

UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE USO DO SOLO E TRANSPORTES MARS NO BRASIL

S. B. Lopes, A. N. R. Silva, P. C. Pfaffenbichler

RESUMO

O objetivo deste trabalho é discutir detalhes da aplicação do modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*) em uma cidade brasileira. O MARS é um modelo estratégico, dinâmico e integrado de uso do solo e transportes, desenvolvido na Áustria. Já está sendo aplicado em 16 cidades da Europa e Ásia e está em desenvolvimento na América do Norte, para Washington, D.C., e, também, na América do Sul, para Porto Alegre, a qual constitui o estudo de caso deste trabalho. Conclui-se que 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 desafio para uma cidade brasileira de grande porte. As hipóteses subjacentes ao MARS nem sempre são compatíveis com a realidade brasileira, porém adequações dos submodelos de uso do solo e transportes são possíveis mediante ajuste na forma de considerar às variáveis iniciais.

1 INTRODUÇÃO

As limitações energéticas e as alterações climáticas já se fazem sentir, exigindo políticos, políticas e ações que tornem os meios de transporte urbano cada vez mais sustentáveis. Entre os métodos para tratar problema de tal complexidade estão os modelos de interação do uso do solo e transportes (LUTI - *Land Use Transport Interaction*), desenvolvidos para prever as interações entre desenvolvimento econômico e demanda por transportes. O modelo MARS (*Metropolitan Atividade Relocation Simulator*), que foi selecionado após uma análise preliminar de mais de vinte modelos alternativos, é um exemplo. 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.

O MARS baseia-se na hipótese de que os assentamentos e as atividades são sistemas auto-organizados, portanto, podem ser descritos pelos princípios da dinâmica de sistemas, da sinergia e da teoria do caos. O modelo foi especialmente concebido para se adequar em um processo de tomada de decisão logicamente estruturado. A técnica de Diagramas de Ciclos Causais (DCC ou CLD - *Causal Loop Diagrams*, em inglês) é usada para explicar as principais relações de causa e efeito nele empregadas. Por não se tratar de um processo simples, toda aplicação do modelo envolve uma série de ajustes. O objetivo deste trabalho é apresentar o processo de ajuste do modelo MARS para se adequar às condições de uma cidade brasileira.

O desenvolvimento do sistema MARS, que foi primeiramente calibrado para a cidade de Viena, começou em 2000. Hoje é um modelo amplamente testado e em constante aprimoramento em cada nova cidade onde é aplicado para estudo do processo de

desenvolvimento urbano sustentável. Porto Alegre é o estudo de caso apresentado neste trabalho, cujo foco é avaliar a possibilidade de transferência das relações de causa-efeito quanto ao desenvolvimento de uso do solo e transportes, inerentes ao MARS, para a realidade brasileira. Assim, após uma avaliação das dificuldades encontradas nas primeiras fases de ajuste do modelo, são discutidas as alternativas para resolver os problemas de transferência encontrados. As questões abordadas englobam: as diferenças históricas e culturais, hábitos diferentes em relação à utilização do espaço público, à organização dos transportes públicos e à importância da utilização do automóvel como um modo de transporte intenso nas cidades brasileiras, as dificuldades para a obtenção de dados de transporte e uso do solo e, principalmente, séries temporais dos respectivos dados.

2 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. 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 (detalhes em Ventana Systems, Inc), 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).

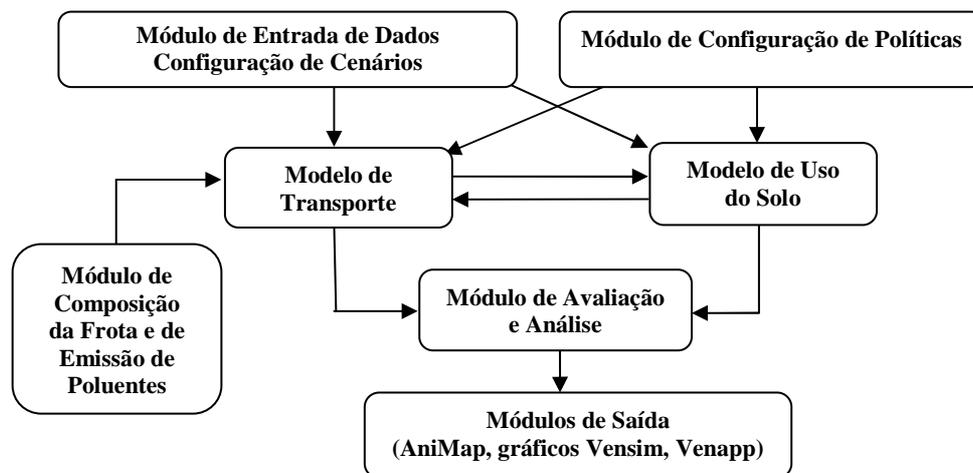


Fig. 1 Estrutura básica do Modelo MARS.

