

ECONOMIA DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Herlander Costa Alegre da Gama Afonso

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientador: Romulo Dante Orrico Filho

Rio de Janeiro Dezembro de 2013

i

ECONOMIA DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Herlander Costa Alegre da Gama Afonso

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Examinada por:	
	Prof. Romulo Dante Orrico Filho, D. Ing.
	Prof. Hostilio Xavier Ratton Neto, Dr.
	Prof. Marcos do Couto Bezerra Cavalcanti, D.Sc.
	Prof. ^a Mariana Rodrigues de Almeida, D.Sc.
	Prof. Enilson Medeiros dos Santos, D.Sc.
	Prof. Cezar Augusto Miranda Guedes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL DEZEMBRO DE 2013 Afonso, Herlander Costa Alegre da Gama

Economia de Redes de Transporte Público Urbano/Herlander Costa Alegre da Gama Afonso – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XV, 181 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Romulo Dante Orrico Filho

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 158-174.

1. Economia de redes. 2. Eficiência. 3. Transporte Público Urbano. 4. Ônibus. I. Orrico Filho, Romulo Dante. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

À Julieta Pensava da Costa Alegre, (*in memoriam*) Exemplo de luta, de coragem e visão e de amor

"A dúvida é o princípio da sabedoria."

Aristóteles

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, pela oportunidade e recursos humanos excelentes e também materiais disponibilizados para realização do Curso de Doutorado.

Ao professor Romulo Dante Orrico Filho, pela sabedoria com que conduziu a orientação dos trabalhos, pela visão e contribuição dadas e suporte durante a pesquisa. Agradeço também pela amizade.

Ao professor Hostilio Xavier Ratton Neto, pela contribuição valiosa, objetiva, pela experiência para a formação e pela amizade.

Aos professores Enilson Medeiros dos Santos e Marcio Peixoto dos Santos pelas contribuições valiosas dadas quando do *qualifying*.

Aos professores Enilson Medeiros dos Santos, Mariana Almeida, Cezar Miranda Guedes e Marcos do Couto Cavalcanti, por terem gentilmente aceito o convite para participar da banca examinadora e brilhante suas contribuições. Novamente, é grande o reconhecimento e agradecimento á professora Mariana Rodrigues de Almeida pela ajuda em termos de ferramenta computacional.

Ao corpo docente do PET, pela convivência e experiências compartilhadas no decorrer do curso, com destaque para a professora Milena Bodmer, pela experiência profissional e amizade.

Aos colegas e amigos de pesquisa Marcelino Aurélio Vieira (PET), Duban Alejandro Ayure (PET) e Thiago Graça Ramos (UFF) pelo suporte técnico agregado aos trabalhos da tese.

Aos colegas e amigos pelos estímulos motivacionais dispensados e solidariedades, com destaques para José André, Raul Lisboa, Ronald Colman, Warner Vonk, Luiz Claudio, José Júlio Prata, Narciso Ribeiro, Narciso dos santos, Flavia Souza, Adriana Nascente e Matheus.

A todo o corpo técnico do PET, em especial à Maria Lúcia, Jane Corrêa, Maria Helena, Rinaldo, João Carlos pelo suporte em questões administrativas, convivência, amizades e força em momentos difíceis.

A CAPES e CNPQ pelas bolsas de estudos e de auxílio a matérias e equipamentos, condições *sene qua nom* para que esta tese tornasse uma realidade.

Ao meu pai pela coragem e força dada, e aos meus queridos irmãos por acreditarem em mim e pelos apoios dados.

A minha esposa, Ana Paula, pela compreensão, cumplicidade e suporte necessários ao longo do desenvolvimento desta tese. Às minhas filhas Eduarda e Juliana pela felicidade, alegria e graciosidade de sempre.

Não posso deixar de agradecer aos meus sogros pelo suporte e compreensão dispensados; e a todos que de alguma forma contribuíram para esse feito.

Por fim, e fundamentalmente, agradeço a Deus tudo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc)

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários

para a obtenção do grau de Doutor em ciências (D.Sc.)

ECONOMIA DE REDES DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO

Herlander Costa Alegre da Gama Afonso

Dezembro/2013

Orientador: Romulo Dante Orrico Filho

Programa: Engenharia de Transportes

A economia de redes de transporte urbano traz uma importante contribuição

para o conhecimento científico relacionado aos transportes e os aspectos econômicos

inerentes a este segmento. No arcabouço teórico e atualizado, a investigação

aprofundou-se no entendimento da eficiência econômica de redes de transportes

públicos urbanos, especialmente por ônibus, e propõe novas abordagens a partir dos

pressupostos sobre a existência da relação entre a configuração de rede e a eficiência

econômica, usando-se para tal, recursos computacionais como a Análise Envoltória de

Dados e PHSTATS2. Recorreu-se a teoria dos grafos para abordagem da dimensão

espacial. Foi proposto um procedimento relacionado à medida topológica, e com o

auxílio do Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM) e de conceitos de

elasticidades apresentou-se um índice que reflete a sensibilidade rede da demanda

relativa ao indicador da conectividade. Também foram explorados os conceitos de

economias de escala e da densidade. Exercícios-teste feitos com as redes de empresas

de transportes urbanos por ônibus da cidade de San José da Costa Rica mostraram que

o procedimento é bastante robusto, pois reduziu significativamente o número de redes

consideradas eficientes. Concluiu-se também que as medidas de indicadores

topológicos da rede afetam a eficiência econômica.

viii

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the

requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ECONOMICS OF PUBLIC URBAN TRANSPORTATION NETWORK

Herlander Costa Alegre da Gama Afonso

December/2013

Advisor: Romulo Dante Orrico Filho

Department: Transportation Engineering

This research on the economy of urban public transport network brings an

important contribution to scientific knowledge to transportation and of economics

issues inherent to this segment. The broad theorical framework and up-to-date

deepened the understanding of economic efficiency of urban public transport networks,

especially by bus, and proposes new approaches from the assumptions about the

relationship between network configuration and economic efficiency, using for such

computing resources such as Data Envelopment Analysis and PHStats2. The graph

theory was used in the spatial dimension approach. A procedure for the topological

measure was proposed and based on the Capital Asset Pricing Model (CAPM) and the

concept of elasticity, presented an index which reflects Network sensitivity of demand

on the connectivity indicator. Also, the concepts of economies of scale and density

were explored. Exercises test application made with the networks of urban transport

companies by bus from San José, Costa Rica showed that the procedure is very robust,

since significantly reduced the number of networks classified as efficient. Also, it was

concluded that that topological indicators networks affect economic efficiency.

ix

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.		1
	1.1 Considerações	INICIAIS	1
	-	DA PESQUISA E JUSTIFICATIVAS	
		ESTA TESE	
		SE	
	1.5 ESTRUTURA DO D	OCUMENTO	8
	1.6 RESUMO DO MÉTO	DDO ADOTADO PARA A PESQUISA	9
	1.7 CONTRIBUIÇÃO D	A TESE PROPOSTA	10
2.	REDE DE SERV	TIÇOS E ECONOMIA DE REDES	12
,	2.1 Considerações	INICIAIS	12
2	2.2 FUNDAMENTOS D.	A REDE, SISTEMA E A CONFIGURAÇÃO DA REDE DE TPU	12
	2.2.1 A abordage	m da teoria de grafos	16
	•	ıras urbanas, configuração de redes serviços e o TPU	
		DE E ECONOMIA DE REDE DE TPU	
		de escala e de escopo no âmbito da economia de rede de serviços	
	2.3.2 Economias	da aglomeração e da densidade no âmbito da economia de rede	55
3.	A EFICIÊNCIA	DE REDE E REDES DE TPU	64
	3.1 Considerações	INICIAIS	64
	3.2 ABORDAGEM SOB	RE MEDIDA DA EFICIÊNCIA EM ECONOMIA DE REDE DE TPU	64
-		EFICIÊNCIA NO CONTEXTO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	
	3.4 ABORDAGEM DA	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS NA REDE DE TPU	79
	3.5 Considerações	FINAIS DESTE CAPÍTULO	86
4.	METRÓPOLES	E A MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL	87
4	4.1 Considerações	Iniciais	87
		A METROPOLIZAÇÃO, URBANIZAÇÃO E SUA GESTÃO	
		ANA SUSTENTÁVEL E CENTRALIDADES	
	4.3.1 Aspectos do	ı motorização em metrópoles e megacidades	91
		nivestimentos em infraestrutura de transportes	
		a Centralidade no contexto da mobilidade urbana	
4	4.4 INICIATIVAS PRÓ-	MOBILIDADE SUSTENTÁVEL EM METRÓPOLES	104
	4.4.1 Bus Rapid	Transit: caso do TransMilénio e outras tendências	104
	-	Service - Copacabana	
		Metropolitano de Transportes	
	4.4.4 Resenha soi 110	bre política de transporte e mobilidade em San Jose, República da C	Costa Rica
4	4.5 Considerações	FINAIS DESTE CAPÍTULO	112
5.	MÉTODOS, BA	SE DE DADOS E A APLICAÇÃO	114
	5.1 Considerações	INICIAIS E ROTEIRO METODOLÓGICO	114
		CEDIMENTO METODOLÓGICO DA TESE	
		stágio – Formulação do modelo conceitual de produto de TPU	
		rtágio – inserção das características morfológicas de rede e a propo	
		$^{\circ}U$	
		tágio – Formulação da DEA	
		ígio – implementação e discussão de resultados de DMUs da rede d	
		DE OG DEGU TIDOG DI ETTO ÂVOU DE TRUI	
	5.3 CONCLUSÕES SOB	re os resultados da eficiência de TPU	144

5.3.1	Quinto estágio - diferentes formas de exploração de economia de red	e em TPU da GAMS.
	145 Discussão de resultados sobre as formas de exploração de economias s da GAMSJ	•
	ICLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DA TESE	
	ONCLUSÕES DA TESE	
	ERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
APÊNDIO	CE	181

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1:	Grafo não orientado (Rede)	17
FIGURA 2.2:	Grafo orientado (Caminho)	17
FIGURA 3.1:	Estrutura conceitual da medida do desempenho da rede	68
FIGURA 4.1:	Esquema da Rede Integrada de Transporte	105
FIGURA 4.2:	Rede Iintegrada de Transporte – Curitiba	106
FIGURA 4.3:	Bogotá antes do BRT	107
FIGURA 4.4:	Bogotá depois do BRT	107
FIGURA 4.5:	Av. Na. Sa de Copacabana (Antes do BRS)	108
FIGURA 4.6:	Av. N ^a . S ^a de Copacabana (depois do BRS)	108
FIGURA 4.7:	Áreas dos consórcios de transportes do Rio de Janeiro	109
FIGURA 4.8:	Área de restrições do acesso de veículos por placa na GAMSJ	112
FIGURA 4.9:	San Jose e seus municípios	112
FIGURA 5.1:	Esquema metodológico da Tese	128
FIGURA 5.2:	Fronteiras de Eficiências em DEA	134
FIGURA 5.3a:	Score CCR das DMUS _ Ensaio 1	139
FIGURA 5.3b:	Score CCR das DMUS _ Ensaio 2	139
FIGURA 5.4a:	Score CCR das DMUS _ Ensaio 1	140
FIGURA 5.4b:	Score CCR das DMUS _ Ensaio 2	140
FIGURA 5.5a:	Score das DMUS _ Conectividade Alfa	141
FIGURA 5.5b:	Score das DMUS _ Conectividade Gama	142
FIGURA 5.6:	Configurações de malhas selecionadas (E3, E16 e E19)	142
FIGURA 5.7a:	Score de Eficiência de Escala _ Conectividade Alfa	143
FIGURA 5.7b:	Score de Eficiência de Escala _ Conectividade Gama	143
FIGURA 5.7c:	Score de Eficiência de Escala, com desagregação do índice morfológico	145

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1:	Peculiaridades da matriz de rede x sistema			
TABELA 2.2:	Resumo de alguns estudos topológicos de redes sociais			
TABELA 2.3:	Resumo de estudos sobre modelos de otimização de serviço de rede de transporte			
TABELA 2.4:	Diferenciação de produtos e serviços de transporte coletivo por ônibus e TMC			
TABELA 3.1:	Fatores que afetam o desempenho da rede de transporte			
TABELA 3.2	Resumo das características de produtos usadas na especificação de modelos	71		
TABELA 3.3	Levantamento bibliográfico sobre a eficiência de sistemas de Transporte Público	80		
TABELA 3.4	Variáveis Associadas aos modelos complementares	83		
TABELA 4.1	Disponibilidade da rede rodoviária total (km), em países selecionados	95		
TABELA 4.2	Distribuição dos deslocamentos segundo os motivos e tipo de veículos no RJ	103		
TABELA 4.3	Padrões de deslocamentos na RMRJ	104		
TABELA 5.1	Matriz de relacionamento entre as topológicas de redes (malhas) e seus respectivos parâmetros e índices	124		
TABELA 5.2:	Análise correlação das variáveis características topológicas da rede	132		
TABELA 5.3:	Retornos de escala e da densidade relativas à redes selecionadas da GAMSJ	151		
TABELA A1.1:	Análise da correlação entre as variáveis características morfológicas de redes	175		
TABELA A1.2:	Análise correlação das variáveis de custos e produção das malhas da rede, relativas a conectividade Gama	175		
TABELA A1.3:	Análise correlação das variáveis de custos e produção das malhas da rede, relativas a conectividade Alfa	175		

TABELA A1.4:	Análise correlação da Sensibilidade Rede da Demanda (Beta), relativas as variáveis conectividade Gama e passageiro-quilômetro		
TABELA A1.5:	Análise Regressão da Sensibilidade Rede da Demanda (Beta), relativas as variáveis conectividade Gama e passageiro-quilômetro		
TABELA A1.6:	Fator Inflacionário da Variância da variável Pass.km, relativa a todas outras variáveis X		
TABELA A1.7:	Fator Inflacionário da Variância da variável Conectividade, relativa a todas outras variáveis X		
TABELA A1.8:	Análise correlação da Sensibilidade Rede da Demanda (Beta), relativas as variáveis conectividade Alfa e passageiro-quilômetro		
TABELA A1.9:	Indicadores propostos para estudos, relativas a sensibilidade Beta "A" – impacto da conectividade Alfa sobre passageiro-quilômetro	177	
TABELA A1.9.1:	Resumo da Regressão	177	
TABELA A1.9.2:	Resumo dos Fatores Inflacionários das Variâncias das variáveis	177	
TABELA A1.10:	Indicadores propostos para estudos, relativas a sensibilidade Beta "G" – impacto da conectividade Gama sobre passageiro-quilômetro	178	
TABELA A1.10.1:	Resumo da regressão	178	
TABELA A1.10.2:	Resumo dos Fatores Inflacionários das Variâncias das variáveis 1'		
TABELA A1.11	Estatística de Regressão das variáveis (Beta "G")	179	

LISTA DE QUADROS E GRÁFICOS

QUADRO 2.1:	Características das atividades de serviços	27
QUADRO 5.1:	Algumas configurações de malhas de redes estudadas	126
GRÁFICO 4.1:	Trinta megacidades do mundo	88
GRÁFICO 4.2:	Produção mundial de veículos por País, em 2010	90
GRÁFICO 4.3:	Veículos-motor por 1000 habitantes	92
GRÁFICO 4.4:	Carros de passeios (por 1000 habitantes)	93
GRÁFICO 4.5:	Evolução da Frota de Veículo no RJ, entre 1984-2009 (1984=100)	93
GRÁFICO 4.6:	Investimento per capita em transporte público e estradas	96
GRÁFICO 4.7:	Cumprimento de infraestrutura de transporte terrestre em EEA	96
GRÁFICO 4.8	Dados globais sobre os investimentos em infraestrutura (milhões de euros) por modalidade entre 1992-2008. EEA (2010)	97

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Os transportes constituem parte de um conjunto de infraestruturas de suporte cruciais para o dinamismo e desenvolvimento econômico local, regional e global. As redes de transporte, suas configurações (física) e em linhas de serviços que "serpenteiam" as cidades e localidades refletem processos histórico-dinâmico vinculado ao próprio crescimento sócio-espacial, retratos das decisões de políticas em planejamento estratégico, bem como as dotações naturais existentes. A indústria de transportes públicos urbanos de passageiros tem passado por mudanças estruturais importantes em seu processo de produção e de gestão, no intuito de equacionar desafios urbanização, meio ambiente, do crescimento com inclusão social, mobilidade e integração. As mudanças têm ocorrido com intensidades relativas em todo o mundo e, no Brasil em especial, tendo como válvulas propulsoras a revolução "imposta" pela tecnologia da informação e comunicação e a própria globalização.

Propiciar a acessibilidade efetiva tornou-se prioridade das autoridades regionais, nacionais ou supranacionais – caso da União Europeia. Em todo mundo assistiram-se reformas institucionais e de projetos infraestruturais, por meio da desregulamentação, regulamentação e regulação de setores como, os transportes, as telecomunicações, a energia, gás, saneamento e saúde. Com efeito, o paradigma do monopólio natural (ou histórico) como uma condição *sine qua non* à garantia de produção ou serviço nestes setores "foi quebrado" em favor da competição (controlada ou não). Emergiram várias formas de contratação de serviços, e atentos ao equilíbrio econômico-financeiro dos contratos.

Na ocasião, no período das décadas de 1980-2010, sob a égide ideológica neoliberalista, as pressões por estados mínimos prevaleceram. Para superar as dificuldades orçamentárias e escassez de investimentos, medidas foram tomadas para atrair e assegurar garantias aos investidores e operadores privados. Estes passaram a explorar diversos segmentos de infraestruturas a partir de agendas de privatização, concessão, permissão, autorização e devidas outorgas, ou ainda por meio de parcerias público-privadas desencadeadas no mundo.

Dessa forma, as tradicionais análises dos sistemas deram lugar às análises de redes (integradas ou não), permitindo diagnósticos ou releituras de economias de escala, da densidade e de escopo. No conjunto, estas iniciativas visaram o aumento da qualidade de serviços aos clientes – usuários e a eficiências.

No Brasil, a partir de meados da década de 1990, a entrada em vigor das Leis Federais n. 8.666/93, 8.987/95 e 9.491/97 permitiram, por exemplo, a "privatização" de vários trechos de rodovias federais e estaduais, a divisão da malha ferroviária federal em várias redes "segregadas" (tanto para a movimentação de cargas como de pessoas), bem como do sistema Telebrás em áreas de concedidas para empresas de telefonia etc.. Se por um lado, essas iniciativas incitaram a competição entre diversos operadores atuantes nestes segmentos, por outro lado, pouco se conhece sobre as eficiências econômicas proporcionadas por redes criadas; constituindo, portanto, o eixo central dessa pesquisa.

1.2 A problemática da pesquisa e justificativas

O transporte público inserido no ambiente urbano possui peculiaridades próprias relativas à dinâmica econômica de cada cidade e seu processo histórico, com vistas a assegurar a seus transeuntes a acessibilidade e mobilidade sustentável. Estas são, a rigor, os macro objetivos seguidos por vários países do mundo, e que vêm implementando reformas estruturais e institucionais importantes para o melhor equacionamento do binômio transportes—espaço urbano. Novas formas de gestão e de alocação de recursos fazem-se necessárias diante dos crescentes desafios do aumento da urbanização e da motorização.

A International Association of Public Transport – UITP (2009) analisou a mobilidade em todos os países e considerou preocupante a tendência crescente da utilização de carros particulares em países em desenvolvimento e em cidades da Europa Oriental, como reflexo do crescimento econômico e das políticas que priorizam a construção de estradas urbanas e espaços de estacionamento. Essa tendência recupera o modelo que até então prevalecia nos Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia e Oriente Médio, segundo o qual, o automóvel privado desempenha um papel preponderante na mobilidade urbana.

Das 84 cidades analisadas, descobriu-se forte relação positiva entre a forma urbana e o consumo de energia e a emissão de CO₂. A densidade urbana e a emissão de CO₂ têm uma correlação direta e inversa; ou seja, em geral, quanto menor for a densidade de uma cidade, mais elevada é a emissão do setor de transportes. Por conseguinte, o estudo sugere que as cidades mais compactas não só possuem maior eficiência energética, como também são menos intensivos em carbono. Em suma, a prevalência de autoestradas incentiva o uso de carros, que também impactam nas emissões de carbono (UITP, 2009).

Com poucos recursos para investimentos, o estado mínimo esforça-se para assegurar a funcionalidade das cidades e assim potencializar benefícios para toda a sociedade. Os impactos desse quadro são percebidos mais intensamente pelos usuários da rede de transporte público urbano, traduzidos em padrões de deslocamentos.

De acordo com Gomide (2008),

"a dinâmica da ocupação urbana no Brasil, principalmente na periferia, gerou uma demanda de rede de transporte distinta da construída: o crescimento do transporte individual (tanto motorizado quanto a pé e por bicicleta) e do transporte coletivo informal (por vans, peruas, moto-táxis, lotações); a sobrecarga do sistema viário das cidades, reduzindo a fluidez do tráfego e diminuindo a velocidade, o conforto e a regularidade do transporte coletivo; e o elevado número de mortes por atropelamento, como consequência da disputa pelo uso do espaço urbano entre pedestres e automóveis".

Conforme o epígrafe acima, como a economia de rede de transportes se dá no tempo e espaço, outros elementos não menos importantes como a morfologia e o desenvolvimento tecnológico afetam configuração e expansão da rede de transporte (relativa a tipologia e topologia), que por seu turno, pode remeter a níveis de eficiência e eficácia econômicas diferentes. Aliás, Krugman (1991) já enfatizara a inter-relação entre a rede de transporte e o sistema econômico, permitindo negócios mais racionais e com exploração de economias de escala por meio de custos unitários menores.

Até a metade do século XXI, dois terços da população mundial será urbano e as implicações relativas à motorização e outras externalidades negativas acentuar-se-ão. Em todo o mundo e no Brasil em especial, governos têm experimentado diferentes projetos e políticas tendentes à gestão da mobilidade urbana, de forma sustentável.

A eficiência de uma rede de transporte é atribuída, grandemente, a boas práticas de planejamento público capazes de assegurar a qualidade e de acompanhar as tendências contemporâneas, consagra (YEVDOKIMOV, 2001).

Em seu Relatório nº 35749-BR de 2005, o Banco Mundial apresenta vários elementos a ser adotados pelo Brasil e favoráveis a competitividade de suas cidades, com sustentabilidade. O documento atestou, entre outras mensagens, que "ao longo das últimas três décadas, o Brasil experimentou uma rápida expansão populacional, especialmente nas áreas urbanas, e um rápido crescimento econômico". Dado o impacto espacial das reformas estruturais realizadas na década de 1990, tornou-se urgente a tarefa de capacitar os serviços urbanos para que possam responder a esse crescimento e, assim, garantir a continuação de bem-sucedidas economias de aglomeração e evitar os possíveis efeitos negativos de cidades em rápido crescimento (WORLD BANK, 2005).

Para dotar um país ou região de infraestruturas suficientes e de boa qualidade capazes de impulsionar competitividade da economia são necessárias reformulações no arcabouço legal dentro de uma agenda de reformas importantes. Vários são os trabalhos publicados sobre as iniciativas da desregulamentação, regulamentação e regulação econômica desencadeadas no mundo. Na maior parte de casos, o objetivo central voltava-se para nova perspectiva de produção e gestão de infraestruturas e serviços, por meio do "fim" de monopólio natural ou histórico, e com introdução sistemática de elementos de competição assegurada na forma de lei. Destacam-se os trabalhos de LÉVÊQUE (1998), ORRICO FILHO *et al.* (1996), CASTELLS (2006), SANTOS e ARAGÃO (2000), VISCUSI *et al.* (1995), MARCÚCCI e AVARELLO (2003), MACÁRIO (2003) e GOMIDE (2008).

No Brasil, a criação do Ministério das Cidades (Lei Federal nº 10.638/2003) deu um novo alento a problemática dos transportes urbanos, pois sua estrutura é composta por quatro secretarias nacionais, que envolvem os principais setores relacionados ao

desenvolvimento urbano: habitação, saneamento, programas urbanos e transportes urbanos.

Destarte, a luz do que se expôs, algumas questões básicas julgadas oportunas e as sentenças relativas ao(s) problema(s) deve(m) ser evidenciada(s):

- (a) Em que consiste a eficiência econômica proporcionada pela rede de transporte público urbano, por ônibus TPU?
- (b) O que elementos novos inerentes a rede de serviços aplicariam ao TPU?
- (c) Como mensurar e avaliar a relação causa-efeito dos arranjos morfológicos da rede (tipologia e topologia) na econômica?

Estas e outras questões dominaram toda a dinâmica da pesquisa quanto ao método e os objetivos estabelecidos, a começar pelas sentenças seguintes:

A produção de bens e serviços em rede decorre da busca da humanidade em melhor solucionar a necessidade de sua sobrevivência, combatendo os males que o afligem.

Nas redes sociais, as alianças e/ou adesões giram em torno da compatibilidade de interesses — utilitarismo. Mas sem dúvida, o poder de difusão de conhecimentos e informações proporcionados pela capilaridade e interconectividade é gerado com importantes reduções de custos e benefícios sociais marginais crescentes. As redes sociais são produtoras de multiutilidades por excelência e evidenciam importantes externalidades socioeconômico e político-cultural (vide tabel 2.1). Essa rede proporciona economia de escala, de escopo e da densidade. Portanto, um acréscimo na produção de serviços, não tem como condição necessária a expansão da infraestrutura física, como ocorrem em outras redes de serviços.

As redes de água, gás e energia e esgoto são essenciais para bem-estar social e promoção do desenvolvimento da cidade. Portanto, um aumento da rede desses serviços, expressos em maior conectividade e expansão da rede, só é possível com aumento de custos (*sunk costs*) de infraestruturas. Não obstante, a implementação destas redes traz importantes benefícios sociais. As externalidades desses serviços são apropriadas individualmente, nas extremidades onde ocorrem seus consumos. E mais, os usuários destas redes, em geral, não têm opções (alternativas de escolha).

Nas indústrias de hardware e softwares, telefone celular, broadcasting, televisão e internet, a exploração de negócios por meio de compatibilidade e complementaridade também possibilitam maior oferta de bens e serviços, bem como elevados ganhos (retornos). Trata-se de setores produtivos cujas facilidades tecnológicas expõem externalidades, "medidas" pela conectividade ou números de indivíduos signatários. Nessas indústrias, existem margens para a ampliação da produção de multisserviços, mantidas as redes fixas, evidenciando principalmente as economias da densidade e de escopo. A de escala impõe a necessidade de aumento da infraestrutura.

Na indústria do setor aéreo, a formação de alianças estratégicas – rede de negócios – proporciona retornos elevados, mesmo mantendo a estrutura produtiva (física), já que com tais alianças podem-se oferecer maior variedade de serviços – economias de escopo e de escala, a custos marginais decrescentes, no curto prazo. A compatibilidade e complementaridade dos negócios firmados por tais alianças evidenciam as externalidades e a competitividade.

Já em Transportes Públicos Urbanos – TPU, se o conceito de conectividade pode ser bem mais factível, as características de redes relacionadas a compatibilidade e complementaridade merecem maior aprofundamento, principalmente sob a dimensão econômica. As várias formas de organização da produção de TPU por ônibus – consórcio, integração tarifária, etc., responderiam satisfatoriamente às principais características econômicas da rede, e à questão morfológica inclusive.

