

# **AJUSTE DO MODELO DINÂMICO INTEGRADO DE USO DO SOLO E TRANSPORTES MARS PARA UMA CIDADE BRASILEIRA DE GRANDE PORTE**

*LOPES, Simone Becker, EESC – USP, São Carlos, SP, Brasil, [simone@sc.usp.br](mailto:simone@sc.usp.br)*

*SILVA, António Nelson R., EESC – USP, São Carlos, SP, Brasil, [anelson@sc.usp.br](mailto:anelson@sc.usp.br)*

*PFAFFENBICHLER, Paul, IVV – TUW, Viena, Austria, [pfafpa@wolf.ivv.tuwien.ac.at](mailto:pfafpa@wolf.ivv.tuwien.ac.at)*

## **RESUMO**

O objetivo do presente trabalho é apresentar o processo de ajuste do modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*) para a realidade de uma cidade brasileira de grande porte. Trata-se de um modelo estratégico, dinâmico e integrado de uso do solo e transportes, desenvolvido na Universidade de Tecnologia de Viena, Áustria. Hoje o MARS já está sendo aplicado em doze cidades da Europa e quatro cidades da Ásia. Está em fase de desenvolvimento nos Estados Unidos, na cidade de Washington, D.C., e, no Brasil, para a cidade de Porto Alegre, a qual constitui o estudo de caso deste trabalho. O ajuste do MARS, apresentado neste trabalho, compreendeu as etapas de levantamento, tratamento e análise dos dados para a alimentação do modelo para Porto Alegre (MARS-POA). Apresenta-se uma análise dos problemas verificados para obtenção das variáveis e das soluções encontradas, através do desenvolvimento de um “Guia de Coleta de Dados”. Problemas de formatos de algumas bases, inexistência de informação, nível de agregação e, inclusive, de incongruência dos dados exigiram muito esforço e tempo em análises estatísticas e espaciais para a obtenção das variáveis. Novos rumos tiveram que ser tomados para o processo de calibração e validação do modelo para Porto Alegre. Espera-se que o guia desenvolvido para este trabalho possa auxiliar no ajuste de outros modelos para o Brasil e possa orientar no momento do planejamento de novas coletas de dados de uso do solo e transportes. Finalmente, cabe salientar que após terem sido contornados os problemas encontrados, um Modelo MARS-POA está em fase final de calibração e, a exemplo das aplicações nas cidades da Europa e da Ásia, pode ser de grande contribuição para futuros estudos de planejamento da mobilidade em Porto Alegre.

*Palavras chave: Uso do Solo e Transportes, Mobilidade Urbana, Modelagem Dinâmica, Obtenção de Dados*

## **INTRODUÇÃO**

A busca do desenvolvimento sustentável é um dos principais interesses atuais dos setores ligados ao planejamento urbano, pois os sistemas de transportes e o uso do solo dão sinais inequívocos de insustentabilidade em cidades de todo o mundo. Aspectos como o espalhamento urbano, a poluição, o consumo de recursos não renováveis, congestionamentos e acidentes, entre outros, tornam o planejamento urbano cada vez mais complexo e dependente de bons instrumentos de apoio à decisão para que os objetivos globais de sustentabilidade sejam atingidos. O transporte tem papel fundamental nesse processo, como um instrumento relevante e eficaz de reestruturação urbana, capaz de gerar vetores de expansão controlada ou direcionada. Para tanto, deve estar inserido no planejamento integrado das cidades, incorporando os princípios da sustentabilidade e submetido aos interesses da maioria da população, conforme vem sendo enfatizado pelo Ministério das Cidades no Brasil.

O conceito de planejamento da mobilidade preconizado para os municípios brasileiros se contrapõe aos planos de transportes tradicionais. Representa uma reformulação de conteúdo, pois a mobilidade é um atributo das cidades, relativo ao deslocamento de pessoas e bens, utilizando veículos, vias e toda a infraestrutura urbana. É bem mais abrangente do que a forma tradicional de tratar os elementos da circulação, não os considerando de forma segmentada e administrando a circulação de pessoas e não de veículos. No planejamento de transporte tradicional os modelos de demanda têm sido amplamente utilizados com a finalidade de prever mudanças nas viagens e na utilização do sistema de transportes, em função do desenvolvimento de regiões, de alterações demográficas e de mudanças na oferta. Muitos são os fatores intervenientes, tais como renda, posse de veículos, localização e características dos domicílios, dos empregos e das instituições de ensino. A partir dos anos 1980, avanços tecnológicos intensificaram e aprimoraram as técnicas de modelagem. No entanto, cabem muitas críticas aos modelos tradicionais, como o modelo de quatro etapas.

Entre outras limitações, os modelos tradicionais em geral não incorporam características espaciais na estrutura dos dados. Além disso, como parte das deficiências se deve também ao fato de não serem consideradas mudanças urbanas relativas ao uso do solo, isso reforça a necessidade de projeções baseadas no estudo da dinâmica do desenvolvimento urbano, o qual constitui a motivação desta pesquisa. Mais ainda, o que se propõe é um instrumento de apoio à decisão capaz de avaliar planos de transporte voltados à nova visão de planejamento da mobilidade e sua busca por um desenvolvimento urbano sustentável.

O modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*), o qual foi selecionado após a análise preliminar de mais de vinte alternativas, constitui tal ferramenta. Trata-se de um modelo estratégico, dinâmico e integrado de uso do solo e transportes, desenvolvido por Pfaffenbichler (2003) na Universidade de Tecnologia de Viena, Áustria. É um modelo amplamente testado e vem sofrendo melhorias constantes a cada nova cidade onde é aplicado para estudos de desenvolvimento urbano sustentável. Hoje o MARS já está sendo aplicado em 16 cidades da Europa e Ásia. Está em fase de desenvolvimento nos Estados

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Néelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

Unidos, na cidade de Washington, D.C., e no Brasil, para a cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, a qual constitui o estudo de caso apresentado neste trabalho. O ajuste do MARS para Porto Alegre, apresentado neste artigo, compreendeu as etapas de levantamento, tratamento e análise dos dados para a alimentação do modelo. Apresenta-se o método desenvolvido para acompanhamento da obtenção de dados e alimentação das noventa variáveis do modelo, que permitiu o registro e análise dos problemas e soluções encontradas para o ajuste do MARS-POA.

## **MODELOS INTEGRADOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTES**

A urbanização, o desenvolvimento econômico e o aumento nos padrões de vida que ocorreram ao longo do século passado geraram pressões para o aumento contínuo da oferta de transporte urbano. Agora, entretanto, as pressões políticas estão mudando – a qualidade do ambiente urbano, a inclusão social e o acesso de todos têm de ser tratados em paralelo com as pressões por mais transportes, geradas pelo desenvolvimento econômico. Os desafios que os líderes municipais, as empresas e os gestores dos sistemas de transportes urbanos enfrentam agora estão se tornando cada vez mais complexos. Um método que trata dessa complexidade é representado pelos modelos de interação do uso do solo e transportes (LUTI – *Land Use Transport Interaction*), que são desenvolvidos para prever as interações entre o desenvolvimento econômico e a demanda por transportes e vice-versa. Um dos primeiros modelos operacionais de uso do solo foi apresentado por Lowry (1964), inspirado em analogia com a física, no caso, com a lei da gravidade. Hoje, a maioria dos modelos utilizados na prática tem por base a teoria da utilidade aleatória, cujo princípio é o de maximização da utilidade, proveniente da micro-economia. Outra abordagem em modelagem do uso do solo, como, por exemplo, o modelo MUSSA, é baseada na teoria de oferta de escolha (*bid-choice theory*), conforme apresentado por Martínez (1996) e Martínez e Donoso (2001).

Normalmente, os modelos LUTI combinam dois sub-modelos, um de uso do solo e outro de transporte, o que gera um comportamento dinâmico baseado em lapsos de tempo entre os dois sistemas. Apresentam estrutura modular, o que implica em flexibilidade para incluir outros aspectos, tais como mercados imperfeitos (DSC/ME&P, 1999). Alguns dos modelos LUTI mais avançados são os IRPUD (Wegener, 1998), DELTA (Simmonds, 1999 e 2001), MEPLAN (Echenique *et al.*, 1990), URBANSIM (Waddell, 2002), MUSSA (Martínez, 1996 e Martínez e Donoso, 2001) e MARS (Pfaffenbichler, 2003 e Pfaffenbichler *et al.*, 2008). Desenvolvimentos recentes têm sido no sentido de um maior detalhamento dos modelos baseados em agentes e de micro-simulação, como o ILUTE (Salvini e Miller, 2005), ou representações de uso do solo com base em células (Lau e Kam, 2005), onde as probabilidades de transição são usadas para atualização de uso do solo ao longo do tempo. Iacono *et al.* (2008) dão uma boa visão geral dos modelos e sua história, apresentando o desenvolvimento cronológico e uma classificação dos modelos LUTI.

Uma característica distinta da interrelação entre transporte e uso do solo é que as mudanças nesses dois sistemas ocorrem em velocidades significativamente diferentes. Enquanto os usuários respondem rapidamente às mudanças no sistema de transportes, o

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Néelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

sistema de uso do solo é caracterizado por um considerável grau de inércia, principalmente devido ao fato de que os sistemas de uso do solo estão envolvidos por estruturas físicas, tais como os edifícios e infraestruturas urbanas. Apesar disso, a maioria dos modelos LUTI segue a abordagem tradicional de modelagem dos transportes, ou seja, de acordo com a noção de equilíbrio, cujos modelos fazem previsão de mudanças nos transportes e no uso do solo vinte ou trinta anos à frente, portanto, sem qualquer ligação das projeções futuras com as condições atuais. O caminho para o estado futuro é desconhecido. As exceções são os modelos IRPUD, DELTA e MARS.

Os modelos DELTA, IRPUD, URBANSIM e os modelos baseados em agentes são exemplos de modelos detalhados, mas o modelo MARS foi construído em um nível mais agregado e estratégico. O objetivo era tornar o modelo rápido e amigável e, ao mesmo tempo, facilmente compreendido pelos tomadores de decisão, em vez de uma “caixa preta”. O Modelo MARS foi desenvolvido através de uma abordagem de Dinâmica de Sistemas, representada por diagramas de circuitos causais. Utilizou, num primeiro momento, resultados da Áustria, mas atualmente está sendo usado em muitos projetos de investigação na União Européia e as aplicações do Modelo MARS já estão em 16 cidades em todo o mundo (Gateshead, Leeds e Edinburgh, na Grã-Bretanha, Oslo e Trondheim, na Noruega, Helsinki, na Finlândia, Viena, Salzburg e Eisenstadt, na Áustria, Madri, na Espanha, Estocolmo, na Suécia, Ho Chi Minh City e Hanói, no Vietnã, Chiang Mai e Ubon Ratchantani, na Tailândia, Bari, na Itália, Washington, D.C., nos Estados Unidos e Porto Alegre, no Brasil), sendo que nas duas últimas estão em fase final de desenvolvimento.

## **MODELO MARS**

O MARS é um modelo dinâmico que integra uso do solo e transportes e cuja hipótese básica é que os assentamentos e as atividades dentro deles são sistemas auto-organizados. O MARS é baseado em princípios de dinâmica de sistemas (Sterman, 2000) e sinérgica (Haken, 1983), tendo seu desenvolvimento iniciado em 2000, em parte financiado por projetos de pesquisa da União Européia. A presente versão do MARS é implementada no Vensim®, um ambiente de programação de Dinâmica de Sistemas, sendo capaz de analisar combinações de políticas municipais e regionais e de avaliar os seus impactos ao longo de um período de planejamento de 30 anos em menos de um minuto. O modelo MARS é constituído por elementos de transporte e de uso do solo e dividido em módulos (Figura 1).

### **Módulo de Entrada de Dados - Configuração de Cenários**

Módulo em que as tendências dentro da região em estudo são definidas pelo usuário, como, por exemplo, as hipóteses de crescimento da população ou as previsões de desenvolvimento econômico. É utilizado para a seleção de parâmetros globais de diferentes cenários a serem testados com o MARS.