2.1 Modelo de Transporte do MARS

O modelo de transporte 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 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 ciclos causais (DCCs), 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 ciclo 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 ciclo B1. O ciclo 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 ciclo 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.

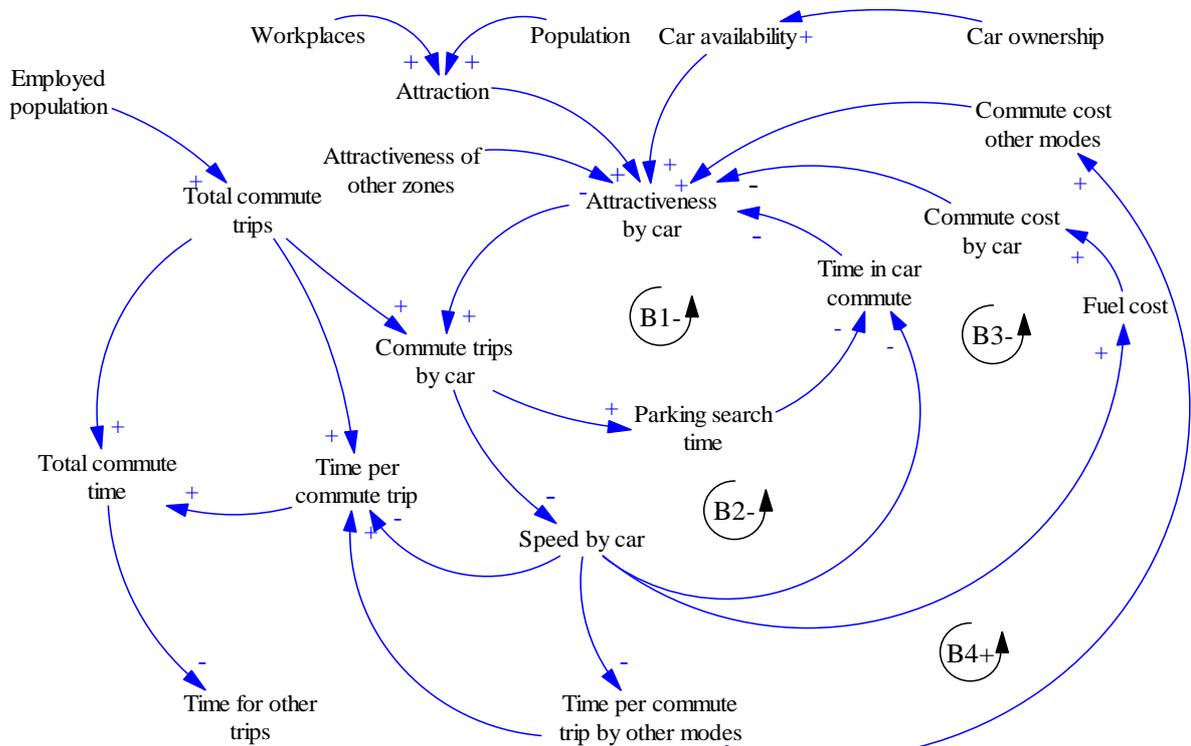


Fig. 2 DCC do modelo de transporte - viagens pendulares

2.2 Modelo de Uso do Solo do MARS

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 criação 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 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.

Submodelos de criação e de localização de unidades habitacionais

A Figura 3 mostra o DCC para a criação de unidades habitacionais e para a escolha da localização por parte dos residentes. O ciclo 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. Esta, 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 ciclo H2 é de reforço, pois com novas residências há redução da demanda e, também, da receita e, conseqüentemente, do preço da terra. Isso torna o desenvolvimento da região mais atraente para o empreendedor, quando todos os outros elementos são iguais. O ciclo H3 representa a limitação de terras disponíveis para ocupação, ou seja, com a redução de terras disponíveis há redução da atratividade. O ciclo H4 é em continuidade ao H3, representando o efeito da disponibilidade de terras no preço da terra.

