

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 586

Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais

Eduardo de Alcântara Vasconcellos
Iêda Maria de Oliveira Lima

Brasília, agosto de 1998

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 586

Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: Uma Resenha das Experiências Internacionais

*Eduardo de Alcântara Vasconcellos**
*Iêda Maria de Oliveira Lima***

Brasília, agosto de 1998

* Consultor do IPEA na área de transportes.

** Coordenadora de projetos da Diretoria de Políticas Regional e Urbana do IPEA.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO
Ministro: *Paulo Paiva*
Secretário Executivo: *Martus Tavares*



Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Presidente

Fernando Rezende

DIRETORIA

Claudio Monteiro Considera

Gustavo Maia Gomes

Hubimaier Cantuária Santiago

Luís Fernando Tironi

Mariano de Matos Macedo

Murilo Lôbo

O IPEA é uma fundação pública, vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, cujas finalidades são: auxiliar o ministro na elaboração e no acompanhamento da política econômica e promover atividades de pesquisa econômica aplicada nas áreas fiscal, financeira, externa e de desenvolvimento setorial.

TEXTO PARA DISCUSSÃO tem o objetivo de divulgar resultados de estudos desenvolvidos direta ou indiretamente pelo IPEA, bem como trabalhos considerados de relevância para disseminação pelo Instituto, para informar profissionais especializados e colher sugestões.

Tiragem: 170 exemplares

COORDENAÇÃO DO EDITORIAL

Brasília — DF:

SBS Q. 1, Bl. J, Ed. BNDES, 10^o andar

CEP 70076-900

Fone: (061) 315 5374 — Fax: (061) 315 5314

E-mail: editbsb@ipea.gov.br

SERVIÇO EDITORIAL

Rio de Janeiro — RJ:

Av. Presidente Antonio Carlos, 51, 14^o andar

CEP 20020-010

Fone: (021) 212 1140 — Fax: (021) 220 5533

E-mail: editrj@ipea.gov.br

SUMÁRIO

SINOPSE

1 APRESENTAÇÃO	5
2 ESTUDOS DE DESECONOMIAS	7
3 SUGESTÕES DE SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS	35
4 CONCLUSÕES	44
ANEXOS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

SINOPSE

Este documento descreve experiências internacionais sobre estudos de deseconomias e externalidades do transporte urbano e de modelos adotados para prevenção ou solução desses problemas. Define o conceito de externalidades no transporte urbano e o princípio econômico que permeia o seu estudo, com exemplos de custos internos e externos em transportes. Discute as formas de medição e valoração das externalidades, faz uma breve descrição do tratamento desse tema no que diz respeito ao transporte urbano e descreve estudos feitos em vários países, divididos em gerais (desenvolvimento urbano e transportes) e específicos (congestionamento), concluindo com uma síntese classificatória da grande variedade dos estudos já realizados sobre transporte, desenvolvimento urbano e externalidades.

1 APRESENTAÇÃO

Este documento descreve experiências internacionais sobre estudos de deseconomias e externalidades do transporte urbano e de modelos adotados para prevenção ou solução desses problemas, contratados pelo IPEA ao consultor Eduardo de Alcântara Vasconcellos.

O texto foi extruturado em três partes. Na primeira parte definem-se o conceito de externalidades no transporte urbano e o princípio econômico que permeia o seu estudo, com exemplos de custos internos e externos em transportes, e discutem-se as formas de medição e valoração das externalidades. Na segunda parte é feita uma breve descrição do tratamento desse tema, no que diz respeito ao transporte urbano. Na terceira parte, são descritos estudos feitos em vários países, divididos em gerais (desenvolvimento urbano e transportes) e específicos (congestionamento). Na quarta parte são resumidas as conclusões.

Este trabalho é o primeiro produto do projeto “Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público”, que tem como objetivo quantificar as deseconomias de tempo adicional, consumo adicional de combustível e emissão de poluentes acima dos níveis aceitáveis, provocadas pelos congestionamentos nas cidades brasileiras.

A escolha desse tema como objeto de estudo pela Diretoria de Políticas Regional e Urbana do IPEA originou-se de uma consulta entre as entidades mais atuantes e representativas do transporte urbano no Brasil, feita por Iêda Lima, gerente de projetos da coordenadoria-geral da DIPRU, sobre o principal problema que afligia a população urbana brasileira quanto às suas necessidades de circulação.

Havia consenso de que as disfunções no planejamento e na gestão do transporte urbano e do uso da ocupação do solo nas cidades brasileiras facilitaram a ocupação desordenada do solo, gerando demandas variadas e complexas de transporte, com graves problemas de ineficiência. O problema foi agravado pela desproporção no uso do sistema viário entre o transporte público e o individual, o que trouxe como efeitos diretos os congestionamentos, o desperdício de combustíveis e a perda da qualidade ambiental.

Esses efeitos foram agravados pela aplicação de abordagens teóricas e metodológicas que desconsideravam, nos projetos de melhoria dos transportes urbanos, o controle da demanda pelo disciplinamento do uso do solo. As soluções visavam, prioritariamente, dar acessibilidade aos usuários do transporte individual, cujo crescimento acompanhava o da indústria automobilística e do poder aquisitivo da classe média no Brasil nos anos 70.

Apesar das melhorias introduzidas nas vias e na gestão do tráfego, com base nessa abordagem, os problemas de perda da mobilidade e de perda da qualidade ambiental aumentaram.

As externalidades mais comuns na área do transporte são o congestionamento, a poluição e os acidentes de trânsito. No caso do congestionamento, o conceito está ligado ao tempo adicional que é criado para os outros usuários do sistema, assim que uma pessoa resolve entrar na via. Como esse tempo não é compensado de nenhuma forma, constitui uma externalidade que só poderia ser eliminada caso o usuário tivesse de pagar pelo uso da via.

O consumo de combustíveis é uma decorrência do tempo adicional e recai no mesmo caso, pois não é compensado (assim como todo o custo operacional adicional dos veículos). Assim como o tempo, pode ser quantificado.

A poluição provocada pelos veículos e sua intensidade são também decorrentes do tempo adicional e da conseqüente queda de velocidade operacional, configurando uma externalidade legítima na medida em que implica danos à saúde das outras pessoas, sem compensação. No entanto, a quantificação do seu impacto é mais difícil, devendo passar pela estimativa dos custos relacionados ao prejuízo que a poluição impõe às atividades normais, em termos de despesas com tratamento médico e internação hospitalar.

Finalmente, a imposição de acidentes aos outros usuários, principalmente aos pedestres ou usuários não motorizados, constitui uma externalidade muito importante nos países em desenvolvimento, a ponto de o problema requerer um tratamento especial com base no conceito de que os acidentes resultam, além dos fatores humanos, do ambiente construído para a circulação e da apropriação abusiva, e freqüentemente irresponsável, do espaço viário pelo transporte individual.

Além dessas externalidades mencionadas, existem outros impactos, igualmente importantes, do transporte urbano na vida das cidades, como a ocupação do espaço urbano com estacionamentos cada vez maiores em número e extensão, o efeito barreira sobre pedestres e ciclistas, alterações no uso do solo com a facilitação do espriamento da cidade e a desvalorização imobiliária.

Alguns estudos de transporte no exterior têm incorporado estimativas desses impactos negativos, como forma de aprimoramento da avaliação dos sistemas de transporte. No caso do congestionamento, a estimativa de externalidades tem levado ao estabelecimento de restrições à circulação de automóveis ou à imposição de pedágio urbano (como em Cingapura).

No caso da poluição, o reconhecimento das externalidades tem levado tanto à restrição da circulação de veículos — como nos esquemas de restrição por chapa e dia, feito em Caracas, na Cidade do México, em Santiago do Chile e, recentemente, em São Paulo — quanto à criação de programas de controle da emissão veicular.

No caso dos acidentes de trânsito, a evidência das externalidades tem levado à adoção de programas de segurança viária no Brasil, porém com resultados ainda tímidos.

O conhecimento dessas externalidades e a sua quantificação (ou estimativa) poderão permitir o reequacionamento do sistema de transportes, para torná-lo mais equitativo, e contribuir para o desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras.

Foi iniciado, então, um estudo, sob coordenação de Iêda Lima, que objetiva quantificar as deseconomias do transporte urbano, com a participação de instituições que atuam no planejamento e na operação do transporte urbano das cidades de João Pessoa, Recife, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Juiz de Fora, Brasília, São Paulo, Campinas, Curitiba e Porto Alegre. Este documento é o primeiro produto desse estudo.

2 ESTUDOS DE DESECONOMIAS

2.1 Aspectos Gerais A experiência internacional de estudo de deseconomias já é de grande porte. Isso se deve ao fato de os países mais desenvolvidos estarem enfrentando problemas relacionados ao transporte urbano (e regional) há várias décadas, em seus processos de desenvolvimento industrial e modernização. As deseconomias associadas ao transporte urbano têm sido estudadas no âmbito de dois enfoques: geral e específico.

O enfoque geral procura abordar o tema na ótica do desenvolvimento urbano e suas implicações na geração de deseconomias. Nesse caso, as análises principais recaem sobre o uso e a ocupação do solo, a distribuição física das atividades e suas relações com a demanda de transportes e o uso dos sistemas de transporte.

O enfoque específico procura abordar uma ou mais deseconomias ou externalidades, normalmente correlatas. É o caso, por exemplo, do estudo do congestionamento e da poluição, intimamente relacionados, ou dos acidentes de trânsito.

2.2 A Questão das Externalidades A externalidade no transporte urbano refere-se à ocorrência de custos e benefícios que não são pagos ou recebidos pelas pessoas. O termo *externalidade* refere-se ao caráter externo do custo: quando uma pessoa usa um meio de transporte, incorre em custos diretos da operação (combustível, tempo pessoal), chamados *internos*, que são assumidos por ela e considerados quando de sua decisão de deslocar-se. Mas existem custos que não são pagos pelo usuário nem considerados na sua decisão de deslocar-se, o que lhes dá a característica de *externos*: por exemplo, a poluição ou o atraso causados aos demais usuários. O corolário do raciocínio é que a externalidade, quando compensada — por exemplo por uma taxa paga pela pessoa baseada na po-

luição por ela causada —, causa a internalização do custo, eliminando, portanto, a sua característica de externalidade.

O princípio econômico que está por trás do estudo das externalidades é o de que custos não cobertos e não compensados levam à utilização não ótima dos equipamentos públicos, no caso a via de tráfego e algumas formas de transporte, principalmente o automóvel [Comissão das Comunidades Europeias (1995); Quinet (1993)]. Ao não considerar os custos externos, o motorista de automóvel consome mais transporte e vias do que seria desejável economicamente, reduzindo a eficiência social. Conseqüentemente, segundo a mesma teoria, caso todos os custos sejam cobrados, atingir-se-á o equilíbrio ideal, otimizando-se os recursos da sociedade.

O quadro a seguir resume alguns exemplos de custos internos e externos.

QUADRO 1
Exemplos de Custos Internos e Externos em Transportes

Categoria de Custos	Internos/Privados	Externos
Despesas de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • aquisição, manutenção, operação do veículo • tarifas de transporte público 	<ul style="list-style-type: none"> • estacionamento pago por terceiros
Infra-estrutura	<ul style="list-style-type: none"> • imposto de circulação • imposto sobre combustível 	<ul style="list-style-type: none"> • custos de infra-estrutura não cobertos
Congestionamento	<ul style="list-style-type: none"> • tempo do próprio usuário 	<ul style="list-style-type: none"> • tempos dos demais usuários
Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • poluição sofrida pelo próprio usuário 	<ul style="list-style-type: none"> • poluição sofrida pelos demais usuários e pela sociedade
Acidentes	<ul style="list-style-type: none"> • seguros pagos pelo usuário • custos de acidentes pagos pelo próprio usuário 	<ul style="list-style-type: none"> • custos de acidentes pagos pelos demais envolvidos • dor e sofrimento impostos aos demais envolvidos

Fonte: Comissão das Comunidades Europeias (1995), quadro 2.1 (adaptado).

O estudo das externalidades implica muitas dificuldades teóricas e práticas. A dificuldade teórica está ligada à complexidade do tema, diante das muitas variáveis envolvidas e das diferentes apreciações que se possam fazer. Parte importante do problema diz respeito à valoração das externalidades, uma vez que muitas (poluição, qualidade de vida) não têm expressão monetária corrente, ou por não fazerem parte das transações mercantis (valor do ar limpo, por exemplo) ou por, filosoficamente, não admitirem valoração (valor da vida, por exemplo). A dificuldade prática está ligada à medição das externalidades, não apenas pela dimensão dos problemas (por exemplo, o congestionamento e a poluição em uma grande cidade), como pelo fato de que muitas delas são intangíveis.