Em suma, como consumo dos transportes derivada de outras necessidades (Taaffe *et al.*, 1996; Orrico, 1996; 2008; Laird et al. 2005), a existência de uma boa rede de transporte encoraja certas atividades, como: trabalho, encontros de negócios, encontros com amigos, compra e venda de produtos entre outros. Portanto, não pode ser entendido unicamente em termos de instalações físicas e fluxos, conforme representados espacialmente como linhas e nós (grafos). Os TPU são parte do sistema econômico.

Conforme os levantamentos bibliográficos feitos, os estudos de redes nos mais variados campos de atividades, em transportes inclusive, remetem às abordagens de otimização em termos de estrutura física e/ou de fluxo (vide tabelas 2.3 e 3.1), e as análises das eficiências confirmam a versatilidade da ferramenta Análise Envoltória de Dados – DEA (vide tabela 3.3). Não se constatou trabalho que coadunassem as dimensões

econômica e espacial dos transportes público urbano por ônibus. O trabalho de Contreras-Montoya (2000), base se referência para desenvolvemento desta tese, tratou de analisar as redes de transporte público urbano de San Jose, Costa Rica sob perspectiva integrada de eficiência técnica, custos e produtividade, não tendo observado a sensibilidade da dimensão topológica e da densidade sobre o desempenho das unidades produtivas.

1.3 Pressupostos desta tese

A configuração da rede de transporte obedece a uma topologia geomorfológica do espaço físico, *coeteris paribus*; um retrato do processo natural e histórico (evolucional). O homem como agente modelador da natureza, intervém nesta de forma a melhor atender à suas necessidades dominantes e econômicos, implantando as infraestruturas de suporte necessárias. No campo do transporte, o grau de desenvolvimento deste – sob a forma de rede - interfere no grau de ocupação e uso do solo.

Sendo assim, são premissas relevantes para esta tese as seguintes:

- (a) As diferentes configurações de rede levam a diferentes níveis ou tipos de eficiências econômicas; ou seja, rede com configuração diferente tem eficência diferente, o que reflete na economia, em termos de agregação de valor.
- (b) A ação humana, no contexto do planejamento estratégico governamental, afeta a dinâmica econômica do setor privado, a julgar pela segurança legal, pelos incentivos na distribuição e alocação de recursos e oportunidades. Estas oportunidades interferem na produção e atração de viagens; conforme constatado em vários processos de reestruturação da rede de serviços de transportes disseminados pelo mundo nas últimas três décadas.

1.4 Objetivos da tese

Esta tese procura entender e analisar elementos da economia de redes no contexto de transporte público urbano, destacando-se, a relação entre a configuração da rede de TPU por ônibus, a eficiência e a economia.

Partindo desse objetivo amplo, ao longo do desenvolvimento da tese, buscaram-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- (a) Caracterizar o ambiente de metropolização, urbanização e os desafios da gestão da mobilidade urbana, no mundo e no Brasil, indicando algumas iniciativas implementadas pelos governos nesse sentido.
- (b) Conceituar redes de transporte público, seus componentes e em que se diferencia de outras redes de serviços urbanos, tais como energia, água, sociais, telecomunicações, etc.. Neste caso, como o epicentro da pesquisa versa sobre o transporte urbano por ônibus, procura-se enfocar o espaço urbano, a rede de transporte e sua configuração; redes versus sistema.
- (c) Identificar e caracterizar elementos relacionados a configuração da rede e rede de transporte – TPU, no intuito de indicar e pontuar uma característica-identidade, a partir da qual se possa estabelecer a relação desta com a economia.
- (d) Compreender o sentido da economia de rede de serviço de TPU em relação às outras economias, destacando-se as economias de escala, da densidade e de escopo.
- (e) Apresentar um procedimento para medir a sensibilidade da demanda relativa à conectividade de redes de TPU.
- (f) Analisar a eficiência associada à configuração de rede de TPU, a partir da medida do indicador topológico construída, designado índice morfológico de redes.
- (g) Identificar indicadores para medir tal eficiência e fazer um exercício-teste de aplicação a partir de dados de redes de serviço de transporte municipal da cidade de San Jose da Costa Rica.

1.5 Estrutura do documento

Esta tese possui sete capítulos, incluindo-se esta introdução. No segundo capítulo são abordadas questões pertinentes a conceitos de redes e suas peculiaridades, contemplando momentos de comparação entre a rede de transporte urbano e outras redes de serviço público. Dá-se um destaque especial a configuração de rede de transporte urbano, como foco central da tese. Com efeito, é apresentada ampla revisão

sobre a literatura existente, orientadas prioritariamente para elementos da econômica de rede, as diferentes abordagens e as variáveis utilizadas para respectivos fins.

O capítulo três trata da eficiência de rede, em especial as redes de transporte público urbano. Assim como no capítulo anterior, nesse capítulo apresenta-se o levantamento da literatura sobre a eficiência em economia, bem como a aplicação do método da Análise Envoltória de Dados em diversas áreas.

O quarto capítulo trata da metropolização, urbanização e motorização no mundo e os desafios do equacionamento da mobilidade urbana sustentável - gestão da mobilidade urbana. Portanto, são destacadas algumas experiências de planejamento estratégico de transporte coletivo urbano implementadas em algumas cidades.

No capítulo quinto constrói-se o método da pesquisa propriamente dito, para entender e avaliar a relação entre a eficiência econômica e configuração de rede de transporte público urbano por ônibus, observados os pressupostos e os objetivos estabelecidos. Nessa etapa, as principais questões levantadas como problema da pesquisa constituem metas a ser esclarecidas, contemplando a seleção de redes e de variáveis pertinentes, dados e ferramenta computacional, entre outros. É subdividido em outros cinco estágios ou fases, que incluem um exercício de aplicação. Nessa aplicação é estabelecida a relação entre a configuração de rede de transporte público urbano por ônibus a partir de indicadores topológicos propostos e a eficiência econômica. São colocadas as variáveis de análises e decisões econômicas aplicáveis a rede de transporte.

No capítulo sexto são apresentados as considerações finais da tese e tecidas algumas recomendações para trabalhos futuros, seja no intuito de continuidade ou de reformulação. Vale ressaltar que, ao longo do desenvolvimento da tese, em cada capítulo apresentam-se as considerações finais pertinentes, o que pouparia a necessidade de longos textos de conclusões. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas, anexos e apêndices, compondo o sétimo capítulo.

1.6 Resumo do método adotado para a pesquisa

Conforme o desenvolvimento colocado no capítulo cinco – o do método, esta pesquisa de tese é eminentemente exploratória, no sentido de que se pretende compreender melhor sobre elementos que compõem a economia de rede no contexto do transporte

público urbano por ônibus, e com uma aplicação. Dessa forma, contempla as seguintes etapas: (1) revisão da literatura sobre economia de rede, rede de transporte público urbano e a mobilidade urbana; (2) levantamentos de modelos de análise da eficiência econômica, identificando-se as variáveis relacionadas aos transportes; (3) preposição de um indicador morfológico de redes de transportes e aplicada a TPU por ônibus e eficiência econômica; (4) este indicador morfológico contempla as características topológicas de rede e a sensibilidade da demanda face às variações destas caraterísticas, obtido por meio de conjugação de modelo de preficicação de ativos financeiros – CPAM e ferramentas estatísticas; (5) apresentação de um exercício-teste do procedimento desenvolvido e discussão dos resultados. Nesse exercício foram utilizados dados de vinte e cinco redes de TPU por ônibus da cidade de San Jose, Costa Rica.

1.7 Contribuição da tese proposta

A temática desta tese é bastante atual e oportuna, inserindo-se perfeitamente nos grandes debates de negócios orquestrados pelos fundamentos da globalização, tecnologia de informação e comunicação, arranjos competitivos, relacionamentos e agilidades.

Nessa perspectiva, a tese traz importante contribuição para a academia, principalmente no que tangem aos novos indicadores de topológicos de redes. Quase não existem trabalhos sobre a configuração de redes de transporte público urbano por ônibus e a relação desta com a eficiência econômica. Portanto, ela suscita novas discussões sobre o assunto e novas formulações de modelos.

Para as autoridades públicas e a sociedade, o melhor entendimento da relação efeitocausa-efeito das decisões políticas relacionadas à rede de transporte, sua configuração e reflexo econômico devem servir de subsídios para atos decisórios sobre a reestruturação ou reformulação do planejamento de políticas públicas e modelo de contratação de serviços mais eficientes, diante do desafio de prover boa mobilidade e acessibilidade à sociedade cada vez mais policêntrica.

Conforme (Orrico Filho, 2009),

"(...) reconhece-se que a urbanização, a distribuição espacial das atividades econômicas, a densidade demográfica, dentre outros aspectos urbanos, assim

como os elementos de economia de rede na perspectiva da competição e da eficiência da produção como também os instrumentos regulatórios aplicados às redes redefinem suas relações com os territórios, a sociedade e que, em especial, incidem sobre a forma econômica de produção dos serviços merecem atenção em razão dos reflexos redução de desigualdades e inclusão social".

De acordo com estudo realizados por Sampaio *et al.* (2009), as cidades classificadas como eficientes e eficazes foram aquelas com maiores indicadores de participação (integração das forças).

Finalmente, a classe empresarial pode vislumbrar maiores e melhores oportunidades de negócios, tendo como subsídio o indicador morfológico e a sensibilidade rede da demanda, já que qualquer rearranjo de redes implica em alteração na demanda e consequentemente, no resultado da empresa.

2. REDE DE SERVIÇOS E ECONOMIA DE REDES

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo traz um embasamento teórico sobre diversos aspectos inerente à rede de serviços e a economia de rede propriamente dita, e destaca as peculiaridades da economia de redes de diversos setores e seus elementos (subseção 2.2.1). Toda a abordagem desenvolvida converge para o enfoque dos TPU.

Dada a complexidade dessas abordagens – revisão da literatura - procurou-se guiar o seu desenvolvimento sob dois eixos principais: o primeiro trata da topologia e configuração da rede de serviços, em especial, a de TPU por ônibus; o segundo eixo trata da economia de rede e seus elementos centrais de análises. Nessa perspectiva, procura-se destacar como vários autores estudadram as redes de serviços bem como os modelos e técnicas aplicadas para tal fim.

2.2 Fundamentos da rede, sistema e a configuração da rede de TPU

A rede constitui uma complexa relação socioeconômica e cultural, em que o principal insumo é a informação (CASTELLS, 2000).

Na acepção de Dupuy (1985), a rede é, "um conjunto de relações de um sistema, onde comportam as relações internas e externas, sendo possível distinguir-se uma ou várias redes num mesmo sistema (uni-relacional ou plurirelacional)", e consequentemente, participa da organização e regulação do sistema. Esta evoluiu e se proliferou na organização de todos os sistemas produtivos, cada vez mais complexas, modificando as relações socioeconômicas e culturais.

Segundo Stathogpoulos (1997), frequentemente, a sociedade usa o conceito de rede em lugar de sistema e o de sistema em lugar de rede. Tal equívoco, segundo este autor, decorre da natureza dual desta, pois o sistema pode ser visto como um conjunto de subsistemas e ao mesmo tempo, como um conjunto de relações entre os subsistemas e entre sistema e o meio ambiente. Com efeito, todas as relações que constituem a rede podem, em certas condições, ser vista como um sistema em si, composto de elementos tais que como os modos de transportes, as técnicas e o *savoir-faire* necessários para realizá-los e para o funcionamento de diferentes subconjuntos, negócios relacionados.

Para este autor, a dualidade assimétrica entre a rede e sistema não tem origem territorial, mas sim devido à complexidade da rede técnica, o que implica a existência de um sistema regulador interno à rede. As relações intrínsecas de redes se dão no tempo e espaço entre os estados físicos, e podem, portanto, ser interpretadas como um fluxo de energia, de materiais ou de informações. No campo da informática, por exemplo, é possível a organização de redes de computadores operando com um ou vários sistemas operacionais.

Enquanto parte de um sistema territorial, a rede e o sistema apresentam cinco características comuns: (a) conexidade - rede de relações de um subsistema de rede territorial, concernente a teoria de grafo – coesão do sistema; (b) conectividade - desenvolvido a propósito da rede de circulação, permite avaliar a multiplicidade de ligações do sistema pela rede, feitos por meio de vários índices; (c) homogeneidade - traduz o fato como diferentes elementos do sistema dependem uns dos outros por intermédio de rede e independente das características particulares de ligações consideradas susceptíveis de afetar a correlação espaço-temporais; (d) isotropia - seu grau indica que todas as ligações são equivalentes, do ponto de vista das relações asseguradas entre os elementos do sistema; e (e) nodalidade - permite caracterizar os nós da rede, quanto a sua capacidade relacional para o sistema; compreende vários indicadores, como: nodalidade de ordem p e generalidade, nodalidade de Shimbel – caminho mais curto, acessibilidade nodal, índice de Marchand. (STATHOPOULOS, 1997).

Indicador morfológico é definido a partir da configuração da rede e de sua geometria, e não leva em conta as características funcionais das ligações na rede (velocidade, frequência, etc..). Para um vértice i do grafo, os índices mais frequentemente utilizados são:

- (a) NA(i): número de arestas tendo como extremidade o cluster i. É o grau do vértice i do grafo;
- (b) NL(i): número de linhas passando pelo cluster i.
- (c) PAD(i): cluster de acessibilidades diretas (sem correspondência) a partir do cluster i. É o grau do vértice i no grafo mínimo de fechamento transitivo, no seio das linhas definidas a partir do grafo inicial da rede.

(d) PAC (i): clusters acessíveis com, no máximo, uma correspondência a partir do polo i. É o grau do vértice i do grafo mínimo de fechamento transitivo no seio das correspondências, definidos a partir do grafo inicial da rede. Evidentemente, podese, em função do tamanho da rede tratada, definir os índices para mais de uma correspondência.

Indicadores funcionais: estes índices completam os que precederam, pois levam em consideração os "recursos alocados" pelo operador de cada cluster da rede (vértices do grafo). Os mais comuns (para as redes de transportes) são baseados nas frequências das linhas e sua capacidade:

- (e) Nf(i) (nodalidade frequência): é o número acumulado de frequências das linhas que passem pelo cluster i em um tempo determinado. Na maioria das vezes, a duração em questão é de uma hora, e o índice pode ser decomposto em função da modulação espaciotemporal da oferta da rede (dia laborável ou não, horas de pico ou fora do pico etc.);
- (f) Ncap (i): (capacidade de nodalidade) é a quantidade acumulada de capacidades das linhas que passam pelo cluster i e um determinado tempo. Geralmente, exprime-se em termos de lugares ofertados durante o período considerado.

Índice de acessibilidade: é o índice de nodalidade combinando as características morfológicas da rede e suas características funcionais das ligações, incluindo o tempo. É definida a partir da seguinte fórmula genérica:

(g) Nt(i) (acessibilidade em um tempo t): número de vértices do grafo alcançados em um tempo t a partir do cluster. Seu cálculo mobiliza todo o arsenal de algoritmo elaborado para a pesquisa de caminhos mais curto do grafo. Se os vértices são rotulados (classificados) para as funções urbanas para as quais dá acesso, estes índices permitem então calcular a acessibilidade ao emprego, habitação etc..

Todos estes índices podem ser calculados seja por meio de algoritmos gráficos heurísticos, seja por algoritmos matriciais. Embora o ideal seja usar vários índices de nodalidade simultaneamente, no campo dos transportes, infelizmente, usa quase que exclusivamente o índice de acessibilidade nodal temporal, considerando que esta noção por si só exprime o desempenho de um lugar ou zona (Stathopoulos, *op. cit.*).

No entanto, cada índice exprime um aspecto diferente do desempenho nodal de cada cluster de rede e, embora houvesse correlação matemática formal entre essas, que deve ser levado em conta, não se poderia reduzir o desempenho nodal de um cluster à um único índice.

Para Dupuy (1985), entretanto, é apenas *no contexto da capacidade organizacional* que as peculiaridades da rede e do sistema geram "confusão". E para melhor elucidação, o autor as esquematizou numa tabela (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Peculiaridades da matriz rede x sistema

Rede	Sistema			
	Autonomia	Permanência	Coerência	Organização
Conexidade	X	X	X	X
Conectividade		X	X	X
Isotropia			X	X
Homogeneidade			X	X
Nodalidade				X

Fonte: DUPUY (1985)

Como numa rede, o espaço e tempo são dimensões uníssonas – que Dupuy designa de dimensão cinética da rede, posto que, remete a uma significação territorial moderna – isso permite o estabelecimento entre si de uma nova relação, baseada na circulação, no fluxo, na velocidade – que tende a instantaneidade – "no tempo real", segundo a expressão da informática hoje.

Na ótica da efetividade produtiva, o alcance social da rede consiste em levar serviços em quantidade e qualidade satisfatórias onde sejam demandados, capaz de maximizar a satisfação das necessidades dos usuários e minimizar sacrifícios destes, em termos de custo tarifário, tempos de ociosidade ou espera, perda de oportunidades entre outros.

Em suma, como parte do sistema (Dupuy, 1985), a análise do alcance social da rede remete a uma reflexão sobre questões de integração físico-operacional, tarifário, institucional (político) e informacional, permitindo evidenciar economias de escala, de escopo, de aglomeração e outros.

2.2.1 A abordagem da teoria de grafos

Um grafo é um conjunto de pontos, chamados vértices (ou nós), conectados por linhas, chamadas de arestas (ou arcos). Dependendo da aplicação, as arestas podem ou não ter direção, pode ser permitido ou não arestas ligarem um vértice a ele próprio e vértices e/ou arestas podem ter um peso (numérico) associado. Se as arestas têm uma direção associada (indicada por uma seta na representação gráfica) temos um grafo direcionado, grafo orientado ou dígrafo (BEZERRA, 2009).

Em outra vertente, grafos são definidos matematicamente como estruturas compostas por conjunto de vértices (nós) e por um conjunto de pares destes vértices (arestas). As arestas frequentemente são usadas para indicar alguma espécie de relação entre os nós que ligam, em conformidade com o problema modelado (ANGELIS, 2005).

A teoria de grafos considera a rede como um grafo valorado, onde o número real é associado aos vértices e/ou ligações. Esse número frequentemente se refere ao peso da ligação. Essa classificação é dada de acordo com a necessidade, ou não, da indicação do fluxo entre os vértices. Na prática, esse número pode representar: custos, distâncias, capacidades, ou suprimentos e demandas; tempo (transito, permanência), confiabilidade de transmissão; probabilidade de ocorrer falhas; capacidade de cargas e outros (ALOISE et al., 2001).

Matematicamente, na teoria de grafos, a rede é representada da seguinte forma: G = (V, E, w); Onde, V é o conjunto de vértices; E é o conjunto de ligações; e w é o peso associado aos vértices e/ou ligações (ANGELIS, 2005; NETTO, 2006).

Para além da sua conveniência, por ferramenta de representação, teoria de grafo encaixa-se a uma característica essencial da rede de transportes: o acesso à rede dá-se de forma tão discreto (descontínuo) em pontos determinado do território. Essa teoria também permite representar a rede através de um grafo onde os pontos de território são representados por nós e ligações entre si por arcos (STATHOPOULOS, 1997).

Nós e arcos podem ser caracterizados em relação à (ao): sua existência, pelas quantidades booleanas (0 ou 1); sua natureza, pelas quantidades cardeais (tempo, distâncias, etc.); seus "históricos" das leis de interdependência; restrições de posterioridades ou anterioridades entre nós e os percursos cumulativos ou disjuntivos,

expressos sob a forma de restrições de conservação ou de não conservação dos fluxos entre as entradas e saídas da rede (STATHOPOULOS, 1997).

Portanto, uma sequência de arestas é chamada uma cadeia, enquanto uma sucessão de arcos em um grafo direcionado é chamada de caminho (Figura 2.2). Por razões de simplicidade, quando se fala de rede, refere-se a seu conceito explícito do grafo não direcionado (Figura 2.1).

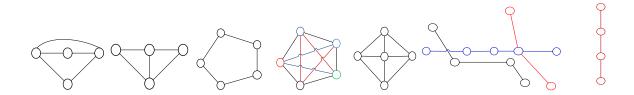


Figura 2.1: Grafo não orientado (Rede)

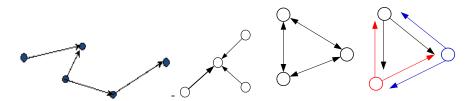


Figura 2.2: Grafo orientado (Caminho)

Em suma, a partir das observações dos trabalhos de Angelis (2005), Netto (2006), Aloise et al. (2001) e Bezerra (2009), pode-se depreender que, enquanto a rede refere às informações quantitativas sobre elementos, grafos representam uma estrutura topológica; tendo implícito ua lógica e devendo evidenciar a perspectiva funcional no espaço e no tempo.

2.2.2 Infraestruturas urbanas, configuração de redes serviços e o TPU

"Infraestrutura urbana pode ser conceituada como um sistema técnico de equipamentos e serviços necessários ao desenvolvimento das funções urbanas, podendo estas funções ser vistas sob os aspectos social, econômico e institucional. Sob o *aspecto social*, a infraestrutura urbana visa promover adequadas condições de moradia, trabalho, saúde, educação, lazer e segurança. No que se refere ao *aspecto econômico*, a infraestrutura urbana deve propiciar o desenvolvimento das atividades produtivas, isto é, a produção e comercialização de bens e serviços. E sob o *aspecto institucional*

entende-se que a infraestrutura urbana deva propiciar os meios necessários ao desenvolvimento das atividades político-administrativas, entre os quais se inclui a gerência da própria cidade (ZMITROWICZ e NETO, 1997)".

Este epígrafe destaca os campos relevantes das infraestruturas urbanas, e os autores discorreram sobre os aspectos histórico-evolucionais das redes. Reportando-se os trabalhos de Mascaró (1987), Zmitrowicz et al. (1997) destacaram que a rede viára constitui é a primeira concepção de rede que se tem conhecimento, em que se percebe a evolução do perfil dos calçamentos desde as antigas vias romanas até o surgimento do automóvel quando se produz a maior evolução dos tipos de pavimentos. A seguir, aparecem as *redes sanitárias*, das quais existem excelentes exemplos em Jerusalém e Roma Antiga e, finalmente, as *redes energéticas*, em fins do século XIX.

Estes autores destacaram a excelência de redes sanitárias de Roma (no período de império, 27 a.C.– 476 d.C), para abastecimento de água trazida de longe e conduzida para grandes depósitos para armazenamento e para depuração por decantação - vista como um antecedente histórico das atuais plantas potabilizadoras de água. No apogeu imperial romano havia mais de 50 km de grandes aquedutos e 350 km de canalizações d'água na cidade de Roma. A água era cobrada do usuário na proporção do diâmetro do tubo que o abastecia. Roma possuía 19 aquedutos que forneciam 1.000.000 m³/dia à cidade, esgotos dinâmicos e ruas pavimentadas para atender cerca de 1.000.000 de habitantes, conforme Zmitrowicz et al. (1997). Houve também preocupações com a eliminação dos resíduos líquidos. Na Europa, a primeira legislação sobre a regulamentação dos esgotos aparece em Londres, em 1531, bem como, a primeira legislação contra a poluição causada por esgotos lançados nos rios e outros corpos d'água, em 1876.

Quanto às redes de energia e de gás nas cidades, primeiramente, apareceram as de gás. Em 1812, a Inglaterra criara a primeira companhia de distribuição de gás - gás, oriundo da destilação do carvão-, como serviço público, para atender à cidade de Londres. O gás destinava-se inicialmente a iluminação pública e depois às residências. Nos Estados Unidos foram feitas tentativas em Massachusets, Rhode Island e Filadélfia em 1815. No Brasil, o gás foi introduzido primeiramente em São Paulo, na década de 1860, para iluminar todas as ruas do bairro da atual Praça da Sé com lampiões (ZMITROWICZ et al., 1997).

Somente em finais do século XIX é que aparecem as redes de energia elétricas para primeiro iluminar o centro das cidades (entrando em colisão com a rede de gás) e logo depois para substituir os cavalos que puxavam os bondes (Mascaró, 1987). A partir de sua introdução, a rede de eletricidade experimentou um grande desenvolvimento. São estas duas redes (eletricidade e gás) que permitiram que as cidades mudessem de função e passassem de centros administrativos ou de intercâmbio a centros de produção.

Xie e Levinson (2008) estudaram a evolução da topologia de redes de transportes terrestres, a partir das evidências empíricas. Eles investigaram a mudança topológica da rede de transporte terrestre em um contexto mais amplo que permitem interações entre passageiros e ofertas (fornecedores) de infraestruturas. Em lugar de impor um projeto ótimo de estrutura de rede de cima para baixo, conforme a práxis predominante, o estudo incorporou linhas individuais como agentes autônomos que operam por conta própria, enquanto membro mais fraco da rede, permitindo, assim, a formação de uma topologia de rede variável de baixo para cima.

Para Xie e Levinson (2008) a evolução é um processo iterativo da interação, investimentos e desinvestimentos, de modo que, os atributos topológicos da rede poderiam ser avaliados por meio de medidas de conectividade, densidade, heterogeneidade, concentração e padrões de conexão. Segundo estes autores, a análise e modelagem da evolução das redes de transportes têm sido objeto de interesses por mais de meio século, e a literatura tem seguido três principais correntes:

(a) O prelúdio ou estudo propedêutico remonta os primeiros dias da geografia quantitativa-ciência regional-movimento da geografia econômica, em que alguns raros estudos modelaram a transformação estrutural de redes de transportes terrestres; destacando-se os trabalhos de Garrison e Marble (1962), Taaffe et al. (1963), Morrill (1965) e Kansky (1969). Taaffe et al. (1963) propuseram o modelo de quatro etapas para descrever o processo de desenvolvimento de rede rodoviária em um país subdesenvolvido. Garrison e Marble simularam a mudança de topologia do sistema ferroviário da Irlanda do Norte entre 1830 e 1930, usando Método de Monte Carlo; enquanto Morrill relatou estudos paralelos a rede ferroviária da região central da Suécia. Kansky desenvolveu um modelo quantitativo de precisão da estrutura da rede e aplicou-o em ferrovia da Sicília. Xie e Levinson (2008) estão convictos de que esses estudos replicaram

simplesmente a observação das topologias de redes usando a heurística, já que não levaram em consideração os mecanismos demográficos e comportamentais inerentes e que guiam a evolução de redes de transportes, devido principalmente a dados limitados e habilidades computacionais daquela época.

- (b) De planejamento de transportes, desde anos de 1970, em que a prevalência de modelos previsão de demanda possibilitou prever o fluxo de tráfego em uma rede de transporte de maneira mais realista, bem como a investigação da estrutura de rede ótima que maximize a eficiência de viagem.
- (c) Nos últimos anos, o modelo de demanda por viagem tem sido amplamente adotado para solucionar problemas de projeto de rede que deriva da concepção de uma quantidade de oferta ótima, dadas as restrições de recursos limitados.

Os estudos da otimização, no entanto, negligenciam a interação contínua *inter-player*s envolvidos na tomada de decisão, fornecedores e usuários, que jogam um papel essencial na formação da estrutura de redes de transportes.

Ainda nessa perspectiva, Pereira (2009) constatou que diversos geógrafos têm apresentado topologias de redes que convergem, grosso modo, para dois grandes eixos:

- (a) redes técnicas ou de infraestruturas, aquelas que dão suporte ao fluxo de materiais e informações, redes de transporte (rodovias, ferrovias, etc.) e as de comunicação e informação (infovias, internet, sistemas de comunicação via satélites, etc.); e,
- (b) redes de serviços ou de organização, aquelas que resultam da organização de pontos e agentes no território para a realização de determinada atividade, que denotam principalmente articulações políticas e sociais organizadas para a realização de atividades multilocalizadas no território, como é o caso, por exemplo, das parcelas técnicas da produção de grandes empresas, ou ainda do seu comando no território.