Os ciclos de criação das unidades habitacionais estão ligados à escolha dos locais de moradia. 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 ciclo 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 ciclo 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.

O ciclo 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 ciclo M4 também é uma realimentação positiva que estende o ciclo H1, ou seja, com o aumento de residentes há aumento de demanda, que aumenta 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).

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.

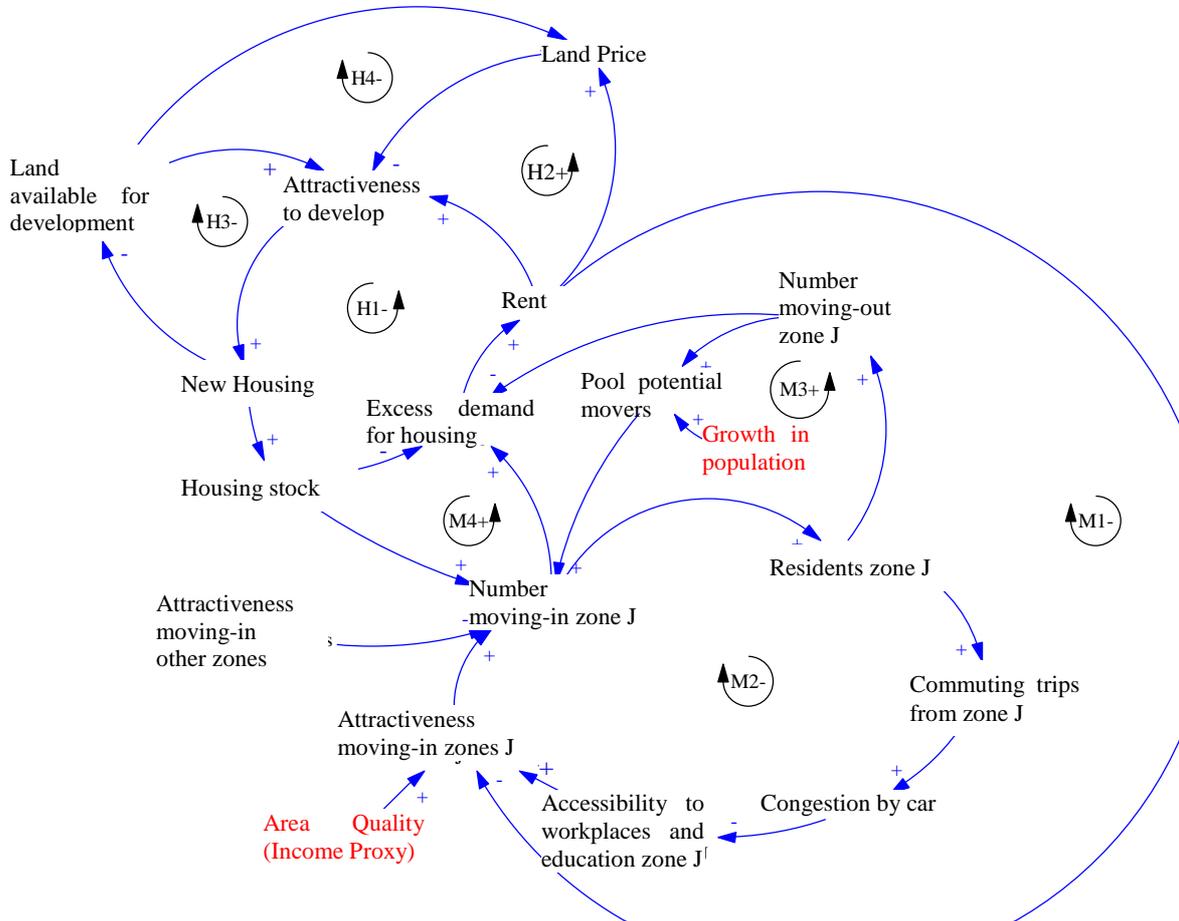


Fig. 3 DCC para criação e localização de unidades habitacionais

3 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. Desta forma, 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 subsequentes.