2.2.1 Medição das Externalidades

A medição das externalidades é feita geralmente de forma direta. No caso do congestionamento, o indicador mais simples é o tempo de percurso em exces-

so em relação ao que seria verificado em uma condição não congestionada. Outras formas podem ser: i) a estimativa de quanto custaria ampliar a capacidade até o ponto de fazer desaparecer o congestionamento; e ii) a estimativa de quanto seria preciso cobrar dos usuários para fazer a demanda reduzir-se até o ponto anterior ao congestionamento.

No caso dos acidentes, a medida direta mais simples é o número de acidentes, com informações adicionais sobre quem os sofreu e quais foram as conseqüências. Essas são medidas de obtenção simples apenas quando há um sistema regular e confiável de registro de acidentes.

No caso da poluição, a medida mais simples é a estimativa do excesso de poluentes emitidos pelos veículos na condição congestionada. A dificuldade dessa medição reside no fato de as emissões variarem muito de veículo para veículo e conforme as condições do trânsito, sendo difícil determinar curvas *médias* a serem aplicadas (ver seção 2.3.3). Adicionalmente, o fator mais relevante para a saúde pública é o nível de concentração de poluentes na atmosfera do ambiente de circulação e vivência, o que depende de condições atmosféricas, como a velocidade e a direção dos ventos. Assim, grandes volumes de emissão podem não resultar em problema direto de saúde pública, caso haja ventos a altas velocidades no local.

2.2.2 Valoração das Externalidades

A estimativa dos custos das externalidades varia de país a país e ainda é objeto de controvérsia [World Bank (1996)]. Alguns estudos apontam o custo da poluição como equivalente a 0,4% do PIB dos países, e o custo dos acidentes como equivalente a 2% do PIB.

As externalidades podem ser valoradas de forma direta ou indireta, dependendo da sua natureza. Para bens de mercado — como a gasolina —, a valoração é direta, pelo preço do produto no mercado local. Assim, o excesso de consumo de combustível provocado pelo congestionamento pode ser valorado facilmente.

No entanto, muitas externalidades não têm valor mercantil, ou são de muito difícil quantificação. Por exemplo, o valor da vida perdida em um acidente de trânsito não tem expressão monetária. Os estudos de acidentes tendem, assim, a obter medidas indiretas, que refletiriam o valor implícito na mente das pessoas: este é o caso de atribuir à vida um valor igual ao prêmio do seguro de vida pago pelas pessoas, partindo do princípio de que, se elas pagam para ter esse benefício (mesmo não desejado), esse é o valor que implicitamente estão dando às suas vidas. Mesmo assim, o raciocínio é limitado, uma vez que nada indica que isso é tudo o que a pessoa gostaria de receber como compensação.

No limite, pode-se argumentar que, filosoficamente, a vida tem valor infinito e, portanto, não pode ser objeto de quantificação monetária de mercado. Ainda no campo dos acidentes, existem outros custos que podem ser facilmente estabelecidos:

o valor do seguro pago pelas pessoas pelo veículo que utilizam, o valor médio dos reparos em veículos acidentados, o valor médio das internações hospitalares, e até o valor do tempo parado, embora este também seja objeto de controvérsia.

No caso do tempo gasto, a polêmica também é intensa. Na tradição do planejamento de transporte, a valoração do tempo é feita de forma indireta, por meio dos salários das pessoas envolvidas. Assume-se que o tempo perdido tem um valor que guarda relação com o salário da pessoa — no sentido de tempo perdido para a produção econômica — e também que as pessoas atribuem valores ao tempo, que dependem das suas condições pessoais (nível de renda, idade) e da condição específica do deslocamento (tempo dentro do ônibus, tempo esperando em pé na via, tempo caminhando). A complexidade desses fatores, aliada à sua grande variação no tempo e no espaço, torna a valoração do tempo uma atividade polêmica — nos estudos de transporte, existem enormes variações entre os valores de tempo utilizados.

Na área da poluição, a atribuição de custos tem sido também difícil. Para a poluição atmosférica, existem os custos relativos ao prejuízo direto à saúde das pessoas (problemas respiratórios) e aqueles relativos ao meio ambiente global (flora, atmosfera), com efeitos de longo prazo. Segundo Quinet (1993), existem quatro formas de valoração da poluição:

(1) *Preços hedônicos*: como não é possível quantificar diretamente, esta técnica atua indiretamente. Verifica qual é a desvalorização sofrida por um imóvel que esteja sujeito ao efeito da poluição. Essa desvalorização é considerada o *custo* externo imposto ao proprietário do imóvel; a sua quantificação é difícil, dadas as diferenças entre as várias situações possíveis.

(2) *Custo da viagem correspondente*: é outra forma indireta. Assume-se que uma pessoa que viaja por motivo de lazer está aceitando pagar o custo para ter esse bem efício e que, portanto, o custo da viagem tem relação com o valor que ela atribui ao benefício (no caso, ambiental).

(3) *Preferência declarada*: é uma forma direta, pela qual se pergunta à pessoa quanto está disposta a pagar para ter um certo benefício (ambiental, no caso). Apresenta os problemas comuns a essas técnicas de pesquisa, referentes a como perguntar e como filtrar as respostas (dado o seu grau de subjetividade).

(4) *Impactos reais*: procura-se quantificar os prejuízos diretos à saúde e, conseqüentemente, atribuir valores às internações hospitalares, à compra de medicamentos e à perda de horas de trabalho; para esses valores de mercado, a estimativa é possível, mas para outros impactos — desconforto, mal-estar —, volta-se ao problema da quantificação. Para a poluição sonora, é possível quantificar os gastos com despesas de saúde, embora seja mais difícil quantificar os danos causados pela perda parcial do poder de audição.

2.3 Estudos Gerais

2.3.1 Padrão Urbano e Transporte: Newman e Kenworthy (1989)

O trabalho abrangente de maior influência foi o de Newman e Kenworthy (1989). Os autores estudaram as condições de transporte de 32 cidades de países desenvolvidos no ano de 1980, relacionando-as às condições físicas (demografia, densidade), econômicas (empregos) e de uso do solo. Embora não tenha sido feito com o objetivo de estudar externalidades — o livro sequer usa esse termo —, as análises refletem, em alguns casos, o que se poderia chamar de externalidades de transporte ligadas ao planejamento urbano, no caso, ao uso e à ocupação do solo.

No trabalho, os autores avaliaram o nível de dependência do transporte por automóvel perante três características principais: a qualidade do transporte público, a infra-estrutura feita para apoiar o uso do automóvel e a forma urbana. Para permitir melhores comparações, foram utilizados dados referentes ao consumo de combustível e ao índice de motorização. Essas e outras variáveis foram objeto de análises estatísticas de regressão, para identificar a importância relativa de cada uma na determinação da variância da variável dependente.

Algumas relações importantes estão descritas a seguir.

Densidade urbana e consumo de gasolina per capita: o consumo *per capita* diminui acentuadamente à medida que aumenta a densidade de ocupação do solo (ver tabela 1).

TABELA 1
Densidade Urbana e Consumo *per Capita* de Gasolina, Várias Regiões

Região	Densidade Urbana (pessoas/ha)	Consumo Gasolina (EUA = 100)
EUA	14	100
Europa	54	27
Ásia	160	12

Fonte: Newman e Kenworthy (1989), adaptado.

Observa-se que o consumo *per capita* na Europa representa 27% do consumo dos EUA (com densidades urbanas quase quatro vezes superiores). Nas cidades asiáticas estudadas, a densidade é 11 vezes maior e o consumo de gasolina *per capita*, 8 vezes menor. O estudo mostrou que a relação não é linear e identificou um ponto *notável* de densidade — 30 pessoas/ha —, abaixo do qual o consumo de gasolina começa a subir acentuadamente. Os autores lembram também que, a partir desse ponto, além de as distâncias crescerem muito, o transporte público começa a ficar inviável, dada a baixa densidade de usuários.

Uma relação adicional relevante é aquela entre velocidade de tráfego e consumo de gasolina: o consumo geral médio cresce à medida que cresce a velocidade — e

não o contrário, conforme se poderia esperar de um programa anti-congestionamento —, o que sugere que facilitar o trânsito incentiva o uso do automóvel no médio prazo.

Outras relações e análises importantes são a seguir apresentadas.

Transporte público: as cidades estadunidenses e australianas, adaptadas para o automóvel, praticamente não têm oferta significativa de transporte público (à exceção de Nova Iorque). Ao contrário, as cidades europeias tinham cerca de 25% das distâncias percorridas por transporte público, e outros 21% feitas a pé ou de bicicleta (em 1980) — valores que subiam para cerca de 64% e 25% no caso das cidades asiáticas. Quanto à oferta de transporte público (veículo-km por pessoa), os valores europeus e asiáticos eram, respectivamente, 2,6 e 3,4 vezes o valor dos EUA.

Quanto à velocidade, os sistemas de ônibus, em todas as regiões, apresentavam valores entre 15 km/h e 25 km/h, tendendo a uma homogeneização em torno de 20 km/h, provavelmente ligada às características do tráfego urbano. As velocidades são melhores nas cidades adaptadas para o automóvel, nas quais há mais espaço viário para a circulação dos ônibus, mas sem que isso altere a predominância do automóvel.

Apenas os sistemas ferroviários apresentavam velocidades superiores — em torno de 40 km/h, competitivas em relação ao automóvel (o que levou os autores a sugerir a ampliação dos sistemas ferroviários).

Oferta de vias e de estacionamento: nos EUA e na Austrália, a oferta de vias (área) era de 3 a 4 vezes a da Europa e entre 7 e 9 vezes à das cidades asiáticas; a oferta de vagas de estacionamento na área central por trabalhador nos EUA era o dobro da da Europa e 6 vezes maior que nas cidades asiáticas. Essa oferta está positivamente relacionada ao uso do automóvel e negativamente associada ao uso do transporte público, mostrando claramente o impacto de políticas pró-automóvel.

Densidade e transporte público: existe correlação positiva e forte entre densidade populacional/de empregos e uso de transporte público (além de caminhada e uso de bicicleta). Especialmente importante é a forte correlação positiva entre a densidade e a proporção de viagens feitas por transporte público.

TABELA 2
Densidade Urbana e Uso dos Modos de Transporte nos EUA — 1994

Cidade	Pessoas/ha	Carros/Domicílio	Modo de Transporte nas Viagens p/Trabalho	
			Auto	T. Público
Nova Iorque	92	0,6	24,0	53,4
San Francisco	60	1,1	38,5	33,5
Los Angeles	29	1,5	65,2	10,5
Houston	12	1,5	71,7	6,5
Phoenix	9	1,6	73,7	3,3

Fonte: World Bank (1995).

2.3.2 Energia e Padrão Urbano

As relações entre o padrão urbano e o consumo de energia são muito importantes para se pensar na melhor forma de orientar o crescimento das cidades. Essa importância aumenta quando se analisam a sustentabilidade das formas urbanas e seus sistemas de transporte. Uma das discussões atuais mais importantes refere-se à conveniência de cidades menores — mais compactas — e, conseqüentemente, de políticas de incentivo ao aumento da densidade de ocupação urbana. Há também propostas de criação de cidades com centros múltiplos ou de ativação de novas formas de suburbanização.

No entanto, as relações entre forma urbana e transporte não são claras, e há muito debate sobre o assunto [Banister (1996)]. Enquanto as conclusões de Newman e Kenworthy (estudo comentado anteriormente) apontam para a conveniência do aumento da densidade urbana via intervenção do Estado, outros estudos argumentam que é o mercado o melhor mecanismo para definir o uso do solo: nesse sentido, o mercado funcionaria espontaneamente para distribuir as atividades produtivas no espaço, de forma a sempre tender a um equilíbrio que impede o consumo excessivo de energia.

2.3.3 Sociedade e Custo do Transporte

Alguns estudos foram feitos sobre o custo geral do transporte para a sociedade. Distinguem-se dos estudos de externalidades na medida em que avaliam todos os custos, inclusive os internalizados — e não apenas os custos externalizados citados anteriormente. Esses estudos têm o objetivo de fazer análises de *contabilidade social*, no sentido de verificar quem paga e quem se beneficia dos investimentos em transporte. Dependendo do seu tratamento teórico, podem incluir avaliações de equidade, ou seja, de que maneira as necessidades das pessoas (independentemente de sua renda) estão sendo atendidas pelos investimentos em transporte. Há dois estudos gerais que merecem ser aqui resumidos.

O primeiro, de Littman (1996), traz o resultado de uma longa série de estudos sobre custos de transporte na América do Norte, compostos de forma a montar uma metodologia completa sobre o assunto.

O estudo desenvolve uma metodologia para estimar os custos de transporte, internos e externos, tangíveis e intangíveis. São cobertos vinte custos, para onze modos de transporte, em condições urbanas e rurais. Os custos são classificados conforme três situações:

— *Pertinência*: os custos podem ser internos ou externos; os custos internos são suportados pelo usuário direto do modo de transporte (tarifas, combustível, seguro), e os custos externos são suportados por outros indivíduos (tempo em excesso, acidentes) ou pela sociedade (poluição).

