

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS**

JAYME TOLPOLAR ANCHANTE

ORIENTAÇÃO DE POLÍTICAS DE COMBATE AO CONGESTIONAMENTO

Porto Alegre

2014

JAYME TOLPOLAR ANCHANTE

ORIENTAÇÃO DE POLÍTICAS DE COMBATE AO CONGESTIONAMENTO

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Herrlein Jr

Porto Alegre

2014

JAYME TOLPOLAR ANCHANTE

ORIENTAÇÃO DE POLÍTICAS DE COMBATE AO CONGESTIONAMENTO

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título Bacharel em Economia.

Aprovada em: Porto Alegre, ____ de ____ de 2014.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ronaldo Herrlein Jr – Orientador
UFRGS

Prof. Dr. Flavio Tosi Feijó
UFRGS

Prof. Dr. Leonardo Xavier da Silva
UFRGS

À Daise Duarte Lopes, à Patrícia Figueiredo e às milhões de vítimas de um trânsito motorizado que prioriza a velocidade e a fluidez em detrimento da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul por me proporcionar um ensino superior gratuito de alta qualidade. Aos professores e funcionários da Faculdade de Economia que propiciaram um excelente ambiente para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Especialmente ao professor e amigo Ronaldo Herrlein Jr quem me orientou neste trabalho, me incentivou e aconselhou durante a sua realização.

Agradeço ao professor Pedro Fonseca pela orientação e ensinamentos durante minha iniciação científica na UFRGS. Agradeço aos meus chefes, Nadir Damo e Luiz Isotton, e aos meus colegas, Eduardo Vasques, Mirta de Freitas e Lúcia Stiff, do Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul pelo aprendizado que obtive de todos e pelo apoio em meu desenvolvimento profissional. Agradeço a minha orientadora, na FEE, Clitia Martins pelo ensino sobre pesquisa e pelo exemplo de pessoa.

Agradeço a minha família, minha mãe Miriam Tolpolar, meu padrasto Gerson Almeida e minha avó Raquel Galbinsky, pelo compreensão, apoio e incentivo durante a minha graduação. Aos colegas e amigos do curso de Economia e amigos do movimento Betar. A Anita Santander por me ajudar e aconselhar diariamente. A minha namorada Jezabel Katz pelo seu suporte durante a realização do curso e pela leitura, sugestões e formatação do trabalho.

“Uma cidade avançada não é aquela em que até os pobres utilizam o carro, mas aquela em que até mesmo os ricos usam o transporte público ou bicicletas”

Enrique Peñalosa (2013)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar as principais políticas de combate ao congestionamento urbano por meio de modelos teóricos e exemplos práticos. A primeira política analisada é a expansão da capacidade viária. Utilizando os paradoxos de Pigou-Knight-Downs, Downs-Thomson e Braess, é possível verificar a limitação desta política em termos de eficiência, pois ela reduz os tempos médios de viagem, criando um incentivo ao aumento no número de deslocamentos, o que acaba por agravar o congestionamento, mantendo seu nível praticamente inalterado. Os dados empíricos contribuem para a confirmação da sua reduzida eficácia. O apreçamento do congestionamento visa a internalização destes custos, que os motoristas impõem aos demais, utilizando uma taxa pigouviana, criando um equilíbrio social ótimo no mercado de trânsito. A análise das experiências práticas de, principalmente, Singapura, Londres e Estocolmo corroboram os modelos teóricos expostos pela literatura econômica. Finalmente, os estudos teóricos e práticos verificam a importância do transporte público e da bicicleta na redução do congestionamento, além de outros benefícios gerados por estes meios de transporte, como melhora na saúde, redução da poluição e melhor uso do território urbano. Conclui-se que o apreçamento do congestionamento e o incentivo ao uso do transporte público e à bicicleta contribuem positivamente para o combate ao engarrafamento, enquanto a expansão viária tem uma eficiência limitada. Para a formulação de uma política de combate ao congestionamento eficiente, é necessário o estudo destas políticas conjuntamente, criando, assim, um melhor sistema de transportes urbano.

Palavras-chave: Congestionamento. Expansão viária. Apreçamento de congestionamento. Transporte público. Bicicleta.

Classificação JEL: R41, R48.

ABSTRACT

This study aims to analyze the main policies to fight urban congestion through theoretical models and practical examples. The first analyzed policy is the expansion of road capacity. By using the Pigou-Knight-Downs, Downs-Thomson and Braess paradoxes, it is possible to verify the limitation of this policy, in terms of efficiency, because it reduces the average trip times, creating an incentive to increase the number of travels, which leads to worse the congestion, keeping its level virtually unchanged. The empirical data help to confirm the reduced effectiveness of this policy. The congestion charging seeks to internalize these costs, which the drivers impose to others, using a pigouvian tax, producing an optimal social equilibrium in the transport market. The analysis of the practical experiences of, mainly, Singapore, London and Stockholm corroborate the theoretical models exposed by the economic literature. Finally, the theoretical and practical studies verify the importance of public transit and cycling in reducing congestion, and other benefits generated by these means of transport, such as health improvement, pollution reduction and better use of urban territory. It is concluded that the congestion charging and encourage the use of public transit and bicycle contributes positively to fight gridlock, while the road expansion has a limited efficiency. For the formulation of an effective policy to combat congestion, it is necessary the study of the policies together, thus creating a better urban transport system.

Keywords: Congestion. Road capacity expansion. Congestion charging. Public transit. Bicycle.

JEL Classification: R41, R48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta e demanda de ruas	23
Figura 2 – Relação entre entrantes, densidade e fluxo	24
Figura 3 – Malha viária	27
Figura 4 – Equações e resultados do Paradoxo Downs-Thomson	29
Figura 5 – Paradoxo Braess	31
Figura 6 – Road diet	35
Figura 7 – Equações e resultados do modelo bimodal carro e bicicleta	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	O CONGESTIONAMENTO E A CAPACIDADE RODOVIÁRIA	21
2.1	TRÂNSITO COMO UM MERCADO	22
2.2	PARADOXO PIGOU-KNIGHT-DOWNS	25
2.3	PARADOXO DOWNS-THOMSON	28
2.4	PARADOXO BRAESS	30
2.5	EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS.....	32
3	RESTRIÇÃO DE TRÁFEGO EM ÁREAS CONGESTIONADAS.....	37
3.1	TAXA DE CONGESTIONAMENTO	38
3.1.1	Aceitação de esquemas de cobrança.....	43
3.2	EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS.....	45
4	MODAIS ALTERNATIVOS DE TRANSPORTE.....	53
4.1	TRANSPORTE COLETIVO.....	54
4.2	BICICLETA.....	56
5	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

“Ao ser questionado sobre a falta de boas estradas, Henry Ford teria respondido: se fabricarmos os carros, eles haverão de construir as estradas” (PRICE, 2001)

Este trabalho aborda o tema da economia dos transportes e tem como objetivo principal analisar o fenômeno do congestionamento urbano terrestre, expondo modelos teóricos e exemplos práticos que evidenciam suas causas, características e principais políticas para seu combate. Para isso, utiliza-se de artigos científicos e estudos relevantes sobre o setor de transportes em geral, eficiência da política de expansão viária, literatura sobre o apreçamento da rua¹, incentivos aos meios alternativos: transporte coletivo e bicicleta.

A hipótese trabalhada é a do esgotamento do modelo de desenvolvimento carrocêntrico, evidenciado no trabalho pela questão específica do congestionamento, causa de vultosos custos sociais e econômicos, principalmente em países com elevados índices de motorização e dependência do automóvel. A hipótese secundária seria a ineficiência de políticas de acomodação do tráfego, materializadas na expansão da capacidade viária, adotadas principalmente em países da América Latina e Estados Unidos, *vis-à-vis* a eficácia de políticas proativas de combate ao engarrafamento, tais como cobrança do congestionamento², subsídios ao transporte coletivo e incentivo ao uso da bicicleta como transporte, adotadas principalmente em países da Europa e Ásia. Tais hipóteses são aventadas a título especulativo, como motivação para a investigação teórica, e tendo em vista uma perspectiva local, nacional e internacional.

Nesta Introdução, primeiramente será tratada, em linhas gerais, a evolução do meio urbano em relação ao transporte, sendo feita uma discussão do papel do Estado dentro deste processo. A seguir, será apresentado um breve histórico sobre a hegemonia do automóvel e um dos problemas associados a este meio de transporte, o congestionamento. Por último, será discutido o papel do transporte coletivo e da bicicleta como meios mais eficientes e sustentáveis, que começam a ganhar destaque tendo em vista o esgotamento do modelo carrocêntrico.

O progresso do setor de transportes está intimamente ligado ao processo de ocupação urbana. Até o século XVIII, as cidades eram densamente povoadas e os deslocamentos eram feitos a pé. Com a invenção do bonde, do metrô e do trem, os cidadãos mais ricos puderam

¹ Tradução livre do termo em inglês *road pricing*.

² Tradução livre do termo em inglês *congestion charging*.

mudar-se para bairros mais afastados e menos densamente povoados (Glaeser; Kahn, 2003). Porém, a tecnologia avançando na direção do transporte motorizado individual trouxe mudanças radicais para a organização urbana:

Tão importante como as inovações anteriores em transportes foram, o carro teve um efeito mais dramático sobre a cidade que qualquer coisa antes dele. Ao contrário das inovações em transportes anteriores, o carro remodelou radicalmente as cidades porque eliminou o caminhar quase que inteiramente. As pessoas que tomavam o bonde em 1900 ainda teriam que caminhar da parada do bonde até suas casas ou seu trabalho. Assim, o comércio e as casas precisavam se concentrar nas estações de transporte público. Compras de rotina e diversas outras atividades de lazer eram geralmente realizadas a pé antes do automóvel. Assim sendo, lojas, escolas e restaurantes precisavam se encontrar a uma distância percorrível à pé dos consumidores. Transporte público tornou possível para os consumidores morar longe do seu trabalho, mas eles ainda necessitavam viver em grandes densidades. Carros mudaram isto e como resultado, mudaram inalteravelmente a vida nas cidades para sempre. (GLAESER; KAHN, 2003, p. 3, tradução nossa)³.

Estima-se que o número de registros de carros no mundo, em 1960, era de aproximadamente 98 milhões. Em 2000, passou a ser de 549 milhões (BOUNDY; DAVIS; DIEGEL, 2011). Este enorme crescimento atesta a evolução do carro como modal de transporte dominante e a sua importância cada vez maior dentro da economia mundial do século XX.

Ainda, o crescimento da produção de automóveis parece ter criado uma “expectativa-padrão alimentada pelas pessoas, surgida da crença de haver um corolário entre compra de novos carros e construção de novas vias (BRINCO, 2005, p. 75)”. A expansão da capacidade viária por parte do Estado garantiu ao longo do século passado o acesso, a fluidez e a “liberdade” desfrutados pelo carro. A importância do Estado pode ser verificada nos novos investimentos em infraestrutura rodoviária feitos por países selecionados⁴ no ano de 2000 na ordem de € 208 bilhões, enquanto seus custos de manutenção ficaram em € 78 bilhões (OCDE, 2014).

³ As important as prior transportation innovations have been, the car has had a more dramatic effect on the city than anything before it. Unlike the earlier transportation innovations, the car has radically reshaped cities because it eliminates walking almost entirely. People who took streetcars in 1900 still had to walk from the streetcar stop to their homes or their jobs. As such, businesses and homes needed to crowd against public transportation stations. Routine shopping and many other non-work related activities were generally done on foot before the automobile. As such stores, schools and restaurants needed to be within ready walking distance of consumers. Public transportation made it possible for consumers to live far from their work, but they still needed to live at high densities. Cars have changed that and as a result, inalterably changed city living forever.

⁴ Albânia, Austrália, Áustria, Azerbaijão, Bielorrússia, Bélgica, Bulgária, Canadá, Croácia, República Checa, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Macedônia, Geórgia, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Índia, Irlanda, Itália, Japão, Coreia do Sul, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Malta, México, Moldávia, Montenegro, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Romênia, Rússia, Sérvia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos.

Diversos fatores foram essenciais para garantir a eficiência do transporte motorizado individual. Dentre eles, destacam-se três: a ascensão do carro como paradigma hegemônico de transporte no século XX, o desenvolvimento econômico acelerado do pós-Guerra e o provisionamento, por parte do Estado, de uma malha rodoviária cada vez mais robusta.

Apesar disso, os problemas associados ao uso do automóvel foram aumentando, principalmente, a partir da crise do petróleo de 1973, que colocou em xeque este sistema, fazendo com que os países importadores deste insumo revisassem suas políticas de transporte (GOLDEMBERG, 1981). O espraiamento urbano gera um sistema perverso em que aqueles que não possuem acesso ao carro são excluídos, dependendo exclusivamente do transporte não motorizado, que enfrenta a adversidade com o aumento das distâncias a serem percorridas, e do transporte público, que acaba sofrendo problemas de escala – preço da passagem e frequência do serviço – com a crescente perda de usuários para o transporte motorizado individual (GLAESER; KAHN, 2003; BRINCO, 2005).

Além disso, o aumento do congestionamento tornou-se um grande problema associado às grandes cidades ao redor do mundo. Um caso extremo símbolo deste problema foi o engarrafamento massivo ocorrido na Rodovia Nacional 110 e na via expressa Beijing-Tibet, na China, em 2010. Durante 12 dias, a partir de 14 de agosto, o tráfego ficou praticamente parado em cerca de 100 km de extensão, por causa de obras nestas rodovias – o que reduziu sua capacidade à metade – e a enorme quantidade de caminhões levando carvão, principalmente, para as obras nas próprias vias (POPA, 2012). Para dimensionar a extensão dos problemas provocados pelo congestionamento, serão apresentados, a seguir, alguns estudos que tentam quantificar estes custos em alguns países.

O estudo da Associação Nacional dos Transportes Públicos e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (1999), revela que o tempo total anual perdido em congestionamento, nas dez cidades pesquisadas⁵, aproxima-se dos 250 milhões de passageiros-hora para automóveis e 256 milhões de passageiros-hora para ônibus, significando um gasto adicional de R\$ 194 milhões por ano. Já o excesso de combustível consumido, em virtude do congestionamento é de 252 milhões de litros de gasolina e 7 milhões de litros de óleo diesel, representando um custo adicional de R\$ 147 milhões por ano.

Os custos de congestionamento no Reino Unido são estimados em € 15 bilhões por ano ou 1,5% do PIB, enquanto na França e na Alemanha estes valores estão ao redor de 1,3 e 0,9%

⁵ Belo Horizonte, Brasília, Campinas, Curitiba, João Pessoa, Juiz de Fora, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro e São Paulo.

do PIB, respectivamente (NASH *et al.*, 2003 *apud* LINDSEY; PALMA, 2011). O engarrafamento causou 1,12 bilhão de horas de atraso gerando um desperdício de 0,53 bilhões de galões de combustível, totalizando um custo anual de US\$ 24,4 bilhões nos Estados Unidos, em 1982 (preços de 2011). Estas cifras cresceram expressivamente, chegando a 5,52 bilhões de horas de atraso, que geraram um desperdício de 2,88 bilhões de galões de combustível, totalizando um custo anual de US\$ 121,2 bilhões em 2011 - preços de 2011 (EISELE; LOMAX; SCHRANK, 2012). Na Índia, o congestionamento gera um custo anual de 600 bilhões de rúpias, incluindo atrasos, gastos de combustíveis e redução de eficiência do sistema de fretes (DASH, 2012).

Tendo em vista a dimensão dos custos gerados pelo congestionamento ao redor do mundo, é necessário que a política pública atue ativamente em seu combate e controle. Beaudoin e Lin destacam dois campos em que os *policymakers* deveriam intervir no setor de transportes de superfície:

Primeiramente, o governo fornece a infraestrutura de transporte, na forma de ruas e sistemas de transporte públicos [...]. Segundo, uma vez que a infraestrutura está concluída, o governo emprega instrumentos de política (tais como taxas e outras formas de regulações baseadas em desincentivos relacionadas à segurança, padrão de meio ambiente, políticas de controle de demanda por viagens etc.) de forma a corrigir falhas de mercado que são inerentes à atividade de transporte desregulamentada (BEAUDOIN; LIN, 2013, p. 2, tradução nossa)⁶.

A partir desta premissa, diversos países do mundo passaram a incluir em sua legislação algum mecanismo de restrição ao tráfego de carros. Por exemplo, no Brasil, a Política Nacional de Mobilidade Urbana estabelece no artigo 23, capítulo V, algumas das políticas que podem ser implementadas pelo Estado:

I - restrição e controle de acesso e circulação, permanente ou temporário, de veículos motorizados em locais e horários predeterminados; [...]
 III - aplicação de tributos sobre modos e serviços de transporte urbano pela utilização da infraestrutura urbana, visando a desestimular o uso de determinados modos e serviços de mobilidade, vinculando-se a receita à aplicação exclusiva em infraestrutura urbana destinada ao transporte público coletivo e ao transporte não motorizado e no financiamento do subsídio público da tarifa de transporte público, na forma da lei;
 IV - dedicação de espaço exclusivo nas vias públicas para os serviços de transporte público coletivo e modos de transporte não motorizados (BRASIL, 2012).

⁶ First, the government provides transportation infrastructure, in the form of roads and public transit systems [...]. Second, once the infrastructure is in place, the government employs policy instruments (such as taxes and other forms of non-incentive based regulation relating to safety, environmental standards, travel demand management policies and so forth) in order to address the market failures that are inherent to unregulated transportation activity.

Apesar da existência de uma legislação de trânsito moderna, o país ainda não implementou nenhuma política de controle ao congestionamento. Entretanto, esta já é uma prática utilizada em inúmeras cidades, especialmente da Europa e da Ásia. Singapura foi o primeiro país do mundo a adotar um esquema de cobrança de congestionamento em 1975, seguido por Londres, em 2003, Estocolmo, em 2006, e Milão, em 2012.

O transporte coletivo ganha cada vez mais destaque no meio urbano, especialmente na América Latina, por contribuir para a fluidez do trânsito, além de ter outros benefícios associados, como um uso do território mais eficiente – transportando mais passageiros em menos espaço – além de ser menos poluidor que o carro.

