

Uma Ferramenta para Planejamento da Mobilidade Sustentável com Base em Modelo Integrado de Uso do Solo e Transportes

LOPES, Simone Becker
PFAFFENBICHLER, Paul
RODRIGUES DA SILVA, Antônio Nelson

Resumo

O objetivo do presente estudo é analisar a viabilidade de uma ferramenta de apoio à decisão adequada à visão de planejamento da mobilidade, presente na legislação de mobilidade urbana sob respaldo do Ministério das Cidades, no Brasil. O modelo MARS, ferramenta selecionada para considerar a dinâmica do desenvolvimento urbano e integração entre uso do solo e transportes, foi ajustado para a cidade de Porto Alegre. Oito diferentes cenários de planejamento urbano, considerando diferentes políticas energéticas, foram simulados em um horizonte de trinta anos. Os resultados indicaram que o modelo pode vir a constituir uma importante contribuição para estudos de planejamento da mobilidade urbana sustentável.

Palavras-chave: Planejamento de transportes; Uso do solo; Sistemas dinâmicos; Análise espacial; acessibilidade.

Abstract

The goal of this study was to develop a decision support tool able to cope with the new mobility planning paradigm that is currently emphasized by the Brazilian Ministry of the Cities. The model MARS, tool selected to replicate the dynamics of the urban development and the relationships between land use and transport was set up to the city of Porto Alegre. Eight different urban planning scenarios, related to different energy policies, were simulated for a time horizon of thirty years. The results drawn indicate that the model can be of great importance to studies of sustainable mobility urban planning.

Key-words: *Transport planning; Land use; Dynamic systems; Spatial analysis; Accessibility.*

1. Introdução

A ideia de mobilidade vai além do número de viagens por pessoa por dia, e envolve aspectos relacionados com saúde (física e psicológica) da sociedade, sua economia e qualidade do ambiente. Embora não seja possível encontrar uma definição única para mobilidade sustentável, ela pode ser entendida como aquela que minimiza os efeitos negativos do transporte relacionados à poluição do meio ambiente, aos acidentes de trânsito, aos tempos perdidos em congestionamentos, à exclusão social, aos altos custos de viagens, ao consumo de energia não renovável, ao consumo do solo urbano.

A busca da mobilidade urbana sustentável constitui um desafio às políticas públicas urbanas, pois os sistemas de transportes e uso do solo, nas cidades de todo o mundo, dão sinais inequívocos de insustentabilidade. Decorrem, de um lado, do crescimento urbano disperso, e de outro, das modalidades de transporte que geram poluição, consumo de recursos não renováveis, congestionamentos, entre outros.

A preocupação com os impactos no ambiente urbano causados pelo transporte tem sido uma questão constante nas últimas décadas. No entanto, está focada recentemente em mudanças climáticas por causa das significativas e crescentes emissões de CO₂ e GEE (Gases do Efeito Estufa) relacionadas com estes sistemas. Políticas que visam mitigar tais problemas baseadas em medidas isoladas, no âmbito apenas dos transportes, já se mostraram inadequadas no passado, tornando necessário um escopo mais amplo de análise. A noção de que o transporte e uso do solo são fortemente inter-relacionados se tornou um conhecimento comum e, neste sentido, o planejamento urbano requer, cada vez mais, instrumentos de apoio à decisão para que os objetivos globais de sustentabilidade sejam atingidos.

O transporte tem um papel fundamental no desenvolvimento urbano, podendo ser um relevante e eficaz instrumento de reestruturação urbana e vetor de expansão controlada ou direcionada. Para tanto, deve estar inserido no planejamento integrado das cidades, incorporando os princípios da sustentabilidade plena e tendo o seu planejamento e controle submetido aos interesses da maioria da população, conforme tem sido enfatizado pelo Ministério das Cidades, no Brasil.

O conceito de planejamento da mobilidade preconizado para os municípios brasileiros, de certa forma, 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 infraes-

trutura urbana. É bem mais abrangente do que a maneira tradicional de tratar os elementos da circulação, não os considerando de forma segmentada e administrando a circulação de pessoas, não somente 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, ainda cabem muitas críticas aos modelos tradicionais, como o modelo de quatro etapas¹.

Entre outras limitações, os modelos tradicionais em geral não incorporam características espaciais na estrutura dos dados. Além disso, parte das deficiências se deve também ao seu caráter estático, o que prejudica projeções em longo prazo, e por não serem consideradas mudanças urbanas relativas ao uso do solo. Isso reforça a necessidade de projeções baseadas no estudo da dinâmica do desenvolvimento urbano, como será abordado neste trabalho.

O que se propõe nesta pesquisa é, portanto, implementar 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. Deve-se destacar que se trata de uma continuidade de estudos já desenvolvidos por Lopes (2005)², em que foram avaliadas as deficiências e implementadas algumas melhorias nos modelos tradicionais de transporte, particularmente a incorporação de características espaciais nos modelos de demanda por transportes, resultando em modelos com melhor qualidade de ajuste. Concluiu-se então que, para estimativas futuras, não bastava apenas considerar as variáveis espaciais. Era preciso incorporar a dinâmica do desenvolvimento urbano nos modelos. O objetivo deste estudo, portanto, tem base nos resultados obtidos com os modelos espaciais analisados por Lopes (2005) e na hipótese de que a incorporação, na modelagem, da dinâmica existente na relação entre uso do solo e transportes pode produzir resultados melhores do que os modelos tradicionais.