## **Módulo de Configuração de Políticas**

Módulo que tem o propósito de organizar as diferentes políticas ao longo do tempo e que permite aos usuários especificar o ponto inicial e final, bem como o nível inicial e final de cada intervenção. Por exemplo, é possível testar o impacto de níveis crescentes de tarifas do transporte público, começando no ano 3 com um valor inicial de +20% e aumentando linearmente até atingir 50% no ano 12, a partir do qual o valor da tarifa fica constante até o final da simulação. Através deste módulo é possível especificar vários perfis políticos simultaneamente. Dependendo do estudo de caso, mais de 15 diferentes instrumentos podem ser combinados em um simulador (*Flight Simulator*), interface gráfica que permite que o usuário controle facilmente a configuração de políticas através de botões deslizantes (*sliders*) e possa avaliar, em menos de um minuto, os impactos (efeitos sinérgicos) das diferentes combinações de fatores.

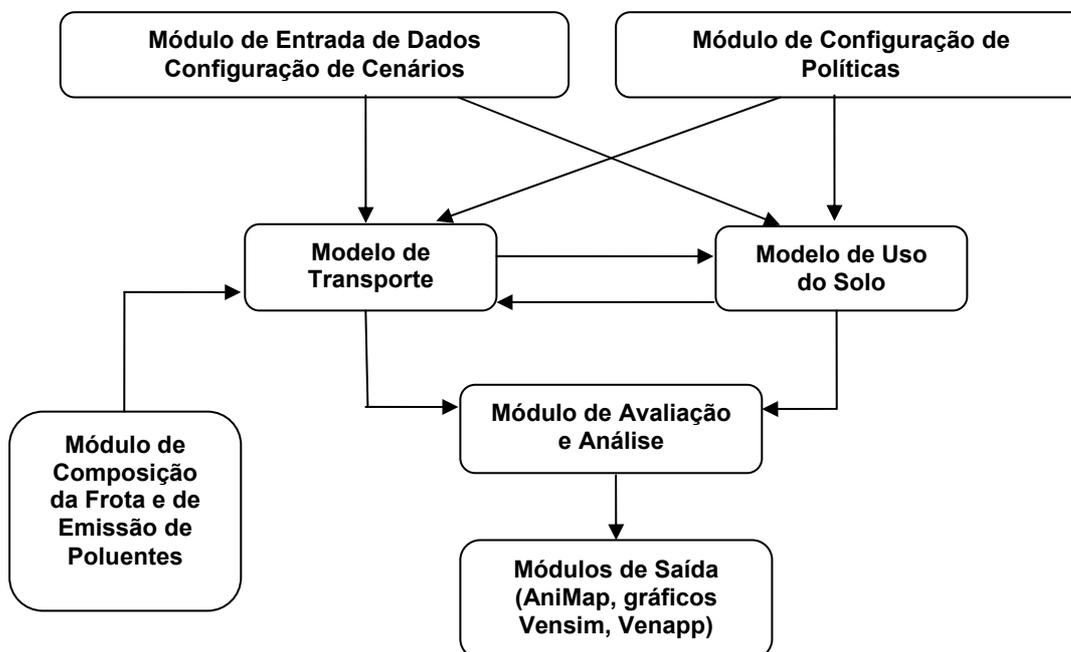


Figura 1: Estrutura básica do Modelo MARS.

## **Modelo de Transporte**

O modelo de transportes de passageiros contempla a geração de viagens, a distribuição de viagens e a escolha do modo de transporte. A geração de viagens calcula o número de viagens que começam ou terminam em uma determinada zona, a distribuição de viagens aloca o número total de viagens a todos os pares origem-destino (O-D) e a escolha do modo distribui as viagens para os diferentes meios de transporte, normalmente em termos de porcentagem. Esses elementos são os três primeiros passos do modelo clássico de transporte (Ortúzar e Willumsen, 1994), sendo calculados simultaneamente por um modelo gravitacional (maximização de entropia). Os modos de transporte considerados no MARS são: lento (não-motorizado: a pé ou bicicleta), carro, transporte público (ônibus) e transporte

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

público (trem). Em algumas aplicações do MARS as motocicletas são consideradas, separadamente, como um meio de transporte.

O resultado final de uma etapa de simulação do modelo de transporte apresenta velocidade média de percurso, distribuição dos comprimentos de viagem, custos médios e número de viagens por meio de transporte, por par O-D, dividido em dois motivos (trabalho e outros), nos períodos de pico e fora de pico. Os resultados são combinados para a determinação da acessibilidade geral, que é transferida para o modelo de uso do solo.

Para facilitar o entendimento dos conceitos do MARS por parte de seus usuários (planejadores, políticos e acadêmicos), foram desenvolvidos diagramas de circuitos causais tanto para o modelo de transporte como para o modelo de uso do solo. A Figura 2 apresenta os fatores que afetam o número de viagens diárias de carro de uma zona à outra. Começando com o circuito B1, que é uma realimentação de equilíbrio, nota-se que o aumento de viagens diárias por carro ocorre com o aumento da atratividade do carro e aumenta o tempo de procura por uma vaga de estacionamento. Isso, por sua vez, diminui a atratividade da utilização de carro, o que demonstra a natureza de equilíbrio do circuito B1. O circuito B2 representa o efeito de congestionamento, pois com o aumento do número de viagens de carro há diminuição da velocidade, os tempos de viagem aumentam e a atratividade do carro diminui. O circuito B3, que também é uma realimentação de equilíbrio, mostra o impacto nos custos de combustível, sendo que no caso urbano, com o aumento de velocidade há redução no consumo de combustível.

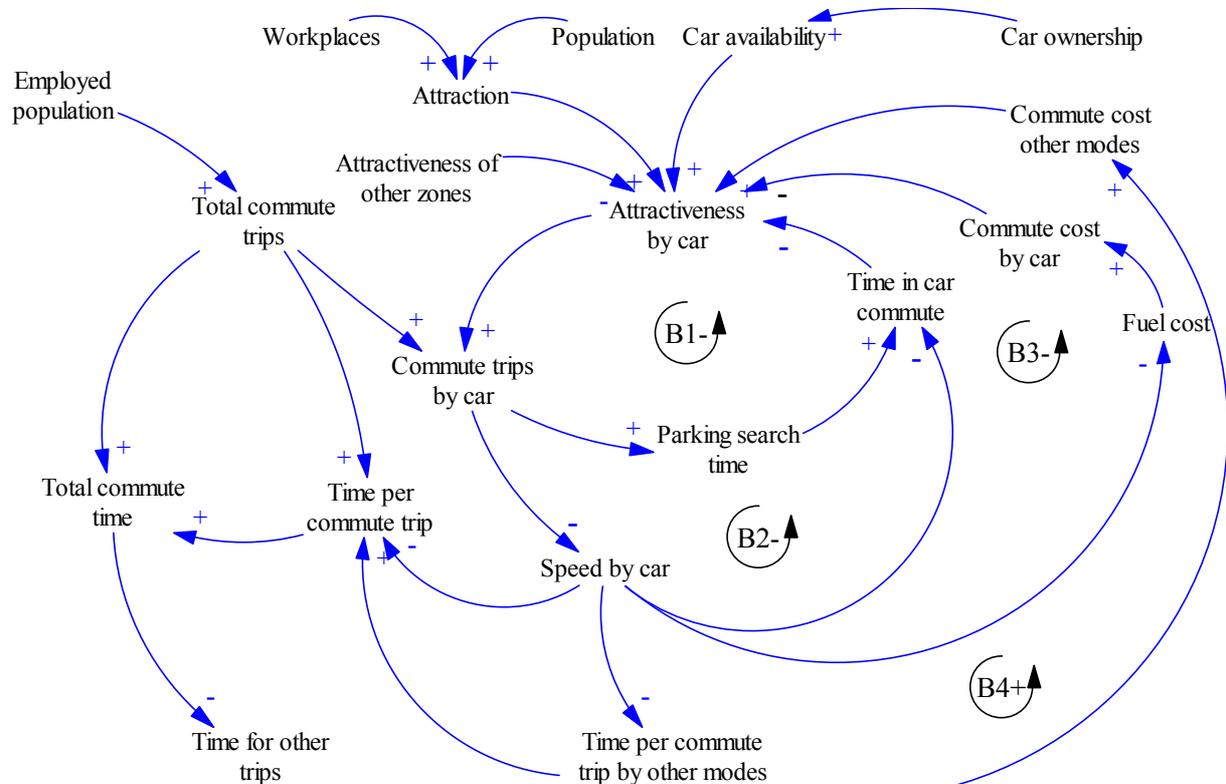


Figura 2: Diagrama de circuitos causais no Modelo de Transporte – viagens pendulares

## **Modelo de Uso do Solo**

O modelo de uso do solo simula, com base no princípio de mercados concorrenciais e considerando restrições como disponibilidade de terreno, o desenvolvimento de novas moradias ou empreendimentos nas diferentes zonas. O modelo residencial é dividido em desenvolvimento de unidades habitacionais, dirigido pelos empreendedores imobiliários (oferta), e em escolha de localização de residências por parte da população (procura). Para o setor de trabalho, o processo de decisão sobre onde investir e construir empreendimentos é feito pelos próprios empreendedores, com base nas informações de acessibilidade decorrentes do modelo de transporte, que levam em consideração as forças de mercado dentro das zonas. Portanto, no MARS há um modelo simplificado que combina o desenvolvimento (oferta) com a localização (demanda). O resultado final de uma etapa de simulação do modelo de uso do solo é a previsão da população e a distribuição dos postos de trabalho.

### *Sub-modelos de desenvolvimento e de localização de unidades habitacionais*

A Figura 3 mostra diagramas de circuitos causais para a criação de unidades habitacionais e para a escolha da localização por parte dos residentes. O circuito H1 é uma realimentação de equilíbrio que mostra que a atratividade de uma determinada zona para o empreendedor é função da receita que ele poderá obter que, por sua vez, depende da demanda por habitação, que está relacionada com o número de habitações existentes e à evolução prevista no número de habitações. À medida que novas moradias são construídas, aumenta o estoque, o que reduz a demanda, com redução da receita e, portanto, da atratividade. O circuito H2 é de reforço, pois com novas residências há redução da demanda e, também, da receita e, conseqüentemente, do preço da terra, o que, por sua vez, torna o desenvolvimento da região mais atraente para o empreendedor, quando todos os outros elementos são iguais. O circuito H3 representa a limitação de terras disponíveis para ocupação, ou seja, com a redução de terras disponíveis há redução da atratividade. O circuito H4 é em continuidade ao H3, representando o efeito da disponibilidade de terras no preço da terra.

Os circuitos de desenvolvimento das unidades habitacionais estão ligados à escolha dos locais de moradia. Em primeiro lugar, os principais elementos que influenciam a escolha da localização são as despesas com moradia, a acessibilidade e a qualidade da área (algo de difícil mensuração, que pode ser associado, por exemplo, à quantidade de área verde em um bairro, como em Viena, ou à renda média, como em Leeds). O circuito principal na escolha residencial é o M1, que é uma realimentação de equilíbrio, pois quanto mais pessoas se mudam para uma determinada região, maior é a demanda, maiores são as despesas com moradia, o que causa, portanto, redução de atratividade. O circuito M2 é, também, de equilíbrio, e mostra que, com o aumento do número de residentes, ocorre aumento de congestionamento, o que reduz a acessibilidade aos locais de trabalho e, conseqüentemente, a atratividade da região.

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nélson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

O circuito M3 é uma realimentação positiva, que mostra simplesmente que o aumento do número de residentes em uma zona também aumenta o potencial de saída de residentes (10% dos residentes por ano, por exemplo). Isso aumenta o leque de potenciais migrantes, que inclui também o crescimento da população. O circuito M4 também é uma realimentação positiva que estende o circuito H1, ou seja, com o aumento de residentes há aumento de demanda, que aumenta a atratividade. Deve-se destacar que o estoque habitacional disponível pode limitar o número de pessoas que podem se mudar para uma determinada zona, sendo o excesso de demanda realocado para outras zonas (Mayerthaler *et al.*, 2009a; Mayerthaler *et al.*, 2009b).