O passo seguinte é a coleta de dados. Para o criador do MARS, esta 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 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: *Guidance to data collection using the MARS data user interface* disponível na página virtual do MARS), que explica como usar a interface e esclarece detalhes a respeito dos noventa tipos de dados necessários para a configuração inicial do modelo, que são alimentados através de vinte e nove diferentes planilhas.

Estes dados foram organizados em oito grupos conforme as características específicas e níveis de agregação: *i.* Taxas de crescimento anuais (*Growth Rates*) para população residente, para postos de trabalho por setor (produção e comércio/serviços) e posse de veículos particulares para cada ano do período de análise, que é definido a priori como 30 anos; *ii.* Dados Escalares Básicos (*Basic Scalar Data*), que são valores médios para a área de estudo referentes à mobilidade, moradia, capacidade das vias e características de viagens; *iii.* Dados Vetoriais Básicos (*Basic Vector Data*), que são dados por zona de tráfego (ZT) sobre residentes, domicílios, emprego, posse de veículos, desenvolvimento de uso do solo e valor médio da terra; *iv.* Modo Lento (*Slow Mode*), que é uma matriz O-D de distâncias entre ZTs para os modos a pé e bicicleta; *v.* Automóvel (*Car*), que são dados vetoriais sobre características de viagem por modo automóvel e matrizes O-D de velocidade, distância e custo de pedágio para a “hora pico” e de “entre pico”; *vi.* Transporte Público (TP) por Ônibus (*PT Bus*), que são matrizes O-D de distância média percorrida; *headways* médios; tempo médio gasto em transbordo; percentual do TP que opera em vias segregadas; velocidade média; e custos, para a “hora pico” e de “entre pico”; *vii.* TP Trilhos (*PT Rail*), que são matrizes O-D análogas ao “*PT Bus*”, mas para modos de grande capacidade sobre trilhos; e *viii.* Políticas (*Policy Instruments*), que contempla o módulo de configuração das políticas a serem testadas.

Considerando a transferência do MARS para uma cidade brasileira, que apresenta muitos aspectos diferentes da realidade de uma cidade europeia, não basta apenas entender a característica de cada variável em termos de formato, nível de agregação e unidades. Antes de introduzi-la no modelo é preciso entender o papel que cada uma exerce. Ou seja, como são consideradas nas relações de causa e efeito nos submodelos de uso do solo e transportes, como vão interagir e que outras variáveis vão alimentar. Só entendendo bem as suposições básicas será possível verificar se o dado está adequado à nova realidade.

Além dos dados de entrada para o ano base (início da simulação), são necessários, também, dados de viagem, 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. Neste caso, também, é preciso analisar as origens dos inúmeros dados de saída do MARS, os diferentes formatos e características para saber quais dados reais podem ser comparados com estimativas para avaliar o desempenho do modelo.

3.1 Análise do processo de ajuste do modelo MARS VIENA

O modelo original MARS ajustado inicialmente para a cidade de Viena utiliza os 23 distritos administrativos municipais como zonas de análise. Contando na época do desenvolvimento do modelo com muitos dados 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, no número de unidades habitacionais de 1991 a 1998 e 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.

3.2 Investigação da possibilidade de transferência do MARS

O MARS já foi aplicado em várias outras cidades em diferentes contextos urbanos. No entanto o maior desafio foi a aplicação do MARS para o contexto de cidades asiáticas, que são bem diferenciadas em relação à Europa. Os desafios desta aplicação estavam relacionados à disponibilidade de dados, modos de transportes bem diferenciados e grandes diferenças no nível de moradias. Antes da transferência do modelo MARS para uma cidade com diferentes características, costumes e infraestrutura de transporte, é importante conhecer outras experiências e que tipo de adequações foram realizadas. Uma avaliação da possibilidade de transferência do MARS para cidades asiáticas é explorada por Emberger *et al.* (2005). No entanto, por problema de falta de dados históricos de anos anteriores, não ocorre uma investigação completa, conforme sugerido por Pfaffenbichler (2008).

4 ESTUDO DE CASO - MODELO MARS PORTO ALEGRE

O estudo de caso apresentado é o ajuste do modelo MARS para a cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, onde residem atualmente 1,43 milhão de pessoas. A cidade pertence à 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 indicam a percepção, pelos órgãos municipais, de que 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. Esta foi uma das motivações para o emprego de um modelo como o MARS em 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. O entendimento sobre a função de cada variável nos submodelos, as interrelações entre eles e as características das variáveis de saída foi aprofundado nas etapas de alimentação e de calibração do modelo.

