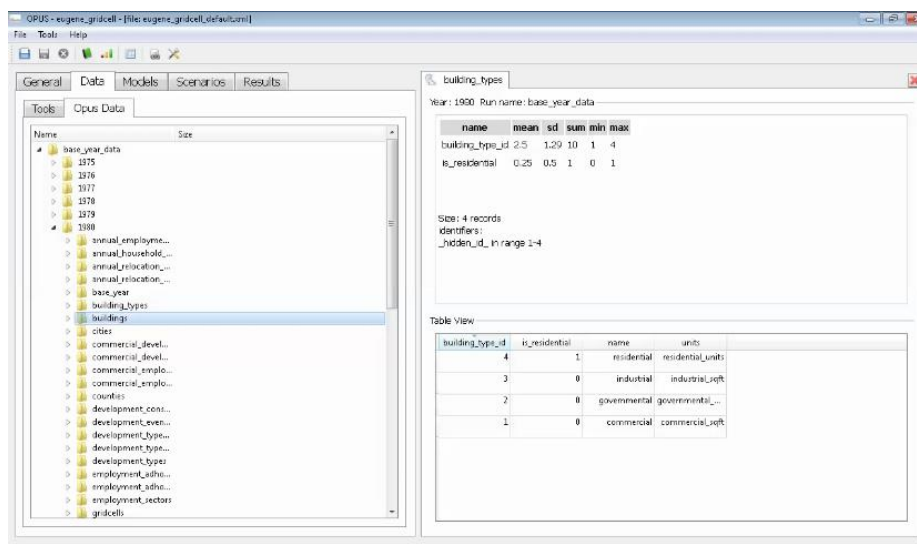


Figura 5.6 – Visualização de dados.

5.5.2. Geração de indicadores

Ilustra-se um exemplo de como gerar um indicador (neste caso, o número de empregos), apresentando-o num mapa, com variações de cores conforme a “intensidade” do indicador na área.

- 1º Passo – Clicando com o botão direito sobre *zone_indicator_batch* selecionar a opção *base_year_data*.

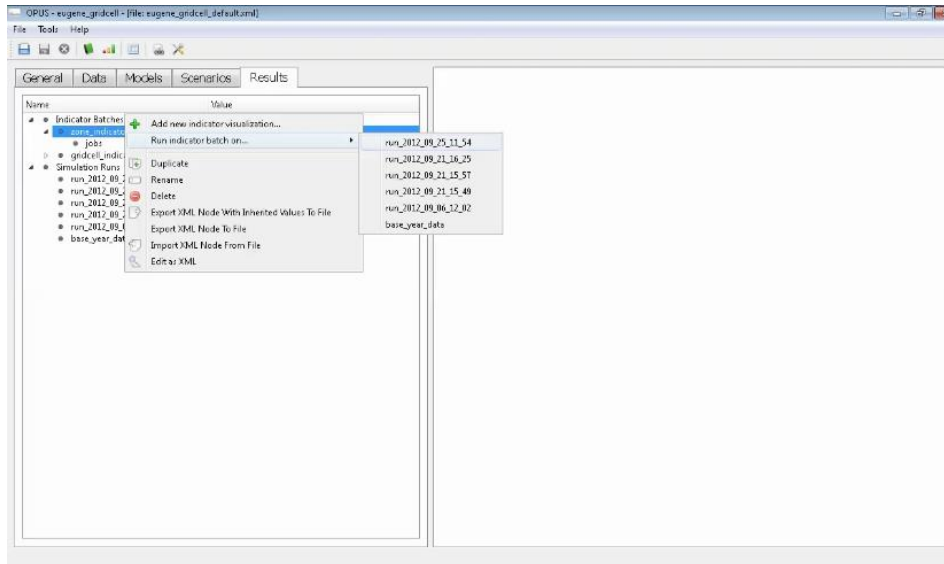


Figura 5.7 – Base year data.

- 2º Passo – No quadro que aparece, selecionar o intervalo de anos que se pretende executar;



Figura 5.8 – Run indicator batch.

- 3º Passo – Aparece um mapa com os dados do indicador, neste caso o número de empregos, em que, quanto mais carregado o tom de verde, maior é a concentração de emprego na área. Se o intervalo de anos simulado for constituído por dois ou mais anos, aparecem tantos mapas quanto o número de anos analisados.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

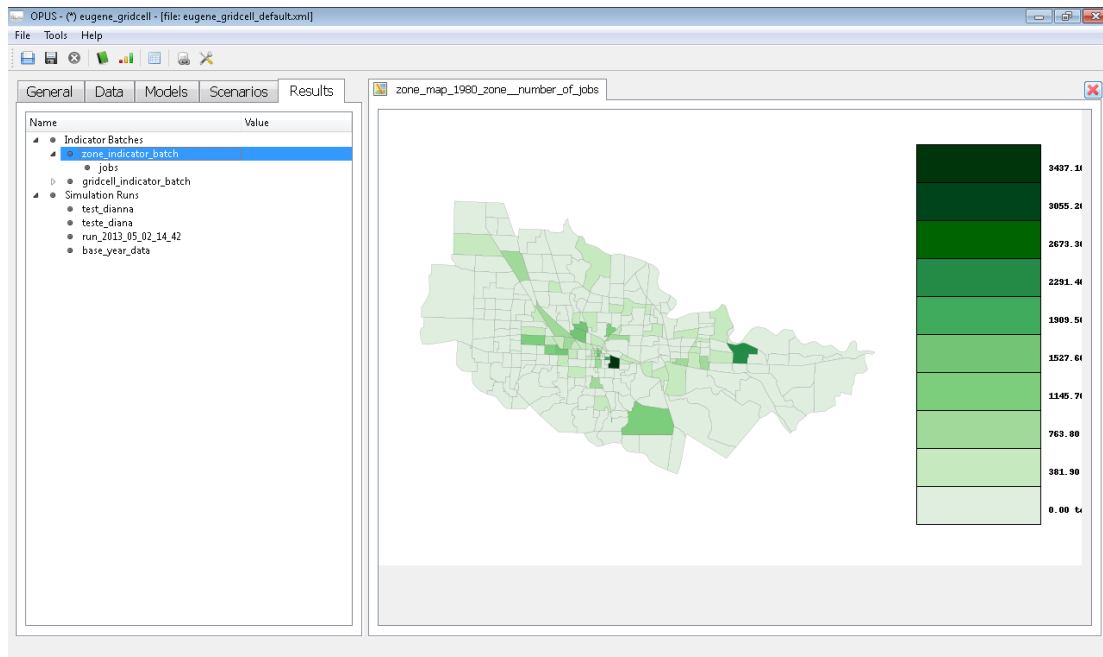


Figura 5.9 – Visualização em mapa.

- 4º Passo – A visualização pode ser configurada para, em vez de mapas, os resultados aparecerem em tabelas. Para tal, com o rato em cima de *jobs*, carrega-se com o botão direito e, de seguida, seleciona-se a opção *Configure visualization*. Podem ainda ser escolhidas outras cores

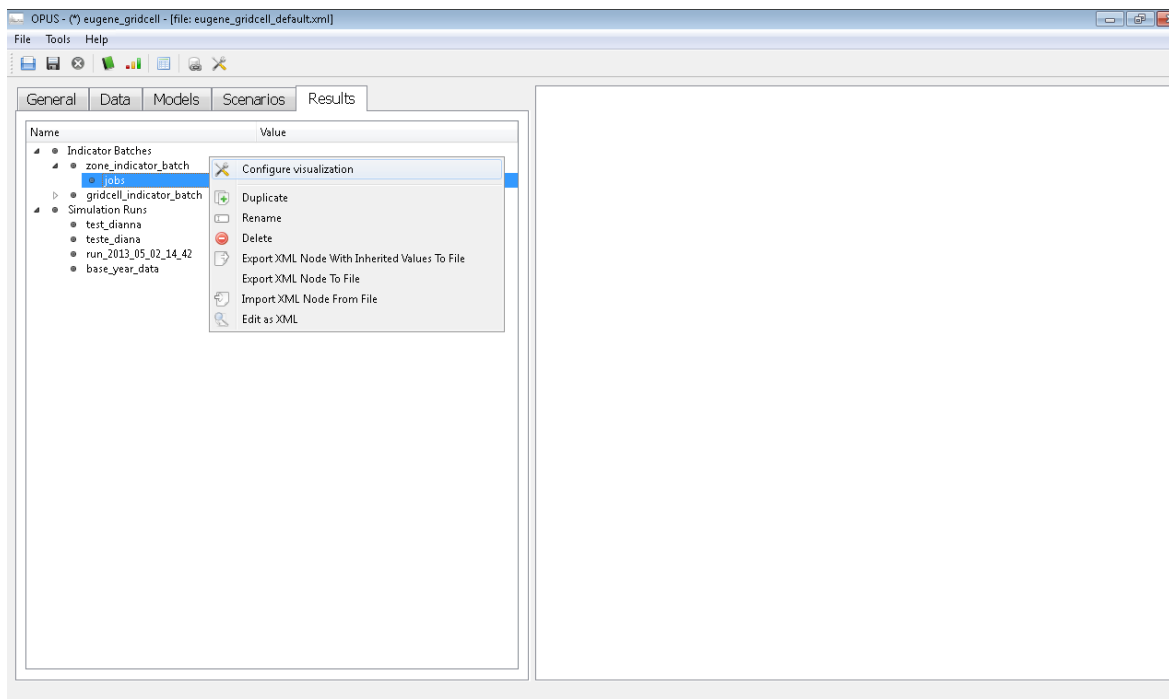


Figura 5.10 – Configuração da visualização.

Capítulo V – Análise de um exemplo

- 5º Passo – Na caixa de diálogo que aparece, altera-se o campo *Type* para *Table*. Para validar a alteração carrega-se *OK*.

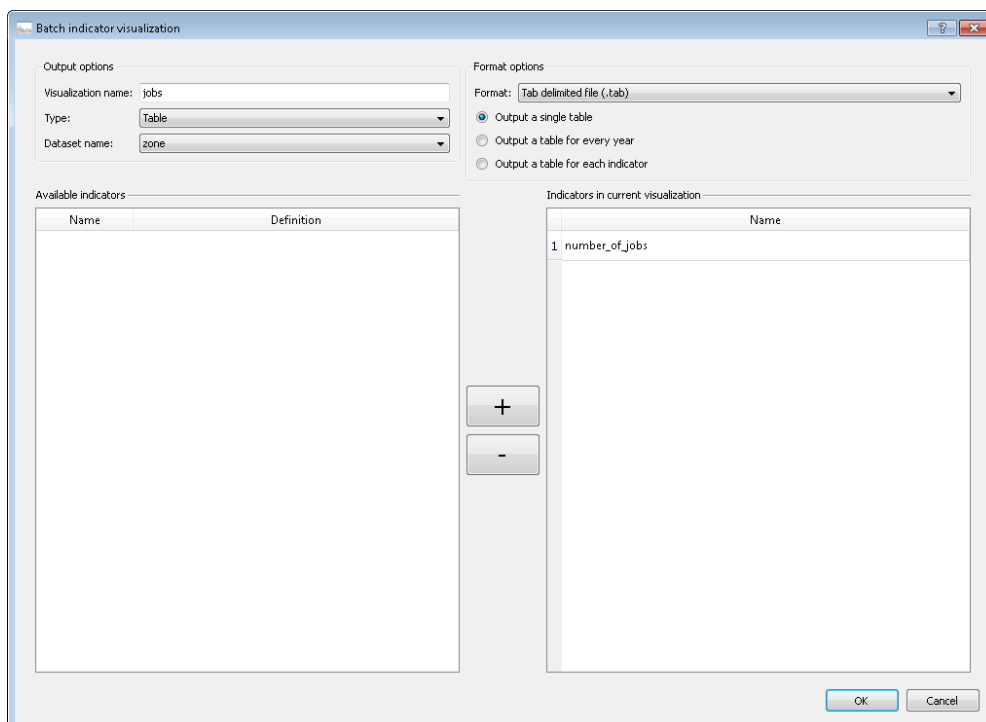


Figura 5.11 – Visualização em tabela.

- 6º Passo – Clicando com o botão direito sobre *zone_indicator_batch* selecionar a opção *base_year_data* e, na caixa de diálogo que aparece, seleciona-se o intervalo de anos que se pretende executar, conforme indicado nos 1º e 2º Passos.

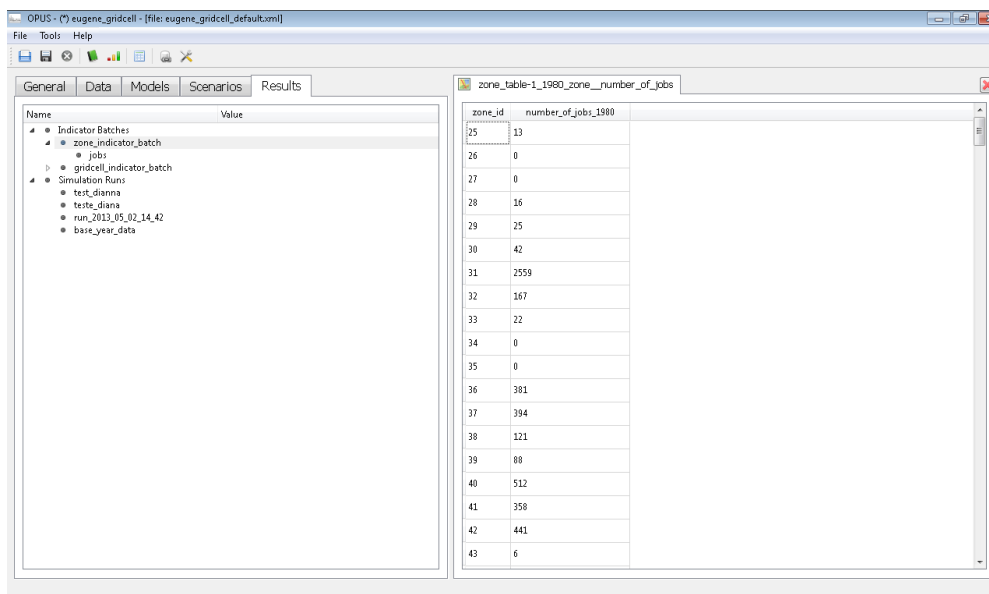


Figura 5.12 – Visualização em tabela.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

5.5.3. Estimativa de parâmetros

Apresenta-se um exemplo de estimação de um parâmetro do modelo (neste caso, o custo do solo):

- 1º Passo – Carregando com o botão direito do rato em *land_price_model*, selecionar a opção *Run Estimation*.

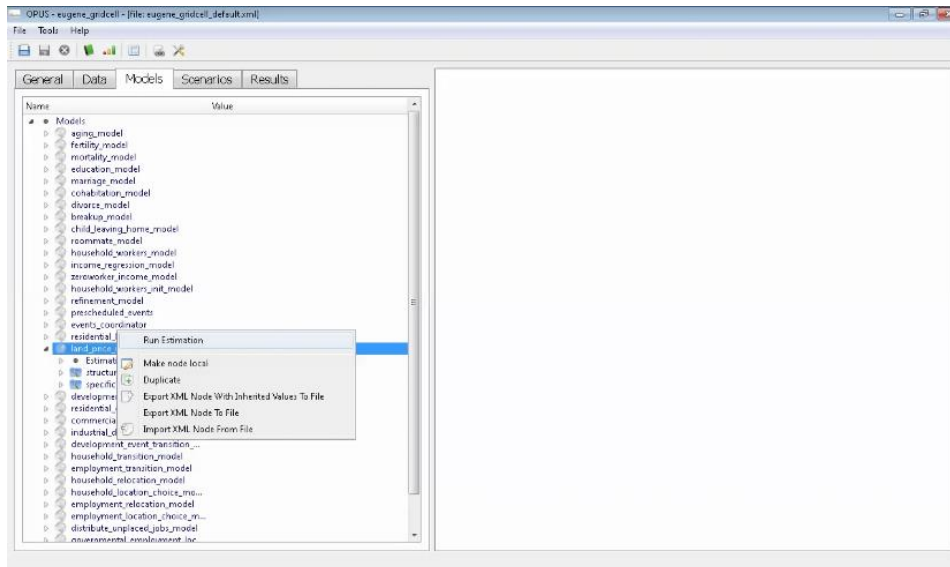


Figura 5.13 – *Run Estimation*.