Nos Estados Unidos, este modal reduziu os atrasos em 865 milhões de horas, poupando 450 milhões de galões de combustível, gerando um benefício da ordem de US\$ 20,8 bilhões em 2011 (EISELE; LOMAX; SCHRANK, 2012). Além disso, a presença de 282 corredores exclusivos de ônibus, totalizando 4.364 km nos quais operam 30.777 ônibus, em 120 cidades, em 2011, demonstram a importância deste modal (GUTIÉRREZ; HIDALGO, 2013).

A crescente insatisfação da população urbana em relação aos problemas associados ao uso excessivo do automóvel tem criado uma série de movimentos em prol da utilização de meios de transporte mais eficientes e sustentáveis, como a bicicleta. A Massa Crítica - idealizada em São Francisco, Estados Unidos, em 1992 - é um evento realizado na última sexta-feira de cada mês em mais de 300 cidades ao redor do mundo e tem como objetivo celebrar a utilização da bicicleta nas grandes cidades, além da reivindicação do espaço público para a realização de eventos voltados para as pessoas.

O Dia Mundial Sem Carro é realizado ao redor do mundo anualmente em 22 de setembro, para promover os deslocamentos a pé, em bicicleta e em transporte público, a partir de 1995. O movimento *Cycle Chic* incentiva o uso da bicicleta como meio de transporte desfazendo o estereótipo do ciclista “suado e com roupas de ginástica”, criando uma imagem mais sustentável e “chique” do pedalar por meio de roupas e acessórios da moda. O Desafio Intermodal é uma competição criada em São Paulo, levada a diversas outras cidades brasileiras, para demonstrar a importância de diversos modais alternativos de transporte – tais como bicicleta, trem, metrô, ônibus, skate, patins e o caminhar – para a mobilidade urbana por meio de um ranqueamento, que inclui ainda o automóvel, motocicleta e helicóptero, baseado nos tempos de deslocamento entre dois pontos.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo o primeiro a presente introdução. O segundo capítulo refere-se às políticas de oferta da expansão da capacidade viária. O terceiro capítulo aborda as políticas de demanda via preço e quantidade. O quarto capítulo refere-se às

políticas de incentivo a meios alternativos de transporte: coletivo e bicicleta. O quinto capítulo apresenta as principais conclusões sobre os modelos e as políticas analisadas.

No próximo capítulo, o trabalho abordará o funcionamento do trânsito enquanto mercado, por meio do funcionamento da oferta e da demanda, considerando o equilíbrio privado e social. Além disso, utilizando a interação entre entrantes, densidade e fluxo de veículos em uma rua teórica, é possível compreender, em linhas gerais, o processo de congestionamento. Após isso, serão desenvolvidos modelos teóricos que explicam o funcionamento da política da expansão da capacidade viária e seus impactos no congestionamento, utilizando os Paradoxos Pigou-Knight-Downs, Downs-Thomson e Braess. Na última seção, serão apresentados estudos práticos que utilizam dados de Seul, capital da Coreia do Sul, e Estados Unidos.

2 O CONGESTIONAMENTO E A CAPACIDADE RODOVIÁRIA

“Tratar os congestionamentos com vias maiores é como tentar apagar fogo com gasolina”
Enrique Peñalosa (2012)

Olvaír Santos expressou sua opinião sobre a questão da mobilidade na cidade. Ele apontava para a avenida em frente ao seu ponto de táxi enquanto falava: “[...] todas as ruas tinham de ser como a Borges de Medeiros. Olha só como ela é larga. E não como a José do Patrocínio, que ficou estreita (por causa da ciclovia) (MAGS, 2014)”.

A opinião do taxista não é um caso isolado, mas advém da cultura de uma sociedade carrocêntrica em termos de mobilidade urbana. A maioria das notícias, reportagens, petições e pronunciamentos de diversos agentes da mobilidade – tais como: prefeituras, motoristas em geral, profissionais do trânsito, associações de moradores, de comerciantes e de transportadoras – são bastante semelhantes em seu núcleo-duro: o Estado deve garantir a expansão da capacidade viária, visto ser muito importante e também necessário para acomodar o trânsito, atual e futuro, gerando fluidez, valorização imobiliária, aumento do comércio e redução do congestionamento.

Ao contrário do que o senso-comum advoga tão firmemente em relação à criação e/ou expansão de ruas, a partir da segunda metade do século XX tem sido crescente o número de estudos de economistas, engenheiros, arquitetos, institutos e Governos que têm mostrado quão desvantajosa é esta política de combate ao congestionamento. Neste capítulo, serão expostos modelos teóricos que contemplam situações com uma ou duas vias – geralmente uma congestionável e outra de livre fluxo - passíveis de serem utilizadas, um ou dois modais de transporte – sendo estes o carro e o transporte coletivo - modelos dinâmicos em que existe reação dos agentes frente às mudanças no setor de transportes.

Esta solução foi hegemônica e incontestável até os anos de 1950. A principal preocupação acerca do trânsito era a minimização de custos na construção de estradas. Em sua seção sobre Teoria de Engenharia de Tráfego, Thomson explica:

A visão geral do congestionamento naqueles dias era simples. Congestionamento seria causado pela obstrução, ou uso ineficiente das ruas. A explicação natural era a falta de capacidade das ruas, em outras palavras, uma falta de oferta.[...] A teoria da engenharia estava, portanto, concentrada no aumento na capacidade de tráfego de vias de acesso, interseções, viadutos e na malha urbana como um todo, restringindo os

estacionamentos, espaços para pedestres, acessos e até mesmo o transporte público, assim como na construção de novas ruas (THOMSON, 1998, p. 94, tradução nossa)⁷.

2.1 TRÂNSITO COMO UM MERCADO

Apesar de o congestionamento ser uma interação social complexa, diferente em cada situação em questões como legislação, cultura, clima, geografia e padrão de tecnologia, a literatura econômica trata o trânsito como um mercado e estuda o congestionamento como uma externalidade. Segundo Arnott e Kraus (2008, p. 1, tradução nossa), “Congestionamento é um fenômeno pelo qual a qualidade do serviço fornecido por um estabelecimento congestionável deteriora-se à medida que seu uso agregado aumenta, se a capacidade for fixada⁸”. Thomson (1998, p. 95, tradução nossa) apresenta uma definição mais específica ao contexto do tráfego de veículos automotores, “Congestionamento é normalmente definido como o atraso imposto em cada um dos veículos pela presença de outros, ou seja, tempo de viagem atual t menos o tempo de fluxo livre t^9 ”.

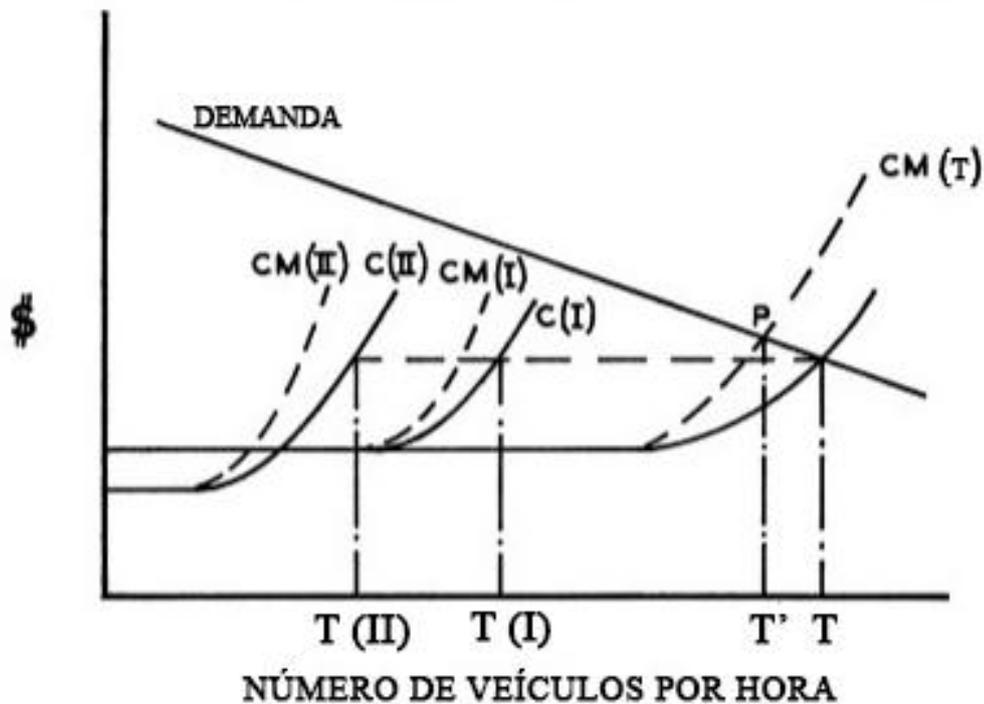
Um dos primeiros autores a modelar o setor de transporte como um mercado foi Walters (1961). Baseado na figura apresentada na página seguinte, ele descreve seu funcionamento utilizando uma malha viária simplificada com duas ruas apenas, supondo que o fluxo de tráfego sempre aumente em resposta a aumentos de demanda:

⁷ The general view of traffic congestion in those days was simple. Congestion could be caused by obstruction, or inefficient use of the roads. The natural explanation was a lack of road capacity, that is, a shortage of supply. [...] Engineering theory was therefore concentrated on increasing the traffic capacity of road links, junctions, and whole urban networks by restrictions on parking, pedestrians, access, and even public transport, as well as new road construction.

⁸ “‘Congestion’ is the phenomenon whereby the quality of service provided by a congestible facility degrades as its aggregate usage increases, when its capacity is held fixed”.

⁹ “Congestion is often defined as the delay imposed on each and every vehicle by the presence of other vehicles, that is, actual travel time t less free-flow travel time t^9 ”

Figura 1 - Oferta e demanda de ruas



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Walters (1961, p. 678)

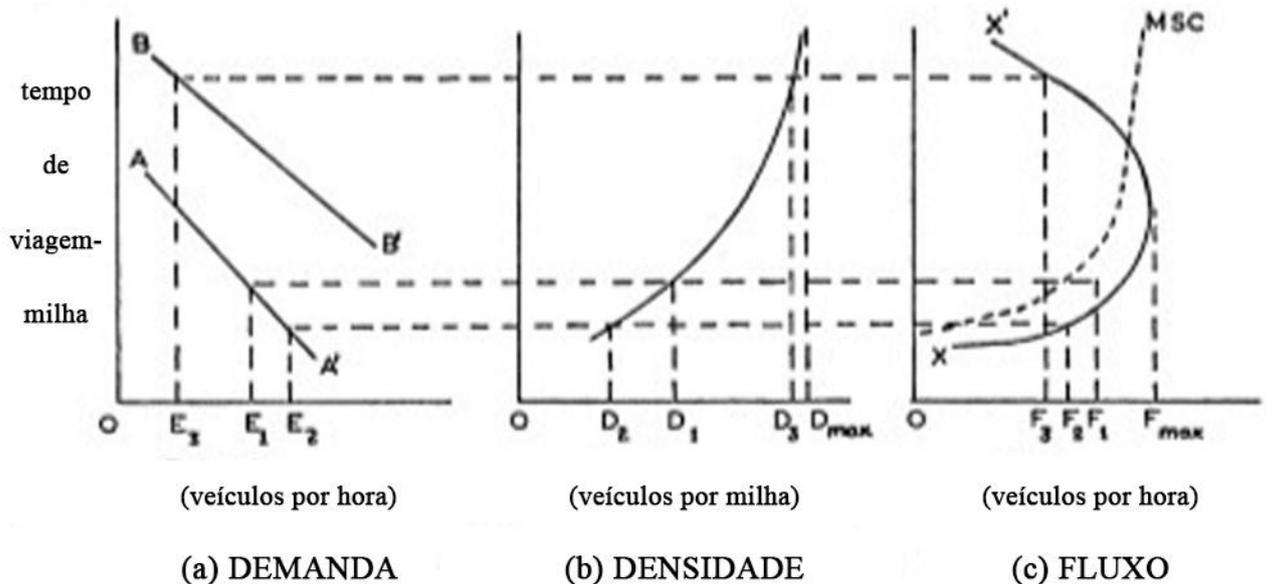
Considere duas ruas conectando A e B e suponha que o custo unitário (privado) de um veículo usando a rua I seja representado por $C(I)$ na figura. O custo unitário é inicialmente horizontal mas, à medida que o número de veículos aumenta, ocorre algum congestionamento e o custo unitário aumenta. Condições similares são vistas na rua II. [...] Se supomos que as rotas são perfeitas substitutas uma da outra, desenhamos uma curva de demanda por serviços das duas ruas. [...] O equilíbrio do fluxo de tráfego pode ser encontrado somando as curvas de custo unitário gerando $C(T)$, então OT é o fluxo de tráfego total. [...] Em geral, eficiência requer uma redução no total de tráfego de T para T' e a distribuição entre as ruas de tal forma que o custo social marginal em ambas seja igual a PT' (WALTERS, 1961, p. 678, tradução nossa)¹⁰.

Considerando o caso de um gargalo, por exemplo, uma ponte - com uma pista apenas - ao final de uma rodovia com três pistas, Walters (1961) estuda a relação entre número de veículos que entram no gargalo, densidade e fluxo de saída na ponte. Utilizando a figura da

¹⁰ Consider two roads connecting A and B and assume that the unit (private) cost of a vehicle using the road I is represented by $C(I)$ in the figure. The unit cost is first horizontal but, as the number of vehicles increases, some congestion occurs and unit costs rises. Similar condition are apparent on road II. [...] If we assume that the routes are perfect substitutes for one another we draw a demand curve for the services of the two roads. [...] Equilibrium traffic flow can be found by summing the unit cost curves horizontally to give $C(T)$, then OT is the total traffic flow. [...] In general, efficiency requires a reduction in total traffic from T to T' and the distribution between roads such that the marginal social costs are both equal to PT'

página seguinte e supondo que a densidade é constante em todos os pontos da ponte, será possível entender por que aumentos de demanda nem sempre geram aumentos de fluxo.

Figura 2 – Relação entre entrantes, densidade e fluxo



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Walters (1961, p. 679)

À medida que a densidade aumenta, também aumenta o tempo de viagem (Figura a). [...] Na densidade máxima D_{max} , o tempo de uma viagem de uma milha aproxima-se do infinito. Quando a densidade é muito baixa, o tempo de uma viagem de uma milha aproxima-se de uma constante positiva. Vamos supor que o custo unitário é diretamente proporcional ao tempo de viagem, de forma que podemos desenhar uma curva de demanda relativa ao número de entrantes na rua durante o período de viagem de uma milha (Figura b). [...] Como consequência destas suposições, nós podemos escrever o fluxo de veículos que saem da rua como o produto da densidade e da velocidade (Figura c) (WALTERS, 1961, p. 679, tradução nossa)¹¹.

A ponte encontra-se em equilíbrio nos pontos D_1 , E_1 e F_1 . Porém, admitindo que o fluxo de saída seja maior que o de entrada, a densidade diminuiria juntamente com os tempos de viagem, fazendo com que o equilíbrio retorne aos pontos D_2 , E_2 e F_2 , até que o número de entrantes seja igual ao fluxo de saída (WALTERS, 1961).

Considere agora um aumento na demanda representado por BB' . A densidade aumentará e eventualmente um equilíbrio será alcançado em, digamos, D_3 em que OE_3

¹¹ As density increases so the time of the journey increases (Figure a). [...] At the maximum density D_{max} , the time of a trip-mile approaches infinity. When density is very low, the time of a trip-mile approaches a positive constant. Let us suppose that unit cost is directly proportional to the time of trip, so that we can draw up a demand curve relating the number of entrants to the road during the hour to the time of the trip-mile (Figure b). [...] As a consequence of these assumptions we can write the flow of vehicles off the road (i.e., the number of exits an hour) as the product of the density and speed (Figure c)

= OF_3 . Neste caso, um aumento na densidade reduziu a velocidade tanto que o fluxo, na verdade, diminuiu. Um aumento na demanda superior a BB' resultaria em reduções adicionais no fluxo. A relação entre fluxo e tempo de viagem é mostrada pela curva XX' (Figure c). [...] O nível de fluxo de equilíbrio alcança o máximo em F_{max} . Este nível deve ser chamado de a ‘capacidade’ da rua. É o nível máximo de tráfego que pode ser mantido por longos períodos de tempo. [...] A curva de custo social marginal é mostrada pela linha pontilhada MSC (Figura c). Ela eleva-se acima da curva de custo unitário como antes; mas quando o fluxo alcança F_{max} , o custo social marginal é infinito. [...] A teoria de apreçamento pelo custo marginal sugere que a taxa seja imposta para reduzir a demanda até o fluxo de tráfego aproximar-se do nível em que o custo unitário privado (mais a taxa) seja igual ao custo social marginal. Assim, o fluxo de tráfego deve ser sempre mantido abaixo da capacidade (WALTERS, 1961, p. 680, tradução nossa)¹².

2.2 PARADOXO PIGOU-KNIGHT-DOWNS

Este modelo foi inicialmente elaborado baseado na ideia de externalidade proposta por Pigou (1920), a crítica de Knight (1924) e a aplicação deste conceito para o setor de transportes, a qual gerou a formulação da “lei sobre o congestionamento”, por Downs (1962). Ele é extremamente simplificado, pois pode ser compreendido utilizando-se apenas uma via simples congestionável e um modal de transporte: o carro¹³.

Uma avenida teórica está com um equilíbrio inicial em que existe uma quantidade “ v ” de veículos e um nível “ c ” de congestionamento em uma pista de rolamento. A duplicação da avenida reduz o custo de deslocamento dos motoristas que trafegam por ela, principalmente devido a um consumo mais eficiente de combustível e à redução do tempo de viagem, pois agora há o dobro de espaço para a mesma quantidade “ v ” de motoristas ocuparem durante seu deslocamento, fazendo com que o nível de congestionamento “ c ” reduza-se à metade.