Modelos LUTI (*Land Use and Transport Interaction Models*) consideram a interação existente entre uso do solo e transportes. Parte-se da hipótese básica que um Modelo LUTI Dinâmico, ou seja, que modele o uso do solo e transportes de forma dinâmica e integrada, constitui uma fer-

ramenta adequada para servir de apoio à decisão no planejamento da mobilidade sustentável. Adicionalmente, acredita-se que, se os efeitos de dependência existente entre os dados forem considerados no modelo inicial, a ferramenta deve produzir resultados melhores para as estimativas de demanda por transportes.

2. MARS - Metropolitan Activity Relocation Simulator

O modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocation Simulator*), após a análise preliminar de mais de vinte alternativas apresentadas por Lopes (2010), foi considerado uma ferramenta apropriada para se atingir os objetivos deste trabalho. 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 vários projetos da União Europeia e, ao todo, para 22 cidades ou regiões e um país (Áustria) ao redor do mundo.

Já existem, até o ano de 2012, modelos MARS desenvolvidos para 14 cidades ou regiões na Europa (Gateshead, Leeds, Edimburgo (Reino Unido da Grã Bretanha), Oslo, Trondheim (Noruega), Helsinque (Finlândia), Viena, Região Bratislava-Viena, Região da Caríntia (Áustria), Madri (Espanha), Estocolmo (Suécia), Bari (Itália), Estrasburgo e Mulhouse (França)), para 6 cidades na Ásia (Ho Chi Minh City, Hanoi (Vietnã), Chiang Mai, Ubon Ratchantani e Bangkok (Tailândia) e Banda Aceh (Indonésia) e para duas cidades nas Américas (Washington DC (Estados Unidos) e Porto Alegre (Brasil)). A primeira e, até o momento, única aplicação do MARS na América do Sul foi viabilizada através do trabalho de Lopes (2010)³.

O MARS é um modelo dinâmico que integra uso do solo e transportes e cuja hipótese básica é de 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 começa-

do 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. A Figura 1 apresenta a estrutura básica do modelo.

O MARS é constituído por um modelo de transporte que simula o comportamento de viagens da população relacionados às suas residências e locais de trabalho, um modelo de desenvolvimento de moradias, um modelo de escolha de locais de residência, assim como um modelo de composição de frota, consumo de combustível e emissão de poluentes. Os submodelos funcionam interativamente, conectados, por um lado, através da acessibilidade como dado de saída do modelo de transportes e dado de entrada para o modelo de uso do solo e, por outro lado, através da distribuição espacial da população e dos postos de trabalho, que são dados de saída do modelo de uso do solo e dado de entrada para o modelo de transportes. Uma descrição mais detalhada do MARS pode ser encontrada em Pfaffenbichler (2003) ou Pfaffenbichler *et al.* (2008, 2010).

Mais detalhes sobre cada um dos projetos onde o MARS foi utilizado como ferramenta de suporte à decisão podem ser obtidos na página virtual da universidade onde foi desenvolvido (INSTITUTE FOR TRANSPORT PLANNING AND TRAFFIC ENGINEERING - VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), porém vale destacar aqui duas aplicações: (i.) para a cidade de Ho Chi Minh, no Vietnã, e (ii.) para a cidade de Banda Aceh na Indonésia.

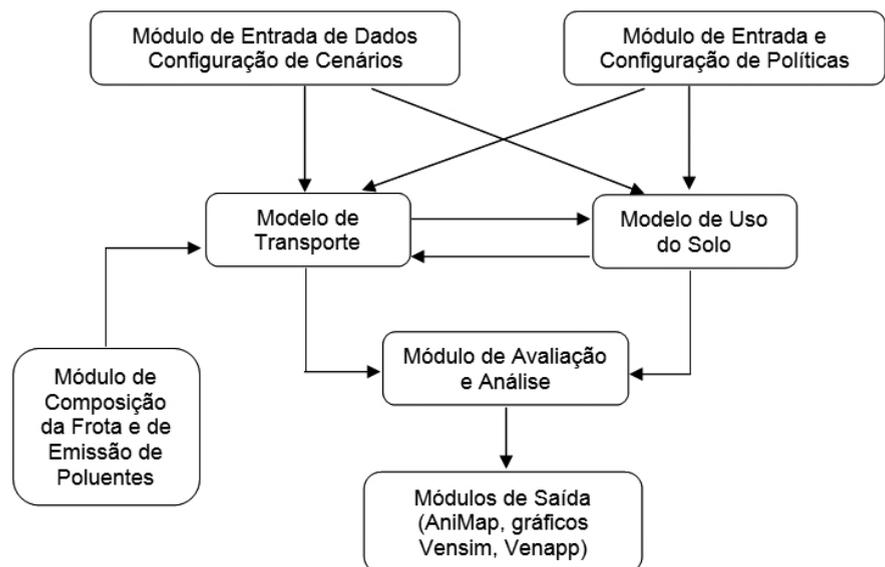


Figura 1 – vista aérea do campus Pampulha da UFMG

A primeira aplicação do MARS mencionada está inserida no âmbito de um projeto denominado “*Megacity Research Project TP. Ho Chi Minh*” que é uma iniciativa do Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa (BMBF) em função dos desafios relacionados às mudanças climáticas globais em áreas metropolitanas. Faz parte de um programa onde 10 projetos em megacidades emergentes em todo o mundo estão envolvidos em pesquisas sobre estratégias, para promover o desenvolvimento urbano sustentável, adaptadas às mudanças climáticas. Todos os projetos conduzem pesquisas aplicadas, o que significa que é necessário o equilíbrio entre a investigação e a implementação. O objetivo da aplicação do MARS para Ho Chi Minh é de dar suporte à decisão, no desenvolvimento de um Plano Diretor de Transportes, para escolha de melhores estratégias para estes sistemas, de forma a aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de GEE, ou gases de efeito estufa (BRANDENBURG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY).