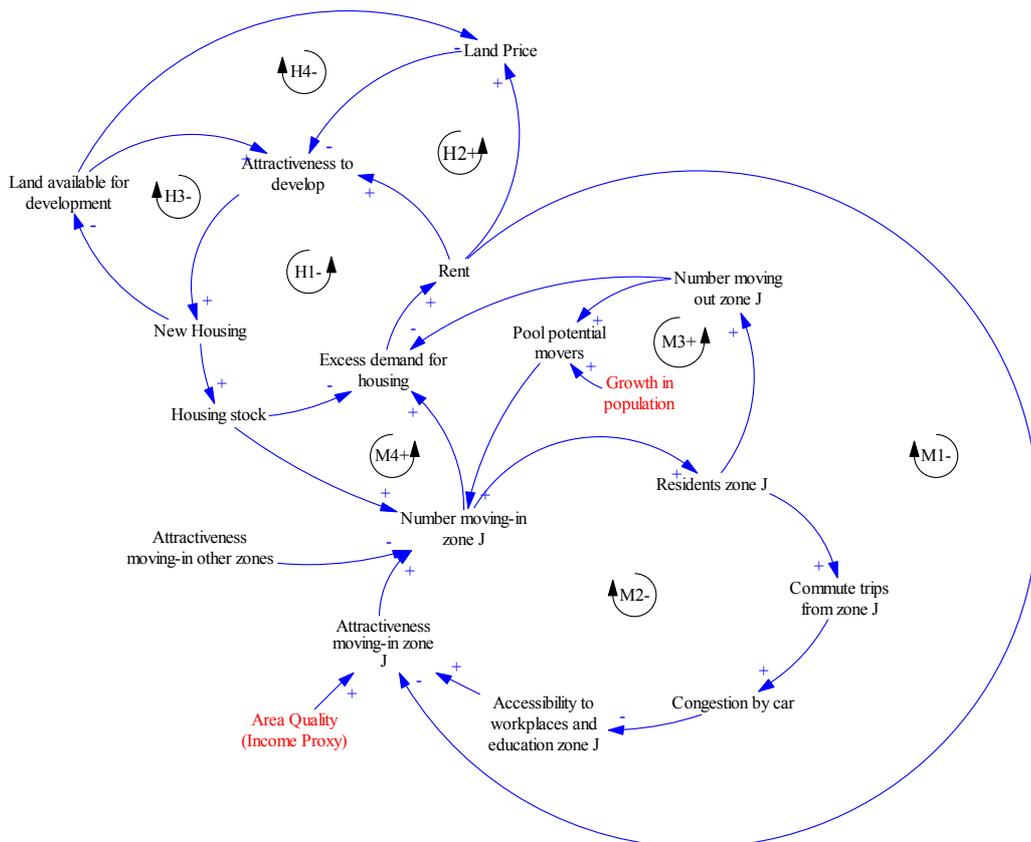


Figura 3: Diagrama de circuitos causais para o desenvolvimento de unidades habitacionais

*Submodelo de localização de postos de trabalho*

Há duas abordagens diferentes para a modelagem da localização de postos de trabalho. Inicialmente, novos empreendimentos são controlados por taxas de crescimento econômico exógenas, enquanto que a disponibilidade de terras utilizáveis, o preço da terra e a acessibilidade são utilizados por um modelo de transporte gravitacional (Modelo Logit) para distribuir os postos de trabalho entre as zonas individuais. Em segundo lugar, o MARS permite a previsão do encolhimento de certas zonas até a "morte" dos setores industriais, ou seja, considera parâmetros, estimados através de análises empíricas, que permitem ao modelo simular mudanças de zonas primordialmente industriais em zonas residenciais.

## **Módulo de Composição da Frota e de Emissão de Poluentes**

É usado para converter a quilometragem percorrida e a velocidade do veículo, calculadas no modelo de transporte do MARS, em emissões de poluentes atmosféricos, tais como NO<sub>x</sub>, CO<sup>2</sup> etc. Compreende as previsões de evolução da composição da frota para as diferentes regiões (Europa e Ásia, por exemplo), feitas a partir de modelos de alto nível, como o POLES e o ASTRA, que, respectivamente, simulam os mercados mundiais de energia e transportes para a União Européia (Shepherd *et al.*, 2008), visando apresentar cenários de como os avanços tecnológicos podem afetar as emissões futuras de gases do efeito estufa.

## **Módulo de Avaliação**

Vários indicadores são calculados, como, por exemplo, repartição por meio de transporte, distribuição da população, consumo de combustível, tempo médio de viagem por meio de transporte, economia de tempo de viagem, custos de acidentes, emissões de CO<sup>2</sup> etc. Esses indicadores podem ser apresentados como valores globais ao longo do tempo (para cada ano) ou na forma de valores desagregados, por meio de transporte, por tipo de viagem e pelo período do dia (pico e fora de pico), visualizados em gráficos ou tabelas. Alguns podem, também, ser exibidos em termos de evolução no espaço e no tempo, mediante o uso de uma ferramenta dinâmica de SIG (AniMap), desenvolvida especificamente para uso no MARS.

## **MÉTODO DE AJUSTE DO MODELO MARS**

O ajuste de um modelo dinâmico de uso do solo e transportes implica em deixá-lo adequado às características de evolução de uma determinada cidade, com capacidade para produzir estimativas futuras o mais próximo possível da realidade. Sendo assim, para o ajuste do modelo MARS para uma determinada cidade, este processo contempla todos os passos, que permitem a alimentação do modelo, calibração dos submodelos de uso do solo e de transportes e também a validação desses para previsões futuras.

Na sequência são discutidos alguns aspectos gerais sobre a definição da área de estudos e levantamento, tratamento e análise dos dados, cujos detalhes são explorados no estudo de caso apresentado a seguir.

### **Definição da Área de Estudo**

O primeiro passo deve ser a definição da área de estudos, ou seja, no caso a definição da cidade brasileira de grande porte para a qual se pretende ajustar o modelo. É determinante para o estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento das etapas subseqüentes.

## **Levantamento, tratamento e análise dos dados**

Para o criador do MARS, a coleta de dados é uma das etapas mais importantes do ajuste de um modelo. Sem dados de boa qualidade mesmo o melhor modelo produz resultados ruins. Para o modelo integrado de uso do solo e transportes MARS uma quantidade considerável de dados é necessária. Para facilitar a coleta de dados, foi desenvolvida a “interface de dados para o usuário do MARS” (ou *MARS data user interface*, em inglês) em MS Excel®.

Também foi criado, pelo autor do MARS, um Guia de Coleta de Dados (mais detalhes em: *Guidence to data collection using the MARS data user interface* disponível na página virtual do MARS), que explica como usar a interface e esclarece detalhes sobre cada uma das noventa (90) variáveis, que são alimentadas através de vinte nove (29) diferentes planilhas. As variáveis foram organizadas em oito (8) grupos conforme as características específicas e níveis de agregação. Cada um destes grupos aparece nos botões da interface que, por sua vez, abrem uma ou várias planilhas para alimentação das diferentes variáveis, dentro do módulo de configuração de cenários. Os grupos são compostos de variáveis com as seguintes características:

1. Taxas de crescimento (*Growth Rates*): são quatro (4) variáveis que se referem às taxas de crescimentos anuais (por exemplo, população residente, postos de trabalho por setor e posse de veículos particulares) para cada ano de análise, que é definido a priori como 30 anos;
2. Dados Escalares Básicos (*Basic Scalar Data*): são dezesseis (16) variáveis que representam valores médios para a área de estudo e são ajustados para o ano base. Referem-se a: mobilidade da população; características de moradia; capacidade das vias; velocidade média de pedestres; taxa de ocupação de veículos; percentual da população com carteira de motorista; custos percebidos pelo usuário na decisão de viajar de carro; quilometragem percorrida por ano pelo transporte público;
3. Dados Vetoriais Básicos (*Basic Vector Data*): são vinte cinco (25) variáveis que se referem aos dados por zona de tráfego (ZT) sobre: residentes e domicílios, condição de moradia, emprego, posse de veículos, área e desenvolvimento possível de usos residenciais, comércio e serviço ou industriais, e valor médio da terra;
4. Modo Lento (*Slow Mode*): é uma matriz de distâncias entre ZTs para o modo a pé e bicicleta;
5. Automóvel (*Car*): são dezesseis (16) variáveis vetoriais (para cada ZT) que são dados relativos ao uso do automóvel particular (por exemplo, tempo médio de caminhada da origem e/ou destino para o local de estacionamento; tempo médio para encontrar vaga no local de destino; estacionamentos - custo, vagas disponíveis). Além destas tem mais seis (6) matrizes O-D de velocidade, distância e custo de pedágio que devem ser informadas para a “hora pico” e de “entre pico”;
6. TP Ônibus (*PT Bus*): são onze (11) matrizes O-D e referem-se ao transporte público (TP) por ônibus (distância média percorrida; *headways* médios; tempo médio gasto em transbordo; percentual do TP que opera em vias segregadas; velocidade média; custos). Estes dados também são informados para a “hora pico” e de “entre pico”;

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

7. TP Trilhos (*PT Rail*): são onze (11) matrizes O-D análogas ao “*PT Bus*”, mas para modos de grande capacidade sobre trilhos;
8. Políticas (*Policy Instruments*): contempla o módulo de configuração das diferentes políticas a serem testadas e que poderão ser facilmente manipuladas e combinadas pelo usuário através da ferramenta “*Flight simulator*”.

Além dos dados de entrada para o ano base (início da simulação) que são as mais de 90 variáveis apresentadas, são necessários, também, dados de viagem (por modo e por motivo), para o ano base e para anos posteriores, a fim de possibilitar a calibração e validação dos submodelos de transportes para a cidade definida. Da mesma forma são necessárias informações demográficas, socioeconômicas e de uso do solo, de anos posteriores para testar o ajuste dos submodelos de uso do solo. Sendo assim, o ideal é definir como ano-base de vinte a trinta anos antes da data atual, ou seja, a data mais antiga em que exista registro das informações necessárias e, desta forma, possibilitar o uso de dados mais recentes para validar o modelo.

## **ESTUDO DE CASO – MODELO MARS PORTO ALEGRE**

Dando continuidade aos estudos anteriores, o método foi aplicado na cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, onde residem atualmente 1,43 milhão de pessoas. A cidade pertence a quarta maior região metropolitana do Brasil, com 3.959.807 habitantes (IBGE, 2007). Porto Alegre, apesar de possuir um transporte público de qualidade, através de ônibus, em um sistema que oferece uma boa cobertura da cidade e trafegando em corredores exclusivos nas vias mais movimentadas, já vem enfrentando problemas de mobilidade. Problemas como acidentes, congestionamentos e custo da passagem muitas vezes inacessível às classes menos privilegiadas indicam a necessidade de avaliação de planos integrados que proporcionem melhorias à mobilidade urbana. Algumas iniciativas, tais como estudos para implantação de sistemas de transporte multimodal e integrado, de BRT (*Bus Rapid Transit*), de ciclovias, entre outros, indicam a percepção, pelos órgãos municipais, de que problemas existem e medidas devem ser tomadas. No entanto, os esforços de integração entre planejamento urbano e mobilidade ainda são tímidos. Os estudos carecem de uma ferramenta de suporte a decisão que permita avaliar os planos e as variáveis envolvidas de forma dinâmica e integrada.

### **Levantamento, tratamento e análise dos dados de Porto Alegre**

Primeiramente foi analisado como ocorreu o processo de ajuste do modelo MARS para a cidade de Viena, no sentido de entender que variáveis obter e que fontes de dados buscar, para seguir o mesmo método para o ajuste do MARS Porto Alegre.

#### *Processo de ajuste do modelo MARS VIENA*

O modelo original MARS utiliza os 23 distritos administrativos municipais de Viena como zonas de análise. Contando na época do desenvolvimento do modelo com muitos dados

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

demográficos, socioeconômicos e de viagens a trabalho dos Censos de 1981, 1991 e alguns do Censo de 2001, foi ajustado um modelo baseado em dados de 1981, o qual o autor denominou de MARS81 (Pfaffenbichler, 2003; Pfaffenbichler, 2008). Foi, primeiramente, realizada a calibração transversal (*cross-sectional*) dos submodelos de transportes para a divisão modal observada em 1981. Este procedimento foi seguido da calibração dos submodelos de uso do solo para as mudanças ocorridas no período de 1981 a 1991 na população, no número de unidades habitacionais e nos postos de trabalho de Viena.