A duplicação da avenida, porém, trará mudanças para toda a malha viária, pois os motoristas em geral terão mais incentivos para utilizá-la em seus trajetos. O relatório do Victoria Transport Policy Institute esclarece este ponto:

¹² Consider now an increase in demand represented by BB' . Density will increase and eventually an equilibrium will be reached at, say, D_3 where $OE_3 = OF_3$. In this case the increase of density has reduced the speed so much that the flow was actually decreased. An increase in demand above BB' would result in a further decrease in flow. The relationship between flow and time of trip is shown by the curve XX' (Figure c). [...] The level of equilibrium flow reaches a maximum at F_{max} . This level should be called the ‘capacity’ of the road. It is the maximum level of traffic that can be maintained over long periods. [...] The marginal social cost curve is shown by the broken line MSC (Figure c). It rises above the unit cost curve as before; but when flow reaches F_{max} , the marginal social cost is infinite. [...] The theory of marginal cost pricing suggests that taxes be levied to reduce demand until traffic flow is at a level where private unit cost (with tax) is equal to marginal social cost. Thus traffic flow should always be kept below capacity.

¹³ Para um exemplo numérico com duas vias, uma congestionável e outra não, pode-se consultar: Arnott e Small (1994).

Se a capacidade viária aumentar, o número de viagens em horário de pico também irá aumentar até o ponto em que o congestionamento novamente limita aumentos adicionais de tráfego. As viagens adicionais são chamadas de ‘tráfego gerado’. Tráfego gerado consiste de tráfego divergido (mudanças de viagem no tempo, rota e destino), e na viagem induzida de veículos (mudanças de outros modais, viagens mais longas e viagens de novos veículos) (LITMAN, 2014, p. 38, tradução nossa)¹⁴.

Assim, o tráfego gerado posteriormente irá erodir os benefícios trazidos pela duplicação, por causa do aumento do congestionamento. Este aumento pode chegar a anular qualquer benefício, levando o nível de congestionamento a “c” novamente, segundo Venables (1999, p. 319, tradução nossa): “A literatura demonstrou como, quando a elasticidade da demanda por viagens torna-se infinita, o ganho com o projeto pode desaparecer¹⁵”.

A explicação para este paradoxo, em que a duplicação não traz os benefícios esperados pelo senso comum, reside na diferença entre custos privados e sociais, conforme Arnott e Small (1994, p. 449, tradução nossa) “O custo privado é o custo que o motorista incorre. O custo social é igual ao custo privado mais o custo externo, que é o custo que o motorista impõe aos outros motoristas ao atrasá-los¹⁶”. Como a externalidade, no caso o congestionamento, não é precificada, os motoristas acabam tomando uma decisão socialmente ineficiente, sobreutilizando a capacidade da via.

Venables apresenta um modelo objetivando explicar em quais situações uma expansão viária pode não apenas não trazer nenhum benefício em termos de ganho de fluidez, como, sob circunstâncias bastante prováveis, reduzir o bem estar agregado. Venables (1999, p. 320, tradução nossa) “os custos de congestionamento irão transbordar nos usuários de outras ruas da malha – uma externalidade dos viajantes que se beneficiam diretamente da melhora da rua para os que não se beneficiam¹⁷”.

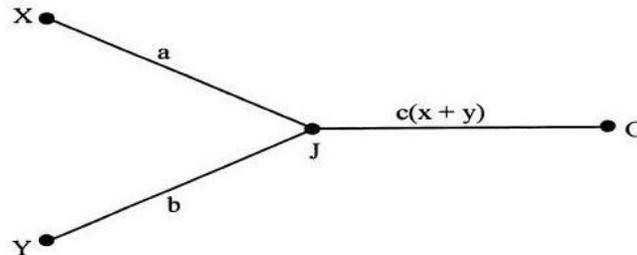
¹⁴ If road capacity increases, the number of peak-period trips also increases until congestion again limits further traffic growth. The additional travel is called ‘generated traffic’. Generated traffic consists of diverted traffic (trips shifted in time, route and destination), and induced vehicle travel (shifts from other modes, longer trips and new vehicle trips).

¹⁵ The literature has shown how, when the elasticity of demand for travel becomes infinite, the gain from the project can disappear.

¹⁶ The private cost is the cost the driver incurs. The social cost equals the private cost plus the external cost, which is the cost the driver imposes on others drivers by slowing them down.

¹⁷ Congestion costs will then spill over to users of other roads in the network – an externality from travellers who directly benefit from the road improvement to travellers who do not.

Figura 3 - Malha viária



Fonte: Venables (1999, p. 320)

Existem três pontos X, Y e O, e as jornadas são realizadas entre X e O e entre Y e O. Nos referimos a elas como viagens do tipo X e Y, respectivamente. Como depreende-se da figura, ambos os tipos de viagens compartilham uma rua comum entre os pontos J e O, e nós assumimos que esta seção da rua está congestionada. Quais são os efeitos de um aumento na capacidade do segmento XJ? Claramente, ele beneficia os viajantes tipo X, e, portanto, deve expandir seu número. Isto causará um congestionamento adicional no segmento OJ, o que gera custos para ambos os viajantes – tipo X e tipo Y (VENABLES, 1999, p. 320, tradução nossa)¹⁸.

Se ocorrer uma expansão no trecho XJ, os motoristas X irão se beneficiar das reduções de custos privados, gerando mais tráfego do tipo X. Entretanto, o aumento de tráfego de X irá afetar ambos motoristas do tipo X e do tipo Y. Quanto ao bem estar agregado, Venables explica três razões pelas quais será provável uma perda líquida: i) quanto menor for o número de motoristas X em relação aos Y; ii) quanto mais elástica for a demanda por viagens de X em relação a mudanças nas condições viárias; iii) quanto mais inelástica for a demanda por viagens de Y (VENABLES, 1999).

Avançando um pouco em sua discussão e formalizando seu modelo, Venables propõe alguns casos específicos para verificar como se comporta o bem estar agregado. No caso de não existir congestionamento, qualquer redução no custo privado de viagem aumentará o bem estar. Caso ambas as curvas de demanda por viagens de X e Y sejam simétricas, a expansão não irá reduzir o bem estar, podendo este ser positivo ou nulo. Se houver uma grande quantidade de tráfego induzido, não haverá benefícios para os motoristas X, e como o congestionamento

¹⁸ There are three locations, X, Y and O, and journeys are made between X and O and between Y and O. We refer to these as trips type X and Y respectively. As is clear from the figure both types of trips share a common road between the junction J and O, and we shall assume that this section of road is congested. What is the effect of a road improvement on the segment XJ? Clearly, it benefits type X travelers, and so may expand their number. This will cause further congestion of the OJ segment which has costs for both type X and type Y travelers.

também afeta Y, haverá uma perda líquida. Por fim, supondo que ambos os tipos – X e Y – têm demandas simétricas, caso os motoristas X tenham trajetos curtos e Y tenham trajetos longos, haverá certamente uma perda líquida (VENABLES, 1999).

2.3 PARADOXO DOWNS-THOMSON

O paradoxo Downs-Thomson tem um funcionamento semelhante ao anteriormente apresentado, porém a opção do modal transporte coletivo é incorporada, assim os agentes podem escolher entre duas rotas: uma rua congestionável utilizada pelos carros e, por exemplo, uma linha de trem, que apresentam a mesma origem, destino e distância. Será analisado o impacto de uma política de expansão da rua utilizada pelos carros, que refletirá nos motoristas e usuários do trem.

Arnott e Small (1994) apresentam um exemplo numérico simples pra explicar a mecânica de funcionamento do paradoxo. Supondo que a empresa operadora do trem tem seu ponto de equilíbrio financeiro quando todos os trens estão lotados, se mais pessoas utilizarem o trem, sua frequência aumentará, poupando tempo de espera nas estações. Supõe-se que o tempo máximo de viagem (T_2) deste modal é de 20 min e que a cada 3.000 usuários o tempo reduz-se em 10 min, em virtude do aumento da frequência.

Uma rodovia com 4 pistas que possui um trecho com uma ponte de apenas 2 pistas é um possível exemplo de rota congestionável dos carros, pois o gargalo da ponte fará com que uma fila se forme na sua entrada¹⁹. Esta rota leva 10 min para ser completada (sob condições de fluxo livre), porém o tempo de viagem (T_1) aumenta linearmente com a razão entre fluxo (F_1) e a capacidade da ponte (C_1). Supondo que os agentes, totalizando 1.000 pessoas, valorem igualmente o tempo e possam escolher igualmente entre dirigir (F_1) e utilizar o trem (F_2), sendo a variável de escolha o menor tempo de viagem. A figura a seguir resume os dados do paradoxo:

¹⁹ O funcionamento dos gargalos será abordado no capítulo 2 com os artigos de Vickrey (1969) e Arnott, Palma e Lindsey (1986).

Figura 4 – Equações e resultados do Paradoxo Downs-Thomson

Equações:

$$T_1 = 10 + 10 (F_1 / C_1)$$

$$T_2 = 20 - 10 (F_2 / 3000)$$

$$F_1 + F_2 = 1000$$

Caso 1: $C_1 < 1000$

$$C_1 = 250 \quad F_1 = 182 \quad F_2 = 818 \quad T_1 = T_2 = 17,27 \text{ min}$$

$$C_1 = 750 \quad F_1 = 667 \quad F_2 = 333 \quad T_1 = T_2 = 18,89 \text{ min}$$

Caso 2: $C_1 = 1000$

$$C_1 = 1000 \quad F_1 = 1000 \quad F_2 = 0 \quad T_1 = 20 \text{ min} \quad T_2 = 0$$

Caso 3: $C_1 > 1000$

$$C_1 = 2000 \quad F_1 = 1000 \quad F_2 = 0 \quad T_1 = 15 \text{ min} \quad T_2 = 0$$

Legenda:

T_1 : tempo de viagem do modal carro;

T_2 : tempo de viagem do modal trem;

C_1 : capacidade da ponte;

F_1 : usuários de carro;

F_2 : usuários de trem;

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Arnott e Small (1994, p. 449)

O tempo de deslocamento eleva-se com qualquer aumento da capacidade da ponte entre 0 e 1000. Assim, o aumento da capacidade da rua diverge pessoas para a rota congestionável, porém a queda dos usuários de trem faz com que a qualidade do serviço – frequência – piore. A razão pela qual este paradoxo é mais perverso que o Pigou-Knight-Downs é que a decisão de dirigir não impõe uma externalidade apenas nos demais motoristas na forma de congestionamento, como também afeta os usuários do trem, aumentando seus tempos de espera. Caso a capacidade da ponte exceda 1000, todos os agentes decidirão utilizar seus carros para o deslocamento e o trem não será utilizado (ARNOTT; SMALL, 1994).

Assim como a expansão viária acaba afetando negativamente os usuários do transporte público, o mesmo resultado pode ser esperado se os formuladores de política bem intencionados decidem criar uma terceira rota de transporte coletivo, por exemplo, uma linha de ônibus – que possui a mesma origem e destino do trem – para reduzir o congestionamento. Os usuários se dividirão entre o trem e o ônibus, fazendo com que a qualidade geral do serviço de transporte coletivo caia, crescendo o número de usuários insatisfeitos que decidem utilizar o automóvel (ARNOTT; SMALL, 1994).

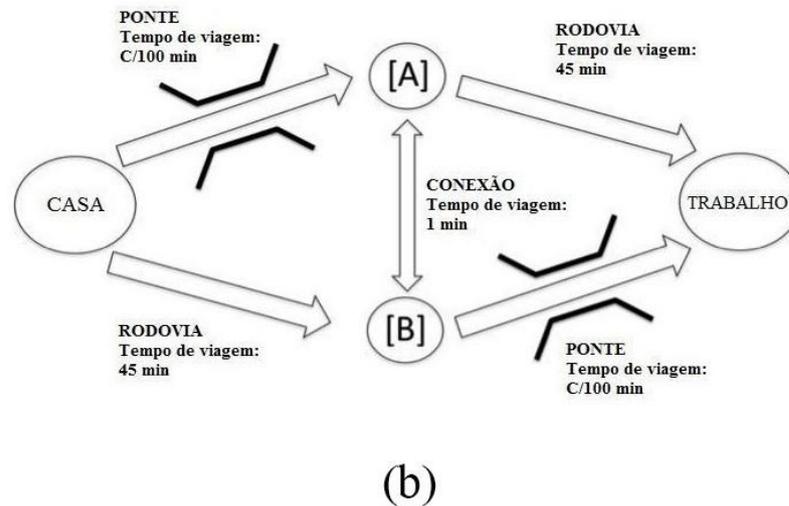
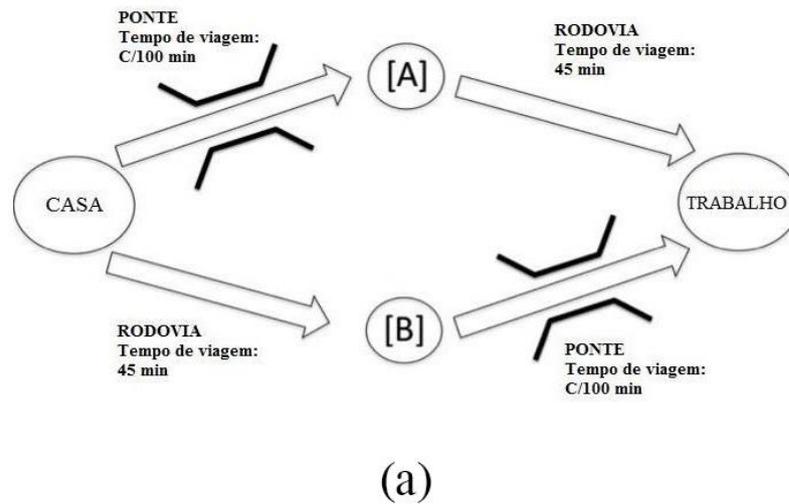
2.4 PARADOXO BRAESS

O matemático alemão Braess (1968) elaborou uma situação em que a expansão viária, por meio da construção de uma conexão entre duas rotas, irá certamente levar a uma piora no congestionamento – com elevação no tempo de viagem de todos – e, conseqüentemente, a uma piora no bem estar. Segundo Rapoport *et al.* (2009, p. 539, tradução nossa) “no desenvolvimento do Paradoxo Braess, os usuários das ruas são vistos como agentes independentes ‘egoístas’ que participam de um jogo não cooperativo, em que cada agente deseja escolher o caminho de uma mesma origem para um mesmo destino que minimiza seus custos de viagem²⁰”.

Para entender como opera o paradoxo Braess, será exposto um exemplo teórico simples com números que mostrarão suas principais características e resultados. Toda a explicação a seguir será baseada na figura abaixo (THE STANDING INVITATION, 2011):

Figura 5 – Paradoxo Braess

²⁰ In formulating the Braess Paradox, network users are view as independent ‘selfish’ agents participating of a non-cooperative game, where each agent wishes to choose a path from a common origin to a common destination that minimizes her travel cost.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de The Standing Invitation (2011)

Suponha que 4.000 pessoas desloquem-se diariamente de uma mesma origem (CASA) para um mesmo destino (TRABALHO), tendo todos o mesmo horário de partida. O tempo de viagem de cada um dependerá de qual rota será escolhida, porém, também dependerá de qual rota o restante dos motoristas optar (THE STANDING INVITATION, 2011).

Os segmentos CASA-B e A-TRABALHO são rodovias rápidas e largas em que o volume de tráfego tem pouco impacto no engarrafamento, portanto seu tempo de travessia é sempre de 45 min. Os segmentos CASA-A e B-TRABALHO são pontes estreitas congestionáveis. O tempo de travessia depende do volume de tráfego, dado pela razão entre a capacidade da ponte – o número de carros que está utilizando-a – e o tempo de travessia em fluxo livre de 100 min. Assim, se 100 carros utilizarem o segmento CASA-A, o tempo de

viagem neste trecho será de 1 min, se 1.000 carros utilizarem o segmento, o tempo será de 10 min (THE STANDING INVITATION, 2011).

O equilíbrio na primeira imagem (Figura 5a) será de metade das pessoas utilizando uma rota e metade utilizando outra. Assim, 2.000 pessoas irão por CASA-A e A-TRABALHO; e 2.000 pessoas irão por CASA-B e B-TRABALHO. O tempo de viagem de cada indivíduo será de 65 min (THE STANDING INVITATION, 2011).

Suponha agora que os planejadores de transporte construam uma rua que conecta os pontos A e B nos dois sentidos, com o objetivo de melhorar a fluidez e o acesso ao destino TRABALHO (Figura 5b). O tempo de travessia desta conexão é sempre de 1 min. Agora veremos as possibilidades de trajetos disponíveis para os agentes. Uma pessoa pode optar por utilizar apenas as rotas não congestionáveis CASA-B e A-TRABALHO, utilizando a conexão de B-A. Seu tempo de viagem seria de 91 min (THE STANDING INVITATION, 2011).

Outro trajeto possível seria utilizar apenas as rotas congestionáveis. Assim, os segmentos escolhidos seriam CASA-A e B-TRABALHO, utilizando a conexão A-B. O tempo de viagem deste agente seria de 1,02 min, caso ele fosse o único a utilizar este trajeto. Porém, como todos os agentes tomam sua decisão de partida no mesmo instante, sua ação não coordenada fará com que todos utilizem ambas as pontes. O tempo de deslocamento total para cada indivíduo será de 81 min (THE STANDING INVITATION, 2011).

A utilização de ambas as pontes por todos os agentes gera um resultado mais eficiente para todos (81 min de deslocamento por pessoa) do que a utilização de ambas as rodovias rápidas (91 min de deslocamento por pessoa). Porém, a destruição da conexão A-B gera um resultado ainda mais eficiente (65 min de viagem por pessoa), pois coordena a ação dos motoristas a se dividirem igualmente entre as duas rotas, fazendo um uso socialmente ótimo dos segmentos congestionáveis (THE STANDING INVITATION, 2011).

2.5 EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS

Apesar da hegemonia do pensamento carrocentrista sobre a necessidade de expansão viária para acomodar o fluxo de automóveis, existem diversas forças – movimentos, estudos e políticas – contrárias a esta realidade. Esta nova abordagem reduz a importância dos projetos para o “bem estar dos carros”, da fluidez e da velocidade e recoloca ênfase no bem estar das pessoas, com cidades mais amigáveis para sua circulação e convivência.

Lee, Lee e Lee (2006) descrevem algumas políticas baseadas nos modelos Pigou-Knight-Downs, Downs-Thomson e Braess que foram efetuadas em Seul, capital da Coreia do Sul. O crescimento demográfico da região metropolitana de Seul, o aumento no índice de motorização e a reduzida taxa de crescimento de rodovias contribuíram para um grave problema de congestionamento.