— *Comportamento*: os custos podem ser fixos (seguro, depreciação) ou variáveis, conforme o uso do transporte (combustível, acidentes).

— *Natureza*: os custos podem ser valorizados ou não no mercado. Os custos de mercado correspondem a mercadorias que são regularmente transacionadas mediante dinheiro (o veículo, a gasolina), sendo seus preços conhecidos. Os demais custos não têm expressão monetária corrente, como a poluição, o sofrimento pelo acidente e a qualidade de vida.

O resumo dos custos considerados por Littman está no quadro 2.

Em relação ao congestionamento, Littman identifica três formas de estimativa das externalidades:

a) calcular os custos marginais de atraso para cada veículo adicional na via, em função da sua curva de relação entre fluxo e velocidade;

b) calcular quanto os motoristas deveriam pagar para reduzir a demanda até o nível da capacidade; e

c) calcular quanto custaria aumentar a capacidade da via até um ponto ótimo.

Conforme o autor salienta, as três formas de cálculo produzem resultados diferentes. Littman cita também a forma mais usual, que é calcular quanto tempo é perdido na via, em relação a um valor *ótimo* (ver a metodologia constante do relatório final do estudo “Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público”, coordenado pelo IPEA em parceria com a Associação Nacional de Transportes Públicos — ANTP).

QUADRO 2
Custos de Transporte

Custo	Situações		
	Pertinência	Comportamento	Natureza
1. Propriedade do veículo	I	F	M
2. Operação do veículo	I	V	M
3. Subsídios de operação	E	F	M
4. Tempo de viagem	I	V	NM
5. Acidente interno	I	V	NM
6. Acidente externo	E	V	NM
7. Estacionamento, interno	I	F	M
8. Estacionamento, externo	E	F	M
9. Congestionamento	E	V	M
10. Equipamento viário	E	V	M
11. Valor da terra na via	E	V	Misto
12. Serviços municipais	E	V	M
13. Valor da disponibilidade de transporte	E	V	NM
14. Poluição atmosférica	E	V	NM
15. Ruído	E	V	NM
16. Consumo de recursos	E	V	NM
17. Efeito-barreira	E	V	NM
18. Impactos no uso do solo	E	V	NM
19. Poluição da água	E	V	NM
20. Disposição de detritos/lixo	E	V	NM

Fonte: Littman (1996, tabela 1).

Obs.: I = interno; E = externo;

F = fixo; V = variável;

M = de mercado; NM = fora do mercado.

Nesse caso, salienta a importância de considerar o efeito do tráfego gerado — viagens que passam a ser feitas após a melhoria das condições de tráfego —, que pode alterar os resultados das análises simples (de ganhos apenas para os veículos que já estão na via).

Littman chama atenção para a dúvida na classificação do custo do congestionamento como interno ou externo. Ele opta pela última classificação, uma vez que o atraso imposto aos demais usuários é superior ao atraso sofrido individualmente, fruto da decisão individual de entrar na via. Adverte também para a existência de um *ponto ótimo de congestionamento*, no sentido de que algum nível de congestionamento pode ser desejável — uma vez que eliminá-lo totalmente parece ter um custo elevado demais. Finalmente, lembra que o custo de congestionamento varia quanto ao modo de transporte — por exemplo, motoristas que dirigem sozinhos causam atrasos aos ônibus, que carregam muito mais pessoas e têm custo muito menor para a sociedade. Esse ponto coincide também com a metodologia adotada no estudo IPEA/ANTP, que vai identificar o atraso sofrido pelos sistemas de ônibus.

O segundo estudo abrangente sobre o assunto é o de Miller e Moffet (1993). Seu objetivo era estimar os custos totais dos deslocamentos por automóveis, ônibus e trens nos EUA, e sistematizá-los de forma integrada. Não foram, portanto, considerados os custos de outros modos, como a bicicleta e a caminhada, que, no caso dos EUA, são responsáveis por cerca de 10% do total de deslocamentos. Os custos foram calculados para cerca de 11 itens tangíveis e foram separados em três grupos:

- custos pessoais, ou seja, cobertos pelo próprio usuário (aquisição e uso do veículo);
- custos governamentais, na forma de investimentos, operação e subsídios; e
- custos da sociedade, na forma de poluição, acidentes, congestionamento.

O objetivo do trabalho era comparar esses três grupos de custo e verificar qual porcentagem dos custos não é coberta pelo usuário, sendo transferida para a sociedade ou para o governo. Foram também abordados vários custos intangíveis — patrimônio histórico, equidade no transporte — e custos cuja natureza ainda se conhece pouco — valorização da propriedade, perda de terras úteis, espalhamento da área urbana —, mas os autores preferiram não incluí-los na conta final por falta de dados mais precisos. Os custos considerados e seus valores estão resumidos na tabela 3.

TABELA 3
Custos de Transporte por Automóvel, Ônibus e Trem nos EUA, 1990

Categoria de Custo	(Em US\$ bilhões por ano)					
	Auto		Ônibus		Trem	
	US\$	%	US\$	%	US\$	%
Pessoal	775-930	59 / 67	5,2	30 / 34	3,6	27 / 29
Sociedade	310-592	27 / 37	1,3 - 3,2	8 / 18	0,8- 2,1	6 / 16
Governamental	72	5 / 6	9,0	52 / 58	7,9	58 / 64
Total	1 152 - 1 589		15,5 - 7,3		12,3 - 13,6	

Fonte: Miller e Moffet (1993).

Pode-se observar que o automóvel implica os maiores custos (mais de 1 trilhão de dólares ao ano), cabendo aos ônibus e trens quantias muito menores (dado a baixa demanda). No caso do automóvel, o usuário arca com cerca de 60% dos custos, cabendo 30% à sociedade e 10% ao governo. No caso do transporte público, a participação do governo é bem maior.

2.4 Estudos Específicos

2.4.1 Congestionamento

Os estudos mais detalhados sobre congestionamento são originados dos EUA. Isso decorre do fato de esse país deter a maior frota de veículos automotores do mundo e de gerar a maior quantidade de tráfego urbano, predominantemente por automóvel.

a) *Estados Unidos*

O primeiro grande estudo feito nos EUA foi organizado pelo Ministério do Transporte [US Department of Transportation (1986)] e teve o objetivo de estimar o nível de congestionamento presente e futuro na rede de vias expressas urbanas do país. O relatório analisa também as técnicas de redução dos problemas de congestionamento.

O estudo pôde abarcar uma grande rede de vias em razão da existência, nos EUA, de um sistema de monitoração de *performance* de rodovias (*Highway Performance Monitoring System — HPMS*), mantido pelo governo federal. O sistema contém informações sobre as características geométricas e de tráfego de uma amostra representativa do sistema nacional de rodovias. Utilizando esse arquivo, foi selecionado o subgrupo das vias expressas e, dentro dele, o grupo relativo às áreas urbanizadas (com população acima de 50 000 pessoas), nas quais poderia haver congestionamento. A rede obtida tem cerca de 25 000 km de extensão.

Para estimar o nível de congestionamento, foi necessário traduzir os dados físicos e de tráfego em indicadores de qualidade do tráfego. Após ajustar dados incorretos — relações volume/capacidade muito superiores à unidade, por exemplo —, as capacidades foram definidas. Essa definição foi facilitada, pois as informações de cada estado do país basearam-se na metodologia do HCM [Transportation Research Board (1985)]. No caso dos volumes, os dados de hora, de pico foram expandidos para 24 horas, por meio de doze contagens-padrão, obtidas a partir de levantamentos em várias vias expressas típicas — cada seção da rede era identificada dentro de um dos padrões e então tinha seus volumes de pico ajustados de acordo com ele.

O passo seguinte foi multiplicar os volumes anuais (VMTA) pelo comprimento de cada trecho e pelo fator 365, obtendo-se o índice de utilização (IU) anual, em veículo-km.

A estimativa do congestionamento requer a definição de um *limite* a partir do qual se considera o trecho congestionado. No estudo citado, esse limite foi adotado como equivalente à passagem entre os níveis de serviço C e D, conforme metodologia do HCM [Transportation Research Board (1985)]. Nesse ponto, a relação entre volume e capacidade é de cerca de 0,77 (com volume de serviço máximo em torno de 1 550 veículos por hora, por faixa). Foi então calculada a relação V/C para cada trecho, em cada hora, e aqueles que superaram o limite foram considerados *congestionados*.

Em seguida, foi calculado o tráfego anual sujeito ao congestionamento, multiplicando-se o volume anual pela porcentagem de tráfego sob congestionamento, pelo comprimento da seção e pelo fator 260, correspondente aos dias úteis (nos quais ocorre o congestionamento sistemático — *recurring delay*). Finalmente, foi calculado o atraso anual, comparando-se os tempos de percurso *real* e *ideal*, correspondentes a várias situações:

- tráfego ideal: velocidade de 55 mph (88 km/h);
- tráfego entre níveis A e C (sem congestionamento): velocidade entre 48 e 86 km/h; e
- tráfego de congestionamento total (V/C maior do que 1): velocidade de 32 km/h.

Os cálculos seguintes foram feitos para estimar o consumo excessivo de combustíveis. No caso, foram estudadas várias relações entre velocidade e consumo de combustíveis, tendo-se optado pela relação:

$$R = 8,8 + 0,25 V, \text{ em que}$$

R = rendimento do combustível, em milhas/por galão; e

V = velocidade média no trecho (milhas/hora).

O relatório alerta para o fato de a curva representar a frota de 1980, caso em que a estimativa de consumo pode produzir valores mais elevados que os reais à época do estudo (1986).

O estudo calculou também os congestionamentos ocasionais, causados por fatores extraordinários (acidentes, quebras de veículos) (*non-reccurent delay*). Isso foi feito considerando-se uma média de ocorrência de incidentes (em vias com e sem acostamento), um tempo médio de duração do incidente e adotando-se um valor para a capacidade *remanescente* da via após o incidente. Para evitar dupla contagem, todo congestionamento sistemático que ocorreria nos períodos relativos aos incidentes foi subtraído do total de atrasos devidos aos incidentes.

Ao final, o estudo simplesmente projetou os atrasos que podem ser esperados para o horizonte 2005, caso nada seja feito nas vias.

O resultado da análise para o ano de 1984 encontra-se na tabela 4. Os dados mostram que 11,3% das viagens na rede ocorriam na condição *congestionada*. Mais de um bilhão de horas de atraso foram estimadas. O consumo excessivo de combustível foi estimado em mais de 5 bilhões de litros.

TABELA 4
Dados de Congestionamento das Vias Expressas Urbanas nos EUA, 1984

Dado	Unidade	Total
Comprimento da rede	km	24 536
Utilização anual	10 ⁹ veic-km	4,42
Utilização durante congestionamento sistemático	10 ⁹ veic-km	0,50 (11,3%)
Atraso durante congestionamento sistemático	10 ⁶ horas	485
Excesso de combustível no congestionamento sistemático	10 ⁹ litros	1,97
Atraso durante congestionamento eventual	10 ⁶ horas	767
Excesso de combustível no congestionamento eventual	10 ⁹ litros	3,13
Atraso total	10 ⁶ horas	1.252
Excesso total de consumo de combustível	10 ⁹ litros	5,1

Fonte: US Department of Transportation (1986).

Sugestões de melhoria:

a) Alargamento de vias para adequar-se à demanda.

b) Implantação de sistemas de monitoração e controle de tráfego, que contenha, no mínimo, detetores de tráfego, controle de acesso em rampas e programa de atendimento de incidentes. O benefício estimado é de 20% de aumento na velocidade e 10% de redução na duração dos incidentes (não estimaram benefícios de segurança de trânsito por considerarem difícil).

- Medidas de baixo custo para aumentar a capacidade, como usar acostamento como faixa e redesenhar faixas mais estreitas para caber maior número de automóveis.

- Manejar a demanda, como uso do *carpooling* e de transporte público. Uma das propostas é fazer um em cada cinco veículos com um ocupante sair da via no horário de pico. Os benefícios estimados são redução de 18% no tráfego de pico, de 67% no atraso sistemático, e de 63% no atraso eventual (*non-recurring*). Essa alternativa só não é melhor que a estratégia *combinada* de várias medidas, mas o estudo não diz qual é o custo de remanejar a demanda (ver tabela 5).

TABELA 5
Impactos Esperados das Medidas Anticongestionamento

Projeto	Custo Anual (10 ⁹ US\$)	Benefício Anual (10 ⁹ US\$)	B/C
Alargamento	0,941	3,180	3,4
Sistemas de controle	0,699	2,951	4,2
Medidas de baixo custo	0,641	4,682	7,3
Combinação (1)	1,821	6,479	3,6
Redução da demanda (2)	(3)	5,900	(4)

Fonte: US Department of Transportation (1996).

Obs.: (1) Combinando parte das três opções anteriores.