- 2º Passo – Selecionar *Start Estimation* e aguardar que a barra fique completa (a 100%) e visualizar os dados.

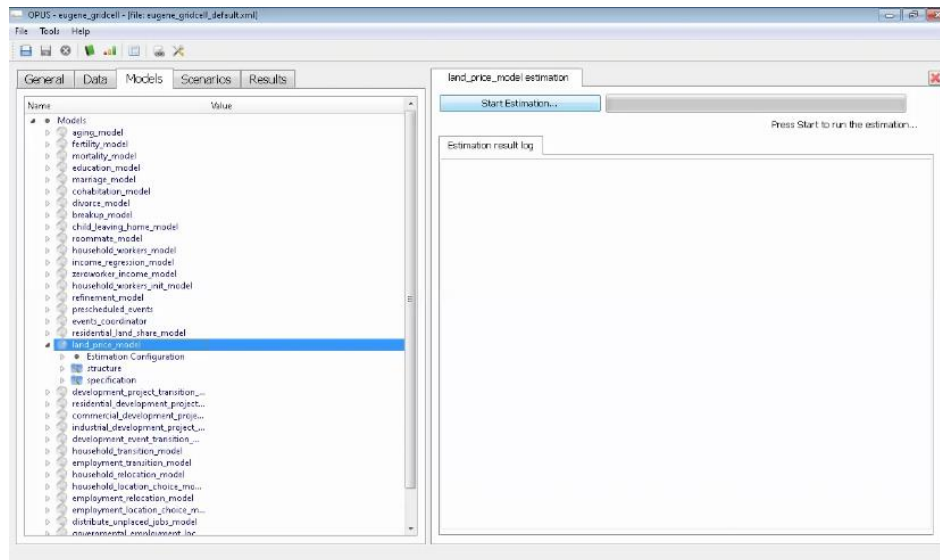


Figura 5.14 – *Start Estimation*.

Capítulo V – Análise de um exemplo

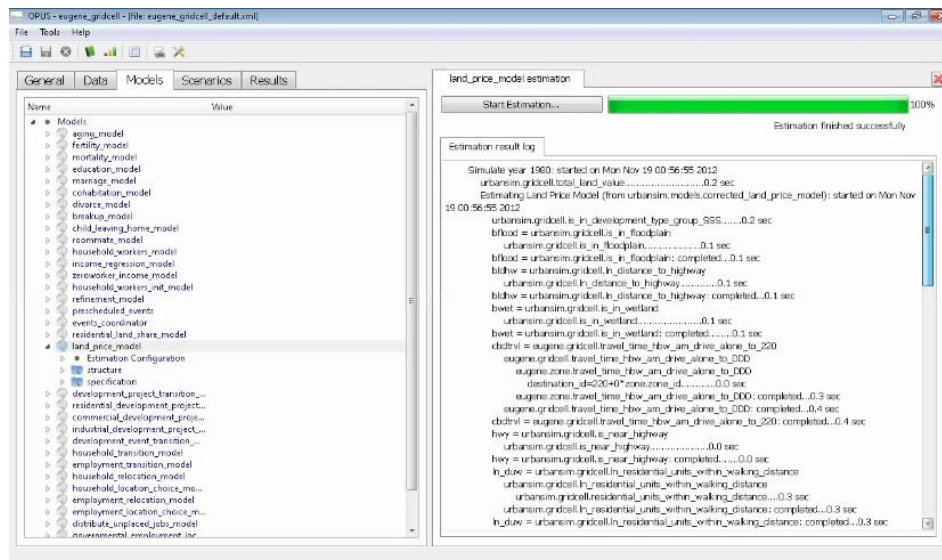


Figura 5.15 – Visualização de resultados.

Number of observations: 14774
 R-Squared: 0.762715908063
 Adjusted R-Squared: 0.762555179151
 Suggested |t-value| > 3.09848739841

Coeff_names	estimate	SE	t-values
constant	9.90233	0.0731136	135.438
biflood	-0.207851	0.0356339	-5.83296
bldhw	-0.0404964	0.00909373	-4.45322
bwet	0.317927	0.0577339	5.50676
cbdtv1	-0.0777634	0.00275424	-28.2341
hwy	-0.424565	0.0573499	-7.40307
ln_duw	0.160468	0.00643664	24.9303
ln_impval	0.0925006	0.0018781	49.2523
lru	0.174053	0.00902141	19.2933
pctdevwal	0.0117438	0.000473265	24.8144
pcthiwa	0.00261066	0.000459125	5.68615

Figura 5.16 – Pormenor dos resultados obtidos.

Na Figura 5.16 apresentam-se os resultados estatísticos do modelo de preço do solo, obtidos através de 14.774 observações. Analisando estes resultados, obtêm-se informações acerca da direção da relação entre as variáveis e o resultado modelado, do poder explicativo do modelo do preço do solo, da fiabilidade e da importância relativa de cada uma das variáveis (UrbanSim, 2013).

O sinal (positivo ou negativo) de cada um dos coeficientes indica a direção da relação entre a variável e os resultados modelados. O valor dos coeficientes não é de fácil interpretação, porque não partilham a mesma escala nem a mesma distribuição (UrbanSim, 2013).

O valor da estatística t ou teste t de Student indica a fiabilidade do modelo. Este valor ajuda a perceber que variáveis estão genuinamente relacionadas com os resultados modelados. Quanto

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

maior o valor absoluto obtido, melhor é o modelo. No entanto, uma estatística *t de Student* com um valor absoluto menor que 1,96 é habitualmente considerada estatisticamente não significativa e a maioria dos modeladores não utilizam as variáveis nessas circunstâncias (ver coluna direita na Figura 5.16), a menos que haja alguma razão importante para tal (Social Research Methods, 2013; Waddell, 2010c).

A importância relativa de cada uma das variáveis (ou seja, a relevância de cada uma delas para o resultado final modelado) é dada pelo valor absoluto do coeficiente normalizado (nos modelos de regressão). Os valores maiores do referido coeficiente implicam que a variável contribui mais para o resultado modelado e a explicação da variável independente, comparativamente com as variáveis que apresentam valores menores (UrbanSim, 2013).

O valor de R^2 , coeficiente de determinação, indica o poder explicativo do modelo, isto é, dá indicações sobre a qualidade de ajuste do modelo. Este valor pode variar entre 0 e 1, sendo que, quanto mais se aproxima da unidade mais explicativo é o modelo, ou seja, a linha de regressão ajusta-se de melhor forma à amostra (Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 2013; SAP Help Portal, 2013).

O coeficiente de determinação ajustado, ao contrário do R^2 , considera o número de variáveis independentes incluídas na equação de regressão e o tamanho da amostra. Apesar de a adição de variáveis independentes fazer com que o valor de R^2 aumente, o coeficiente de determinação ajustado apenas aumenta se as variáveis independentes acrescentadas tiverem poder explicativo. Quando o valor de R^2 ajustado é significativamente inferior ao valor de R^2 significa que podem estar em falta algumas variáveis explicativas. O valor de R^2 ajustado tem utilidade, principalmente, na comparação de regressões com números de variáveis independentes e tamanhos de amostras diferentes (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1998; SAP Help Portal, 2013; UrbanSim, 2013). Como se pode verificar, neste caso o R^2 ajustado=0,762555179151 e o R^2 =0,762715908063, pelo que não se pode considerar a referida diferença significativa.

5.5.4. Criação de um modelo a partir do *template*

Na presente subsecção apresenta-se um exemplo de como criar um modelo a partir dos *templates* disponíveis no *OPUS* (adaptação de Waddell, 2010b).

No caso, trata-se de um modelo de regressão para prever a densidade populacional, utilizando a população por *gridcell* como variável dependente e um atributo que pode ser obtido a partir das *gridcells*, como variáveis independentes.

Capítulo V – Análise de um exemplo

- 1º Passo – No separador *Models*, carrega-se com o botão direito do rato em cima de *Models* e seleciona-se a opção *Create model from template* e, de seguida, *regression_model*.

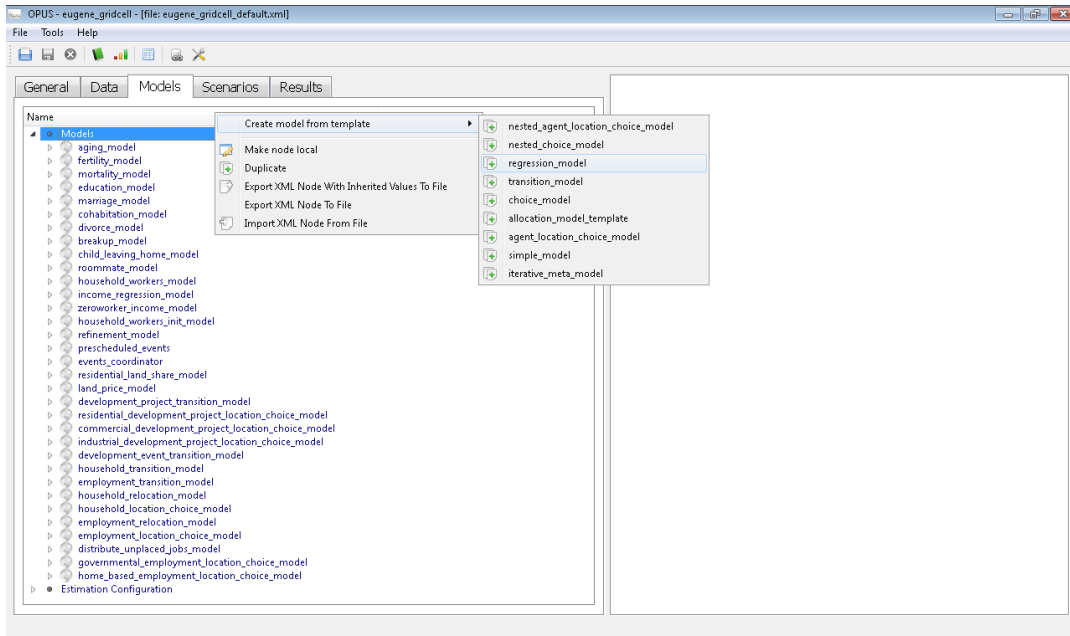


Figura 5.17 – Criação de um modelo de regressão.

- 2º Passo – Na caixa de diálogo que aparece, preenche-se o campo *Model name* coloca-se o nome a atribuir ao novo modelo: *modelo_densidade_populacional*.

O campo *Dataset* é preenchido com *gridcell* e o campo *Dependent Variable* com *gridcell: gridcell.population_density*. Valida-se o preenchimento selecionando *OK*. O modelo é, então, adicionado à lista de modelos (ver Figura 5.19).

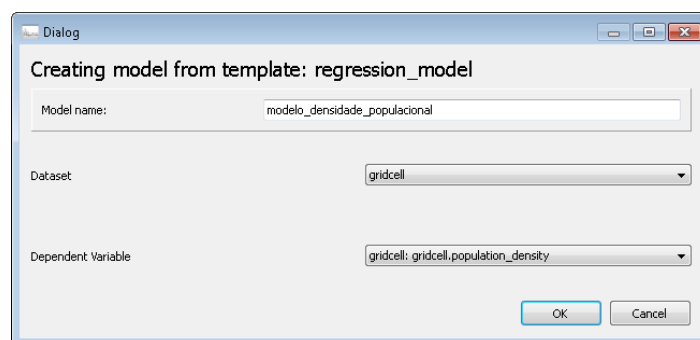


Figura 5.18 – Configuração do novo modelo.

- 3º Passo – Carregando com o botão esquerdo em cima da *dropbox* (com o símbolo em triângulo) que aparece imediatamente antes do nome do novo modelo, é possível verificar que existe um nó *specification* e um nó *structure*. Expandindo o nó *specification*, é possível ver mais detalhes, incluindo uma referência aos submodelos.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

- 4º Passo – Para editar o submodelo, carrega-se com o botão esquerdo do rato em cima de *Submodel* e seleciona-se a opção *Edit Submodel*.

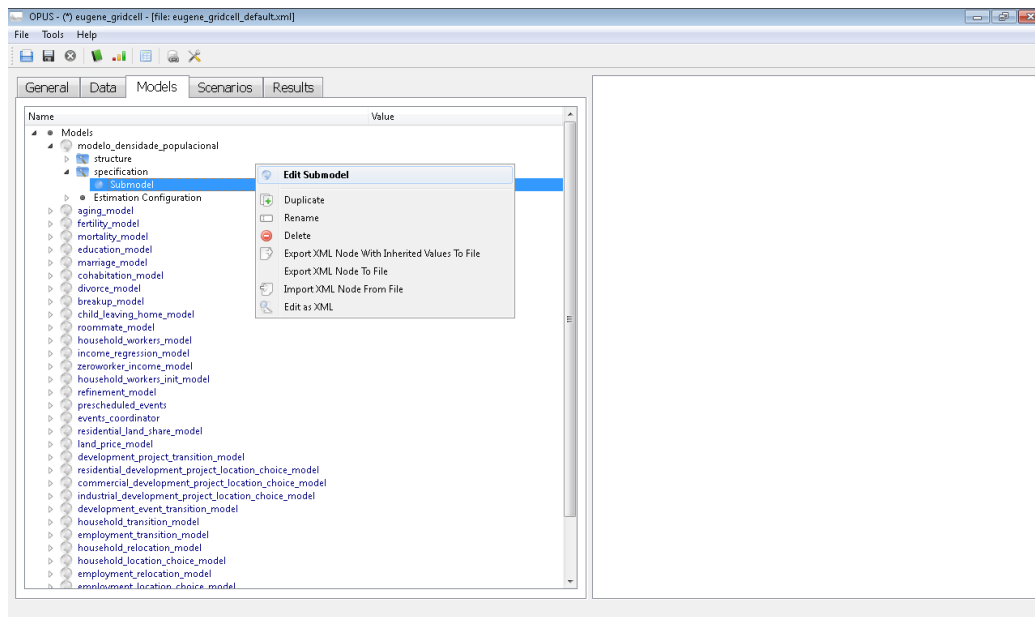


Figura 5.19 – Edição do submodelo.

- 5º Passo – Na caixa de diálogo que aparece seleciona-se a opção *Add/Remove variables...* e, de seguida, na lista de variáveis que aparece à esquerda, seleciona-se a variável que contém o tempo de viagem para o centro financeiro, *btt_cbd*, e adiciona-se carregando com o botão esquerdo do rato em *Add*.

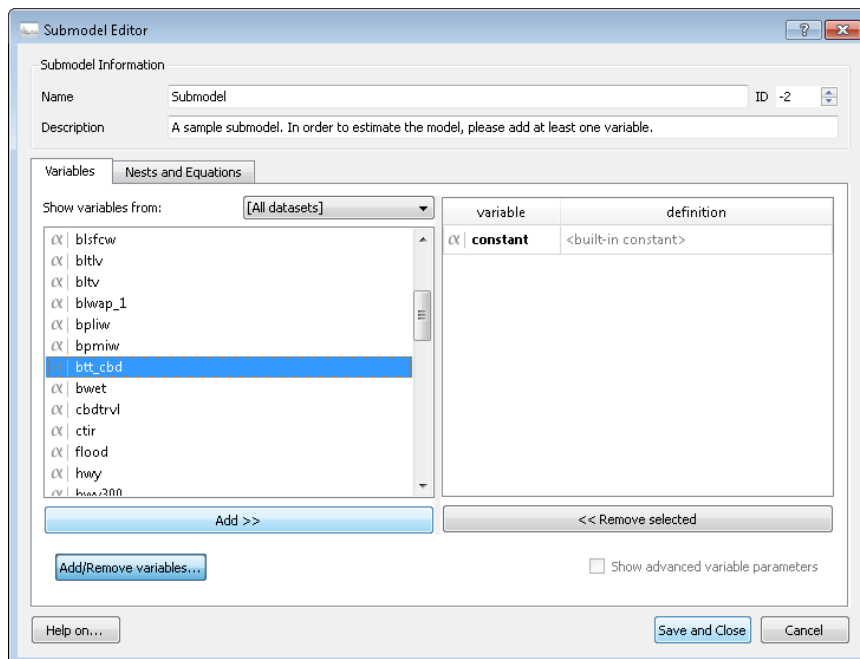


Figura 5.20 – Adição da variável *btt_cbd*.