Posteriormente o MARS81 foi utilizado para validar a capacidade do modelo de estimar mudanças no sistema de transportes no período de 1981 a 1991, mudanças no número de unidades habitacionais de 1991 a 1998 e mudanças na população de 1991 a 2001. Na sequência foi ajustado um modelo baseado em dados de 1991 da cidade de Viena (MARS91). Os submodelos de transportes foram, então, ligeiramente recalibrados para a divisão modal observada em 1991. Os submodelos de uso do solo foram recalibrados para o desenvolvimento de unidades habitacionais entre 1991 e 1998 e desenvolvimento populacional ocorrido entre 1991 e 2001. Os dados do Censo de 2001 relativos a postos de trabalho e viagens por motivo trabalho ainda não estavam disponíveis na época do estudo de caso de Viena.

*Modelo MARS-POA – Levantamento das possíveis fontes de dados*

Foram levantados todos os dados existentes que permitissem a alimentação, calibração e validação do modelo MARS para Porto Alegre (MARS-POA). Sendo assim, além dos dados de entrada para o ano base (início da simulação) e que servem para calibração do modelo, foram levantadas todas as possíveis fontes de dados históricos posteriores, para a validação do modelo. O estudo de caso para a cidade de Porto Alegre contava com dados das seguintes fontes:

1. Pesquisas de Origem e Destino (O-D) através de Entrevista Domiciliar (EDOM) realizadas em 1974 (EDOM 74) para a RMPA (Região Metropolitana de Porto Alegre), em 1986 (EDOM 86) para parte da cidade de Porto Alegre e em 2003 (EDOM 2003), para a cidade de Porto Alegre (GEIPOT, 1976; METROPLAN, 1989; EPTC, 2004);
2. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística (IBGE): Dados de população e emprego dos censos demográficos de 1970, 1980, 1991 e 2000 e das contagens populacionais de 1996 e 2007 (IBGE, 1973, 1982, 1991, 1996, 2003, 2007). Alguns destes dados já estavam georreferenciados por setores censitários nas bases internas da EPTC – Empresa Pública de Transportes e Circulação de Porto Alegre;
3. Departamento de Trânsito do Estado do Rio Grande do Sul (DETRAN-RS): dados históricos de posse de veículos desde 1980 (dados internos) e estatísticas de frota e condutores disponíveis na página virtual do DETRAN-RS;
4. Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA):
  - a. Secretaria Municipal da Fazenda (SMF): dados internos do cadastro imobiliário sobre pesquisa de valores do terreno realizada de 1995 a 2008 e

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Néelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

levantamento anual de imóveis para o Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU) de 2008;

- b. Secretaria de Planejamento Municipal (SPM): Dados de uso do solo do I Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre (I PDDU) de 1979, do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) e de estudos sobre transporte urbano e sobre vazios urbanos realizados nas décadas de 70 e 80, respectivamente (PMPA-SPM, 1978, 1979, 1989, 1997);
  - c. EPTC: Dados internos das bases georreferenciadas de transporte, trânsito e rede viária, estatísticas de acidentes de trânsito e de viagens de transporte público, resultados de pesquisas de tráfego e de transporte público, assim como dados de modelo de simulação e alocação de tráfego (SATURN);
5. SECOVI-RS (Sindicato da Habitação) e SINDUSCON-RS (Sindicato da Indústria da Construção Civil) - Dados Imobiliários diversos fornecidos mediante solicitação.

*Definição do Ano Base e do Zoneamento*

Com a existência de dados de viagem da EDOM 74 (GEIPOT, 1976) e, além disto, com os dados socioeconômicos, demográficos e de uso do solo para a década de 70 (IBGE, 1973 e PMPA-SPM, 1979) pretendia-se ajustar, inicialmente, um modelo MARS para Porto Alegre com dados de 1974. Os submodelos de transporte seriam calibrados para a divisão modal observada em 1974 e os submodelos de uso do solo seriam calibrados para as mudanças ocorridas durante o período de 1974 a 1980 na população, no número de unidades habitacionais e nos postos de trabalho com base nos dados do Censo (IBGE, 1982).

Para o processo de validação dos submodelos de transporte e de uso do solo do MARS-POA74 seriam usadas as bases de dados da EDOM 86 e da EDOM 2003 (METROPLAN, 1989 e EPTC, 2004) e os dados dos Censos de 1991 e 2000 (IBGE 1991 e 2003). Mesmo sabendo-se que muitos dados existiam apenas em papel e outros dados deveriam ser estimados, ainda não se sabia a dimensão do trabalho e do problema, sem antes avaliar o que se tinha.

Estando o MARS-POA74 baseado em grande parte nos dados da EDOM 74 utilizou-se, para Porto Alegre, o zoneamento definido para a referida pesquisa. O modelo de Porto Alegre resultou em 96 áreas de análise baseadas nas 96 Zonas de Tráfego (ZTs) definidas para a cidade de Porto Alegre em 1974.

*Modelo MARS-POA74*

Iniciou-se então o processo de compilação, análise e tratamento dos dados para a alimentação do modelo MARS-POA74. Como são muitas variáveis envolvidas e que deveriam ser retiradas de diferentes fontes, estando em diferentes formatos, níveis de agregação e zoneamentos, foi necessário criar uma planilha de acompanhamento, que foi denominado de “Guia de Coleta de Dados”. A planilha, baseada na similar desenvolvida

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

pelo criador do MARS, foi útil para auxiliar no processo de coleta quando da solicitação dos dados aos órgãos responsáveis, pois constavam todas as variáveis já traduzidas para o português, com a explicação mais detalhada. Além disso, foi essencial para acompanhar o andamento do processo de coleta e de alimentação dos dados no modelo e para a avaliação da real situação para esta etapa do processo de ajuste do MARS. As Tabelas 1 a 3 apresentam um resumo dos resultados dos registros na “Guia de Coleta de Dados” para o MARS-POA74, cuja análise levou a desistência do ajuste do modelo com ano base 1974.

Tabela 1 - Guia de coleta de dados – MARS-POA74 - Taxas de crescimento e dados escalares básicos

DADOS PARA ALIMENTAÇÃO DO MARS	VAR	ANOS	SITUAÇÃO													
			ANO BASE 1974		IMPL. FUT.	PROBLEMAS				POSSÍVEIS SOLUÇÕES				NADA A FAZER	FONTE	
			Coleta	INPUT		1	2	3	4	DIG	SIG	CALC	ADOT			
<b>TAXAS ANUAIS DE CRESCIMENTO (PARA 30 ANOS)</b>	<b>VAR</b>	<b>ANOS</b>	<b>Coleta</b>	<b>INPUT</b>												
Residentes	1	30	OK	OK			X					X	X			IBGE (1970 a 2007)
Postos de Trabalho	1	30	OK	OK			X					X	X			IBGE (1970 a 2007)
Setor de Produção																
Setor de Serviços	1	30	OK	OK			X					X	X			IBGE (1970 a 2007)
Posse de veículo	1	30	OK	OK			X					X	X			EDOM 74; DETRAN-R
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>	<b>4</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	
<b>DADOS ESCALARES BÁSICOS (ÁREA DE ESTUDO)</b>	<b>VAR</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Coleta</b>	<b>INPUT</b>												
<b>Mobilidade</b>																
Número médio de viagens por pess. empregada e dia de trabalho	1	1	OK	OK				X						X		MARS VIENA
Tempo médio diário em deslocamento	1	1	OK	OK				X						X		EDOM 2003; VIENA
<b>Moradia</b>																
Tempo médio numa mesma moradia	1	1	OK	OK				X						X		MARS VIENA
Unidades habitacionais planejadas no ano	1	1	OK	OK				X						X		MARS VIENA
<b>Vel. Média (pedestres)</b>																
Pico (km/h)	1	1	OK	OK				X						X		MARS VIENA
Entrepico (km/h)	1	1	OK	OK				X					X	X		MARS VIENA
<b>Auto e Moto</b>																
Limiar p/ aumento de capacidade	1	1	OK	OK				X					X	X		VIENA; POA
Vel. Mínima aceitável (km/h)	1	1	OK	OK				X					X	X		VIENA; POA
Taxa de ocupação (Auto)																
Viagem trabalho	1	1	OK	OK			X	X					X	X		EDOM 74; VIENA
Viagem não trabalho	1	1	OK	OK			X	X						X		EDOM 74; VIENA
Pessoas com Habilitação																
Empregados	1	1	OK	OK				X						X		MARS VIENA
Todos	1	1	OK	OK				X						X		MARS VIENA
Outros custos que dependem da distância excluindo gás, como lubrificantes, pneu, desgaste veículo, etc (Euro/km)	1	1	OK	OK				X						X		FIPA/USP
Percentual deste custo que é percebido pelo usuário (%):	1	1	OK	OK				X								MARS VIENA
<b>Transporte Público</b>																
Veículo km ano base (km/a)																
Hora pico	1	1	OK	OK			X									EDOM 74
Entrepico	1	1	OK	OK			X									EDOM 74
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>88%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>81%</b>	<b>0%</b>	

A Guia de Coleta de Dados para Porto Alegre foi organizada da seguinte forma:

1. Uma coluna com todos os dados divididos pela função - no caso das Tabelas 1 a 3 são dados para a alimentação do modelo. Estes, por sua vez são subdivididos pela característica e nível de agregação (cinco subdivisões destacadas nas linhas amarelas), e ainda pelo tipo de dados (se de população, emprego, moradia, características de mobilidade, infraestrutura de transportes e uso do solo). Sendo assim, as 90 variáveis de alimentação do modelo foram agrupadas como segue:
  - a. Taxas anuais de crescimento, que são 4 variáveis para a área de estudo e para os 30 anos de análise desde o ano-base. Ou seja, 120 células a serem preenchidas no modelo, cujos totais são apresentados nas linhas de cor lilás “SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO”, nas colunas denominadas VAR e ANOS (Tabela 1).
  - b. Dados escalares básicos, que são indicadores do ano-base para a área de estudo. São 16 variáveis ao todo e 16 células a serem preenchidas (linha lilás, colunas VAR e ÁREA, Tabela 1);

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

- c. Dados Vetoriais Básicos, que são dados por área de análise, ou seja, para cada uma das 96 ZTs de Porto Alegre. São ao todo 25 variáveis e 2400 células a serem preenchidas (Tabela 2);
  - d. Dados Vetoriais de Automóvel, da mesma forma que o anterior, são dados para as 96 ZTs de cada uma das 16 variáveis, ou seja, 1536 células a serem preenchidas (Tabela 2);
  - e. Matrizes O-D, ou seja, 9216 células (96 x 96), que devem ser preenchidas para as 29 variáveis nesta categoria. São 7 variáveis referentes ao uso de automóvel, 11 referentes ao uso de transporte público por ônibus (foram incluídas nesta categoria, para Porto Alegre, as vans denominadas “Taxi Lotação”) e 11 referentes ao uso de transporte público sobre trilhos (Tabela 3);
2. Duas colunas que indicam, no topo, o ANO BASE do modelo. No caso das Tabelas 1 a 3 é 1974 o ano referência para os dados a serem obtidos. Logo abaixo as colunas COLETA e INPUT, cujas células podem ser preenchidas com “OK” (verde) ou “no aguardo” (amarela), ou “não seria possível obter as variáveis” (laranja) sendo assim:
- a. COLETA: Somente seria OK (verde), caso já se tivesse adquirido o material, fonte, de onde pudessem ser retirados os dados para a referida variável. Quando os dados já haviam sido solicitados aos órgãos responsáveis, mas estavam no aguardo do recebimento, a respectiva célula era amarela. Se já se constatava a não existência do referido dado a célula era laranja;
  - b. INPUT: Só seria preenchida com OK (verde) caso todo o tratamento do dado já tivesse sido realizado para adequá-lo as exigências de formato e unidades requeridas pelo modelo. Ficaria amarelo enquanto os dados estivessem no aguardo, ou ainda em processo de tratamento. Da mesma forma, a célula laranja indicaria a impossibilidade de obter tal variável.
3. Na coluna “IMPL. FUT.”, destacada em magenta no cabeçalho, era preenchido com “SIM” se a variável apenas seria considerada em anos subseqüentes, caso não existisse uma determinada infraestrutura ou política na época, ou mesmo, se pudesse ser modificada posteriormente. Por exemplo, no caso da variável Moradia (Área construída/área do terreno, Tabela 2) que indica um índice determinado pelos planos diretores de desenvolvimento urbano (PDDU), o IA (índice de aproveitamento), sofreria mudança para algumas áreas com a implementação de PDDUs futuros. Da mesma forma, as variáveis relacionadas com estacionamentos de curta permanência não existiam em 1974, porém a chamada Área Azul (estacionamentos com parquímetros) seria implantada mais tarde em Porto Alegre, no decorrer dos 30 anos de análise. O mesmo se aplica para o Transporte Público por Taxi Lotação e sobre trilhos. Todas estas variáveis deveriam ser alimentadas no módulo específico de “Entrada de Políticas” (Figura 1).
4. As 4 colunas em tons de azul representam **problemas verificados** nos dados para obtenção das referidas variáveis e foram divididos em 4 categorias diferentes:

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

- a. **Problema 1** - Diz respeito à **forma dos dados**, que poderiam ser mapas, tabelas e relatórios em papel, relatórios muito extensos e desagregados (muito detalhados), para os quais deveria ser verificada a possibilidade e quais tratamentos seriam necessários para transformá-los em um dado digital, compatível com o formato solicitado pelo modelo;
  - b. **Problema 2** – Diz respeito a **não existência** do referido dado. Neste caso deveria ser verificada a possibilidade de serem estimados de forma indireta, com base em dados de outra época, em outras fontes, ou através da análise de outras informações combinadas.
  - c. **Problema 3** – Diz respeito ao **nível de agregação** de dados. Entravam nesta categoria, por exemplo, dados com diferentes formas de zoneamento que não coincidiam com as ZTs definidas para 1974. Dados obtidos por setores censitários, ou por bairros, ou mesmo derivados e estimados por pesquisas O-D posteriores deveriam passar por processo de compatibilização com os limites do zoneamento definido para o MARS-POA1974.
  - d. **Problema 4** – Diz respeito à **incongruência** (contradição, incoerência) verificada em alguns dados quando comparados com outras fontes ou até outras variáveis da mesma fonte, com as quais deveria existir certa coerência. Por exemplo, número de viagens a trabalho de uma determinada ZT contando apenas a primeira viagem do dia de cada pessoa, não poderia ser maior que o número de pessoas empregadas naquela ZT.
5. As 4 colunas em tons de verde dizem respeito às **soluções encontradas** e/ou tratamentos aplicados para resolver os problemas verificados. Foram divididos em 4 categorias diferentes indicadas por:
- a. **DIG** - Significa que os dados foram de alguma forma transformados em formato digital (**digitalizados**) para que as informações pudessem ser extraídas e transformadas na variável em questão. Diferentes processos foram aplicados, como por exemplo, escanear um mapa originalmente em papel ou fotografá-lo em partes, no caso de mapas muito grandes, escanear ou digitar uma tabela etc.
  - b. **SIG** – Significa que a informação passou por algum processo de geoprocessamento, ou análise espacial em **SIG**, como, por exemplo:
    - i. Importar e georreferenciar imagens de mapas e a partir destas criar um arquivo de dados geográficos em SIG contendo as áreas com os atributos correspondentes (por exemplo, para obtenção das áreas de análise do MARS-POA74 com base nas ZTS da EDOM 74);
    - ii. Importar e georreferenciar uma tabela de dados com base em endereços para obter um arquivo de dados geográficos de pontos com os atributos correspondentes (por exemplo, as pesquisas de valores de terreno da SMF da PMPA foram fornecidas em tabelas com o endereço dos terrenos);

iii. Submeter a algum procedimento de análise espacial, como:

1. Sobreposição de camadas de áreas para obtenção dos dados de zoneamentos diferentes (setores censitários do IBGE, Unidades de Estruturação Urbana dos PDDUs, por exemplo) adequando-os às áreas de análise adotadas para o modelo;
2. Sobreposição da camada das áreas de análise com camadas de dados em rede para estimar dados de transportes (dados vetoriais de automóvel ou matrizes O-D de TP, por exemplo);
3. Sobreposição da camada das áreas de análise com camadas de dados em pontos (obtenção dos dados vetoriais de valores médios de terreno, por exemplo);
4. Estimativas de dados que não existiam para determinadas áreas através da análise de vizinhança (valor do terreno, por exemplo);

c. **CALC** – Significa que a informação passou por algum processo de **cálculo**, ou análise estatística para estimar o dado, obter a variável como requerida pelo modelo, ou derivar a partir de outros dados (por exemplo, as taxas anuais de crescimento foram calculadas a partir de dados históricos de aumento da população, do número de empregos e da posse de veículos; todos os dados de valor monetário tiveram de ser transformados para valores em Euros, além de serem transportados para o valor da época de análise);

d. **ADOT** – Significa que, na falta do dado estes foram **adotados** com base em outras experiências semelhantes. Entra nesta condição o julgamento de especialista, que permite adotar um valor com base na experiência e no conhecimento empírico da área em análise;

6. A coluna “**Nada a Fazer**” significa que o dado não existe e nenhuma solução foi considerada plausível para se estimar algum valor;

7. Finalmente, na coluna “**FONTE**”, constam as fontes de onde foram obtidos os dados, ou nas quais foram baseadas as estimativas.

A situação para rodar o modelo aparece ao final de cada uma das subdivisões de dados, e assim como os totais de variáveis e de células a serem preenchidas, apresenta a situação em relação ao percentual de dados já coletados e, também, já alimentados no modelo. Da mesma forma, são apresentados os percentuais de cada problema encontrado, assim como das possíveis soluções. Porém, a informação que realmente pesou na desistência de um ajuste do modelo MARS-POA74 foi o percentual de dados na situação “Nada a Fazer”. Esta situação foi verificada para 4% dos “Dados Vetoriais Básicos”, 63% dos “Dados Vetoriais de Automóvel”, 43% das “Matrizes de automóveis” e 45% das “Matrizes de transporte público por ônibus” (ver Tabelas 2 e 3).

Considerando os TOTAIS, apresentados ao final da Tabela 3, onde são calculados os resultados para todas as noventa (90) variáveis, destaca-se que são 44% do total de dados

**Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte**

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

que apresentam a situação “Nada a Fazer”. Para o cálculo dos totais foram considerados os pesos de cada tipo de dado, considerando a dificuldade para obtenção em termos de estimativas. Por exemplo, para um dado do tipo matriz são 9216 células a serem estimadas para cada variável no caso da não existência do dado, enquanto que para um dado escalar é apenas uma célula a ser estimada para cada variável. Sendo assim, uma variável do tipo Matriz tem peso 9216 (no caso deste estudo que são 96 ZTs), uma variável do tipo vetorial tem peso 96, a do tipo escalar tem peso 1 e as taxas de crescimento tem peso 30, já que devem ser estimadas para cada ano de análise.

Tabela 2 - Guia de coleta de dados – MARS POA74 - dados vetoriais básicos e de automóvel

DADOS PARA ALIMENTAÇÃO DO MARS		VAR		AREAS		SITUAÇÃO											FONTE
						ANO BASE 1974	IMPL. FUT.	PROBLEMAS				POSSÍVEIS SOLUÇÕES				NADA A FAZER	
DADOS VETORIAIS BÁSICOS (ZT - ANO BASE)		Coleta	INPUT	1	2	3	4	DIG	SIG	CALC	ADOT						
Domicílios	Habitantes (pessoas)	1	96	OK	OK			X				X	X			EDOM 74	
	Habitantes Empregados (Pess Econ. Ativas)	1	96	OK	OK			X				X	X			EDOM 74	
	Renda Média Domiciliar [Euro/month]	1	96	OK	OK			X				X	X			EDOM 74	
	Habitantes por Domicílio	1	96	OK	OK			X				X	X			EDOM 74	
Moradia	Custo médio mensal [Euro/m²]	1	96	OK				X				X	X			IBGE 1970; EDOM 86	
	Área média por moradia [m²]	1	96	OK				X				X	X			IBGE 1970; EDOM 86	
	Área Construía/Área de Terreno (IA PDDU)	1	96	OK		SIM		X		X		X	X	X		PDDU 1979, 1997	
Trabalho	Moradias não ocupadas	1	96					X							X		
	Postos de Trabalho	1	96	OK				X				X	X			EDOM 74	
	% por setor	Produção	1	96	OK				X				X	X			EDOM 74
		Serviço	1	96	OK				X				X	X			EDOM 74
	No Médio Postos de Trabalho por empresa	Produção	1	96	OK	OK			X						X		MARS LEEDS
		Serviço	1	96	OK	OK			X						X		MARS LEEDS
	Área média por empresa [m²]	Produção	1	96	OK	OK			X						X		MARS LEEDS
Serviço		1	96	OK	OK			X						X		MARS LEEDS	
Posse Veículos	Posse Auto (por 1000 res)	1	96	OK				X	X			X	X			EDOM 74	
	Posse Moto (por 1000 res)	1	96	OK				X	X			X	X	X		EDOM 86	
Área e Desenv. Urbano	Área [km²]	1	96	OK	OK			X				X	X			ZT EDOM 74	
	% Ainda desocupada	1	96	OK				X		X		X	X			PDDU 1979, PMPA-	
	% da área desocupada que pode ser para	Uso Residencial	1	96	OK				X		X		X	X			PDDU 1979, EDOM 74
		Uso Económico	1	96	OK				X		X		X	X			PDDU 1979
	De proteção ambiental	1	96	OK				X		X		X	X			PDDU 1979	
	É permitida ocupação para uso	Industrial?	1	96	OK				X		X		X	X			PDDU 1979
		de Comércio e Serviço?	1	96	OK				X		X		X	X			PDDU 1979
Custo do terreno [Euro/m²]	1	96						X	X			X	X			PMPA-SMF (1995 A)	
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>25</b>	<b>2.400</b>	<b>92%</b>	<b>36%</b>	<b>4%</b>	<b>64%</b>	<b>40%</b>	<b>32%</b>	<b>0%</b>	<b>40%</b>	<b>76%</b>	<b>44%</b>	<b>16%</b>	<b>4%</b>		
DADOS VETORIAIS DE AUTOMÓVEL (POR ZT)		VAR	AREAS	Coleta	INPUT												
Distância de estacion. (min)	Entrepico	Caminhada da Orig. até vaga	1	96					X							X	
		P/ encontrar uma vaga	1	96					X							X	
		Caminhada da vaga até dest.	1	96					X							X	
	Pico	Caminhada da Orig. até vaga	1	96					X							X	
		P/ encontrar uma vaga	1	96					X							X	
		Caminhada da vaga até dest.	1	96					X							X	
Custo Estacion.	Entrepico	Custo Longa Perman. (Euro)	1	96					X							X	
		% vagas cobradas LP-VLP	1	96					X							X	
		Custo Curta Perman. (Euro)	1	96	OK		SIM		X				X	X			EDOM 2003; EPTC
	Pico	% Vagas Cobradas CP-VCP	1	96	OK		SIM		X				X	X			EDOM 2003; EPTC
		% Vagas Cobradas LP-CP	1	96	OK		SIM		X				X	X			EDOM 2003; EPTC
		Custo Longa Perman. (Euro)	1	96					X							X	
		% vagas cobradas LP-VLP	1	96					X							X	
Custo Curta Perman. (Euro)	1	96	OK		SIM		X				X	X			EDOM 2003; EPTC		
% Vagas Cobradas CP-VCP	1	96	OK		SIM		X				X	X			EDOM 2003; EPTC		
% Vagas Cobradas LP-CP	1	96	OK		SIM		X				X	X			EDOM 2003; EPTC		
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>16</b>	<b>1.536</b>	<b>38%</b>	<b>0%</b>	<b>38%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>38%</b>	<b>38%</b>	<b>0%</b>	<b>63%</b>	

Não foram avaliados, para o Modelo MARS POA74, os resultados de possíveis problemas para os dados que teriam implantação futura (IMPL. FUT), que, segundo o levantamento, representa 50% do total de variáveis (Tabela 3). Destaca-se ainda que apenas 29% do total de dados já estavam alimentados no modelo, pois muitos deles, apesar de a situação de

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nélson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

coleta já ter sido considerada adequada “OK”, ainda deveriam passar por trabalhosos processos de tratamento para resolver os problemas encontrados.