A importância das relações sociais e políticas implícitas na formação topológica de redes, sobretudo as redes sociais, também foram estudadas por Granovetter (1973) Barabási et al. (1999, 2000, 2002), Onnela et al (2007) e Jackon (2007). A tabela 2.2 apresentada a seguir, contém o resumo da contribuição de cada um destes autores.

Tabela 2.2: Resumo de alguns estudos topológicos de redes sociais

Granovetter (1973)	Estudou diferemtes modelos de redes interpessoais relacionadas às redes sociais. Destaca a sociometria, o precursor da análise de redes. Análise de redes sociais é sugerida como uma ferramenta para a ligação de micro e macro níveis de teoria sociológica. Destaca o papel das alianças ou ligações fracas das redes — pequena escala - para o dinamnismo do negócio e para as novas oportunidades por meio de opções de escolhas; subsidiando as de grandes escalas — redes fortes.
Barabási et al. (1999; 2000; 2002)	Realizaram extensos estudos sobre redes, especialmente, as redes complexas tais como redes genéticas (campo da biologia molecular), World With Web (informática). Identificou que a conectividade do vértice constitui a característica mais comum das redes complexas, por meio da topologia. Fez uma analogia entre a forma de "gravitação" topológica de redes genéticas e as redes sociais. A conectividade dos vértices de redes complexas — livre escala — é aleatória, independentemente da área de conhecimento (Barabási, 1999). Estudando a evolução topológica de redes complexas, Barabási et al. (2000) desenvolveu modelo de previsão relativa a distribuição de conectividade dessas redes — redes aleatórias. Como modelo probabilístico, Barabási et al. (2000) esclareceram que, na essência, as diferenças topológicas de redes se dão em função da freqüência relativa dos processos locais.Em outro estudo, relacionado à redes sociais de colaboração científica, Barabási et al. (2002) analisaram um painel de banco de dados eletrônico de principais revistas das áreas de matemática e neurociência, no período de 1991-1998). Por meio de modelo de simulação de Monte Carlos, eles constataram que a rede de colaboração é bastante fragmentada em pequenos clusters e a produção individual de artigos é bastante significativa. Observaram, entretanto, que útimamente essa tendência estática tem mudado e as redes de colaboração tem crescido.
Onnela et al. (2007)	Estudaram os padrões de comunicações dos usuários da telefonia móvel no processo de difusão de informações. Escalreceram que, em geral, a organização de redes complexas se baseia no princípio da eficiência global. Nesse caso, os pontos fortes são otimizados para maximizar o fluxo total na rede. Embora as grandes redes possuam fortes interações, estas "não sobreviveriam" sem as redes fracas. Finalmente, Onnela et al (2007) constataram que em matéria de difusão de informações, tanto as redes fracas quanto as fortes são igualmente ineficazes, mas as redes fracas são fundamentais para ligações com as comunidades.
Jackson (2007)	Embora grande parte dos fundamentos econômicos sobre a lógica das interações se baseie na perspectiva da escolha irracional, Jacson (2007) esclarece que as decisões dos indivíduos buscam maximizar seus benefícios, evitando relacionamentos com redes que não agregam ganhos. Esse apecto contribui para o equilíbrio na formação de redes, baseado no balanceamento dos benefícios-custos, capaz de atrair participantes (consumidores) pela expectiva de bem-estar. Fonte: Elaboração prórpia

Fonte: Elaboração prórpia

Por outro lado, no que tangem às redes de transportes, Blumenfield-Lieberthal (2008) fez uma análise comparativa sobre topologia de redes de transportes de diferentes sistemas de cidades; partindo da representação da cidade como nó (ponto) e as rotas aéreas e ferroviárias como linhas. As entidades urbanas e seus componentes são sistemas bastante complexas, pela sua natureza, não havendo força central que afeta a sua estrutura espacial.

Para esse autor (op. cit.), a exemplo de outros sistemas complexos (e.g. o WWW, ou moléculas em uma célula), as redes urbanas não possuem uma força central que afeta a sua estrutura espacial. Ou seja, há muitos outros fatores como considerações econômicas, decisões políticas e ambientais, que afetam a estrutura de redes. Seus diagnósticos estudos devem ser feitos de modo desagregado para que tenha a sensibilidade de cada um destes fatores relativos à estrutura de rede, no contexto de estudo de caso.

Em suma, estes estudos não tratam explicitamente das infraestrututas de suportes para que estas alianças ou interações ocorram, mas deve-se destacar as abordagens de Onnela et al. (2007) e Jackson (2007), quanto a eficiência e quanto a lógica baseada na relação benefício-custo. A busca simplesmente pela eficiência principalmente por parte dos ofertantes dos serviços pode levar a "irracionalidade" por que nem sempre se cuaduna com os interesses ou desejos dos consumidores.

Além de empresas de telefonia móvel, essa lógica é bastante comum no setor de transporte aéreo. Diante desse conflito (minimização de custos globais versus maximização de bem-estar), pequenas redes com alianças fracas se fortalece. Em transportes urbanos, os espaços deixados por grandes grupos, acabam sendo oportunidades para pequenos grupos ou indivíduos entrarem nesse mercado, por exemplo, os alternativos.

2.2.2.1 Rede de transportes como um sistema físico

Enquanto sistema físico, a rede de transporte é a base de uma análise da engenharia e o sistema de transporte é caracterizado pela infraestrutura, veículos; componentes que produzem e escoam fluxos (tráfego).

A literatura sobre a complexidade do problema da rede é ampla e abrange o campo da ciência de transporte, matemática, na perspectiva econômica, bem como o âmbito societário (civil e autoridade). Tal complexidade deve-se, por exemplo, a restrições e consequente limite de número de possibilidades de soluções, ou ainda pelo limite da relação entre a rede de oferta e demanda. A tabela 2.3, a seguir, apresenta o resumo dos modelos de otimização da rede de transportes elaboarada por Van Nes (2002), porém atualizada neste trabalho. Nessa atualização, em lugar da variável problema, consideram-se variáveis utilizadas.

Conforme observado na Tabela 2.3, a frequência constitui a principal variável problema diagnosticado por Van Nes (2002), e os objetivos predominantes eram relacionados a minimização de custos ou do tempo relacionado a produção (viagem ou cargas), da nova rede. Ao se ampliar a tabela, o problema de rede de transporte explorou mais configuração e/ou conectividade. Não se identificou o predomínio de uma variável problema, tanto na rede de transporte público quanto na de carga. As abordagens mostraram-se mais complexa e relacionada o projeto de rede.

Tabela 2.3: Resumo de estudos sobre modelos de otimização de serviço de rede de transporte

Autor(es)	Tipo de rede	Tipo de problema de configuração	Tipo de objetivos	Modelo de demanda	Modelo de congestionamento	Sistema de transporte	Objetivos	Variável problema	Método
Lampkin e Saalmans (1967)	Serviço	Nova rede	Passageiros Orientados	Fixa	Dependente da qualidade da rede	Transporte Público	Minimização do tempo de viagem dada e tamanho da frota	Linha e frequência	Procedimentos de 4 etapas: Esqueleto Linhas, Linhas selecionadas, Frequências
Hasselströn (1979)	Serviço	Nova rede	Passageiros Orientados	Dependente da qualidade da rede	Apenas na rede	Transporte Público	Maximização das transferências dado um orçamento	Linhas e transferências	Procedimentos de 3 etapas: Ligação da rede Linhas geradas, Seleção e frequências
VAN NES (1988) VAN NES et al (1988)	Serviço	Nova rede	Passageiros Orientados	Dependente da qualidade da rede	Apenas na rede	Transporte Público	Maximizando passageiros que não fazem transferência dado um orçamento	Linhas e frequências	Procedimentos de 2 etapas: Linhas geradas; Seleção e frequências
Ma e Schneider (1991)	Física e Serviço	Nova rede	-	Fixa	Apenas na rede	Transporte pessoal rápido	Minimização de custo total dado o orçamento	Ligações (conexões)	Procedimento heurístico de acrescentar ou excluir ligações
Bouma e Oltrogge (1994)	Serviço	Nova rede	Passageiros Orientados	Fixa	Apenas na rede	Transporte Público	Maximização de passageiros não tendo transferências	Linhas e frequências	Três buscas por sub-rede
Aykin (1995)	Serviço	Nova rede	Objetivos combinados	Fixa	Apenas na rede	Rede de linhas aéreas	Minimização de custos de operadores	Linhas e hubs (centros)	Derivada & Limite (repetição simulada) Branch & Bound (Simulated annealing)
Ceder e Isreli (1998)	Serviço	Nova rede	Objetivos combinados	Fixa	Apenas na rede	Transporte Público	Minimização do tempo de viagem mais horas de assentos vazios/ minimização do tamanho da frota	Linhas e frequências	Procedimentos de 7 etapas: Linhas geradas; Caminho gerado; Seleção e frequências; Transferências; Frequências; Intercâmbios; valiação
Bielli et al. (2002)	Serviço	Nova rede	Objetivos combinados	Fixa	Apenas na rede	Transporte Público	Objetivo multicritérios	Linhas e frequências	Algoritmo genérico
Taylor et al. (2006)	Física e serviço	Configuração	Otimização do veículo e redes	Dependente das estruturas físicas internas e externa	Rede e Capacidade do veículo	Transporte aéreo de cargas	Investigar os benefícios da otimização do projeto de rede de transporte aéreo, integrando simultaneamente, o design dos veículos, design de rede e as operações.	Extensão, velocidade, Peso, número de aeronaves em rota, custo fixo de alocação das aeronaves, rota da aeronave, conjunto de rotas, demanda em cada par de cidades, capacidade, Asa de carga, número de motores, custo variável de tilização de aeronaves.	Modelo de alocação que minimize o custo total do sistema, para um dia de operação.
Park et. al. (2011)	Transporte Multimodal	Conectividade	Conectividade de Parada	Fixa e transbordo	-	Transporte Público	Criar o índice de transferência da rede para quantificação do nível de conexão de paradas relativa a área de TPM	Capacidade diária, velocidade média e a extensão.	Função polinomial

Crainic (2000)	Transpores	Configurações de redes de serviços	Planejamento tático de rede de serviços	Fixa e serviços	-	Sistemas de Transportes de carga	Reunir modelos tradicionalmente usados (heurística e otimização do problema de programação inteira-mista), apresentado o estado da arte sobre a modelagem de redes de serviços e desenvolver uma programação matemática para configuração de redes.	Custo fixo da rede, Custo unitário de transporte de produto, Variáveis inteiras relativas a decisão de escolha, quantidade de fluxo de commodities, demanda de produto em cada nó e capacidade da rede, e restrições orçamentárias, frequências, rotas, classe de serviços, custo total transporte da carga e de operação do serviços	Estrutura do modelo: Problema de programação não-linear, inteira mista, de rede para fluxo multimodal e multicommodity; e (Modelo de configuração de projeto de redes baseado na capacidade multicommodity)
Chen et al. (2007)	Transporte	Fixa	Congestionamento	Fixa e serviço	Dependente	Transporte público urbano	Análise empírica de sobre a evolução da rede de transporte Público <i>urbano por ônibus</i> de quatro grandes cidades da China	Área da cidade, população, total de rotas, total de paradas de ônibus, diâmetro da rede, coeficiente de clusterização, distância média do percurso.	Função Exponencial
Huapu et al (2007)	Transporte	Rota, transbordo e estações	-	-	-	Transporte Público	Compreender a complexidade de redes de transporte público	Número de rotas, Número estações de ônibus, média do comprimento das distâncias mais curtas, Tempo médio de transbordo, Grau do vértice (estações),	Small World Network Model (the so-called WS model) Pesquisa exploratória, com estudo de casos.
LeBlanc et al. (1975)	Transporte	Rede de fluxo multicommodity	-	-	-	Transporte de carga	Propor uma solução técnica para o equilíbrio de redes de estradas de grande escala relativos a problemas de fluxos com custos não-lineares.	Custo de transporte, fluxos ao longo da rede, demanda total, número de origens e destinos, rede	Programação Não-linear
Bai et al. (2014)	Transporte	Projeto de rede	Incerteza e flexibilidade	Fixa e serviço	Minimizar a soma de custo fixos da rede	Transporte de carga	Propor um modelo estocástico de projeto de redes de transporte de cargas com opções de re- roteamento de veículo	Frequência de serviço no arco, Fluxo de commodities no arco, número de veículo, número de terceirização,	Modelo estocástico (M- Determ, M-Stoch1 e M- Stoch2), usando ferramenta computacional Microsoft Visual C++ em conjunto com IBM ILOG Cplex 12.4 MIP solver.

Fonte: Elborada e modificada pelo autor, a partir do trabalho de Van Nes (2002)

2.2.2.2 Rede de transportes como serviço em sistema econômico

O transporte está presente em tudo que conecta pessoas e o sistema de produção e consumo (em uma rede econômica). A existência de uma boa rede de transporte encoraja certas atividades, como trabalho, encontros com amigos e de negócios, compra e venda de produtos etc.. Portanto, não pode ser entendido unicamente em termos de instalações físicas e fluxos, conforme são representados espacialmente como linhas e nós. Derivada de outras necessidades (TAAFFE *et al.*, 1996; ORRICO FILHO, 1996, LAIRD *et al.*, 2005) e não tem um fim em si mesmo (ORRICO FILHO, 2008).

Como atividade econômica voltada para serviços, possui algumas características fundamentais que o distingue dos outros tipos de serviços. Isso implica a releitura das tradicionais teorias microeconômicas. Conforme Kon (2004), o fornecimento de grande parte dos serviços não possui oferta e demanda bem definidas que possam determinar o preço padrão resultante. Com efeito, a formação de preços de um serviço ainda não foi suficientemente determinada do ponto de vista teórico, mas tende a refletir o custo dos insumos (número de horas trabalhadas) que podem ter avaliações subjetivas diferenciadas para o mesmo produto, ou seja, valor de uso ou utilidade indefinida. Portanto, critérios utilizados com frequência para identificar as atividades de serviços especificam características e propriedades específicas de tais atividades, que determinam a natureza diferenciada de sua produção, distribuição e consumo.

À medida que o progresso tecnológico e da informática avançam nos processos de serviços, alguns gêneros de serviços assumem processos fortemente baseados em equipamentos e com baixa intensidade do trabalho; por outro lado, a própria natureza de alguns serviços requer uma alta proporção de capital fixo no processo produtivo. Desse modo, alguns autores dividem as atividades de serviços de acordo com a intensidade de capital e trabalho, em *serviços baseados em equipamentos e em mão-de-obra*.

Como a produção dos transportes urbanos são as viagens, as peculiaridades dos serviços apresentados no quadro 2.1 evidenciam a complexidade dos planejadores deste setor da atividade econômica ante os desafios da competitividade e da satisfação dos clientes. Se comparada com redes de outros segmentos industriais, tais como os bancos e finanças, o mercado de informação (livrarias, internet, alimentos), *broadcasting* (TV a cabo, locadoras, convergência digital), telecomunicações, software e hardware, a natureza do

consumo em redes de TPU é essencialmente diferente. Enquanto os mercados de hardware, software e de informação se caracterizam por terem consumidores que preferem expor as externalidades da rede, as indústrias de transporte caracterizam por ter produtores cujas tecnologias de produção expõem economias de rede.

A seguir, reproduz-se o quadro síntese das características de serviços (Quadro 2.1):

Característica	Condição					
	Os serviços são observados como criadores de produtos intangíveis e					
	perecíveis (consumidos no ato da produção e não podem ser					
Materialidade	estocados). Mas, em casos como o de uma peça de teatro, os efeitos					
	do serviço podem ser desfrutados pelo consumidor por muito tempo					
	após sua produção.					
Efemeridade	Existência passageira, fugaz.					
	Existe um alto contato entre consumidor e produtor (fisicamente ou					
	com constante comunicação remota) e em geral o consumidor					
	participa no processo de produção do serviço (aulas de ginástica,					
Interação consumidor-	restaurantes). Assim, não obrigatoriamente, as atividades seguem um					
Produtor	padrão rígido estabelecido, pois em grande parte das vezes se amoldam à demanda momentânea do consumidor. Porém, em casos					
	como a maior parte dos serviços públicos, estão disponíveis o tempo					
	todo, mesmo quando não são diretamente utilizados.					
Y	A qualificação ou habilidade do produtor é vendida diretamente ao					
Intensidade do trabalho	consumidor, e os serviços nem sempre podem ser produzidos em					
	massa.					
	As instalações das atividades de serviços localizam-se de forma					
T1'~	descentralizadas e próximas ao consumidor, resultando a proliferação					
Localização	de pequenas empresas de serviços ou grandes empresas com					
	unidades de produção descentralizadas geograficamente, dispersas					
	pelos mercados consumidores. As medidas de eficiência dos serviços são subjetivas, e o controle de					
	qualidade envolve o consumidor e está embutido no processo de					
	produção, pois na maioria das vezes o serviço não pode ser					
Eficiência	controlado e rejeitado pelo produtor antes de ser efetuado. Portanto,					
	as opções de preços são amplas e costumam fugir ao controle rígido					
	ou a padrões teoricamente estabelecidos.					
Estocagem	Incapacidade de serem estocados, mantidos ou trocados.					

Quadro 2.1: Características das atividades de serviços Fonte: KON (2004)

Em transportes, as redes de produção são compostas por grande número de rotas e rotas alternativas, por meio das quais os passageiros podem ser transportados das cidades de origens às cidades de destinos (SHY, 2001). Pela definição, o serviço provido por uma firma de transporte é o movimento físico de passageiros e cargas de um ponto dentro de um espaço geográfico para um segundo ponto no espaço geográfico.

No segmento de TPU, o produto ou bem produzido (lado oferta) é a viagem (serviço consumido simultaneamente pelos usuários). Trata-se de um consumo que não se dá nas extremidades (ponta) como em outras atividades. O produto de TPU é consumido ao longo do percurso, tendo como peculiaridade a autoavaliação do serviço por parte dos usuários, quanto aos atributos, preço, conforto, segurança, tempo de viagem, as habilidades urbanidade da tripulação e outros.

Com a difusão do processo de licitação de linhas para exploração de TPU de passageiros, as autoridades pressupunham a quebra de monopólio "natural" em favor da competição, de forma a garantir maior nível de serviços à população. Recentemente, a moda tem sido a intensificação da integração de várias formas, com vistas a maximização dos benefícios à sociedade. Esse processo possibilita a reorganização do modelo de exploração privada das redes e dos sistemas de transportes públicos do país, que de alguma forma, remete à eficiência de sistema. Portanto, o nível de serviço, depende da eficácia regulamentar. No novo quadro (o da integração) pode-se constatar uma articulação econômico-financeira de combinação modal de natureza regulatória distinta. Vale dizer, se no modo rodoviário prevalece uma forma regulatória prócompetição perfeita, principalmente em grandes centros urbanos, em outras modalidades as características competitivas cedem lugar para a monopolista ou competição imperfeita; tais como, as redes de trens urbanos e metrô (modo ferroviário) e barca (modo aquaviário).

Hoje em dia, o dinamismo da indústria de telecomunicações, como por exemplo, o da telefonia e e-business, afetou a forma de deslocamentos de pessoas em áreas urbanas e periurbanas. O serviço de transporte coletivo público e o de telefonia móvel celular - TMC apresentam similaridades quanto à dependência de infraestruturas (linha ou rede compartilhada ou não) para seu funcionamento e de alto grau relativo de complexidade tecnológica. Ambos constituem forma de comunicação.

Enquanto o consumo de transporte se dá na linha ou rede – condição *sine qua non* para o usuário usufruir do serviço; em TMC essa condição é altamente flexível e sem obrigatoriedade, posto que o serviço – modular – está disponível *on line, on time e full time*. Estes e outros aspectos peculiares destes dois segmentos ou do trinômio telecomunicação-transporte-mobilidade estão resumidos na Tabela 2.4, a seguir.

Tabela 2.4: Diferenciação de produtos e serviços de TPU por ônibus e TMC

		idades do setor		
Itens	Transportes Coletivos (1)	$\mathbf{TMC}^{(2)}$		
Estoques	Não estocabilidade	Estocável, estando disponível também na forma de <i>pacotes</i> "self-service"		
Produção	Derivativa ⁽²⁾ ; onde e quando necessário	Disponível <i>on time, on line e full time,</i> no espaço de cobertura		
Meio de Produção ou (Canal logístico	Fora da fábrica; Infraestrutura viária e capacidade limitada ⁽²⁾ (na linha e/ou rede o/d).	Ar, por meio de antenas de captação via satélites, capacidade não limitada		
Dispersão/concentr ação	Pequenas unidades espalhadas pela cidade	Grandes grupos disputam macrorregiões do país		
Relação espaço- tempo	Tempo e espaço integram o produto;	O caráter virtual descola e relativiza o peso do binômio tempo – espaço no produto de TMC. Portanto, não é condição relevante.		
Produto	Duas linhas ou horários diferentes; diferentes produtos; multiplicidade de produtos de transporte coletivo (seletivo, expressos, parador, fretado, condomínio etc.) Linha ou rede.	Multiplicidade de produtos e serviços, em linha e em rede padronizada forma o chamado Serviço de Valor adicionado – VAS, que fazem do TMC um serviço multimídia – MMS. Serviço intangível e na forma de commodity		
Tecnologia	Similaridade tecnológica	Tecnologias competitivas (diferentes) – recuperam o princípio da <i>inovação destruidora Schumpeteriano</i> .		
Oferta	Padronização por parte do produto oferecido por diversas empresas	Modular ou por pacotes com alto grau de diferenciação, segmentação e personalização.		
Linhas	Agrupamento da multiplicidade em submercado, especialmente sobrepostos	Não existe linha <i>stritu Sensus</i> . A multiplicidade é viabilizada digitalmente, via satélite, ERBs (ondas de frequências). Há compartilhamento de infraestrutura (inter-redes)		
Empresa	Indústria multiproduto	Indústria multiproduto		
Mobilidade- acessibilidade	Limitada ⁽²⁾ e cartesiano (bidimensional) ⁽²⁾	Plena, versátil, cobertura espacial (tridimensional)		
Eficácia (elementos exógenos)	Relativa. Deslocamento físico sujeito a congestionamento por motivos diversos, que afeta a relação custo/tempo de viagem	Pleno. Deslocamento físico opcional; e o produto pode ser afetado pelo congestionamento da rede e cobertura		
Substitubilidade	Alta ⁽²⁾ : transportes alternativos (regulares ou não)	Baixa (ou relativa): internet, correios e transportes.		

Fontes: (1) ORRICO FILHO, et al. (1996); (2) Elaborada pelo autor.

A cobertura dos serviços de TPU, enquanto bem essencial, é um aspecto muito relevante para o usuário. A esse respeito, Molinero e Arellano (1996) entendem a cobertura da área de serviço de transporte como a medida da extensão de uma rede dentro da área na qual o serviço é realizado, assim como o desempenho individual de cada rota. A mediação da área atendida pelo sistema de TPU pode ser o tempo ou à distância percorrida a pé e que seja aceitável caminhar, e o seu valor pode ser relacionado com uma percentagem de população que se serve. Analiticamente, conforme a equação 2.1 apresentada a seguir, a cobertura de rede ou densidade de rede é a razão entre a área de cobertura e a área urbana.

$$\mu = \frac{AC}{AU} \tag{2.1}$$

Onde, μ é a cobertura, AC (em km²) é a área de cobertura do serviço e AU é a área urbana (em km²).

Molinero e Arellano (1996) acrescenta que, na densidade das redes de transporte, os quilômetros das redes (extensão) por quilômetro quadrado de área (km²) são normalmente interpretados como um balanço entre a amplitude da rede e a frequência do serviço.

Para maior simplificação do problema de configuração da rede de TPU, Van Nes (2002) recomenda uma descrição agregada de forma a limitar as variáveis de decisão a poucos parâmetros, tais como, densidade da rede, densidade de acessos, velocidade da rede e frequência, de acordo com um tipo específico de rede e considerando também as óticas de abordagens, se do usuário da rede (passageiros) ou do investidor da rede ou operador da rede.

Para o usuário, as características da rede têm a ver com o custo e o tempo de viagem; sendo que, esta última é determinada e influenciada pelas seguintes características da rede: acessibilidade do trecho, tempo de acessibilidade e velocidade da rede.

- (a) Acessibilidade do trecho: refere ao número e a distribuição de pontos de acessos onde o passageiro pode entrar e sair da rede; tais como, ponto de parada de ônibus, rampas e aeroportos;
- (b) Tempo de acessibilidade: refere à distribuição de oportunidades por unidade de tempo para o passageiro usar a rede. Esta característica é muito comum em transporte publico ou serviços aéreos e pode ser descrita pela tabela de tempo ou serviço de frequências.
- (c) Velocidade da rede: é a velocidade enquanto viagem na rede, sendo condicionada pela estrutura da rede e o "design speed". Enquanto a velocidade independe da distância percorrida, é preferível a alternativa de tempo de viagem. É no tempo de viagem que centraliza a questão da qualidade da viagem, em detrimento de outras características de serviços.

Na perspectiva do investidor (ou operador da rede), as características da rede afetam os custos: custos de investimentos - especialmente os custos de construção da rede física, relacionado ao tipo de infraestrutura e a extensão total da rede; custo de manutenção - que é o custo para a manutenção da qualidade da infraestrutura e que, novamente, está associado ao comprimento da rede; custos operacionais - associados especialmente ao serviço de rede de transportes e inclui custos em operar os veículos. Estes custos são determinados pelo comprimento (extensão) do serviço de rede de transporte e frequência com os quais tais serviços são oferecidos (VAN NES, 2002).

Além destas características, segundo o autor (op. cit.), com frequência, considera-se relevante as seguintes variáveis de decisão no projeto de rede de transporte: capacidade e a tecnologia de transporte. A capacidade é uma questão importante quando a rede de transporte não é eficaz para acomodar a demanda, enquanto garantia da qualidade desejada (associada ao tempo de viagem esperado). De acordo com a intensidade do uso da rede, a variável capacidade é avaliada sob prismas qualidade e velocidade. A rede de transporte determina a qualidade de serviço de transporte e, consequentemente, o uso da rede. Do mesmo modo, se a capacidade é uma questão de número de passageiros usando a rede, também influencia a qualidade de serviços. O tipo de veículo, ou em termos mais genérico, tecnologia de transporte, relaciona-se a possibilidade de nova tecnologia na decisão da escolha do modo (VAN NES, 2002).

2.3 Economia de rede e economia de rede de TPU

Com avanços da civilização e da história humana surgiram novos conceitos no complexo sistema de organização da produção, como é o caso da economia de rede. A história das redes e seus fundamentos remontam o exercício das atividades econômicas dos seres humanos. São casos, por exemplo, das redes de transportes e as redes logísticas viabilizaram a movimentação de indivíduos, bens e serviços; das redes de comunicação que permitiram trocas de mensagens e informações; e das redes de energia que, por seu turno, forneceram combustíveis de suporte às atividades econômicas (NAGURNEY, 2005). Conforme Shy (2001), vários mercados de bens e serviços satisfazem características próprias chamada de produtos da rede. Estes mercados incluem o telefone, e-mails, Internet, hardwares, softwares, músicas, títulos musicais, vídeos, serviços bancários, livrarias, serviços aéreos, serviços jurídicos entre outros.