Capítulo V – Análise de um exemplo

- 6º Passo – Para terminar a adição de variáveis carrega-se com o botão esquerdo do rato em *Save and Close*.

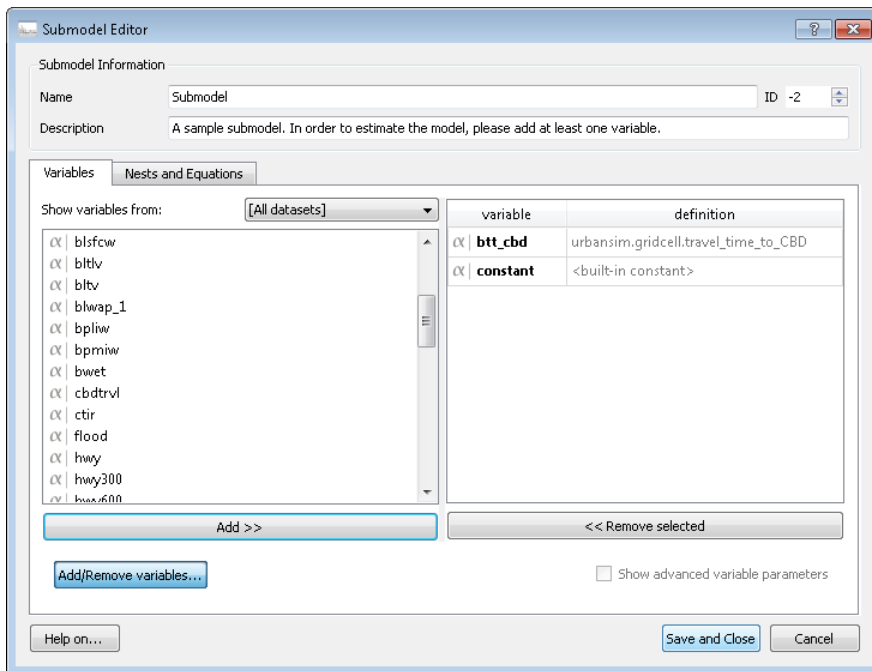


Figura 5.21 – Aspeto final do editor do submodelo.

- 7º Passo – Com o rato em cima do novo submodelo, carrega-se com o botão direito e selecciona-se a opção *Run Estimation*, e então, carrega-se com o botão esquerdo do rato na opção *Start Estimation*, que aparece à direita, como apresentado na subsecção 5.5.3.

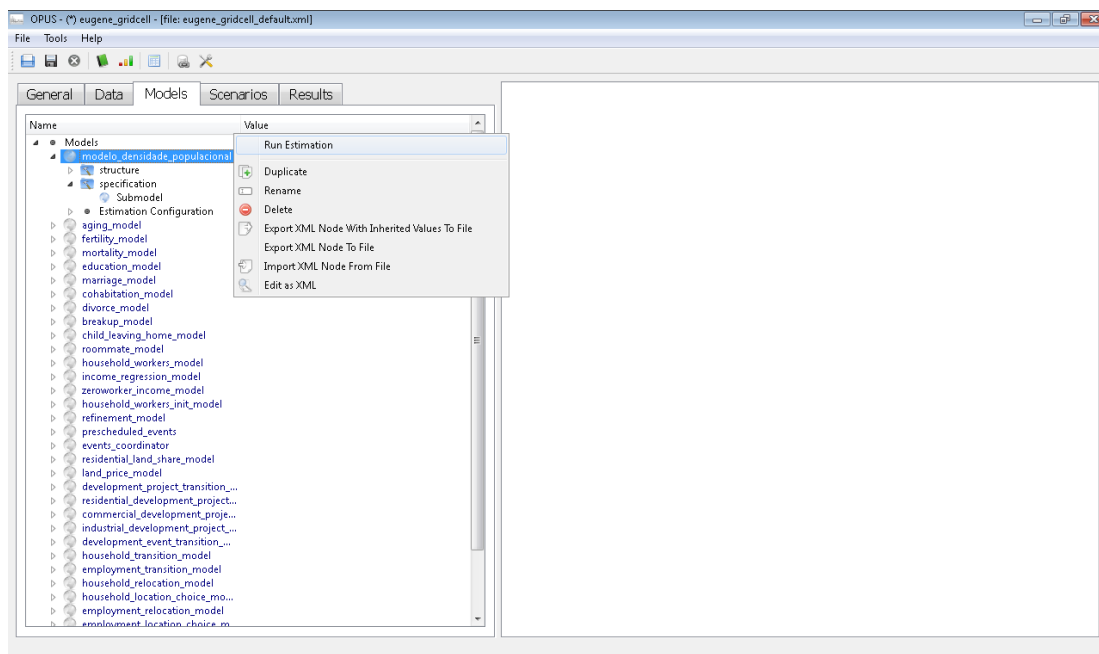


Figura 5.22 – Execução de uma estimativa do novo modelo.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

5.6. Análise de alguns modelos do UrbanSim

Na presente subsecção analisa-se com detalhe o funcionamento de alguns tipos de modelos do *UrbanSim*. Essa análise será efetuada através da elaboração de exemplos práticos desenvolvidos, em *Microsoft Excel*. Os exemplos apresentados referem-se aos modelos simples, de amostragem e de afetação e pretendem auxiliar à melhor compreensão dos mecanismos internos de análise propostos pelo *UrbanSim*, não pretendendo ser exaustivos mas antes exploratórios.

5.6.1. Modelo simples

Como referido na subsecção 4.4.1 os modelos simples são o tipo de modelo com a execução e compreensão mais intuitiva. Por exemplo, um modelo de envelhecimento é efetivamente um modelo muito simples. A cada indivíduo acrescenta-se, por cada ano de simulação, um ano à sua idade.

$$I_{n+1} = I_n + 1 \quad (6)$$

Em que:

I_{n+1} – Idade do indivíduo referente ao ano simulado;

I_n – Idade do indivíduo referente ao ano anterior ao ano simulado.

Assim, por exemplo, numa população de 10 indivíduos, simulando 15 anos, obtêm-se as idades apresentadas na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Idade dos indivíduos a cada ano de simulação.

Idade	Ano															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Indivíduo	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	2	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	3	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	4	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	5	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	8	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	9	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	10	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42

Capítulo V – Análise de um exemplo

5.6.2. Modelo de amostragem

Conforme referido na subsecção 4.4.2, nos modelos de amostragem são obtidos resultados através da utilização de números aleatórios. No caso de um modelo de fertilidade, funciona do seguinte modo: dada uma taxa de fertilidade, que para o exemplo apresentado se considera de 5%, são gerados números aleatórios, um para cada família com mulheres em idade fértil. Se o número aleatório (entre 0 e 1) for menor do que 0,05, então considera-se que a família teve um nascimento, se este número foi maior do que 0,05, então não houve qualquer nascimento no agregado familiar.

Assim, para 10 anos de simulação, para 20 agregados familiares com mulheres em idade fértil, e sendo que “0” significa não nasceu e “1” significa nasceu, tem-se:

Tabela 5.5 – Resultados do modelo de fertilidade.

Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		Ano 5		Ano 6		Ano 7		Ano 8		Ano 9		Ano 10	
NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N	NA	S/N
0,77	0	0,21	0	0,62	0	0,81	0	0,57	0	0,95	0	0,98	0	0,57	0	0,77	0	0,06	0
0,67	0	0,50	0	0,95	0	0,08	0	0,33	0	0,65	0	0,12	0	0,93	0	0,38	0	0,73	0
0,36	0	0,69	0	0,44	0	0,20	0	0,28	0	0,68	0	0,18	0	0,20	0	0,43	0	0,16	0
0,33	0	0,05	1	0,47	0	0,67	0	0,94	0	0,14	0	0,78	0	0,29	0	0,47	0	0,96	0
0,29	0	0,76	0	0,13	0	0,52	0	0,36	0	0,51	0	0,45	0	0,31	0	0,84	0	0,39	0
0,13	0	0,23	0	0,51	0	0,31	0	0,28	0	0,88	0	0,77	0	0,46	0	0,32	0	0,04	1
0,45	0	0,13	0	0,51	0	0,53	0	0,07	0	0,44	0	0,76	0	0,79	0	0,49	0	0,78	0
0,45	0	0,95	0	0,05	1	0,57	0	0,18	0	0,01	1	0,95	0	0,50	0	0,96	0	0,72	0
0,27	0	0,82	0	0,62	0	0,11	0	0,28	0	0,26	0	0,14	0	0,19	0	0,76	0	0,71	0
0,06	0	0,93	0	0,84	0	0,47	0	0,31	0	0,03	1	0,50	0	0,03	1	0,44	0	0,25	0
0,41	0	0,62	0	0,54	0	0,43	0	0,83	0	0,13	0	0,79	0	0,25	0	0,46	0	0,54	0
0,09	0	0,24	0	0,68	0	0,31	0	0,98	0	0,11	0	0,00	1	0,18	0	0,49	0	0,48	0
0,17	0	0,55	0	0,76	0	0,81	0	0,31	0	0,89	0	0,54	0	0,71	0	0,12	0	0,59	0
0,58	0	0,50	0	0,70	0	0,96	0	0,62	0	0,79	0	0,57	0	0,81	0	0,59	0	0,11	0
0,77	0	0,23	0	0,66	0	0,36	0	0,86	0	0,60	0	0,07	0	0,90	0	0,33	0	0,50	0
0,14	0	0,77	0	0,78	0	0,85	0	0,21	0	0,99	0	0,13	0	0,12	0	0,66	0	0,88	0
0,29	0	0,94	0	0,00	1	0,28	0	0,41	0	0,98	0	0,05	1	0,15	0	0,67	0	0,55	0
0,48	0	0,29	0	0,94	0	0,82	0	0,29	0	0,09	0	0,45	0	0,87	0	0,86	0	0,99	0
0,70	0	0,09	0	0,83	0	0,80	0	0,29	0	0,34	0	0,14	0	0,48	0	0,31	0	0,79	0
0,77	0	0,39	0	0,97	0	0,12	0	0,97	0	0,87	0	0,79	0	0,12	0	0,20	0	0,91	0
$\Sigma_{\text{ano1}}=0$		$\Sigma_{\text{ano2}}=1$		$\Sigma_{\text{ano3}}=2$		$\Sigma_{\text{ano4}}=0$		$\Sigma_{\text{ano5}}=0$		$\Sigma_{\text{ano6}}=2$		$\Sigma_{\text{ano7}}=2$		$\Sigma_{\text{ano8}}=1$		$\Sigma_{\text{ano9}}=0$		$\Sigma_{\text{ano10}}=1$	
Nº Total de nascimentos em 10 anos= 9																			

NA = Número Aleatório

S/N = Sim/ Não → 1= Sim, nasceu; 0= Não, não nasceu

Percebe-se assim, que, utilizando a amostragem, ao fim de 10 anos nasceram 9 bebés.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

É de notar que o modelo apresentado é rudimentar visto que a taxa de fertilidade utilizada (5%) para todos os agregados familiares pode variar consoante as características do agregado familiar (a idade da mulher, a classe económica, o número de filhos, etc.) e mesmo consoante a zona do país em que está a ser feita a simulação.

5.6.3. Modelo de afetação

Segue-se um exemplo de um modelo de afetação onde se verifica que, a partir de um conjunto inicial de variáveis que contêm a ponderação a utilizar na afetação (w), do seu somatório (W) e do total de controlo a ser afetado (T), se obtém uma nova variável calculada, indexada pela identificação da série de dados à qual está associada (Y_i), através das equações apresentadas na secção 4.4.3 e relembradas na presente secção.

No exemplo apresentado tem-se como objetivo afetar 250 viagens (T). Deste modo, aplicam-se as seguintes equações para chegar aos resultados apresentados na Tabela 5.6:

$$Y_i = \min \left(\text{round} \left(T \frac{w_i}{W} \right), C_i \right) \quad (7)$$

Para obter a nova variável calculada, indexada, é necessário ter em consideração as restrições de capacidade, na afetação, de modo a que a capacidade nunca seja excedida.

Aplica-se então a equação seguinte para obter o total afetado na primeira iteração:

$$T^m = \text{sum} \left(\text{round} \left(T \frac{w_i}{W} \right) - C_i \right) \quad (8)$$

Capítulo V – Análise de um exemplo

Tabela 5.6 – Resultados da 1ª iteração.

1ª Iteração																																	
<p>w_i</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>8</td></tr> <tr><td>8</td><td>5</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>3</td><td>5</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">83 =W</p>	4	4	5	8	8	5	9	9	2	7	4	2	3	5	3	5	<p style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">T= 250</p> <p>Y_i</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>12</td><td>12</td><td>15</td><td>24</td></tr> <tr><td>24</td><td>15</td><td>27</td><td>17</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>12</td><td>6</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td><td>9</td><td>15</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">213</p>	12	12	15	24	24	15	27	17	2	12	12	6	4	7	9	15
4	4	5	8																														
8	5	9	9																														
2	7	4	2																														
3	5	3	5																														
12	12	15	24																														
24	15	27	17																														
2	12	12	6																														
4	7	9	15																														
<p>$round(\frac{w_i}{W})$</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>12</td><td>12</td><td>15</td><td>24</td></tr> <tr><td>24</td><td>15</td><td>27</td><td>27</td></tr> <tr><td>6</td><td>21</td><td>12</td><td>6</td></tr> <tr><td>9</td><td>15</td><td>9</td><td>15</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">249</p>	12	12	15	24	24	15	27	27	6	21	12	6	9	15	9	15	<p>$round(\frac{w_i}{W}) - C_i$</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>5</td><td>9</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">37 =T₁</p>	0	0	0	0	0	0	0	10	5	9	0	0	5	8	0	0
12	12	15	24																														
24	15	27	27																														
6	21	12	6																														
9	15	9	15																														
0	0	0	0																														
0	0	0	10																														
5	9	0	0																														
5	8	0	0																														
<p>C_i</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>40</td><td>73</td><td>45</td><td>65</td></tr> <tr><td>38</td><td>34</td><td>73</td><td>17</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>24</td><td>34</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td><td>45</td><td>29</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">542</p>	40	73	45	65	38	34	73	17	2	12	24	34	4	7	45	29																	
40	73	45	65																														
38	34	73	17																														
2	12	24	34																														
4	7	45	29																														

No caso apresentado, no final da primeira iteração, de um total de 250 viagens a afetar, apenas 213 foram já distribuídas pelos caminhos. Faltam ainda afetar 37 viagens. Para tal, é necessário efetuar uma segunda iteração e assim consecutivamente até todas as viagens estarem distribuídas.

Para iniciar a segunda iteração aplica-se a equação que se segue, para obter a nova variável do segundo ciclo iterativo:

$$Y_i^m = Y_i^{m-1} + \left(T_m \frac{w_i}{W} \right) \tag{9}$$

Tabela 5.7 – Resultados da 2ª iteração.

