

# Modelagem em Tráfego e Transporte

Carlos Paiva

## Modelos tradicionais em planejamento de transportes

O uso dos modelos tradicionais em planejamento de transportes é um assunto tratado extensamente na literatura técnica. A discussão a seguir visa resumir os principais aspectos deste assunto e está baseada em textos como Bruton, 1975; Hutchinson, 1979; Ortúzar e Willumsen, 1994; Oppenheim, 1995.

A teoria clássica dos modelos de transporte <sup>1</sup> tem como base uma representação discreta do espaço contínuo, em que a área a ser modelada é dividida em zonas de tráfego e o sistema de transporte é representado através de uma rede de nós e ligações (trechos de via que conectam pontos do sistema viário, representados pelos nós).

Neste procedimento clássico, as zonas de tráfego são definidas *a priori* e passam a ser representadas por um único ponto chamado centróide.

O conjunto de segmentos da rede viária do sistema de transporte existente é representado pelos seus respectivos custos generalizados (combinação ponderada de atributos como tempo e distância) nos deslocamentos e pela representação das regras de circulação, que permitem definir ligações unidirecionais ou bidirecionais, proibições ou penalidades de conversão. Estes atributos dependem dos modos de transporte utilizados: individual (auto, taxi, perua escolar, etc.) ou coletivo (ônibus, metrô, etc.), para percorrer as ligações.

Os centróides das zonas de tráfego são ligados à rede através de conectores, que representam os pontos de acesso ou egresso ao sistema de transporte para as viagens com origem ou destino naquela zona e a média do custo generalizado de acesso/egresso correspondente.

No processo de utilização dos modelos de transportes, os centróides funcionam como pólos de produção e atração de viagens das respectivas zonas, que utilizam-se da rede para realizarem seus deslocamentos. Principalmente as viagens interzonais são simuladas na metodologia tradicional.

O processo de modelagem, na metodologia clássica, divide-se em quatro etapas distintas, porém interligadas, que são:

1. geração, na qual as quantidades de viagens produzidas e atraídas em cada zona de tráfego são estimadas;
2. distribuição, determinação dos intercâmbios de viagens e dos deslocamentos correspondentes;
3. escolha modal, determinação do modo de transporte pelo qual as viagens são realizadas;
4. alocação, que representa a etapa de escolha do caminho, por um dado modo, entre os pares de zonas de tráfego.

---

<sup>1</sup> Na década de 70, buscou-se o aprimoramento do enfoque tradicional através da teoria do consumidor, extensão de conceitos de economia geral. Com este enfoque, o uso de um serviço de transporte passa a ser visualizado como um conjunto de decisões em cascata, na qual o consumidor adquire, não algo simples e único, mas sim um pacote de opções (destino, horário da viagem, meio de transporte e rota). O consumidor neste caso estabelece um elenco de opções de alternativas na ordem de preferência e escolhe sempre a mais desejável, buscando assim maximizar sua utilidade (medida da preferência do consumidor pelas diferentes alternativas existentes).

A Geração de Viagens é estimada de modo agregado (função das características das zonas), ou desagregado (função das características dos domicílios), através de relações funcionais (usualmente obtidas por regressão linear) ou uso de taxas médias de viagens por indivíduo ou domicílio de cada grupo (no procedimento chamado de análise de categorias). São determinadas relações distintas para produção e atração de viagens, eventualmente desagregadas por motivo de viagem (trabalho, estudo, negócios, lazer, etc.).<sup>2</sup>

A Distribuição de Viagens é tipicamente realizada após a geração das viagens e consiste em distribuir entre os vários destinos, totais de viagens obtidos para cada zona na fase de geração. Um dos modelos mais usados é o modelo gravitacional, que é uma analogia com a lei da gravidade de Newton. Este modelo baseia-se na suposição, de que as viagens entre zonas são diretamente proporcionais à geração de viagem (respectivamente produção e atração) das zonas e inversamente proporcional a uma função de separação espacial entre elas (impedância, relacionada com o custo generalizado da viagem) e pertence à categoria dos modelos sintéticos, Ortúzar e Willumsen, (1994, p.156). Outros modelos convencionais são os de fator de crescimento que utilizam um procedimento de ajuste baseado em uma matriz de viagens histórica anterior, como os métodos de Furness ou Fratar.

Em ambos os tipos usuais de modelos de distribuição de viagens, a imposição dos valores obtidos na etapa de geração de viagem leva a utilizar procedimentos iterativos de balanceamento por origem ou por destino (unidimensionais) ou por origem e destino (bidimensionais). Balanceamentos multidimensionais também podem ser usados, impondo a observação de dados de outra natureza.