A segunda aplicação do MARS mencionada faz parte de uma pesquisa de doutorado do Instituto de Estudos de Transportes da Universidade de Leeds (ITS – Leeds), onde o modelo está sendo ajustado para a cidade de Banda Aceh, recentemente atingida por um Tsunami. O objetivo é incorporar, no modelo, questões relativas a estes tipos de desastres. O intuito é obter uma ferramenta que combine transporte e gerenciamento de desastres. Os pesquisadores pretendem adicionar um fator de risco ao modelo de alocação de residência para estimar como a população poderá não se alocar em áreas de alto risco.

3. Metodologia

O trabalho aqui apresentado contempla as últimas etapas de um projeto mais amplo, cujo objetivo geral era o de contribuir para o planejamento e análise de políticas urbanas de mobilidade e desenvolvimento sustentável em cidades brasileiras.⁴

O modelo MARS POA, i.e., MARS ajustado para Porto Alegre, foi avaliado levando-se em consideração as seguintes questões: *i.* sua capacidade de reproduzir e simular cenários de políticas de mobilidade; *ii.* sua capacidade de realizar projeções em longo prazo (horizonte de 30 anos) e permitir análises dos impactos de cada cenário através de indicadores relacionados às questões de mobilidade sustentável, *iii.* a consistência em suas previsões. Sendo assim, o primeiro passo foi a definição das diferentes alternativas a serem simuladas no modelo. Uma vez que não existe uma única definição para a mobilidade sustentável é importante destacar alguns conceitos gerais, que permitiram estabelecer diretrizes para a definição dos cenários a serem avaliados.

A mobilidade sustentável minimiza os efeitos negativos do transporte relacionados à poluição do meio ambiente, aos acidentes de trânsito, aos tempos perdidos em congestionamentos, à exclusão social, aos altos custos de viagens, ao consumo de energia não renovável. Desta forma, políticas de mobilidade urbana sustentável podem ser definidas como aquelas que buscam a otimização dos deslocamentos diários das pessoas e bens, em função da preservação da saúde, da integridade social, do meio ambiente e da eficiência e eficácia econômicas.

Portanto, os cenários simulados e avaliados foram definidos com base nos conceitos gerais somados a experiências práticas de sucesso registradas em bibliografia nacional e internacional, levando-se em conta a compatibilidade com as características locais e a possibilidade de serem transferidas ao contexto nacional. Foi levada em consideração, também, a capacidade do modelo de reproduzir cada um dos cenários a serem simulados.

A consistência dos resultados da simulação dos diferentes cenários com o MARS POA foi avaliada através da técnica de meta-análise. A meta-análise é uma forma de investigação em que, no lugar de dados empíricos, resultados de outras pesquisas científicas são os objetos da análise. Considerando-se o foco desta pesquisa, a meta-análise é uma forma de validação cruzada de modelos de uso do solo e transportes para aumentar a confiabilidade e a credibilidade das suas estimativas, ao comparar, sistematicamente, os resultados de previsões com diferentes ferramentas, porém baseadas em hipóteses semelhantes.

Desta maneira, para que a consistência dos resultados pudesse ser avaliada, foi preciso verificar a existência de outras aplicações de modelos de uso do solo e transportes, para avaliar diferentes cenários de mobilidade urbana sustentável. Além disto, foi necessário ter acesso aos resultados destas aplicações para que pudessem ser comparados aos resultados desta pesquisa, porém sempre levando em conta as características locais e o contexto nacional.

Sendo assim, a análise da viabilidade de aplicação do MARS POA se deu através da implementação e simulação de oito diferentes cenários, seguindo método aplicado em projeto financiado pela União Européia. Este projeto, intitulado STEPs (*Scenarios for the Transport System and Energy Supply and their Potential Effects*), teve por objetivo desenvolver, comparar e estabelecer possíveis cenários futuros, levando-se em conta o desenvolvimento econômico e tecnológico e as interações entre transporte e desenvolvimento espacial, avaliando os efeitos causados ao meio ambiente (FIORELLO *et al.*, 2006).

MATRIZ DE CENÁRIOS DO PROJETO STEPs		DEMANDA ENERGÉTICA			
		Sem Políticas	Manutenção de Padrões Vigentes	Investimento Tecnológico	Regulação de Demanda
OFERTA ENERGÉTICA (preço do combustível)	Previsões Usuais (baixas taxas de aumento)	A-1	A0	A1	A2
	Quadro Negativo (altas taxas de aumento)	B-1	B0	B1	B2

Tabela 1 – Matriz de cenários do projeto STEPs.

No projeto STEPs, seis modelos integrados de desenvolvimento territorial existentes para a Europa como um todo e para cinco regiões urbanas europeias (Edimburgo, Dortmund, Helsinque, Bruxelas e Tirol Sul) foram aplicados para a previsão de impactos econômicos, sociais e ambientais gerados em longo prazo por um conjunto comum de cenários focados no aumento de preço de combustível e políticas de infraestrutura, tecnologia e regulação de demanda. Entre os seis modelos integrados analisados no projeto STEPs está o MARS ajustado para a região urbana de Edimburgo, Escócia.

A etapa de modelagem do projeto STEPs foi um exercício impar de modelagem colaborativa. A aplicação coordenada de vários modelos complexos para uma tarefa comum representou uma oportunidade única de validação cruzada dos modelos e forneceu uma ferramenta para a validação do modelo MARS POA.