Neste sentido, a origem do conceito de economia de rede remete à necessidade de ajuste contínuo, que resultou na formação de redes (alianças, *joint ventures*, consórcios etc.) pelas empresas entre si, com seus clientes, fornecedores, e no seu modo de organização interna. Gradativamente, a economia de rede se transformou em sistematizações relacionadas com as evoluções e as mutações que marcaram a economia dos países desenvolvidos, principalmente do Japão, nas duas últimas décadas, em função da liberalização do comércio internacional; sendo caracterizada por "fluxos tensos", pela ausência de estoques intermediários e pela velocidade, cada vez maior, de resposta à evolução da demanda. Os grandes ganhos de produtividade em curso estão relacionados com a codificação e transmissão de informações que encurtam os prazos do desenvolvimento científico-tecnológico e de sua difusão (MAURY, 1993).

Conforme Maury (1993), a economia de rede contribui para a solução de alguns impasses habituais entre macro e microeconomia, facilitando a implementação da estratégia de polos de desenvolvimento, pela gestão integrada do processo de interiorização dos efeitos induzidos e das funções macroeconômicas, entre as quais a gestão dos recursos naturais e da pobreza.

Conforme Economides (1996), a indústria em rede joga um papel fundamental na vida moderna, tais como, as redes de transporte, comunicações, informação e ferrovias. Segundo ele, mesmo aquelas indústrias que não operam em rede, possuem uma das principais características de rede que é a relação de complementaridade. Similarmente a outros autores, Economides considera linhas e nós e sua complementaridade como componente da rede. Ainda segundo Economides (1996), tradicionalmente, o pressuposto da análise de redes era de que cada rede era possuída por uma única firma. Isso fez com que a pesquisa econômica centrasse na eficiência de uso da estrutura da rede, bem como "alocação" adequada dos custos. Cita por exemplo, a quantidade considerável de pesquisas sobre as economias de escopo na década de 1970, ou seja, os ganhos de eficiência da operação conjunta de componentes complementares de redes; baseada, em parte pelo processo antitruste contra a AT & T. As externalidades positivas do consumo (ou externalidade de rede) ainda constituem a principal propriedade da economia de rede; e, significa que o valor de uma unidade do bem aumenta com o número de unidades vendidas.

Segundo Nagurney (2003), o papel das redes em economia e finanças tem ganhado destaque por várias razões: a emergência de indústrias que são claramente baseadas na rede, transporte e companhias de logísticas, telecomunicação e companhias de energia, as quais fornecem as bases para as economias; o reconhecimento da interdependência entre muitos sistemas de redes, tais como as telecomunicações e finanças; telecomunicações e transportes na forma de comércio eletrônico, por exemplo, e telecomunicações e vários mecanismos de transmissão de energia; o reconhecimento de que novas relações entre agentes econômicos em termos de competição e cooperação estão dando origem a novas cadeias de suprimentos bem como novas redes de financiamentos (financeiras); a compreensão da importância das redes em termos de infraestruturas e preços de seu uso, bem como da gestão de riscos e da incerteza em torno de redes; e o interesse na dinâmica em torno de redes e sua evolução no espaço e no tempo.

Para Economides (1996), Shapiro (1999) e Shapiro e Varian (1998) e Shy (2001), o conceito da economia de rede remete, imperativamente, ao relacionamento global hoje entre assuntos econômicos caracterizados pela conectividade massiva. Por essa razão, a economia de rede de transporte é, antes de tudo, uma economia de complementaridade de efeitos (SHY, 2001; NAGURNEY, 2005; YEVDOKIMOV, 2002; ECONOMIDES, 1996).

A economia de rede de transportes propõe ser uma solução ideal para superar o que Yevdokimov (2001) chamou de soluções ineficientes do serviço convencional de transportes de bens e serviços. Trata-se de um sistema que consiste na rede de usuários, fornecimento de serviços de transportes e o resto da economia; e cuja análise (economia de rede de transporte) pode ser feita nos seguintes níveis: macro, meso e micro.

As externalidades diretas estão relacionadas à expansão da rede física, que eventualmente remetem a melhor acessibilidade para novos locais com diversos grupos populacionais. Indiretamente, as externalidades das redes de transportes estão relacionadas com o crescimento da atividade econômica no entorno da rede, por várias razões: desenvolvimento regional próspero, que aumenta o valor de rede para seus usuários.

Do ponto de vista macroeconômico, a economia de rede em transporte destaca os benefícios globais dos agregados econômicos proporcionados pela rede de transporte: a integração, efeitos multiplicadores (externalidades) etc.. No âmbito microeconômico, propõe-se averiguar a existência de "correlação positiva" entre o formato (tipo) da rede de transporte e os benefícios aos usuários, em termos de minimização de custos e a maximização das externalidades positivas — o bem-estar social, conclui YEVDOKIMOV (2001).

Conforme Blemenfeld-Lieberthal (2008), cidades com fortes relações econômicas caracterizam-se pelo alto volume de conectividade. A conectividade entre as cidades podem ser medidas pela infraestrutura de transporte (por exemplo: rodovias, ferrovias, aeroportos) e facilidades (p. e: frequências de trens e rotas aéreas).

Nesse sentido, o desempenho da produtividade da economia como um todo é fortemente influenciado pela qualidade da rede de infraestruruta como a de transportes, posto que as facilidades de transporte e infraestruturas exercem enorme correlação com várias atividades econômicas, tais como a produtividade, custo de produção, valor de propriedade, emprego e mobilidade pendular (BLEMENFELD-LIEBERTHAL, 2008; BANISTER et al., 2001; Economic Development Research Group. a. C. S, 1999; Economic Development Research Group. a. K. A, 2004, 2005).

Shy (2001) procurou mostrar as interações sociais dos serviços e os efeitos sobre as escolhas de produtos e serviços por parte dos consumidores. Como principais características, esses mercados distinguem de mercados de grãos, higiene e títulos do tesouro, em virtude de possui: (a) complementaridade, compatibilidade e padronização, (b) externalidades de consumo, (c) mudanças de custos e aversão "lock-in", e (d) significativas economias de escala na produção.

A complementaridade significa que consumidores nesses mercados estão comprando sistemas (ex.: computadores e softwares, câmeras e filmes, toca fitas e cassetes, etc.) e não apenas produtos individuais. O fato de os consumidores comprarem sistemas compostos de hardware e software ou componentes complementares permite que as empresas dividam todos os tipos de estratégias em matéria de concorrência com empresas de outros.

A externalidade é dimensionada pela quantidade de consumidores que aderem ao produto oferecido ou compatível; diferentemente dos segmentos de mercado como os de tomate e de sal; em que os consumidores desses bens não precisam de compatibilidade com outros consumidores. A presença desses efeitos "padrões-adoções" pode afetar o comportamento das firmas. A natureza precisa do mercado de produto (e.g., adoção de consumidores ao novo padrão) depende de como os consumidores reagem/ajustam suas expectativas quanto ao tamanho da rede de usuários.

Quanto aos Custos de mudanças e bloqueios, para vários consumidores, mudança do sistema de operação é tão difícil quanto aprender uma nova linguagem. Os usuários têm diferentes níveis de aversão, e pode ser obtido calculando-se o custo da mudança para um serviço diferente ou adoção de novas tecnologias, desde que estes custos determinem o grau no qual usuários são avessos a uma tecnologia dada. Há vários custos da mudança (switching costs) que levam a vários níveis de bloqueios, a saber: (a) contratos, (b) treinamento e aprendizado, (c) conversão de dados, (d) custos de pesquisa, e (e) custos da lealdade - a comutação tecnológica pode resultar em perda de alguns benefícios tais como programas preferidos dos consumidores, frequência de milhagem de voos.

Finalmente, significativas economias de escala, em termos econômicos, implicam elevadíssimos custos fixos enterrados (*sunk costs*), em conjunto com quase desprezíveis custo marginal, implica que a função custo médio decline consideravelmente com o número de produtos vendidos/adquiridos pelos consumidores.

No campo dos transportes, para Shy (2001), as indústrias de transporte caracterizam-se por ter produtores cujas economias de produção apresentam tecnologias de redes. Estas redes de produção possuem um grande número de rotas e percursos alternativos por meio das quais passageiros e cargas são transportados a partir de cidades de origem para as cidades de destino. Por definição, o serviço prestado por uma empresa de transporte é a deslocação física de passageiros e carga a partir de um ponto no espaço geográfico para um segundo ponto no espaço geográfico. Esta característica particular de serviços de transporte implica que a criação de estruturas de rotas envolve o estabelecimento de redes de transporte.

A rede de transporte, enquanto parte do sistema econômico, merece uma análise multifacética em seus serviços de frete e passageiro. A sua estrutura pode ser analisada no âmbito dos efeitos diretos das estruturas fixas de transportes: rodovias, terminais, aeroportos, portos marítimos e outras externalidades positivas da rede (YEVDOKIMOV, 2001).

Segundo Blemenfeld-Lieberthal (2008),

As redes de transportes podem ser consideradas como um *indicador da atividade econômica entre as cidades*. Então, cidades com forte relações econômicas são caracterizadas pelo alto volume de conectividades. Esta conectividade entre cidades pode ser medida pela infraestrutura (estradas, ferrovias, aeroportos) e facilidades (e.g. frequência de trem e rotas aéreas); (Blumenfield-LIEBERTHAL, 2008).

Como as atividades econômicas são desigualmente distribuídas no espaço, tradicionalmente, os determinantes das diferenças espaciais nos padrões de produção têm sido apresentados em termos de diferenças de dotações, de tecnologias ou de regimes políticos, tornando espaços desiguais e no contexto das vantagens comparativas (OTTAVIANO e PUGA, 1997).

Ainda segundo estes autores (*op. cit.*), embora o produto e a concorrência no mercado de fator constituem razões para empresas se localizarem longe uma das outras, estas podem "colidir" com as forças que tendem a puxá-las conjuntamente. Com efeito, a vantagem comparativa passa a não fornecer uma explicação forte sobre a alta concentração espacial da atividade, agravado pelo ambiente de alta "volatilidade" dos negócios no contexto do comércio.

Inicialmente, Yevdokimov (2001) havia definido a função produção de serviço de transporte como uma relação entre o volume de transporte e os três fatores de produção seguintes: (i) capital imóvel de transporte, (ii) capital móvel de transporte, e (iii) serviços. O autor designou tais fatores de *Função produção agregada da rede de transporte*. De acordo com a discussão apresentada pelo mesmo, a função tem que refletir as seguintes características da produção de serviço de transporte na rede de transporte: (i) natureza discreta de capital transporte; (ii) complementaridade do capital transporte; (iii) mudança na utilização da capacidade; (iv) restrições de capacidade.

Assim, Oferta de Transporte pode ser obtida a partir da Função produção global (Agregada) da rede de transporte pela derivada do fator da função demanda e substituindo-o na função produção original. Nesse caso, o volume de transporte, ofertado por um fornecedor de serviço, dependerá de: (i) preço de transporte, (ii) capacidade da rede e (iii) utilização da capacidade da rede.

Apesar de ter "postulado" sobre a economia de rede de transportes sob perspectivas micro, meso e macroeconômica, Yevdokimov (2001) concentrou-se na dimensão macro e seus pressupostos. Nele, o autor supôs um sistema econômico regional que produz commodities manufaturadas agregadas e que o transporte é um *input* na produção destas commodities.

Primeiramente, para obter da demanda de transporte, o autor (op. cit.) considera que há dois tipos de consumidores da rede de transporte – domésticos e setor de manufatura. No primeiro caso, a demanda pode se dividir em dois componentes: (i) T_H – quantidade de transporte comercial (carga e passageiros) demandada pelas famílias - para simplificar, assume-se que seja dado exogenamente; (ii) T_P – quantidade de transporte particular ou transporte por meio de transporte particular – assume-se que seja dada pela seguinte função (equação 2.2):

$$T_P = a + bK_H + cY \tag{2.2}$$

Onde, K_H é o número de carros particulares; Y é o produto total da commodity global manufaturada; a,b e c são parâmetros. O termo cY captura as externalidades positivas indiretas discutidas antes. Nesse caso, estas externalidades podem ser pensadas como um aumento no valor de transporte, associado à expansão de atividades de negócios ao longo da rede física existente. A quantidade de transporte de carga demandado pelo setor manufatureiro T_M é dada como uma parcela do total do produto Y, conforme a equação 2.3:

$$T_{M} = \alpha Y \tag{2.3}$$

Onde α é a parcela de transporte na produção total. Daí, o volume total de transporte na rede é expresso pela função a seguir (equação 2.4);

$$T = T_H + T_P + T_M \tag{2.4}$$

Em seguida, para obtenção da *oferta de transporte*, o autor assumiu que a produção era feita por um único prestador de serviço, tanto para carga quanto para passageiros. Esse produtor fornece veículo de sua propriedade, ao passo que infraestrutura de transporte (capital imobilizado) é o governo que providenciaria. A oferta comercial de serviço de transporte na rede se baseia no seguinte problema de minimização de custos, conforme a expressão (equação 2.5);

$$\min(w_1 K_C + w_2 L_C + w_3 K_F) \tag{2.5}$$

Sujeito a:

$$\frac{dK_F K_C^{\beta} L_C^{\gamma}}{u \P, K_F} \ge T_F + T_M$$

Onde, é K_C o número de veículos comerciais; L_C é trabalho dos operadores de veículos comerciais; K_F é quantidade de capital imobilizado de transporte (instalações físicas ou infraestruturas); w_1 , w_2 e w_3 são preços de fatores; β e γ são parâmetros.

Segundo Yevdokimov (2001) a função incorpora diretamente o congestionamento por meio de utilização da capacidade u, sendo este último em função do capital imobilizado de transporte K_F e do tráfego T. Como o transporte particular T_P é o resultado individual da produção e consumo, sua oferta é a mesma que a demanda.

No que tange a indicadores econômicos globais, o nível macro é representado pela função produção para commodity manufaturada global (agregada), conforme a expressão seguinte (equação 2.6):

$$Y = AK^{\mu}L^{\gamma}T^{\alpha} \tag{2.6}$$

Onde K é a manufatura do capital; L é a manufatura do trabalho; T é o transporte; μ , ν e α são parâmetros. A partir dessas considerações e pressupostos, Yevdokimov (2001) pôde fazer a simulação quatro cenários, usando para tal o programa de *software MathCad8.0*.

Para Blemenfeld-Lieberthal (2008), as redes de transportes conforme visualizadas por Yevdokimov remetem aos sistemas econômicos com estrutura hierárquica, com ligações vertical e horizontal. À luz deste princípio, as redes de transporte são definidas e incorporadas a um sistema econômico que consiste em três níveis: micro, meso e macro. Todos os três níveis são conectados a fim de otimizar todo o sistema e também encontrar características ótimas de transportes como um componente do sistema. A abordagem de sistema permite retornos (feedbacks) macroeconômicos, conforme discutido por Yevdokimov, a inclusão não apenas de externalidades negativas (como congestionamento que tem sido muito estudado em transporte e literatura econômica), mas também, externalidades positivas da rede na forma de consumo.

Basso e Jara-Díaz (2003) haviam analisado o impacto da dimensão espacial do produto sobre a estrutura da indústria de transportes; concretamente, sobre a expansão da rede; a partir da análise das linhas entre o produto tecnologia de transporte e da função de custo (considerando os vários tamanhos de redes em sistemas simples). Os autores mostraram que, a expansão da economia de rede transporte deveria ser vista mais pelo conceito de economias de escopo e não pelo conceito de economias de escala.

Fizeram a distinção entre os elementos verdadeiramente exógenos à empresa de transporte – a estrutura da demanda OD, topologia de rede e descrição de linhas; dos fatores de decisão endógenos como a estrutura de percursos (rotas) – estrutura de serviços e sequência de linhas. E mostraram como uma operação ótima de uma firma muda quando as variáveis exógenas mudam. Em síntese, os autores afirmam que a capacidade da frota pode ser melhora utilizada por meio das variações na estrutura da rota quando novos fluxos são incorporados à produção (após a expansão da rede).

2.3.1 Economias de escala e de escopo no âmbito da economia de rede de serviços

As economias de escalas referem-se ao aumento ou diminuição mais do que proporcional na quantidade produzida de bens e/ou serviços, em decorrência do aumento de todos os insumos. O custo médio do produto tende a ser menor com o aumento da produção.

O fato é que durante muito tempo, os argumentos sobre a existência de economias de escada estiveram atrelados a estruturas e monopólio natural, típicos de setores de produção de energia elétrica, gás, transportes, saneamentos etc.. A partir da década de 1980, a disseminação gradativa da teoria dos mercados contestáveis "rompeu" os alicerces fundamentais daquele dogma (monopólio natural), pela possibilidade de novos entrantes serem capazes de produzir os mesmos bens e/ou serviços a custos potencialmente menores. Munido de conceito da subadidividade de custos, a contestabilidade dos mercados ganhou força, favorecido também pelos avanços tecnológicos e de inovações no campo da gestão e regulação econômica (prócompetitiva).

No contexto da análise espacial da economia, Krugman (1991) e Scotchmer e Thisse (1993) dsicutiram profundamentesobre sobre a economia de escala, tendo colocado um acento tônico no papel dos transportes. De acordo com Scotchmer e Thisse (1993)¹, o espaço desempenha um papel-chave para o real funcionamento dos mercados, conduzindo-o quase que inevitavelmente à concorrência imperfeita. A possibilidade de retornos crescentes de escala constituem, por seu turno, argumentos razoáveis e essenciais para explicar a desigual distribuição geográfica da atividade econômica. Os argumentos destes autores remetem a ideia da necessidade de estudos e implementação de infraestruturas de redes (como a de transportes) a fim de colmatar diferenças de atratividades espacial das atividades, com vistas a promover um ambiente ótmio, onde "ganha-ganha" predomine sobre o "ganha-perde". E nessa perspectiva, Krugman (1991) atestou que a inter-relação entre a rede de transporte e o "sistema" econômico permite negócios mais racionais e com exploração de economias de escala por meio de custos unitários menores.

O alcance de custos menores ocorre em ambientes de proximidades de insumos necessários para a produção, gerando sinergias – clusters, e/ou via incorporação de inovações tecnológicas mais eficientes.

_

¹ "Le modèle de concurrence parfaite ne permet pas d'intégrer convenablement la dimension spatiale. Si les firmes et les consommateurs ne sont pas géographi quement regroupés, et si, du fait d'indivisibilités dans la production, le nombre d'entreprises est petit par rapport au nombre de consommateurs, chaque firme dispose d'un certain pouvoir de monopole vis-à-vis des consommateurs situés dans son voisinage immédiat. La dispersion géographique des consommateurs, et donc les coûts de transport, sont à l'origine de ce pouvoir de marché. Le pouvoir de marché d'une entreprise donnée est limité par l'existence de firmes voisines; l'isolement géographique ne confère donc aux firmes qu'un pouvoir de monopole local. En conséquence, le processus de concurrence spatiale est par nature oligopolistique; l'analyse de ces questions doit donc faire appel aux théories de la concurrence imprfaite." (Scotchmer e Thisse, 1993)

Com efeito, Claessens *et al.* (2003) destacaram a importância dos avanços da tecnologia da informação e da telecomunicação para o desenvolvimento e expansão da oferta e demanda de serviços em rede, particularmente no campo de conglomerados financeiros. A existência de boa plataforma eletrônica, de que dependem as redes bancárias para produção e distribuição de bens e serviços, de modo competitivo, deveu-se também a importantes reformas regulatórias implementadas pelas autoridades, permitindo um novo prisma de competição em setores que, até então, tinham características de monopólio natural (infraestruturas: rede de telecomunicações, gasodutos, redes de eletricidade e água, rodovias, ferrovias ou transporte aéreo).

Vale ressaltar, entretanto, que a implementação de procedimentos competitivo na indústria de transporte urbano, no contexto da Europa Ocidental, não é simples, pois, em muitos casos são prestados por grandes operadores multimodais de transportes, que combinam diferentes sistemas de transportes (ônibus, tramways e trolebus). Em cada caso, a autoridade local poderia manter modelo de concorrência (competição) para o fornecimento de serviço de transportes, ou separar sistemas multimodais e abrir concorrência separada para diferentes modos de transporte (Farsi *et al.*, 2005). Em outras palavras, uma simples companhia de transporte multimodal pode explorar o potencial de economias de escopo e de escalas. Pode-se notar que tais sinergias podem não ser completamente usadas mesmo que diferentes unidades de modal simples (único) sejam de propriedade (ou apropriados) de única companhia proprietária.

E voltando ao contexto da rede, Claessens *et al.* (2003) descreveram as características de rede de bens e serviços (financeiros) e destacaram possíveis problemas de eficiência (falhas de mercado) e política de competição. Durante a análise, *os autores abordaram as economias de escala e de escopo na rede*, do lado da oferta de bens; e apenas a economia de escala da rede, no lado da demanda. Assim, uma vez estabelecida, a infraestrutura de rede e seus custos são irrecuperáveis e os serviços podem ser prestados (fornecidos) a custo marginal zero. Essa percepção levou a criação de órgãos específicos de regulamentação em vários países e regiões, para regular preços finais (competitivos) e considerando os custos de operação da rede (construção, operação, manutenção) e de transmissão. Estes autores consideram que, em termos de relações verticais, os elementos de rede – linhas e nós – são necessariamente complementares.

Por outro lado, as economias de escopo se referem à produção de mais de um bem e ocorrem quando o custo da produção conjunta dos bens é menor do que a soma dos custos de produzir cada bem separadamente. Não há relação direta entre rendimentos crescentes de escala e economias de escopo, de modo que a produção pode apresentar uma característica independentemente da outra.

Como na acepção de Baumol *et al.* (1982), as economias de escopo podem resultar da utilização conjunta de insumos como trabalho e capital; sendo aplicáveis às firmas multisserviços (multiprodutos) e introduz o conceito da subaditividade² dos custos, a conveniência dos custos ou os ganhos obtidos em decorrência do compartilhamento de uma série de inputs justificam a exploração desta (economia de escopo) por parte das firmas. Em geral, as economias de escopo aparecem quando é removida a restrição da especialização no uso de bens de capital. (PINDYCK e RUBINFELD, 1992).

Logo, a variedade e eficiência não são mais conceitos antagônicos. Os custos de produção conjunta compartilhando-se os inputs são mais baixos do que a soma dos custos de produção específicos: economias de escala com produções específicas são menores do que economias de escopo.

Como apontado por Baumol, Panzar et al., (1982), as economias de escopo podem resultar da partilha ou da utilização conjunta de insumos como trabalho e capital. São casos das firmas de distribuição equipamentos similares que compartilham algo como os fios, as linhas aéreas e habilidades similares (por exemplo, aquelas exigidas para a operação e manutenção de rede), (Farsi, *et al.*, 2007). Portanto, uma política eficaz para a separação de vários serviços (multi-utilidades) requer uma avaliação da viabilidade das economias de escopo e sua variação em relação ao tamanho da firma e outras características.

Apesar de sua importância política, existem poucos trabalhos que têm estudado o problema de economia de escopo em multisserviços (multi-utilities). Normalmente, estes estudos sugerem que as economias de escopos são consideráveis, pelo menos, para pequenas firmas (FARSI *et al.*, 2007).

-

² "Cost subadditivity: economies of scope is a restricted form of subadditivity, by considering the extreme cases of comparing the costs of two firms that specialize in the production of different outputs, versus one firm that produces two products at the comparable output levels. (http://www.regulationbodyofknowledge.org/glossary/define/Cost%20subadditivity/)".

A grande dificuldade de estimação das economias de escopo e de escala está no fato de que firmas de serviços (utilities) operam em diferentes redes com várias características de ambientais e técnicas, que poderiam induzir vários níveis de sinergias em diferentes serviços. Muitas dessas características não são observadas ou são difíceis de mensurar. Tais variáveis omitidas poderiam enviesar os resultados. Além disso, as diferenças entre as firmas poderiam ser a variação no produto e tamanho. De fato, a forte heterogeneidade entre serviços (utilities) que operam em ambientes tão diferentes sugerem que uma função custo com coeficiente constante poderia ser inadequada/insuficiente para uma análise confiável de economias de escopo (FARSI, *et al.*, 2007).

Vale ressaltar que, a pesquisa destes autores teve como base um painel de dados de 87 empresas obtidos ao longo de 9 anos, a fim de estimar as economias de escopo e de escala para as firmas individuais. As variações em firmas individuais foram estudadas considerando-se as heterogeneidades de dados observados e os inobservados (não observados).

Os resultados sugerem significativas economias de escopo e de escalas em nível mais de produtos, independentemente das variações das características observadas. As análises também destacam os efeitos da heterogeneidade entre as empresas, sugerindo que a elaboração das especificações econométricas, onde os coeficientes aleatórios podem ser usados para analisar a variação potencial em economias de escopo e de escala paralém das características observadas, como os padrões de produção e densidade de clientes (FARSI, *et al.*, 2007).

Ainda de acordo com estes autores, a análise da economia de escopo e sua avaliação em diferentes firmas podem ter importantes implicações para o debate sobre reformas regulatórias de setores de gás e eletricidade suíços. Portanto, é importante que autoridade federal suíça identifique em que medida as firmas multisserviços são capazes de usar economias de escopo e de escala para reduzir seus custos em comparação com um grupo único de firmas de serviço público. Esta questão, em consonância com a questão de monopólio natural levantada por Baumol, Panzar *et al.* (1982), que tem sido aplicado em serviços públicos locais.

Nessa perspectiva, os autores usaram o modelo específico baseado na função custo com três produtos setoriais (eletricidade, gás e água). O modelo incluiu uma medida de características de áreas de serviços e três tendências temporais lineares de setores específicos para capturar as mudanças tecnológicas. Além disso, quatro tipos de preços foram incluídos no modelo. A densidade de clientes foi apresentada como uma característica no segmento de serviço, visto que pode capturar, ainda que parcialmente, o impacto no custo da heterogeneidade do segmento de serviços das empresas. Na verdade, as diferenças nas redes e dos ambientes influenciam o processo de produção e, portanto, os custos.

Conscientes de que a heterogeneidade de serviços não pode ser resumida numa única variável, e considerando a omissão de informação sobre características da rede e do seu ambiente, e, portanto são omitidas na função custo, FARSI, *et al.*, (2007) desenvolveram modelos econométricos (estimação da função custo total) onde esses fatores (omissos) foram representados por componentes estocásticos de empresas específicas.

Basso e Jara-Díaz (2006) analisaram a rede de transporte de tamanho fixa e "postularam" a distinção entre as economias de escala e da densidade para multiproduto (carga ou passageiros). Para estes autores, diante de uma situação de aumento da produção, a empresa de transporte ajusta a sua estrutura de rota para acomodar tal acréscimo.

Enfatizaram a necessidade de se diferenciar o tamanho da rede da sua estrutura. Quando o tamanho da rede e a estrutura da rota forem fixas (constante) tem-se a economia da densidade; se o tamanho da rede for fixa (constante) e a estrutura do percurso (rota) for variável, resulta em economia de escala de multiproduto. Finalmente, se o tamanho da rede for variável, a presença da economia de escopo prevalece, independentemente da estrutura do percurso (rota) manter-se fixa ou variável. Os autores concluíram que, as empresas de transportes, mesmo no limite do fim da economia da densidade, ainda assim teriam importantes consideráveis economias de escalas.

De acordo com Basso e Jara-Díaz (2003), quando se analisa a estrutura da indústria, o grau de economias de escala é provavelmente o mais importante conceito que emerge como o centro deste tipo de análises. Em transporte, o uso de agregados – que

normalmente, elimina a dimensão espacial do produto – tem provocado a necessidade de se fazer uma distinção entre economia de escada e economia de densidade, o qual tem sido associado ao tamanho da rede variável ou constante, respectivamente.