A terceira etapa da modelagem, a Divisão Modal, é realizada tipicamente após a distribuição de viagens e consiste em distribuir o total de viagens, para cada par origem/destino (OD), entre os diferentes modos de transporte existentes. Em alguns casos, a ordem das etapas de distribuição de viagens e divisão modal é invertida. O modelo usado nesta etapa é uma função que representa a porcentagem de viagens realizadas em transporte coletivo, em relação ao transporte individual, ou entre diversos modos. Relaciona-se impedância dos modos em função do custo generalizado da viagem (isto é, atributos como custo e nível de serviço oferecido pelo modo de transporte) a dados dos viajantes (como renda e propriedade de auto), normalmente utilizando modelos de escolha discreta tipo logit (com estrutura simples ou hierárquica).

A Alocação de Viagem, a última etapa na modelagem clássica, busca definir para cada modo as rotas utilizadas entre cada par OD. Esta alocação realiza-se em rede representativa do sistema de transporte existente. O método mais simples de alocação é o tudo ou nada, que encontra a rota de mínimo custo para cada par OD e nele aloca todo o tráfego. Existem também métodos de alocação com rotas múltiplas (como o de Dial). Uma grande desvantagem destas técnicas é não levar em conta a existência de congestionamento resultando em valores de volumes irreais. A etapa de alocação de tráfego pode ser feita em uma rede multimodal, o que eventualmente permite suprimir a etapa de divisão modal (admitindo que os

---

<sup>2</sup> Na metodologia clássica, diferentemente do entendimento tradicional, o conceito de zona de produção e atração de viagens não coincide com os conceitos de origem e destino das viagens. Por exemplo, consideram-se as viagens de ida ao trabalho (origem na residência e destino no trabalho) e as viagens de retorno à residência (origem no trabalho e destino na residência), como sendo produzidas na zona residencial e atraídas na zona de trabalho. Enquanto existe um intercâmbio das origens e destinos as zonas responsáveis pela produção e atração das viagens não se alteram.

princípios de escolha entre modos são similares aos de escolha entre rotas).

Na modelagem em quatro etapas, a existência de congestionamento torna as etapas anteriores à alocação de viagens dependentes dos volumes no sistema viário. Para levar esta questão em conta, várias alternativas têm sido implementadas com o objetivo de permitir alocação de tráfego com representação do efeito de congestionamento, com demanda fixa ou variável de viagem (por modo de transporte, intercâmbio de viagem, etc.).

Para redes congestionadas, é mais conveniente o uso da alocação por equilíbrio (restrição da capacidade), no qual cada usuário escolhe a rota que percebe como melhor. Os resultados são fluxos que satisfazem o princípio de Wardrop do “ótimo usuário”, ou seja, que nenhum usuário pode melhorar seu tempo de viagem mudando de rota. Neste caso, todos os fluxos em todos caminhos utilizados entre um par OD têm tempos iguais. Existem procedimentos exatos para alocação de equilíbrio como o método de Frank & Wolfe ou de aproximação linear e procedimentos heurísticos como os métodos de alocação incremental, onde porções da matriz OD são alocadas a cada iteração, permitindo o recálculo da rota de mínimo custo para cada par OD, até que, 100% dos volumes sejam alocados.

Nos modelos com demanda variável temos, em vez de uma matriz de viagens que identifica para cada par OD o número de viagens existentes, um conjunto de funções que irão fornecer o número de viagens para cada par OD em cada iteração do processo de alocação em função dos custos generalizados.

## Contexto da Modelagem

O estudo de transporte pode ser realizado em diferentes contextos, que por sua vez, dão pesos específicos a diferentes aspectos da modelagem de transporte que influenciam a definição do zoneamento de tráfego.

Numa primeira abordagem os contextos de aplicação podem ser diferenciados em função do horizonte de planejamento. Segundo Florian, 1988, nos estudos de planejamento e gerenciamento de transportes vinculados a um processo de tomada de decisão real, pode-se identificar três distintas e inter-relacionadas perspectivas: estratégica, tática e operacional.

A escolha de uma ou outra perspectiva (estratégica, tática e operacional) está relacionada a várias noções como nível de decisão a ser tomada, investimentos possíveis, horizonte de planejamento, etc. e consiste essencialmente na definição do que é endógeno e exógeno ao estudo.

- Na perspectiva estratégica (mais agregada) a análise e a tomada de decisão são utilizadas para definição de políticas gerais e alocação dos principais investimentos para um horizonte de longo prazo. O planejador tem geralmente um alto grau de liberdade, e o estudo considera tipicamente o estado global do sistema de transporte, a variação possível da demanda de transporte em relação à tendência demográfica, a evolução do uso do solo, etc., devendo também considerar a variabilidade do contexto econômico, governamental e financeiro da organização responsável pela implementação do estudo. Os resultados obtidos podem identificar por exemplo um novo serviço de ligações a ser implementado, localização e capacidade de um terminal de transporte coletivo, políticas de ocupação do uso do solo, etc.
- Na perspectiva operacional (em geral mais desagregada e localizada) resolvem-se os problemas de curto prazo considerando-se como exógenos fatores não estritamente parte da questão a ser respondida. O planejador considera, na busca de soluções, muitos fatores e em particular o ambiente do problema como fixados e conseqüentemente exógenos são, por exemplo, considerados como restrição à demanda média, recursos humanos disponíveis, etc.
- Na perspectiva tática, situada entre as duas acima, são tratadas questões concernentes ao planejamento da alocação de recursos com o objetivo de melhora da eficiência e produtividade. Os resultados são obtidos para um horizonte de médio prazo e identificam o uso eficiente dos recursos, em geral, já existentes ou representam a própria seleção dos recursos necessários.