2ª Iteração																																	
<p>C_i remanescente</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>28</td><td>61</td><td>30</td><td>41</td></tr> <tr><td>14</td><td>19</td><td>46</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>12</td><td>28</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>36</td><td>14</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">329</p>	28	61	30	41	14	19	46	0	0	0	12	28	0	0	36	14	<p>$round(\frac{w_i}{W})$</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td><td>6</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">37 =T₂</p>	3	3	3	5	5	3	6	0	0	0	3	1	0	0	2	3
28	61	30	41																														
14	19	46	0																														
0	0	12	28																														
0	0	36	14																														
3	3	3	5																														
5	3	6	0																														
0	0	3	1																														
0	0	2	3																														
<p>w_i</p> <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>8</td></tr> <tr><td>8</td><td>5</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>5</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">57</p>	4	4	5	8	8	5	9	0	0	0	4	2	0	0	3	5	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 80px; height: 40px;"> <tr><td>15</td><td>15</td><td>18</td><td>29</td></tr> <tr><td>29</td><td>18</td><td>33</td><td>17</td></tr> <tr><td>2</td><td>12</td><td>15</td><td>7</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td><td>11</td><td>18</td></tr> </table> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">250 =T</p>	15	15	18	29	29	18	33	17	2	12	15	7	4	7	11	18
4	4	5	8																														
8	5	9	0																														
0	0	4	2																														
0	0	3	5																														
15	15	18	29																														
29	18	33	17																														
2	12	15	7																														
4	7	11	18																														

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

No final da segunda iteração, estão atribuídas todas as 250 viagens, pelo que o processo iterativo termina.

5.7. *Súmula do capítulo*

No quinto capítulo da dissertação é feita a análise de exemplos exploratórios da utilização da plataforma *UrbanSim* para permitir o aprofundamento do estudo dos seus mecanismos de funcionamento. Através da abordagem de um exemplo de aplicação do *UrbanSim* à região metropolitana de Eugene-Springfield, no estado de Oregon, nos EUA, verifica-se como foram organizados os dados de entrada, os indicadores obtidos e é apresentada também uma comparação destes mesmos indicadores com os valores reais da mesma região metropolitana.

Ainda neste capítulo, faz-se uma breve análise de um modelo, passo a passo. Explica-se como são visualizados os dados, como se geram indicadores, como se estimam parâmetros e ainda como se cria um modelo a partir de um dos *templates* disponíveis na interface gráfica do utilizador do *OPUS*.

Por fim, são desenvolvidos exemplos práticos exploratórios do funcionamento de alguns tipos de modelos base do *UrbanSim*, que são simulados através do *Microsoft Office Excel*.

Capítulo VI. - Conclusões e perspectivas futuras

6.1. Principais conclusões

Conclui-se com a realização da dissertação que a mobilidade tem um papel cada vez mais relevante na organização das áreas urbanas, por condicionar a qualidade de vida da população. E, sendo a mobilidade, por sua vez, condicionada pelos usos do solo e pelos transportes, isto significa que os usos do solo, os transportes e o ambiente urbano devem ser analisados e geridos de forma integrada. Para tal é necessário o desenvolvimento de modelos de transporte e usos do solo semelhantes aos estudados ao longo da dissertação. Espera-se que a presente dissertação tenha contribuído para a melhor percepção da importância e relevância que estes modelos têm, e terão a médio prazo, na organização e planeamento do espaço urbano.

Sendo o *UrbanSim* um modelo baseado em agentes e em atividades, que efetua microsimulações dos usos do solo e dos transportes (quando ligado com modelos de transportes, como o *Visum* ou o *MATSim*), tem sido utilizado por todo o mundo, contando já com vinte e uma aplicações em grandes cidades ou regiões metropolitanas, distribuídas por quatro continentes.

O estudo dos modelos de simulação é também importante, devido à possibilidade de serem previstos os impactos de situações ainda não ocorridas, o que faz com que estas situações possam ser ajustadas da forma mais benéfica no planeamento urbano e regional.

Assim, considera-se que a principal conclusão a retirar desta dissertação é o reforço da utilidade e interesse que os modelos de transportes e usos do solo têm para a gestão e organização das áreas urbanas, incluindo a regulação do mercado imobiliário e a análise dos efeitos deste sobre os transportes, o urbanismo e o ambiente.

6.2. *Cumprimento dos objetivos propostos*

Foram definidos inicialmente dois objetivos principais para a presente dissertação. Estes objetivos prendiam-se com um estudo das vantagens e desvantagens/dificuldades da utilização de modelo *UrbanSim* no planeamento de transportes e com a execução de uma análise prospetiva do enquadramento necessário ao sucesso da implementação deste modelo. Ambos os objetivos foram atingidos com sucesso.

No caso do primeiro objetivo definido, foi possível perceber que a modelação integrada dos usos do solo e dos transportes é benéfica devido à sua forte relação e dependência. A utilização dos modelos *LUT* permite uma melhor organização do espaço urbano, otimizando-o. No entanto a utilização do modelo *UrbanSim* tem inerente, como principal desvantagem, a quantidade de dados necessária para que estes funcionem corretamente, devido ao nível de desagregação que apresenta. Foi possível perceber ainda que o trabalho de obtenção e estruturação dos dados de entrada (*input*) é um processo demorado e muito trabalhoso, que pode levar meses ou até anos a ser concluído, o que implica que a preparação destes modelos seja efetuada por estruturas técnicas e equipas com alguns recursos.

Relativamente ao segundo objetivo principal definido, foi possível perceber ao longo da presente dissertação que para o sucesso de uma aplicação é necessário efetuar-se um estudo aprofundado da temática, previamente. Como também foi referido, o trabalho de preparação e desenvolvimento destes modelos requer uma quantidade grande de dados e recursos. No caso do *UrbanSim*, por exemplo, para as aplicações no continente europeu, o próprio *software* foi adaptado (e é conhecido como *UrbanSimE*) para tornar as ferramentas consistentes com as características históricas, políticas e sociais das cidades europeias e com estilos de vida e preferências específicas. O estudo teórico e desenvolvimento de protótipos ao nível académico poderá ser uma boa forma de abordagem inicial deste tipo de modelos.

6.3. *Principais dificuldades encontradas*

Verificou-se que, de facto, conforme indicado nos ‘pontos fortes’ do *UrbanSim* na secção 3.5, a documentação é bastante vasta mas que, no entanto, pode ser melhorada, visto que houve dificuldade em encontrar informação relativa à criação de aplicações de raiz. Não foram encontrados tutoriais académicos que permitissem seguir a par e passo a realização de um exemplo, ou mesmo das aplicações mais simples. Também não é fornecida muita informação acerca das metodologias de funcionamento dos algoritmos e dos modelos implementados, apesar de as formulações matemáticas genéricas serem sempre disponibilizadas.

Capítulo VI – Conclusões e perspetivas futuras

Outra dificuldade na criação de uma aplicação prende-se com a grande quantidade de dados que é necessária, visto que o *UrbanSim* é um modelo com elevado nível de desagregação. Esse enorme manancial de informação não está disponível para nenhuma cidade portuguesa e mesmo que estivesse, a recolha e tratamento dos dados levaria muitos meses, o que é incompatível com o prazo possível de execução de uma dissertação de mestrado. Por esse motivo a possibilidade de criação de um modelo para parte da cidade de Lisboa foi, previsivelmente, excluída.

Por fim, comprovou-se ainda que é difícil a criação de novos cenários no *OPUS*, pelo menos para novos utilizadores que não estejam enquadrados por utilizadores experimentados, em grande parte pelo facto de não se terem localizado exercícios tutoriais que permitissem a aprendizagem autónoma sem a realização de ações de formação específicas sobre o *UrbanSim*, que existem e decorrem em várias cidades, mas às quais não foi possível ter acesso por várias razões.

6.4. Perspetivas futuras

Como perspetiva futura propõe-se o aprofundamento do estudo analítico dos modelos elementares que compõem o *UrbanSim*, quer utilizando o *Microsoft Excel*, quer meios mais sofisticados, como o *MatLab*. Através do manuseamento destes modelos a compreensão das potencialidades do *UrbanSim* e das suas limitações poderá ser alargada de forma objetiva.

Propõe-se também a organização de um levantamento de dados e a sua estruturação numa base de dados para que possam vir a ser carregados na plataforma *OPUS*. Poderá ser utilizado um SIG como o *ArcGIS*, que permite ligação direta ao *OPUS*, para a organização, processamento e preparação desses dados, devendo ser dado enfoque às estratégias para resolução das lacunas de dados que provavelmente serão bastantes (por exemplo, com a sua substituição por valores médios, ou através da importação de parâmetros de outros estudos similares).

Paralelamente poderão começar a ser testados os primeiros modelos através da plataforma *OPUS*, devendo para tal existir algum trabalho de gestão e manuseamento de bases de dados, que poderá requerer algum apoio da área informática, nomeadamente se for necessário a instalação de uma base de dados do tipo *DBMS*, como o *MySQL*.

O objetivo último poderia ser o da criação de um modelo da cidade de Lisboa e/ou da Área Metropolitana de Lisboa baseado em *UrbanSim* e apoiado por um modelo de planeamento de transportes como o *Visum* ou o *MATSim*.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Como se pôde verificar já foram efetuadas (ou estão a ser) aplicações do *UrbanSim* em 21 cidades por todo o mundo. Destas, 5 são aplicações a cidades europeias. Sendo que o *UrbanSim* já está adaptado ao contexto europeu, pela criação do *UrbanSimE*, isto facilita o desenvolvimento de uma aplicação para a área metropolitana de Lisboa, o que deverá então ser um objetivo a médio prazo.

Referências bibliográficas

- Anas, A. (1992). *NYSIM (The New York Area Simulation Model): A Model for Cost-Benefit Analysis of Transportation Projects*. New York.
- Anas, A. (1994). *METROSIM: A Unified Economic Model of Transportation and Land-Use*. New York.
- Anas, A. (1998). *NYMTC Transportation Models and Data Initiative: The NYMTC Land-Use Model*. New York.
- Anderstig, C., & Mattsson, L.-G. (1991). An integrated model of residential and employment location in a metropolitan region.
- Anderstig, C., & Mattsson, L.-G. (1998). Modelling land-use and transport interaction: evaluations and policy analysis. In L. Lundqvist, L.-G. Mattson, & T. J. Kim (Eds.), *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling* (pp. 308–328). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Arruda, F. S. (2005). *Aplicação de um modelo baseado em atividades para análise da relação uso do uso e transportes no contexto brasileiro*.
- Batty, M. (2009). Urban Modelling. In *International Encyclopedia of Human Geography*. Elsevier.
- Blana, E. (2003). *Transportes e Uso do Solo. Portal* (p. 59). Retrieved from www.eu-portal.net
- Boyce, D., Chon, K. S., Ferris, M. E., Lee, Y. J., Lin, K. T., & Eash, R. W. (1985). Implementation and Evaluation of Combined Models of Urban Travel and Location on a Sketch Planning Network. Urbana-Champaign/Chicago.
- Boyce, D., Chon, K. S., Lee, Y. J., Lin, K. T., & LeBlanc, L. J. (1983). Implementation and computational issues for combined models of location, destination, mode, and route choice. *Environment and Planning*, 15(9), 1219–1230.
- Boyce, D., & Mattsson, L.-G. (1991). Modelling residential location choice in relation to housing location and road tolls on congested urban highway networks. *Transportation Research*, B(33), 581–591.
- Boyce, D., Tatineni, M., & Zhang, Y. (1992). *Scenario Analyses of the Chicago Region with a Sketch Planning Model of Origin-Destination Mode and Route Choice*. Chicago, IL.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

- Briney, A. (2009). The New Urbanism. Retrieved October 16, 2013, from <http://geography.about.com/od/urbaneconomicgeography/a/newurbanism.htm>
- Caindec, E. K., & Prastacos, P. (1995). A Description of POLIS. The Projective Optimization Land Use Information System. Oakland.
- Caliper. (2013). TransCAD. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.caliper.com/tcovu.htm>
- Caulfield, B. (2009). *Activity Based Model*. Dublin.
- Center for Urban Transportation Studies, U. of W.-M. (1999). *Land Use – Transportation Interaction. An Overview: Land Use and Economic Development in Statewide Transportation Planning* (pp. 10–24). Wisconsin. Retrieved from <http://www4.uwm.edu/cuts/lu/lu-all2.pdf>
- Christensson, P. (2005). Script. Retrieved November 13, 2013, from <http://www.techterms.com/definition/script>
- Constantino, A. A. (1997). *Otimização de escala de trabalho para condutores de trem: Sequenciamento de tarefas e alocação baseada em preferência declarada*. Universidade Federal de Santa Catarina. Retrieved from <http://www.eps.ufsc.br/teses97/ademir/>
- Davidson, P., & Davidson, T. (2013). Transport Modelling. *Mode Choice Models Explained*. Retrieved October 30, 2013, from <http://www.transportmodeller.com/modechoiceoverview.html>
- De la Barra, T. (1982). Modelling regional energy use: a land use, transport and energy evaluation model. *Environment and Planning, B*(9), 429–443.
- De la Barra, T. (1989). *Integrated Land Use and Transport Modelling*. Cambridge: Cambridge University Press.
- De la Barra, T. (1998). Improved logit formulations for integrated land use, transport and environmental models. In L. Lundqvist, L.-G. Mattsson, & T. J. Kim (Eds.), *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling* (pp. 288–307). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- De la Barra, T., Pérez, B., & Vera, N. (1984). TRANUS-J: Putting large models into small computers. *Environment and Planning, B*(11), 87–101.
- Department for Transport UK. (2003). *Summary Advice on Modelling - TAG Unit 2.4*. London.
- Department for Transport UK. (2005). *Land-Use / Transport Interaction - Models TAG Unit 3.1.3. Transport*. London.

Referências bibliográficas

- Dykes, L., & Tittel, E. (2005). *XML for Dummies*. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Echenique, M. H. (1985). The use of integrated land use transportation planning models: the cases of Sao Paulo, Brazil and Bilbao, Spain. In M. Florian (Ed.), *The Practice of Transportation Planning*. Elsevier, The Hague.
- Echenique, M. H., Crowther, D., & Lindsay, W. (1969). A spatial model for urban stock and activity. *Regional Studies*, (3), 281–312.
- Echenique, M. H., Flowerdew, A. D. J., Hunt, J. D., Mayo, T. R., Skidmore, I. J., & Simmonds, D. (1990). The MEPLAN models of Bilbao, Leeds and Dortmund. *Transport Reviews*, 4(10), 309–322.
- Echenique, M. H., & Williams, I. N. (1980). Developing theoretically based urban models for practical planning studies. *Sistemi Urbani*, (1), 13–23.
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne. (2013). Biogeme. Retrieved September 30, 2013, from <http://biogeme.epfl.ch/>
- EnThought. (2013). SciPy. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.scipy.org/index.html>
- Escola Superior de Tecnologia de Viseu. (2013). Análise de Regressão e Correlação. Retrieved April 23, 2013, from <http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/malva/MetodosElectro/Regressão.pdf>
- ESRI. (2013). ArcGIS. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.arcgis.com/>
- Ettema, D., Borgers, A., & Timmermans, H. (1996). SMASH (Simulation Model of Activity Scheduling Heuristics) Some Simulations.pdf. *Transportation Research Record*, 1551(1), 88–94.
- Fermisson, J., Macário, R., & Carvalho, D. (n.d.). A influência das interações transportes-uso do solo nos padrões de mobilidade urbana: Problemas e medidas. *City*. Lisboa.
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. doi:10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005
- Gomes, J. C. B. (2009). *A mobilidade e a teoria da cidade compacta. Caso estudo: a cidade de Lisboa*. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Gonçalves, R. M. L., & Braga, M. J. (2008). Determinantes de Risco de Liquidez em Cooperativas de Crédito: uma Abordagem a partir do Modelo Logit Multinomial. *Revista de Administração Contemporânea*, 12(4), 1019–1041.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