O aumento da urbanização da capital e da quantidade de detritos jogados no rio Chunggye motivaram a criação e a pavimentação, iniciada em 1958, de uma via expressa urbana elevada, sobre o rio, de cerca de 5,4 km, finalizada em 1976. Cerca de 76.931 veículos utilizavam a via e 168.556 utilizavam ruas circunvizinhas diariamente. A via foi demolida em 2003 para desincentivar carros de acessarem o centro da cidade e para revitalizar a área. Esperava-se que esta medida produzisse um grande transtorno, devido ao aumento exacerbado do congestionamento. Todavia, a velocidade média da região central de Seul permaneceu praticamente estável, passando de 18,8 para 16,3 km/h e da cidade como um todo, de 20,9 para 19,1 km/h. Além disso, a revitalização do rio permitiu a criação de um espaço exclusivo para pedestres, com feiras e eventos (LEE; LEE; LEE, 2006).

Incentivos ao uso do transporte coletivo também foram efetuados em Seul. O sistema BRT (Bus Rapid Transit) foi implementado por meio de corredores exclusivos de ônibus e de um sistema com uma via principal e diversas rotas alimentadoras da principal, visando a dobrar a velocidade média dos ônibus, atingindo 35 km/h. Diversas informações foram disponibilizadas aos usuários: localização de um ônibus, condições operacionais, intervalo entre ônibus e tempo estimado de chegada. Um sistema inteligente de paradas do metrô e um cartão unificado entre o transporte coletivo completam seu conjunto de políticas de incentivo de uso (LEE; LEE; LEE, 2006).

Duranton e Turner (2009) realizaram um estudo em que foi constatada uma alta elasticidade entre quilômetros-veículo-viajados²¹ e a expansão no estoque de rodovias interurbanas, não urbanas e grandes ruas urbanas em regiões metropolitanas dos Estados Unidos entre 1983 e 2003. Depreende-se deste fato que o aumento da capacidade rodoviária não contribui para a redução do congestionamento.

As três causas identificadas pelos autores são: pessoas estão dirigindo mais; aumento das viagens comerciais e de caminhões; e migração de pessoas para localidades com maior capacidade viária. Este estudo contemplou os mais variados dados: pesquisa de comportamento individual e das famílias quanto a viagens, planejamento de construção de rodovias e ferrovias,

²¹ Tradução livre do inglês vehicle-kilometers-travelled.

variações no estoque de rodovias, provisão de transporte coletivo, viagens comerciais e de caminhões, características regionais de emprego, geografia e demografia.

Outras conclusões dos autores foram: o transporte coletivo não interfere nos níveis de congestionamento, porém isto não significa que um aumento de sua provisão não aumente o nível de bem estar agregado, caso outros fatores sejam levados em consideração; foi testado se uma das classes de rodovias implicava aumento de quilômetros-veículo-viajados em outra (tráfego divergido), entretanto não foi constatada uma relação robusta, demonstrando que o congestionamento deve-se ao tráfego induzido; calculando o bem estar agregado, os benefícios advindos da melhora de congestionamento são superados pelos custos de construção e manutenção das vias, porém existem outros fatores relevantes, apontados pelos próprios autores, que não foram levados em consideração – poluição e melhora de acesso a terras.

O Walkable and Liveable Communities Institute fomenta a criação de espaços urbanos saudáveis e humanos nos Estados Unidos. Os principais meios de atuação do Instituto são palestras, cursos, estudos científicos e intervenções urbanas em prol do transporte ativo (caminhar e pedalar), da saúde, da sustentabilidade, da segurança e da qualidade de vida. Um dos principais meios utilizados para atingir este ideal de comunidade são as medidas para acalmar o tráfego²².

Dan Burden e Peter Lagerwey (1999) publicaram o artigo “*Road diets – fixing the big roads*”²³ que mostra os benefícios para pedestres, ciclistas e motoristas advindos da redução do tamanho das ruas. Uma das causas para a piora do bem estar da população seria o alargamento excessivo das ruas, que acentua a dependência do carro, criando um ciclo vicioso entre estes dois processos. “Este processo de alargamento do espaço viário pode ser imaginado como o ganho de peso de um paciente. O cinto é aumentado fazendo-se um novo furo, e o paciente ganha mais alguns nocivos quilogramas em direção à dependência do automóvel. ‘Road dieting’ é um novo termo aplicado para ‘emagrecer’ pacientes (ruas) tornando-os mais magros e produtivos membros da sociedade (BURDEN; LAGERWEY, 1999, p. 3, tradução nossa)²⁴”.

A conversão mais usual é de uma rua com quatro pistas - duas em cada sentido - para uma de duas pistas. As duas pistas, anteriormente destinadas a circulação de automóveis mudam de função. Uma delas é convertida em uma pista central dedicada exclusivamente para a

²² Tradução do autor do inglês traffic calming.

²³ Emagrecimento de ruas – consertando as grandes ruas, tradução nossa.

²⁴ This process of roadway widening can be thought of as fattening a patient. The belt is let out another notch, and the patient puts on a few more unhealthy pounds toward auto dependency. 'Road dieting' is a new term applied to 'skinnying up' patients (streets) into leaner, more productive members of society.

conversão à esquerda. A outra é dividida em duas menores, criando uma ciclofaixa em cada sentido da rua.

Figura 6 – Road diet



Fonte: Connect Norwalk (2012)

Este processo reduz o risco de acidentes para motoristas, pois o motorista mais prudente impõe a velocidade máxima, há menos mudanças de pista e os motoristas se sentem menos pressionados para realizarem conversões à esquerda. Com a redução da velocidade e o aumento da prudência, há menos acidentes envolvendo ciclistas e pedestres.

O site do Departamento de Transportes de Pasadena, Estados Unidos, possui uma seção de “perguntas e respostas” sobre o emagrecimento de ruas para informar seus cidadãos sobre seu funcionamento e benefícios, visto que a cidade possui um projeto de implementação em uma de suas ruas. Assim, quando questionado “como pode uma rua com menos pistas carregar o mesmo montante de tráfego” responde:

Quando um carro para numa faixa com um fluxo de tráfego contínuo para converter à esquerda, ele causa congestionamento, pontos cegos, mudanças inseguras de faixa e na velocidade dos veículos. Em um sistema com três faixas, sempre há uma faixa dedicada para fluir sem conversões e uma faixa para conversões, tornando o dirigir mais seguro e confiável, com menos colisões e frustrações. Por estas razões, uma rua com três pistas pode comportar o mesmo que uma rua com quatro pistas (e em alguns casos, ainda mais) (DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DE PASADENA, 2014, tradução nossa)²⁵.

²⁵ When a car stops in a moving traffic lane to turn left it causes congestion, blind spots, unsafe lane changes, and changes in vehicle speeds. In a three-lane system there is always one lane for driving, and one lane for turning

O próximo capítulo descreverá alguns modelos teóricos para entender a importância, o funcionamento, a aceitabilidade e o impacto de uma política ativa de controle do tráfego. Ao contrário da expansão da capacidade viária que visa a apenas tentar “acomodar” um dado volume de veículos, a política de cobrança de congestionamento visa a internalização dos custos que os motoristas impõem aos demais ao dirigir. Posteriormente, serão discutidos alguns sistemas de cobrança implementados ao redor do mundo, especialmente Estados Unidos e Europa, e seus impactos no tráfego.

making driving safer and more reliable, with fewer crashes and frustrations. For these reasons, a 3-lane road can handle the same amount of traffic as a 4-lane road (and in some cases it can handle more traffic).

3 RESTRIÇÃO DE TRÁFEGO EM ÁREAS CONGESTIONADAS

“O único problema real que nós tivemos foi que os ônibus estavam rodando tão à frente do previsto no cronograma que eles tiveram que aguardar na parada por alguns minutos²⁶”

Ken Livingstone (2013), sobre as condições de tráfego e engarrafamento após a introdução do sistema de Cobrança de Congestionamento em Londres

No segundo capítulo foi discutida a incapacidade da oferta – expansão da capacidade viária – de reduzir, muito menos eliminar, o congestionamento abaixo de um certo nível de equilíbrio. O tráfego gerado e o fato de os motoristas não internalizarem a totalidade de custos incorridos pelo seu consumo são as principais explicações para este problema.

Supõe-se que a quantidade física de ruas está fixa. Existem duas condições necessárias para que uma política de restrição de veículos automotores seja utilizada:

(a) O uso do espaço por uma unidade de tráfego afeta a maneira como outras unidades podem utilizá-la – *e.g.* quando os custos de rodagem, etc., de dois veículos utilizando uma certa rua juntos é maior que a soma de custos dos dois veículos utilizando-a separadamente. Esta é uma maneira útil de definir ‘congestionamento’.

(b) Quando cada um dos usuários da rua toma separadamente sua decisão de quando e por qual extensão utilizarão a rua – *i.e.* quando considera-se somente seus próprios custos e vantagens em utilizar o espaço viário, ignorando os custos e vantagens dos demais usuários. Quando, adicionalmente, os usuários da rua obtêm diferentes vantagens do uso do espaço viário – ou seja, valoram seu uso diferentemente – a restrição é ainda mais importante, pois, apenas desta maneira, estas diferentes valorações poderão receber algum peso na decisão de qual uso será feito da malha viária (BEESLEY; ROTH, 1962, p. 185, tradução nossa)²⁷.

A política econômica padrão sugerida para esta falha de mercado seria a criação de uma taxa pigouviana, que no caso do transporte é a introdução de uma taxa de congestionamento. Esta política tem a vantagem de conseguir, teoricamente, corrigir completamente a falha de mercado levando a um equilíbrio social ótimo. Entretanto, a dificuldade de aceitação e de implementação a tornam difícil de ser posta em prática de maneira democrática. Estas questões serão exploradas no primeiro subcapítulo.

²⁶ The only real problem we had were the buses were all running so ahead of schedule they had to wait at the bus stop for a couple minutes.

²⁷ (a) Use of the space by one unit of traffic affects the terms on which other units can use it – *e.g.* when the running, etc., costs of two vehicles using a given road together are more than the addition of the costs of each using it alone. This indeed is a useful way to define ‘congestion’.

(b) When each road user makes his own separate decision when and to what extent to use roads – *i.e.* has regard solely to his own costs and advantages in using road space, ignoring the costs and advantages of other users. When, in addition, the users of road space derive different advantages from the use of the space – that is, value its use differently – restraint is even more important, for only in this way can these different valuations be given some weight in deciding to what use the roads are put.

Apenas algumas cidades no mundo conseguiram implementar sistemas de pedágio com o objetivo de controlar o fluxo de veículos, alguns exemplos são: Singapura, Londres, Estocolmo, Seul e algumas estradas dos Estados Unidos. Em alguns casos, como no Brasil, os pedágios são amplamente utilizados, porém com a finalidade principal de manutenção, algumas vezes também de ampliação, de rodovias expressas estaduais e federais, principalmente as não-urbanas.

Tendo em vista o agravamento dos congestionamentos urbanos e as dificuldades de implementação de seu pedágio, diversas medidas foram criadas, e posteriormente adotadas, para aumentar os custos privados do uso do automóvel para que se aproximem do custo social. Algumas dessas políticas são: elevar os tributos sobre uso do automóvel - combustível; redução das vagas de estacionamento gratuitas; restrição de acesso do carro a certas partes da cidade, altamente congestionáveis ou orientadas para o pedestre – como centro da cidade e zonas comerciais. Estas políticas serão apreciadas no segundo subcapítulo.

3.1 TAXA DE CONGESTIONAMENTO

Um dos primeiros autores a estudar a importância da cobrança das ruas foi A. A. Walters. Motivados pela perda de competitividade das companhias ferroviárias dos países desenvolvidos, seus executivos levantaram uma questão de ampla desigualdade dentro do setor de transportes: por que enormes somas deveriam ser destinadas para manutenção de ferrovias e custos de capital, enquanto as companhias de frete rodoviário estão isentas de qualquer pagamento?

Diversas dificuldades são levantadas na resolução deste impasse, desde a falta de investimentos do Governo nas rodovias britânicas ao fato dos usuários das estradas já pagarem mais impostos que os gastos com construção e manutenção de rodovias. Apesar disso, o autor afirma que o motivo de pagamento dos usuários não deve ser o uso das rodovias, mas para que os custos privados se aproximem dos custos sociais, reduzindo os congestionamentos. Walters propõe uma solução alinhada com a teoria: uma taxa anual de licenciamento para entrada de veículos nos centros das grandes cidades, como Londres (WALTERS, 1954).

Ainda que o estudo em economia dos transportes estivesse se iniciando, três questões importantes, que serão as principais guias de diversos estudos posteriores sobre congestionamento e taxaço, são levantadas:

Os problemas econômicos do custo dos trilhos [e das ruas] podem ser divididos em três categorias amplas. Primeiramente, estamos interessados em descobrir um sistema de apreçamento para os serviços das rodovias em que haja uma utilização ótima da malha viária existente, e que distribua o tráfego eficientemente entre a rua e a ferrovia [ou outras formas de transportes coletivo e individual não motorizado]. Segundo, existe o problema de garantir o nível de investimento ótimo em rodovias. E terceiro, os efeitos de diferentes políticas na distribuição de renda devem ser examinados (WALTERS, 1954, p. 137, tradução nossa)²⁸.

O presente capítulo tratará principalmente do primeiro ponto levantado por Walters. Uma divisão teórica que pode ser feita sobre a taxa de congestionamento é quanto a sua extensão de atuação. A maioria dos modelos estudam os efeitos da implementação de uma taxa em apenas uma via. Porém, os efeitos desta política trazem mudanças para toda a malha viária de uma localidade.

A prescrição de que os preços devem igualar os custos marginais é, provavelmente, o mais conhecido dentre os conselhos de política dos economistas. Entretanto, o que é menos comumente compreendido é que esta regra aplica-se somente quando os demais preços da economia também igualam seus custos marginais; o que, numa malha viária, significa que pelo menos todas as ruas congestionadas da malha devem ser pedagiadas. [...] A situação em que todos os preços igualam seus custos marginais é chamada de ‘primeiro-ótimo’ na literatura econômica. [...] Entretanto, tem se tornado cada vez mais óbvio que as condições de ‘primeiro-ótimo’ não são praticáveis, e que, normalmente, não se pode determinar o preço ótimo de um bem sem levar em consideração as distorções nos mercados relacionados. Quando este é o caso, estamos num mundo ‘segundo-ótimo’ (ROUWENDAL; VERHOEF, 2006, p. 108, tradução nossa)²⁹.

Sobre a terceira questão levantada por Walters, pode-se considerar que a implementação de uma taxa de congestionamento implicará numa redistribuição regressiva de renda. Um dos problemas em associar o pedágio de congestionamento ao nível renda seria justamente reduzir a eficiência desta política. Apesar da introdução de um pedágio dificilmente atender ao critério de Pareto, o uso de sua receita pode fazer com que o número de pessoas que fiquem numa situação pior seja reduzido (ROUWENDAL; VERHOEF, 2006).

²⁸ The economic problems of track costs may be divided into three broad categories. First we are concerned to discover a pricing system for the services of the highways which will secure an optimum utilization of the existing network of roads, and distribute traffic efficiently between road and rail. Second, there is the problem of securing the optimum level of investment in highways. And third, the effects of the different policies on the distribution of income must be examined.

²⁹ The prescription that prices should equal marginal costs is probably among the best-known policy advices of economists. However, what is less widely realized is that the rule applies generally only when all other prices in the economy match marginal costs as well; which, in a transport network, means that at least all congested roads in the network should be tolled.[...] The situation where all prices are equal to marginal cost is often referred to as the ‘first-best’ situation in the economic literature.[...] However, it has become more and more apparent that first-best conditions do not hold even approximately in practice, and that one often cannot determine the optimal price for one good without taking into account the distortions in markets for related goods. When this is the case, we are in a second-best world.

A seguir serão enunciados os principais sistemas que podem ser utilizados para a implementação da taxa de congestionamento. Esquemas baseados em estruturas como pontes, túneis e rodovias, sendo que podem ser utilizados diversos pontos cobrando de acordo com a distância percorrida. O pedágio de corda estabelece uma taxa para veículos que entram, que saem ou nas duas direções, o único exemplo existente é o modelo de Estocolmo. O esquema de zona cobra dos veículos que entram ou saem de uma certa área delimitada, atualmente o único sistema implementado é o da zona central de Londres. Esquemas baseados na distância percorrida foram implementados apenas para veículos de frete nos Estados Unidos, Suíça, República Tcheca, Áustria, Alemanha, Eslováquia (LINDSEY; PALMA, 2011).

Walters (1961) estuda o congestionamento em rodovias expressas dos Estados Unidos e propõe algumas políticas – taxas sobre gasolina, quilometragem urbana e outras – para igualar o custo privado ao custo social do deslocamento. O autor supõe: (a) motoristas homogêneos, ou seja, que valoram igualmente o tempo; (b) veículos iguais, com mesmo porte, potência e que afetam o tráfego de maneira uniforme; (c) todos irão enfrentar os mesmos custos e velocidades, dado um certo nível de tráfego.

A condição de Pigou para taxa social ótima é de que a taxa na rodovia i – representada pelo custo social marginal – seja igual ao custo unitário privado de uso da rodovia i mais quantidade de veículos na rodovia i , multiplicado pela derivada do custo privado total em relação ao número de carros. O logaritmo da taxa de congestionamento na rodovia i , ti , é igual ao logaritmo do custo unitário privado na rodovia i , ci , mais o logaritmo de densidade na rodovia i , di (WALTERS, 1961).

O objetivo da introdução da taxa é reduzir o volume de veículos em rodovias altamente congestionadas, enquanto que o uso deve ser incentivado em rodovias pouco utilizadas. Alguns desses efeitos podem ser alcançados por meio de restrições físicas, proibição de circulação de alguns tipos de veículos, restrição de vaga de estacionamento. Porém, estas medidas podem vir a afetar motoristas que não trafegam em ruas congestionadas (WALTERS, 1961).

As políticas propostas por Walters, por ordem crescente de eficiência, são: odômetro, taxa e impostos. O odômetro realiza a contagem da distância percorrida em locais de congestionamento, sendo cobrado de acordo com a quilometragem. Esta medida seria efetiva em grandes áreas urbanas, como Nova Iorque e Londres. Um adesivo especial, válido por um certo período de tempo, poderia substituir o uso do odômetro. Uma taxa poderia ser utilizada em ruas, pontes e túneis altamente congestionados. O imposto sobre gasolina, sendo alto em áreas urbanas e baixo no meio rural, seria a política mais útil (WALTERS, 1961).