Algumas dificuldades foram enfrentadas nas primeiras fases de ajuste do modelo para Porto Alegre. Além disso, algumas alternativas tiveram de ser analisadas para resolver os problemas de transferência do modelo para a realidade brasileira. Tais questões são discutidas a seguir.

4.1 Dificuldades referentes à obtenção de dados

Problemas de disponibilidade de dados já haviam sido enfrentados na etapa de alimentação do modelo MARS para a cidade de Porto Alegre. A não existência de dados ou a forma como eram disponibilizados e o nível de agregação em que se encontravam, exigiram muito esforço em análises espaciais e estatísticas para estimativa de parte das variáveis de um modelo inicial para a década de 70. Concluindo-se que para 44 % dos dados não havia nada a fazer, o ajuste de um modelo com ano base 1974 ficou inviabilizado e com isto a investigação mais detalhada da possibilidade de transferência dos modelos de uso do solo e transportes, conforme sugerido por Pfaffenbichler (2008). A saída foi o ajuste de um modelo com dados mais recentes, o MARS-POA2003. Porém, 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 (Lopes *et al.*, 2010).

Durante o processo de calibração, que foi a etapa seguinte, outros problemas foram verificados. Os dados de viagens utilizados para calibrar os modelos de transportes estavam incompatíveis com os dados de população que alimentavam as variáveis iniciais, ambos obtidos na mesma pesquisa O-D. O que, inicialmente, parecia um problema de falta de calibração dos submodelos de transporte do MARS-POA2003, subestimando viagens produzidas casa-trabalho por transporte individual TI, na verdade era problema de inconsistência da base de dados, que superestimava estes dados em algumas ZTs. Conforme a pesquisa O-D de 2003, o número de viagens casa-trabalho, considerando somente a primeira viagem do dia, ultrapassava em algumas ZTs o número de população empregada, chegando esta diferença a 18%. Finalmente, constatou-se que o problema estava no fator de aferição definido para o transporte individual (1,902), estimado na ocasião da pesquisa O-D com base em contagens realizadas na linha de contorno da cidade, o qual foi aplicado igualmente para a totalidade da área considerada. Uma análise detalhada dos dados de contagens teve de ser realizada a fim de estimar novos fatores de aferição adequados às diferentes regiões da cidade.

4.2 Questões sobre a transferência para a realidade de Porto Alegre

Foram verificadas algumas hipóteses do MARS que não correspondem à realidade de Porto Alegre. Um exemplo é o submodelo de transportes para estimativas de viagens de hora pico (HP), que considera pessoas empregadas como dado principal para o cálculo de viagens produzidas na hora pico (VPH) por ZT e desconsidera estudantes. Para o cálculo de viagens atraídas na hora pico (VAHP) são considerados os postos de trabalho de cada ZT e desconsideradas as vagas escolares (Figura 4). No entanto na realidade brasileira e, particularmente, no que diz respeito a Porto Alegre, viagens por motivo escola representam um impacto considerável nos deslocamentos dos horários de pico. Tanto que em período de férias escolares verificam-se grandes reduções no fluxo de veículos em horários de pico.

A Figura 4 apresenta parte de um submodelo de transportes do MARS na tela do VENSIM®. O que está em letras vermelhas corresponde aos dados iniciais do ano base ($t = 0$) alimentado no início da simulação. Cada variável em letras pretas possui uma equação associada, onde os dados considerados neste cálculo são os conectados com as flechas azuis em direção a esta variável. Estes dados podem ser valores constantes definidos no início da simulação ou variáveis calculadas durante a simulação e realimentadas para cada período de análise. Estão destacados em magenta cada um dos dados relacionados à estimativa VPHP por ZT de origem (*total tours peak i*) assim como os relacionados com a estimativa VAHP por ZT de destino (*attraction*) para cada período de análise.