(2) *Carpool*, uso de transporte público; assumindo-se que um em cada cinco veículos com um ocupante sai da via no horário de pico.

(3) Não especificado.

(4) O estudo [US Department of Transportation (1996, p. 26)] conclui que a alternativa só não é melhor do que a *combinação*.

Os estudos mais abrangentes foram realizados pela Universidade do Texas [Texas Transportation Institute (1995)] e por Lomax *et alii* (1996), para o Ministério dos Transportes dos EUA.

O primeiro estudo faz um resumo do congestionamento nas vias dos EUA entre 1982 e 1992. A base de dados sobre o sistema viário foi também o HPMS utilizado no estudo anteriormente citado, com ajustes para o ano-base do relatório (1992). No caso, foram estudadas 50 áreas urbanas no país.

O estudo enfocou três itens. O primeiro — congestionamento geral — refere-se à medição do *roadway congestion index* —RCI (índice de congestionamento das vias), que reflete a condição média do sistema viário analisado quanto ao congestionamento.

mento. O segundo — impactos do congestionamento — mediu dois impactos: o atraso e o consumo excessivo de combustível. O terceiro item — custos do congestionamento — avaliou os custos referentes ao atraso e ao consumo de combustíveis.

O congestionamento geral foi medido por meio de um índice geral de congestionamento (IGC), que faz uma média de todo o sistema viário. Essa média não aponta locais específicos que possam estar mais congestionados. O índice compara o uso atual das vias com o uso característico do limite entre não congestionado e congestionado.

$$\text{IGC} = \frac{\text{F1} * \text{F2} + \text{A1} * \text{A2}}{13\ 000 * \text{F2} + 5\ 000 * \text{A2}}$$

em que:

F1 = veíc x km por dia, por faixa — km, em vias expressas;

F2 = veíc x km por dia em vias expressas;

A1 = veíc x km por dia, por faixa — km, em vias arteriais;

A2 = veíc x km por dia em vias arteriais;

13 000 = valor limite para veíc x km diário de faixa de via expressa; e

5 000 = valor limite para veíc x km diário de faixa de via arterial.

O sistema viário é considerado congestionado quando o IGC é maior do que a unidade.

TABELA 6
Índices de Congestionamento das Dez Cidades mais
Congestionadas do Estado, EUA, 1992

Cidade	IGC
Los Angeles	1,54
Washington	1,36
San Francisco	1,33
Miami	1,30
Chicago	1,28
San Bernardino	1,22
San Diego	1,22
Seattle	1,22
Detroit	1,19
Atlanta	1,17

Fonte: Texas Transportation Institute (1995).

Impactos e Custos do Congestionamento

Foram quantificados dois impactos principais: tempo de percurso (atraso) e consumo de combustível. Os custos do congestionamento foram calculados para automóveis e caminhões, para os itens de atraso e consumo de combustível (ver tabela 7).

TABELA 7
Custos Anuais do Congestionamento nos EUA, Cidades Seleccionadas, 1992

Cidade	Custo Anual (milhões de US\$)			Custo/Veículo (US\$/ano)	Custo/Pessoa (US\$/ano)
	Atraso	Gas.	Total		
Los Angeles	7 420	910	8 330	1 060	700
New York	6 450	800	7 250	1 190	430
San Francisco	2 570	320	2 890	930	760
Chicago	2 420	310	2 730	670	360
Washington	2 410	300	2 710	1 580	820
Detroit	1 870	220	2 090	720	520
Houston	1 640	190	1 830	810	630
Boston	1 420	170	1 590	950	540
Seattle	1 180	150	1 330	990	720
Dallas	1 110	130	1 240	750	590
Philadelphia	1 110	130	1 240	440	250

Fonte: Texas Transportation Institute (1995).

Para os cálculos foram considerados os seguintes dados:

- ocupação média dos automóveis = 1,25;
- dias úteis por ano = 250;

- custo médio da hora = US\$ 10,50 por pessoa (1992); no estudo, não foi usado o valor típico de estudos de transporte, baseado nos salários, mas uma aproximação em função do valor que as pessoas atribuem ao tempo (não foram dadas maiores explicações);

- custo de operação de veículo comercial = US\$ 1,34/km (1992); e
- composição do tráfego = 95% autos e 5% caminhões.

No caso do atraso, foram considerados o atraso sistemático (*recurring*) e o eventual (*non-recurring*, devido a acidentes, em função de parâmetros de outros estudos).

Pode-se observar que o custo estimado por ano passa de 8 bilhões de dólares, no caso de Los Angeles, e é de acima de 1 bilhão de dólares para mais uma dezena de cidades. Os custos anuais por veículo variam entre 400 e 1 600 dólares, ao passo que os custos *per capita* variam entre 250 e 820 dólares anuais.

O outro estudo abrangente sobre congestionamento foi feito por Lomax *et alii* (1996). Esse estudo metodológico procurou avaliar as melhores formas de medir o congestionamento. Na primeira parte, o estudo avalia várias formas de medição, a saber:

- *Baseadas no Highway Capacity Manual*

O HCM é um dos documentos mais completos sobre estudos de capacidade viária. Pode ser usado para dimensionar as vias, mas também para avaliar seu grau de congestionamento. Há três formas de se fazer esse cálculo. A primeira é verificar em qual nível de serviço está operando uma determinada via: caso esteja acima de um certo nível, pode-se afirmar que está *congestionada*. Nos EUA, 90% dos órgãos responsáveis pelas vias utilizam esse critério. Este é o caso, analisado mais à frente, de verificar o excesso de tempo de percurso a partir de certo nível de serviço.

A segunda forma — mais comum para as vias expressas — é utilizar a densidade de veículos (veículos/km de via), uma vez que existem relações claras entre densidade e velocidade. A desvantagem desse critério é que a medição da densidade só pode ser feita com facilidade quando se dispõe de detetores instalados na via. O terceiro critério, para as vias com tráfego interrompido, é baseado no atraso médio dos veículos nas interseções, relacionado a uma tabela de nível de serviço. Da mesma forma, trata-se de critério pouco operacional, uma vez que é trabalhoso obter o atraso médio real por interseção.

- *Baseadas em medidas de fila/ocupação*

Pode-se estimar o congestionamento a partir da medição do tamanho e da duração das filas. Essas medidas podem ser tomadas no campo por estimativa visual, sendo possível desenvolver parâmetros de controle como fila máxima e número médio de veículos na fila (essa é a forma utilizada atualmente pela Companhia de Engenharia de Tráfego — CET em São Paulo e por cidades do Japão — ver subitem d,

Japão). Outra forma é identificar o nível de congestionamento pela ocupação das faixas de tráfego, medida pelo tempo de permanência médio dos veículos sobre o detector instalado na pista. Trata-se, na realidade, de uma medição mais simples da densidade. É uma medida que permite grande precisão, mas depende da disponibilidade de detectores (é o método usado na França — ver subitem c, França).

- *Baseadas no tempo de percurso*

O congestionamento pode ser estimado por medidas de tempo de percurso, relacionadas aos níveis de serviço típicos da via estudada. Se o tempo de percurso efetivo for comparado a um tempo de percurso *ideal*, a diferença é entendida como um atraso que quantifica o congestionamento.

- *Medidas indiretas*

A medida indireta mais utilizada nos EUA é a relação volume/capacidade. Deve ser associada a um determinado tipo de via e, também, aos seus níveis de serviço. Assim, para um certo tipo de via, valores V/C superiores a um certo limite indicam, indiretamente, que a via está congestionada. A grande vantagem dessa forma de medição é que pode ser feita com baixo custo, bastando medir o volume da via periodicamente. Um exemplo da relação entre velocidade, relação V/C e densidade de semáforos pode ser vista no anexo 1.

Indicadores Recomendados

- *Tempo relativo de percurso* (minutos por km): é a medida mais clara sobre o desempenho do trânsito, podendo servir de parâmetro de comparação entre situações congestionadas e não congestionadas, assim como entre vias do mesmo tipo e situações do mesmo tipo. Por exemplo, no caso de uma via arterial de primeira categoria, o tempo de percurso relativo ideal pode ser de 1,5 minuto por quilômetro (correspondente a 45km/h), em condições de boa coordenação de semáforos. Os tempos relativos superiores representam algum nível de congestionamento, que pode ser quantificado por trecho, horário e no total da via. Pode, igualmente, ser ponderado pelo número de pessoas que passam, em cada modo de transporte.

TR = tempo de percurso real (min)/comprimento do trecho (km)

- *Atraso relativo* (minutos por km): é a consequência da comparação entre o tempo ideal e o tempo real. Assim como o tempo relativo, pode ser definido em faixas que representam situações congestionadas e não congestionadas e pode servir de comparação entre vias do mesmo tipo e situações do mesmo tipo. Pode também ser calculado por modo de transporte.

AR = tempo real — tempo ideal/comprimento do trecho ou

AR = TR real — TR ideal

- *Atraso total* (pessoas x horas): representa o tempo perdido pelas pessoas que usam o trecho analisado, no período estudado. É muito influenciado, portanto, pelo tipo de via e pela presença de transporte público.

$$AT = \text{Atraso real (min/km)} \times \text{pessoas/hora}$$

- *Taxa relativa de atraso*: é a relação entre o atraso relativo e o tempo relativo aceitável. Permite avaliar o peso do atraso em um tempo de percurso tido como razoável e, conseqüentemente, comparar situações diversas. A comparação é feita em relação à situação atual do tráfego (e não a ideal). É o caso, por exemplo, de comparar uma taxa relativa de atraso de 2 (4 minutos/km de atraso para um tempo relativo aceitável de 2 minutos/km) em uma via arterial de primeira categoria com uma taxa relativa de 2 em uma via coletora.

$$TRA = \text{minutos de atraso/km, por minutos de percurso/km (atual)}$$

- *Razão de atraso*: é a taxa anterior, mas na qual a comparação é feita com a situação ideal de tempo relativo de percurso.

$$RA = \text{minutos de atraso/km, por minutos de percurso/km (ideal)}$$

- *Velocidade da movimentação de usuários* (pessoas- km/h): é a multiplicação do número de pessoas pela velocidade. Reflete a produtividade (eficiência) da via, no sentido de movimentar a maior quantidade de pessoas por quilômetro, na unidade de tempo. Pode ser usada para comparar modos diferentes de transporte (no nosso caso, automóveis e ônibus).

- *Índice de mobilidade do corredor*: compara a velocidade atual de movimentação dos usuários com uma velocidade ideal. Permite uma aferição da eficiência do corredor. Por exemplo, uma via expressa cuja faixa média transporta 2 500 pessoas em automóveis a 40 km/h terá uma velocidade de movimentação de pessoas de cerca de 100 000 pessoas -km/h. Se as condições ideais forem de circulação de 3 000 pessoas (2 000 carros com ocupação 1,5) à velocidade de 50 km/h, a velocidade ideal de movimentação será de cerca de 150 000 pessoas-km/h e o IMC será de 100 000/150 000, ou seja, 0,66.

$$IMC = \text{velocidade de movimentação dos usuários/valor ideal normalizado}$$

- *Tráfego congestionado*: a quantidade de tráfego (em veículos-km ou pessoas-km) que ocorre sob condições de congestionamento. É obtido multiplicando-se o comprimento do trecho congestionado pela quantidade de pessoas ou veículos que circula no período congestionado. Somando-se todos os trechos, obtém-se o total para a rede.

- *Sistema congestionado*: o comprimento da rede que opera em condições de congestionamento.

Os indicadores sugeridos estão resumidos no quadro 3.

QUADRO 3
Indicadores de Congestionamento, Sugestões do TTI, EUA.

Indicador	Conteúdo
Tempo relativo de percurso (TR)	$TR = \text{tempo de percurso} / \text{distância}$
Atraso relativo (AR)	$AR = TR \text{ real} - TR \text{ ideal}$
Atraso total (AT)	$AT = AR \times \text{pessoas/hora}$
Taxa relativa de atraso (TRA)	$TRA = \text{atraso relativo} / \text{tempo atual}$
Razão de atraso (RA)	$RA = \text{atraso relativo} / \text{tempo ideal}$
Velocidade de pessoas	$\text{pessoas} \times \text{velocidade}$
Índice de mobilidade do corredor	$IMC = \text{velocidade pessoas} / \text{valor adotado}$
Tráfego congestionado	tráfego (veic-km) sob congestionamento
Sistema congestionado	comprimento da rede sob congestionamento

Fonte: Lomax *et alii* (1996).

Alguns índices podem ser usados para dar uma visão mais ampla do problema (ver quadro 4).