Vickrey (1969) descreve seis situações em que existe congestionamento: a) interação simples, ocorre quando duas unidades de transportes se aproximam o suficiente para que uma atrase a outra, esta forma é geralmente encontrada em tráfego leve; b) interação múltipla, similar à situação simples, porém existem mais de duas unidades; c) situação pura de gargalo, “um segmento de rota relativamente curta em que a capacidade fixada é substancialmente menor relativo à demanda de tráfego que os segmentos anteriores ou posteriores (VICKREY, 1969, p. 252, tradução nossa)³⁰”; d) *triggerneck situation*, ocorre quando a fila que se forma, por causa do gargalo, acaba interferindo no tráfego que não pretendia utilizar o gargalo em sua rota; e) *network and control*, ocorre quando os níveis de tráfego requerem formas adicionais de controle, tais como semáforos, placas de “pare”, limitação de rotas etc; f) densidade em geral, no longo prazo os custos de congestionamento seriam uma função da densidade do fluxo de todos os modais combinados em todas as rotas.

O modelo de congestionamento de gargalo puro de Vickrey (1969) foi o primeiro a internalizar o comportamento dos motoristas. Supõe-se que 7.200 pessoas passam por um gargalo entre 8 e 9h e a variável de escolha é o horário de partida que minimizará o tempo de deslocamento e o atraso programado. Assim, a capacidade (c) do gargalo é de 120 carros/min e todos chegariam aos seus destinos no tempo desejado. Se a capacidade for menor que c , algumas pessoas chegarão atrasadas, outras cedo, ao trabalho, sendo que aqueles que desejarem chegar próximos ao horário pretendido deverão enfrentar graus variados de filas.

Se a capacidade do gargalo for maior ou igual a c , todos chegarão no horário almejado e não haverá congestionamento. Se a capacidade for menor que c e os motoristas forem homogêneos, pode-se atribuir valores que possibilitam o cálculo do nível das filas no gargalo e a diferença no tempo de chegada ao trabalho em relação ao pretendido. No longo prazo, os *policymakers* poderiam alargar o gargalo, apesar dessa solução apresentar alguns empecilhos, como o alto custo, por exemplo (VICKREY, 1969).

No curto prazo, uma estrutura de preços que aumentasse linearmente a partir do zero às 8h até um preço máximo no horário de maior pico, voltando a cair até zero novamente às 9h, eliminaria as filas e possibilitaria um uso eficiente da rua. Vickrey utiliza seu modelo para comparar as políticas de expansão viária e o mecanismo de preços: uma expansão capaz de acomodar todo o fluxo da automóveis no gargalo traria benefícios, porém estes seriam pequenos quando incorporados os custos de alargamento da rua; já a precificação também eliminaria o

³⁰ A relatively short route segment has a fixed capacity substantially smaller relative to traffic demand than that of preceding or succeeding segments.

congestionamento e ainda geraria uma receita que representa um ganho líquido para a economia (VICKREY, 1969).

Arnott, Lindsey e Palma (1990) formalizaram um modelo para estudar como a introdução de um pedágio afeta o horário de partida em uma via com um gargalo – por exemplo, uma ponte. Utilizando um modelo com um número fixo de motoristas homogêneos que viajam entre a mesma origem e destino – por exemplo, casa e trabalho, e tem o mesmo horário desejado de chegada. Para simplificar o modelo, o indivíduo chega ao gargalo assim que ele sai de casa e chega imediatamente ao trabalho assim que deixa o gargalo, assim os custos incorridos são: custos de viagem; custo de chegar cedo demais; custo de chegar muito tarde.

O equilíbrio do modelo faz com que motoristas em excesso decidam partir no mesmo horário, gerando um acentuado horário de pico, fazendo com que se formem enormes filas para utilização da ponte. A introdução do pedágio suaviza o horário de pico, distribuindo os motoristas de forma com que a ponte seja utilizada dentro do seu limite, eliminando as filas e, no caso do modelo, anulando os custos de viagem (ARNOTT; LINDSEY; PALMA, 1990).

Gronau cria um modelo para analisar a introdução de um pedágio em uma de duas ruas perfeitamente substituíveis. O pedágio diminui o tráfego total – levando certamente a um aumento de bem estar, pois o número de viagens realizadas se aproxima mais da situação de ótimo social – porém diverge tráfego para a via gratuita – geralmente de pior qualidade, assim, é possível que a introdução do pedágio reduza o bem estar, pois a via pedagiada é subutilizada e a grátis é sobreutilizada (GRONAU, 1999).

Outro ponto levantado seria a finalidade do operador do pedágio. Gronau (1999, p. 171, tradução nossa) afirma: “uma firma maximizadora de lucro cobra uma taxa que é acima da ótima, exacerbando, deste modo, o problema do congestionamento na rua gratuita. Mais importante, a firma cobra taxas maiores quanto menor for a elasticidade da demanda por viagens e mais congestionada estiver a rua gratuita – em nítido contraste com a política adotada por uma firma maximizadora de bem estar³¹”.

Entretanto, deve ser ressaltado que o modelo de Gronau (1999) supõe motoristas homogêneos, caso contrário, provavelmente, haveria uma divisão entre aqueles que mais valorizam o tempo tomando a via pedagiada e o restante utilizando a estrada gratuita. Assim,

³¹ A profit-maximizing toll agency charges a toll that is higher than optimal, thus exacerbating the congestion problem of the free road. More importantly, the agency charges higher tolls the smaller the elasticity of travel demand and the more congested the free road – in sharp contrast with the policy adopted by a welfare-maximizing agency.

as preferências heterogêneas poderiam levar a uma maior eficiência alocativa dos motoristas entre as duas ruas, gerando um aumento de bem estar.

3.1.1 Aceitação de esquemas de cobrança

Apesar da teórica eficiência econômica das taxas pigouvianas para combater o congestionamento, existe uma enorme oposição dos diversos agentes envolvidos em relação à sua adoção. Os motoristas são contrários à cobrança de um bem – a via pública – que sempre foi gratuito e normalmente alegam já possuir uma enorme carga tributária. Nenhum governo quer ser responsável por uma medida impopular de aumento de cobranças. As empresas de transporte de cargas argumentarão sobre o aumento de custos de logística para as demais empresas, o que afetará a competitividade.

O projeto do Transport Learning (2006) aponta para um *trade-off* entre efetividade do esquema de taxa de congestionamento e a aceitabilidade do projeto. Por exemplo, a aceitabilidade aumenta se o preço diminui ou aumentando o número de classes isentas. Alguns fatores chave são apontados pelo estudo para garantir a implementação do apreçamento do congestionamento: concordância quanto aos objetivos do esquema, pois a sociedade deve encarar o congestionamento como um problema que deve ser resolvido; garantir melhorias às alternativas ao veículo privado antes da implementação da cobrança, como ônibus, metrô, trem e estações estacionar e tomar³²; um político que esteja disposto a assumir os riscos e os créditos pelo esquema, como o prefeito de Londres, Ken Livingstone.

Schade e Schlag (2003) aplicaram um questionário nas cidades de Atenas (Grécia), Como (Itália), Dresden (Alemanha) e Oslo (Noruega) para estudar a aceitabilidade dos motoristas quanto a dois projetos de combate ao congestionamento, um mais radical e outro mais aceitável. Apesar do nível de conhecimento sobre as medidas dos projetos ser extremamente baixo, ambos foram amplamente rejeitados e percebidos como desvantajosos. A atitude e aceitabilidade em relação aos projetos mostrou relação insignificante com os aspectos socioeconômicos dos entrevistados. Pessoas que utilizam a bicicleta ou o transporte público tendem a mostrar mais apoio que os motoristas, enquanto que motoristas com maiores rendas apoiam mais que os de menores rendas.

³² Tradução livre do termo em inglês park and ride. Estas estações são projetadas para que os motoristas possam estacionar longe de regiões com alto nível de congestionamento, por exemplo, o centro da cidade, e tomar um ônibus, trem, metrô etc., incentivando o uso do transporte coletivo e reduzindo os engarrafamentos.

Verhoef *et al.* (1997) discutiram os resultados de uma pesquisa sobre cobrança das ruas feita com utilizadores das vias durante horários de pico na área de Randstad, Holanda. Primeiramente, fez-se perguntas em relação a desutilidade do congestionamento: apenas 2,6% das pessoas não tinham opinião ou não desgostavam dirigir sob congestionamento, enquanto os demais apresentavam graus variados de aversão; as principais razões para esta aversão foram perda de tempo e incerteza; 16,4% das pessoas consideravam o congestionamento aceitável do ponto de vista social, enquanto 79,6% o consideravam inaceitável.

Investigando as alternativas caso fosse implementado um sistema de cobrança altamente proibitivo, a maioria dos motoristas respondeu “nenhuma alternativa”, ou seja, continuariam a dirigir mesmo que uma altíssima taxa fosse cobrada, uma das possíveis explicações seria uma alta inelasticidade de demanda por viagens de carro no horário de pico. A segunda alternativa escolhida foi remarcar o horário de deslocamento, suavizando o horário de pico, e a terceira foi a utilização do transporte público (VERHOEF *et al.*, 1997).

Apesar da maioria dos estudos acadêmicos sobre apreçamento de ruas focar na eficiência, a maioria dos usuários está mais preocupada na redistribuição das receitas da taxa que em sua eficiência – 83% das respostas. A opção mais apoiada sobre o que fazer foi a expansão da capacidade rodoviária, em segundo e terceiro lugar redução/isenção de imposto sobre propriedade veicular e combustível, respectivamente. Em quarto lugar, investimento no transporte público (VERHOEF *et al.*, 1997).

Lave (1994) discute a aceitabilidade da cobrança de ruas nos Estados Unidos a partir da intenção de implementação deste sistema e da análise da curva de demanda por viagens. A utilização da curva de demanda permite diferenciar os motoristas quanto à valorização do tempo ou flexibilidade de rotas alternativas ou reprogramação do horário de deslocamento. Três condições devem ser satisfeitas para que esta política seja aceitável:

1. A perda de utilidade daqueles que saíram [da rua, por causa da cobrança,] é pequena – talvez eles tenham boas alternativas, e estão dispostos a sair.
2. O ganho de utilidade dos usuários é grande – talvez eles consigam uma substancial poupança de tempo enquanto pagam apenas uma pequena taxa [de congestionamento].
3. A proporção de perdedores para ganhadores deve ser baixa³³ (LAVE, 1994, p. 86, tradução nossa).

A satisfação das três condições dependerá da inclinação da curva de demanda. Aqueles que menos valorizam o tempo não irão mais utilizar a rua, pois o benefício da melhora das

³³ 1. The loss in utility to those pushed off is small—perhaps they have good alternatives, and so are quite willing to move. 2. The gain in utility of the users is large—perhaps they get a substantial time savings while paying only a small road fee. 3. The proportion of losers to gainers must be low.

condições de fluxo não compensa o pagamento da taxa de congestionamento para estes agentes, portanto ele serão contrários ao projeto. Todos os dias, nos seus dois deslocamentos casa-trabalho, estes motoristas se lembrarão que não irão mais utilizar esta rodovia expressa. Em troca, a utilização da receita pode fazer com que uma vez por ano haja uma isenção de imposto de renda ou daqui a dez anos seja inaugurada uma nova avenida (LAVE, 1996).

Glazer e Niskanen discutem os efeitos da introdução do apreçamento de ruas sobre o bem estar de usuários heterogêneos (valorizam de forma diferente o tempo) entre dois pontos em que existe um trajeto lento e um trajeto rápido. Sua pergunta inicial era por que este sistema em meios urbanos lentos encontra tanta resistência enquanto são muito bem aceitos para financiar a construções de rodovias expressas rápidas. Assim, os autores concluem:

No curto prazo, qualquer taxa no modo lento irá reduzir o bem estar dos consumidores, ao contrário, uma taxa no modo rápido pode aumentar o bem estar dos consumidores. Finalmente, o conjunto de taxas que maximiza o bem estar dos consumidores não será imposto nos dois modos [...]. Tal conjunto de taxas, entretanto, irá (pelo menos no curto prazo) aumentar o congestionamento no modo lento, que presumivelmente era o mais congestionado no início. Uma implicação irônica é que taxas politicamente aceitáveis podem aumentar o congestionamento ou aumentar os tempos de viagem médios (GLAZER; NISKANEN, 2000, p. 53, tradução nossa)³⁴.

A aceitabilidade acerca da cobrança do congestionamento é um tema relevante, pois, apesar de sua comprovada eficiência no meio acadêmico, é necessário que o público em geral, e especialmente os motoristas, entendam o funcionamento desta política e como todos irão se beneficiar dela. Na próxima seção, serão discutidos alguns sistemas de cobrança de congestionamento em Singapura, Londres e Estocolmo, além do uso desta política em instalações isoladas em Seul, Durham e diversas rodovias dos Estados Unidos.

3.2 EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS

Após sua independência (1965), Singapura, uma ilha-Estado, experimentou um rápido crescimento econômico de 8% ao ano até a metade dos anos 90. Este desenvolvimento trouxe também o aumento da motorização, a quantidade de veículos privados dobrou entre 1961 e 1970, a frota de ônibus e táxis cresceu 64%, porém, a oferta de ruas aumentou apenas 35%,

³⁴ In the short run, any toll on the slow mode will reduce consumer welfare. In contrast, a toll on the fast mode may increase aggregate consumer welfare. Lastly, the set of tolls that maximize consumer welfare will not impose a toll on both modes [...]. Such a set of tolls, however, will (at least in the short run) increase congestion on the slow mode, which was presumably the most congested one to begin with. An ironic implication is that politically acceptable tolls may increase congestion or increase average travel times.

sendo que as avenidas expressas cresceram apenas 12%. Nos anos 70, o Governo unificou e nacionalizou todas as companhias de ônibus, melhorando o serviço em termos qualitativos e quantitativos. Nos anos 80, iniciou o projeto de construção de ferrovias Mass Rapid Transit, para complementar sua política de transporte público (KOH; LI; SANTOS, 2004).

Além das medidas de incentivo ao transporte público, foram necessárias medidas de desincentivo de posse e uso de veículos particulares. A Taxa de Registro Adicional incide sobre o valor de mercado de carros novos e é pago por seus compradores. Esta política incentivou demasiadamente a compra de carros usados e prejudicou a renovação da frota do país, fazendo com que a legislação fosse revista para equilibrar a quantidade de veículos novos e usados (KOH; LI; SANTOS, 2004).

O Esquema de Licenciamento de Área³⁵, implementado em 1975, foi o primeiro sistema de cobrança de congestionamento posto em prática no mundo. Veículos entrando na área central de Singapura, de 7 km², deveriam adquirir e mostrar um documento no parabrisa. A fiscalização era feita por agentes nos limites da área e os veículos transgressores eram multados. Inicialmente, a cobrança restringia-se ao horário de pico da manhã, sendo em 1989 estendido ao horário de pico da tarde e em 1994 estendido ao horário entre os picos. Além disso, inicialmente existiam diversas isenções, como transporte de bens, táxis e carros com alta ocupação, que foram posteriormente sendo reduzidas. A introdução do ALS reduziu o volume de veículos entrando na zona de cobrança em 73%, enquanto as velocidades médias aumentaram de 19 para 36 km/h (KOH; LI; SANTOS, 2004).

O Sistema de Cota de Veículos³⁶, introduzido em 1990, é um imposto sobre propriedade de veículos. Pessoas que quisessem comprar um carro deveriam adquirir em leilão um Certificado de Direito³⁷ válido por 10 anos. O Certificado poderia ser renovado mais uma vez por 5 ou 10 anos. A partir de 1995, o Esquema de Apreçamento de Rua³⁸ foi implementado nas rodovias expressas para reduzir o congestionamento nos horários de pico e para acostumar os motoristas à cobrança fora do centro de Singapura (KOH; LI; SANTOS, 2004).

Em 1998, foi introduzido o sistema Eletrônico de Apreçamento de Rua³⁹, substituindo o ALS e o RPS. Os veículos que desejam entrar na zona do ERP devem estar equipados com um sistema apropriado que cobra cada vez que um *checkpoint* é atravessado. O valor cobrado varia de acordo com o local, horário, nível de congestionamento, sendo revisado

³⁵ Original em inglês: Area Licensing Scheme (ALS).

³⁶ Original em inglês: Vehicle Quota System (VQS).

³⁷ Original em inglês: Certificate of Entitlement.

³⁸ Original em inglês: Road Pricing Scheme (RPS).

³⁹ Original em inglês: Electronic Road Pricing (ERP).

trimestralmente para alcançar seus objetivos: velocidades entre 20 e 30 km/h em grandes avenidas e entre 45 e 65 km/h em rodovias (KOH; LI; SANTOS, 2004).

A automatização do ERP e sua capacidade de cobrar uma taxa variável (ao contrário de uma taxa constante) garantiu a confiabilidade e a eficiência do sistema, aproximando o sistema do modelo teórico proposto por Vickrey (1969). Mesmo com a existência dos sistemas anteriores, o ERP reduziu o volume de tráfego em 15% na zona de cobrança. Ainda, desde os anos 1960, a geração de receitas no setor de transporte tem superado os gastos, mesmo nos anos em que grandes projetos foram implementados. Por exemplo, em 2002, apenas 19,8% de suas receitas foram gastas no setor. Além disso, as políticas de transporte de Singapura possibilitaram uma ocupação da área urbana pelas ruas de apenas 11%, sendo este percentual duas vezes maior nas cidades europeias e três vezes maior nos Estados Unidos (KOH; LI; SANTOS, 2004).

Goh (2002) ressalta ainda duas importantes políticas de redução do congestionamento de Singapura. O sistema Determinante de Cruzamentos Verdes⁴⁰ permite a sincronização dos semáforos, a partir de dados em tempo real, garantindo o sinal verde em grandes avenidas mais congestionadas. O Sistema de Aconselhamento e Monitoramento de Rodovias⁴¹ oferece atualizações do tráfego aos motoristas por meio de câmeras que detectam acidentes e outras ocorrências que possam reduzir o fluxo de trânsito. Os avisos são feitos por meio de placas eletrônicas, estações de rádios e televisão.