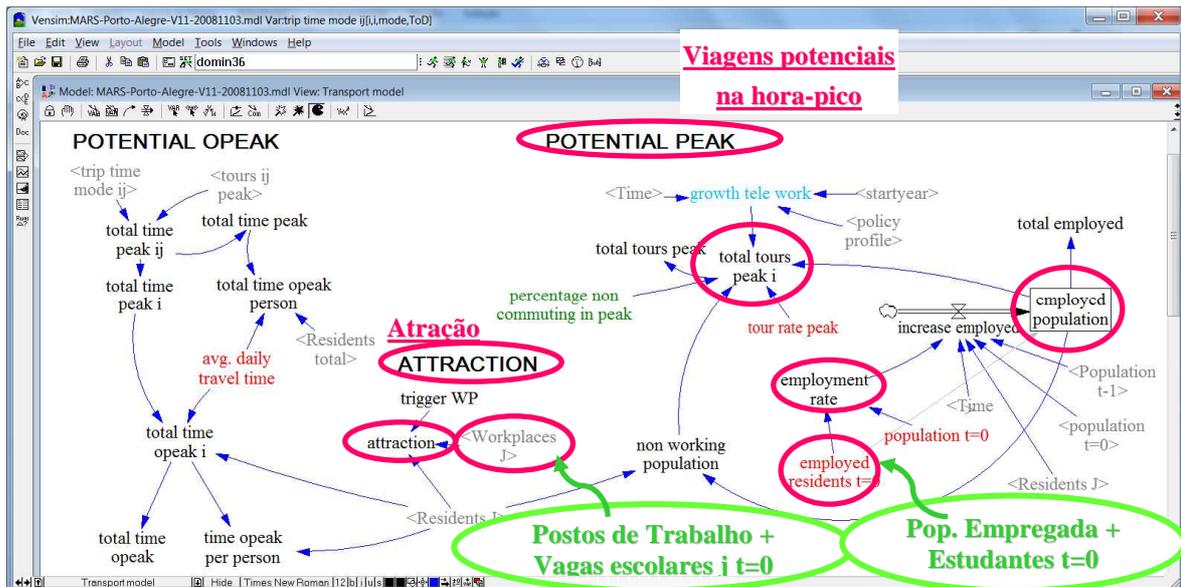


Fig. 4 Tela do MARS no VENSIM® - Submodelos de Transportes - Viagens potenciais na hora pico - Produção e Atração

Dos cinco dados abaixo, que são consideradas no cálculo de VPHP por ZT, os dois primeiros são obrigatórios, o terceiro e o quarto são opcionais e o quinto está relacionado com um instrumento de políticas, que pode ser testado ou não:

1. *Tour rate peak* (em vermelho): Taxa de viagem HP, que corresponde a um número médio de viagens por pessoa empregada e por dia de trabalho (*dias de semana por ano* dividido por *dias de semana por ano descontando-se dias de férias e feriados*);
2. *Employment Population*: pessoas empregadas por ZT para cada período de análise. É resultante de outro submodelo que leva em consideração a taxa de pessoas empregadas por ZT (*employment rate*), calculado com base no dado inicial de número de residentes empregados no ano-base (*employment residents t=0*) por ZT e população no ano base (*population t=0*);
3. *Percentage non commuting in peak*: percentual de pessoas que viajam por outros motivos, que não trabalho, no horário de pico. Viagens eventuais na HP, cujos percentuais podem ser definidos para a região, conforme o estudo de caso. *A priori* este valor é zero;
4. *Non working population*: população que não trabalha na ZT de origem e que vai variar em cada período de análise. Entra para possibilitar o cálculo da variável anterior;

5. *Growth telework*: percentual de tele trabalho, que representa uma política para diminuir número de deslocamentos e que pode ser testada ou não. É definida no módulo de entrada de políticas, cujo ano de início também pode ser definido.

Para um melhor entendimento de como ocorre o cálculo de VPHP por ZT, a Figura 5 apresenta o módulo de edição de equações do VENSIM® para a equação associada a esta variável. Percebe-se que a suposição básica é que a PVHP está relacionada unicamente ao motivo trabalho. Da mesma forma, conforme destacado na Figura 4, a atração de viagens (*attraction*) está relacionada principalmente com os postos de trabalho existentes nesta ZT de destino (*Workplaces J*).