Como os objetivos do projeto STEPs estão ajustados aos propósitos do modelo MARS e, consequentemente, aos do modelo MARS POA, foi pos-

sível integrar à meta-análise aplicada no projeto STEPs, os resultados obtidos com o modelo de Porto Alegre. Obviamente, foi preciso seguir todos os critérios de definição de cenários e de indicadores estabelecidos pelos especialistas envolvidos no projeto, durante o período de seu desenvolvimento (STEPs, 2004-2006), tendo sempre o modelo MARS Edimburgo como principal referência para o ajuste do modelo para Porto Alegre.

Ao combinar políticas de demanda energética com a disponibilidade de energia, foi definida, pelos especialistas do Projeto STEPs, uma matriz com oito cenários que deveriam ser simulados para prever o futuro do transporte e do sistema energético até 2030. Os mesmos cenários foram adaptados para Porto Alegre para serem simulados pelo MARS POA. Do ponto de vista da disponibilidade energética, dois grupos de cenários foram identificados e denominados de cenários A e B. Do ponto de vista da demanda energética, três grupos de cenários foram identificados e denominados como cenários 0, 1 e 2. Foram definidos, ainda, os cenários A-1 e B-1,

Cenários 0 Manutenção de padrões vigentes ou BAU (<i>Business As Usual</i>)	Planos políticos existentes são utilizados como ponto de partida. Para a perspectiva em 2030, os desenvolvimentos esperados das políticas, como estimado por especialistas ("opiniões de especialistas"), foram utilizados para estimar os valores das variáveis relativas aos cenários BAU.
Cenários 1 Investimentos Tecnológicos ou INVEST (<i>Technological Investment</i>)	Foram assumidos investimentos diretos em infraestrutura, tecnologia e sistemas inovadores, com o foco no impacto causado no sistema energético e de transportes. Algumas medidas relacionadas à tecnologia e à capacidade de investimento foram descritas qualitativa e quantitativamente: <i>i</i> - Investimentos em infraestrutura; <i>ii</i> - Investimentos em eficiência energética; <i>iii</i> - Investimentos em competências, conhecimentos, capacidade de produção de combustíveis alternativos e material circulante.
Cenários 2 Regulação de Demanda ou DR (<i>Demand Regulation</i>)	Implantação de medidas de regulação de demandas com foco em impactos gerados nos sistemas de transporte e de energia. Algumas medidas foram descritas de forma quantitativa: <i>i</i> - Taxação do uso do carro; <i>ii</i> - Taxação do combustível; <i>iii</i> - Regulação do desenvolvimento urbano e uso do solo com ênfase no uso de transporte público e modos não motorizados.

Tabela 2 – Características dos cenários com foco na demanda energética

Cenários A Previsões Usuais de Suprimento de Energia (baixas taxas de aumento)	Com base em estimativas descritas pela Agência Internacional de Energia, IEA (<i>International Energy Agency</i>), e do Conselho Mundial da Energia, WEC (<i>World Energy Council</i>), para os cenários A foi assumido um aumento baixo, de 1% a.a., resultando em um preço de combustível, para o consumidor final no posto de gasolina, de €1,60 por litro em 2030 (em valores de 2008), se outras políticas não forem implementadas.
Cenários B Quadro Negativo de Previsão de Energia (altas taxas de aumento)	Com base em análise de vários cenários de energia disponibilizados pelo IEA e pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, IPPC, (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>), os cenários B assumem uma taxa média de crescimento de 4% a.a., resultando em um preço ao consumidor de €3,33 por litro em 2030.

Tabela 3 – Características dos cenários com foco na oferta energética

como cenários de referência para as análises. A matriz com os oito cenários simulados com cada modelo analisado é apresentada na Tabela 1 e as características básicas de cada um são apresentadas na Tabela 2 e 3.

4. Resultados e Discussões

Neste item são apresentados, primeiramente, alguns resultados da meta-análise, tanto para os seis modelos avaliados no Projeto STEPs, quanto com a inclusão do modelo para Porto Alegre. Na sequência, discutem-se os principais resultados da aplicação do MARS POA 2003 para os oito cenários avaliados.

4.1 Resultados da Meta-análise

Alguns resultados da meta-análise para os seis modelos avaliados no Projeto STEPs, são apresentados nas Figuras 2 a 4, incluindo o MARS POA. Quando comparadas com as projeções dos oito cenários similares dos seis modelos aplicados na Europa, os resultados do MARS POA apresentaram muita proximidade entre as principais respostas comportamentais e efeitos ambientais previstos pelos modelos considerados, a partir das políticas energéticas examinadas. Isto pode ser verificado pelas linhas de tendência e coeficientes de determinação (R^2) das análises de regressão apresentadas nos gráficos. Para efeito de comparação, estes resultados são apresentados de duas formas: linhas de tendência somente dos resultados dos modelos do projeto STEPs e incluindo os resultados do MARS POA.

4.2 Efeitos diretos

Os efeitos diretos das políticas energéticas são respostas comportamentais a mudanças nas opções de transporte devido, por exemplo, a alteração nos preços dos combustíveis, nos impostos

sobre combustíveis, nas tarifas dos transportes públicos, nos pedágios, nas taxas de estacionamento, na tecnologia dos veículos, no consumo de combustível, na velocidade de deslocamento, nas leis de trânsito ou na regulamentação do uso do solo. Um exemplo de resposta comportamental é a escolha da modalidade, em que as viagens por transporte público (Figura 2) são apresentadas em função do custo de viagem de carro. Pode-se observar que os resultados do MARS POA são bem semelhantes aos dos outros modelos.