QUADRO 4
Indicadores Agregados do Congestionamento

Indicador	Medidas recomendáveis
Duração	<ul style="list-style-type: none"> tempo durante o dia com congestionamento comprimento congestionado x tempo
Extensão	<p><i>Pessoas afetadas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> pessoas x km sob congestionamento viagens afetadas pelo congestionamento pessoas x km afetadas pelo congestionamento <p><i>Regiões afetadas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> comprimento de vias afetado porcentagem do sistema viário afetado
Intensidade	<ul style="list-style-type: none"> horas de atraso para pessoas ou veículos taxas de atraso atraso por pessoa ou veículo
Variabilidade	<ul style="list-style-type: none"> variação média do congestionamento usual

Fonte: Lomax *et alii* (1996).

b) Inglaterra

Na Inglaterra, os estudos sistemáticos sobre congestionamento urbano começaram em 1963. Nesse ano, o Transport and Road Research Laboratory (TRRL) fez a pesquisa em 48 cidades, obtendo dados sobre fluxo, velocidade e estacionamento. Em 1967, repetiu os estudos em 8 das cidades originais e 5 novas cidades (conurbações), obtendo um conjunto de 13 cidades que seriam novamente pesquisadas em 1971 e 1976.

Como as rotas pesquisadas eram basicamente as mesmas, foi possível comparar os dados [Duncan *et alii* (1980)]. É importante observar que os levantamentos tinham o objetivo principal de estabelecer relações entre velocidade e fluxo de tráfego,

para permitir estimativas de desempenho do tráfego sem a necessidade de levantamentos adicionais.

A pesquisa de 1976 teve poucos recursos e foi realizada com contagens manuais classificadas de 6 minutos, com 7 passagens por sentido do veículo-teste de velocidade. A rede de vias foi descrita quanto ao número de interseções e de passagens de pedestres, o tipo de uso do solo lindeiro, a largura da via e o comprimento de cada seção. Os dados foram separados usando duas classificações de localização (central e não central) e duas de horário (pico e fora de pico).

Os dados foram trabalhados por regressão estatística, para gerar relações entre a velocidade do tráfego e as variáveis medidas. Na primeira fase, foi analisada a correlação entre as velocidades do centro e da periferia: a correlação existe apenas entre as velocidades de pico e fora de pico no centro, mas não entre as velocidades do centro e da periferia. Ou seja, o centro e a periferia podem ser tratados como *duas cidades diferentes*. Na segunda fase, foi analisada a relação entre a velocidade e as variáveis medidas, com o objetivo de comparar as cidades entre si — e não os segmentos viários, uma vez que a amostra não permitiria.

Após vários testes cruzados das variáveis, o estudo permitiu concluir que:

- a variância da velocidade na área central era melhor explicada pela densidade de interseções e pela variação de fluxo entre pico e fora de pico; e
- a variância da velocidade na área periférica era melhor explicada pelo uso do solo e pela variação de fluxo entre pico e fora de pico.

Um outro trabalho da Inglaterra [Van Vuren e Leonard (1994)] estuda o problema do congestionamento causado por incidentes (*non recurring congestion*, citado anteriormente) e apresenta definições interessantes do congestionamento. A primeira é a já citada diferença entre congestionamento sistemático e incidental. A segunda é entre congestionamento de primeiro nível — veículos formando fila em um ponto de restrição de capacidade — e de segundo nível — se o congestionamento de primeiro nível provoca interrupção em outras interseções.

Essa diferença torna-se importante no caso da análise das medidas corretivas: nesse caso, é importante que a operação de tráfego evite que o congestionamento de primeiro nível ocasione o de segundo nível.

c) França

Na França, muitos estudos têm sido feitos, principalmente sobre o tráfego de Paris. O primeiro que pode ser citado, de caráter mais econômico, foi feito na década de 70 [Taché (1978)]. Nele, o autor começa definindo um coeficiente de congestionamento, que exprime a diferença entre a velocidade real e a velocidade ideal (*objectif no original*), como aquela máxima possível de ser alcançada. O coeficiente de congestionamento é:

$C = 1 - V_r/V_i$, em que:

V_r = velocidade real do tráfego;

V_i = velocidade ideal do tráfego; e

C = coeficiente de congestionamento, entre 0 ($V_r = V_i$) e 1 ($V_r = 0$).

Assim, uma via com velocidade próxima de zero teria o coeficiente de congestionamento máximo, ao passo que uma via com velocidade próxima da ideal teria o coeficiente de congestionamento próximo de zero. O coeficiente pode ser calculado para vários tipos de veículo com velocidades diferentes (por exemplo, automóveis e ônibus).

O tempo de congestionamento é simplesmente a diferença entre o tempo real e o tempo ideal, multiplicada pela quantidade de veículos que circula na via.

Quanto aos custos, o estudo considerou três: tempo perdido, custo adicional de operação (caso do transporte público) e custo adicional de combustível. Os custos foram estimados considerando-se três níveis para as variáveis (alto, médio e baixo), estabelecendo-se, assim, um espectro possível de variação. Assumiu-se também que o congestionamento pode ocorrer entre 7 e 20 horas apenas, o que originou a quantidade aproximada de viagens que ocorrem em Paris (sujeitas ao congestionamento).

O resumo dos dados pode ser visto na tabela 8.

TABELA 8
Custos Anuais de Congestionamento em Paris, 1978

Item de Custo	Valor	Custo (milhões de dólares) ¹
Tempo perdido		
Usuários de automóvel	176 milhões de horas	528
Usuários de ônibus	40 milhões de horas	119
Total		647
Consumo de Combustível		
Automóveis		250
Ônibus		2
Total		252
Despesas operacionais ônibus		54
Custo total		953

Fonte: Taché (1978).

Nota: ¹Valores em francos, no original transformados em dólares; relação entre franco francês e dólar dos EUA de 5:1.

Observa-se que estimou-se que eram perdidas por ano 176 milhões de horas nos automóveis e 40 milhões de horas nos ônibus. O custo total das externalidades avali-

adas chegava a cerca de 1 bilhão de dólares por ano. Dado o período transcorrido (20 anos), esse valor pode, no mínimo, ser dobrado para representar o custo atual (sem contar as transformações do próprio tráfego da cidade).

Outro estudo que merece ser citado é o de Leurent (1996). O estudo chama atenção para os objetivos das análises de congestionamento e nível de serviço (já mencionados no estudo do TTI nos EUA), identificando seis formas de representação do problema (ver quadro 5).

QUADRO 5
Medidas Recomendadas para os Estudos de Congestionamento e Nível de Serviço do Sistema Viário

Medida	Significado
Fluxos médios e taxa de utilização da capacidade	Uso absoluto e relativo da infra-estrutura
Relação entre os fluxos máximos e a capacidade	Diferença entre os picos de fluxo e os picos de demanda
Frequência das horas no ano com taxa de ocupação superior a um certo limite	Extensão temporal dos períodos de pico
Número de veículos sujeitos ao atraso	Impacto do congestionamento no tráfego
Tempo perdido segundo o estado de congestionamento	Relação entre as perdas de tempo e as condições de circulação (fluida, densa, etc.)
Capacidade perdida segundo o estado de congestionamento	Ordem de grandeza da disfunção do sistema de transporte

Fonte: Leurent (1996).

d) Japão

As dificuldades do Japão em lidar com o aumento do uso do automóvel levaram à realização de muitos estudos a respeito de congestionamento. Um estudo sobre a condição geral das áreas urbanas apontou que os congestionamentos custam, anualmente, ao país, cerca de 3% do seu PNB [Takada(1991)]. Alguns dados são mostrados na tabela 9.

TABELA 9
Dados sobre Congestionamento no Japão, 1988

Dado	Valor
Trechos congestionados nas cidades densamente povoadas ¹	75 %
Tempo perdido no congestionamento	55 bilhões de homens-hora
Custo anual	100 bilhões de dólares

Fonte: Takada (1991).

Nota: ¹ Nas vias com mais de 5,5 metros de largura; a condição congestionada é definida como aquela na qual o tráfego no pico da manhã e da tarde ocorre com lentidão e, fora de pico, com facilidade.

Outro estudo, feito nas interseções da área central de Tokyo, mostrou conclusões interessantes sobre as causas dos congestionamentos [Koshi e Hirokazu (1991)]. Foram pesquisadas 193 interseções (ver tabela 10).

TABELA 10
Causas Prováveis do Congestionamento em Interseções da Área Central de Tokyo, 1987.

Causa	Interseções
Estacionamento junto à guia	152
Semáforo mal ajustado	33
Geometria com problemas	6
Sem causa reconhecível	2
Total	193

Fonte: Koshi e Hirokazu (1991).

TABELA 11
Variação dos Fatores que Afetam o Congestionamento, 1979-1989

Fator	Variação (%)
Número de veículos	54
Distância percorrida (veic-km)	25
Sistema viário	0

Fonte: Kawai (1991).

TABELA 12
Aumento do Congestionamento em Tokyo e Osaka, 1984-1989

Cidade	Horas/Dia de Congestionamento		
	1984	1989	Var (%)
Tokyo ¹	1.777	2.121	19
Osaka ²	306	405	28

Fonte: Kawai (1991).

Notas: ¹ Em 445 interseções.

² Em 184 interseções.

2.4.2 Poluição

A questão da poluição, em todas as suas manifestações, tem gerado número enorme de estudos em todo o mundo. Na área do transporte urbano, os estudos têm-se concentrado em dois impactos ambientais: a poluição atmosférica e o ruído provocados pelo tráfego. A validade desses estudos prende-se tanto à avaliação do seu impacto direto para a saúde das pessoas, quanto do seu impacto de médio prazo para o ambiente global. Muitos dos poluentes têm efeitos nocivos claramente definidos para a saúde humana. Por exemplo, o monóxido de carbono reage com a hemoglobina do sangue, sendo prejudicial às pessoas com anemia, problemas cardíacos e problemas pulmonares crônicos. Os hidrocarbonetos reagem com o dióxido de nitrogênio e causam problemas respiratórios. O dióxido de enxofre associado ao material particulado pode ser muito grave para pessoas com bronquite crônica [Varma *et alii* (1992)]. O Banco Mundial estima que cerca 1,1 bilhão de pessoas estão expostas a níveis excessivos de material particulado e dióxido de enxofre no mundo [World Bank (1996)].

A conscientização sobre o problema vem ocorrendo há muitas décadas. Analisando as relações entre transporte e meio ambiente nos países desenvolvidos, Boyv (1990) identifica quatro fases pelas quais passou o processo:

- *fase 1*: longo período de poluição permanente, no qual o problema vai sendo lentamente percebido, primeiro pelos estudiosos, depois pela população e pelo governo;
- *fase 2*: à medida que vários tipos de poluição aparecem e aumentam, surgem as primeiras medidas de proteção e os primeiros padrões ambientais;
- *fase 3*: começam a aparecer os primeiros resultados, com a redução dos níveis de poluição até então prevalentes; e
- *fase 4*: ocorrem estabilização do problema e eventual eliminação de algumas formas de poluição.

Os países europeus, por meio da sua organização (Organização de Cooperação para o Desenvolvimento Econômico), já realizaram vários estudos sobre transporte e meio ambiente. Um dos maiores [OECD (1988)] analisou os impactos ambientais do transporte nesses países, bem como as soluções que vêm sendo adotadas.

O estudo identificou dois impactos principais — poluição atmosférica e ruído —, procurando avaliar em quais cidades são mais relevantes. No tocante à poluição atmosférica, destacou-se a cidade de Los Angeles, pela dimensão de sua frota e da quantidade de viagens diárias feitas por automóvel (39 milhões). Lá, os automóveis são responsáveis por 80% do monóxido de carbono, dois terços do dióxido de nitrogênio e 50% dos hidrocarbonetos.

Fenômeno parecido pode ser verificado em Londres, embora em menor escala; os veículos a motor jogam na atmosfera 1,05 milhão de toneladas de poluentes todo ano. Em Atenas, a poluição tornou-se crítica em função da conjugação de fatores climáticos, frota envelhecida e mal mantida, congestionamento de tráfego (a velocidade na área central é cerca de 7 a 8 km/h) e combustível de baixa qualidade (a cidade tem feito rodízio de veículos recentemente).

Analisando as tendências nos países da OECD, o relatório mostra que as emissões de CO, HC e chumbo de fontes móveis têm diminuído muito nos EUA e no Japão, em função de regulamentações cada vez mais restritas. Nos EUA, as reduções, desde 1975, foram de 23% de CO, 30% de HC e 68% de chumbo. Na Europa, após crescerem, se estabilizaram. O fenômeno é mais lento, pois a regulamentação européia é menos rígida, foi adotada mais tardiamente, e a frota ainda está em substituição.

Os estudos de emissão foram acompanhados de estudos epidemiológicos sobre a conseqüência da poluição na saúde humana. Os estudos analisaram, para cada poluente, a função *dose-resposta*, ou seja, qual é a conseqüência para a saúde de uma determinada dose de exposição ao poluente. De posse dessas relações, é possível prever os resultados de duas situações relevantes para as políticas públicas: o que acontece quando a concentração de um poluente aumenta — como é o caso de muitos países em desenvolvimento — e o que acontece quando ela diminui — o que pode acontecer em função de programas de combate à poluição. Nos dois casos, os benefícios podem ser estimados, por exemplo, em economia nas internações hospitalares ou na redução de dias perdidos de trabalho e, no limite, na redução de mortes. Em alguns estudos, tentou-se a valoração desses benefícios.