O ajuste de um modelo com ano-base 1986, MARS-POA86, para posterior validação com os dados da EDOM 2003, que seria a sequência natural, também não foi possível pelo problema de falta de dados para a totalidade da cidade na EDOM 86. A última saída encontrada foi iniciar o ajuste de um modelo com base nos dados da EDOM 2003 (MARS-POA2003).

Tabela 3 - Guia de coleta de dados – MARS-POA74 – Matrizes

DADOS PARA ALIMENTAÇÃO DO MARS		SITUAÇÃO													
		ANO BASE 1974		IMPL. FUT.	PROBLEMAS				POSSÍVEIS SOLUÇÕES				NADA A FAZER	FONTE	
MATRIZ O-D (ZT X ZT)		VAR.	PARES	Coleta	INPUT	1	2	3	4	DIG	SIG	CALC	ADOT		
A pé/Bicli	Matriz de distância (Km)	1	9216	OK	OK		X			X	X				SIG - EPTC
	Matriz de distância (Km)	1	9216	OK	OK		X			X	X				SIG - EPTC
	Velocidade de fluxo livre (km/h)	1	9216				X							X	
Automóvel	Entrepico Velocidade (km/h)	1	9216				X							X	
	Pedágio (Euro/deslocamento)	1	9216	OK	OK										NÃO É O CASO
Pico	Entrepico Velocidade (km/h)	1	9216				X							X	
	Pedágio (Euro/deslocamento)	1	9216	OK	OK										NÃO É O CASO
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>7</b>	<b>64.512</b>	<b>57%</b>	<b>57%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>71%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>29%</b>	<b>29%</b>	<b>0%</b>	<b>43%</b>
Transporte Público (Ônibus) (lotação a partir de 1979, 1980, 1992, 1994)	Matriz de distância (Km)	1	9216		sim		X			X	X				SIG - EPTC
	Distancia da Orig ou Dest até a Parada	1	9216		sim		X							X	
	Headway (min)	1	9216		sim		X							X	
	Entrepico Tempo médio p/ transbordo	1	9216		sim		X							X	
	% de TP segregado	1	9216	OK	sim		X				X	X			EPTC
	Pico Passagem por viagem (Euro)	1	9216	OK	sim	X					X	X			EDOM 1974
	Headway (min)	1	9216		sim		X							X	
	Entrepico Tempo médio p/ transbordo	1	9216		sim		X							X	
	% de TP segregado	1	9216	OK	sim		X				X	X			EPTC
	Pico Passagem por viagem (Euro)	1	9216	OK	sim	X					X	X			EDOM 1974
Velocidade Média no Corredor (Km/h)	1	9216	OK	sim										EPTC	
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>11</b>	<b>101.376</b>	<b>45%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>18%</b>	<b>73%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>45%</b>	<b>45%</b>	<b>0%</b>	<b>45%</b>
Transporte Público sobre Trilhos (TRENSURB em POA, 1985)	Matriz de distância (Km)	1	25	OK	OK	sim									SIG - EPTC
	Distancia da Orig ou Dest até a Parada	1	25	OK	OK	sim			X		X	X			EDOM 2003
	Entrepico Headway (min)	1	25	OK	OK	sim			X		X	X			TRENSURB
	Tempo médio p/ transbordo	1	25	OK	OK	sim			X		X	X			EDOM 2003
	% de TP segregado	1	25	OK	OK	sim									100%
	Pico Passagem por viagem (Euro)	1	25	OK	OK	sim					X	X			TRENSURB
	Headway (min)	1	25	OK	OK	sim									TRENSURB
	Entrepico Tempo médio p/ transbordo	1	25	OK	OK	sim					X	X			EDOM 2003
	% de TP segregado	1	25	OK	OK	sim									100%
	Pico Passagem por viagem (Euro)	1	25	OK	OK	sim						X			TRENSURB
Velocidade Média (Km/h)	1	25	OK	OK	sim									TRENSURB	
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>11</b>	<b>275</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>27%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>45%</b>	<b>55%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
<b>TOTAIS</b>		<b>90</b>	<b>170.235</b>	<b>50%</b>	<b>22%</b>	<b>60%</b>	<b>12%</b>	<b>72%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>1%</b>	<b>39%</b>	<b>39%</b>	<b>0%</b>	<b>44%</b>

**Modelo MARS-POA2003**

O mesmo método aplicado ao MARS POA74, de acompanhamento do processo de coleta e alimentação de dados no modelo através da “Guia de Coleta de Dados”, foi utilizado para o MARS-POA2003 e, da mesma forma, foram registrados os problemas e as possíveis soluções. Os resultados estão resumidos nas Tabelas 4 a 6. Com base nos dados da EDOM 2003 foi adotado, como área de análise do MARS-POA2003, o zoneamento desta pesquisa. Apesar de serem também 96 ZTs para Porto Alegre, os limites das áreas eram diferentes das ZTs 1974 para grande parte da cidade.

Em plena era de difusão de bancos de dados em SIG, acreditava-se que seria simples obter os dados do MARS-POA2003, pois já existiam muitas informações em meio digital e,

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

inclusive, georreferenciadas. Este era o caso da pesquisa O-D de 2003, cujos dados continham informações de coordenadas dos pontos de origem e de destino das viagens. Além disto, uma base georreferenciada de áreas com as UEUs do PDDUA também já existia em SIG. Bastaria, para esta, associar algumas informações que seriam necessárias às respectivas áreas, porém já estavam em tabelas em meio digital. Os setores censitários do Censo 2000, assim como várias outras bases de informações de transportes, também já existiam no banco de dados georreferenciado da PMPA e da EPTC.

O inconveniente de iniciar o processo de ajuste do MARS para Porto Alegre com dados de uma pesquisa O-D tão recente seria a falta de dados posteriores para a devida calibração dos modelos de uso do solo e, também, para validação de ambos os modelos (transporte e uso do solo), seguindo o mesmo método aplicado em Viena. Porém, sem outra opção, os problemas para as etapas de calibração e validação poderiam ser contornados com uso de outros dados, que mesmo que não fossem os ideais, serviriam por hora. Além disto, com a proximidade de um novo Censo, a ser realizado em 2010, e, na ocasião de uma nova pesquisa O-D, a calibração e a validação dos modelos de uso do solo e de transportes do MARS-POA2003 poderiam ser complementadas.

Contudo, algumas dificuldades foram encontradas já nas etapas de coleta e alimentação dos dados do MARS-POA2003. Estas dificuldades, registradas nas Tabelas 4 a 6, tornaram todo o processo muito lento. Quanto aos problemas encontrados, destacam-se em primeiro lugar o **Problema 2** (não existência do dado) que ocorreu para 56% das variáveis, considerando a análise geral (ver TOTAL, na Tabela 6). O **Problema 2** foi verificado para 81% dos “Dados Escalares Básicos” (Tabela 4), para 92% dos “Dados Vetoriais Básicos” e 75% dos “Dados Vetoriais de Automóvel” (Tabela 5).

Para os dados em “Matriz O-D” (Tabela 6), considerando as matrizes relativas aos modos A pé/Bici e Automóvel, todas foram consideradas como dados não existentes e as matrizes tiveram que ser estimadas. Apenas duas matrizes O-D de custo de pedágio não seriam necessárias, pois não é o caso no perímetro urbano de Porto Alegre. Sendo assim, as matrizes permaneceriam zeradas no modelo. Quanto às matrizes de transporte público, 45% delas não existiam e tiveram de ser estimadas.

O problema de incongruência dos dados (**Problema 4**), foi verificado para 11% do total de variáveis (Ver **TOTAL** - Tabela 6). Destacam-se, neste caso, os dados vetoriais sobre custo do estacionamento, que representam 25% dos “Dados Vetoriais de Automóvel”, e também os dados para duas matrizes O-D de velocidade de automóvel (hora pico e entre pico), que representam 29% das matrizes O-D para carro. São variáveis cujos dados foram obtidos com base na EDOM 2003. No caso do custo de estacionamento, constavam no questionário da pesquisa O-D, as perguntas “usou estacionamento?” e “quanto pagou?”. Muitos valores registrados pareciam discrepantes com a realidade, sendo alguns para mais e outros para menos. A análise detalhada dos dados indicou que poderiam ser resultantes de erro de digitação, ou até mesmo, de falta de entendimento da pergunta, pois algumas respostas poderiam ser até relacionadas a valores mensais, enquanto outras pareciam valores por hora.

**Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte**

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nélson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

Tabela 4 - Guia de coleta de dados – MARS-POA2003 - Taxas de crescimento e dados escalares básicos

DADOS PARA ALIMENTAÇÃO DO MARS	VAR	ANOS	SITUAÇÃO												FONTE
			ANO BASE 2003		IMPL. FUT.	PROBLEMAS				POSSÍVEIS SOLUÇÕES				NADA A FAZER	
			Coleta	INPUT		1	2	3	4	DIG	SIG	CALC	ADOT		
<b>TAXAS ANUAIS DE CRESCIMENTO (PARA 30 ANOS)</b>			100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	
Residentes	1	30	OK	OK								X			IBGE (2000 a 2010)
Postos de Trabalho	1	Setor de Produção	OK	OK								X			IBGE (2000 a 2010)
		Setor de Serviços	OK	OK								X			IBGE (1970 a 2010)
Posse de veículo	1	30	OK	OK								X			DETRAN-RS
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>	<b>4</b>	<b>120</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	
<b>DADOS ESCALARES BÁSICOS (ÁREA DE ESTUDO)</b>	<b>VAR</b>	<b>AREA</b>	<b>Coleta</b>	<b>INPUT</b>											
<b>Mobilidade</b>	1	Número médio de viagens por pess. empregada e dia de trabalho	OK	OK			X					X			EDOM 2003
		Tempo médio diário em deslocamento	OK	OK			X					X			EDOM 2003
<b>Moradia</b>	1	Tempo médio numa mesma moradia	OK	OK			X						X		MARS VIENA
		Unidades habitacionais planejadas no ano	OK	OK											SINDUSCON-RS
<b>Vel. Média (pedestres)</b>	1	Pico (km/h)	OK	OK			X						X		MARS VIENA
		Entrepico (km/h)	OK	OK			X						X		MARS VIENA
<b>Auto e Moto</b>	1	Limiar p/ aumento de capacidade	% aumento	OK	OK			X				X	X		VIENA; POA
			Vel. Mínima aceitável (km/h)	OK	OK			X					X	X	
	Taxa de ocupação (Auto)	1	Viagem trabalho	OK	OK			X					X		EDOM 2003
			Viagem não trabalho	OK	OK			X					X		EDOM 2003
	Pessoas com Habilitação	1	Empregados	OK	OK			X						X	EDOM 2003
				Todos	OK	OK			X					X	
	Outros custos que dependem da distância excluindo gás, como lubrificantes, pneu, desgaste veículo, etc (Euro/km)	1	1	OK	OK			X					X		FIPA/USP
				Percentual deste custo que é percebido pelo usuário (%):	OK	OK			X						X
<b>Transporte Público</b>	1	Veículo km ano base (km/a)	OK	OK											EPTC
		Entrepico	OK	OK											EPTC
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>81%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>50%</b>	<b>44%</b>	<b>0%</b>	

No caso das matrizes O-D de velocidade de automóvel o problema foi outro. A idéia inicial era obter através da divisão da Matriz de Distâncias médias para automóvel, que foi estimada com ferramenta SIG-T (SIG para transporte), pela matriz O-D de tempos médios, que seria gerada com base nas informações de tempo de viagem na pesquisa O-D de 2003. Porém a falta de uma amostra suficiente de dados resultou em velocidades inconsistentes. Este é um problema comum quando é necessário desagregar muito os dados de uma pesquisa O-D. No caso da matriz de velocidade de automóveis para hora pico, a amostra total teve de ser desagregada por modo de viagem (somente automóvel), por período (hora pico da manhã, das 7h às 9h) e por par O-D (96 x 96).