Em Seul, desde 1996, os túneis Namsan 1 e 3 possuem sistema de cobrança de congestionamento de US\$ 1,50. Reduziu-se o fluxo de veículos em 24% no primeiro mês de vigência do esquema, elevando a velocidade média de 21,6 para 33,6 km/h. O volume diário de tráfego nos túneis e ruas alternativas passou de 102.125 para 81.069, chegando a 89.385 após um ano. As velocidades não apenas se mantiveram constantes como houve uma pequena elevação após um ano, para 35,5 km/h, passando para 29,8 km/h após 2 anos (LEE; LEE; LEE, 2006).

A política de estacionamento de Seul reduziu a oferta de vagas em novos prédios comerciais de 40 para 20%, apesar desta medida ter pouco impacto no curto prazo. Além disso, a prefeitura decidiu reduzir gradualmente as vagas de estacionamento de rua, esperando aumento do preço do estacionamento privado, desincentivando os deslocamentos em carro (LEE; LEE; LEE, 2006).

⁴⁰ Original em inglês: Green Link Determining (GLD)

⁴¹ Original em inglês: Expressway Monitoring and Advisory System (EMAS)

Ao contrário dos demais países, os Estados Unidos contam com mais de um tipo de política de controle de tráfego. O programa “FasTrak” de San Diego foi implementado em 1999. Carros com apenas um ocupante devem pagar uma taxa, que varia de acordo com o nível de congestionamento, toda vez que usarem uma faixa de Veículo com Alta Ocupação⁴² da Rodovia Interstate-15, porém pode-se optar por uma faixa gratuita. Todas as transações são feitas de forma automática utilizando uma conta paga previamente. De acordo com uma pesquisa feita após a introdução do esquema, 71% das pessoas considerava o projeto “justo”, enquanto 66% aprovavam a cobrança. O programa “QuickRide”, em Houston, implementado em janeiro de 1998, funciona de forma semelhante ao de San Diego, porém veículos com apenas o motorista não podem utilizar as faixas HOV, enquanto carros com três ou mais ocupantes podem utilizar as faixas expressas gratuitamente. Veículos com dois passageiros podem optar pela faixa expressa mediante o pagamento de uma taxa de congestionamento (DECORLA-SOUZA, 2004).

A introdução de esquemas de corda, similar ao sistema de Estocolmo, está sendo considerada em duas cidades. A cidade ilha de Fort Myers, Florida, recebe um enorme fluxo de turistas durante a alta temporada. Dada a escassez de espaço e a possibilidade de altos custos ambientais, novos aumentos da capacidade viária são inviáveis. O prefeito de Nova Iorque propôs a introdução de cobrança de congestionamento em 12 pontes da cidade, que atualmente são gratuitas (DECORLA-SOUZA, 2004).

O sistema de faixas “FAIR” (Fast and Intertwined Regular) oferece a opção aos motoristas entre pagar para utilizar as faixas rápidas ou ser compensado por usar faixas lentas. As faixas rápidas são pedagiadas eletronicamente e podem variar de preço de acordo com o nível de congestionamento. A compensação pode ser utilizada em tarifas do transporte público ou para pagamento de estacionamento. O sistema FAIR está em processo de estudo em São Francisco, Atlanta, Portland e Houston (DECORLA-SOUZA, 2004).

A cobrança pelo uso de novas pistas numa rodovia já existente tem como um dos principais objetivos financiar sua construção e cobrir os custos operacionais. Porém, a rodovia State Route 91 ainda possui um sistema de cobrança dinâmica, que varia de acordo com o nível de congestionamento, portanto, o sistema também tem o objetivo de controle do tráfego. Na rodovia, as duas pistas, de um total de seis, pedagiadas levam 40% do volume de tráfego no horário de pico a velocidades médias de 104 km/h, em comparação com os 16 a 32 km/h das

⁴² Original em inglês: High Occupancy Vehicle lanes (HOV).

alternativas gratuitas. Projetos estão sendo estudados em São Francisco, Denver, Florida, entre outros (DECORLA-SOUZA, 2004).

Locais em que já existe uma taxa de congestionamento constante podem modificá-la para que ela varie de acordo com o volume de tráfego, dia e horário. Em agosto de 1998, o condado de Lee modificou o sistema de cobrança de duas pontes para que a taxa varie entre período de pico e não pico, além de cobrar metade do valor para horários imediatamente anteriores e posteriores a vigência do sistema. A ponte sobre o rio Hudson, Nova Iorque, uma rodovia em New Jersey e a rodovia San Joaquin Hills passaram por processos semelhantes (DECORLA-SOUZA, 2004).

Estocolmo, capital da Suécia, é uma cidade composta de 14 ilhas cuja região metropolitana possui uma população de mais de 2 milhões de habitantes. Para lidar com seus problemas de trânsito, foi criado um esquema de cobrança do congestionamento. Um período de teste ocorreu entre 3 de janeiro de 2006 e 31 de julho de 2006. Esta política foi complementada com o aumento da oferta de transporte público entre 22 de agosto de 2005 e 31 de dezembro de 2006: foram criadas 16 novas linhas de ônibus para o centro da cidade, 14 novas linhas de ônibus expressas e cerca de 1500 estações tipo *estacione e tome*. Em agosto de 2007, um referendo aprovou a permanência destas medidas (ELIASSON, 2008; FORWARD; SCHUITEMA; STEG, 2009).

Eliasson (2009) realizou uma análise custo benefício do sistema de cobrança do congestionamento de Estocolmo durante a sua fase provisória. Utilizando dados de fluxo de trânsito e tempo de viagem e comparando a situação antes e durante a introdução do sistema.

O sistema de Estocolmo consiste em um cordão ao redor do centro da cidade. A cobrança vigorava das 6:30 às 18:30 dos dias úteis. Haveria dois preços distintos relativos a horários de pico e não pico, cobrados nas duas direções do cordão. Várias categorias de veículos estavam isentas: ônibus, táxis, carros com combustíveis alternativos etc. (ELIASSON, 2009).

Os custos de investimento para iniciar as operações foram, em várias questões, superestimados para garantir um sistema altamente confiável e para tornar público todos os seus detalhes. Por exemplo, o número de reclamações e ações contra o sistema foi menor que o esperado, fazendo com que a provisão de despesas legais diminuísse. O número de ligações foi a vigésima parte do esperado, permitindo a redução do *call center*. Comparando os custos operacionais com as receitas, poder-se-ia projetar que o *pay back* do projeto seria de 3,3 anos (ELIASSON, 2009).

Além dos gastos e receitas monetárias, Eliasson incluiu em sua análise de custo-benefício: redução no tempo de viagens (descongestionamento), redução da incerteza quanto

ao tempo de viagem, redução da emissão de gases do efeito estufa, melhora na saúde e meio ambiente, aumento na segurança no trânsito. O ganho com redução do congestionamento foi calculado em € 57 milhões/ano, enquanto o benefício social líquido (excluindo o custo de investimento inicial) foi de € 70 milhões/ano (euros de setembro de 2007) (ELIASSON, 2009).

Em relação aos dados do tráfego de Estocolmo, o fluxo de veículos dentro do cordão de cobrança durante a vigência do teste reduziu-se em 22% em relação ao ano anterior, e após o fim do teste, os níveis voltaram a subir, estabilizando-se próximos à situação pré-cobrança. Como o tráfego dentro da área dos limites do cordão não era cobrado, o fluxo reduziu-se em menor escala, 15%. Os tempos de viagem diminuíram consideravelmente dentro e próximo do centro da cidade, especialmente em vias arteriais, que se reduziram à terça parte durante o pico da manhã e à metade durante o pico da tarde. Um questionário pode evidenciar os padrões de deslocamento: 45.000 das 92.000 viagens de carro evitadas pela cobrança do congestionamento eram entre casa e trabalho ou escola, sendo que praticamente todos estes deslocamentos (43.000) acabaram utilizando o transporte coletivo (ELIASSON *et al.*, 2009).

Em relação à aceitabilidade do projeto, no outono de 2005, 55% dos residentes da região metropolitana de Estocolmo o consideravam uma má decisão, já em abril de 2006 – no final do período de teste – 53% o consideravam uma boa ideia. O referendo em relação a permanência do esquema, em Estocolmo, recebeu 53% de votos a favor, enquanto nas demais municipalidades houve 60% dos votos contra. No total, a população foi contrária a cobrança – 52% – porém, o governo decidiu pela sua introdução permanente em 2007 (ELIASSON *et al.*, 2009).

A partir do modelo teórico de Walters (1961) de cobrança de congestionamento, o relatório “Road pricing: the economic and technical possibilities”, também conhecido como Relatório Smeed (1964), propôs a possibilidade prática de uma taxa de congestionamento no Reino Unido. Porém, apenas em 2000 o parlamento britânico sancionou o Ato dos Transportes, dando poderes legais para implementação de sistemas de controle de congestionamento. Em 2001, um ato similar foi aprovado pelo parlamento escocês (SANTOS, 2004).

Um dos principais pontos da campanha para a prefeitura de Londres de Ken Livingstone foi a introdução de um sistema de cobrança de congestionamento. Após sua eleição, o prefeito enviou para *stakeholders* chave – como conselhos locais, associações de transportes, empresários – uma proposta inicial e ouviu seus comentários, elaborando um novo documento em julho de 2001. A partir desta data, a proposta passou por duas rodadas de consulta popular. Milhares de panfletos informativos foram distribuídos, a proposta foi veiculada por jornais e estações de rádio, além de urnas de votação sendo espalhadas pelo centro da cidade. O esquema

final foi novamente veiculado por estes meios de comunicação e três milhões de panfletos, distribuídos para cada uma das casa de Londres duas vezes, uma antes do Natal e outra depois. O Esquema de Cobrança de Congestionamento de Londres⁴³ entrou em vigor em 17 de fevereiro de 2003 (SANTOS, 2004).

Todos os veículos que entram, saem ou estacionam na área de cobrança de segunda a sexta-feira entre 7h e 18:30, excluindo feriados públicos, devem pagar uma taxa de £5. A área possui 21 km² e postes de sinalização indicam exatamente onde a zona inicia e termina. Diversas categorias receberam isenções e descontos: motocicletas, bicicletas, ambulâncias, ônibus, residentes da área de cobrança, veículos com combustíveis alternativos etc. A fiscalização é feita por 203 câmeras, localizadas em todas as entradas e saídas da área, que tiram fotos do número das placas dos veículos. Diariamente esta informação é cruzada com a dos veículos que pagaram sua taxa diária para aplicação ou não de multas (SANTOS, 2004).

Após a introdução do esquema, as velocidades médias dentro do perímetro passaram de 14 para 17 km/h, um aumento de 21%. Utilizando a definição de congestionamento como sendo a diferença entre a velocidade de fluxo livre teórica e a velocidade de viagem, medida por minutos por veículo-quilômetro, e a velocidade de livre fluxo de 1,6 min/km e as velocidades de viagem antes e após a introdução da cobrança do congestionamento de 4,2 e 3,5 min/km, conclui-se que o congestionamento reduziu-se cerca de 30%. O volume de veículos de quatro rodas ou mais reduziu-se em 16%, sendo que de carros caiu 31%, porém o número de táxis e ônibus aumentou em 19 e 16%, respectivamente. Dentre os motoristas que deixaram de viajar para o centro de Londres, entre 50 e 60% passaram a utilizar o transporte público para estes deslocamentos (SANTOS, 2004).

Uma análise custo benefício foi realizada seis meses após a implementação do Esquema de Cobrança de Congestionamento de Londres. Os custos anuais foram estimados em £ 130 milhões (preços de 2003), enquanto os benefícios foram de £ 180 milhões – deste montante £ 155 milhões referem-se apenas à redução de congestionamento – logo, o projeto gerou um benefício líquido de £ 50 milhões (SANTOS, 2004).

O primeiro sistema de controle de congestionamento do Reino Unido foi o Esquema de Cobrança de Congestionamento de Durham, implementado em 1 de outubro de 2002. Ele consiste em uma taxa de £ 2 para todos os veículos que utilizarem a rua Saddler, que possui apenas uma pista que passa pelo coração do centro histórico. Antes do projeto, diariamente 2.000 veículos utilizavam a rua, representando um potencial perigo para os quase 14.000

⁴³ Original em inglês: London Congestion Charge Scheme.

pedestres diários. Após a sua introdução, o volume de veículos caiu entre 30 e 80%, enquanto o número de pedestres aumentou em 10%. A cobrança é realizada por uma máquina que emite um tíquete na saída da rua, monitorada por uma câmera. Apesar da pequena escala do sistema, duas grandes consultas populares foram feitas e o apoio popular aumentou de 49 para 70%, após sua introdução (SANTOS, 2004).

No próximo capítulo será discutida a importância de dois modais alternativos para o combate ao congestionamento: o transporte coletivo e a bicicleta. Utilizando dados empíricos, será demonstrado o impacto de transporte público e quantificados os benefícios deste meio na redução do engarrafamento. Em seguida, será realizada uma contextualização da importância da bicicleta como meio de transporte, além da proposição de um modelo teórico que explica como o ciclismo pode influir no combate ao congestionamento.

4 MODAIS ALTERNATIVOS DE TRANSPORTE

“Eu não estou propondo que nós levemos nossas indústrias de automóveis e de petróleo a um fim súbito. Ainda há tempo para iniciar uma série de passos graduais em direção a novas políticas de transporte e energia, cidades mais habitáveis e um transporte público mais humano e eficiente⁴⁴”
Stewart Udall (1972)

Os dois modais alternativos discutidos neste trabalho serão o transporte coletivo e a bicicleta. O transporte coletivo tem a vantagem de escala, pois quanto mais usuários, menores serão as tarifas, maior será a frequência e a área de cobertura do serviço. Além disso, como ele homogeneiza os usuários, na medida em que todos realizam a mesma rota, no mesmo horário de partida e de chegada, é possível transportar mais pessoas em um espaço pequeno, relativamente ao carro, fazendo um uso mais eficiente do território urbano. Ainda, o transporte coletivo pode competir com o carro em termos de conforto e velocidade.

A bicicleta proporciona liberdade ao ciclista, pois pode-se escolher rotas e horários como o carro. Além disso, é o único modal discutido neste trabalho em que o deslocamento possui uma utilidade por si. No caso do carro e do transporte coletivo, a viagem é vista como um custo que deve ser minimizado, porém o exercício de pedalar traz inúmeros benefícios para a saúde, além de que, em muitos casos, tem-se a possibilidade de desenvolver uma maior interação com o espaço urbano, como, por exemplo, apreciar a paisagem.

Tendo em vista os benefícios da utilização da bicicleta como modo de transporte e a crescente insatisfação dos habitantes das grandes cidades com o caos do trânsito motorizado, cada vez um maior número de pessoas adere ao ciclismo, incorporando-o não apenas como transporte, como também ao estilo de vida, conforme pode ser visto a seguir:

Mas o que fazer, você me pergunta, se não quisermos nos tornar “automóveis”? A resposta é simples: sejamos ciclistas! O ciclista é o oposto do “automóvel”: mesmo em cima de sua bicicleta, ele conserva todo seu livre-arbítrio, pode ir aonde quiser, estacionar onde achar melhor... Ele não ameaça constantemente a vida de seus vizinhos. Está à escuta do exterior: em vez de se blindar medrosamente se rodeando de aço, ele imerge corajosamente em seu meio ambiente – que evita, além disso, poluir. Raramente perde o controle de si, e se deixa guiar por dois princípios: a liberdade e o respeito ao outro (GRANIER, 2005, p. 121).

Mais importante que apresentar os benefícios de cada meio de transporte individualmente, a integração entre os diversos modais provavelmente seria a melhor política a

⁴⁴ I am not proposing that we bring our oil and auto industries to a screeching halt. There is still time to begin a series of gradual steps toward new transportation and energy policies, livable cities, and more humane, efficient transit systems.

ser adotada. Especialmente entre a bicicleta e o transporte coletivo, por serem meios complementares e sustentáveis, relativamente ao carro. A distância até a parada de ônibus ou a estação mais próxima de metrô pode ser uma restrição ao uso deste modal, assim como o acesso da parada final ou terminal até o ponto de destino efetivo. Porém, isto pode ser resolvido com um sistema de compartilhamento de bicicletas, ou ainda, a possibilidade de levar consigo a bicicleta durante o trajeto de ônibus.

Ao contrário da tradição quase centenária da literatura econômica de abordar as políticas de expansão da capacidade viária e de cobrança pelo congestionamento, o uso de incentivos ao transporte coletivo e à bicicleta como forma de combater o congestionamento ainda é um tema pouco discutido. Para a realização do presente trabalho, buscou-se nas bases de periódicos da Capes sobre estas políticas alternativas e poucos artigos tratavam diretamente deste assunto.

4.1 TRANSPORTE COLETIVO

Anderson (2013) demonstra o impacto do transporte coletivo na redução do congestionamento utilizando dados de uma greve total, iniciada em 14 de outubro de 2003, com duração de 35 dias, dos trabalhadores de trem e ônibus na região metropolitana de Los Angeles, Estados Unidos. Na cidade, os dois modais respondem por apenas 0,4 e 1,2% das viagens no horário de pico, respectivamente, enquanto 98% das pessoas utilizam o veículo privado.

Nos Estados Unidos, o transporte público de todo país recebe enormes subsídios que cobrem 63% dos custos operacionais e 100% dos custos de capital, contabilizando os orçamentos dos níveis municipal, estadual e federal. Apesar dos vultosos recursos alocados e da grande aceitabilidade recebida por esta política, o transporte público é responsável por apenas 1% da quilometragem por passageiro viajada. A hipótese trabalhada pelo autor é de que o transporte público tem grande impacto na redução do congestionamento, por isso os motoristas apoiam os subsídios, mesmo não sendo seus utilizadores diretos (ANDERSON, 2013).

Primeiramente, um modelo de escolha de modal foi calibrado utilizando alguns pressupostos: distância de 7 milhas para viagens de trem e 5 milhas para ônibus; base de dados para preço das tarifas do transporte coletivo e dos custos operacionais do carro – inclusive custos de estacionamento; valoração do tempo de acordo com a literatura; distância entre casa (origem) e uma estação de trem ou parada de ônibus, e destas para o local de trabalho (destino); nível de congestionamento heterogêneo encontrado durante a rota de cada agente. De acordo

com estes parâmetros, as pessoas escolhem entre o modal privado e o coletivo (ANDERSON, 2013).