A abordagem usual se baseia na função custo estimado $C(\overline{Y};N)$ onde \overline{Y} é um vetor de descrição de produto agregado (incluído os chamados atributos) e N é uma variável representando a rede (preços de fator são suprimidos para simplicidade). Para atingir o seu objetivo – identificar de forma inequívoca o papel da dimensão espacial do produto nas análises da estrutura da indústria de transporte, sobretudo no contexto do aumento de redes - Basso e Jara-Díaz (2003) apresentaram as seguintes definições para o Retorno da Densidade (RTD) e Retorno de Escala (RTS), conforme as equações 2.7 e 2.8:

$$RTD = \frac{1}{\sum_{j} \tilde{\eta_{j}}}$$
 (2.7)

e,

$$RTS = \frac{1}{\sum_{i} \tilde{\eta}_{j} + \eta_{N}}$$
 (2.8)

Onde η_j é a elasticidade de $\overline{C}(\overline{Y};N)$ com relação ao produto agregado j e η_N é a elasticidade relativa a N, sendo RTS < RTD desde que a elasticidade da rede seja positiva (BASSO e JARA-DÍAZ, 2003).

Moria e Nishikimib (2002), mesmo tendo discutido a economia de escala ótima para fornecimento da água por parte das companhias regionais do Japão, destacaram a importância da densidade, e trouxeram grande contribuição ao comparar modelos propostos por vários autores entre 1969 e 1998 para a obtenção de retornos de escala e o da densidade, em diferentes setores de produção. Os modelos destacados foram loglinear, linear e translog, a partir da função custo (custo variável médio; custos variáveis; custo total). Por fim propôs o modelo de custo hedônico (uma função custo translog contendo a especificação do produto, segundo uma medida da qualidade desta).

Os autores enfatizam que a função quadrática de custos, conforme Jara-Diaz et al.(2007), é uma das mais relevantes opções para se estimar economias de escopo. A justificativa é que essa forma funcional acomoda valores zero para as saídas, permitindo

a identificação clara das economias de escopo. Embora, as funções logarítmicas possam ser usadas com transformação para valores zero de pequenos valores arbitrários, constata-se que esta abordagem pode resultar em grandes erros de estimação das economias de escopos (FARSI et al., 2007).

Quando a desvantagem da forma quadrática, estes autores dizem que a homogeneidade da função custos nos preços de entrada não pode ser imposta pelas restrições paramétricas sem o sacrifício da flexibilidade da forma funcional (CAVES et al., 1984). Portanto, estes decidiram adotar a **função quadrática não-normalizada** porque a variável preço nos dados obtidos poderia conter alguns erros computados e os efeitos de tais erros poderiam ser exacerbados por meio de normalização requerida pela imposição de restrição homogeneidade linear.

A função quadrática de custos adotada, usando uma especificação para efeitos aleatórios, foi a seguinte (equação 2.9):

$$C_{ii} = \alpha_0 + \sum_{m}^{M} \alpha^{\bullet} q_{ii}^{\bullet} + \frac{1}{2} \sum_{m}^{M} \sum_{n}^{M} \alpha^{mn} q_{ii}^{\bullet} q_{it}^{n} + \sum_{p}^{P} \beta^{p} w_{ii}^{\bullet} D_{i}^{\bullet} + \alpha' r_{it} + \sum_{m}^{M} \gamma^{m} \tau_{i}^{\bullet} D_{i}^{\bullet} + u_{i} + \varepsilon_{it}$$
 (2.9)

Onde, m e p denotam, respectivamente, o número de produtos (1, 2 e 3) e o número de fatores de entrada "input factors" (1, 2, 3 e 4); e i e t denotam, respectivamente, a empresa e o ano. Os termos estocásticos u_i e ε_{it} representam, respectivamente, o efeito individual da firma especifica e o erro. O fator preço w e a variável densidade r foram introduzidas na forma linear (segundo Mayo, 1984). As variáveis $dummy D_i^{(p)}$ assumem o valor 1 (um) se o correspondente fator entrada for usado na produção.

Mais adiante, os autores estimaram a função custos usando um modelo de coeficiente aleatório (RC – random coeficient). No modelo, os três coeficientes de saída (produto), o intercepto e as características de saídas (produto) são consideradas variáveis aleatórias com distribuição normal entre as firmas. A função quadrática de custos com coeficiente específico adotado foi expressa da seguinte forma (equação 2.10):

$$C_{ii} = \alpha_{i}^{0} + \sum_{m}^{M} \alpha_{i}^{(n)} q_{ii}^{(n)} + \frac{1}{2} \sum_{m}^{M} \sum_{m}^{M} \alpha_{ii}^{mn} q_{ii}^{(n)} q_{ii}^{(n)} + \sum_{m}^{P} \beta^{p} w_{ii}^{(n)} D_{i}^{(n)} + \alpha^{r} r_{ii} + \sum_{m}^{M} \gamma^{m} \tau_{i}^{(n)} D_{i}^{(n)} + u_{i} + \varepsilon_{ii}$$
(2.10)

Onde:
$$\alpha_i^{\bullet, \circ} N(\mu_{\alpha^m}, \sigma_{\alpha^m}^2)$$
 para m= 0, 1, 2, 3 e $\alpha_i^r \sim N(\mu_{\alpha^r}, \sigma_{\alpha^r}^2)$

Vale ressaltar que, em 2006, estes autores teriam analisado a estrutura de custos de uma amostra de operadores de transporte multimodal suíços, a fim de avaliar a existência de economias de escala e de escopo em transporte público local (Suíça). O resultado da pesquisa sugeriu que a indústria caracterizava-se pelo aumento de retornos de escalas e economias de escopo (Farsi, et al., 2005). Estes autores constataram que apesar de haver grande produção literária sobre a estrutura de custos de produção de empresa de ônibus, pouquíssimos estudos abordam a questão de economias de escopo dos sistemas de transportes urbanos.

Farsi et al., (2006) destacam Gillen e Oum (1984) que estudaram as empresas que operavam um único modo de transporte, mas numa configuração de multiprodutos (com base em tipo de serviços, nomeadamente, urbano, interurbano etc.). Também destacaram o estudo de Viton (1992), que estudou a estrutura de custos de 289 empresas de transporte urbano dos EUA, no período de 1984-1986; englobando seis modos diferentes: ônibus-motor, trem expresso (rápido), bondes, trólebus, etc.; tendo usado para tal uma função quadrática de custo total que continha as seguintes variáveis: seis produtos medidos em veículos - km, preço do trabalho e a velocidade média em cada um dos seis modos. O resultado empírico apontou para a presença de economias de escala e de escopo. No entanto, a extensão das economias de escopo depende do nível de pós-consolidação do salário: se os salários permanecerem inalteradas após a consolidação, haveria economias de escopo para certos modos de transporte; e se, por outro lado, os salários aumentassem, devido à consolidação, as economias de escopo seriam menores ou até mesmo negativas.

O estudo de Farsi *et al.*, (2006) levou em consideração os três modos de transportes urbanos mais usados na Europa, nomeadamente, ônibus, trólebus e tramway. Trata-se de primeiro estudo empírico sobre o sistema de trânsito europeu que fornece evidências sobre as economias de escala e de escopo entre os modos de transporte. Foi utilizada uma abordagem econométrica. A especificação do modelo baseou-se na função de custo, com três saídas (outputs), nomeadamente, serviços de transporte em três modos e duas entradas (inputs): trabalho (L) e o capital (K); bem como o tamanho de rede (n). Admitindo-se o pressuposto de que a empresa minimiza os custos e que a tecnologia é convexa, uma função Custo Total pode ser escrita conforme a expressão a seguir (equação 2.11):

$$C = C\left(y^{\bullet}, y^{\bullet}, y^{\bullet}, w^{\bullet}, w^{\bullet}, n, t\right)$$
(2.11)

Onde, C representa o Custo Total; $y^{(1)}$, $y^{(2)}$ e $y^{(3)}$ são números de lugares-km fornecidos pelos sistemas de trólebus, ônibus e tramway, respectivamente; e; $w^{(1)}$ e $w^{(2)}$ são fatores preços de trabalho e capital, respectivamente. A maior fração de Custos Totais ficou com os custos de trabalho (61% em média). O preço de capital inclui também custos de material e custos de energia. O tamanho da rede (n) foi medido pelo número de paradas e t é a tendência linear, que capta a mudança tecnológica, representando mudança técnica.

Farsi *el al.*, (2006) valeram-se do procedimento de Baumol et al.(1982) e De Mayo (1984), ou seja, uso da função quadrática de custos, para especificar a seguinte função custo (equação 2.11):

$$C_{it} = \alpha_0 + \sum_{m}^{M} \alpha^m y_{it}^{\bullet, -} + \frac{1}{2} \sum_{m}^{M} \sum_{n}^{M} \alpha^{mn} y_{it}^{\bullet, -} y_{it}^{\bullet, -} + \sum_{p}^{P} \beta^p w_{it}^{\bullet, -} + \alpha^n n_{it} + \alpha^t t_t + \varepsilon_{it}$$
(2.11)

Onde, m e p denotam respectivamente, o número de produtos (1, 2 e 3) e o número de fatores de entrada "input factors" (1, 2); e i e t denotam respectivamente, a empresa e o período. Variável y é a quantidade de produto; w é o fator preço; t é a tendência temporal e n é a característica da rede. Os preços dos fatores e as variáveis de rede são introduzidos de forma linear.

O modelo econométrico foi estimado a partir de um painel de dados de 16 firmas com mais de 19 anos (300 observações). Os resultados mostram que a produção e os coeficientes do preço de entrada (*inputs*) têm sinais positivos e são bastante significativos. A função custo é côncava nos produtos como α' , α^2 e α^3 positivos e os termos quadráticos α'' , α''^2 e α''^3 são negativos; significando que os custos marginais são decrescentes em trólebus, ônibus e lugares-km. Os coeficientes da primeira ordem são os maiores para bondes, seguido de trólebus e ônibus. Como trólebus e ônibus estão relacionados com custos fixos elevados em relação aos custos variáveis, os coeficientes são razoáveis.

A economia de escala global descreve o comportamento dos custos devido às mudanças proporcionais na produção. Além disso, as economias de escalas de produtos específicos dizem respeito à mudanças de pelo menos um produto (*output*), enquanto

pelo menos um produto (*output*) permanece constante. Assim, foi definida a economia de escala de um produto específico (m) conforme a expressão apresentada na equação 2.12:

Pela equação 2.13, na acepção destes autores, citando Baumol *et al.* (1982), existe economias de escopo em três casos de saídas (output) se:

$$C \blacktriangleleft > C(y^{1},0,0) + C(0, y^{2},0) + C(0,0, y^{3})$$
 (2.13)

As economias de escopo (SC) estão presentes se houver ganhos de eficiências de custos para o conjunto da produção de múltiplos produtos. Portanto, há economias (ou deseconomias) de escopo global se SC>0 (ou SC <0). O grau de economias de escopo global na produção de dois produtos é determinado segundo a expressão (equação 2.14):

$$SC = \frac{C(y^{1},0,0) + C(0,y^{2},0) + C(0,0,y^{3}) - C(y)}{C(y)}$$
(2.14)

No caso de trabalho desenvolvido por Colburn e Talley (1992), analisaram as economias de escala e de escopo de uma única empresa de multisserviço urbano, tendo sido utilizado dados trimestrais de 1979 a 1988, de quatro modos: ônibus-motor, "diala-ride", serviço de idosos (elderly service) e serviço de van (van pool service). Corbum e Talley (1992) usaram a função de custo total *translog* com as seguintes variáveis explicativas: quatro produtos (outputs), medidos em veículos-km; e três preços de fatores (trabalho, combustível e capital). O resultado empírico relatado no estudo indica economia de escala inexplorada. Entretanto, a evidência de complementaridade de custos limitou-se a certas combinações envolvendo ônibus-motor e os três serviços de trânsitos (serviço de idosos, serviço de van).

Outro importante estudo sobre economias de escala, de escopo e densidade foi desenvolvido por Romero-Hernández e Salgado (2005). Estes autores analisaram a indústria de transporte aéreo de passageiros da Europa, a fim de medir os índices de desempenho e existência de economias de densidade, de tamanho da rede e de escopo espacial; a partir de dados de 1984 a 1998, período que, segundo eles, houve várias medidas de desregulação neste setor. Enquanto Farsi, *et al.*, (2006) usaram a função custo quadrática aplicado ao setor de transporte urbano (terrestre), Romero-Hernández e Salgado (2005) usaram a função de custos *translog* aplicado ao setor aéreo de países europeus.

Metodologicamente, nesse estudo, Romero-Hernández e Salgado (2005) fizeram a modelagem dos custos das companhias aéreas europeias usando a função de custos translog (sendo possível determinar a existência de economias de densidade, economias de tamanho da rede e economias de escopo espacial para cada empresa). A estimação dos custos total e variável permitiu estimar o nível de superinvestimento no setor aéreo europeu.

Segundo autores (*op. cit.*), a existência de economias de escalas é definida pela tecnologia – é um problema de longo prazo, e supõe-se que todas as empresas estarão minimizando as suas funções de despesas. No curto prazo, entretanto, a empresa estará longe do seu ponto ótimo de entrada dada a flutuação da demanda. Para resolver esse problema, os autores sugerem os seguintes métodos: (1) estimar a função de custo no curto prazo, para depois utilizá-la na análise de longo prazo; ou, (2) mudar a referência temporal de dados para uma em que todas as entradas podem ser alteradas.

A referência temporal de um banco de dados define quais as entradas podem ser considerados fixos. Uma amostra com dados mensais não é adequado para estimar uma função custo de longo prazo, porque há entradas mais prováveis que a empresa não pode mudar dentro desse período. Para uma companhia aérea este poderia ser o número de aviões ou mesmo o número de empregados. No entanto, é necessário ter em conta que há certo conjunto de insumos, conhecido como insumos quase fixos, que se tornam variáveis para diferentes referências temporais. Ao considerar uma referência temporal de um ano, essas entradas poderiam incluir novamente aviões ou empregados. Nesse caso, os tipos de entradas podem ser considerados como variável, conforme (OUM e ZHANG, 1991), ROMERO-HERNÁNDEZ E SALGADO (2005).

Romero-Hernández e Salgado (*op. cit.*) modelaram tanto as funções custos totais (TC) quanto os custos variáveis (VC), representadas pelas equações abaixo. Em ambas as funções custos (equações 2.15 e 2.16), foram usadas um vetor de dois produtos (Y), passageiro-quilômetro e frete-quilômetro voados (freight-kilometers = custo-quilômetro). Para a função custo total foram utilizados preços de quatro insumos (W): energia, labor, material e capital. Para a função custos variáveis utilizou-se o número de aeronaves (Z) em lugar de preço de capital, como um *Proxy* do tamanho da companhia.

$$TC = f \langle V, W, Q, T \rangle$$
 (2.15)

e,

$$VC = f \langle V, Wv, Q, Z, T \rangle$$
 (2.16)

Como o vetor de produção é uma medida agregada do vetor real, os autores adicionaram um conjunto de variáveis (Q) para qualificar a produção a fim de introduzir mais informação acerca das características de diferentes transportadoras (conforme Spady e Friedlander, 1978). Estas variáveis são: distância média (the average stage length), que é uma medida da distância média das viagens (A), o fator de carga (L) — "the load factor"; e o número de rotas atendidas (N). O fator de carga mede o quanto cada aeronave em operada está completa, em média.

Como indicador do tamanho da rede, Romero-Hernández e Salgado (op. cit.) usaram o número de rotas atendidas por cada companhia. O uso desta variável tem duas principais vantagens. Primeira, ela gera a mais precisa medida do Tamanho da Rede do que o número de pontos atendidos, usado antes na literatura. A justificativa é de que mesmo duas Cias de transporte aéreo com mesmo vetor de produção, preço de insumos e número de pontos atendidos e até quando ambas Cias possuem mesmo número de aeroportos, o simples fato de realizarem diferentes números de rotas, elas não teriam a mesma rede.

O uso número de rotas atendidas por cada Cia no lugar de número de pontos atendidos para a modelagem da função custo permitiu reinterpretar o indicador do tamanho da Economia de Escala usado previamente na literatura como um indicador de Economia do Tamanho da Rede. Finalmente, os autores adicionaram a variável tendência de tempo a fim de capturar como os custos mudam ao longo do tempo.

A aplicação de desvios das observações em torno da sua média possibilitou "evitar" o problema da multicolinearidade em face de grande número de parâmetros usados na função custo translog, bem como a captura da direta da elasticidade custo estimado para cada produto. Feito isso, as especificações das funções custos totais e variáveis obtidas foram as seguintes (equação 2.17):

$$\ln TC \P, Wv, Q, Z = \alpha_{0} + \sum_{i=1}^{n} \beta_{i} \ln \left(\frac{y_{i}}{\overline{y}} \right) + \sum_{i=1}^{n} \lambda_{i} \ln \left(\frac{w_{i}}{\overline{w}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln \left(\frac{y_{j}}{\overline{y}} \right) \ln \left(\frac{y_{j}}{\overline{y}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln \left(\frac{y_{i}}{\overline{y}} \right) \ln \left(\frac{y_{j}}{\overline{y}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln \left(\frac{y_{i}}{\overline{y}} \right) \ln \left(\frac{y_{j}}{\overline{y}} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{z}{\overline{z}} \right) \ln \left(\frac{z}{\overline{y}} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{z}{\overline{z}} \right) \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{y}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \delta_{ij} \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \delta_{ij} \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} \ln \left(\frac{q_{i}}{\overline{q}} \right) \ln \left($$

No segmento dos transportes rodoviários de passageiros, deve-se destacar o estudo de Silva (1997), pois este analisou a estrutura de custos de operação das firmas da indústria de transporte rodoviário de passageiros inter-regional do Brasil, e em particular as elasticidades de custo, a demanda por fatores de produção, os fatores de substituição e economias de escala. Silva (1997) também usou a derivativa da função de custo translog generalizada multiproduto (vide equação 2.18) que tem por base a estimação econométrica da produção e da dualidade; sujeita às condições de simetria e homogeneidade linear e, utilizando os fatores da capital e mão de obra.

$$\ln C(P,Q) = A_0 + \sum_{i}^{m} \alpha_i \ln Q_i + \sum_{i}^{n} \beta_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_{i}^{m} \sum_{i}^{m} \delta_{ij} \ln Q_i \ln Q_j + \frac{1}{2} \sum_{i}^{n} \sum_{i}^{n} \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j + \frac{1}{2} \sum_{i}^{m} \sum_{i}^{n} \rho_{ij} \ln Q_i \ln P_j$$
(2.18)

Onde, $\ln(C, P) = \text{Custo}$ de produção; $P_i = \text{Preço}$ do capital; $P_j = \text{Preço}$ do trabalho; $Q_i = \text{Quantidade}$ de capital; $Q_j = \text{Quantidade}$ de trabalho; e α ; $\beta = \text{Coeficientes}$.

Ainda de acordo com este autor, como se trata de uma função estimada como multiproduto (medida em passageiros e ônibus-quilômetro) para cada rota-regular, a sua especificação como modelo na sua forma linear com características de uma função tipo-translog é dada pela equação 2.19, a seguir:

E as variáveis do modelo são:

C = Custo Total; m = número de insumos; n = número dos tipos de serviços; q = total ônibus-quilômetro; q = número de passageiros por tipo i; q = número de ônibus-quilômetro j w = preços de insumos k, k=1,..., m; q = número de ônibus-quilômetro j $\varepsilon = \text{termos do erro randômico};$ $\varepsilon = \text{termos do erro randômico};$ $\varepsilon = \text{termos do média da rota}$

A fim de diagnosticar as economias de escala - que vincula o comportamento dos custos entre os fatores produtivos e a dimensão da operação global na rede - ante as variações nos diferentes níveis de produção, que determinam o vetor produto - a estimativa de sua elasticidade em relação ao produto (*Pkm*) foi dada pela expressão (equação 2.20):

$$\varepsilon_{s} = \left[\frac{d \ln \left(pkm, Em, Et \right)^{-1}}{d \ln pkm} \right]^{-1}$$
(2.20)

Nesse sentido, segundo Silva (1997), há economia de escala quando $\varepsilon_s > 1$; os retornos constantes de escala ocorrem quando $\varepsilon_s = 1$; e as deseconomias de escala ocorre quando $\varepsilon_s < 1$.

Outro estudo relevante foi realizado por Farsi *et al.* (2005), quando examinaram o desempenho da indústria de rede transporte ferroviário, tendo englobado de 50 Cias em operação há mais de 13 anos. Estudaram os efeitos despercebidos e específicos de cada Cia e sua tendência por meio de comparação de vários modelos de fronteira estocástica.

De acordo com estes autores, o sistema de transporte ferroviário suíço é composto por setor de transporte internacional e inter-regional. O primeiro é monopolizado pelas Ferrovias Federais Suíças, que operam mais a metade das redes de transportes ferroviários desse país. O segundo setor é constituído por ferrovias regionais e locais, possui uma extensão de 40 km, envolvem 49 companhias de ferrovias regionais (RRC) e representam 1/3 de passageiros transportados por ferrovias da Suíça. Estas cias têm por função principal conectar a região rural a rede ferroviária urbana ou a rede de

transporte urbano. As Cias regionais operam com uma licença de monopólio territorial concedida pela Confederação³ (FARSI, *el al.*, 2005).

Em 1996, por ocasião do crescimento substancial de subsídios governamentais às cias ferroviárias, o governo suíço introduziu uma série de reformas regulatórias que, dentre outros, substituiu a forma de subvenção de cobertura completa dos déficits pelo sistema de pagamento fixo a ex-ante. Esse novo modelo regulatório potencializa a tendência competitiva na avaliação e atribuição de licenças, por meio da qual, as Cias ferroviárias com melhores desempenhos seriam preferências e estimuladas a oferecer serviços de transporte.

Orrico Filho (1979) dissertou com profundidade sobre a economia de escala em TPU, tendo advertido sobre o risco de se cometer equívoco conceitual entre a economia de escala e a capacidade ociosa da firma (subutilização de algum fator de produção). Sendo a economia de escala o aumento (diminuição) da produtividade da firma ou a diminuição (aumento) do custo unitário como resultado do incremento de todos os insumos de produção; as duas óticas são justificáveis pela: indivisibilidade de fatores de produção, pelo tamanho do mercado e pela especialização (exclusividade de produção) bem como pela automatização e tamanho de estoques.

Em seu modelo econométrico, Orrico Filho (1979) analisou dados de 55 empresas de ônibus urbanos da cidade do Rio de Janeiro, referente a período compreendido entre julho/1974 a junho/1975. A ocasião, os dados foram agrupados em dois grupos: os referentes a custos foram: combustível, lubrificantes, rodagem, peças e acessórios, pessoal de tráfego, pessoal de manutenção; e os dados de operação foram: quilometragem média mensal, frota, velocidade média no pico, salário médio tráfego, salário médio manutenção, fator tráfego (homem/veiculo), fator manutenção (homem/veículo), passageiros transportados (milhares por mês). Orrico Filho estudou dois modelos: modelo linear e log-linear. Os resultados da regressão linear múltipla deram indícios da existência de economia de escala nos dois modelos. Cabe destacar, que ao longo da discussão, Orrico Filho (1979) havia observado que as divergências quanto a existência ou não de economias de escalas em TPU por ônibus são atribuídas a perspectivas de abordagens seguidas pelos autores.

Suíça é o ma confederação composta pór 26 cantões e cerca de 3000 municípios. Cada cantão tem um alto grau de autnomia em sua organização, planejamento e regulação de transporte público local. A licença concedida define responsabilidades das Cias, que imlica na obrigação desta em fornecer serviços regulares de acordo com calendário fixo e aplicar o regime tarifário oficial. Além disso, as Cias recebem subsídios para cobrir seus déficits resultantes de custos o peracionais e de investimentos em infraestruturas da Confederação e do Cantão correspondente (FARSI, FILIPPINI e GREENE, 2005).

Entretanto, na maioria dos estudos analisados, a modelagem da economia de escala (em especial, economias de escala em TPU) é feita sob a ótica da produtividade total dos fatores de produção (PTFP), e sua mensuração feia a partir dos retornos de escala; podendo ser crescente, constante e decrescente. Há retorno de escala quando da variação dos custos unitários em relação a variações proporcionais em tamanho de rede e a prestação de serviços de transporte (CAVES *et al.*, 1984).

2.3.2 Economias da aglomeração e da densidade no âmbito da economia de rede

A literatura recente de economia espacial destaca que estas forças estão associadas à presença de retornos crescentes de escala, externalidades e estruturas imperfeitas de mercado. A configuração espacial da atividade econômica é entendida como resultado de processos que envolvem dois tipos de forças opostas: forças de aglomeração (centrípetas) e forças de dispersão (centrifugas). As implicações de configurações espaciais da atividade econômica são variadas e complexas, impactando no crescimento econômico, no progresso tecnológico, na organização industrial, na desigualdade, no bem-estar e até problemas ambientais (IGLIORI e SARTORIS, 2007).

A economia de aglomeração consiste da redução dos custos de produção em função das externalidades (vantagens ou facilidades) proporcionadas pela existência de outras atividades que se situam próximas (aglomeradas). Por exemplo, a existência de mão-de-obra, produtores de insumos, comércio, serviços, assistência técnica etc., concentrados e próximos à unidade de produção (IPEA, 2005).

Segundo a teoria econômica urbana, as grandes cidades e muito densas e os clusters industriais proporcionam benefícios econômicos tangíveis para as empresas, traduzidos em altos níveis de produtividade e baixos custos (GRAHAM *et al.* 2010). Para estes autores, as principais bases das externalidades da aglomeração são pensadas com intuito de produzir novas oportunidades para o mercado de trabalho do agrupamento, interações de conhecimento, especialização, a partilha de insumos e produtos, e da existência de bens públicos.

Ottaviano e Puga (1997) consideram haver diferentes níveis de agregação na aglomeração econômica: (a) aglomerações de pequenas escalas de setores bem definidos, como por exemplo, os distritos industriais altamente especializados:

indústrias de produção de tapetes na cidade georgiana de Dalton –EUA, e a indústria têxtil italiana na cidade do Prato; (b) aglomerações de grande escala que ultrapassam as fronteiras do estado e país, como por exemplo: o "cinturão industrial" nos EUA, (contidas no paralelogramo Green Bay-Saint Louis- Baltimore-Portland) e o "Hot Banana" na Europa, capazes de cobrir áreas que se estendem Milão a Londres, incluindo Norte de Itália, sul da Alemanha, o sudeste de França, região do Ruhr, o Ile de France, Bélgica, Países Baixos, e Sudeste da Inglaterra.

De acordo com Igliori e Sartoris (2007), a riqueza da diversidade das aglomerações "obedece" normalmente a certa hierarquia urbana, onde, de um lado encontram-se metrópoles como Nova Iorque, Tóquio, Londres e Paris (ou São Paulo, Cidade do México, Nova Deli) que são muito diversificadas; e de outro, as cidades ou regiões especializadas, como os distritos industriais italianos, o Vale do Silício, ou até as cidades-fábrica (como a Toyota City). Nessa perspectiva, as aglomerações também se manifestam em escalas menores configurando as cidades internamente. Vê-se, por exemplo, à formação de distritos industriais, centros comerciais ou de entretenimento em alguns bairros, grupos de rua ou até em uma única rua. No limite pode-se até pensar em um Shopping Center como uma pequena aglomeração (citando FUJITA e THISSE 2002).