Cenários com pressupostos semelhantes sobre o aumento do custo de viagem de automóvel mostraram que os sete modelos apresentam uma concordância muito boa, todos eles apresentando uma redução consistente na participação de viagens de automóvel em resposta ao aumento do custo de viagem de automóvel. Conclusões semelhantes podem ser tiradas na análise das distâncias médias percorridas em função do custo de viagem de automóvel incluindo tarifação rodoviária (Figura 3). Embora haja diferenças na especificação de cenários, existe similaridade na reação dos usuários de automóveis ao aumento das despesas nas viagens de carro.

4.3 Efeitos Indiretos

Os efeitos indiretos das políticas energéticas são alterações em indicadores como as emissões de poluentes (CO_2 , NO_x e material particulado), mortes no trânsito, acidentes de trânsito e acessibilidade, em função, por exemplo, da distância percorrida de carro. Um exemplo de efeito indireto é apresentado na Figura 4, para a emissão de CO_2 em função da distância percorrida por carro por habitante por dia. Nesse caso, os resultados dos modelos, incluindo o MARS POA, são ainda mais próximos, parecendo que os modeladores utilizaram funções de probabilidade de emissões iguais ou muito parecidas.

5. Principais resultados da aplicação do MARS POA 2003 para os oito cenários

Como esperado, os resultados do modelo MARS para Porto Alegre também apresentaram impacto na divisão modal. Estes resultados podem ser avaliados na Figura 5 (a e b), para o modo automóvel e a pé / bicicleta, respectivamente. Obviamente, os cenários de regulação de demanda A2 e B2, tiveram um maior impacto no uso do automóvel, devido ao aumento significativo nos custos para este modo, comparados aos outros cenários, em

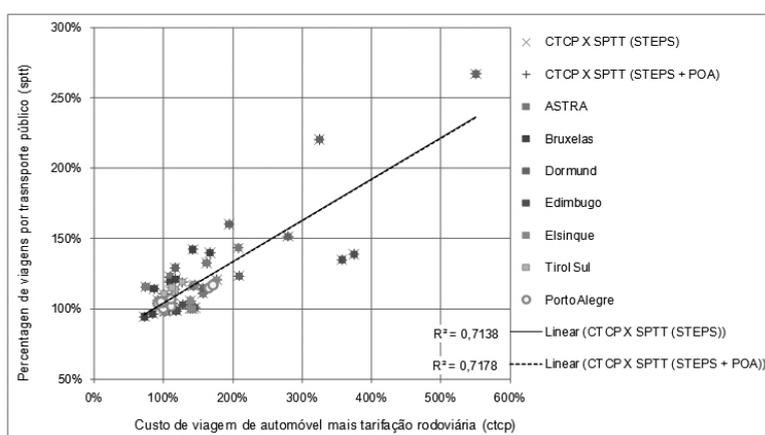


Figura 2 - Percentual de viagens por transporte público em função do custo de viagem de carro incluindo tarifação rodoviária.

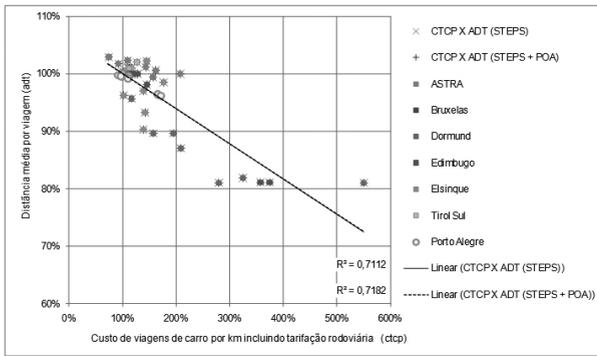


Figura 3 - Distância média por viagens em função do custo de viagem de carro incluindo tarifação rodoviária.

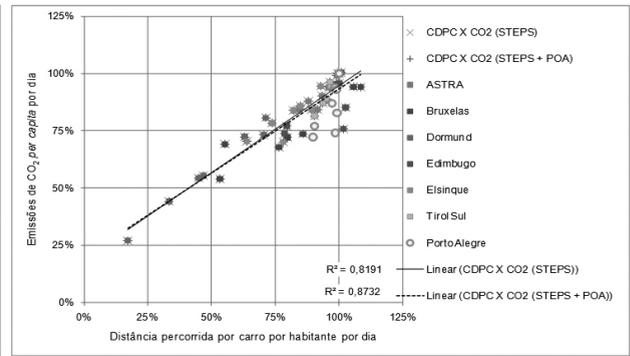


Figura 4 - Emissões de CO₂ per capita por dia em função da distância percorrida por carro por habitante por dia.

função da tarifação rodoviária. No entanto, o aumento do custo de combustível, somente, não gera grandes impactos na divisão modal, o que pode ser verificado pela pouca variação entre os cenários do tipo A e B.