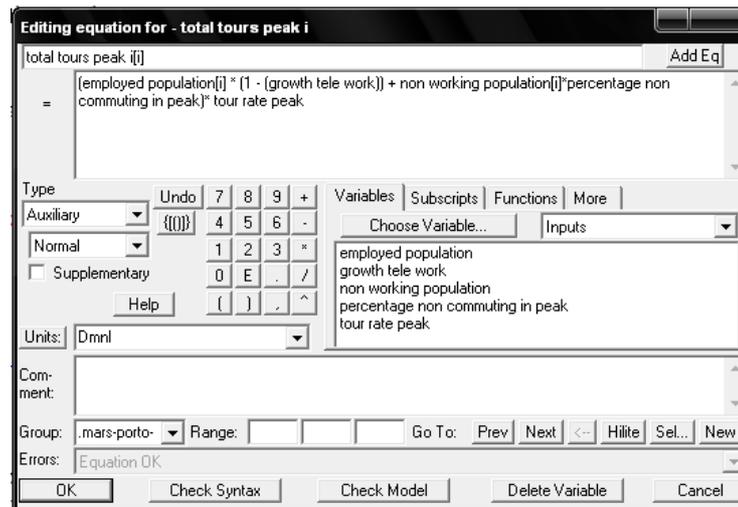


Fig. 5 Módulo de edição de equações no VENSIM® - VPHP na ZT_i (*total tours peak i*)

Em Porto Alegre, por exemplo, viagens por motivo estudo representam também problemas de congestionamentos e são causas de consideráveis atrasos na hora pico no entorno das maiores escolas. Em parte devido à cultura local relacionada à importância da utilização do automóvel como um modo de transporte intenso e em parte devido à infraestrutura de transporte público ser inferior em relação aos países da Europa, estas viagens são realizadas na grande maioria por veículo particular ou transporte escolar. Segundo dados da EDOM 2003, em Porto Alegre, das 185.000 viagens realizadas por transporte individual na hora pico da manhã, 63 % são por motivo trabalho e 30 % são por motivo escola (sendo que 11 % destas são para levar outra pessoa).

Pode-se destacar também que o Brasil ainda é um país com mais jovens, se comparado com a Áustria. Analisando as pirâmides etárias apresentadas na Figura 6 para Viena, onde o MARS foi criado, e para Porto Alegre, ambas em 2000, fica clara a diferença proporcional de crianças e jovens entre as duas cidades. Tomando por base a população com idade inferior a 25 anos (idade média de conclusão dos estudos universitários), Porto Alegre apresentava em torno de 563 mil pessoas (41% da população total) em 2000. Conforme Lutz *et al.* (2003), em Viena a população nesta faixa etária em 2000 era de 350 mil (22% da população total).

A alternativa encontrada para resolver este problema, que está destacada em verde na Figura 4, foi somar, ao dado inicial de pessoas empregadas por ZT no ano base, o número de estudantes. Da mesma forma, somar as vagas escolares ao dado de postos de trabalho por ZT no ano-base. Com isto as estimativas de produção e atração de viagens na hora-pico

poderão refletir melhor a realidade brasileira e não subestimar viagens em ZTs onde estão localizadas as grandes escolas para classe média e alta, onde se verificam os maiores congestionamentos na hora pico de períodos escolares.