No sentido mais amplo, as economias da aglomeração ocorrem quando os agentes têm benefícios de estar a outros agentes. Essa proximidade, segundo Graham *et al.* (2010), pode ser física, mas os transportes e as comunicações desempenham papéis cruciais, pois na maioria dos casos, a velocidade e baixos custos de transportes e comunicação representam um substituto direto para a proximidade física; e também a proximidade dos consumidores e produtores. Ou seja, economias de aglomeração surgem por causa dos benefícios da produção baseada na maior conectividade.

No contexto da acessibilidade em transporte e a aglomeração econômica, Graham *et al.* (2010) explicam que os índices de acessibilidade de transportes diferem dos índices de mercado e da população potencial, na medida em que medem a distância ou o tempo de viagem ao longo das redes de transportes existentes, em vez da linha reta ou outras distância baseadas simplesmente na localização geográfica relativa. Estas distâncias e tempos são, muitas vezes, convertidos em custos generalizados de transportes,

utilizando as estimativas do valor monetário do tempo de viagem, custos de combustível derivados da outra parte.

No tocante a economia da densidade, Yevdokimov (2001) a define como um decréscimo no custo total médio de transporte devido ao aumento da utilização da capacidade da rede de transportes existentes. Em outras palavras, para Silva (1997), a existência de economias da densidade ou retornos de densidade reflete a relação dos custos de produção com os fatores produtivos e a operação da rede viária, que se mantém fixa.

Analiticamente, citando Caves *et al.* (1984), Romero-Hernández e Salgado (2005) definiram à Economia da Densidade (ED) e o Estimador de Economia de Tamanho da Rede (ENS), pelas seguinte expressões (equação 2.21 e 2.22):

$$ED_{i} = \frac{C(V, Y)}{\sum_{i} \frac{\partial C(V, Y)}{\partial Y_{i}} Y_{i}} = \frac{1}{\sum_{i} \frac{\partial C(V, Y)}{\partial Y_{i}} C(V, Y)} = \frac{1}{\sum_{i} \pi_{yi}}$$
(2.21)

Onde, (Y) é um vetor de dois produtos (passageiro-quilômetro e frete-quilômetro voados); (W) é o preços de quatro insumos (energia, labor, material e capital); e (C) é custo de produção.

$$ENS_{i} = \frac{1}{\sum_{i} \pi_{yi} + \pi_{Ni}}$$
 (2.22)

Onde π_{yi} é a *Elasticidade Custos*, dada pelo regressor da equação estimada; π_{Ni} é o regressor do número de rotas atendidas pela Cia *i*.

ED indica quão a produção aumenta quando todos os insumos aumentam em proporções fixas. Esta é a base do pressuposto da *análise radial* e, portanto, mantém a proporção do vetor produção constante. ENS indica como produção aumenta proporcionalmente com relação aos insumos quando o número de rotas atendidas aumenta proporcionalmente. Este indicador mantém a média da rota usada constante, pois ela mantém constante o total de ton.-km pela rota de diferentes resultados.

Silva (1997) também apresentou a elasticidade inerente à economia da densidade da seguinte forma (equação 2.23):

$$\varepsilon_D = \frac{1}{\sum_{i:} \langle \mathbf{f}_{ii} \rangle} \tag{2.23}$$

Portanto, a economia da densidade é crescente quando ε_d <1; retorno constante quando ε_d =1, e retornos decrescentes quando ε_d >1. O autor esclarece que o retorno da densidade constante é quando há aumento proporcional da produção (possível por um acréscimo proporcional nos custos dos fatores produtivos) em relação a uma variação das distâncias na rede.

O diagnóstico da existência de economias da densidade também foi observado por Farsi et al., (2005), por ocasião de estudos da reestruturação gerencial da rede de transportes ferroviários suíços no contexto do novo ambiente regulatórios, baseado na competição e privilégio à Cia mais eficiente.

Na perspectiva destes autores, a estimação de uma função custo permite derivar (extrair) características importantes da tecnologia tais como economias de escala e da densidade, conforme especificação (equação 2.24):

$$ED = \frac{1}{\frac{\partial \ln TC}{\partial \ln Y} + \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln Q}}$$
(2.24)

Com efeito, as economias da densidade ocorrem quando o valor de ED for maior que unidade (ED>1); caso contrário, ocorrem deseconomias de densidade; ou seja, se o valor de ED for menor que unidade (ED<1). Finalmente, quando o valor de ED for igual à unidade (ED=1), a Cia simplesmente minimiza os custos de produção, dado o tamanho da rede.

Talley *et al.* (1986) analisaram a existência de economias da densidade de navios tanques (petroleiros), a partir dos custos operacionais (assumidos como função de custos variáveis de curto prazo). Nesse sentido, a formulação foi construída sob a já conhecida função de custo *Translog* (equação 2.25), dada a flexibilidade que esta função proporciona, ou seja, sua aproximação de segunda ordem permite arbitrar a variável tecnologia.

Talley et al. (op. cit.) formularam da seguinte maneira (equação 2.25):

$$LnCOD_{i} = a_{0} + a_{1} \ln Q_{i} + a_{2} \ln PL_{i} + a_{3} \ln PS_{i} + a_{4} \ln F_{i} + \frac{1}{2} a_{5} \ln Q_{i}^{2} + \frac{1}{2} a_{6} \ln PL_{i}^{2} + \frac{1}{2} a_{7} \ln PS_{i}^{2} + \frac{1}{2} a_{8} \ln F_{i}^{2} + a_{9} \ln Q_{i} \ln PL_{i} + a_{10} \ln Q_{i} \ln PS_{i} + a_{11} \ln Q_{i} \ln F_{i} + a_{12} \ln PL_{i} \ln PS_{i} + a_{12} \ln PL_{i} \ln PS_{i} + a_{14} \ln PS_{i} \ln F_{i}$$

$$(2.25)$$

Em que,

*COD*_i Custo de Operação diária de *i-ésimo* navios tanques

 Q_i Tamanho ou capacidade de transporte (carga) de *i-ésimo* navios tanques, medidos em tonelada — peso morto

 PL_i Preço médio do Trabalho diário ou despesas (salário e subsistência) por cada membro da tripulação de *i-ésimo* navio tanque (petroleiro).

 PS_i Preço médio diário da oferta ou despesas (fornecimentos, abastecimentos e equipamentos) por cada membro da tripulação de *i-ésimo* navios tanques (petroleiros).

F_i Barril médio de combustível consumido por dia pelo *i-ésimo* navios tanques;

Partindo da função anterior (equação 2.25), eles puderam encontrar a elasticidade de custo variável no curto prazo (ε_i), conforme a equação 2.26:

$$\varepsilon_i = \frac{\partial \ln COD_i}{\partial \ln Q_i} = a_1 + a_5 \ln Q_i + a_9 \ln PL_i + a_{10} \ln PS_i + a_{11} \ln F_i$$
(2.26)

Essa elasticidade mede a intensidade com que o custo variável ou custo operacional altera, no curto prazo, em virtude da mudança no tamanho da medida da tonelada pesomorto do navio tanque. De igual modo, foi determinado o custo marginal do curto prazo, da seguinte maneira (equação 2.27):

$$CMg_{i} = \frac{\partial COD_{i}}{\partial Q_{i}} = \varepsilon_{i} * \left(\frac{COD_{i}}{Q_{i}}\right)$$
(2.27)

Onde o termo $\left(\frac{COD_i}{Q_i}\right)$ representa o custo variável unitário de curto prazo.

Por conseguinte, a medida da economia da densidade (ED_i), para i-ésimo navio tanque (petroleiro) passa a ser determinada com base na seguinte expressão (equação 2.28):

$$ED_i = 1 - \varepsilon_i \tag{2.28}$$

Segundo Talley *et al.* (1986), a economia da densidade indica o declínio do custo variável unitário ou custo operacional e as deseconomias da densidade indica o aumento do custo variável unitário ou custo operacional.

Graham *et al.* (2003) examinaram a existência de economias da densidade e de escala dos transportes ferroviários urbanos, no qual procurou isolar os efeitos dos retornos constantes e não-constantes sobre produto e crescimento da produtividade, usando para tal dados de 17 sistemas ferroviários de 15 cidades em volta do mundo. Na mesma perspectiva conceitual adotada pelos anteriores, para Graham et al. (op. cit), os retornos da densidade (*RD*) descrevem a relação entre os insumos e produtos, mantendo-se fixa a rede ferroviária. Vale dizer, (*RD*) mede a mudança total no produto em virtude de uma mudança proporcional dos insumos, mas com a rede fixa. No que tangem aos retornos de escala - (*RS*), estes medem a mudança total do produto em função da mudança proporcional no tamanho da rede e mantendo-se constantes todos os outros fatores.

Desta forma, Graham *et al.* (2003) propuseram uma nova metodologia para a decomposição do crescimento do produto para transporte ferroviário em que (no qual) devido ao retornos constantes dos crescimento dos insumos e dada a mudança tecnológica. Desta forma, admitiram a hipótese de que o grau dos retornos de escala (RS) – representados por (θ) – poderia ser dividido em retorno da densidade (RD) – representado por (∂) e pelo retorno do tamanho da rede (RN) – representado por (v); ou seja, a medida do grau do retorno de escala é igual a soma dos retornos da densidade e do tamanho da rede $(\theta = \partial + v)$.

Assumiram, como hipótese, que a tecnologia de produção das firmas urbanas pode ser aproximada por uma variável do retorno de escala da tecnologia Cobb-Douglas, conforme expressa pela equação 2.29:

$$Y = h(.)L^{\alpha}F^{\beta}S^{\gamma}R^{\chi} \tag{2.29}$$

A introdução parâmetro de mudança externa Hicks-neutro h(.) - que mede a alteração na função de produção, segundo determinados níveis de capital e trabalho, e cuja eficiência Hicksiana relativa é um indicador geral de produto por unidade de insumo

que reflete o progresso tecnológico e outros determinantes do crescimento econômico – representa um vetor de externalidades que influencia a produção. Com efeito, para qualquer insumo, como por exemplo, o cumprimento da rota (R) pode-se especificar uma simples relação que explica o fator produtividade em termos da intensidade relativa de outros fatores e retornos de escala, conforme expressa a equação 3.30, a seguir:

$$\frac{Y}{R} = h(.) \left(\frac{L}{R}\right)^{\alpha} \left(\frac{F}{R}\right)^{\beta} \left(\frac{S}{R}\right)^{\gamma} R^{\left(\frac{C}{R} + \beta + \gamma + \chi - 1\right)}$$
(2.30)

Onde:

- Retorno do tamanho da rede $(v = \gamma + \chi)$ e o retorno da densidade $(\partial = \alpha + \beta)$;
- L é a força de trabalho (número de empregados) e F é a frota de veículos; considerados com fatores não-rede;
- *S* é o número de estações e *R* é o comprimento da rede (rota), considerados como fator rede.
- *Y* representa a medida do produto das firmas, podendo ser viagens de passageiros por ano e/ou veículo-quilômetro por ano.

A adoção desta metodologia é relevante, dado que os efeitos dos elementos externos como a inovação tecnológica e modelos de gestão – via concessão de serviços públicos à exploração privada, nem sempre são considerados com o peso necessário. Esses elementos afetariam as percepções de exploração econômica dos transportes. Aliás, o limite entre o conceito de economia de escala e da densidade em transportes, em especial os transportes públicos urbanos, é tênue. Qualquer mudança na rede dos transportes implica na alteração do fluxo da demanda. Por essa razão, entendemos que, a substituição da extensão da rede pelo grau de conectividade reveste-se de suma importância. Além disso, conforme as equações 5.4 e 5.5 do modelo que propusemos, a não contemplação da variável estação (S) justifica o fato de se tratar de TPU por ônibus realizado em linhas que diferem do BRT – *Bus Rapit Trsnsit*. E ganha destaque o grau de cobertura da rede (ou a densidade da rede) assim com a densidade ponto da rede, dada a interferência destes nos resultados das firmas.

Com estas considerações, a expressão do modelo passa a ter a seguinte notação (equação 2.31):

$$\frac{Y}{c} = h(.) \left(\frac{K}{c}\right)^{\mu} \left(\frac{N}{c}\right)^{\eta} \left(\frac{Q_N}{c}\right)^{\beta} \left(\frac{W}{c}\right)^{\varphi} c^{\Psi + \eta + \beta + \varphi - 1}$$
(2.31)

Observa-se que a equação 5.33 foi modificada. O termo quantidade de linhas (Q_N) passou a estar indexado ao beta (β) , evitando-se a duplicidade de contagem. Como de praxe, resolve-se a possibilidade da multicolinearidade por meio da linearização (vide equação 2.32).

$$\ln \frac{Y}{c} = \ln h(.) + \mu \ln \left(\frac{K}{c}\right) + \eta \ln \left(\frac{N}{c}\right) + \beta \ln \left(\frac{Q_N}{c}\right) + \varphi \ln \left(\frac{W}{c}\right) + \Psi + \eta + \beta + \varphi - 1 \ln c$$
 (2.32)

Onde,

 N^{η} - representa o tamanho da rede TPU, associado ao índice de cobertura ou densidade da rede (η);

 Q_N^c - representa a quantidade de linhas da rede explorada por uma empresa, associado ao índice de conectividade (c);

 W^{φ} - representa a força de trabalho da empresa de TPU, indexada ao grau de comprometimento das receitas operacionais com os custos de produção (φ);

Y - representa a função de produção translog do período,

K - representa a frota operacional disponível (medidos em unidades de ônibus padrão), associada à taxa média de ocupação de veículo (μ).

 β - representa a sensibilidade rede da demanda; ou seja, representa a medida do grau de sensibilidade do produto esperado de uma rede em relação a medida do mercado.

Com esta formulação, todos os parâmetros relacionados ao desempenho de rede dos TPU estão devidamente identificados e retratados (estimados). Embora os retornos do tamanho da rede e da densidade sejam expressos respectivamente, pela soma das elasticidades ($v = \gamma + \chi$) e ($\partial = \alpha + \beta$), mantemos a posição de que a determinação destes índices obedece aos critérios estipulados antes (subseção 5.2.1 e 5.2.2).

Em obediência aos conceitos da teoria da produção de industrial dos transportes, o fator tecnológico é suma importância. No nosso entender, a dimensão tecnológica não se limita apenas ao capital (no caso veículo), mas também a inovação da forma organizacional para a exploração dos serviços. Nesse sentido, a configuração da rede de exploração constitui uma dimensão tecnológica, por conta das externalidades (positiva ou negativa) que ela pode propiciar aos usuários e consequentemente, nos resultados de cada firma.

3. A EFICIÊNCIA DE REDE E REDES DE TPU

3.1 Considerações iniciais

Nesse capítulo são abordados diversos aspectos relativos à eficiência e sua mensuração, com foco para a economia de rede e a rede de TPU propriamente dita. São apresentadas formulações e principais variáveis utilizadas nos principais trabalhos publicas que se pesquisou.

3.2 Abordagem sobre medida da eficiência em economia de rede de TPU

A eficiência, segundo Varian (1997) remete à fronteira de possibilidades de produção, que mede o conjunto de produtos factíveis, dada as funções de produção e tecnologia.

Segundo Catermol (2004), quando os recursos existentes em uma economia forem alocados de tal modo que se possa extrair o máximo de benefício líquido possível de seu uso, alcança-se a condição de eficiência alocativa. Com efeito, o resultado econômico decorrente da *eficiência alocativa tende a ser* àquele alcançado pelo Ótimo de Pareto.

Cabe destacar, portanto, que "uma situação de ótimo de Pareto ocorre quando o preço dos bens produzidos iguala-se ao custo marginal dos mesmos. A qualquer preço superior (inferior) ao custo marginal seria vantajosa a produção de mais (menos) uma unidade de produto. A ocorrência de um ótimo de Pareto só é garantida pelos teoremas de bem-estar em mercados sob concorrência perfeita" (Catermol, 2004), e "restrita" a situação de bem-estar social.

Ainda segundo Catermol (2004), a concepção de bem-estar social alocativa eficiência alocaparetiana é estática, limitada e foge do mundo real. Ou seja, baseia-se na escolha entre alocações de recursos dentro de limites previamente existentes de tecnologias de produção e instituições. Ao contrário, em qualquer sistema econômico real, a análise de bem-estar remete a determinação de meios de expansão de várias fronteiras de possibilidades. Para este autor, na análise econômica de bem-estar empregam-se outros conceitos de eficiência, além da alocativa, tais como a eficiência distributiva, dinâmica e produtiva.

A eficiência distributiva está associada à existência de retornos normais para os recursos empregados em uma atividade produtiva. Trata-se de um critério baseado na avaliação de função estática dos mercados a fim de eliminar rendas ou lucros excepcionais; ou seja, a uniformidade das taxas de lucro seria considerada um resultado lógico do processo. Por outro lado, eficiência produtiva (técnica) avalia a capacidade de uma unidade econômica produzir o máximo possível aos menores custos com uma determinada tecnologia; ou seja, esse critério potencializa a capacidade de minimizar custos econômicos.

Já a eficiência dinâmica sendo mais intertemporal (macroeconomia de novo-clássica), deve levar em conta o quadro tecnológico (Schumpeteriano) e institucional previamente dado e fixo. De fato, as mudanças tecnológicas afetam a estrutura de produção das indústrias e, portanto, a forma de realização da intervenção estatal. Se o progresso técnico leva a uma maior (menor) economia de escala em uma indústria em particular, a necessidade de intervenção estatal para controlar os problemas resultantes do poder de mercado nessa indústria irá aumentar (diminuir) (CATERMOL, 2004).

Entretanto, Cartermol (2004) adverte que, como nem sempre a redução de custos é realizada por inovações e nem sempre as inovações objetivam reduzir custos; e considerando-se que a redução de custos via decréscimo da remuneração do trabalho não possui ligação com qualquer tipo de inovação e que, de modo análogo, o aumento da qualidade e a criação de novos produtos e mercados também parecem ser constantes no processo inovador no decorrer da história do capitalismo, o critério de análise da eficiência baseada na capacidade inovadora de um mercado deve atentar (ter cuidado) com o paradoxo schumpeteriano, conforme Varian (1997). Ou seja, uma estrutura de mercado que leve a uma maior eficiência alocativa em um contexto estático pode não ser aquela que oferece a possibilidade de ganhos para a sociedade em termos de aceleração do progresso técnico. Margens de lucratividade maiores que as consideradas normais (ou seja, acima do nível competitivo) podem ser toleradas (ou mesmo desejadas) com o objetivo de viabilizar investimentos em P&D ou em outros ativos de risco. Pode ser necessário abrir mão de eficiência distributiva e alocativa hoje para viabilizar inovações que permitam que o sistema funcione de forma melhor no futuro. Um alto peso relativo deve ser dado à estrutura do mercado, às características da indústria e a relação desta com ambiente regulatório.

Para Bernstein (2007), a eficiência dinâmica no âmbito das indústrias de rede é um campo de pesquisa importante por várias razões. Como primeira razão, *o padrão de preços competitivos a longo prazo, em geral, não é o único objetivo das autoridades reguladoras*. Basicamente, o regulador procura equilibrar os objetivos da política pública de promoção da eficiência estática (que inclui preços relativos ideais aos custos marginais) e promover a eficiência dinâmica, que em parte diz respeito à redução de custos ótimos e atividades de desenvolvimento de produtos. A segunda razão que enaltecer/destaca a importância da dinâmica e eficiência decorre da tendência a presumir que custos sociais associados à inovação e melhoria de produtividade perdida são insignificantes porque não são facilmente medidas ou observada pelos decisores políticos. Portanto, ao focar unicamente no preço como um indicador da eficiência competitiva, enquanto ignoram investimentos e avanços tecnológicos, é ignorar características importantes do processo competitivo, na acepção de Schumpeter.

No âmbito de transportes, grande contribuição da tese do Contreras-Montoya (2000), foi o estabelecimento de uma análise empírica capaz de integrar a eficiência técnica, estrutura de custos e a produtividade, e daí a identificação das economias de escala e os efeitos das características do desempenho empresarial. Nessa perspectiva, reunir-se-ia elementos para formulação e adequação das políticas públicas voltadas para a regulamentação que privilegiasse ganhos de produtividade.

O autor destaca o conceito de eficiência técnica, que envolve o estado da tecnologia e a relação técnica entre a utilização dos insumos e a produção. Nesse sentido, a eficiência técnica reflete a habilidade da empresa em obter o máximo produto, dado um determinado nível de insumos; enquanto a eficiência alocativa reflete a habilidade da empresa em utilizar insumos em proporções ótimas, dados os preços respectivos e uma determinada tecnologia – classificados por Farrel (1957) como combinação para obter uma medida de eficiência global; ou eficiência econômica total (COELLI *et al.*, 1998).

No que concerne a medidas paramétricas da produtividade, Contreras-Montoya (2000) transcorreu sobre diversos autores que já escreveram a respeito ao longo das últimas quatro décadas, e destacou que a especificação dos modelos, a escolha da forma funcional, a comparação entre diferentes tipos de técnicas e as escolhas das estatísticas e da técnica de estimação compõem a síntese dos principais problemas ou preocupações associada à produtividade.

O autor (*op. cit.*) reportou-se no trabalho de Oum *et al.* (1992) que apresentaram as medidas agregadas da produtividade em fontes decompostos, e procurou associá-las a técnica ou modelo mais adequado de obtenção da função custo, conforme se esquematiza a seguir:

Ferramenta Robusta adequada	Medidas Agregadas de Produtividade			
Função Translog de	 Exploração das economias de escala ou de tamanho da rede 			
Custos	 Exploração das economias da densidade do tráfego 			
	 Exploração de outras economias de utilização do capital 			
DEA	• Eliminação das combinações de insumos ineficientemente			
	alocadas			
	 Eliminação das ineficiências técnicas 			
N. D.	 Incremento da qualidade dos produtos 			
	 Incremento da qualidade dos insumos 			
	 Diferenças no campo operativo, e 			
	 Ajustes nas habilidades produtivas 			

O estudo realizado pela *National Cooperative Highway Research Program* – NCHRP (2010), intitulado destaca que a medição de desempenho está se tornando cada vez mais comum nas agências de transportes, que têm se esforçado para compreender os resultados dos investimentos setoriais e como os cidadãos exigem ações responsáveis. Nesse sentido, há um crescente reconhecimento das agências e autoridades de transportes sobre a necessidade de maior interação (ações integradas) para resolver as implicações de suas decisões sobre o desempenho da rede.

A medida do desempenho da rede é uma tentativa de avaliar o sistema de transporte como um todo, considerando os modos de transporte, todas as estratégias possíveis (i.e.: capital *versus* investimentos operacionais), e todas as jurisdições (i.e.: estado, região e local). A mensuração de desempenho da rede envolve quebra de paradigmas sobre diferentes abordagens de investimentos, levando em consideração os *trade-off* e a eficiência em todos os sistemas (NCHRP, 2010).

Essa entidade – NCHRP – apresentou o seguinte esquema para mensuração do desempenho da rede (FIGURA 3.1):

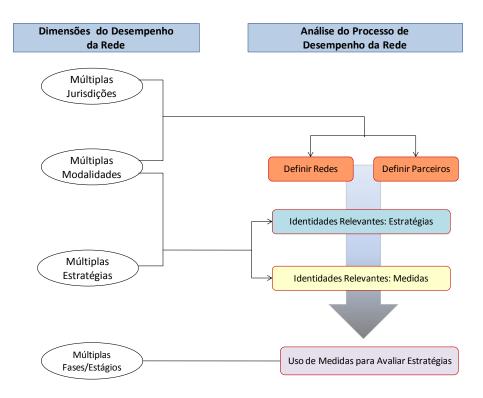


FIGURA 3.1: Estrutura conceitual de medida do desempenho da rede Fonte: NCHRP, 2010

Talley e Anderson (1981) apresentaram uma fundamentação teórica para selecionar critérios de eficácia, eficiência e padrões de desempenho de firmas de transporte; ou seja, demonstra que as firmas de transporte devem especificar, primeiramente, seus objetivos de eficiência e eficácia a fim de selecionar os critérios e padrões de desempenho. Nesse sentido, concluíram que as firmas de transporte não podem ser eficazes sem antes serem eficientes. A eficiência e a eficácia constituem a condição sine qua nom para a obtenção e subsídios públicos, após avaliação do governo.

Segundo estes autores, a primeira conferência nacional sobre desempenho no transito (transporte) definiu a eficácia como o quão bom um sistema alcança suas metas estabelecidas e a eficiência como quão bem o sistema de transporte utilizam a mão de obra e recursos de capital disponíveis (DOT, 1978). Além disso, a eficácia é uma medida da extensão de um sistema atinge seus objetivos; a eficiência visa à obtenção de dinheiro a partir de uma alternativa. A eficiência trata da capacidade de gestão de transporte para maximizar a produtividade dos principais fatores (insumos) para a produção do sistema de transporte; sistema de eficácia pode ser vista em termos de acessibilidade dos residentes na área do sistema e valor ou (worth) que colocam nos

serviços prestados a uma população da área com uma de eficiência de mobilidade correspondente.

No entendimento de Barnum et al. (2007), melhorar a eficiência de uma subunidade do sistema de trânsito é um meio para aumentar a eficiência global. Vale explicar que, maximizar a eficiência de subunidade não maximiza necessariamente a eficiência do sistema. Entretanto, a eficiência do sistema global pode aumentar com a correta identificação das subunidades ineficientes, e assim melhorar o desempenho das subunidades com mudanças sejam consistentes com estruturas do sistema, objetivos e restrições.

Na economia, "efficiency" (ou mais especificamente, Eficiência Técnica) é medida pela proporção/razão entre a saída (produto) e a entrada (insumos), segundo Cooper et al., 2004; Barnum et al. (2007). Em transporte público, múltiplos produtos são produzidos por múltiplos insumos, e, portanto, diferentes níveis (escalas) de eficiências podem ocorrer dependendo da proporção específica de produto/insumo escolhido para análise. No caso das informações obtidas pelo Chicago Transit Authority – CTA, a partir de dois produtos e dois insumos, os autores puderam estabelecer quatro razões: veículos/despesas; receitas/despesas; receitas/capacidade e veículos/capacidade.

Para obter uma medida abrangente de eficiência que pareçam com os lotes, os autores optaram por agregar em lotes segundo a natureza: lotes de produto (*outputs*) e lotes de insumos (*inputs*) com algum sistema de ponderação. Sem seguida, eles dividiram os produtos globais (agregados) pelos insumos globais; ou seja, para cada lote, pôde-se calcular o indicador a partir da seguinte formulação (equação 3.1):

$$Efici \hat{e}ncia = \frac{Output Weight_1 \times Output_1 + Output Weight_2 \times Output_2}{Iutput Weight_1 \times Iutput_1 + Iutput Weight_2 \times Iutput_2}$$
 (3.1)

Vale esclarecer que Barnum *et al.* (2007) adotaram como *inputs*: (1) número de espaço de estacionamento e (2) custo de operações diário. Como *outputs* são: (1) número médio de veículos estacionados no lote durante o dia de trabalho e (2) média de receita diária. Todas as variáveis são médias diárias do 1º trimestre de 2005.

À luz do objetivo central desta tese, acresce-se a estas considerações do *National Cooperative Highway Research Program*, importantes contribuições do trabalho de

Molinero e Arellano, segundo os quais, o traçado eficiente de uma rede de transporte e as ruas influem significativamente no desempenho, na atração, nos resultados econômicos da operação do sistema. O desempenho e a eficiência de uma rede de transportes e dos serviços que prestam podem ser medidos por várias características que afetam a um ou vários grupos que participam do transporte: o usuário, a comunidade (MOLINERO e ARELLANO, 1996).