Um segundo aspecto relacionado ao contexto de aplicação está relacionado a amplitude geográfica do estudo. Normalmente, considera-se em relação principalmente ao zoneamento, que se está modelando toda uma área urbana "autônoma" (continua no sentido urbano e separada de outras áreas por vazios urbanos). Esta perspectiva, contudo, não é a única perspectiva existente, Easa, 1993, por exemplo, identifica além dos estudos urbanos (*Large Area*), os estudos de área ou corredores de transporte (*Small Area*).

- Os estudos urbanos (*Large Area*) em geral englobam todo espaço contínuo urbano de determinada região (por exemplo região metropolitana de São Paulo), sendo em geral estudos agregados que identificam políticas de transporte a serem implementadas. Em relação ao contexto "temporal" encontram-se quase sempre dentro da perspectiva estratégica (as vezes

tática). Para a realização deste tipo de estudo utiliza-se em geral a metodologia clássica de 4 etapas, exceto quanto a perspectiva é operacional e de curto prazo (caso em que, muitas vezes, os estudos limitam-se a analisar a alocação de tráfego com matriz de viagem fixa.

- Os estudos de área ou corredores (*Small Area*) englobam pequenas regiões do espaço contínuo urbano e normalmente são estudos de operacionais (excepcionalmente táticos). Para a realização destes estudos utilizam-se, em geral, três metodologias:
  - Estudos restritos, onde através de pesquisas específicas (por exemplo, pesquisas de placas em acessos de vias expressas) e uma rede detalhada limitada à área ou ao corredor busca-se analisar alternativas viárias, política de estacionamento, etc..
  - Estudos através de janelamento (*windowing*) no qual a área a ser estudada, obtida de um estudo urbano, é isolada através de uma linha de contorno (*cordon line*). Todas viagens que atravessam esta linha de contorno são então consideradas externas e associadas a portões de entrada e saída (*gateways*), não mais sujeitas a mudanças devido a alocação de tráfego. A rede interna a linha de cordão é detalhada de acordo com os objetivos do estudo. (Pedersen e Samdahl, 1982, Easa, 1993).
  - Estudo com focalização (*focusing*), no qual toda área urbana é mantida, alterando-se os níveis de agregação interno e externo a área de estudo. Na área de estudo a rede e a matriz de viagens são detalhadas enquanto o zoneamento e/ou rede externos a área de estudo podem ser progressivamente agregados à medida que se afastam da mesma. (Pedersen e Samdahl, 1982, Horowitz, 1990, Easa, 1993)

Em cada um destes contextos os requisitos específicos traduzem-se em recomendações de metodologias de estudo que tem impacto sob o zoneamento de tráfego. Entretanto os estudos de perspectiva mais ampla envolvem diversos aspectos sócio-econômicos em um grau tal de incerteza no horizonte de planejamento que provavelmente superam a importância dos aspectos espaciais. Portanto um estudo sob a influência do zoneamento de tráfego pode adotar uma perspectiva de análise mais relacionada com os estudo operacionais (considerando exógenos aspectos sócio-econômicos) e, dessa forma, destacar a influência dos efeitos espaciais.

## Bibliografia

- Bruton M. J. (1975). **Introducton to Transportion Planing**. 3<sup>o</sup> ed. London, University College London, England
- Cardoso, C. E. de P. (1999). Efeitos da Definição do Zoneamento e de Dimensões Relacionadas para Estudos com Modelos de Alocação de Tráfego. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Easa, M. S. (1993). Urban Trip Distribution in Praticce – I: Conventional Analysis (Reviewed by the Urban Transportation Division). **Journal of Transportation Engineering** vol 119, n<sup>o</sup> 6, November/December, p. 793 – 815
- Florian M. ; Gaudry M.; Lardinois C. (1988). A Two-Dimensional Framework for the Undestanding of Transportation Planning Models. **Transportation Research** vol 22B n<sup>o</sup> 6 p 411-419
- Horowitz, A. J. (1990). Subarea Focusing with Combined Models of Spacial Interaction and Equilibrium Assignment. **Tranportation Research Record** 1285, p 1-8
- Hutchinson, B. G. (1979). **Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano**, sLp Editora Guanabara Dois
- Oppenheim, N. (1995). **Urban Travel Demand Modeling: from Individual Choices to General Equilibrium**. New York, John Wiley
- Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. G. (1994). **Modelling Transport**. 2<sup>o</sup> ed. Chischester, England. John Wiley
- Pedersen N. J. ; Samdahl D. R. (1982). Highway Traffic Data for Urbanized Area Project Planning and Design, **Nacional Cooperative Highway Research Program Report** 255