- Haag, G. (1990). Master equations. In S. Bertuglia, G. Leonardi, & A. G. Wilson (Eds.), *Urban Dynamics. Designing and Integrated Model* (pp. 69–83). London/New York: Routledge.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. (1998). *Análise Multivariada de Dados*. (D. W. Nowaczyk, Ed.) (Bookman., p. 132). São Paulo. Retrieved from http://books.google.pt/books?id=LxFb5JzXdbUC&pg=PA132&lpg=PA132&dq=coeficiente+de+determinação+ajustado&source=bl&ots=re85CKmNIA&sig=R7P_z45jiExTZk8pLLGpIRi6jP0&hl=pt-PT&sa=X&ei=IIZ6UZDyMoXC7AaikIHobg&ved=0CFYQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false
- Hensher, D. A., & Ton, T. (2001). TRESIS: A transportation, land use and environmental strategy impact simulator for urban areas. In *8th World Conference on Transport Research I*. Seoul.
- Hunt, J. D. (1994). Calibrating the Naples land-use and transport model. *Environment and Planning, B*(21), 569–90.
- Hunt, J. D., & Abraham, J. E. (2003). Design and application of the PECAS land use modelling system. In *8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. Sendai, Japan.
- Hunt, J. D., & Echenique, M. H. (1993). Experience in the application of the MEPLAN framework for land use and transport interaction modeling. In *Proceedings of the 4th National Conference on the Application of Transportation Planning Methods* (pp. 723–754). Daytona Beach, FL.
- Hunt, J. D., & Simmonds, D. (1993). Theory and application of an integrated land-use and transport modelling framework. *Environment and Planning, B*(20), 221–44.
- INRO. (2013). Emme. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.inro.ca/en/products/emme/>
- Johnston, R. A., & McCoy, M. C. (2006). *Assessment of Integrated Transportation/Land Use Models*. Davis, CA.
- Jotin, C. K., & Kent, B. L. (1990). *Transportation Engineering*. (M. Horton, R. Kernan, & W. Stenquist, Eds.) (2nd ed., pp. 553–566). New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Jovicic, G. (2001). *Activity based travel demand modelling - a literature study*. (G. Jovicic, Ed.). Lyngby: Danmarks TransportForskning.
- Kim, T. J. (1989). *Integrated Urban Systems Modeling: Theory and Applications*. Kluwer, Dordrecht.
- King, D. M., & Mazzotta, M. J. (2000). Hedonic pricing. Retrieved October 16, 2013, from http://www.ecosystemvaluation.org/hedonic_pricing.htm

Referências bibliográficas

- Landis, J. D. (1992). BASS II: A New Generation of Metropolitan Simulation Models. Berkeley, CA.
- Landis, J. D. (1993). CUF Model Simulation Results: Alternative Futures for the Greater Bay Area Region. Berkeley, CA.
- Landis, J. D. (1994). The California Urban Futures Model: a new generation of metropolitan simulation models. *Environment and Planning, B*(21), 399–422.
- Landis, J. D., & Zhang, M. (1998a). The second generation of the California urban futures model. Part 1: Model logic and theory. *Environment and Planning, B*(25), 657–666.
- Landis, J. D., & Zhang, M. (1998b). The second generation of the California urban futures model. Part 2: Specification and calibration results of the land-use change submodel. *Environment and Planning, B*(25), 795–824.
- Litman, T. (2011). Measuring Transportation: Traffic, Mobility and Accessibility. *ITE Journal, 73*(10), 28–32.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation, 4*(3), 151–162. doi:10.1057/jos.2010.3
- Mackett, R. L. (1983). The Leeds Integrated Land-Use Transport Model (LILT). *Supplementary Report SR 805 Transport and Road Research Laboratory*. Crowthome, Berkshire.
- Mackett, R. L. (1990). The systematic application of the LILT model to Dortmund, Leeds and Tokyo. *Transport Reviews, 10*(4), 323–338.
- Mackett, R. L. (1991a). A model-based analysis of transport and land-use policies for Tokyo. *Transport Reviews, (11)*, 1–18.
- Mackett, R. L. (1991b). LILT and MEPLAN: a comparative analysis of land-use and transport policies for Leeds. *Transport Reviews, (11)*, 131–54.
- Maria, A. (1997). Introduction to Modeling and Simulation. In S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, B. L. Nelson, & A. Maria (Eds.), (pp. 7–13). New York.
- Martinez, F. J. (1991). Transport investments and land values interaction: the case of Santiago City. In *Proceedings of the PTRC Summer Annual Meeting* (pp. 45–58). PTRC, London.
- Martinez, F. J. (1992a). No TitleThe bid-choice land-use model: an integrated economic framework. *Environment and Planning, A*(24), 871–85.
- Martinez, F. J. (1992b). Towards the 5-stage land-use transport model. Land Use, Development and Globalisation. In *Selected Proceedings of the Sixth World Conference on Transport Research* (pp. 79–90). Lyon, St.-Just-La-Pendue: Presse de l’Imprimerie Chirat.

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

- Martinez, F. J. (1996). Analysis of urban environmental policies assisted by behavioural modelling. In Y. Hayashi & J. Roy (Eds.), *Transport, Land Use and the Environment* (pp. 233–257). Kluwer, Dordrecht.
- Martinez, F. J. (1997a). *MUSSA: A Land Use Model for Santiago City*. Santiago.
- Martinez, F. J. (1997b). Towards a microeconomic framework for travel behavior and land use interactions. In *8th Meeting of the International Association of Travel Behavior Research*. Austin, Texas.
- Martinez, F. J., & Donoso, P. P. (1995). MUSSA model: the theoretical framework. In D. A. Hensher & J. King (Eds.), *World Transport Research. Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Vol.2* (Pergamon.). Oxford.
- Martins, P. M., & Fontes, M. J. (2009). *Modelo Clássico de Transportes - Previsão da Procura*. Lisboa.
- Matthews, R., Gilbert, N., Roach, A., Polhill, G., & Gotts, N. (2007). Agent-based land-use models : a review of applications. Swindon.
- McCray, T., & Brais, N. (2007). Exploring the Role of Transportation in Fostering Social Exclusion: The Use of GIS to Support Qualitative Data. *Networks and Spatial Economics*, 7(4), 397–412. doi:10.1007/s11067-007-9031-x
- McNally, M. G., & Rindt, C. R. (2007). *The Activity-Based Approach*. California.
- Miller, E., & Salvini, P. A. (2001). The Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Microsimulation Modelling system: Description and current status. In D. A. Henscher (Ed.), *9th International Association for Travel Behaviour Research Conferece*. Queensland, Australia.
- Mitton, L., Sutherland, H., & Weeks, M. (2000). *Microsimulation Modelling for Policy Analysis - Challenges and Innovations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Miyamoto, K., & Kitazume, K. (1989). A land-use model based on random utility/rent-bidding analysis (RURBAN). Transport Policy, Management and Technology - Towards 2011. In *Selected Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research, Vol. IV* (pp. 107–21). Ventura, CA: Western Periodicals.
- Miyamoto, K., Nakamura, H., & Shimizu, E. (1986). A land use model based on disaggregate behavioral analyses. In *Proceedings of the Fourth World Conference on Transport Research* (pp. 1535–50).
- Miyamoto, K., & Udomsri, R. (1996). An analysis system for integrated policy measures regarding land use, transportation and the environment in a metropolis. In Y. Hayashi & J. Roy (Eds.), *Transport, Land Use and the Environment* (pp. 259–280). Kluwer, Dordrecht.

Referências bibliográficas

- Moeckel, R., Spiekermann, K., Schürmann, C., & Wegener, M. (2003). Microsimulation of Land Use. *International Journal of Urban Sciences*, 7(1), 14–31.
- Myer, T. (2005). A Really, Really, Really Good Introduction to XML. Retrieved August 17, 2013, from <http://www.sitepoint.com/really-good-introduction-xml/>
- National Science Foundation. (2013a). BLAS. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.netlib.org/blas/>
- National Science Foundation. (2013b). Lapack. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.netlib.org/lapack/>
- Norwood, J., & Casey, J. (2002). *Mobility Indicators. Key Transportation Indicators: Summary of a workshop* (pp. 16–21). Washington. Retrieved from http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10404&page=16
- Noth, M., Borning, A., & Waddell, P. (2001). An Extensible , Modular Architecture for Simulating Urban Development , Transportation , and Environmental Impacts. *Science*, (September).
- NumPy Developers. (2013). NumPy. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.numpy.org/#>
- ODOT - Oregon Department of Transportation. (2002). Retrieved from <http://www.odot.state.or.us/tddtpau/modeling.html>
- Open Source Geospatial Foundation. (2013a). GDAL. Retrieved September 30, 2013, from www.gdal.org
- Open Source Geospatial Foundation. (2013b). QGIS. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.qgis.org/>
- Oracle Corporation. (2013). MySQL. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.mysql.com/>
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). Chichester: Wiley Publishing, Inc.
- Parsons Brinckerhoff Ohio and Hunt Analytics. (1999). *Ohio Statewide Travel Demand Model Final Report PID 17803*. Columbus, OH.
- Peng, Z.-R. (2010). Overview of Land Use Modeling. Florida.
- PennState. (2013). Lesson 4: An Introduction to Database Management Systems. Retrieved April 23, 2013, from http://www.personal.psu.edu/glh10/ist110/topic/topic07/topic07_05.html
- PostGIS Project Steering Committee. (2013). PostGIS. Retrieved September 30, 2013, from <http://postgis.net/>

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

- PostgreSQL Global Development Group. (2013). Postgres. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.postgresql.org/>
- Prastacos, P. (1986). An integrated land-use-transportation model for the San Francisco region. *Environment and Planning, A*(18), 307–322 e 511–528.
- PTV Group. (2013). Visum. Retrieved September 30, 2013, from <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/>
- Putman, S. H. (1983). *Integrated Urban Models: Policy Analysis of Transportation and Land Use*. London.
- Putman, S. H. (1991). *Integrated Urban Models 2: New Research and Applications of Optimization and Dynamics*. London.
- Putman, S. H. (1998). Results from implementation of integrated transportation and land use models in metropolitan regions. In L.-G. Mattsson, L. Lundqvist, & T. J. Kim (Eds.), *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling* (pp. 268–287). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- R Development Core Team. (2013). R. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.r-project.org/>
- Rho, J. H., & Kim, T. J. (1989). Solving a three-dimensional urban activity model of land use intensity and transport congestion. *Journal of Regional Science*, (29), 595–613.
- Rossum, G. Van. (2005). *Tutorial Python Release 2.4.2*. (F. L. J. Drake, Ed.). Retrieved from <http://pythonbrasil.com.br>
- SAP Help Portal. (2013). Adjusted R Square. Retrieved April 23, 2013, from http://help.sap.com/saphelp_46c/helpdata/En/35/e1e6b9e2df0c04e10000009b38f983/content.htm
- Savaneviciene, A., & Stankeviciute, Z. (2010). The Models Exploring the “Black Box” between HRM and Organizational Performance. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 21(4), 426–434.
- Scarpel, R. A., & Milioni, A. Z. (2002). Utilização conjunta de modelagem econométrica e otimização em decisões de concessão de crédito. *Pesquisa Operacional*, 22(1), 61–72.
- Schirmer, P. (2010). Options and constraints of a parcel based approach in 'UrbanSimE '. In *10th Swiss Transport Research Conference* (Vol. 25). Zurich.
- Sevcikova, H., Raftery, A. E., & Waddell, P. (2007). Assessing Uncertainty in Urban Simulations Using Bayesian Melding. *Transportation Research Part B: Methodology*, 41(6), 652–659.

Referências bibliográficas

- Silva, J. A. S. (2004). *Turismo, crescimento e desenvolvimento: Uma análise urbano-regional baseada em cluster*. Universidade de São Paulo, Escola de Comunicações e Artes.
- Simmonds, D. (1999). The Design of the DELTA land-use modelling package. *Environment and Planning, B*(26), 665–684.
- Simmonds, D., & Feldman, O. (2005). Land-Use Modelling with DELTA: Update and Experience.
- Simmonds, D., & Still, B. G. (1998). DELTA/START: Adding land use analysis to integrated transport models. In *8th World Conference on Transport Research*. Antwerpen.
- Simmonds, D., Waddell, P., & Wegener, M. (2011). Equilibrium v . dynamics in urban modelling. In *Applied Urban Modelling (AUM 2011) "Innovation in Urban Modelling"* (p. 20). Cambridge.
- Sivakumar, A. (2007). *Modelling Transport: A Synthesis of Transport Modelling Methodologies*. London.
- Social Research Methods. (2013). The T-Test. Retrieved April 23, 2013, from http://www.socialresearchmethods.net/kb/stat_t.php
- Southworth, F. (1995). *A Technical Review of Urban Land Use-Transportation Models as Tools for Evaluating Vehicle Travel Reduction Strategies*. Oak Ridge, Tennessee.
- Statistics Canada. (2013). Microsimulation. Retrieved July 25, 2013, from <http://www.statcan.gc.ca/microsimulation/>
- Swiss Federal Institute of Technology Zurich. (2011). SustainCity. Retrieved September 26, 2013, from <http://www.sustaincity.org/research>
- Technische Universität Berlin, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, & Senozon. (2013). MATSim. Retrieved September 30, 2013, from <http://www.matsim.org/>
- University of Michigan. (1997). The Python Programming Language. Retrieved August 08, 2013, from <http://groups.engin.umd.umich.edu/CIS/course.des/cis400/python/python.html>
- Urban Institute. (2013). Microsimulation. Retrieved July 25, 2013, from <http://www.urban.org/toolkit/data-methods/microsim.cfm>
- UrbanSim. (2013). UrbanSim Model Specification and Estimation. Retrieved April 23, 2013, from www.urbansim.org
- Viegas, J. M. (2009). *Sessão 5: Modelos de Escolha Discreta*. Lisboa.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

- Viegas, J. M. (2010a). *O Modelo de 4 passos (1ª parte): Geração e Distribuição*. Lisboa.
- Viegas, J. M. (2010b). *O Modelo de 4 passos (2ª parte): Escolha Modal e Afecção de Tráfego; Crítica Geral do modelo O Modelo de Escolha Modal*. Lisboa.
- Waddell, P. (1998a). An urban simulation model for integrated policy analysis and planning: residential location and housing market components of UrbanSim. In *8th World Conference on Transport Research*. Antwerpen.
- Waddell, P. (1998b). UrbanSim Overview. Retrieved from <http://urbansim.org>
- Waddell, P. (2002). UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use , Transportation and Environment Planning. *Journal of Americal Planning Association*, 68(3), 297–314.
- Waddell, P. (2010a). Introduction to OPUS : the Open Platform for Urban Simulation.
- Waddell, P. (2010b). Modeling Residential Location in UrbanSim. In F. Pagliara, J. Preston, & D. Simmonds (Eds.), *Residential Location Choice* (pp. 165–180). Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-12788-3
- Waddell, P. (2010c). Tutorial: Creating a Regression Model from a Model Template. Retrieved October 20, 2013, from www.urbansim.org/Documentation/CreateRegressionModel
- Waddell, P. (2011a). Dynamic Microsimulation: UrbanSim. In *Webinar series on land use forecasting methods*. Berkeley, CA.
- Waddell, P. (2011b). Introduction to UrbanSim. In *UrbanSim Workshop* (pp. 1–90). Athens.
- Waddell, P. (2013a). Eugene Gridcell Project. Retrieved April 07, 2013, from <http://www.urbansim.org/downloads/manual/dev-version/opus-userguide/node80.html>
- Waddell, P. (2013b). UrbanSim. Retrieved March 03, 2013, from <http://www.urbansim.org/Main/WebHome>
- Waddell, P., & Borning, A. (2008). *The Open Platform for Urban Simulation and UrbanSim Users Guide and Reference Manual. Simulation*. Washington.
- Waddell, P., Borning, A., Foti, F., Sevcikova, H., Wang, L., & Wauthier, F. (2011). Location Choice Model. Retrieved October 12, 2013, from <http://www.urbansim.org/downloads/manual/dev-version/opus-userguide/node205.html>
- Waddell, P., Borning, A., Noth, M., Freier, N., Becke, M., & Ulfarsson, G. (2003). Microsimulation of Urban Development and Location Choices: Design and