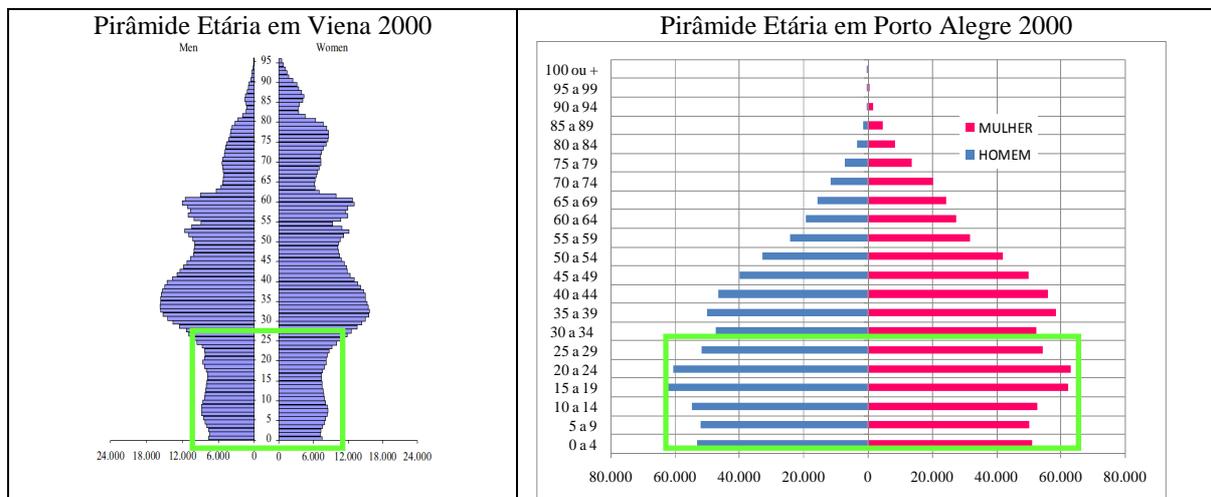


Fig. 6 Pirâmides etárias no ano de 2000 para Viena, Áustria, e Porto Alegre, Brasil

5 CONCLUSÕES

A apresentação e discussão do processo de ajuste do modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*) para as condições de uma cidade brasileira (Porto Alegre), que constituiu o objetivo do presente estudo, resultou nas seguintes conclusões. 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 desafio para uma cidade brasileira de grande porte. As hipóteses subjacentes ao MARS nem sempre são compatíveis com a realidade de uma cidade brasileira, porém adequações dos submodelos de uso do solo e transportes são possíveis mediante ajuste na forma de considerar às variáveis iniciais.

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, o que inviabilizou a completa investigação da possibilidade de transferência dos submodelos de transporte e uso do solo.

Para as viagens na hora-pico o MARS pressupõe que são, principalmente, por motivo trabalho, ignorando o motivo estudo. No Brasil, onde a pirâmide etária ainda é mais larga na base, as viagens por motivo escola representam uma grande proporção nos horários de pico. O problema ainda se agrava pelos congestionamentos causados devido ao grande volume de viagens de automóvel. A alternativa foi incluir o número de estudantes nos dados iniciais de pessoas empregadas por ZT e, da mesma forma, somar as vagas escolares aos dados de postos de trabalho por ZT.

Finalmente, cabe salientar, que após terem sido contornados os problemas encontrados, e realizadas as devidas adequações, o 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.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), à CAPES (Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) por contribuírem para diferentes fases do desenvolvimento da pesquisa que deu origem a esse artigo.

6 REFERÊNCIAS

Emberger, G., Pfaffenbichler, P.C., Sitta, J. (2005) Application of the European Landuse Transport Interaction Model MARS to Asian Cities, **Proceedings 9th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management**, 2005, Londres, Inglaterra.

Haken, H. (1983) **Synergetic Introduction and Advanced Topics, Part II: Advanced Topics - Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices**, Springer-Verlag, Berlim, Alemanha.

IBGE (2007) Contagem da População - 2007 - Rio Grande do Sul. Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística - Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contagem_da_Populacao_2007/Agregado_por_Setores_Censitarios_2007> Acesso em 20 de jan. de 2008.

Lopes, S. B.; Rodrigues da Silva, A.N. e Pfaffenbichler, P (2010) Ajuste do Modelo Dinâmico Integrado de Uso do Solo e Transportes MARS para uma Cidade Brasileira de Grande Porte, Aprovado para o **XVI PANAM - XVI Congresso Pan-Americano de Tráfego, Transporte e Logística**, 15-18 Julho, 2010 - Lisboa, Portugal.

Lutz, W., Scherbov, S. e Hanika, A. (2003) “Vienna: a city beyond aging”- revisited and revised, **Vienna Yearbook of Population Research 2003**, 1, 181-195. Disponível em: http://epub.oeaw.ac.at/0xc1aa500d_0x0002f4cc.pdf Acessado em 26 de mar de 2010.

Mayerthaler, A., Haller, R. e Emberger, G. (2009a) A Land-Use/Transport interaction model for Austria. **Proceedings 27th International Conference of the System Dynamics Society**, Albuquerque, Estados Unidos da América.

Mayerthaler, A., Haller R. e Emberger, G. (2009b) Modelling land-use and transport at a national scale - the MARS Austria model, **Proceedings 49th European Congress of the Regional Science Association International - Territorial Cohesion of Europe and Integrative Planning**, Lodz, Polônia.

Ortúzar, J. D. e Willumsen, L. G. (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. Muller, Saarbrücken.

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

Ventana Systems, Inc. - **Vensim® Software – Linking System Thinking to Powerful Dynamic Models**, Disponível em: <http://www.vensim.com/software.html> Acessado em: 13 de jun 2010