Segundo o modelo, dirigir é preferível quando seu custo médio é menor do que o de usar o transporte coletivo. Dois parâmetros foram especialmente importantes para definir o uso do ônibus/trem: tempo de acesso às paradas ou estações e pessoas que usam rotas altamente congestionadas. Depreende-se do segundo fato mencionado que pessoas que utilizam o transporte coletivo têm um impacto marginal maior que a média na questão do congestionamento. Esta hipótese fundamenta-se pela relação entre densidade e fluxo feita por Walters (1961): quanto mais próximo o volume de tráfego estiver da capacidade da rua, maior será o impacto marginal de um novo motorista (ANDERSON, 2013).

O autor utilizou uma regressão descontínua para avaliar o nexos causal do transporte público sobre o trânsito. Supõe-se uma velocidade de fluxo livre de 60 milhas/h (aproximadamente 97 km/h) e o atraso é calculado pela fórmula: $[(60/\text{velocidade}) - 1]$. Por exemplo, uma velocidade de 40 milhas/h corresponde a um atraso de 0,5 min/milha. O congestionamento em Los Angeles estava, em média, em 0,34 minutos de atraso por veículo-milha-percorrida – durante o horário de pico e não pico antes da greve. Foram excluídos dados de fim de semana e feriados. Os horários de pico ficaram delimitados das 7h às 10h e das 14h às 20h (ANDERSON, 2013).

Algumas das características da região de estudo são: “a rodovia média tem 3,2 faixas de largura e carrega aproximadamente 4.400 veículos por hora (em cada direção). A velocidade média é de 52,8 milhas/h [aproximadamente 84 km/h], quando a greve não está em vigência e reduz-se para 48,3 milhas/h [aproximadamente 77 km/h] durante a greve (ANDERSON, 2013, p. 14, tradução nossa)⁴⁵”.

Durante a paralisação, o atraso médio aumentou em 0,19 min/milha ou 47% em relação aos níveis anteriores. Porém, a greve afetou de forma distinta as várias rodovias analisadas, por exemplo, ruas que não são paralelas a linhas de trem tiveram um aumento de atraso de apenas 0,13 min/milha ou 29%, enquanto a rodovia US-101 – que corre paralela à Linha Vermelha de metrô – aumenta seu atraso em 0,33 min/milha ou 90%. No caso de outras rodovias, que também correm paralelas à linhas de transporte público, os aumentos variaram entre 53 e 81% (ANDERSON, 2013).

Além disso, o horário de pico da manhã e da tarde comportaram-se de formas distintas. Os atrasos médios durante a manhã ficaram em 0,31 min/milha ou 67%, enquanto à tarde, em

⁴⁵ The average highway is 3.2 lanes wide and carries approximately 4,400 vehicles per hour (in each direction). Average speed is 52.8 mph when the strike is not in effect and drops to 48.3 mph during the strike.

0,16 min/milha ou 31%. Os maiores aumentos de congestionamento foram nas rodovias US-101 e I-105 durante o pico da manhã: 123 e 106% nos atrasos, respectivamente (ANDERSON, 2013).

O impacto do transporte público na redução do congestionamento no horário de pico foi calculado em dois cenários, utilizando dados da quantidade milhas-passageiro da malha viária analisada, salários médios e o aumento de congestionamento proposto pelo artigo. No primeiro cenário, o cálculo foi efetuado apenas nas rodovias, estimando um benefício de US\$ 1,2 bilhões por ano (preços de 2004). Porém, a literatura aponta que os motoristas valoram mais o tempo gasto nos congestionamentos que em condições de fluxo livre. Assim, utilizando o que o autor chama de “multiplicador de atraso” – de 1,8 – os benefícios poderiam chegar a US\$ 2,1 bilhões. No segundo cenário são incluídas as principais ruas arteriais, além das rodovias. Assim, os benefícios chegam a US\$ 2,3 bilhões utilizando uma valoração de tempo homogênea ou US\$ 4,1 bilhões utilizando o multiplicador de atraso (ANDERSON, 2013).

4.2 BICICLETA

Apesar de não existir uma tradição da literatura de relacionar o uso da bicicleta com o congestionamento, existem diversos estudos sobre as relações do ciclismo com: saúde, acidentes de trânsito, cadeias de produção industrial. Uma das principais mudanças que devem ocorrer, tanto no meio acadêmico quanto na sociedade em geral, é a visão da bicicleta, não apenas como lazer, mas como forma de transporte.

Algumas políticas que podem ser implementadas para que ocorra essa transformação são: ciclovias; sinalização preferencial, gerando viagens seguras e rápidas; medidas para acalmar o tráfego; áreas de estacionamento exclusivas; sistema de aluguel de bicicletas; legislação protegendo os ciclistas; isenção de impostos para bicicletas. A importância histórica do ciclismo é demonstrada pela frase do relatório “The British Cycling Economy”: “em 1949, pedalar alcançou um pico, com mais de um terço de todas as viagens no Reino Unido sendo realizadas em bicicleta, representando 15 bilhões de milhas (GROUS, 2011, p. 7, tradução nossa)⁴⁶”.

⁴⁶ By 1949, cycling had reached a peak, with over one-third of all journeys in the UK covered by bike, representing 15b miles.

No Reino Unido, o Produto Ciclístico Bruto⁴⁷ gira em torno de £ 2,9 bilhões, sendo 23 mil empregos derivados diretamente da economia da bicicleta, o que confere cerca de £ 230 por ciclista. Uma venda de 3,7 milhões de bicicletas anualmente gera uma receita de £ 1,62 bilhões, além de £ 853 milhões em acessórios por ano. O ciclista regular falta um dia a menos, por motivo de doença, que um não ciclista, poupando para a economia £ 128 milhões por ano em redução de absenteísmo (GROUS, 2011).

Apesar de uma mudança de cultura de transporte do carro para a bicicleta trazer inúmeros benefícios para a coletividade – tais como redução da poluição, congestionamento, redução nos gastos com saúde – individualmente, esta mudança apresenta certas desvantagens, como alto risco de se envolver em acidentes e aumento na inalação de poluição do ar. Boogaard *et al.* (2011) quantificam se os benefícios superam os riscos para a saúde havendo uma mudança do uso do carro para a bicicleta em viagens curtas (um cenário de 7,5 outro de 15 km), tanto para indivíduos como para a sociedade como um todo, utilizando dados dos deslocamentos na Holanda.

A razão de considerar-se no modelo a mudança destes modais deve-se ao fato do carro ser relacionado a inúmeros efeitos negativos – congestionamento, uso do espaço físico, redução de atividades ao ar livre, poluição do ar e barulho, enquanto a bicicleta é um meio de transporte mais sustentável e saudável. Aproximadamente metade dos deslocamentos de carro são menores que 7,5 km, fazendo com que a bicicleta seja uma alternativa exequível. O modelo supõe que meio milhão de pessoas (aproximadamente 12,5% do total de viagens curtas de carro) entre 18 e 64 anos modificaram seu modal de carro para bicicleta. Os efeitos levados em consideração foram poluição do ar, acidentes de trânsito e atividade física (BOOGAARD *et al.*, 2011).

Apesar da maior absorção de poluição por um ciclista durante o exercício que um motorista ao dirigir um carro, a mudança de modal reduziria os níveis totais de poluição. Em relação aos acidentes, existem 5,5 vezes mais mortes por quilômetro viajado em bicicleta que em carro, porém este dado leva em consideração o total de viagens, não apenas as viagens curtas, além disso o risco de acidentes não-fatais é maior entre os ciclistas. Uma mudança de modal não traria qualquer mudança em relação a quantidade de acidentes, porém, se motoristas jovens mudassem para a bicicleta, haveria uma redução nos acidentes. No mundo, os níveis de

⁴⁷ Contribuição bruta da bicicleta para a economia, no caso do relatório citado, do Reino Unido. Este cálculo leva em consideração diversos fatores, tais como: produção de peças de bicicletas, venda no varejo de bicicletas, componentes, acessórios e serviços de manutenção, empregos relacionados à economia da bicicleta, melhora na saúde individual decorrente do pedalar e redução das faltas no trabalho (GROUS, 2011).

inatividade física são altos, variando de 60 a 80% da população não fazendo a quantidade de exercícios mínima. Uma pessoa que pediasse para o trabalho em ritmo moderado por 7,5 km estaria realizando o mínimo de atividade física recomendada, reduzindo o risco de doenças cardiovasculares, diabetes, obesidade, câncer, osteoporose e depressão (BOOGAARD *et al.*, 2011).

O ganho estimado em expectativa de vida derivado da atividade física seria de 3 a 14 meses, enquanto que a perda em expectativa de vida seria de 0,8 a 40 dias para poluição do ar e 5 a 9 dias para acidentes. Assim, os benefícios do ciclismo seriam 9 vezes maiores que os riscos. Para a sociedade como um todo, a redução da poluição do ar e dos acidentes trariam ainda mais benefícios de longo prazo, ainda mais se viessem acompanhadas das devidas políticas de planejamento em mobilidade urbana e segurança de ciclistas e pedestres (BOOGAARD *et al.*, 2011)

Providelo e Sanches (2010) realizaram, em São Carlos e Rio Claro, Brasil, um estudo acerca da percepção dos indivíduos sobre a utilização da bicicleta como transporte, por meio de um questionário qualitativo, desenvolvendo uma escala de aceitabilidade da bicicleta. Além de ser objeto de diversas políticas públicas, como o Código de Trânsito Brasileiro e o Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta – Bicicleta Brasil, seus benefícios foram sintetizados:

O incentivo ao transporte cicloviário faz parte da estratégia atual de planejamento urbano e de transportes, que tem como um dos objetivos reverter os problemas urbanos causados pela priorização do uso do automóvel, como congestionamentos, degradação da qualidade do ar e aumento do consumo energético. Outras vantagens do uso da bicicleta como modo de transporte incluem: maior equidade (entre membros da sociedade) na provisão de acesso a atividades, devido aos custos reduzidos desse modo de transporte e a possibilidade de promover um estilo de vida fisicamente mais ativo para a população (PROVIDELO; SANCHEZ, 2010, p. 53).

O perfil geral dos entrevistados é de pessoas entre 13 e 17 anos, com ensino médio incompleto ou escolaridade inferior. A grande maioria possui e sabe andar de bicicleta. Apesar disso, utilizam-na “de vez em quando”, porém consideram-se “ciclistas experientes” (PROVIDELO; SANCHEZ, 2010).

As três frases que apresentaram maior nível de concordância foram que a bicicleta: “é um transporte barato”, “é bom para a saúde” e que “falta infraestrutura”. Assim, 51% dos entrevistados seriam indiferentes ao uso da bicicleta como modo de transporte, enquanto que favoráveis e não favoráveis seriam 17 e 31%, respectivamente. Apesar de uma minoria ser favorável ao uso da bicicleta, uma grande parte dos entrevistados poderia ser convencida de sua

utilização, caso a situação atual se alterasse, por exemplo, em relação à infraestrutura (PROVIDELO; SANCHEZ, 2010).

A construção de ciclovias é um tema polêmico, pois gera enorme oposição de motoristas, comerciantes e pessoas diretamente afetadas da região, argumentando que a retirada de espaço dos carros trará resultados caóticos para o trânsito, com o aumento dos engarrafamentos, enquanto cicloativistas defendem a medida como forma de proteção e incentivo à bicicleta.

Aaron Johnson e Gretchen Johnson (2014) defendem que as ciclovias não causam, necessariamente, congestionamento. Utilizando dados de Minneapolis, Estados Unidos, de antes e depois da criação de espaços exclusivos para as bicicletas na via pública, os autores criaram um índice de ocupação das vias, dividindo a quantidade de veículos que trafegam (volume) pela capacidade da rua. Assim, ruas que apresentam índices superiores a 0,75 têm sua capacidade saturada e a retirada de espaço dos carros agravará demasiadamente o congestionamento. Porém, em ruas mais “ociosas”, existiria margem para a criação de ciclovias sem que houvesse uma piora tão crítica do congestionamento.

Sælensminde (2004) utiliza uma análise custo benefício para políticas de incentivo a caminhar e pedalar em detrimento do carro. Dados das cidades de Hokksund, Hamar e Trondheim, Noruega, foram utilizados. Estas políticas – faixa de segurança para travessia de ruas, estacionamentos seguros para bicicletas e ciclovias – visam a mudança do modal carro para meios alternativos. Os componentes incluídos na análise foram: acidentes de tráfego, tempo de viagem, insegurança, melhora na saúde e redução das faltas no trabalho, custos de estacionamentos, redução dos custos de externalidades, como poluição, barulho e congestionamento.

Utilizando uma taxa de desconto de 5% ao ano e um horizonte de 25 anos, os investimentos trariam um benefício social de 3 a 14 vezes maior que os custos. Os dois principais componentes da análise foram a melhora na saúde e o aumento de segurança para os ciclistas. Além disso, foram calculados o que o autor chama de “custos de barreira”, custos que o tráfego motorizado impõe a pessoas que gostariam de caminhar/pedalar, mas não o fazem, por causa de insegurança e outras inconveniências (SÆLENSMINDE, 2004).

Utilizando a metodologia de Arnott e Small (1994) para elucidar o Paradoxo Pigou-Knight-Downs com uma rota de carros congestionável e outra não, pode-se formalizar um modelo simples bimodal carro-bicicleta. Supondo que os benefícios do ciclismo superam seus riscos (BOOGAARD *et al.*, 2011), a única variável de escolha de modo de deslocamento será o tempo gasto na viagem – assim os agentes podem ser tanto motoristas como ciclistas. A

utilização ou não da bicicleta dependerá da capacidade da rua de acomodar o fluxo de veículos automotores.

Supõe-se que cem pessoas, que valoram igualmente o tempo - desloquem-se 5 km entre uma origem – casa – e um destino – trabalho – por duas possíveis rotas. A primeira rota é congestionável e é utilizada pelos carros. Tendo 60 km/h como velocidade de livre fluxo, o tempo de viagem aumenta linearmente de acordo com a razão entre fluxo dos carros, F_1 , e a capacidade da rua, C_1 .

A segunda rota – uma ciclovia que oferece total segurança em relação a acidentes com os carros – é utilizada pela bicicleta e não é congestionável. Admite-se uma velocidade média de 20 km/h deste modal. Os tempos de deslocamento da rota congestionável, T_1 , da bicicleta, T_2 , e seus possíveis equilíbrios são:

Figura 7 – Equações e resultados do modelo bimodal carro e bicicleta

Equações:

$$T_1 = 5 + 5 (F_1/C_1)$$

$$T_2 = 15$$

$$F_1 + F_2 = 100$$

Caso 1: $C_1 > 50$

$$C_1 = 100 \quad F_1 = 100 \quad F_2 = 0 \quad T_1 = 10 \text{ min} \quad T_2 = 0$$

Caso 2: $C_1 = 50$

$$C_1 = 50 \quad F_1 = 100 \quad F_2 = 0 \quad T_1 = 15 \text{ min} \quad T_2 = 0$$

Caso 3: $C_1 < 50$

$$C_1 = 20 \quad F_1 = 40 \quad F_2 = 60 \quad T_1 = T_2 = 15 \text{ min}$$

$$C_1 = 40 \quad F_1 = 80 \quad F_2 = 20 \quad T_1 = T_2 = 15 \text{ min}$$

Legenda:

T_1 : tempo de viagem do modal carro;

T_2 : tempo de viagem do modal bicicleta;

C_1 : capacidade da rua;

F_1 : usuários de carro;

F_2 : usuários de bicicleta;

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Arnott e Small (1994)

Caso a capacidade da rua seja maior que a metade do fluxo total (Caso 1), todos optarão pela utilização do carro, pois seus tempos de deslocamento serão menores que em bicicleta.

Expansões na capacidade da rua para além de metade do fluxo irão melhorar os tempos de viagem de todos.

Caso a capacidade da rua seja igual à metade do fluxo total (Caso 2), todas as pessoas optarão pelo uso do carro e seus tempos de viagem serão iguais a 15 min. Como o tempo de deslocamento fica igual ao da bicicleta, poder-se-ia pensar que os dois modais seriam igualmente preferíveis, porém, se uma pessoa decidir utilizar a bicicleta, o tempo de todos os motoristas cairá para 14,9 min, fazendo com que, novamente, todos decidam dirigir.

Caso a capacidade da rua seja menor que a metade do fluxo total (Caso 3), as pessoas se dividirão entre dirigir e pedalar até que o tempo dos dois modais seja igual a 15 min. Quanto menor a capacidade da rua, maior será o uso da bicicleta, ou seja, o congestionamento veicular proporciona um incentivo à utilização da bicicleta.

É importante perceber que nesta situação, se a ciclovia não existisse, ou seja, se fosse apenas possível utilizar o modal carro ($F_1 = 100$), todos ficariam em uma situação pior, pois os tempos de viagem seriam superiores a 15 min. Por exemplo, se $C_1 = 40$ e todas as pessoas não tivessem outra escolha senão dirigir seus carros, os tempos de viagem seriam de 17,5 min. Assim, a bicicleta atua positivamente combatendo o congestionamento dos carros e contribuindo para uma melhora nos tempos de deslocamento de todas as pessoas.

Vale ainda ressaltar que está-se supondo que a rua é uma via arterial (velocidade máxima de 60 km/h), caso a rua fosse uma via coletora (velocidade máxima de 40 km/h) ou uma via local (velocidade máxima de 30 km/h), existiriam ainda mais incentivos para a bicicleta ser utilizada como meio de transporte dada uma mesma capacidade da via arterial. Por exemplo, dada uma velocidade de fluxo livre de 40 km/h, caso a capacidade da rua (C_1) seja igual a 40, 60 pessoas optarão por dirigir e 40 pedalarão, um equilíbrio com mais ciclistas que o encontrado no exemplo original (20 pessoas pedalando).