Referências bibliográficas

- Implementation of UrbanSim. *Networks and Spatial Economics*, 3(1), 43–67.
Retrieved from
http://www.urbansim.org/pub/Research/ResearchPapers/UrbanSim_NSE_Paper.pdf
- Waddell, P., Miller, E., Sevcikova, H., Nagel, K., & Socha, D. (2005). OPUS: An Open Platform for Urban Simulation.
- Waddell, P., Moore, T., & Edwards, S. (1998). Exploiting parcel-level GIS for land use modeling. In *Proceedings of the ASCE Conference on Transportation, Land Use and Air Quality: Making the Connection*. Portland, OR: ASCE.
- Waddell, P., & Ulfarsson, G. (2004). Introduction to Urban Simulation: Design and Development of Operational Models. In D. A. Hensher, K. Button, P. Stopher, & K. E. Haynes (Eds.), *Handbook in Transport, Volume 5: Transport Geography and Spatial Systems* (pp. 203–236). Seattle: Pergamon / Elsevier Science.
- Wang, L. (2010). A Zone-Based Version of UrbanSim. Retrieved October 20, 2013, from www.urbansim.org/Documentation/Zone/WebHome
- Wegener, M. (1982a). A multilevel economic-demographic model for the Dortmund region. *Sistemi Urbani*, (3), 371–401.
- Wegener, M. (1982b). Modeling urban decline: a multilevel economic-demographic model of the Dortmund region. *International Regional Science Review*, (7), 21–41.
- Wegener, M. (1985). The Dortmund housing market model: A Monte Carlo simulation of a regional housing market. In K. Stahl (Ed.), *Microeconomic Models of Housing Markets* (pp. 144–191). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Wegener, M. (1996). Reduction of CO2 emissions of transport by reorganisation of urban activities. In Y. Hayashi & J. Roy (Eds.), *Transport, Land Use and the Environment* (pp. 103–124). Kluwer, Dordrecht.
- Wegener, M. (1998). Applied models of urban land use, transport and environment: state-of-the-art and future developments. In L. Lundqvist, L.-G. Mattsson, & T. J. Kim (Eds.), *Network Infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land-Use/Transportation Modelling I* (pp. 245–267). Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Wegener, M. (2004). Overview of land-use transport models. In D. A. Hensher, K. Button, P. Stopher, & K. E. Haynes (Eds.), *Handbook in Transport, Volume 5: Transport Geography and Spatial Systems* (1 edition., pp. 127–146). Dortmund: Pergamon / Elsevier Science.
- Wegener, M. (2013). Employment Location in Cities and Regions. In F. Pagliara, M. de Bok, D. Simmonds, & A. Wilson (Eds.), *Employment Location in Cities and Regions* (pp. 11–32). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
doi:10.1007/978-3-642-31779-8

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

- Wegener, M., & Fürst, F. (1999). *Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Transport*. Dortmund.
- Wegener, M., Gnad, F., & Vannahme, M. (1986). The Time Scale of Urban Change. In M. Batty & B. Hutchinson (Eds.), *Advances in Urban Systems Modelling* (1st ed., pp. 175–197). Amsterdão: North-Holland.
- Wegener, M., Mackett, R. L., & Simmonds, D. (1991). One city, three models: comparison of land-use/transport policy simulation models for Dortmund. *Transport Reviews*, (11), 107–29.
- Williams, I. W. (1994). A model of London and the South East. *Environment and Planning, B*(21), 535–53.
- Yoriyaz, H. (2009). Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. *Revista Brasileira de Física Médica*, 3(1), 141–149.
- Yu, H., & Shaw, S. (2007). Revisiting Hägerstrand's Time-Geographic Framework for Individual Activities in the Age of Instant Access. In H. Miller (Ed.), *Societies and Cities in the Age of Instant Access* (pp. 103–118). Dordrecht: Springer Science.

ANEXO – Tipos de modelos presentes no UrbanSim

De seguida, apresenta-se uma síntese dos nove modelos referidos, integrados no *UrbanSim* e da forma como foram implementados, segundo Noth et al. (2001) e Waddell et al. (2003).

Modelo de acessibilidade

Incorpora uma interface para um modelo externo (*Visum*, *MATSim*, etc.) de análise de viagens. É responsável pela manutenção dos valores de acessibilidade dos objetos dentro de cada zona de análise de tráfego.

Este é o primeiro modelo a ser executado numa simulação e cria índices de acessibilidade que resumem a acessibilidade de uma dada unidade geográfica em relação a várias atividades. Os referidos índices são então utilizados nos modelos de localização do emprego e dos agregados familiares (pois têm influência na escolha de localização tanto das famílias como das empresas) (Sevcikova et al., 2007).

Uma vez que este modelo não é do género de interação cêntrica ou espacial, em que a escolha do local de trabalho é exógena e as localizações residenciais são escolhidas principalmente com base no trajeto até ao centro da cidade ou até a um local de trabalho pré-determinado, lidamos com ‘acessibilidade’ de uma forma mais generalizada. A acessibilidade é considerada um bem natural, como outros atributos positivos de uma habitação, aos quais os consumidores atribuem um valor económico positivo. Espera-se que os consumidores valorizem o acesso aos locais de trabalho e de compras, entre muitos outros atributos que consideram nas suas preferências de escolha da habitação. No entanto, nem todos os agregados familiares respondem à acessibilidade da mesma forma. Por exemplo, os reformados são menos influenciados pela acessibilidade aos locais de trabalho do que os agregados familiares em idade ativa.

O conceito de acessibilidade foi operacionalizado, para uma dada localização, como a distribuição de oportunidades ponderadas pelo utilizador de todos os modos de transporte para

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

os seus destinos, definido como a soma logarítmica (*logsum*²⁷) do modelo de escolha de modo para cada par origem-destino. A medida de acesso resultante A_i para cada localização i é:

$$A_i = \sum_{j=1}^J D_j e^{L_{aij}} \quad (1)$$

Onde:

D_j é a quantidade de atividade na localização j ;

L_{aij} é a utilidade composta, ou soma logarítmica das utilidades desagregadas (*logsum*), para os agregados familiares com veículos próprios, nível α , da localização i para a localização j .

O modelo de acessibilidade constrói a matriz *logsum* a partir do modelo de transportes e da distribuição dos usos do solo para um dado ano, e cria índices de acessibilidade para utilização nos modelos de escolha de localização do agregado familiar e do emprego. O objetivo é sintetizar através de um índice a acessibilidade de cada zona, para as várias atividades para as quais a acessibilidade é considerada importante na escolha de localização dos agregados familiares e das empresas.

Uma vez que o *UrbanSim* trabalha com iterações anuais, mas as atualizações do modelo de transportes são executadas apenas com dois ou três anos no horizonte de previsão, as infraestruturas de transportes permanecem constantes na execução de um modelo de transportes até serem substituídas pelo resultado do modelo de transportes seguinte. Apesar das infraestruturas permanecerem inalteradas entre os anos para os quais o modelo é aplicado, a distribuição das atividades para obtenção dos índices de acessibilidade é atualizada anualmente, para que os índices mudem de um ano para o ano seguinte, de forma a refletir a distribuição espacial das atividades. Há divergências consideráveis na literatura sobre como (ou se) os usos do solo e os transportes devem ser levados ao equilíbrio usando sistemas de múltiplas iterações entre modelos de usos do solo e transportes. Segundo os autores já citados, há poucas bases para assumir que os maiores projetos de transportes, como os sistemas de transporte ferroviário ou rodoviário, devem gerar ‘instantaneamente’ os seus efeitos sobre os usos do solo. Na realidade, os usos do solo só respondem às melhorias dos sistemas de transportes passados muitos anos ou mesmo décadas, dependendo da magnitude da mudança. Por este motivo, no *UrbanSim* prevê-se a aplicação dos modelos de transportes que forem necessários para refletir as mudanças dos

²⁷ *Logsum* (ou utilidade composta) é o somatório da exponencial da utilidade para cada modo de transporte com significância. O *logsum* mede a proximidade da origem e do destino de uma viagem (Davidson & Davidson, 2013).

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

sistemas, ou a mudança dos usos do solo, suficiente para gerar diferenças significativas nos padrões de congestionamento.

Modelo de transição económica

Simula a criação e perda de empregos. Este modelo utiliza as previsões de emprego agregadas (totais de controlo) que são obtidas a partir de fontes externas (Sevcikova et al., 2007).

O emprego é classificado pelos utilizadores em setores de emprego com base em agregações de códigos da *Standard Industrial Classification*. Tipicamente são definidos 10 a 20 setores, baseados na estrutura económica local. As previsões agregadas da atividade económica e do emprego setorial são exógenas ao *UrbanSim*, e são usadas como dados de entrada do modelo. Estas previsões podem ser obtidas a partir de previsões económicas do estado ou de fontes comerciais.

O modelo de transição económica integra estas previsões exógenas do emprego agregado por setor na base de dados do *UrbanSim*, calculando o crescimento ou diminuição setorial em relação ao ano anterior, seja pela eliminação de postos de trabalho da base de dados em setores que estão em declínio, seja pela criação de emprego para ser colocado em espera no modelo de escolha de local de trabalho para os setores em crescimento. Se o utilizador fornece apenas os totais de controlo de todos os setores de emprego, em vez dos totais por setor, a distribuição setorial é assumida consistente com a distribuição setorial atual. Nos casos de perda de emprego, a probabilidade do emprego ser removido é assumida proporcional à distribuição espacial dos empregos por setor. Os empregos removidos, vagam o espaço que ocupavam, e esse espaço fica disponível para ser ocupado por outros empregos, na componente de localização do modelo. Este procedimento mantém a contabilização do solo, das estruturas e dos ocupantes atualizada. Os novos empregos não são atribuídos imediatamente a uma localização. Em vez disso, os novos empregos são adicionados à base de dados e atribuídos posteriormente a um local nulo, para serem atribuídos pelo modelo de escolha de localização de emprego.

O modelo procede como se descreve de seguida.

Calcula o número de empregos a serem adicionados ou removidos. Aqui $|J_{S(t-1)}|$ indica o número de elementos no conjunto $J_{S(t-1)}$.

$$\Delta J_{st} = C_{st} - |J_{S(t-1)}| \quad (2)$$

Onde:

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

ΔJ_{st} é a variação, do ano $t - 1$ para t , no total de empregos, no setor s ;

C_{st} é o emprego total (exógeno), no setor s , no ano t ;

$J_{s(t-1)}$ é o conjunto de todos os empregos, no setor s , no ano $t - 1$.

J_{st} ou é a união dos empregos do ano anterior e de alguns novos postos de trabalho, ou a diferença entre os empregos do ano anterior e um certo número de postos de trabalho a remover.

$$J_{st} = \begin{cases} J_{s(t-1)} \cup F_{st}, & \text{se } \Delta J_{st} > 0 \\ J_{s(t-1)}, & \text{se } \Delta J_{st} = 0 \\ J_{s(t-1)} - F_{st}, & \text{se } \Delta J_{st} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

E

$$J_{st} \subset J_A \quad (4)$$

Onde:

J_{st} é o conjunto de todos os empregos, no setor s , no tempo t ;

F_{st} é o conjunto de empregos em mudança contínua, no setor s , no tempo t ;

J_A é o universo de empregos.

Os empregos em mudança contínua são postos de trabalho que estão a ser adicionados ou removidos dos setores, nesse instante. Se se estiverem a adicionar postos de trabalho, os novos postos são tirados do universo de todos os empregos e adicionados ao conjunto de empregos presentes no modelo, no instante t . Se se estiverem a remover postos de trabalho, os empregos em mudança contínua são um subconjunto aleatório dos empregos atuais de um setor particular no modelo.

$$J_{st} = \begin{cases} \{j \in J_A | j \notin J_{st}, j \text{ está no setor } s\}, & \text{se } \Delta J_{st} > 0 \\ \emptyset, & \text{se } \Delta J_{st} = 0 \\ \{j \in J_{st}\}, & \text{se } \Delta J_{st} < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Sujeito a: } |F_{st}| = |\Delta J_{st}| \quad (6)$$

Sendo U_t o conjunto de empregos que não têm localização no instante t , para o ano base $t = 0$, U_t será inicialmente um conjunto vazio, nos anos seguintes corresponderá inicialmente aos postos de trabalho não colocados no ano anterior.

$$U_t \leftarrow \begin{cases} \emptyset, & \text{se } t = 0 \\ U_{t-1}, & \text{se } t \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

Se se estiverem a adicionar novos empregos então eles são inicialmente colocados sem localização. Os novos empregos são adicionados ao conjunto de postos de trabalho sem localização e é dada uma localização posteriormente pelo modelo de escolha de localização de emprego.

Para cada setor s : se $\Delta J_{st} > 0$ então $U_t \leftarrow U_t \cup F_{st}$ (8)

Se se estiverem a remover empregos, então precisam de ser removidos os pares localização-posto de trabalho correspondentes.

Para cada setor s : se $\Delta J_{st} < 0$ então $P_t \leftarrow P_t - \{(j, l) \in P_t | j \in F_{st}\}$ (9)

Onde:

P_t é o conjunto de todos os pares (j, l) , que representa o emprego j , situado no local l , no instante t .

As localizações previamente ocupadas pelos empregos a serem removidos devem ficar no conjunto de locais vagos.

$$V_t = \{l \in L_t^J | \forall j \in J_t(j, l) \notin P_t\} \quad (10)$$

Onde:

V_t é o conjunto de locais que não têm um emprego correspondente, no instante t ;

L_t^J é o conjunto de todos os locais, no instante t , onde um emprego pode ser localizado;

J_t é o conjunto de empregos, no instante t .

Modelo de transição demográfica

Este modelo é responsável pela simulação dos nascimentos e mortes na população simulada dos agregados familiares, utilizando os totais de controlo das previsões agregadas obtidas a partir de fontes externas, como dados de entrada adicionais (Sevcikova et al., 2007).

O modelo de transição demográfica explica as mudanças na distribuição dos agregados familiares, por tipo, ao longo do tempo, utilizando um algoritmo semelhante ao utilizado no modelo de transição económica.

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Na realidade, estas mudanças resultam de um conjunto complexo de alterações sociais e demográficas que incluem o envelhecimento, a formação de agregados familiares, o divórcio e a dissolução de agregados familiares, a mortalidade, o nascimento de crianças, a migração de e para a região, as alterações na dimensão e rendimento dos agregados familiares, entre outros. O modelo de transição demográfica, tal como o modelo de transição económica, usa totais de controlo externo da população e dos agregados familiares.

Como no caso da transição económica, os nascimentos de agregados familiares são adicionados a uma lista e serão localizados pelo modelo de escolha de localização dos agregados familiares. Os agregados familiares que se desfazem, por outro lado, são contabilizados neste modelo pela remoção destes do parque habitacional, e pela correta contabilização das vagas criadas com esta dissolução.

Modelo de mobilidade do emprego

Este modelo determina os empregos que se vão mover da sua localização atual durante um ano em particular, utilizando as taxas de mobilidade anuais observadas diretamente durante um período recente (Sevcikova et al., 2007).

A mobilidade do emprego e as escolhas de localização do mesmo são efetuadas pelas empresas. No entanto, no *UrbanSim*, são utilizados os postos de trabalho individuais como unidade de análise, ou seja, é o mesmo que assumir que as empresas fazem escolhas individuais de localização de cada posto de trabalho, sem estarem condicionadas pelas alterações que essas escolhas possam causar na empresa como um todo. Uma primeira versão do modelo de localização do emprego utilizava o estabelecimento de empresas como unidade de análise. Embora as duas abordagens tenham vantagens, a principal vantagem em utilizar cargos individuais como unidade de análise é que proporciona uma maior capacidade de modelação de postos de trabalhos em grandes empresas.

O modelo de mobilidade de emprego prevê a probabilidade que os postos de trabalho de cada tipo têm de se moverem da sua localização atual durante um ano em particular. Esta trata-se de uma escolha transitória que pode refletir a rotatividade dos funcionários, demissões, realocações de empresas ou fecho das mesmas. Tal como o modelo de transição económica no que se refere às perdas de postos de trabalho nos setores em declínio, o modelo assume que a probabilidade de mudança é proporcional à distribuição espacial de postos de trabalho no setor. Todas as colocações dos postos de trabalho são geridas pelo modelo de localização do emprego.