Apesar da grande variedade de condições e da controvérsia sobre os resultados, algumas relações têm sido identificadas. A principal delas é a que relaciona a concentração de partículas inaláveis com a morte prematura de pessoas e com as doenças respiratórias. Os vários estudos analisados por Ostro (1994) mostram um crescimento de 0,3% a 1,5 % na mortalidade por todas as causas, em função de um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da concentração de partículas (PM10).

O rápido crescimento do número de deslocamentos motorizados nos países asiáticos também levou à realização de vários estudos. O próprio Banco Mundial financiou muitos deles, principalmente aquele feito em Bangkok, Tailândia, cidade conhecida por apresentar atualmente alguns dos índices mais elevados de congestionamento de trânsito. No estudo de Bangkok, foi dada ênfase especial ao impacto da poluição na saúde das pessoas — um item ainda pouco conhecido. Após estudados os dados disponíveis sobre a população e suas condições de saúde, foi feita a estimativa dos impactos de uma redução de 20% na concentração de poluentes na atmosfera (ver tabela 13)

TABELA 13
Bangkok — Estimativa dos Benefícios de 20% de Redução
da Concentração de Poluentes na Atmosfera, 1989

Poluente	Impacto	Benefício (US\$ milhões)
Material particulado	mortalidade	138 - 1 315
	morbidade	302 - 309
Chumbo	mortalidade	291 - 1 470
	morbidade	6 - 8
Dióxido de enxofre	morbidade	0,2
Ozônio	morbidade	9 - 36
Total		746 - 3 138

Fonte: Ostro (1994).

Observa-se que os maiores benefícios para a mortalidade viriam da redução das concentrações de material particulado e chumbo (o estudo prevê a redução de centenas de óbitos por ano). Conforme já se salientou, o valor monetário é de difícil determinação, o que se reflete nas grandes variações mostradas na tabela para um mesmo poluente.

2.4.3 Consumo de Combustível e Velocidade Como parte dos estudos dos impactos dos congestionamentos, foram estudadas as variações do consumo de combustível em função da velocidade dos veículos. Esses estudos têm um problema no tocante à sua utilização: referem-se a alguns tipos de veículos, em determinadas condições mecânicas e de tráfego, o que dificulta a sua transposição para outros países e situações. Adicionalmente, a variação do consumo de combustíveis é testada em laboratório, quando se simula um ciclo-padrão de tráfego, no que se refere às mudanças de aceleração e velocidade. Esses ciclos podem variar caso a caso, introduzindo mais um problema.

No tocante aos automóveis, a relação mais comum é apresentada a seguir [Lamure (1994)].

$$C = A + B / V, \text{ em que:}$$

$$C = \text{consumo (l/100 km);}$$

$$A, B = \text{constantes; e}$$

$$V = \text{velocidade (km/h).}$$

Exemplo (caso da Holanda):

$$\text{automóveis, em vias principais: } C = 4,34 + 135,9/V$$

$$\text{ônibus diesel, em vias principais: } C = 17 + 95/V$$

Alguns estudos mostraram que a melhor relação pode ser expressa por uma equação do segundo grau. No geral, as diferentes equações apresentam valores que variam em cerca de 50% (no consumo de combustível), para uma determinada velocidade (ver anexo 2 e tabela 14).

TABELA 14
Variação das Estimativas de Consumo de Combustível em Automóveis em Função da Velocidade, Vários Estudos.

Estudo	Consumo (l/km)	
	a 20 km/h a	a 30 km/h
Everhall (1968)	17	14
Clatten (1971)	15	13
Watson (1977)	12	8
Cohen (1980)	11	10
TUV - Rheinland (1980)	13	11
Gyenes (1980) (TRRL)	15	12
Weeks (1981) (TRRL)	13	11

Fonte: Lamure (1994), Gyenes (1980) e Weeks (1981).

O consumo de diesel em ônibus pode ser visto na tabela 15.

TABELA 15
Consumo de Diesel em Ônibus em Função da Velocidade

Velocidade (km/h)	Consumo (l/100km)
10	26,5
15	23,3
20	21,8
25	20,8
30	20,2

Fonte: Lamure (1994).

2.4.4 Emissão de Poluentes e Velocidade

Os vários poluentes resultantes do funcionamento dos motores veiculares são expelidos em taxas que variam de acordo com muitos fatores, destacando-se a velocidade e a aceleração dos veículos. A emissão de poluentes em função da velocidade pode ser vista na tabela 16.

TABELA 16
Emissão de Poluentes e Velocidade Média,
Veículos Suíços (valores aproximados)

Velocidade (km/h)	Co (g/km)	HC (g/km)	Nox (g/km)
10	40	4,0	1,5
20	25	2,5	1,8
30	20	2,0	2,0
40	15	1,5	2,2

Fonte: Lamure (1994).

O problema da aplicação dessas taxas nos estudos de congestionamento é que o fator mais relevante para a saúde humana não é a quantidade de poluente emitido *per se*, mas a sua concentração na atmosfera da cidade. Para isso, os organismos ambientais definem graus máximos de concentração para os vários poluentes — CO, HC, SO₂, Nox —, que não deveriam ser ultrapassados.

A concentração desses poluentes na atmosfera, por sua vez, depende de uma série de fatores, dentre os quais se destacam o regime de ventos, a ocorrência de turbulência, a ocorrência de reações químicas e a distância entre receptor e emissor [Hickman e Colwill (1982)]. Assim, grandes quantidades de emissão podem ser pouco nocivas à saúde quando os ventos são muito fortes, por exemplo.

Os estudos detalhados sobre a emissão de poluentes acabam fazendo modelagens complexas sobre as condições meteorológicas e de dispersão de poluentes, que são muito sensíveis às variáveis.

3 SUGESTÕES DE SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS

3.1 Desenvolvimento

Urbano e Transporte

Os estudos mais gerais apresentam sugestões também gerais, que normalmente incluem ações de várias políticas urbanas — uso do solo, transporte e trânsito — em programas coordenados. A OECD, por exemplo, recomenda ações que têm sido adotadas nos seus países-membros há muitos anos [Horn *et alii* (1995)]. Essas medidas têm, como pano de fundo, objetivos centrais, a saber:

- reduzir a necessidade de fazer a viagem;
- reduzir o comprimento da viagem;
- promover o transporte não motorizado;
- promover o transporte público;
- promover o uso mais eficiente do automóvel (*carpooling*);

- mudar a hora de pico;
- mudar o tráfego para locais menos congestionados; e
- reduzir os atrasos no tráfego.

Diante desses objetivos, as medidas são analisadas, separando-se-as entre medidas relativas à demanda (para reduzir o uso do automóvel) e à oferta (para aumentar a capacidade). Um resumo pode ser visto no quadro 6.

QUADRO 6
Medidas de Desenvolvimento e Transporte Sugeridas pela OECD

Tipo de medida	Grupo	Medida
Demanda de transporte	Uso do solo	<ul style="list-style-type: none"> • legislação • pólos geradores
	Novas formas de comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • telecomunicação • tele-conferência • tele-<i>shopping</i>
	Informação ao usuário	<ul style="list-style-type: none"> • informação pré-viagem • informação sobre <i>carpool</i>
	Medidas econômicas	<ul style="list-style-type: none"> • pedágio viário • cobrança de estacionamento • incentivos ao transporte público • descontos em tarifas TP • financiamento inovador • parcerias de transporte • redução de viagens
	Medidas administrativas	<ul style="list-style-type: none"> • novos horários de trabalho • zonas de restrição ao auto • política de estacionamento
	Operação de tráfego	<ul style="list-style-type: none"> • controle de acessos • sistemas de informação • otimização de semáforos • operação de vias expressas • operação de tráfego • controle de obras viárias
	Tratamento preferencial	<ul style="list-style-type: none"> • faixas de ônibus • <i>carpool</i> • apoio ao pedestre/ciclista • semáforos preferenciais
Oferta de transporte	Transporte público	<ul style="list-style-type: none"> • serviços expressos TP • integração auto-TP • melhoria do serviço de ônibus • melhoria da imagem do TP • TP de alta capacidade
	Transporte de carga	<ul style="list-style-type: none"> • manejo urbano • manejo intermunicipal

Fonte: Horn *et alii* (1995).

As várias medidas têm diferentes impactos diante dos objetivos estabelecidos anteriormente. Por exemplo, as medidas de demanda têm maior potencial de impacto na redução da necessidade de realizar viagens, na redução do comprimento das via-

gens e na promoção do transporte público. Já as medidas de oferta têm maior potencial de impacto na promoção do transporte público e na redução do atraso no trânsito.

O estudo enfatiza a necessidade de ações abrangentes e coordenadas, como parte de um programa anticongestionamento. Esse programa deve ter um *mix* de medidas compatível com os principais objetivos da cidade/região estudada. Na preparação do programa, deve ser dada atenção especial às formas de superação das barreiras institucionais, financeiras e políticas que podem se colocar perante as medidas: níveis diferentes de governo, conflito entre órgãos e agências públicas, reação do público, falta de mecanismos de avaliação das medidas. Para aumentar o sucesso do programa, são sugeridos alguns princípios:

- a) planejamento sistemático, o que inclui bom conhecimento dos problemas do transporte local, boa avaliação das alternativas e capacidade de avaliação;
- b) disponibilidade de recursos, adequadamente distribuídos entre os responsáveis pelas ações;
- c) mecanismos de coordenação, para definir claramente responsabilidades e metas a serem cumpridas;
- d) regulamentação apropriada, inclusive mudança de legislação existente, para facilitar implementação de medidas;
- e) política de transporte definida e clara, para evitar dispersão de esforços; e
- f) comunicação com o público, para garantir representatividade e apoio às medidas

3.1.1 Exemplos de Políticas Adotadas

Alguns exemplos de políticas já adotadas estão resumidas a seguir [OECD (1988)].

a) Medidas econômicas

- Influenciar a compra do veículo — política de Cingapura, com cobrança do direito de ir ao centro, controle sobre estacionamento (preços altos) e taxaço sobre o veículo — um carro novo de 200cc custa US\$ 10 000, mais US\$ 21 700 de taxas.
 - Impor pedágio viário, como o realizado em Hong Kong.
 - Dar benefícios financeiros: *leasing* de ônibus para grandes empresas sem imposto de renda e parcerias para melhorar terminais de transporte (Nova Iorque); contribuição de melhoria, privatização da construção de vias (Los Angeles), deduções de imposto de renda sobre gastos com transporte público e *car-pooling* (Califórnia).
-

- Criar um imposto de transporte pago pelos empregadores, como é o caso do *versement transport* na França.

b) Melhoria do transporte público

Aumento da oferta, melhoria dos serviços, simplificação do sistema tarifário e melhoria da imagem do transporte público, como feito na maioria dos países europeus há muitos anos.

c) Circulação

Traffic calming (reorganização do tráfego em áreas residenciais para reduzir acidentes e melhorar qualidade de vida). O movimento começou na Holanda (*woonerven*), e as propostas foram sendo paulatinamente adotadas em outros países europeus.

A essas propostas pode-se acrescentar a proposta polêmica mais recente, que é a criação de taxas sobre a poluição [OECD (1995)]. Essas medidas têm profundas implicações fiscais e econômicas, e ensejam análises sobre a equidade na distribuição de benefícios e custos.

Entre as medidas estudadas estão as taxas sobre a emissão de poluentes e as permissões negociáveis de emissão. Em cada caso, os impactos sobre a qualidade do ambiente, a distribuição dos empregos e a concentração da renda devem ser cuidadosamente avaliados.

3.2 Transporte e Sustentabilidade

Quanto à definição de políticas gerais, os princípios de uma política de transporte *sustentável* foram resumidos por vários documentos.

No caso da Holanda, o Parlamento aprovou, em 1990, um plano estrutural de transportes para o ano 2010 [Kraay (1996)]. O plano tem um objetivo essencial: garantir o desenvolvimento sustentável para o país. Esse objetivo foi entendido no sentido de garantir a acessibilidade ótima às atividades, dada pelo equilíbrio entre eficiência econômica e qualidade de vida. Na prática, cada cidade ou região deve analisar suas condições atuais e estabelecer objetivos a serem cumpridos no âmbito do objetivo geral, estabelecendo um *perfil de acessibilidade* desejável.

O país determinou metas nacionais gerais, a saber:

- aumentar a ocupação média dos automóveis nas viagens a trabalho de 1,2 para 1,6;
- aumentar o uso do transporte público nos corredores principais de 50% a 100%;
- garantir que a relação entre os tempos de percurso de ônibus e automóvel nos corredores principais sejam inferiores a 1,5;
- aumentar a distância percorrida de bicicleta em 30%; e

- melhorar todos os padrões de concentração de poluentes na atmosfera e de ruído nas áreas residenciais.