No próximo capítulo serão discutidas as principais conclusões do trabalho a partir dos modelos teóricos e exemplos práticos de cada uma das políticas propostas: a expansão da capacidade viária, a cobrança do congestionamento e o incentivo ao transporte público e à bicicleta. Por fim, será exposto um breve resumo de cada medida, assim como uma sugestão para o desenvolvimento de pesquisas posteriores.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou alguns dos principais modelos teóricos sobre o congestionamento urbano. Pigou (1920) e Knight (1924) iniciaram o debate sobre o conceito de externalidade e as políticas necessárias para corrigi-las. Downs (1962) foi o primeiro a formalizar um modelo de congestionamento visto como uma externalidade e perceber que o aumento da capacidade viária não era capaz de solucionar o problema do congestionamento, pois o trânsito enquanto mercado tenderia a um equilíbrio que não é socialmente ótimo. Após, Arnott e Small (1994) e Venable (1999) viriam a complementar o debate com modelos que trouxeram novos elementos, tais como mais de uma opção de rota e motoristas percorrendo distâncias diferentes.

Lee, Lee e Lee (2006) estudaram a destruição de uma importante avenida expressa em Seul e concluem que seus impactos no trânsito foram mínimos, permanecendo quase constantes as velocidades médias da região e o volume de tráfego. Durant e Turner (2011) estudaram a expansão da capacidade viária nos Estados Unidos e perceberam que o congestionamento evoluiu proporcionalmente ao aumento das vias. Apesar da formulação de uma “lei fundamental sobre o congestionamento rodoviário” (DURANT; TURNER, 2011), a política de comprometimento do espaço urbano para a construção de enormes avenidas, visando a garantir a fluidez dos carros, ainda é adotada pela maioria dos países do mundo, o que tem prejudicado enormemente a vida nas grandes cidades, por causa do aumento da poluição, barulho e acidentes.

A partir dos estudos teóricos e exemplos práticos sobre expansão viária, é possível concluir preliminarmente sobre esta política que ela pode contribuir positivamente para o desenvolvimento urbano em geral, por exemplo, para criar ou melhorar o acesso de um ponto distante da cidade para o centro. Entretanto, tal medida contribuiria para agravar o processo de espraiamento urbano e de dependência do automóvel, além do provável prejuízo causado aos usuários do transporte público, conforme exposto pelo paradoxo Downs-Thomson.

Em relação ao combate ao congestionamento, esta política tem uma eficiência limitada. Além de ser altamente dispendiosa, a expansão viária gera um incentivo para o aumento no número de viagens. Caso a elasticidade da demanda por viagens seja muito próxima ao valor unitário, conforme verificado em Durant e Turner (2011), o congestionamento retornaria ao nível anterior à expansão, ou seja, esta política não traria nenhum benefício em termos de redução de tempo de deslocamento. Ademais, em casos extremos, a criação de uma rota mais curta entre dois pontos pode fazer com que haja um aumento no congestionamento, ou seja, um

aumento no tempo de deslocamento, caso a malha viária assemelhe-se ao exposto no paradoxo Braess.

Walters (1961) e Vickrey (1969) realizaram estudos teóricos pioneiros, enquanto Smeed (1964) foi o primeiro a propôr a política de apreçamento da rua em termos práticos. Os modelos teóricos feitos para que os motoristas internalizem a totalidade de seus custos de congestionamento desenvolveu-se com Arnott, Lindsey e Palma (1990) e Gronau (1999).

Apesar da tradição da literatura econômica de prescrever a introdução de uma taxa pigouviana para a correção de externalidades, no trânsito esta política enfrenta uma forte resistência da maioria da população. Schade e Schlag (2003), Verhoef *et al.* (1997), Lave (1994) e Glazer e Niskanen (2000) estudam o porquê da diminuta aceitabilidade desta política e como fazer para deixá-la mais aprovável.

A introdução do primeiro sistema de cobrança de congestionamento no mundo em Singapura (1975) motivou a efetivação de esquemas semelhantes em diversos outros países. Londres (2003) e Estocolmo (2006), assim como Milão⁴⁸ (2012), Itália, possuem esquemas completos de cobrança de congestionamento. Ainda, propostas de implementação de sistemas de apreçamento do congestionamento estão sendo estudadas em São Francisco (Estados Unidos), São Paulo (Brasil) e Pequim (China).

Além disso, diversos locais implementaram a cobrança de congestionamento em ruas, rodovias, túneis e pontes isoladamente, e não em esquemas de cobrança completos. Os exemplos citados no presente trabalho foram Seul, Durham e diversos locais nos Estados Unidos. No entanto esta é uma política muito utilizada em diversos países, especialmente, da Ásia e Europa.

Conforme a literatura, a cobrança pelo congestionamento é a política mais eficaz para combatê-lo, pois o equilíbrio alcançado no trânsito é socialmente ótimo. Além disso, o apreçamento da rua traz outros benefícios:

O apreçamento do congestionamento tem uma grande vantagem sobre outras políticas de controle de demanda por transporte, pois ela encoraja os viajantes a ajustarem seu comportamento quanto a: número de viagens, destino, modal de transporte, período do dia, rota, etc., assim como suas decisões de longo prazo sobre onde morar, trabalhar e estabelecer um negócio (LINDSEY; PALMA, 2011, p. 1378, tradução nossa)⁴⁹.

⁴⁸ A Área C, esquema de cobrança de congestionamento de Milão, não foi discutida neste trabalho devido ao sistema ser recente e carecer de estudos.

⁴⁹ Congestion pricing has a big advantage over other transportation demand management policies in that it encourages travelers to adjust all aspects of their behavior: number of trips, destination, mode of transport, time of day, route, and so on, as well as their long-run decision on where to live, work and set up business.

A receita gerada pela taxa de congestionamento representa um benefício líquido para a sociedade. Apesar da maior aceitabilidade de uso da receita ser para criar, expandir e melhorar as ruas ou reduzir os impostos sobre a propriedade veicular, um uso mais eficiente seria o melhor provisionamento de transporte público e infraestrutura para pedestres e bicicletas, modais que contribuem para a redução dos congestionamentos, da dependência do carro e do espraiamento urbano.

No quarto capítulo discutiu-se a importância de políticas de incentivo a meios alternativos de transporte. Anderson (2013) estudou o impacto do transporte coletivo no congestionamento utilizando dados de uma greve na área metropolitana de Los Angeles. Apesar da participação muito pequena (cerca de 2%) do transporte público no total de viagens em horário de pico, a falta deste serviço durante a greve fez com que o congestionamento aumentasse em mais de 100% em algumas rodovias, evidenciando um benefício de bilhões de dólares que, anualmente, o transporte coletivo traz na forma de redução do engarrafamento.

O transporte coletivo deve ser incentivado por ser um modal que não apenas não contribui para o congestionamento, como, pelo contrário, ajuda na sua redução. Além disso, este meio faz um uso mais eficiente do território urbano e tem um menor impacto ambiental que o carro, podendo competir com este em termos de conforto, velocidade e segurança.

O crescente debate sobre os problemas associados ao uso do carro fizeram com que a bicicleta novamente voltasse a ser considerada como um meio de transporte viável para o espaço urbano. Os benefícios e os riscos do uso da bicicleta são discutidos por Boogaard *et al.* (2011). Providelo e Sanches (2010) discutem a aceitabilidade do uso da bicicleta utilizando um questionário em duas cidades brasileiras. Johnson e Johnson (2014) criam um índice de ocupação das vias para demonstrar que a criação de ciclovias não causa, necessariamente, aumento de congestionamento. Por fim, é proposto um modelo de escolha bimodal carro e bicicleta baseado na metodologia de Arnott e Small (1994). As pessoas optam por pedalar ou dirigir dependendo unicamente do tempo de viagem de cada modal.

O incentivo à bicicleta deve ser dado para que trajetos curtos possam ser realizados de forma segura e rápida. Há ainda espaço para utilização da bicicleta como meio complementar ao transporte coletivo, realizando o trajeto de origem à parada de ônibus/estação de trem e destas ao local de destino.

Embora cada uma das políticas possa ser estudada e implementada separadamente, é importante, senão necessário, que o apreçamento do congestionamento e o incentivo ao transporte público e à bicicleta sejam realizados conjuntamente. Assim, cada modal pode contribuir da melhor forma para um sistema de transporte urbano mais justo e eficiente.

O carro deve ser utilizado por aqueles que mais valorizem o tempo de uma viagem ou ainda aqueles não possuem acesso ao transporte público ou meios de utilizar uma bicicleta. Por ser um modal altamente poluidor e gerador de diversos problemas, seu uso deve ser restrito, principalmente, por meio de esquemas de cobrança de congestionamento, além de outras políticas, como oferta reduzida de vagas públicas e gratuitas de estacionamento, restrição de tráfego em certos dias, horários e locais.

Este trabalho buscou realizar uma análise das principais medidas de combate ao congestionamento estudadas pela literatura, utilizando modelos teóricos e exemplos práticos, para ampliar o debate acerca das alternativas aos problemas da mobilidade urbana. Contribuindo, assim, para fomentar políticas voltadas a sistemas de transporte urbano economicamente eficientes e que enfatizem o bem estar da sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M. L. Subways, strikes, and slowdowns: the impacts of public transport on traffic congestion. *Nber Working Paper Series*, n. 18757, p. 1-46, 2013.
- ARNOTT, R; KRAUS, M. *The new palgrave dictionary of economics*. 2nd ed. Londres: Macmillan, 2008.
- ARNOTT, R; SMALL, K. The economics of traffic congestion. *American Scientist*, n. 82, p. 446-455, 1994.
- ARNOTT, R; LINDSEY, R; PALMA, A de. Economics of a bottleneck. *Journal of Urban Economics*, n. 27, p. 111-130, 1990.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público*. 1999. Disponível em: <www.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2014.
- BEAUDOIN, J; LIN, C. *Second-best public transit investment and the implications for traffic congestion*. 2013. Disponível em: <agecon.ucdavis.edu/research/seminars/files/2013/Beaudoin---JMP.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2014.
- BEESELEY, M. E; ROTH, G. J. Restraint of traffic in congested areas. *Town Planning Review*, v. 33, n. 3, p. 184-196, 1962.
- BOOGAARD, J. J. de; *et al.* Do the health benefits of cycling outweigh the risks? *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 16, n. 12, p. 4731-4744, 2011.
- BOUNDY, R. G; DAVIS, S. C; DIEGEL, S. W. *Transportation energy data book: edition 30*. 2011. Disponível em: <<http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub31202.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2014.
- BRAESS, D. Über ein paradoxen der verkehrsplanung. *Unternehmensforschung*, n. 12, p. 258-268, 1968.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, 3 janeiro 2012.
- BRINCO, R. *Transporte urbano e dependência do automóvel*. Porto Alegre: FEE, 2005.
- BURDEN, D; LAGERWEY, P. *Road diets - fixing the big roads*. 1999. Disponível em: <<http://www.walkable.org/assets/downloads/roaddiets.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2013.
- CONNECT NORWALK. *TWLTL*. 2012. Disponível: <<http://www.connectnorwalk.com/wp-content/uploads/morehoursenewwestaverendering1.jpg>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

DASH, D. K. *India loses Rs 60,000 crore due to traffic congestion*. 2012. Disponível em: <<http://timesofindia.indiatimes.com/india/India-loses-Rs-60000-crore-due-to-traffic-congestion-Study/articleshow/13678560.cms>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DE PASADENA. *Road diet frequently asked questions*. 2014. Disponível em: <http://www.ci.pasadena.ca.us/Transportation/Road_Diet_FAQs/>. Acesso em 22 abr. 2014.

DECORLA-SOUZA, P. Recent U.S. experience: pilot projects. *Research in Transportation Economics*, v. 9, p. 283-308, 2004.

DOWNS, A. The law of peak-hour expressway congestion. *Traffic Quarterly*, n. 16, p. 393-409, 1962.

DURANTON, G; TURNER, M. The fundamental law of road congestion: evidence from US cities. *NBER Working Paper Series*, n. 15376, p. 1-47, 2009.

EISELE, B; LOMAX, T; SCHRANK, D. *Urban mobility report*. 2012. Disponível em: <<http://d2dtl5nnlpr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/mobility-report-2012.pdf>>. Acesso em: 11 de jun. 2014.

ELIASSON, J. Lessons from the Stockholm congestion charging trial. *Transport Policy*, v. 15, p. 395-404, 2008.

ELIASSON, J. A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 43, p. 468-480, 2009.

ELIASSON, J. *et al.* The Stockholm congestion – charging trial 2006: overview of effects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 43, p. 240-250, 2009.

FORWARD, S; SCHUITEMA, G; STEG, L. Explaining differences in acceptability before and acceptance after the implementation of a congestion charge in Stockholm. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 44, p. 99-109, 2009.

GLAESER, E. L; KAHN, M. E. *Sprawl and urban growth*. 2003. Disponível em: <<http://people.missouristate.edu/davidmitchell/Urban/Sprawl%20and%20Urban%20Growth.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2014.

GLAZER, A; NISKANEN, E. Which consumers benefit from congestion tolls. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 34, n. 1, p. 43-54, 2000.

GOH, M. Congestion management and electronic road pricing in Singapore. *Journal of Transportation Geography*, v. 10, p. 29-38, 2002.

GOLDEMBERG, J. O problema dos transportes do ponto de vista energético. Brasília: ANPEC, 1981, p. 371-394.

GRANIER, C. Abaixo o carro... Viva a bicicleta! In: LUDD, N. (Org). *Apocalypse motorizado: a tirania do automóvel em um planeta poluído*. São Paulo: Conrad, 2005, p. 119-121.

GRONAU, R. The economics of a single toll road in a toll-free environment. *Journal of Transportation Economics and Policy*, v. 33, n. 2, p. 163-172, 1999.

GROUS, A. *The british cycling economy - 'gross cycling product' report*. 2011. Disponível em: <https://corporate.sky.com/documents/pdf/press_releases/2011/the_british_cycling_economy>. Acesso em: 08 abr. 2014.

GUTIÉRREZ, L; HIDALGO, D. BRT and BHLS around the world: explosive growth, large positive impacts and many issues outstanding. *Research in Transportation Economics*, v. 39, p. 8-13, 2013.

JOHNSON, A; JOHNSON, G. *Bike lanes don't cause traffic jams if you're smart about where you build them*. 2014. Disponível em: <<http://fivethirtyeight.com/features/bike-lanes-dont-cause-traffic-jams-if-youre-smart-about-where-you-build-them/>>. Acesso em: 23 mai. 2014.

KNIGHT, F. Some fallacies in the interpretation of social cost. *Quarterly Journal of Economics*, v. 38, p. 582-606, 1924.

KOH, T. H; LI, W. W; SANTOS, G. Transport policies in Singapore. *Research in Transportation Economics*, v. 9, p. 209-235, 2004.

LAVE, C. The demand curve under road pricing and the problem of political feasibility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 28, n. 2, p. 83-91, 1994.

LEE, S; LEE, S; LEE, Y. I. Innovative public transport oriented policies in Seoul. *Transportation*, v. 33, n. 2, p. 189-204, 2006.

LINDSEY, R; PALMA, A. de. Traffic congestion pricing methodologies and technologies. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 19, p. 1377-1399, 2011.

LITMAN, T. *Generated traffic and induced travel - implications for transport planning*. 2014. Disponível em: <www.vtpi.org/gentraf.pdf>. Acesso em: 01 de mai. 2014.

MAGS, A. *Os desafios de pedalar em Porto Alegre*. 2014. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2014/03/os-desafios-de-pedalar-em-porto-alegre-4460223.html>>. Acesso em: 30 mar. 2014.

OCDE. *Transport infrastructure investment and maintenance spending*. 2014. Disponível em: <<http://stats.oecd.org/Index.aspx?QueryId=54695>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

PIGOU, A. C. *The economics of welfare*. Londres: Macmillan, 1920.

POPA, B. *The longest traffic jam in history – 12 days, 62-mile-long*. 2012. Disponível em: <<http://www.autoevolution.com/news/the-longest-traffic-jam-in-history-12-days-62-mile-long-47237.html>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

- PRICE, G. *A local politician's guide to urban transportation*. Disponível em: <<http://www.vtpi.org/localpol.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2014.
- PROVIDELO, J. K; SANCHES, S. da P. Percepções de indivíduos acerca do uso da bicicleta como modo de transporte. *Transportes*, v. 18, n. 2, p. 53-61, 2010.
- RAPOPORT, A. *et al.* Choice of routes in congested traffic networks: experimental tests of the Braess Paradox. *Games and Economic Behavior*, v. 65, n. 2, p. 538-571, 2009.
- ROUWENDAL, J; VERHOEF, E. T. Basic economic principles of road pricing: from theory to applications. *Transportation Policy*, v. 13, p. 106-114, 2006.
- SANTOS, G. Urban road pricing in the U.K. *Research in Transportation Economics*, v. 9, p. 251-282, 2004.
- SÆLENSMINDE, K. A cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects, and external costs of motorized traffic. *Transport Research Part A: Policy and Practice*, v. 38, p. 593-606, 2004.
- SCHADE, J; SCHLAG, B. Acceptability of urban transport pricing strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 6, p. 45-61, 2003.
- SMEED, R. J. *Road pricing: the economic and technical possibilities*. Londres: HMSO, 1964.
- THE STANDING INVITATION. *Solving traffic problems with dynamite*. 2011. Disponível em: <<http://thestandinginvitation.wordpress.com/tag/game-theory/>>. Acesso em: 04 jun. 2014.
- THOMSON, J. M. Reflections on the economics of traffic congestion. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 32, n. 1, p. 93-112, 1998.
- TRANSPORT LEARNING. *Congestion and road pricing*. 2006. Disponível em: <transportlearning.net/competence/docs/pricing.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2014.
- VENABLES, A. J. Road transport improvements and network congestion. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 33, n. 3, p. 319-328, 1999.
- VERHOEF, E. T. *et al.* The social feasibility of road pricing: a case study for the Randstad area. *Journal of Transportation Economics and Policy*, v. 31, n. 3, p. 255-276, 1997.
- VICKREY, W. S. Congestion theory and transport investment. *The American Economic Review*, v. 59, n. 2, p. 251-260, 1969.
- WALTERS, A. A. Track costs and motor taxation. *The Journal of Industrial Economics*, v. 2, n. 2, p. 135-146, 1954.
- WALTERS, A. A. The theory and measurement of private and social cost of highway congestion. *Econometrica*, v. 29, n. 4, p. 676-699, 1961.