Já era esperado que, para uma matriz O-D com 9.216 células, muitas resultassem vazias, porém somente 3.210 células foram preenchidas (35%). Para praticamente dois terços dos pares O-D não houve viagens registradas pela população amostrada na pesquisa. Para muitas células a amostra resultante era muito pequena, o que tornava a estimativa suscetível a distorções. O problema era amenizado quando se agregavam as 96 ZTs nas 18 Macrozonas também definidas para a EDOM 2003. Em uma análise de número de amostras de viagem de automóvel para hora pico da manhã agregada em Macrozonas, foi verificado que a proporção era invertida em relação à anterior. Para 65% das 324 células (18x18) havia amostra, porém para 26% destas (56 células) este número era inferior a três entrevistados. Ou seja, mesmo agregando-se os dados em uma matriz menor ainda era verificado o problema de distorções nas velocidades estimadas devido à amostra pequena.

O problema de nível de agregação dos dados, referente a limites distintos de zoneamento (**Problema 3**), foi verificado para 1% das variáveis na análise geral (ver TOTAL, Tabela 6), porém representa 44% das variáveis do tipo “Dados Vetoriais Básicos” (Tabela 5). Estas

**Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte**

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nélson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

correspondiam às informações imobiliárias e de uso do solo. As últimas eram agregadas em UEUs, zoneamento definido pelo PDDUA. No entanto, as primeiras, cujos dados ou eram agregados em bairros ou desagregadas por endereços, exigiram muito tempo em compilação, formatação e análise estatística e espacial antes de poderem ser alimentadas no modelo. Estas variáveis apresentavam, também, o problema da forma de como foram obtidos os dados originais (**Problema 1**).

Tabela 5 - Guia de coleta de dados – MARS POA2003 - dados vetoriais básicos e de automóvel

DADOS PARA ALIMENTAÇÃO DO MARS		ANO BASE 2003		IMPL. FUT.	SITUAÇÃO											FONTE	
					PROBLEMAS				POSSÍVEIS SOLUÇÕES				NADA A FAZER				
DADOS VETORIAIS BÁSICOS (ZT - ANO BASE)		VAR	AREAS	Coleta	INPUT	1	2	3	4	DIG	SIG	CALC		ADOT			
Domicílios	Habitantes (pessoas)	1	96	OK	OK											EDOM 2003	
	Habitantes Empregados (Pess Econ. Ativas)	1	96	OK	OK		X					X				EDOM 2003	
	Renda Média Domiciliar (Euro/month)	1	96	OK	OK		X					X				EDOM 2003	
	Habitantes por Domicílio	1	96	OK	OK		X					X				EDOM 2003	
Moradia	Custo médio mensal [Euro/m²]	1	96	OK	OK	X	X	X			X	X				SECOVI	
	Área média por moradia [m²]	1	96	OK	OK	X	X	X			X	X				IPTU 2008	
	Área Construída/Área de Terreno (IA PDDU)	1	96	OK	OK		X	X			X	X				PDDUA	
	Moradias não ocupadas	1	96	OK	OK	X	X	X			X	X				SECOVI	
Trabalho	Postos de Trabalho	1	96	OK	OK	X	X				X					EDOM 2003	
	% por setor	Produção	1	96	OK	OK	X				X					EDOM 2003	
		Serviço	1	96	OK	OK	X				X					EDOM 2003	
	Nº Médio Postos de Trabalho por empresa	Produção	1	96	OK	OK	X						X			MARS LEEDS	
		Serviço	1	96	OK	OK	X						X			MARS LEEDS	
	Área média por empresa [m²]	Produção	1	96	OK	OK	X	X				X	X			IPTU 2008 E LEEDS	
		Serviço	1	96	OK	OK	X	X				X	X			IPTU 2008 E LEEDS	
	Posse	Posse Auto (por 1000 res)	1	96	OK	OK		X									EDOM 2003
Veículos	Posse Moto (por 1000 res)	1	96	OK	OK		X									EDOM 2003	
	Área [km²]	1	96	OK	OK											EDOM 2003	
Área e Desenv. Urbano	% Ainda desocupada	1	96	OK	OK	X	X	X			X	X				IPTU 2008	
	% da area desocupada que pode ser para	Uso Residencial	1	96	OK	OK		X	X			X	X			PDDUA	
		Uso Economico	1	96	OK	OK		X	X			X	X			PDDUA	
		De proteção ambiental	1	96	OK	OK		X	X			X	X			PDDUA	
	É permitida ocupação para uso	Industrial?	1	96	OK	OK		X	X			X	X			PDDUA	
		de Comércio e Serviço?	1	96	OK	OK		X	X			X	X			PDDUA	
		Custo do terreno [Euro/m²]	1	96	OK	OK		X	X			X	X				SMF (1995 A 2008)
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>25</b>	<b>2.400</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>24%</b>	<b>92%</b>	<b>44%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>44%</b>	<b>76%</b>	<b>16%</b>	<b>0%</b>		
<b>DADOS VETORIAIS DE AUTOMÓVEL (POR ZT)</b>		<b>VAR</b>	<b>AREAS</b>	<b>Coleta</b>	<b>INPUT</b>												
Distância de estacion. (min)	Entrepico	Caminhada da Orig. até vaga	1	96	OK	OK											EDOM 2003
		P/ encontrar uma vaga (dest)	1	96	OK	OK		X				X	X	X			EDOM 2003
		Caminhada da vaga até dest.	1	96	OK	OK											EDOM 2003
	Pico	Caminhada da Orig. até vaga	1	96	OK	OK											EDOM 2003
		P/ encontrar uma vaga (dest)	1	96	OK	OK		X				X	X	X			EDOM 2003
		Caminhada da vaga até dest.	1	96	OK	OK											EDOM 2003
Custo Estacion.	Entrepico	Custo Longa Perman. (Euro/perm.)	1	96	OK	OK		X		X		X	X				EDOM 2003; EPTC
		% vagas cobradas LP-VLP	1	96	OK	OK		X				X	X				EDOM 2003; EPTC
		Custo Curta Perman. (Euro/perm.)	1	96	OK	OK		X		X		X	X				EDOM 2003; EPTC
		% Vagas Cobradas CP-VCP	1	96	OK	OK		X				X	X				EDOM 2003; EPTC
		% Vagas Cobradas LP-CP	1	96	OK	OK		X				X	X				EDOM 2003; EPTC
		Custo Longa Perman. (Euro/perm.)	1	96	OK	OK		X		X		X	X				EDOM 2003; EPTC
	Pico	% vagas cobradas LP-VLP	1	96	OK	OK		X				X	X				EDOM 2003; EPTC
		Custo Curta Perman. (Euro/perm.)	1	96	OK	OK		X		X		X	X				EDOM 2003; EPTC
		% Vagas Cobradas CP-VCP	1	96	OK	OK		X				X	X				EDOM 2003; EPTC
	% Vagas Cobradas LP-CP	1	96	OK	OK		X				X	X				EDOM 2003; EPTC	
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>		<b>16</b>	<b>1.536</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>75%</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>0%</b>	<b>75%</b>	<b>75%</b>	<b>13%</b>	<b>0%</b>		

Para o MARS-POA2003, diferente do que ocorreu com o MARS-POA74, para todos os problemas verificados foi encontrada alguma solução, ou uma combinação de várias soluções, o que resultou em 100% dos dados alimentados no modelo. No entanto, esta análise adicional tornou o processo de obtenção e alimentação de dados muito lento. Apenas para dar uma idéia geral do trabalho e tempo consumido na solução de problemas para obtenção das variáveis, será apresentado o processo de apenas uma variável.

**Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte**

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

Tomando como exemplo, o processo de obtenção da variável “custo médio mensal de moradia” (valor de aluguel, condomínio, etc.) cuja unidade é Euro/m<sup>2</sup> (Tabela 5) foram extraídos e combinados dados de diferentes fontes. Foram fornecidos, pelo SECOVI/RS (Sindicato da Habitação), relatórios em arquivos não editáveis contendo tabelas com a oferta de imóveis para aluguel em Porto Alegre para Dezembro de 2000. As ofertas de imóveis estavam agregadas por bairro, porém para cada bairro, desagregadas por tipo (apartamento, casa, cobertura, JK<sup>1</sup> ou Flat<sup>2</sup>) e ainda por número de dormitórios (de 1 a 5 dormitórios), contendo os valores máximos, mínimos e médios dos aluguéis, em R\$. Em outros estudos do SECOVI/RS para o mesmo ano, havia estimativas de valor médio em (R\$/m<sup>2</sup>) e área média (m<sup>2</sup>) para alguns tipos (JK, e apartamentos de 1, 2 e 3 dormitórios).

Tabela 6 - Guia de coleta de dados – MARS POA2003 – Matrizes

DADOS PARA ALIMENTAÇÃO DO MARS		VAR. PARES		SITUAÇÃO												FONTE
				ANO BASE 2003		IMPL. FUT.	PROBLEMAS				POSSÍVEIS SOLUÇÕES				NADA A FAZER	
				Coleta	INPUT		1	2	3	4	DIG	SIG	CALC	ADOT		
<b>MATRIZ O-D (ZT X ZT)</b>																
<b>A pé/Bici</b>	Matriz de distância (Km)	1	9216	OK	OK			X				X	X			SIG - EPTC
	Matriz de distância (Km)	1	9216	OK	OK			X				X	X			SIG - EPTC
	Velocidade de fluxo livre (km/h)	1	9216	OK	OK			X				X	X			EPTC
<b>Automóvel</b>	<b>Entrepico</b> Velocidade (km/h)	1	9216	OK	OK			X		X		X	X			EDOM 2003 -SATURN
	Pedágio (Euro/deslocamento)	1	9216	OK	OK											NÃO É O CASO
	<b>Pico</b> Velocidade (km/h)	1	9216	OK	OK			X		X		X	X			EDOM 2003 -SATURN
	Pedágio (Euro/deslocamento)	1	9216	OK	OK											NÃO É O CASO
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>																
	Matriz de distância (Km)	7	64.512	100%	100%	0%	0%	71%	0%	29%	0%	71%	71%	0%	0%	
	Distancia da Orig ou Dest até a Parada	1	9216	OK	OK			X				X	X			SIG - EPTC
<b>Transporte Público (Ônibus)</b>	Headway (min)	1	9216	OK	OK			X				X	X			EDOM 2003
	Tempo médio p/ transbordo	1	9216	OK	OK							X	X			EPTC - BRT
<b>Entrepico</b>	% de TP segregado	1	9216	OK	OK			X				X	X			EDOM 2003
	Passagem por viagem (Euro)	1	9216	OK	OK							X	X			EPTC - SIG
<b>Pico</b>	Headway (min)	1	9216	OK	OK			X				X	X			EPTC - BRT
	Tempo médio p/ transbordo	1	9216	OK	OK							X	X			EDOM 2003
	% de TP segregado	1	9216	OK	OK			X				X	X			EPTC - SIG
	Passagem por viagem (Euro)	1	9216	OK	OK											EPTC
	Velocidade Média no Corredor (Km/h)	1	9216	OK	OK											EPTC
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>																
	Matriz de distância (Km)	11	101.376	100%	100%	0%	0%	45%	0%	0%	0%	45%	45%	0%	0%	
<b>Transporte Público sobre Trilhos (TRENSURB em POA, 1985)</b>	Matriz de distância (Km)	1	25	OK	OK											SIG - EPTC
	Distancia da Orig ou Dest até a Parada	1	25	OK	OK											EDOM 2003
<b>Entrepico</b>	Headway (min)	1	25	OK	OK											TRENSURB
	Tempo médio p/ transbordo	1	25	OK	OK											EDOM 2003
	% de TP segregado	1	25	OK	OK											100%
	Passagem por viagem (Euro)	1	25	OK	OK											TRENSURB
<b>Pico</b>	Headway (min)	1	25	OK	OK											TRENSURB
	Tempo médio p/ transbordo	1	25	OK	OK											EDOM 2003
	% de TP segregado	1	25	OK	OK											100%
	Passagem por viagem (Euro)	1	25	OK	OK											TRENSURB
	Velocidade Média (Km/h)	1	25	OK	OK											TRENSURB
<b>SITUAÇÃO PARA RODAR O MODELO</b>																
	TOTALS	90	170.235	100%	100%	0%	0%	56%	1%	11%	0%	55%	56%	0%	0%	

Primeiramente, as tabelas tiveram que ser extraídas do relatório, transformadas em arquivos editáveis e formatadas para poderem ser analisadas. Muito tempo foi consumido nesta etapa, pois se tratavam de 17 folhas de tabelas no arquivo original. Foram combinados aos dados das tabelas, os dados de área média e valor médio/área, para os tipos de residências cuja informação existia. Para os demais tipos foi estimada a área média (julgamento de especialista) e, através do valor médio em R\$ do aluguel informado nas tabelas, foi calculado o valor em R\$/m<sup>2</sup>. A partir daí, agregando-se os dados, foi calculado o valor médio

<sup>1</sup> JK é apartamento pequeno de três cômodos: com banheiro, dormitório/sala e cozinha (integrada).