Outro documento geral, do *The Public Health Alliance* (1991), resumiu o que se entende por *transporte sustentável e saudável*:

Princípios

- a) apoiar o transporte não motorizado, não causar perigo aos demais usuários e não causar poluição;
- b) reduzir os perigos enfrentados por pedestres e ciclistas: redesenhar as vias para reduzir velocidades e criar condições de uso por pedestres e ciclistas e reeducar motoristas;
- c) garantir que pessoas sem automóvel possam movimentar-se independentemente de auxílio público direto com veículos especiais; e
- d) procurar reduzir a poluição dos veículos e os acidentes de trânsito.

Estratégias

- a) aumentar o uso do transporte público (cobertura, confiabilidade, preço, integração, acesso de transporte não motorizado (NMT), acesso do automóvel a estacionamentos, segurança, conforto);
- b) planejamento urbano para reduzir distâncias e necessidade de transporte;
- c) gastar menos com construção de vias;
- d) terminar com subsídios dos empregadores aos empregados que usam automóvel;
- e) planejamento do trânsito (*traffic calming*, áreas de pedestre, dispositivos de redução de velocidade);
- f) educação de motoristas;
- g) fiscalização;
- h) segurança no transporte público;
- i) reduzir poluição;
- j) transporte de carga *ambientalmente sadio*;
- l) mobilidade para os que têm restrição;
- m) transporte comunitário; e
- n) participação comunitária.

Evidentemente, a aplicação dessas soluções vai variar de país a país, dependendo de suas condições específicas.

Um aspecto relevante do estudo das soluções possíveis refere-se à reorganização do sistema de transportes, para melhorar a eficiência geral e reduzir os impactos ambientais. Dois estudos trabalham essa questão em detalhes — o primeiro de Wright

(1993) e o segundo de Bovy (1990). Os autores chamam atenção para a necessidade de analisar cuidadosamente as relações entre as características das várias formas de transporte e o meio ambiente urbano no qual circulam. O quadro 7 resume os conceitos principais.

QUADRO 7
Características dos Modos de Transporte e seus Efeitos no Meio Ambiente

Indicadores	Unidade	Modos de Transporte			
		A pé	Ônibus	Trem	Carro
Consumo de espaço	m ² .h/veicxkm	baixo	baixo	baixo	alto
Consumo de energia	energia/km	baixo	baixo	baixo	alto
Efeito ambiental	poluição/km	nulo	baixo	baixo	alto
Capacidade	pessoas/espaço	alta	média ¹	alta	baixa
Velocidade	km/h	baixa	média ¹	alta ¹	alta
Confiabilidade	garantia de uso	alta	média	média	alta
Conforto	espaço/qualid.	médio	médio	médio	alto

Fonte: Bovy (1990) e Wright (1993); as tabelas respectivas foram adaptadas.

Nota: ¹Depende muito das condições de trânsito.

A utilização desse quadro permite definir com mais clareza o *mix* de transportes adequado a cada situação.

A. Congestionamento

Alguns estudos preocuparam-se exclusivamente com as medidas anti-congestionamento. O estudo feito pelo Institute of Transportation Engineers (1989) propõe uma série de medidas para reduzir o congestionamento nos EUA. Essas medidas estão separadas, inicialmente, em quatro grandes grupos, cada um relativo a um objetivo amplo, reorganizando:

- a oferta do sistema de transporte, por meio do aumento da capacidade ou de medidas operacionais de melhoria da *performance* do sistema;
- a demanda de transporte, para influenciar a intensidade, a hora de ocorrência e a distribuição espacial da demanda, com o objetivo de reduzir o impacto do tráfego;
- o uso do solo, para compatibilizar a geração de viagens com a capacidade do sistema de transporte; e
- o quadro institucional e de financiamento, para coordenar adequadamente as ações, minimizar os conflitos e obter formas estáveis e inovadoras de financiamento.

Na prática, esses objetivos podem ser atingidos por uma série de medidas (ver quadro 8).

QUADRO 8
Medidas Anticongestionamento Sugeridas pelo ITE — EUA

Área de atuação	Medidas recomendadas
Otimização do sistema viário	<ul style="list-style-type: none"> • sistemas de operação e monitoração • sistemas de informação ao usuário • controles de acesso (vias expressas) • redesenho das faixas de trânsito • otimização dos semáforos • proibição de conversões • alterações na circulação • melhorias na geometria e nas interseções • uso de faixas reversíveis • controle do estacionamento • controle dos veículos de carga • fiscalização • melhorias na sinalização
Aumento da capacidade	<ul style="list-style-type: none"> • construção de novas vias • controle de acessos • melhorias geométricas • reconstrução de trechos críticos • alargamento de vias • separação de níveis • separação de vias e ferrovias
Manejo da demanda	<p>Para evitar congestionamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • controle do crescimento do tráfego • pedágio viário • zonas de restrição ao automóvel • organização do estacionamento • planejamento do uso do solo local • controle de pólos geradores <p>Para minimizar congestionamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • promover <i>carpooling</i> • mudar horários de trabalho • programas de redução de viagens
Transporte público	<ul style="list-style-type: none"> • construção de ferrovias • serviços expressos de ônibus • serviços especiais de ônibus (<i>paratransit</i>) • novos serviços de ônibus • uso do solo em apoio ao ônibus • projeto de pólos geradores para TP • integração auto-ônibus • incentivo do empregador ao uso do ônibus
Área institucional-financeira	<p>Novas fontes de financiamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • taxa sobre a gasolina • outras rendas • pedágios • <i>bondings</i> • parcerias público/privado <p>Medidas institucionais</p> <ul style="list-style-type: none"> • associações para coordenação de ações • equipes de engenharia de tráfego • coordenação de tráfego regional • capacitação de recursos humanos

Fonte: ITE (1989).

Várias dessas medidas foram sugeridas no estudo citado do US DOT (1986) (ver seção 2.4.1).

Nos EUA, em função dos graves problemas ambientais, o estado da Califórnia foi pioneiro em definir um programa amplo de ação. O programa teve início como parte da nova e ampla legislação sobre transporte no estado, promulgada nos anos de 1989 e 1990 [Nash (1992)]. A legislação incluía programas específicos de tratamento do congestionamento, mas vinculados à aprovação popular de aumentos das taxas cobradas sobre o combustível. Essa aprovação ocorreu, e os programas tornaram-se leis em 1990.

Os programas têm o objetivo de reduzir o congestionamento por meio de várias ações: melhorias no transporte, planejamento do uso do solo, programas de redução de viagens e melhorias no transporte público. Segundo Nash (1992), o principal mérito do programa estaria na indução à coordenação de esforços entre planejamento urbano e de transportes, o que não ocorre normalmente. Na prática, os municípios que desejarem receber a sua cota da taxa adicional sobre a gasolina devem preparar um programa de redução do congestionamento, com cinco itens obrigatórios. O caso citado por Nash — do município de Santa Clara — inclui nove elementos, a saber:

a) definição do sistema viário a ser objeto do programa, principalmente as vias estruturais. Existem dúvidas quanto à definição desse sistema, que está sujeita a conflitos de interesse: como cada via selecionada precisa ser monitorada sob pena dos fundos não serem repassados, a tendência é não incluir vias que, embora importantes, por algum motivo não possam ser monitoradas;

b) escolha do método de análise do nível de serviço das vias: o município deve optar por usar uma das metodologias consagradas de análise de nível de serviço, como a do *Highway Capacity Manual* [Transportation Research Board (1985)]. Isso é importante para conseguir consistência nas análises e permitir comparações corretas entre sistemas viários de cidades diferentes;

c) definição de padrões de serviço para o transporte público, como frequência, roteamento, integração, custo;

d) redução da necessidade de viagens, por meio de programas coordenados de *carpooling* e uso de transporte público e estacionamento;

e) adoção de modelos de impacto do uso do solo local no sistema regional de transportes;

f) adoção de um programa de investimentos, que dê prioridade às intervenções de maior impacto para os objetivos do programa;

g) adoção de uma metodologia de avaliação permanente dos impactos, uma vez que a lei exige a obediência a todos os itens do programa, sob pena de o município não receber os recursos extras.

No Japão, em 1988, o Ministério das Comunicações criou o plano anticongestionamento, a ser aplicado em 37 áreas urbanas do país com graves problemas de congestionamento. Muitas medidas estão sendo planejadas e implantadas. Dentre elas, destacam-se as do quadro 9. Planos mais detalhados estão sendo executados, conforme mostra o quadro 10.

QUADRO 9
Planos e Programas Anticongestionamento no Japão

Dado	Plano de ação	Programa Anticongestionamento
Área de aplicação	37 regiões urbanas	37 regiões urbanas mais 345 localidades
Pontos de congestionamento	389 pontos no país	602 pontos no país
Período de ação	medidas de curto prazo: 89/91 medidas de médio prazo: 92/94	medidas de curto prazo: 91/92 medidas de médio prazo: 93/94
Custo estimado	total: 217 bilhões de dólares construção/melhoria: 1,93 operação : 0,05 transporte público : 0,19	total: 8,5 bilhões de dólares construção/melhoria: 0,79 operação : 0,02 transporte público : 0,20

Fonte: Takada (1991).

QUADRO 10
Exemplo de Planos Detalhados de Ação Anticongestionamento no Japão

Área de ação	Medida geral	Medida específica
Controle da demanda	Controle de tráfego	<ul style="list-style-type: none"> • restrição de estacionamento • prioridade do TP
	Controle direto	<ul style="list-style-type: none"> • proibição de acesso a áreas
	Outras medidas	<ul style="list-style-type: none"> • incentivo ao uso do TP • incentivo ao <i>park&ride</i>
Aumento da capacidade	Controle de tráfego	<ul style="list-style-type: none"> • melhoria nos semáforos • informação ao usuário
	Otimização da circulação	<ul style="list-style-type: none"> • estacionamentos eletrônicos • melhorias nas interseções • aumento do número de faixas
	Estacionamento	<ul style="list-style-type: none"> • estudos gerais • novos estacionamentos
	Otimização das vias	
	Planos de transporte de longo prazo	

Fonte: Kawai (1991).

4 CONCLUSÕES

Existe grande variedade nos estudos já realizados sobre transporte, desenvolvimento urbano e externalidades. Os estudos gerais abordam questões mais amplas, ligadas ao processo de desenvolvimento e suas relações com o uso dos sistemas de transporte, diante das características sociais e econômicas da sociedade analisada. A maior parte desses estudos pertence a uma corrente de investigação que se preocupa com o tema do meio ambiente e da sustentabilidade, procurando soluções que alterem estruturalmente as condições adversas hoje verificadas.

Apesar das diferenças, os estudos mais gerais apontam para uma série de conclusões relevantes, a saber:

- *ocupação urbana e meios de transporte*: nos países desenvolvidos existe forte relação negativa entre densidade populacional e consumo de combustível *per capita* e relação positiva entre densidade populacional e uso do transporte público. Mesmo nos EUA essas relações parecem sustentar-se, na medida em que cidades de densidades diferentes seguem esses padrões;
- *ocupação ótima*: apesar dessas evidências, não há ainda consenso sobre a forma ótima de ocupação urbana para minimizar o uso de energia; há defensores da intervenção estatal para aumentar a densidade de ocupação, e há também os que vêm no mercado o mecanismo correto para definir a distribuição das atividades no espaço;
- *soluções*: os estudos, por sua abrangência, tendem a propor soluções coordenadas em várias áreas. O fio condutor das propostas é a reorganização do espaço em condição de sustentabilidade, por meio das interferências no uso do solo, no sistema de transportes e no uso do transporte individual.

Os estudos específicos abordam temas mais definidos, destacando-se o congestionamento. Os países desenvolvidos têm realizado muitos estudos diante do aumento da frota de veículos particulares e do aumento do congestionamento. Isso é particularmente importante nos EUA, que apresentam os maiores volumes de tráfego por automóvel no mundo.