Depreende-se que, a configuração de redes é afetada por fatores (características) como: cobertura, sinuosidade, conectividade, densidade dos serviços (vide Tabela 3.1). Além desse conjunto de aspectos peculiares de cada rede, outras características não menos importantes para a economia de rede são: o transbordo, a velocidade, a infraestrutura, os custos e as operações.

Tabela 3.1: Fatores que afetam o desempenho da rede de transporte

	CONFIGURAÇÃO DE REDE				
FATORES (impacto)	Ortogonal	Radial- circunferencial	Irregular	Flexível	Transferênci as & Coordenadas
Cobertura da área	Muito boa	Bons em áreas centrais; decresce até a periferia	Variável	Instável	Variável
Sinuoso	"Mal"	Bom para as () Decresce para as demais	Variável	Normalmente boa	Variável
Transbordo Conveniência e demora	Um, para em maioria das viagens	Para a maioria das viagens, nenhum transbordo	Muito Pobre	"Mal"	Excelente
Qualidade de serviços	Uniforme	Excelentes para as radiais, () para outras	Não uniforme	Personalizada	Muito boa
Imagem e "ciaridad" da rede	Excelente	Muito boa	"Mal"	"muito mal"	Muito boa

Fonte: MOLINERO et. al., (1996)

A sinuosidade de uma rota é relação entre a distância percorrida por veículo entre os pontos e a distância aérea (em linha reta) entre estes mesmos pontos. Essa variável deve evitar a topografia e obstáculos naturais e artificiais. Uma rede ideal contempla rotas de transporte que conectam os grandes geradores de viagens através de rotas diretas, estabelecendo as mesmas ao longo das principais linhas de desejo ou corredores com maior conexão de viajem, servindo, o mais possível, às áreas habitadas.

A conectividade é expressa em percentagem de viagens que se pode realizar sem transbordos e depende dos padrões de viagens e a rede de transporte existente, assim como, a relação entre as rotas e linhas (Molinero et. al., 1996). Uma rota de transporte é

um conjunto de viabilidades por onde circulam unidades de transporte em serviço entre os pontos terminais. As linhas de transporte se conformam pelas viabilidades por onde opera uma ou mais rotas de transportes. Em outras palavras, a longitude da rota de uma rede é a soma total de todas as longitudes de trechos de viabilidades por onde circula o transporte público. O grau de conectividade de uma rede de transporte também se expressa em função da relação de sua longitude da rota contra sua longitude de linha.

Quanto à densidade do serviço, esta característica está extremamente relacionada com o entorno de transporte e descreve a intensidade na qual uma área urbana é atendida. Pode ser medida por indicadores, como: a longitude da linha, de rota ou veículos-quilômetro por hora.

Farsi et al. (2005) destacaram que embora vários estudos com aplicação de modelos de fronteiras às ferrovias, em apenas um foi adotado uma abordagem estocástica de fronteira (*i. e.*: OUM et al., 1999).

No contexto específico da presente tese, a relevância dos trabalhos destes autores recai no pressuposto evidente do alto grau de heterogeneidade de produtos inerentes às características das redes ferroviárias. Consequentemente, a consideração de que redes com diferentes formas e densidades têm diferente organização e problemas de coordenação, assim como custos diferentes. Além disso, as características ambientais como a topografia e clima podem influenciar os custos operacionais. Acresce-se o fato de as Cias indisponibilizarem dados sobre produtos, características ambientais e/u ainda, omitirem as especificações das funções de custo, os procedimentos contábeis.

A fim de atenuar os erros de aproximação subjacentes a agregação de dados, eles esclareceram que caminho prático consiste na inclusão das características do produto tais como cumprimento da rede ou o trajeto (percurso) médio no modelo, bem como outras varáveis estratégicas já adotadas e existentes na literatura, e que se esquematizou na forma de quadro a seguir (vide Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Resumo das características de produtos usadas na especificação de modelos

Autores	Variáveis	
Caves et al., 1984	Distâncias (percursos) médias de viagens para passageiros e cargas, bem como o número de quilômetros de percurso (rotas)	
Filippini e Maggi, 1993 Distâncias (percursos) médias de viagens para passageir bem como o número de quilômetros de percursos		

	comprimento da rede
Ivaldi e Mc Cullough (2001) e Todani (2001)	Consideram três tipos de <i>vagões-milha</i> (alto valor, granel e outros) como três principais produtos (outputs) e computaram (accounted) a duração média do percurso e o número de quilômetro da via (rodovia) como sendo características do produto.
Mizutani (2004) e Savage (1997)	Incluíram características adicionais de produtos, tais como: número de linhas, fator de carga e espaçamento da estação

Fonte: Elaboração própria

Portanto, baseada em especificação feita acima, FARSI et al (2005) propuseram a seguinte função custo total na fronteira (equação 3.2):

$$TC = f \langle \langle Q, N, P_K, P_L, P_E, d_t \rangle$$
(3.2)

Onde TC é o custo total anual; Y e Q são números de pass.-km e ton-km respectivamente; P_K , P_L e P_E são respectivamente, preços de capital, trabalho e insumos energéticos; N é o comprimento da rede e d_t é um vetor que inclui os 12 dummies dos anos 1986-1997 (ano de 1985 é a categoria omitida).

Os anos *dummies* capturam as mudanças de custos associados ao progresso técnicos bem como outros fatores específicos não observados (despercebidos). O pressuposto da concavidade é automaticamente satisfeita pela forma Cobb-Douglas. A restrição da homogeneidade linear deve ser imposta por meio da normalização de custos e preços pelo preço de um dos fatores insumos. Dessa forma, a função custo pôde ser escrita da seguinte maneira (equação 3.3):

$$\ln = \left(\frac{TC}{P_{it}}\right) = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y_{it} + \alpha_Q \ln Q_{it} + \alpha_N \ln N_{it} + \alpha_S \ln S_{it} + \alpha_K \ln \frac{P_{K_{it}}}{P_{E_{it}}} + \alpha_L \ln \frac{P_{L_{it}}}{P_{E_{it}}} + \sum_{t=1986}^{1997} \alpha_t d_t + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$
(3.3)

Com i=1,2,...,N e t=1,2,...,T. Os índices i e t denotam as Cias e os anos, respectivamente; α_i é um efeito firma-específico e ε_{it} é um iid termos de erros. Nessa estruturação, o ε_{it} é considerado um termo composto estocástico com meia distribuição normal, incluindo-se tanto os efeitos idiossincráticos e ineficiências. O termo firma-específica adicional, α_i representa a heterogeneidade não observada (despercebida) e

assumida para ter uma distribuição normal. Esse modelo é referido como um "verdadeiro modelo de efeitos aleatórios". O método é baseado na máxima verossimilhança simulada.

3.3 Abordagem da eficiência no contexto da análise envoltória de dados

A Análise de Envoltória de Dados - *Data Envelopment Analysis* (DEA) é um método que usa programação linear para avaliação de eficiências comparativas de Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Unit* – DMU). A eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada de produtos (*outputs*) pela soma ponderada de insumos necessários para gerá-los (*inputs*). Os pesos usados nas ponderações são obtidos de um programa de programação fracionária que atribui a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência. Seu uso é de particular interesse quando se deseja determinar a eficiência de unidades produtivas onde não seja relevante ou não se deseja considerar somente o aspecto financeiro (MELLO e GOMES, 2004).

De acordo com Peña (2008), este método tem sido aplicado com sucesso no estudo da eficiência da administração pública e organizações sem fins lucrativos; tendo sido usado para comparar departamentos educacionais (escolas, faculdades, universidades e institutos de pesquisas), estabelecimentos de saúde (hospitais, clínicas), prisões, produção agrícola, instituições financeiras, países, forças armadas, esportes, transporte (manutenção de estradas, aeroportos), redes de restaurantes, franquias, cortes de justiça, instituições culturais (companhias de teatro, orquestras sinfônicas) entre outros.

DEA envolve um princípio alternativo para extração de informações adicionais sobre uma população de observações. Contrariamente as abordagens paramétrica, cujo objetivo é otimizar um plano de regressão simples por meio de dados, *a DEA otimiza cada observação individual com vistas a calcular uma fronteira discreta seccionalmente determinada pelo conjunto de DMUs Pareto-eficiente* (CHARNES et al., 1997).

Tanto a abordagem paramétrica quanto a não-paramétrica (programação matemática), ambos usam todas as informações contidas nos dados. Na análise paramétrica, a

equação de regressão simples otimizada *é assumida* para aplicar a cada DMU. DEA, ao contrário, otimiza as medidas de desempenho de cada DMU (CHARNES *et al.*, 1997).

De acordo com Charnes *et al.*, (1997), DEA não exige qualquer suposição (pressuposto) sobre a forma funcional. DEA calcula uma medida de desempenho máximo para cada DMU em relação a todos outros DMUs da população observada com a finalidade exclusiva de cada DMU acima ou abaixo da fronteira externa.

Para Contreras-Montoya (2000), uso da metodologia DEA caracteriza-se por:

- (a) Focar observações individuais, ao contrário da prática do uso de médias amostrais ou populacionais;
- (b) Produzir uma medida agregada para cada DMU em termos da sua utilização dos fatores de produção (variáveis independentes) na produção de produtos desejados (variáveis dependentes);
- (c) Poder utilizar simultaneamente múltiplos produtos e múltiplos insumos, os quais podem estar mensurados em diferentes unidades de medida;
- (d) Poder se ajustar pela natureza das variáveis exógenas ou endógenas;
- (e) Poder se incorporar variáveis categóricas;
- Os cálculos não requerem especificações ou um conhecimento prévio de pesos, ou de preços, para os insumos ou produtos;
- (g) Não impor restrições na forma funcional das relações de produção;
- (h) Poder se utilizar julgamentos quando necessário;
- (i) Produzir estimativas específicas para mudanças nos insumos ou nos produtos, para projetar DMUs ineficientes na fronteira eficiente;
- (j) Satisfazer o ótimo de Pareto;
- (k) Focalizar as fronteiras reveladas de "melhor prática", mais do que nas propriedades de tendência central das fronteiras;
- (1) Satisfazer critérios rígidos de equidade na avaliação relativa de cada DMU.

Para Peña (2008), trata-se de uma nova e poderosa ferramenta que permite analisar o desempenho relativo de unidades designadas por DMUs, utilizando os mesmos tipos de insumos para produzir os mesmos bens e/ou serviços. Os produtos e insumos podem ser variáveis contínuas, ordinais ou categóricas. Igualmente podem ser medidas em diferentes unidades (reais, números de alunos, metros quadrados, tempo médio de formação etc.).

Enquanto corpo de conceitos e metodologias que foram incorporadas em uma coleção de modelos, de acompanhamento, DEA possibilita, segundo Charnes *et al.* (1997), interpretar:

- (a) Modelo razão de CCR (1978)
- (b) Rende uma avaliação de objetiva da eficiência global, e dentifica as fontes e estimativas de montantes das ineficiências identificadas.
- (c) Modelo BCC (1984) que distingue a ineficiência técnica da ineficiência de escala por meio de estimação da eficiência técnica pura de uma dada escala de operação, e identificando se as possibilidades de aumento, diminuição ou constantes retornos de escalas estão presentes para uma maior exploração.

Modelos multiplicativos (Charnes et al., 1982, 1983), pois fornecem:

- (a) Um envolvimento log-linear, ou
- (b) Interpretação Cobb-Douglas seccionalmente do processo de produção (pela redução do modelo aditivo de Charnes, Cooper e Seiford, 1981) e
- (c) Modelo Aditivo (como melhor colocados em Charnes *et al.* 1985) e a extensão do modelo aditivo;
- (d) Relaciona DEA à anterior análise de ineficiência de Charnes-Cooper (1959) e no processo;
- (e) Relacionar os resultados do conceito econômico de Pareto (1949) no volume publicados de trabalhos precedentes da 1ª conferencia sobre Programação Linear.

Conforme destaca Lins *et al.* (2007), os modelos clássicos de Análise Envoltória de Dados (DEA) foram introduzidos por Charnes *et al.* em 1978 (baseada em retornos constantes em escala - CRS) e estendidos por Banker *et al.* (com retornos variáveis de escala - VRS), consistindo em metodologia não paramétrica para mensuração comparativa da eficiência de unidades tomadoras - DMUs), com base nas melhores práticas. O conjunto de DMUs deve ser homogêneo e ter em comum a utilização dos mesmos *inputs* e a produção dos mesmos *outputs*.

De fato, os modelos básicos da DEA são conhecidos como CCR (ou CRS) e BCC (ou VRS). Cada um desses dois modelos pode ser desenhado sob duas formas de maximizar a eficiência: (1) reduzir o consumo de insumos, mantendo o nível de produção, ou seja, orientado ao insumo; (2) aumentar a produção, dados os níveis de insumos, ou seja, orientado ao produto (PEÑA, 2008).

No modelo de *retornos constantes de escalas* – *CRS "primal"*, o problema de programação linear para cálculo da eficiência de uma DMU "O", segundo Contreras-Montoya (2000), é dada pela função a seguir (equação 3.4):

$$Maxh_{0} = \frac{\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{j0}}{\sum_{i=1}^{m} v_{i} x_{i0}}$$
(3.4)

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{jk}}{\sum_{i=1}^{m} v_{i} \chi_{ik}} \leq 1 \qquad \text{e } \mu_{j} \geq 0... \forall j \qquad v_{i} \geq 0,... \forall i$$

Onde:

Y representa o **produto**; X é o insumo; k = 1, ..., n, DMUs; i = 1, ..., m insumos, de cada DMU; j = 1, ..., s produtos de cada DMU; v_i é o preço do insumo X_i e μ_j é o preço do produto Y_i

De acordo com Contreras-Montoya (2000), o problema consiste em achar os valores das variáveis v_i e μ_j , que representam a importância relativa de cada variável, os pesos, maximizando a soma ponderada dos produtos (produto virtual) dividida pela soma ponderada dos insumos (insumo virtual) de cada DMU k em estudo, sujeito a restrições d que esse quociente seja menor ou igual a 1, para todas essas DMUs. Portanto, *a medida da eficiência tomará valores entre* 0 e 1.

A análise do p-virtual (produto virtual) permite discriminar, segundo Lins *et al.*, (2007), as incongruências da realidade modelada e propor correções. Mediante as restrições aos pesos, a fronteira passa a ser redesenhada de acordo com a perspectiva do decisor, a qual varia de acordo com a posição do mesmo em relação ao sistema.

O autor destaca ainda a possibilidade de a modelagem ser orientada a *input* ou a *output*, dependendo se o objetivo está na redução de recursos ou no aumento da produção. Isso significa que as mudanças necessárias para que as unidades ineficientes (índice < 1) atinjam a fronteira podem ser direcionadas à redução de recursos (orientação *input*) ou ao aumento de produtos (orientação *output*).

Como o problema de programação fracionária descrito tem infinitas soluções ótimas, é necessário fixar um valor constante para o denominador da função objetivo. Como também é importante linearizar as restrições do problema, para transformá-lo num problema de programação linear (PPL), introduz então a transformação linear de Charnes, e Cooper (1962) e se obtém a função a seguir (equação 3.5), conforme PEÑA (2008):

$$Max \cdot h_0 = \sum_{j=1}^{s} \mu_j y_{j0}$$
 (3.5)

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{m} \mathbf{v}_{i} \, \mathbf{X}_{i0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{jk} - \sum_{j=1}^{s} v_{i} x_{ik} \le 0$$

$$\mu_i, v_i \ge 0, \ \forall x, y$$

Ainda segundo Peña (2008), dependendo da situação analisada, pode ser interessante saber qual o nível de produção possível a ser alcançado, dado o nível de insumos disponível. O Modelo CCR com orientação aos produtos deve fornecer resultados equivalentes ao Modelo com orientação aos insumos. Neste caso, utiliza-se o Modelo CCR orientado ao produto, que tem a formulação (equação 3.6):

$$Max \cdot h_0 = \sum_{i=1}^n \mathcal{V}_i \, \mathcal{X}_{i0} \tag{3.6}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{jk} \leq \sum_{j=1}^{n} v_{i} \chi_{ik}$$
 $j = 1,...,k,...,N$

$$\mu_{i}, v_{i} \ge 0, \ \forall x, y$$
 $j = 1,..., s; i = 1,..., n$

O Modelo BCC (com retornos variáveis de escala - VRS) admite que a eficiência máxima varie em função da economia de escala e permite comparar unidades de portes distintos. Com efeito, considera a possibilidade de rendimentos crescentes ou decrescentes de escala na fronteira eficiente (Peña, 2008; Contreras-Montoya, 2000). A substituição dos coeficientes μ_j e ν_i pelo coeficiente λ_j permite definir uma combinação linear convexa, conforme a expressão abaixo (equação 3.7):

$$Min \cdot h_0 = \sum_{i=1}^{n} V_i \chi_{i0} + V_0$$
 (3.7)

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{s} \mathcal{V}_{i} \, \mathcal{X}_{i0} = 1$$

$$\sum_{i=1}^{s} \mu_{j} y_{jk} - \sum_{i=1}^{n} v_{i} \chi_{ik} - \mu_{0} \le 0$$
 $j = 1, ..., k, ..., N$

$$\mu_{i}, v_{i} \ge 0, \ \forall x, y$$
 $j = 1,..., s; i = 1,..., n$

3.4 Abordagem da análise envoltória de dados na rede de TPU

Souza et al. (2009) aplicaram a técnica da DEA para avaliar a eficiência de empresas de transporte de carga, a fim de compará-las (benchmarking), usando um enfoque novo; ou seja, baseado em variáveis contábil-financeiras para avaliar o desempenho de doze (12) transportadoras de cargas, "supostamente" homogêneas, a destacar: vendas, Ebitda, Margem de Ebitda, Rentabilidade Ajustada, Empregados e Investimentos Imobiliários. Como ferramenta computacional, Souza et al. (2010) fizeram o uso do Software Frontier Analyst®. A equação utilizada foi similar aquela usada por FERRONATTO et al. (2009), LINS (2007) e MELLO e GOMES (2004).

Como principal resultado, os autores (*op. cit.*) destacaram importância da *DEA* à análise de eficiência relativa das empresas do setor de transporte de carga a partir de dados públicos, e que tal análise pode contribuir para que as empresas identifiquem os pontos a serem melhorados, com vistas a alcançar níveis mais elevados da eficiência geral do setor; e que, enquanto índice de eficiência relativa, a inclusão ou exclusão de novas unidades na *DEA* pode modificar o resultado encontrado.

Sampaio *et al.* (2009) procuraram propor diretrizes para a reformulação do quadro institucional de transportes da Região Metropolitana de Recife (RMR) e para tal fim, aplicaram da metodologia *DEA* (seu método de Programação Linear) que subsidiou na identificação de empresas com eficiências técnicas satisfatórias. Para fins de comparação, estes autores analisaram dezenove sistemas de transporte público metropolitanos de vários países: Brasil, Espanha, Inglaterra, Alemanha, Holanda e Lituânia.

Estes autores discorreram sobre elementos característicos da qualidade do sistema de TPU, a destacar, conforme Santos e Aragão (2000): acessibilidade ao sistema, tempo de viagem; confiabilidade, frequência de atendimento, características dos veículos, facilidade de utilização e a mobilidade. Sampaio et al. (2009) destacaram elementos relacionados aos indicadores de desempenho do sistema/empresa, a partir de um grande levantamento de estudos com o DEA sobre a eficiência dos sistemas de transporte público, conforme resenha apresentada na tabela 3.3 e modificada nesta tese.

Tabela 3.3: Levantamento bibliográfico sobre a eficiência de sistemas de Transporte Público

Tabela 5.5:	Levantamento bibliografico sobre a e	enciencia de sistemas	de Transporte Publico
Autor	Contribuição	Modelo	Indicador(es)
Tomazinis (1977)	Especificação de indicadores para medir performances dos sistemas públicos de transporte e os conceitos para tal avaliação	Eficiência, produtividade e qualidade do serviço prestado	Formulação de razões entre: a) produtos e insumos; b) isumos de diversas funções (insumo-insumo); c) distribuição de indicadores
Fielding et al. (1978; 1985a, b)	Demonstração de "inúmeros" indicadores utilizáveis na avaliação da performance, separados em três categorias	Eficiência Eficácia Performance Global	 Indicador de Eficiência: i) faturamento veículo-hora trabalhado; ii) Faturamento veículo-hora por veículo; despesas operacionais por faturamento veículo-hora; Indicador de Eficácia: Passageiros faturados por área de serviço populacional; percentagem da população atendida; passageiro total por veículo; passageiro faturado por faturamento veículo-hora Outros indicadores: despesas operacionais por passageiro total; despesas operacionais por passageiro faturado (receita com passagens);
Chu et al. (1990)	Desenvolvimento de uma medida de performance, indicando que a produtividade do sistema de ônibus americano aumentou levemente de 1988 a 1992. Notaram ainda que eficiência e eficácia são negativamente correlacionadas	DEA	DEA foi dividido em duas perspectivas de modelos, porém com a mesma medida de produto (faturamento anual de veículo-hora). Modelo 1: os insumos foram referentes à Área funcional (operações, manutenção, despesas gerais e administrativas). Modelo 2: uso de insumos orçamentários (trabalho, benefícios extras, despesas de suprimentos materiais.
Levaggi (1994)	Estudo de 55 Cias prestadoras de serviço do sistema de transporte urbano na Itália.	DEA	Insumos: coeficiente de "lotação", custos com M-D-O, com combustível, outros custos variáveis, quilômetros de estradas, densidade populacional e número de veículos.
Nolan (1996)	Estudo de eficiência técnica de 29 empresas médias de transportes por ônibus americanas.	DEA	Insumos: número de ônibus da frota ativa, número de empregados, quantidade de combustível consumida; Produto: veículos por milhas percorridas
Viton (1997)	Estudo da eficiência do sistema de ônibus americano, para amostra de 217 empresas públicas e privadas.	DEA	Produtos: veículos/distância percorrida; passageiros transportados; velocidade média; idade média da frota; milhas percorridas; Galões de combustível utilizados pela frota; M-D-O do serviço de transporte, da manutenção, da administração e do capital; custos de serviços do sistema, seguro e outros.
Husain et al. (2000)	Avaliação da eficiência do setor público de transporte da Malásia, incluindo 46 unidades de serviço. Concluiu que as empresas mais eficientes correspondiam às de alta receita.	DEA	Insumos: número de empregados e os custos com M-D-O Produto: quantidade total de serviço oferecida e a receita das empresas
Pina e	Comparação da eficiência do setor	DEA	Insumos: combustível/km percorrida; custos/km ou custos/passageiro; subsídios ao

Torres (2001)	privado e público na Espanha.		passageiro. Produtos: número de ônibus/km/empregado; número de ônibus/km.ano; número de ônibus/km/habitantes; taxa de acidentes; frequência e a agilidade da prestação do serviço.
Karlaftis (2004)	Estudo de 259 sistemas nos EUA. Concluiu que a eficiência está relacionada positivamente à eficácia e que a magnitude da economia de escala depende da especificação do produto escolhido.	DEA, com três modelos diferentes, de acordo com a escolha dos indicadores. Os modelos se diferenciam pela escolha dos outputs.	Outputs: veículos/distância percorrida; passageiros/milhas percorridas ou passageiros transportados; ou ambos conjuntamente. Insumos: número total de empregados, volume de combustível em galões e número de veículos do sistema.
Sampaio et al. (2009)	Proposta de diretrizes para a reformulação do quadro institucional de RMR; comparando 19 cidades de vários países.	DEA (método de Programação Linear): Eficiência e Eficácia	Eficiência: custo operacional por passageiro transportado; tamanho da frota; número de funcionários; Eficácia: número de passageiros transportados em relação à população; extensão de linhas em relação à área servida; nível de satisfação dos usuários.
Macedo et al (2009)	Análise da eficiência de operação de 10 terminais de contêineres no Brasil	DEA	Eficiências conjuntas: global, técnica e de escala; e usaram as seguintes variáveis: movimentação de contêineres, produtividade da movimentação de contêineres, área de instalação; extensão média dos berços, calado de beços de atracação.
Souza et al. (2010)	Analise da eficiência e desempenho de 19 empresas de transporte de carga; Benchmarking;	DEA	Vendas, investimentos imobiliários, LAJIDA, margem de LAJIDA, Empregados e rentabilidade

Fonte: Elaboração própria

O estudo desenvolvido por estes Sampaio et al. (2009) aplicou o *DEA* com Retornos Variáveis de Escala, orientado para produtos e a tabela de insumos-produtos foi composta por seguintes elementos: (a) insumos: custo operacional do sistema; número total de veículos equivalentes – traduzidos em número de assentos em cada veículo; e número de empregado – restringido a empregados nos sistemas gestores de transporte; contemplando, assim, as variáveis básicas de um sistema de produção tais como mão-de-obra, capital e o custo operacional (que inclui gastos com combustível e outros); (b) produto: número total de passageiros transportados pelo sistema (variável normalmente considerada que representa a eficiência do serviço). Como ferramenta computacional, foi usado *Efficiency Measurement System-EMS*.

Como principal resultado da pesquisa, os autores concluíram que Sevilha, Madri, Barcelona, Bilbao, Valência, Manchester, Amsterdã, Atenas, Vilnius e São Paulo foram considerados sistemas eficientes, ao passo que, Londres, Lyon, Frankfurt, Recife, Belo Horizonte, Fortaleza, João Pessoa, Salvador e Teresina foram considerados sistemas ineficientes.

Em sua tese, Contreras-Montoya (2000) adotou o seguinte procedimento metodológico: estimação das eficiências técnicas e de escala, consubstanciado no *benchmark* para empresas ineficientes, bem como a caracterização do tipo de retornos de escala presentes na indústria. Nessa perspectiva, o autor aplicou os modelos de DEA, ou seja: (a) de retornos constantes de escala, radial, sob a ótica de insumos (CRS_RAD_IN); (b) de retornos variáveis de escala, radial, sob a ótica de insumos (VRS_RAD_IN); (c) de retornos não crescentes de escala NIRS (*non-increasing returns to scale*) radial e sob a ótica de insumos (também VRS_RAD_IN); (d) como ferramenta computacional, foi usado o software EMS – *Efficiency Meansurement System* versão 1.3, 2000, disponível na rede web e gratuito; bem como o SAS ou SHAZAM, que são softwares robustos aplicados na análise econométrica. Dessa forma, pôde ser verificada a violação dos pressupostos da estimação, como multicolinearidade e heterocedasticidade.

Contreras-Montoya (2000) usou os seguintes insumos: (a) insumos de Capital: frota – quantidade de ônibus alocados por mês; (b) insumo de Trabalho: despesa mensal com salários de pessoal de operação; despesa mensal com pessoal da administração; outros: despesa mensal com combustível; (c) Produto: veículo-km (efetivamente percorrido por mês). Baseada no conjunto de referência VRS (retorno variável de escala) foi construída

a Eficiência Técnica relacionada (ETVRS) que representa o efeito da eficiência técnica na modelagem Translog do Custo Variável. Com efeito, foi calculada a elasticidade do custo variável relativo ao produto e o grau das economias de escalas na produção de serviços, bem como o custo marginal do setor.