Para o cenário de referência A-1, onde nenhuma política de mobilidade foi considerada e para o qual foram definidas baixas taxas anuais de aumento de combustível, verifica-se um aumento

em torno de 23% na divisão modal para o modo automóvel e, uma conseqüente redução, em torno de 15% e 3%, para os modos transporte público e a pé / bicicleta, respectivamente. Os cenários de investimento em tecnologia A1 e B1 não geram impactos na divisão modal, uma vez que uma frota de veículos mais eficiente encoraja mais viagens fora do horário de pico. A política de regulação de demanda é a que gera

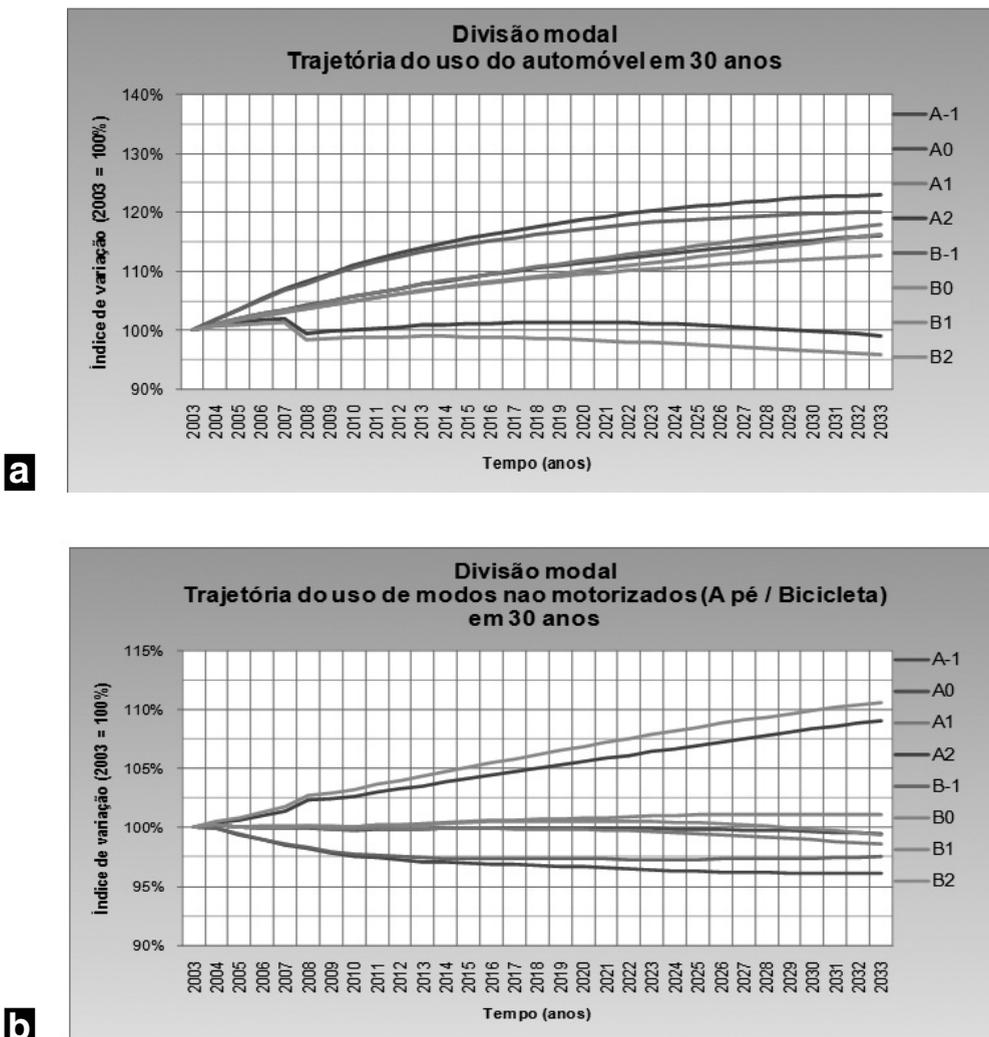


Figura 5 - Divisão modal - Trajetória do uso do automóvel (a) e de modos não motorizados (b) nos 30 anos para cada cenário avaliado.

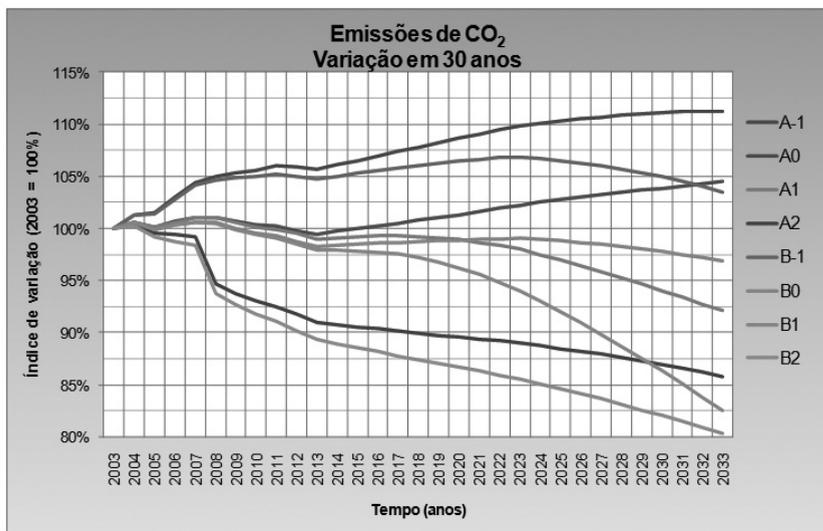


Figura 6 - Impactos no meio ambiente - Evolução das taxas de emissões de CO₂ em 30 anos para cada cenário.

maiores impactos, revertendo o quadro de aumento do uso do automóvel, para o aumento, em torno de 10%, da demanda para modos não motorizados. Uma redução, em torno de 5%, do uso do transporte público é também observada para estes cenários.