<sup>2</sup> Flat é apartamento pequeno com serviço de hotel.

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

*LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul*

de aluguel em R\$/m<sup>2</sup> por bairro. Como as áreas dos bairros e das ZTs não tem limites coincidentes, foi ainda necessária uma análise espacial em SIG.

Para as análises espaciais, os dados dos valores calculados na etapa anterior foram importados para a base georreferenciada de bairros em SIG. As camadas de bairros e das ZTs 2003 foram sobrepostas e o valor médio por ZT foi estimado através de ferramenta específica de análise espacial em SIG. Para algumas ZTs não havia a informação (por não existir oferta de aluguel para todos os bairros). Estes valores foram, então, estimados através de análise estatística espacial, calculando-se o valor médio das áreas vizinhas. Como todos os dados de valores monetários do modelo, estes também foram atualizados para o valor em R\$ para agosto de 2008 (data referência) depois convertidos para o valor em Euros da mesma época.

## **CONCLUSÕES**

A apresentação e discussão do processo de ajuste do modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*) para a realidade da cidade de Porto Alegre, que constituiu o objetivo do presente estudo, resultou na seguinte conclusão. A obtenção dos dados para alimentar um modelo que lida com as complexidades de interação dinâmica entre uso do solo e transportes constitui, ainda hoje, um problema para uma cidade brasileira de grande porte.

O MARS, dentre os modelos LUTI existentes, apesar da complexidade de suas análises, é considerado um modelo mais estratégico e de nível mais agregado. Isto porque tem sido mantida a preocupação dos criadores de evitar problemas relacionados com o excesso de detalhes, inclusive no que diz respeito à necessidade de dados. No entanto, a quantidade de variáveis necessárias para alimentar o MARS é grande (90 ao todo). Isto agravou os diversos problemas encontrados na obtenção dos dados, que acarretou a inviabilização de ajuste do MARS-POA74 e, conseqüentemente, um processo completo de calibração e validação.

Mesmo para o ajuste do MARS-POA2003, com a existência de bancos de dados em SIG, e muitos dados digitais, problemas como formatos de algumas bases, inexistência de informação, nível de agregação e de incongruência dos dados exigiram muito esforço e tempo em análises estatísticas e espaciais para a obtenção das variáveis. Cabe destacar, também, que quanto mais desagregado é o zoneamento, maior é a dificuldade para estimar, ou avaliar incongruências, em dados vetoriais e matrizes. Este foi o caso do modelo de Porto Alegre, que possui, aproximadamente, a mesma área total da cidade de Viena, porém o número de áreas de análise é quatro vezes maior (96 ZTs e 23 distritos, respectivamente).

Espera-se que o “Guia de Coleta de Dados” desenvolvido para este trabalho, possa auxiliar no ajuste de outros modelos para o Brasil, e possa orientar no momento do planejamento de novas coletas de dados de uso do solo e transportes. Finalmente, cabe salientar, que após terem sido contornados os problemas encontrados, um Modelo MARS-POA está em fase final de calibração e, a exemplo das aplicações na Europa e Ásia, pode ser de grande contribuição para futuros estudos de planejamento da mobilidade em Porto Alegre.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- DETRAN-RS. Estatísticas - Departamento de Trânsito do Estado do Rio Grande do Sul – Disponível em: <http://www.detran.rs.gov.br/index.php?action=estatistica> Acessado em: 18 de jul. 2008
- DSC/ME&P (1999). Review of land-use/transport interaction models. Relatório para: SACTRA - Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment. David Simmonds Consultancy e Marcial Echenique and Partners, Department of the Environment, Transport and the Regions, Londres.
- Echenique, M. H. *et al.* (1990). The MEPLAN models of Bilbao, Leeds and Dortmund. *Transp Transport Reviews*, V. 10, p. 309 – 322, 1990.
- EPTC (2004) – Entrevista Domiciliar – Pesquisa de Origem e Destino para Porto Alegre – Empresa Pública de Transportes e Circulação – EPTC. Porto Alegre, 2003
- GEIPOT (1976). Pesquisa de Origem e Destino de Porto Alegre, 1974 – Plano diretor de transportes urbanos da região metropolitana de Porto Alegre: 1976 / Empresa brasileira de Planejamento de Transportes – Porto Alegre: GEIPOT, 1976
- Haken, H. (1983). *Advanced Synergetics - Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices*, Springer-Verlag
- Iacono, M., D. Levinson e A. El-Geneidy (2008). Models of Transportation and Land Use Change: A Guide to the Territory. *Journal of Planning Literature*, V. 22, N<sup>o</sup>. 4
- IBGE (1973). Censo Demográfico – Rio Grande do Sul – VIII Recenseamento Geral – 1970. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística, Rio de Janeiro, 1973. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1970/CD\\_1970\\_RS.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1970/CD_1970_RS.pdf). Acesso em 08 de Jul. de 2008.
- IBGE (1982). VIII Recenseamento Geral do Brasil – 1980 – Censo Demográfico – dados Distritais – Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística, Rio de Janeiro 1982. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1980/CD\\_1980\\_Dados\\_Distritais\\_RS.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1980/CD_1980_Dados_Distritais_RS.pdf). Acesso em: 28 de Jul. de 2008.
- IBGE (1991). Censo Demográfico 1991: Mão-de-Obra – Resultados da Amostra - Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística, Rio de Janeiro, 1991. p. 1 – 306, 1991. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1991/CD\\_1991\\_mao\\_de\\_obra\\_RS.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1991/CD_1991_mao_de_obra_RS.pdf). Acesso em: 28 de Jul. de 2008.
- IBGE (1991). Censo Demográfico 1991: Resultados do universo relativos às características da população e dos domicílios – Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística, Rio de Janeiro, p. 1 – 688, 1991. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1991/CD\\_1991\\_caracteristicas\\_populacao\\_domicilios\\_RS.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/CD1991/CD_1991_caracteristicas_populacao_domicilios_RS.pdf). Acesso em: 28 de Jul. de 2008.
- IBGE (1996). Contagem da População – 1996 - Resultados Definitivos da Contagem 96. Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística - Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem/default.shtm> Acesso em: 28 de Jul. de 2008.

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Néelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

- IBGE (2003). Censo Demográfico 2000 – Agregados por Setores Censitários dos Resultados do Universo – Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística - Rio de Janeiro, 2003. Disponível em:  
[ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2000/Dados\\_do\\_Universo/Agregado\\_por\\_Setores\\_Censitarios](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2000/Dados_do_Universo/Agregado_por_Setores_Censitarios). Acesso em: 28 de Jul. de 2008.
- IBGE (2007). Contagem da População – 1996 - Resultados Definitivos da Contagem 96. Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística - Rio de Janeiro, 1996. Disponível em:  
[ftp://ftp.ibge.gov.br/Contagem\\_da\\_Populacao\\_2007/Agregado\\_por\\_Setores\\_Censitarios\\_2007](ftp://ftp.ibge.gov.br/Contagem_da_Populacao_2007/Agregado_por_Setores_Censitarios_2007). Acesso em 20 de jan. de 2008
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA - IBGE. Indicadores, População, Economia, Geociências, Canais, Download e Pesquisas. Disponível em:  
<http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em: Julho de 2008
- Lau e Kam (2005). A cellular automata model for urban land-use simulation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2005, v. 32, p. 247-263.
- Lowry, I.S. (1964) A model of metropolis, *Rand Corp*, [s.l.]
- Martínez, F.J. (1996) MUSSA: A land use model for Santiago City. *Transportation Research Record 1552: Transportation Planning and Land Use at State, Regional and Local Levels*, p. 126–134.
- Martínez, F.J. e P. Donoso (2001). MUSSA: Un Modelo de Equilibrio del Uso del Suelo con Externalidades de Localización, Planos Reguladores y Políticas de Precios Optimos. X Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Concepción.
- Mayerthaler, A., R. Haller e G. Emberger (2009a). A Land-Use/Transport interaction model for Austria. 27<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society, Albuquerque
- Mayerthaler, A., R. Haller e G. Emberger (2009b). "Modelling land-use and transport at a national scale - the MARS Austria model." 49th European Congress of the Regional Science Association International - Territorial Cohesion of Europe and Integrative Planning, Lodz/PL
- METROPLAN (1989). Documentação da Pesquisa Domiciliar – EDOM – 1986. Fundação Metropolitana de Planejamento – METROPLAN, Porto Alegre, Junho de 1989.
- Ortúzar, J. D., e L. G. Willumsen (1994). Modelling transport, Wiley, Chichester.
- Pfaffenbichler, P. (2003). The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator)—Development, testing and application. Institute for Transport Planning and Traffic Engineering, Vienna University of Technology, Vienna
- Pfaffenbichler, P. (2008). MARS - Metropolitan Activity Relocation Simulator. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken.
- Pfaffenbichler, P., G. Emberger and S.P. Shepherd (2008). The Integrated Dynamic Land Use and Transport Model Mars. *Networks and Spatial Economics* V. 8, pp. 183-200
- PMPA-SPM (1978) – Prefeitura Municipal de Porto Alegre – Secretaria do Planejamento Municipal. Transportes Urbanos. PMPA-SPM, Porto Alegre, 1978.
- PMPA-SPM (1979) – Prefeitura Municipal de Porto Alegre – Secretaria do Planejamento Municipal. 1º PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano. Lei Complementar 43/79. PMPA-SPM, Porto Alegre, 1979

*Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte*

LOPES, Simone Becker; SILVA, António Nelson Rodrigues; PFAFFENBICHLER, Paul

PMPA-SPM (1989) – Prefeitura Municipal de Porto Alegre – Secretaria do Planejamento Municipal. Vazios Urbanos: Análises Propostas. PMPA-SPM, Porto Alegre, 1989  
PMPA-SPM (1999) – Prefeitura Municipal de Porto Alegre – Secretaria do Planejamento Municipal – Lei Complementar nº 434 – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental – PDDUA. Porto Alegre, 1999. Disponível em:

[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p\\_secao=191](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?p_secao=191) Acesso em: 15 de set de 2008.

Salvini, P. e E.J. Miller (2005). ILUTE: An operational prototype of a comprehensive microsimulation model of urban systems. *Networks and Spatial Economics*, 5 (2) 217-34.

Shepherd, S. *et al.* (2008). The Effect of Oil Prices on Transport Policies in Europe. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2/1, S. 19 - 40.

Simmonds, D.C. (1999). The design of the DELTA land-use modelling package. *Environment and Planning B, Planning Design* 26:665–684

Simmonds, D.C. (2001). The objectives and design of a new land use modelling package: DELTA. Clark GP, Madden M (eds) *Regional science in business*. Springer, Berlin.

Sterman, J. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, Irwin/McGraw-Hill, Boston.

Waddell, P. (2002). UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation and environmental planning. *J Am Plann Assoc* 68(3):297–314.

Wegener, M. (1998). Das IRPUD-Modell: Überblick. Disponível em:

<http://www.raumplanung.uni-dortmund.de/irpud/pro/mod/mod.htm> Acesso em 27 de set. de 2005.