Pela análise dos relatos dos estudos de congestionamento, pode-se concluir:

- *Transporte e meio ambiente*: a maioria dos estudos confirma a importância dos automóveis como principal meio de poluição atmosférica. Em Los Angeles, 80% do monóxido de carbono (CO) é produzido pelos automóveis; embora, em volume, as emissões de CO sejam dominantes, o principal perigo imediato à saúde humana é o material particulado.
 - *Congestionamento*: o congestionamento é um fenômeno universal e de dimensões crescentes. Na Inglaterra, os primeiros estudos começaram em 1963, em 48 cidades. É causado por uma série de fatores, dentre os quais se destacam o aumento
-

acelerado do número de automóveis em circulação, as características do sistema viário (por exemplo, a densidade de semáforos) e as características do uso do solo. O congestionamento é entendido como aquele causado regularmente (*recurring*) e aquele causado eventualmente, por acidentes, por exemplo (*non-recurring*). Nos EUA, 11% da rede principal de vias estavam congestionados em 1984, causando cerca de 1,2 bilhão de horas de atraso e provocando o consumo excessivo de mais de 5 bilhões de litros de gasolina por ano. Todas as maiores cidades dos EUA tinham índice geral de congestionamento positivo em 1992, com tendência a piorar. Em 50 cidades pesquisadas, o custo anual estimado (tempo e combustível em excesso) passou de 47 bilhões de dólares (em Los Angeles é de 8,3 bilhões). A grande parte do custo (90%) é devido ao tempo de percurso em excesso. Em Paris, o tempo em excesso em 1978 foi estimado em mais de 200 milhões de horas. No Japão, 75% dos trechos viários nas cidades densamente povoadas são considerados congestionados (o critério é bastante rígido — ver seção 2.4.1), com perda anual de 55 bilhões de horas e custo estimado em 100 bilhões de dólares.

- A medição do congestionamento é feita geralmente pela comparação entre um tempo de percurso *real* e um outro *ideal*. O tempo ideal é adotado segundo algum critério de nível de serviço, de relação volume/capacidade, ou do que as pessoas locais julgam aceitável. Um critério muito comum é o que define o tráfego congestionado como aquele que ocorre ao passar-se do nível “C” para o nível “D” de operação. Quando há grande disponibilidade de dados de volume, podem-se definir limites de volume médio diário anual (VDM), a partir dos quais se pode concluir que a via está congestionada, em função de relações velocidade/volume previamente conhecidas. Essa parece ser a forma mais simples para estudos sistemáticos de grandes redes viárias. Para estudos mais limitados espacialmente — ou no caso da ausência de dados de volume —, utiliza-se muito o levantamento de tempos de percurso por veículos-teste.

- A medição do consumo excessivo de combustível e de poluentes é feita com uso de curvas típicas para automóveis e veículos a diesel. Essas curvas apresentam grandes variações segundo o tipo de veículo, tipo de motor, regulagem, qualidade do combustível e comportamento do tráfego. Cada estudo selecionou curvas que melhor retratassem as suas condições típicas.

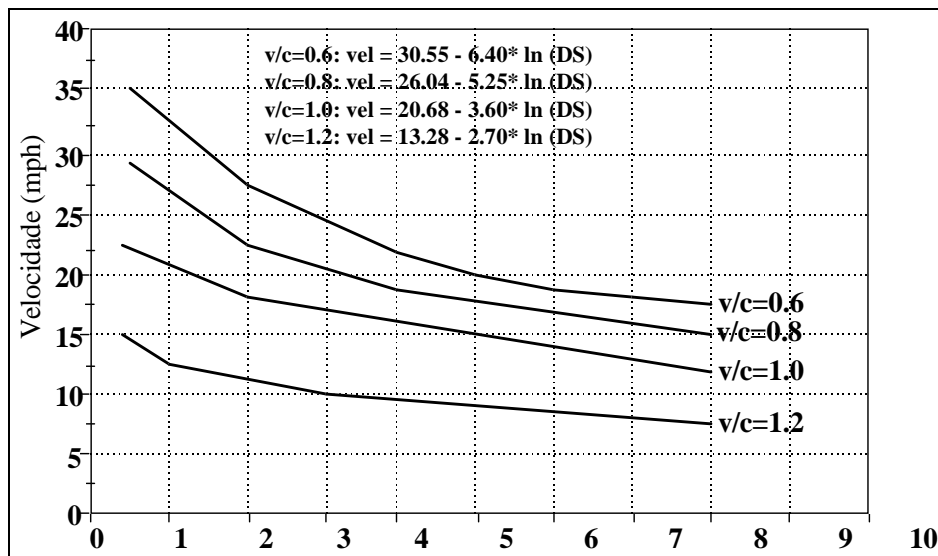
- A estimativa dos custos do congestionamento envolve cálculos e estimativas indiretas. Há quatro custos principais normalmente considerados: o tempo de percurso, o combustível, a poluição e o custo operacional do transporte público (nos casos em que é relevante). O custo do tempo é objeto de controvérsia, como em outras áreas de transporte e trânsito, sendo normalmente estimado em função do valor do salário das pessoas envolvidas. O custo da poluição é mais complexo ainda, uma vez que pouco se sabe de concreto sobre os efeitos reais na saúde das pessoas e os custos decorrentes. O custo do consumo excessivo de combustível é evidentemente

fácil de estimar. O custo do impacto sobre o transporte público é também complexo, pois envolve estimativas de como seria a operação na ausência do congestionamento.

- *Soluções*: os estudos apresentam soluções variadas, mas que no final têm muita semelhança. De forma geral, as soluções estão agrupadas em quatro blocos: otimização do sistema viário e da operação de trânsito (geometria, controle, semáforos), melhoria do transporte público (aumento da oferta e da qualidade), redução da necessidade de uso do automóvel (oferta de alternativas, mudança no uso do solo) e controle do uso do automóvel (restrições físicas ou econômicas).

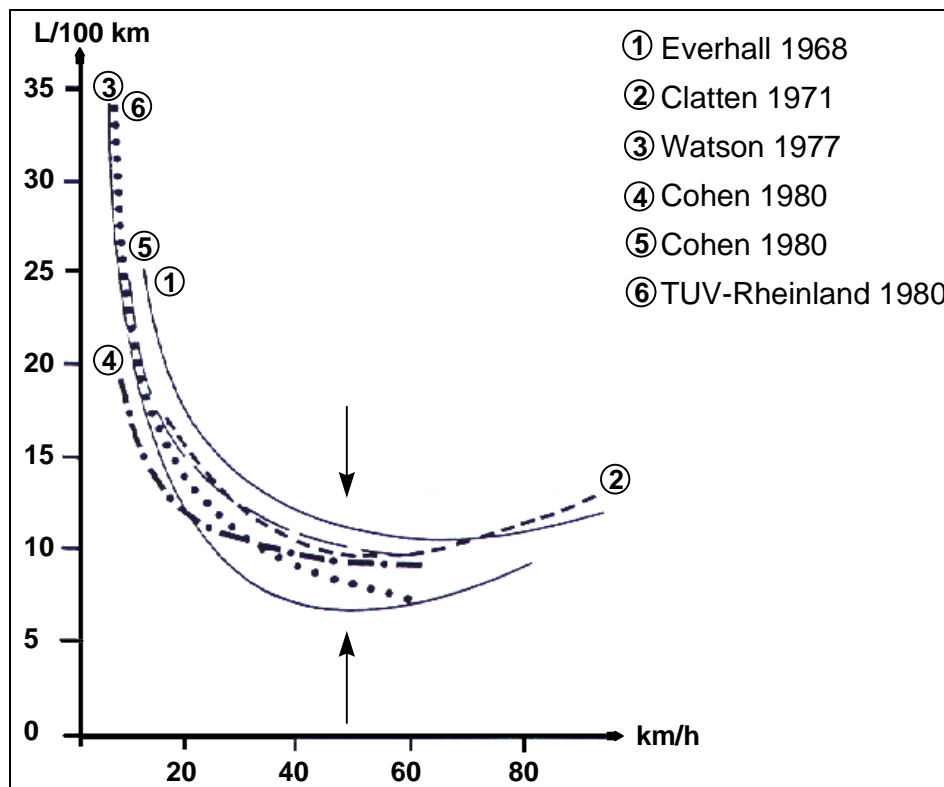
ANEXO 1

Densidade de Semáforos (por milha)
 Estimativa de Velocidade — Arteriais Classe I



ANEXO 2

Curvas de Consumo de Combustível conforme a Velocidade



Fonte: Lamuree (1994).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANISTER, David. Energy, quality of life and the environment: the role of transport. *Transport Reviews*, v.16, n.1, p.23-35, 1996.
- BOVY, Phillippe H. *Environmental impacts of land-based transport infrastructures*.— Lausanne: Swiss Federal Institute of Technology, 1990.
- COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS — CCE. *Para uma formação correta e eficiente dos preços dos transportes*.— Bruxelas: 1995.
- DUNCAN, N. C. *et alii*. Traffic speeds in towns: further analysis of the urban congestion surveys. *Traffic Engineering and Control*, v.21, n.12, p.576-579, 1980.
- GYENES, L. (1980) *Assessing the effect of traffic congestion on motor vehicle fuel consumption*. — UK: Transport and Road Research Laboratory. (Special Report 613).
- HICKMAN, A J e COLWILL, D. M. *The estimation of air pollution concentrations from road traffic*.— UK: Transport and Road Research Laboratory, 1982. (LR 1052)
- HORN, B.; HASHIBA, K. e FEYPELL, V. Fighting traffic congestion: and agenda for the future. *LATSS Research*, v.19, n.2, p.6-15, 1995.
- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS — ITE. *A toolbox for alleviating traffic congestion*.— EUA: 1989.
- KAWAI, Kiyoshi. A traffic-management perspective on easing traffic congestion. *The Wheel Extended*, n.75, p.14-19, 1991.
- KRAAY, Joop H. Dutch approaches to surviving with traffic and transport. *Transport Reviews*, v.16, n.4, p.323-243, 1996.
- KOSHI, Masaki e HIROKAZU, Akahane. Traffic congestion: causes and solutions. *The Wheel Extended*, n.75, p.3-8, 1991.
- KUWAHARA, Masao *et alii*. Discussion: urban congestion problems. *The Wheel Extended*, n.75, p.21-25, 1991.
- LAMURE, Claude. Moyens et difficultés de l'évaluation énergétique de la circulation urbaine, *Recherche Transports Sécurité*, n. 4, p. 29-36, 1994.
- LEURENT, Fabien. Indicateurs infraéconomiques des conditions de circulation sur un réseau routier. *Recherche Transports Sécurité*, n.51, p.3-14, Abr./Jun. 1996.
- LIDLEY, Jeffrey A. Urban freeway congestion: quantification of the problem and effectiveness of potential solutions. *ITE Journal*, p.27-32, Jan. 1987.
- LITTMAN, Todd. *Transportation cost analysis: techniques, estimates and implications*.— Canada: Victoria Transport Policy Institute, 1996.
- LOMAX *et alii*. *Quantifying congestion — final report*.— EUA: NCHRP — Transportation Research Board, 1996.
- MEYER, Michael D. Alternative methods for measuring congestion levels. In: Transportation Research Board, *Curbing gridlock - peak period fees to relieve traffic congestion*. — EUA: 1994.
- MILLER, P e MOFFET, J. *The price of mobility — uncovering the hidden costs of transportation*.— EUA: Natural Resources Defense Council, 1993.
-

- NASH, Andrew. California's congestion management program. *ITE Journal*, p.29-32, Feb. 1992.
- NEWMAN, P. W. G e KENWORTHY, J. R. *Cities and automobile dependence: a sourcebook*.— Australia: Gower Technical, 1989.
- OECD. *Transport and the environment*.— Paris: 1988.
- OECD. *The distributive effects of economic instruments for environmental policy*.— Paris: 1995.
- OSTRO, Bart. *Estimating health effects of air pollution — a methodology with an application to Jakarta*. 1994. Estudo especial para o Banco Mundial.
- QUINET, Émille. Can we value the environment? In: BANISTER e BUTTON. *Transport, the environment and sustainable development*.— Londres: E&FN Spon, 1993. p.191-204.
- TACHÉ, Pierre. Le cout de la congestion. *TEC*, p.16-21, Nov./dez. 1978.
- TAKADA, Kunihiko. Grappling with traffic congestion. *The Wheel Extended*, n.75, p.9-19, 1991.
- TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE — TTI. *Urban roadway congestion -1982 to 1992*.— Texas, EUA: 1995. v.1: annual report.
- THE PUBLIC HEALTH ALLIANCE. *Health on the move — policies for health promoting transport*.— Birmingham, UK: 1991.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD — TRB. *Highway capacity manual*.— EUA: 1985.
- US Department of Transportation — US DOT. Quantification of urban freeway congestion and analysis of remedial measures. *Staff Report*, EUA, Out. 1986.
- VAN VUREN, Tom e LEONARD, David. Urban congestion caused by incidents. *Traffic Engineering and Control*, v.35, n.7/8, p.422-424, 1994.
- VARMA, A.; SOUBA, J.; FAIZ. A e SINHA, K. C. Environmental considerations of land transport in developing countries. *Transport Reviews*, v.12, n.2, p.101-113, 1992.
- WEEKS, R. (1981). *Fuel consumption of a diesel and a petrol car*. — UK: Transport and Road Research Laboratory, 1981. (Report 964).
- WORLD BANK. *World resources 1996/1997*.— Washington, EUA: 1995.
- WORLD BANK. *Sustainable transport — priorities for policy reform*.— Washington: 1996.
- WRIGHT, Charles L. *Fast wheels, slow traffic*.— Philadelphia: Temple University Press, 1993.
-