O aumento da demanda para modos não motorizados pode ser explicado pela redução das distâncias médias de viagens (em torno de 4%) verificadas nestes dois cenários, resultantes da política de cidade compacta e zonas mistas, a qual aproxima os residentes de seus empregos e demais atividades diárias. Como resultado dos

impactos observados na divisão modal para os diferentes cenários, observa-se os efeitos transmitidos ao meio ambiente. A Figura 6 apresenta, como exemplo, a variação das emissões de CO₂ para os diferentes cenários. Neste caso, as medidas adotadas pela política de regulação de demanda, somadas ao aumento de combustíveis (Cenário B2), apresentaram maior impacto na redução de emissões do que o investimento em novas tecnologias com este intuito (Cenários A1 e B1).

Outro benefício verificado ao adotar políticas de regulação de demanda foi a significativa

diminuição nos índices de acidentes de trânsito. Enquanto que para a maioria dos cenários, ao final do período de análise, o índice ficou entre 95% e 97% do observado no ano base, para os Cenários A2 e B2, o mesmo índice ficou reduzido a, aproximadamente, 82%. A redução do uso do automóvel e o aumento de deslocamento por modos não motorizados explicam os impactos positivos no meio ambiente e na segurança viária.

A Figura 7 apresenta, a título de exemplo de análise comparativa no SIG dinâmico Animap, o impacto nos deslocamentos por modos não motorizados para os

Cenários A-1 e A2 ao final do período de análise. Os dois primeiros mapas da Figura 9 apresentam a diferença percentual para o modo a pé / bicicleta em relação ao ano base e o terceiro mapa apresenta as diferenças do cenário A2 em relação ao cenário de referência A-1.

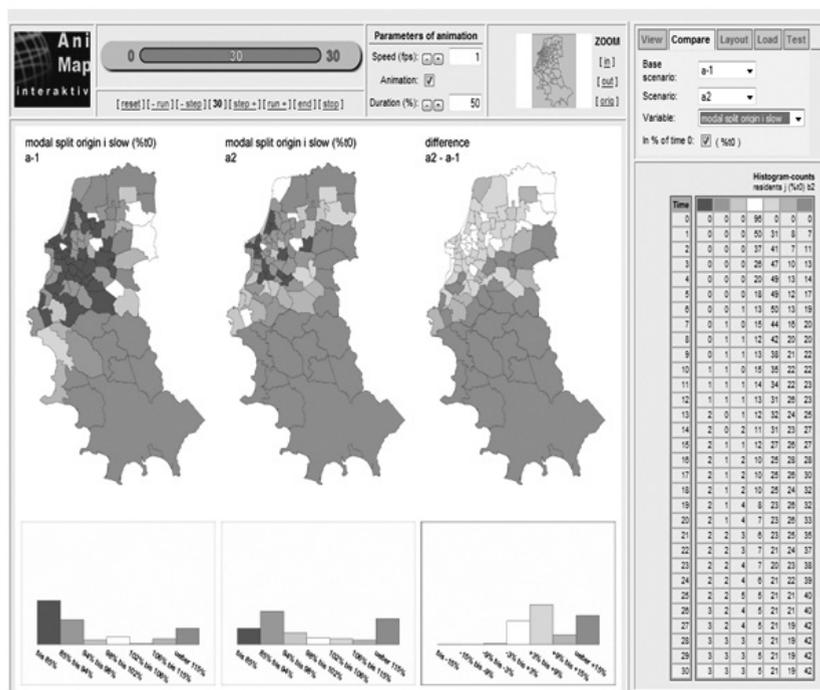


Figura 7 - Análise comparativa dos Cenários A-1 e A2 no SIG dinâmico AniMap - Divisão modal para o modo a pé / bicicleta ao final da simulação - Percentual em relação ao ano base e diferenças entre os dois cenários.

6. Conclusões

O Modelo MARS (*Metropolitan Activity Relocator Simulator*), através de uma aplicação para a cidade de Porto Alegre (MARS POA), foi avaliado como um instrumento de apoio à decisão de políticas de mobilidade urbana sustentável através da configuração, simulação e análise de oito cenários de planejamento urbano, considerando diferentes políticas energéticas. Concluiu-se que o MARS é uma

ferramenta capaz de reproduzir e simular cenários com combinações de diferentes políticas que envolvem uso do solo, infraestrutura de transporte, novas tecnologias e disponibilidade de combustível. A própria estruturação do modelo é voltada para este fim e o módulo de configuração de políticas facilita o processo de implementação dos cenários.

Adicionalmente, foi verificada a viabilidade de gerar e analisar indicadores relacionados às questões de mobilidade e desenvolvimento urbano sustentáveis como, por exemplo, emissões de gases do efeito estufa que provocam mudanças climáticas no ambiente urbano. Os módulos de análise estruturados no MARS e a conexão com o mapa dinâmico Animap facilitam a geração e visualização de indicadores e a redistribuição espacial do espaço urbano resultantes das políticas de cada cenário analisado para cada ano de simulação.

Os resultados do MARS POA, quando comparados com as projeções de cenários similares de seis modelos aplicados na Europa, confirmaram a viabilidade de aplicação e a consistência das previsões para a cidade brasileira. A meta-análise realizada pelo Projeto STEPs e, neste trabalho, com a inclusão do MARS POA, mostraram que há muita proximidade entre as principais respostas comportamentais e efeitos ambientais previstos pelos modelos considerados, a partir das políticas energéticas examinadas.

A partir das políticas energéticas examinadas concluiu-se que o aumento de preço dos combustíveis terá um efeito significativo sobre as distâncias de viagem e sobre a escolha modal, reduções na utilização de automóvel reduzirão significativamente a poluição do ar, as emissões de gases do efeito estufa, os acidentes de trânsito e as mortes no trânsito. Os cenários de regulação de demanda e de uso do solo incentivando a formação de cidades mais compactas e com zonas mistas tiveram impactos mais significativos na redução do uso do automóvel e consequente redução de acidentes e impactos ambientais.