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

Da mesma forma que o modelo de transição económica no caso da perda de postos de trabalho, a aplicação deste modelo também requer a subtração dos postos de trabalho por setor dos edifícios que ocupam e a notificação de que o espaço se encontra desocupado. Esta contabilização de postos de trabalho é adicionada aos novos postos de trabalho sem localização, por setor, calculada no modelo de transição económica. A combinação dos novos postos de trabalho e daqueles que mudaram a sua localização é alocada pelo modelo de escolha de localização de emprego. As vagas do espaço não residencial são então atualizadas, fazendo com que o espaço fique disponível para ocupação no modelo de escolha de localização de emprego.

Sendo M_{st} um conjunto de postos de trabalho que são escolhidos para serem mudados com base em $P(j, t)$, um submodelo com simulação de Monte Carlo²⁸ que utiliza taxas de mobilidade anual para um setor s , este procedimento gera um número aleatório entre 0 e 1, e compara-os com a probabilidade acumulada de cada resultado possível. O resultado selecionado é então o que tiver um intervalo de probabilidade acumulada que contenha o número aleatório.

$$M_{st} = \{j \in J_{st} | P(j, t)\} \quad (11)$$

Onde:

M_{st} é o conjunto de postos de trabalho no setor s , no instante t , que estão desenraizados pelo modelo de mobilidade;

$P(j, t)$ é um submodelo com simulação de Monte Carlo para determinar se um posto de trabalho j será movido, no instante t .

Os postos de trabalho movidos ficam sem localização, sendo adicionados ao conjunto de postos de trabalho na mesma situação:

$$\text{para cada setor } s: U_t \leftarrow U_t \cup M_{st} \quad (12)$$

E são removidos do conjunto de pares de localização de postos de trabalho:

$$\text{para cada setor } s: P_t \leftarrow P_t - \{(j, l) \in P_t | j \in M_{st}\} \quad (13)$$

Por fim, as localizações ocupadas previamente pelos postos de trabalho movidos devem ser adicionados ao conjunto de localizações vagas:

$$V_t = \{l \in L_t^j | \forall j \in J_t(j, l) \notin P_t\} \quad (14)$$

²⁸ É um método estatístico no qual se utiliza uma sequência de números aleatórios para a realização de uma simulação (Yoriyaz, 2009).

Modelo de mobilidade do agregado familiar

Este modelo simula as escolhas dos agregados familiares na decisão de mudança de local de residência.

O modelo de mobilidade dos agregados familiares tem uma configuração semelhante ao modelo de mobilidade de emprego descrito anteriormente. É utilizado o mesmo algoritmo, mas com taxas ou coeficiente aplicáveis a cada tipo de agregado familiar. Para os agregados familiares, as probabilidades de mobilidade são estimadas a partir dos Censos efetuados à população (Sevcikova et al., 2007), que fornecem uma base de dados nacional a partir da qual são calculadas as taxas de mobilidade anual, por tipo de agregado familiar. Isto reflete as taxas de mobilidade de referência para inquilinos e proprietários, e agregados familiares em diferentes etapas da vida.

As aplicações do modelo de mobilidade do agregado familiar necessitam de subtrair os agregados familiares que se mudam, por tipo e por *gridcell*, do parque habitacional, e de adicionar os mesmos ao conjunto de novos agregados familiares, por tipo, estimados no modelo de transição demográfica. A combinação dos novos agregados familiares com os que estão em mudança é a população de agregados familiares a serem alocados pelo modelo de escolha de localização. As vagas habitacionais são atualizadas conforme os agregados em mudança são subtraídos, tornando a habitação livre para ocupação no modelo de escolha de localização do agregado familiar.

Modelo de escolha da localização do emprego

Este modelo é responsável pela determinação da localização dos empregos que ainda não têm local atribuído, seja por terem sido criados recentemente, seja por estarem em processo de mudança de localização (Sevcikova et al., 2007).

Este modelo prevê a probabilidade de um trabalho que seja novo (a partir do modelo de transição económica), ou que tenha mudado de local (a partir do modelo de mobilidade de emprego), ser localizado num determinado local. As *gridcells*, utilizadas como unidade geográfica básica de análise na implantação do modelo, contêm quantidades variáveis de espaço a ser ocupado por empregos. O número de locais de trabalho disponíveis numa *gridcell*

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

dependerá principalmente da área total de espaço não residencial na célula, e da densidade de utilização do espaço (metros quadrados por empregado). Dada a possibilidade de que alguns postos de trabalho sejam localizados em unidades residenciais, no entanto tanto a área habitacional como a não residencial devem ser consideradas na localização do emprego. Define-se a taxa máxima de emprego com base na habitação, utilizando dados locais para uma determinada cidade ou área metropolitana, para identificar o conjunto potencial de espaços disponíveis para emprego baseados na habitação. O conjunto de locais de emprego disponíveis para alocar um posto de trabalho, então, é a união das áreas não residenciais e de um subconjunto das unidades residenciais na célula:

$$|L_t| = \frac{s_l}{r_{sd}} + \frac{h_l}{r_{hd}} \quad (15)$$

Onde:

s_l é um escalar que representa o total de área não residencial, no local l ;

h_l é um escalar que representa o número total de unidades de habitação, no local l ;

r_{sd} é uma taxa de utilização do espaço como área não residencial para o *devtype*²⁹ d (m² por empregado);

r_{hd} é uma taxa de emprego baseado na habitação.

Tanto para o modelo de localização de emprego como para o de localização do agregado familiar, considera-se o parque de espaço disponível como fixo a curto-prazo, no período de simulação anual. A localização de um único posto de trabalho ou agregado familiar não tem poder de mercado suficiente para influenciar o preço de transação, e este deve aceitar o preço atual de mercado como dado (*price taker*).

As variáveis incluídas no modelo de escolha de localização de emprego podem ser obtidas a partir da literatura de economia urbana ou através de inquéritos à população.

As economias de localização representam externalidades³⁰ positivas associadas a locais que têm outras empresas do mesmo setor nas proximidades.

²⁹ Significa tipo de desenvolvimento (*development type*).

³⁰ Significa que a fonte dos ganhos de produtividade se situa no exterior das empresas, no meio que as rodeia. As externalidades podem ser positivas (quando se tem uma fonte de economia externa) ou negativas (quando se trata de uma fonte de deseconomia externa, normalmente relacionada com aspetos ambientais como o congestionamento e a poluição atmosférica) (Silva, 2004).

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Uma complicação na medição da economia de localização e das ligações interindustriais é a determinação da distância relevante para que as economias de aglomeração venham a influenciar as novas escolhas de localização. Por um lado, as economias de aglomeração são suscetíveis de afetar as escolhas de localização empresarial entre estados ou áreas metropolitanas dentro de um estado. Dentro de uma área metropolitana, a preocupação centra-se na economia de aglomeração³¹ a uma escala relevante o suficiente para influenciar na formação de centros de emprego.

Adicionalmente, a idade dos edifícios é incluída no modelo para estimar a influência da depreciação devido à idade dos edifícios comerciais, com a expectativa que as empresas prefiram novos edifícios ao invés dos mais antigos. Uma restauração profunda pode fazer com que o ano de construção do edifício perca parte da sua relevância e que o coeficiente de depreciação pela idade seja atenuado. Nesta altura ainda não é feita no *UrbanSim* a modelação dos investimentos na manutenção e renovação dos edifícios.

A densidade é incluída no modelo de escolha de localização. Espera-se que as empresas, tal como os agregados familiares, revelem diferentes preferências pelo solo baseadas na sua função de produção e nos equipamentos públicos (como espaços verdes e áreas de estacionamento).

Pode-se esperar que certos setores, particularmente no retalho, mostrem preferência por localizações próximas de estradas principais, e estejam dispostos a ofertas mais elevadas por esses locais. A distância a estradas principais pode ser medida em metros, utilizado a grelha espacial. Também se testa a influência residual do modelo monocêntrico³² clássico, medido pelo tempo de viagem até ao centro económico.

O modelo é estimado utilizando uma amostra aleatória de locais alternativos, que fornecem estimativas dos coeficientes consistentes. Para estimar os coeficientes do modelo de escolha de localização é usada uma amostra dos empregos geocodificados em cada setor. Tal como no modelo de escolha de localização do agregado familiar, a aplicação do modelo produz a procura por cada tipo de emprego, para locais das células.

³¹ Consiste nos ganhos de produtividade atribuídos à aglomeração geográfica das populações ou das atividades económicas. Estas economias podem assumir duas formas principais: economias de localização ou economias de urbanização (Silva, 2004).

³² O modelo monocêntrico é um modelo clássico de uma cidade com apenas um centro económico muito forte, com muitas atividades e altas densidades. O crescimento desenvolve-se essencialmente nesse centro, através do aumento das densidades e intensificação de usos (Gomes, 2009).

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

O modelo de localização de emprego processa cada emprego de forma aleatória e questiona as *gridcells* em busca de localizações alternativas a considerar. Estas alternativas são sujeitas a amostragem de forma proporcional à capacidade do espaço edificado na célula para acomodar empregos. O número de alternativas a considerar pode ser determinado pelo utilizador.

Os empregos podem ser localizados nas unidades de habitação, como acontece cada vez mais com o emprego baseado na residência, como o caso do teletrabalho ou de pequenas empresas independentes. Nesta situação é aplicado um modelo *logit* para estimar a probabilidade que um emprego existente tem de se mudar para um dos outros locais alternativos que estão a ser considerados. A simulação de Monte Carlo é utilizada para gerar uma decisão de localizar numa alternativa em particular, e uma vez que esta escolha esteja efetuada, o emprego é alocado à célula, e a respetiva quantidade de vagas e o espaço ocupado na célula é atualizado. Após o espaço de emprego ter sido escolhido e ocupado por um emprego, torna-se indisponível para consideração pelos outros empregos na fila dos empregos a atribuir.

As variáveis independentes utilizadas no modelo de escolha de localização do emprego podem ser agrupadas segundo as categorias das características imobiliárias, acessibilidade regional e efeitos da escala de dimensionamento urbano conforme se indica de seguida:

- Características imobiliárias:
 - Preço;
 - Tipo de desenvolvimento (*mix* de usos do solo, densidade).
- Acessibilidade regional:
 - Acesso à população;
 - Tempo de viagem até ao centro económico, aeroporto.
- Escala de dimensionamento urbano:
 - Proximidade a vias principais, arteriais.
- A economia de aglomeração nos setores e entre eles: formação de centros.

Utilizando estas variáveis independentes, o modelo de localização de emprego é especificado como um modelo *logit* multinomial³³, com equações separadas estimadas para cada setor de emprego. O modelo procede como se segue:

O conjunto de pares localização-emprego contém todos os pares de postos de trabalho colocados e as suas localizações.

³³ Utiliza-se quando a variável dependente é categórica, com mais de duas categorias. Assim, é uma extensão da distribuição de Bernoulli onde a variável dependente tem apenas duas categorias (Gonçalves & Braga, 2008).

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

$$P_t = \{(j, l) | j \in J_t, l \in L_t^j, \text{emprego } j \text{ é alocado à localização } l\} \quad (16)$$

$$U_t = \{j | j \in J_t, \forall l \in L_t^j (j, l) \notin P_t\} \quad (17)$$

$$V_t = \{l | l \in L_t^j, \forall j \in J_t (j, l) \notin P_t\} \quad (18)$$

$$D_{st} = \{(l, p) | l \in V_t, p \text{ é a probabilidade de um emprego no setor } s \text{ ser localizado em } l\} \quad (19)$$

Onde:

D_{st} é o conjunto de pares que representam a probabilidade de um empregado do setor s ser alocado a uma localização em particular, no instante t .

Utiliza-se o método de Monte Carlo para a escolha de localização para cada setor ocorre devido à distribuição dada por D_{st} .

$$F_t = \{(j, l) | j \in U_t, \text{a escolha de Monte Carlo de } l \text{ a partir de } D_{st} \text{ dado o setor } j\} \quad (20)$$

Onde:

F_t é o conjunto de novos pares emprego/localização criado utilizando o submodelo baseado no método de Monte Carlo a partir de D_{st} , para cada setor.

A cardinalidade (número de elementos) do conjunto de novos pares emprego/ localização é restringida para ser igual à cardinalidade do conjunto de empregos sem localização ou ao conjunto de locais desocupados, conforme o que for menor.

$$|F_t| = \min(|U_t|, |V_t|) \quad (21)$$

Por fim, o conjunto de pares emprego/localização é modificado de forma a refletir as novas correspondências, os empregos alocados são removidos do conjunto de empregos sem localização atribuída e as localizações novas ocupadas são removidas do conjunto de locais vagos.

$$P_t \leftarrow P_t \cup F_t \quad (22)$$

$$U_t \leftarrow U_t - \{j \in U_t | \exists l (j, l) \in F_t\} \quad (23)$$

$$V_t \leftarrow V_t - \{l \in V_t | \exists j (j, l) \in F_t\} \quad (24)$$

Modelo de escolha da localização do agregado familiar

Este modelo determina o local a atribuir de cada agregado familiar que ainda não tem localização (Sevcikova et al., 2007).

Neste modelo prevê-se a probabilidade de um agregado familiar que seja novo ou que decidiu mudar-se dentro da região, escolher uma localização em particular definida por uma *gridcell*. Como anteriormente, a forma do modelo é especificada como um *logit* multinomial, com amostragens aleatórias das alternativas do universo das unidades de habitação disponíveis, incluindo as unidades vagadas pelos outros agregados que entretanto se moveram nesse mesmo ano.

A arquitetura do modelo permite que os modelos de escolha de localização sejam estimados pelos agregados familiares estratificados pelo nível de rendimento, a presença ou ausência de crianças e outras características do ciclo de vida. Alternativamente, estes efeitos podem ser incluídos, numa estimativa de modelo simples através das interações das características dos agregados familiares com as características das localizações alternativas. Os valores dos parâmetros utilizados no modelo são obtidos a partir da literatura da economia urbana, geografia urbana e sociologia urbana. Uma característica inicial da especificação do modelo é a incorporação do ‘compromisso’ da economia urbana clássica entre o custo dos transportes e o solo. Esta abordagem tem sido utilizada de forma generalizada, não só para explicar a variação do preço do solo com os tempos de viagem até ao centro do modelo clássico monocêntrico, mas também para o acesso mais generalizado às oportunidades de emprego e compras em regiões policêntricas. Estas acessibilidades para trabalhar e fazer compras são medidas através da contabilização das ‘oportunidades’ em cada zona de destino com a utilidade composta da deslocação disponível com base nos vários modos até ao destino, baseada no *logsum* (já descrito) do modelo de viagem do modo.

Uma vez que os terrenos perto de locais de grande acessibilidade têm preços mais elevados, deve-se esperar que os construtores construam edifícios com grandes densidades. Os consumidores para os quais a área de lazer é o mais importante, devem escolher habitações

Análise prospectiva de modelos de transporte e usos do solo

maiores, com menores acessibilidades, e o inverso deve servir os agregados familiares que valorizam mais a acessibilidade do que o espaço e o terreno, como os agregados familiares com maiores rendimentos e sem crianças.

A idade da habitação é considerada por dois motivos: primeiro, deve-se esperar que a habitação desvalorize com a idade, visto que o tempo de vida de um edifício é finito, e é necessário investimento na manutenção para abrandar a velocidade de deterioração da estrutura; o segundo motivo prende-se com a mudança de estilos arquitetónicos, do valor paisagístico e pelos gostos. Por estes motivos o modelo prevê que os agregados familiares com mais dinheiro prefiram uma nova habitação.

Uma hipótese relacionada com a economia urbana é que, uma vez que a habitação é considerada um bem normal, o seu preço tem uma elasticidade positiva face ao rendimento. Isto implica que quanto maiores forem os rendimentos do agregado familiar, maior a quantia que este está disposto a gastar com a habitação. Uma hipótese semelhante é articulada na sociologia urbana em que a mobilidade social ascendente é associada à proximidade espacial para agregados familiares com maior estatuto. Ambas as hipóteses preveem que os agregados familiares de qualquer nível de rendimentos preferem bairros com níveis médios de rendimento mais elevados. O *UrbanSim* não operacionaliza os conceitos de estatuto social ou assimilação social, mas considera o rendimento na escolha de localização.

Os agregados familiares tendem a mudar para bairros com um estatuto mais elevado do que aqueles de onde saem, sendo as suas unidades de habitação ocupadas por agregados familiares com um estatuto inferior. Inclui-se no modelo uma variável de depreciação com a idade, juntamente com um conjunto de variáveis da composição dos rendimentos do bairro, para testar a filtragem das habitações e as hipóteses relacionadas.

O tipo de habitação é incluído no modelo como um conjunto de variáveis fictícias para tipos de desenvolvimento alternativos. Os tipos de desenvolvimento correspondem à densidade de misturas de usos do solo numa célula, com múltiplas categorias de desenvolvimento residencial e desenvolvimento de usos mistos, que engloba tanto o espaço comercial como o de habitação.

Os agregados familiares têm preferência por bairros nos quais a mistura dos usos de solo seja compatível, sendo o solo residencial um indicador que influencia positivamente as propostas de habitação. Por outro lado, o uso do solo industrial, como um indicador para características de usos do solo menos desejáveis, diminui essas mesmas propostas. Há evidência de que os bairros

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

de uso misto que contêm comércio e serviços, na forma preconizada pelos defensores do Novo Urbanismo³⁴, são avaliados positivamente.

O modelo de localização do agregado familiar é estimado utilizando uma amostragem aleatória das localizações alternativas, como é o caso do modelo de localização de emprego. Na aplicação, a localização de cada agregado é modelada de forma individual e uma amostra das localizações de células alternativas é gerada na proporção da habitação disponível. A simulação de Monte Carlo é utilizada para selecionar as alternativas específicas para serem atribuídas aos agregados familiares e as unidades de habitação vazias ou ocupadas são atualizadas na célula.

O mecanismo de alocação do mercado utilizado na atribuição de agregados familiares e empregos ao espaço disponível, não é feito através de uma solução de equilíbrio geral, na qual os consumidores e fornecedores, otimizam todas as alternativas, com base em informação perfeita e custos de transação nulos. Pelo contrário, a solução é baseada na expectativa de informações incompletas e em custos de transação e pesquisa, de modo a que os agregados familiares que se mudam tentem obter a localização mais satisfatória a partir do parque imobiliário vago amostrado. Os preços correspondem, no fim do ano, às características das localizações e ao balanço da oferta e procura de cada local.

De uma forma semelhante à localização do emprego, as variáveis independentes podem ser organizadas em três categorias:

- Características da habitação:
 - Preços (relacionado com a renda);
 - Tipos de desenvolvimento (densidade, *mix* de usos do solo);
 - Idade da habitação.
- Acessibilidade regional:
 - Acessibilidade ao emprego pelos proprietários;
 - Tempo de viagem para o centro económico e para o aeroporto.
- Escala de dimensionamento urbano:
 - *Mix* de usos do solo e densidade no bairro;
 - Emprego no bairro.

³⁴ O Novo Urbanismo é um movimento de configuração e planeamento urbano que começou nos EUA, na década de 80. Os seus objetivos são reduzir a dependência do transporte individual, melhorar a qualidade de vida dos habitantes, criar espaços caminháveis e bairros com uma matriz densa de habitação, emprego e zonas comerciais (Briney, 2009).

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Modelo de preço do solo

Este modelo simula a evolução do preço do solo em cada *gridcell*, de acordo com as características das mudanças de localização ao longo do tempo (Sevcikova et al., 2007).

O *UrbanSim* utiliza os preços do solo como indicador da correspondência entre a oferta e a procura de terrenos em diferentes locais e com diferentes tipos de desenvolvimento, e das avaliações do mercado relativas aos atributos de habitação, do espaço não-residencial e da localização. Isto é importante na percepção do interesse dos consumidores nos terrenos e edifícios, com base nas preferências destes e na sua capacidade de pagamento, sendo um reflexo do funcionamento dos mercados imobiliários reais. Uma vez que os preços influenciam as funções de escolha de localização para empregos e agregados familiares, um ajustamento nos mesmos deve alterar as preferências de localização. Qualquer ajuste no preço dos terrenos altera as preferências também dos construtores.

São feitas as seguintes suposições:

- Os agregados familiares, empresas e construtores são todos *price-takers* e os ajustes do preço são feitos pelo próprio mercado em resposta à procura agregada e às relações de fornecimento. Cada um responde à informação de preço do período anterior;
- As preferências de localização e desequilíbrios entre a oferta e a procura são capitalizados em valores de terrenos. O valor dos edifícios reflete apenas os custos de reposição e pode incluir variações de custos de desenvolvimento, devido a restrições ambientais do terreno ou à política de desenvolvimento;
- Há uma taxa de desocupação estrutural de longo prazo, para cada tipo de propriedade, e a relação entre as taxas de desocupação reais e as taxas de desocupação a longo prazo influenciam os ajustes de preço.

O preço do solo é modelado utilizando uma regressão hedónica³⁵ com os valores dos atributos do terreno e do ambiente, incluindo os usos mistos do solo, densidade de desenvolvimento,

³⁵ Este método permite incluir variações de preço baseadas no valor dos recursos ambientais que influenciam os bens comercializados. É aplicável nos casos em que o preço de um bem é diretamente influenciado por fatores externos ambientais. O exemplo mais utilizado é, de facto, o mercado imobiliário, onde o valor de duas propriedades ou apartamentos semelhantes vai diferir, dependendo das restrições ambientais e dos equipamentos instalados na vizinhança de cada sítio. Assim, se na proximidade houver um depósito de resíduos perigosos, isto vai conduzir a

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

proximidade de autoestradas e outras infraestruturas, o plano de usos do solo ou restrições de zonamento e efeitos da vizinhança. A regressão hedónica pode ser estimada a partir de operações de venda se houverem transações suficientes para todos os tipos de propriedades, e se houver informação suficiente do lote e da sua localização.

A equação de regressão hedónica inclui interações entre a procura e a oferta, revelando as avaliações implícitas para localização e as características estruturais. Estes preços relativos são consistentes ao longo do tempo, com o reconhecimento de que os valores relativos, em locais específicos, variam com as alterações das características subjacentes. Como a regressão hedónica inclui variáveis que são mantidas como parte do sistema de simulação, estas podem ser utilizadas para atualizar os preços relativos ao longo do tempo.

Além destes preços relativos capturados pela regressão hedónica, o nível geral de preços no mercado para cada tipo de imóvel, modifica-se ao longo do tempo, como resposta às mudanças entre a oferta e a procura. Estas flutuações podem ser representadas através da relação entre a taxa de desocupação do mercado real e a taxa de desocupação estrutural de longo prazo. Quando a taxa de desocupação do mercado real é mais baixa do que a taxa estrutural, os níveis de preços sobem, e quando a taxa de desocupação real é mais alta que a taxa estrutural, os preços descem.

Estes dois efeitos nos preços são combinados no modelo de preço do solo. A equação de regressão hedónica estimada é utilizada para estabelecer preços relativos e a interceção da equação é ajustada com base na posição relativa da taxa de desocupação real e estrutural, conforme se mostra:

$$P_{ilt} = \alpha + \delta \left(\frac{V_i^s - V_{it}^c}{V_i^s} \right) + \beta X_{ilt} \quad (25)$$

Onde:

P_{ilt} é o preço de solo, por hectare de tipo de desenvolvimento i , no local l , no instante t ;

V_{it}^c é a taxa de desocupação real, no instante t , ponderando a desocupação local e regional;

V_i^s é a taxa de desocupação estrutural a longo-prazo;

X_{ilt} é um vetor dos atributos de localização;

α , δ e β são parâmetros estimados.

uma redução mensurável no preço do imóvel (em comparação com os imóveis comparáveis noutros locais), esta diferença de preços dá uma indicação do custo externo da degradação ambiental (King & Mazzotta, 2000).

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

Os preços são atualizados anualmente, depois de todas as construções e atividades de mercado estarem completas, sendo então utilizados como valores de referência para as atividades do mercado do ano seguinte.

As variáveis independentes que influenciam os preços do solo podem ser organizadas em características do local, acessibilidade regional, efeitos da escala de dimensionamento urbano e condições de mercado, conforme se segue:

- Características do local:
 - Tipo de desenvolvimento;
 - Plano dos usos do solo;
 - Restrições ambientais.
- Acessibilidade regional:
 - Acesso à população e ao emprego.
- Escala de dimensionamento urbano:
 - *Mix* de usos do solo e densidade;
 - Proximidade de autoestradas e vias arteriais.
- Condições de mercado:
 - Taxas de desocupação.

Modelo de desenvolvimento imobiliário

Este modelo simula as ações dos agentes responsáveis pelas tomadas de decisão sobre o local e o tipo de construção a realizar, incluindo tanto as novas construções como a reabilitação das estruturas existentes (Sevcikova et al., 2007).

O modelo de desenvolvimento imobiliário simula a construção de novos imóveis, seja através da construção de um novo desenvolvimento, seja pela intensificação ou conversão de desenvolvimento existente. Os dados são estruturados como *gridcells*, atualmente de 150x150 m de resolução (embora seja uma questão de especificação e não por uma restrição imposta pelo *software*).

Os dados dos lotes são pré-processados para obter a intersecção de lotes e *gridcells* e, em seguida, para a construção de uma representação composta do desenvolvimento imobiliário dentro de cada célula. As células são então classificadas com base na sua composição de imóveis, em tipos de desenvolvimento (*DevType*), como se apresenta na Tabela A.1. A

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

classificação é baseada no número de unidades de habitação e na quantidade de área não-residencial da célula. As células que contêm algumas habitações e pouca área não-residencial são consideradas células de caráter residencial. Aquelas que contêm uma mistura diversa de habitação e área não-residencial são consideradas de uso misto. Por fim, aquelas que contêm principalmente área não-residencial são classificadas nos tipos comercial, industrial ou governamental.

Tabela A.1 – Tipos de desenvolvimento.

<i>DevType</i>	Nome	Unidades	Área (m ²)	Principal utilização
1	R1	1	< 1 000	Residencial
2	R2	2 - 4	< 1 000	Residencial
3	R3	5 - 9	< 1 000	Residencial
4	R4	10 - 14	< 2 500	Residencial
5	R5	15 - 21	< 2 500	Residencial
6	R6	22 - 30	< 2 500	Residencial
7	R7	31 - 75	< 5 000	Residencial
8	R8	≥ 76	< 5 000	Residencial
9	M1	0 - 9	1 000 - 4 999	Misto R/C
10	M2	10 - 30	2 500 - 4 999	Misto R/C
11	M3	10 - 30	5 000 - 24 999	Misto R/C
12	M4	10 - 30	25 000 - 49 999	Misto R/C
13	M5	10 - 30	≥ 50 000	Misto R/C
14	M6	≥ 31	1 000 - 24 999	Misto R/C
15	M7	≥ 31	25 000 - 49 999	Misto R/C
16	M8	≥ 31	≥ 50 000	Misto R/C
17	C1	< 10	1 000 - 24 999	Comercial
18	C2	< 10	25 000 - 49 999	Comercial
19	C3	< 10	≥ 50 000	Comercial
20	I1	< 10	1 000 - 24 999	Industrial
21	I2	< 10	25 000 - 49 999	Industrial
22	I3	< 10	≥ 50 000	Industrial
23	GV	≥ 0	≥ 0	Governamental
24	VC	0	0	Vaga
25	UN	0	0	Não passíveis de desenvolvimento

Adaptado de: Waddell et al. (2003)

Os dados para estimar os coeficientes para o modelo de desenvolvimento derivam de um pré-processamento dos dados dos lotes das *gridcells*, utilizando dados anuais anteriores. O processo de preparação de dados atribui os valores anuais para esses registros, examinando as células ao

Análise prospetiva de modelos de transporte e usos do solo

redor do mesmo tipo e projetado a partir da distribuição dos valores observados. Quando os dados estão completos, são identificados eventos de desenvolvimento histórico por um período de tempo especificado pelo utilizador, e estes eventos são extraídos para um ficheiro para posterior análise. Os eventos correspondem às alterações no desenvolvimento imobiliário dentro de uma célula que é identificado através da análise dos valores anuais nos dados. Isto significa que o processo é capaz de identificar qualquer nova construção que tem um ano de construção dentro do período especificado. No entanto, isto não identifica eventos que envolvam a diminuição de edifícios em algum momento do passado, uma vez que normalmente não há registo desses edifícios demolidos na base de dados.

O resultado deste processo é a produção de um conjunto de eventos de desenvolvimento imobiliário que representam todas as transições observadas entre quaisquer pares de tipos de desenvolvimento, em cada ano do período de tempo histórico especificado. A fatia de tempo para determinar a existência de um evento é anual, uma vez que este é o limite da informação dos imóveis antigos. Além disso, alguns eventos de desenvolvimento podem ser observados nos dados que não indicam uma mudança de tipo de desenvolvimento, mas sim uma intensificação da utilização dentro do intervalo especificado na definição dos tipos de desenvolvimento.

O modelo de desenvolvimento imobiliário está estruturado de forma a prever a probabilidade de, num único ano de simulação, uma *gridcell* experimentar um evento de desenvolvimento, e se isso não acontecer, identifica o tipo de evento que é mais provável. É utilizado um modelo *logit* multinomial para estimar estas probabilidades. Logo que as probabilidades são estimadas para uma *gridcell*, o compromisso de desenvolvimento é simulado recorrendo mais uma vez ao método de Monte Carlo. O modelo de desenvolvimento gera as características mais prováveis do desenvolvimento de uma *gridcell*: o número de unidades de habitação, a área de espaço comercial, industrial e governamental, o valor de melhoria e o calendário de construção. Estas características são então adicionadas à fila dos eventos de desenvolvimento para serem executadas, conforme agendado.

As variáveis independentes utilizadas no modelo de desenvolvimento imobiliário podem ser organizadas em categorias:

- Caraterísticas locais:
 - Caraterísticas de desenvolvimento existentes;
 - Plano de usos do solo;
 - Restrições ambientais.
- Escala de dimensionamento urbano:

ANEXO I – Tipos de modelos presentes no *UrbanSim*

- Proximidade de autoestradas e vias arteriais;
- Proximidade do desenvolvimento existente;
- *Mix* de usos do solo e valor das propriedades do bairro;
- Desenvolvimentos recentes no bairro.
- Acessibilidade regional:
 - Acesso à população e ao emprego;
 - Tempo de viagem para o centro económico, aeroporto.
- Condições de mercado:
 - Taxas de desocupação.

Utilizando estas variáveis, o modelo de desenvolvimento imobiliário simula a probabilidade de cada transição possível de um tipo de desenvolvimento para o outro, para todas as células na base de dados do modelo. O modelo procede da seguinte forma:

$$T = \{(d_1, d_2) | \text{devtype } d_1 \text{ pode transitar para o devtype } d_2\} \quad (26)$$

$$T_{lt} = \{d_2 | (d_1, d_2) \in T, l \in L_t, d_1 \text{ é o devtype de } l\} \quad (27)$$

$$P_{lt} = \{(d, p) | j \in T_{lt}, p \text{ é a probabilidade de transição para o devtype } d \text{ no local } l\} \quad (28)$$

Onde:

T é o conjunto de transições válidas do tipo de desenvolvimento;

T_{lt} é o conjunto de todas as transições de tipo de desenvolvimento, no local l , no instante t ;

L_t é o conjunto de todas as localizações, no instante t ;

P_{lt} é o conjunto de probabilidades de transitar de um tipo de desenvolvimento em particular, no local l , no instante t .

O tipo de desenvolvimento para cada local é definido como sendo o resultado de uma transição escolhida. Uma transição é provável quando não inclui mudanças.

Pode-se definir o conjunto L_{dt} dos pares de localização e tipo de desenvolvimento, no instante t :

$$L_{dt} = \{(l, d) | (d, p) \in T_{lt}, l \in L_t, d \text{ é escolhido dada uma amostragem de Monte Carlo de } p\} \quad (29)$$