Todos os resultados reforçam a ideia de que o desenvolvimento urbano sustentável só será alcançado através do planejamento e gestão das cidades de forma estratégica e integrada nos seus diversos setores. Sendo assim, deverão ser suportados por análises e previsões em longo prazo, que considerem a relação dinâmica entre políticas ambientais, de uso do solo, de circulação e transportes. Ferramentas como o MARS são indicadas para este tipo de análise e dão suporte à decisão na escolha de estratégias que ajudem a mitigar mudanças climáticas no espaço urbano.

Dentre os mais de vinte estudos com o modelo MARS, já aplicados na Europa, Ásia e Américas, este representa o primeiro e único, até o momento, aplicado na América do Sul. Portanto, com os problemas resultantes dos sistemas de transportes já verificado nas grandes cidades brasileiras, destaca-se a importância de desenvolver aplicação análoga à do Modelo MARS Porto Alegre para cidades de médio porte, onde os impactos da falta de planejamento não chegaram a níveis tão elevados, e, assim, seriam beneficiadas pelo planejamento “preventivo” em lugar do planejamento “corretivo”.

Referências

BRANDENBURG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY MEGACITY RESEARCH PROJECT TP. HO CHI MINH, WP 5 - Urban Transport Obtido em: <http://www.tu-cottbus.de/projekte/de/megacity-hcmc/urban-environment/urban-transport.html>, Acessado em: 07/11/2012

IORELLO, D.; HUISMANS, G.; LÓPEZ, E; MARQUES, C.; STEENBERGHEN, T. M.; ZOGRAFOS, G. TRANSPORT STRATEGIES UNDER THE SCARCITY OF ENERGY SUPPLY. FINAL REPORT OF THE EU PROJECT STEPS. Haia. Ed. A. Monzon e A. Nuijten. Buck Consultants. 2006. Disponível em: <http://www.steps-eu.com/reports.htm> Acesso em 22-08-2010

HAKEN, H. Advanced Synergetics - Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices, Springer-Verlag, 1983.

INSTITUTE FOR TRANSPORT PLANNING AND TRAFFIC ENGINEERING - VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator) - Case Studies. Obtido em: <http://www.ivv.tuwien.ac.at/forschung/mars-metropolitan-activity-relocation-simulator/case-studies.html>, Acessado em: 07/11/2012

LOPES, S. B. EFEITOS DA DEPENDÊNCIA ESPACIAL EM MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA POR TRANSPORTE. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

LOPES, S. B. UMA FERRAMENTA PARA PLANEJAMENTO DA MOBILIDADE SUSTENTÁVEL COM BASE EM MODELO DE USO DO SOLO E TRANSPORTES. Tese (Doutorado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

LOPES, S. B.; SILVA, A. N. R. & PFAFFENBICHLER, P. UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE USO DO SOLO E TRANSPORTES MARS NO BRASIL. Engenharia Civil UM (Braga), 40, 109-120, 2011.

LOPES, S. B.; SILVA, A. N. R. & PFAFFENBICHLER, P. Uma Aplicação do Modelo de Uso do Solo e Transportes MARS no Brasil. In: 4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL E INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 2010, Faro. **Anais...** Braga: PLURIS 2010 - The Challenges of Planning in a Web Wide World, 2010.

PFAFFENBICHLER, P. MARS - METROPOLITAN ACTIVITY RELOCATION SIMULATOR. A SYSTEM DYNAMICS BASED LAND USE AND TRANSPORT INTERACTION MODEL. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller, Viena, 2008.

PFAFFENBICHLER, P. THE STRATEGIC, DYNAMIC AND INTEGRATED URBAN LAND USE TRANSPORT MODEL MARS - (METROPOLITAN ACTIVITY RELOCATION SIMULATOR) - DEVELOPMENT, TESTING AND APPLICATION. 274 p. Ph.D. Thesis (Transport Planning and Traffic Engineering). Institute for Transport Planning and Traffic Engineering - Vienna University of Technology, Viena. 2003

PFAFFENBICHLER, P.; EMBERGER, G. & SHEPHERD, S. A SYSTEM DYNAMICS APPROACH TO LAND USE TRANSPORT INTERACTION MODELLING: THE STRATEGIC MODEL MARS AND ITS APPLICATION. *System Dynamics Review*, v. 26, n. 3, 2010, p. 262-282, 2010

STERMAN, J. BUSINESS DYNAMICS: SYSTEMS THINKING AND MODELING FOR A COMPLEX WORLD, Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

Notas

- 1 Modelos de transporte que realizam em quatro etapas o processo de análise: (i) geração de viagens, (ii) distribuição de viagens (matriz origem destino), (iii) divisão modal (escolha do modo de transporte, privado ou coletivo) e (iv) alocação de viagens à rede (carregamento da rede viária).
- 2 Agradecimentos à capes pelo apoio no desenvolvimento da dissertação de metrado da primeira autora.
- 3 Agradecimentos à capes pelo apoio no desenvolvimento da tese de doutorado da primeira autora.
- 4 As análises que precederam as que são aqui apresentadas, como a avaliação que levou a escolha do MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator), dentre mais de vinte modelos cotados para aplicação nesta pesquisa, e todo o processo de ajuste às características locais da cidade de Porto Alegre, escolhida para o estudo de caso, são apresentadas, de forma detalhada, por Lopes (2010), Lopes et al. (2010) e Lopes et al. (2011).