Cabe ressaltar que, Contreras-Montoya (2000) fez um estudo empírico aplicado à Área Metropolitana de San José – AMSJ da República da Costa Rica. Um dos resultados relevantes, é que menos de 1/3 das empresas utilizam eficientemente seus insumos (referente a escala de produção); 11 empresa situam na região de retornos crescentes de escala, de um total de 47 firmas; 77,27% das DMUs são ineficientes. No curto prazo, a eficiência técnica da indústria é de 85%, caindo para 75% no longo prazo; configurando considerável ineficiência técnica do sistema. O autor constatou a existência de fraca complementaridade entre o trabalho e combustível (referente a elasticidades parciais de substituição); a demanda dos fatores de produção (ótica das elasticidades-preço cruzada) é inelástica a demanda de trabalho em relação ao preço de combustível e deste em relação aos salários pagos.

Ferronatto *et al.* (2009) procuram estruturar e discutir modelos para avaliação do desempenho de linhas da rede de transporte coletivo urbano por ônibus da cidade de Porto Alegre, usando o *DEA*. Eles procuraram incluir os indicadores de economia e produtividade (TCRP) como um dos parâmetros da avaliação.

Para estes autores, a estruturação e análise de desempenho tiveram como alicerces os modelos desenvolvidos por Fielding (1978), voltados para a mineração de insumos e com ganhos variáveis de escala, conforme Zhu (2003). Trata-se de modelos complementares estruturados e cujas características estão resumidas na Tabela 3.4.

TABELA 3.4: Variáveis associadas aos modelos complementares

Modelos Complementares	Insumos Empregados	Produtos
Eficiência: relaciona o serviço produzido com os insumos empregados	 Consumo de combustível em serviço; Extensão da linha; Veículos.horas em serviço; Frota operante no pico. 	Rodagem em serviço;Lugares.km;Número de viagens
Eficácia: relaciona o serviço consumido com o serviço produzido	 Rodagem em serviço; Rodagem morta; Lugares.km; Número de viagens 	 Passageiros transportados; Passageiros de integração; Passageiros equivalentes
Eficácia Geral: relaciona o	Consumo de combustível em	Passageiros

serviço consumido com os insumos empregados em sua produção	serviço; • Extensão da linha; • Veículos.horas em serviço; • Frota operante no pico	transportados; • Passageiros de integração; • Passageiros equivalentes
	Conta Elaboração próprio	

Fonte: Elaboração própria

No estudo, Ferronatto *et al.* (2009) analisaram 330 linhas de um total de 364 linhas da cidade de Porto Alegre – RS, concentradas somente no mês de março de 2009, tendo sido diferenciadas segundo: (a) características operacionais da linha (direta ou paradora; troncal, alimentadora, etc.); (b) período de operação (se durante o dia inteiro, ou se somente picos ou ainda se somente entre-picos); (c) extensão da linha, pois tem relação direta com o número de passageiros por km.

Como conclusão, Ferronatto *et al.* (2009) destacaram que: (a) as variáveis relacionadas a passageiros transportados afetam os modelos eficácia e a eficácia geral; (b) linhas diretas apresentem um desempenho mais pobre do que linhas paradoras em razão da baixa renovação ao longo do trajeto; (c) a análise da eficiência não deve, necessariamente, segregar linhas diretas e paradoras, já que as linhas diretas operam com maior velocidade comercial do que linhas paradoras e têm, assim, menor tempo de viagem para uma dada extensão; (d) fatores como o uso e ocupação do solo e outros fatores externos afetam sensivelmente a eficácia; (e) as linhas longas são, muitas vezes, ineficazes, produzindo uma relação pass.-km insatisfatória, embora atendam origens distantes de empregos e outras atividades econômicas; e, portanto, (f) os modelos de eficácia e de eficácia geral servem mais para esclarecimentos dos órgãos de planejamento do que aos operadores de linhas propriamente ditos.

Barnum *et al.* (2007) também fez aplicação da metodologia *DEA* em transportes - executado pelo Sistema de Medição Eficiente (*Efficiency Measurement System - EMS*), que é um software desenvolvido por Scheel (2003), que converte o programa fracionado em programa linear, antes de resolver. A novidade, porém, está na complementação feita com a *Análise Estocástica de Fronteira*, para criar indicadores de desempenho, e assim estimar a pontuação de eficiência de cada subunidade. Concretamente, aplicaram em lotes de estacionamentos e passeio de Chicago (Chicago Transit Authority). Conforme exposto no artigo "*Comparing the efficiency of public transportation subunits using DEA*", as discussões centraram-se sobre necessidade de uma medida de desempenho que comparasse as eficiências das subunidades dentro de uma organização

de transporte. Não obstante, o estudo pode ser aplicado por qualquer agente de trânsito para identificar as ineficiências e melhorar o desempenho das subunidades do sistema.

Como justificativas, Barnum *et al.* (2007) alegram que assimetria entre a escassez de recursos públicos e o crescimento das necessidades da sociedade impõe a "urgência" de se manter e melhorar o desempenho dos sistemas de transporte público e suas operações futuras. De fato, quando o transporte público não é tão eficiente quanto deveria ser, o mesmo fornece menos serviços do que desejável, ou exige que os contribuintes e proprietários de veículos paguem mais do que necessário. A formulação foi da seguinte maneira (equação 3.7)

$$\max_{u,v} \theta = \frac{\sum_{m=1}^{M} u_m y_{mk'}}{\sum_{n=1}^{N} v_n x_{nk'}}$$
(3.7)

Sujeito a:

$$1 \ge \frac{\sum_{m=1}^{M} u_m y_{mj}}{\sum_{n=1}^{N} v_n x_{nj}} \qquad \text{para } \forall j; \qquad \sum_{m=1}^{M} u_m y_{mk'} = 1$$

$$u_m, v_n, y_{mj}, x_{nj} > 0$$

De acordo com a proposta de Barnum $et\ al.$, (2007), há $j\ DMUs$, $j\ lotes$, para serem avaliados (j=1,...,16). Cada DMU consome diversas quantidades (montantes) de n insumos diferentes (n=1,2) para produzir m produtos diferentes (m=1,2). Consequentemente, por exemplo, DMUj consome quantidade (soma) x_{ij} de insumos n e produz y_{mj} de produto m. Para todos DMUs, u_m é o peso pelo qual cada y_{mj} é multiplicado, e v_n é o peso pelo qual cada x_{nj} é multiplicado. O DMU que é o alvo de uma dada avaliação é designado $DMU_{k'}$, e é comparado a todos j de DMUs, incluindo ele mesmo. O programa maximiza a relação (razão) de outputs-inputs ponderados. Os pesos de u_m e v_n de são variáveis, sendo alteradas até que a razão seja maximizada para o destino DMU quando os mesmos pesos são aplicados para todos os DMUs. O valor da razão, θ , é a pontuação de eficiência $DMU_{k'}$, em que $0 \le \theta \le 1$ e uma DMU plenamente eficiente recebe uma pontuação de 1.

3.5 Considerações finais deste capítulo

O estudo da rede tem predominado como objeto de pesquisas em todas as áreas de conhecimento, favorecido pelo avanço da tecnologia telecomunicação e adequação institucional, no intuito de potencializar a eficiência do processo produtivo. A exploração da economia de rede de serviços ganhou destaque em virtude das iniciativas de governos de vários países que, por meio de reformas regulamentares e quebra de monopólio natural em vários segmentos de infraestruturas (gás, água, telecomunicações, transportes etc.), passaram a diagnosticar a existência de economias de escopo, da densidade, da aglomeração e de escala em rede de determinados sistemas. No campo dos transportes, dada a influência destes nos padrões de ocupação e uso do solo e da acessibilidade-mobilidade, os aspectos da topologia das redes destes e sua relação com os custos, proporcionando o desenvolvimento de modelos de análise de desempenho e da eficiência da rede. Alguns estudos procuraram analisar a eficiência da rede de transporte público e apenas um procurou comparar a topologia de rede de transportes de diferentes economias, com vistas a identificar a de maior desempenho. Em relação à eficiência, a maioria dos trabalhos recorre à técnica baseada na Análise envoltória de Dados – DEA, outros buscam abordagem baseada na análise estocástica de fronteira, modelos econométricos. Quase a totalidade dos trabalhos analisados tratou de transportes de forma genérica (passageiro e cargas) e a maioria debruçou no estudo de desempenho de rede da indústria de transportes aéreos e ferroviários. Apenas dois trabalhos voltaram para a eficiência da rede de transportes urbanos por ônibus. Nenhum estudo tratou especificamente da análise da eficiência econômica da rede de transporte público por ônibus, a fim de estabelecer a relação entre a configuração da rede e a economia.

4. METRÓPOLES E A MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL

4.1 Considerações Iniciais

Este capítulo constitui, na essência, a própria justificativa da tese e a razão para a estudo exploratório argüido na metodologia. Nele aborda-se o papel do estado como grande artífice da funcionalidade das cidades (metrópoles), por meio de planejamento e políticas adequadas. A qualidade e o volume de investimentos em redes de serviços essenciais no contexto de planejamento estratégicos são fundamentais. Trata-se de *infraestrutura de suporte* para o desenvolvimento econômico e social. O estudo não tem a pretensão de fazer um mergulho profundo e amiúde em questões histórico-culturais, sócio-antropológicas inerentes a dinâmica expansionista de um metrópoles e o processo de urbanização, centralidades e discentralidades.

No âmbito dos transportes urbanos, faz-se uma abstração e procura-se entender vários aspectos relacionados à mobilidade urbana e sua sustentabilidade. Assim, o estudo apresentado nesse capítulo, procura destacar elementos como investimentos nas redes, taxas de urbanização e motorização, iniciativas dos agentes econômicos contemporâneos e que afetam os padrões de deslocamentos e o redesenho da rede de transporte público urbano. Destarte, como produto deste capítulo esclarece sobre principais questões levantadas sobre a dinâmica urbana, à luz do segundo grande objetivo específico proposto.

4.2 Resenha sobre a metropolização, urbanização e sua gestão

O desenvolvimento e a funcionalidade de uma cidade pressupõem o entendimento do fenômeno da metropolização, cujo desencadeamento intensificou-se logo após a segunda guerra mundial em todos os continentes. Conforme observado em Moura (2004), a metropolização não pode ser vista apenas como um aumento de aglomerações. Envolve também a concentração de pessoas, atividades e riquezas.

Enquanto a metropolização constitui uma 'fase' do processo de urbanização suprahistórico, a metrópole aparece com uma forma urbana co-estruturada pelo uso de novas técnicas de comunicação, de conservação e de deslocamento dos bens, pessoas e informações. Ou seja, a metropolização e a metrópole constituem uma arena onde atuam as 'forças' econômicas, sociais, políticas e culturais (MOURA, 2004).

Por outro lado, o intenso movimento da urbanização - enquanto processo de migração ou transição da população rural para sociedade urbana — que ocorreu pós-segunda guerra mundial (séc. XX) e se alastra por décadas no presente século (séc. XXI), impõe à governos desafios importantes no processo de sua gestão.

Em 2008, mais da metade da população mundial passou a viver em áreas urbanas (cerca de 3,3 bilhões) e estima-se que até 2030, esse número alcançará cinco bilhões de pessoas residindo em áreas urbanas, quanto à população mundial estimada alcançará 8,3 bilhões (KÖTTER e FRIESCKE, 2007). Hoje, 72% da população europeia são urbanas. No mundo há pelo menos 30 megacidades com mais de 10 milhões de habitantes (vide Gráfico 4.1). E mais, segundo Moura (2004) e Angotti (2009), entre 350 a 400 cidades distribuídas por todos os continentes possuem mais de um milhão de pessoas.

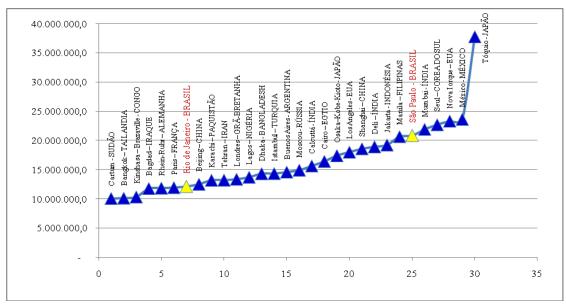


Gráfico 4.1: Trinta Megacidades do mundo

Fonte: World Gazetteer (2008)

No Brasil, o alto dinamismo econômico do sudeste induzido pela industrialização e determinados segmentos agroindustriais — acumulação de capital - impulsionaram a migração populacional, principalmente para São Paulo e Rio de Janeiro, consideradas megacidades (vide Gráfico 4.1). O processo que se intensificou entre as décadas de 1960-1990 e ao crescimento demográfico, ainda continua crescendo, mas num ritmo mais moderado.

De acordo com IBGE (2011), na década de 1960, o Brasil ainda era um país agrícola, com uma taxa de urbanização de apenas 44,7%; alcançando 67,6% em 1980. Entre 1991 e 1996, houve um acréscimo de 12,1 milhões de habitantes urbanos, o que se reflete na elevada taxa de urbanização (78,4%).

Hoje, o Brasil possui pelo menos doze aglomerados metropolitanos com mais de um milhão de habitantes. Esse crescimento não foi planejado e não foi acompanhado de provimento de infraestruturas de suporte como as redes de transportes, saneamento, saúde, escolas e de oportunidades. Esse fenômeno ajudou a configurar a bipolaridade – centro e periferia – com seus ingredientes tipificados em exclusão social.

No Brasil, segundo Ferreira (2007),

"O cenário urbano, revela um desenho espacial com múltiplos núcleos urbanos de tamanho e natureza variadas, sendo que das 5.564 cidades, grande maioria são de pequeno porte, sendo 43% até 5 mil habitantes e as demais até 100 mil. Esta categoria de cidades, entretanto, abriga apenas 2,4% da população. As cidades entre 100 e 500 mil habitantes que em 1970, eram 56 cidades, chegando a 173 cidades em 2000 (IBGE, 2000), apontando uma nova realidade para a rede urbana brasileira, a emergência de cidades de porte médio como centros que representam importantes nós na rede urbana brasileira (Corrêa, 2007), sendo as grandes cidades, número menos significativo, embora com alto índice populacional."

No âmbito das políticas de transporte público, as cidades devem possuir Plano Diretor de Transporte e Mobilidade, que segundo Ministério das Cidades (2007), constitui um instrumento de orientação da política urbana, integrada ao plano diretor do município. Nele contém as diretrizes, instrumentos, ações e projetos voltados à organização dos espaços de circulação e dos serviços de trânsito e de transportes públicos, com objetivo de propiciar condições adequadas ao exercício da mobilidade da população e da logística de mercadorias.

4.3 Mobilidade urbana sustentável e centralidades

A mobilidade urbana permite compreender o modo de organização do uso e da ocupação da cidade, com vistas a garantir a acessibilidade das pessoas ao emprego, à

educação, ao lazer e à saúde, ou seja, garantir o direito à cidade. Para tanto, importa que o sistema de mobilidade urbana – enquanto conjunto estruturado de modo, serviços e infraestruturas que garantam o deslocamento de pessoas e de bens na cidade e mantém fortes relações com demais políticas urbanas (Ministério das Cidades, 2005) – constitua-se numa ferramenta-chave e suporte ao desenvolvimento econômico e social local e regional.

Nesse sentido, a acessibilidade constitui o elemento central, pois remete a facilidade - medida em distância, tempo e custo – proporcionada as pessoas para que estas alcancem os destinos desejados na cidade, com autonomia (Ministério das Cidades-IBAM, 2006). Sendo assim, os indicadores de acessibilidade e da mobilidade são importantes medidas da qualidade de vida de uma região metropolitana. Acresce-se o fato de que, os níveis de desenvolvimento socioeconômico, tecnológico e a apropriação do espaço influenciam, sobremaneira, a intensidade dos deslocamentos ou fluxos motorizados ou não motorizados.

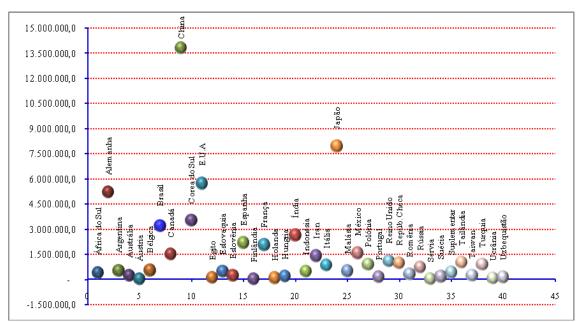


Gráfico 4.2: Produção mundial de veículos por país, em 2010 Fonte: OICA, 2010 (elaboração própria)

Conforme retratado no item 3.1, uma das características inerentes a dinâmica da metropolização e metrópoles é a descontinuidade; ou seja, os aglomerados urbanos não são homogêneos e dissonantes, sob todos os aspectos. Assim a mobilidade nesses ambientes se dá de forma múltipla, expondo as deficiências de políticas públicas de

planejamento de transportes e de infraestruturas em geral. Além dos espraiamento urbano provocado muitas vezes pelas soluções individuais de meios de transportes, o crescimento da produção e demanda de automóveis em todo mundo (vide Gráfico 4.2), tem gerado uma série de externalidades negativas, tais como, congestionamentos, acidentes, poluição do ar, alto consumo energético e aquecimento.

O resultado é a diminuição da mobilidade da metrópole, tendo em vista que o espaço físico ocupado por um veículo particular no espaço viário (vias públicas) consome aproximadamente trinta vezes mais a área ocupada por um ônibus (VASCONCELLOS, 2006).

4.3.1 Aspectos da motorização em metrópoles e megacidades

Em todo mundo, a motorização é um fenômeno de tendência ascendente — principalmente veículos particulares (Gráfico 4.2), constituído objeto de preocupação dos agentes e autoridades, conforme atestados na Carta de Aalborg 1994/Comissão Europeia (relatório de março de 1996) e em Plataforma Cidades Sustentáveis (2011) entre outros. Trata-se de um indicador relevantes na *mensuração* da qualidade de vida urbana, sob ponto de vista da sustentabilidade desta. Pode ser medido pela *relação entre o total de veículo por 1000 habitantes* ou *número de habitantes por total de veículos* (vide Gráficos 4.3 e 4.4).

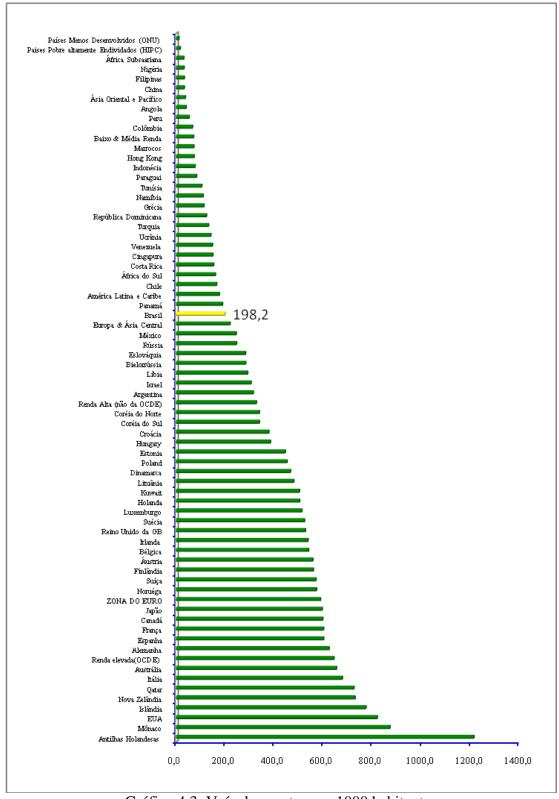


Gráfico 4.3: Veículos-motor por 1000 habitantes Fonte: elaboração própria

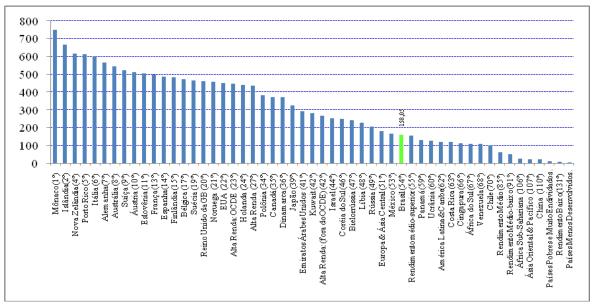


Gráfico 4.4: Carros de Passeios (por 1000 habitantes)

Fonte: Elaboração própria à partir de World Development Indicators (2007)

É o caso, por exemplo, do núcleo do aglomerado metropolitano do Rio de Janeiro cuja frota de veículo cresceu (e vem crescendo) substancialmente, ou seja, crescimento de 506% entre 2009/1984 (Gráfico 4.5).

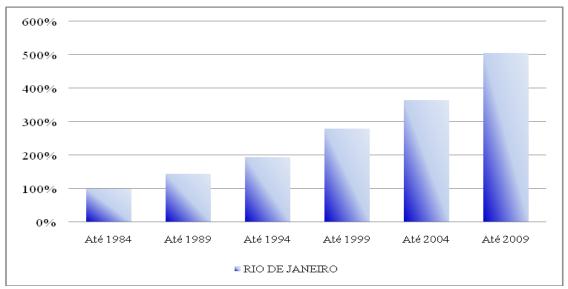


Gráfico 4.5: Evolução da frota de veículo no RJ, entre 1984-2009 (1984=100) **Fonte**: Elaborado própria

O crescimento populacional e da renda (crescimento econômico) são, entre outros, elementos impulsionadores da motorização individual (Kötter & Friesecke, 2007; World Bank, 2002; UITP, 2003), e produz externalidades negativas generalizadas (custos sociais), sobretudo em países menos desenvolvidos (onde a motorização

individual aumenta de 15 a 20% por ano), de cujas infraestruturas são mais deficientes (insuficiente e de má qualidade).

A velocidade média diária do tráfego das metrópoles vem caindo, aproximando-se dos 10km/h ou menos já verificado nas cidades do Bangcok, México e Xangai; 15km/h ou menos alcançados nas cidades de São Paulo, Kuala Lumpur (World Bank, 2002). Além disso, os congestionamentos em megacidades e metrópoles contribuem para aumento de custos operacionais dos transportes públicos em 10% e 16% no Rio de Janeiro e em São Paulo, respectivamente (fonte *op. cit.*).

4.3.2 Aspectos de investimentos em infraestrutura de transportes

Os investimentos em infraestruturas – *em quantidade e continuidade* – bem como a qualidade da execução dos mesmos são a mola propulsora para o dinamismo e a sustentabilidade de uma economia, devido o seu efeito multiplicador.

No documento da UNCTAD (2008), destaca que investimentos em infraestruturas são de suma importância devido: (a) a eficiência de serviços de infraestrutura é crucial para o desenvolvimento da competitividade de países e crescimento econômico; (b) o acesso aos serviços de infraestrutura disponíveis, como a eletricidade e água potável, é um determinante importante para a qualidade de vida da população de um país; e portanto, essencial para atingir Objetivos do Milênio da ONU (MDGs); (c) as necessidades são enormes e há enormes lacunas: 3 – 4% do PIB são gastos em infraestruturas pelos países em desenvolvimento, quando seriam necessários 7 – 9 % para alcançar crescimento econômico elevado e reduzir a pobreza; (d) na África, por exemplo, a necessidade de infraestruturas (novas facilidades e manutenção) é estimada em US\$40 bilhões por ano, e o déficit de financiamento supera os 50%.

A oferta global de infraestrutura de rede de transporte rodoviário – *inclui as auto-estradas, rodovias e principais estradas nacionais, secundárias e regionais, e todas as outras estradas de um país* - tem crescido no mundo todo, mas com maior vigor em países do continente asiático (vide Tabela 2.1). De fato, entre 1990-2007, a China expandiu a sua rede de rodovias em 203%, contra 66% da Índia, 75% da Rússia e apenas 5% observados no Brasil e nos EUA (vide Tabela 4.1). Não obstante, o ritmo de

crescimento dos EUA é contínuo, e a qualidade das rodovias é excelente. Os Estados Unidos da América são ainda a referência no mundo. Quando comprado com países de dimensões continentais, a extensão da rede de rodovias (em km) dos EUA (de 2005) representa 94,8% das redes de rodovias da China e da Índia juntas (dados de 2007); e a rede brasileira representa 26,8% da rede norte-americana e a Rússia 14,3% apenas.

Tabela 4.1: Disponibilidade da rede rodoviária total (km), em países selecionados

Países	Ex	tensão da rec viária (km)	le	VARIAÇÃO			
1 alses	Ano Recente	1990	2000	Recente/2000	Recente/1990	2000/1990	
EUA (2005)	6.544.257,0	6.243.163,0	6.358.665,0	2,92%	5%	2%	
China (2007)	3.583.715,0	1.181.033,0	1.402.698,0	155,49%	203%	19%	
Índia (2007)	3.316.452,0	2.000.000,0	3.316.078,0	0,01%	66%	66%	
Brasil (2004)	1.751.868,0	1.670.148,0	1.724.929,0	1,56%	5%	3%	
Canadá (2007)	1.409.000,0	825.743,0	n.d.	-	71%	-	
Japão (2007)	1.196.999,0	1.114.697,0	1.166.340,0	2,63%	7%	5%	
França (2007)	951.125,0	885.600,0	894.000,0	6,39%	7%	1%	
Rússia (2006)	933.000,0	532.393,0	884.000,0	5,54%	75%	66%	
Austrália (2007)	815.074,0	810.264,0	811.601,0	0,43%	1%	0%	
Alemanha (2007)	644.471,0	606.461,0	n.d.	-	6%	-	
Itália (2005)	487.700,0	304.271,0	479.688,0	1,67%	60%	58%	
Turquia (2006)	426.951,0	367.409,0	n.d.	-	16%	-	
Polônia (2007)	423.997,0	363.116,0	364.656,0	16,27%	17%	0%	
Reino Unido (2007)	420.009,0	358.034,0	390.238,0	7,63%	17%	9%	
Indonésia (2005)	391.009,0	288.727,0	355.950,0	9,85%	35%	23%	
África do Sul (2000)	362.099,0	185.751,0	362.099,0	0,00%	95%	95%	
México (2007)	360.075,0	239.235,0	329.532,0	9,27%	51%	38%	
Paquistão (2006)	260.420,0	169.202,0	239.368,0	8,79%	54%	41%	
Argentina (2003)	231.374,0	n.d.	215.471,0	7,38%	-	_	
Arábia Saudita (2005)	221.372,0	139.425,0	152.044,0	45,60%	59%	9%	
Filipinas (2003)	200.037,0	160.558,0	201.706,0	-0,83%	25%	26%	
Romênia (2004)	198.817,0	153.014,0	198.603,0	0,11%	30%	30%	

Fonte: Eleboração pelo autor a partir de dados diveros

Segundo UITP (2003), os países em desenvolvimento investem poucos (em cidades) e menos ainda em transporte público (Gráfico 4.6). Além disso, estes governos "só" investem em infraestruturas de transporte rodoviário (por exemplo: rodovias e espaço para estacionamento), porém, sem compromisso com a acessibilidade à grande maioria da população.

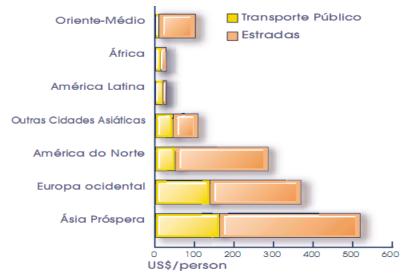


Gráfico 4.6: Investimento per capita em transporte público e estradas **Fonte:** UITP (2003)

Entre os países membros da União Europeia contata-se que, ao longo das ultimas duas décadas (1990-2008), a extensão de infraestruturas de transportes em geral crescew, com exceção da rede ferroviária convencional. Em lugar desta, a União Europeia tem dado maior prioridade a expansão das ferrovias de alta velocidade (vide Gráfico 4.7).

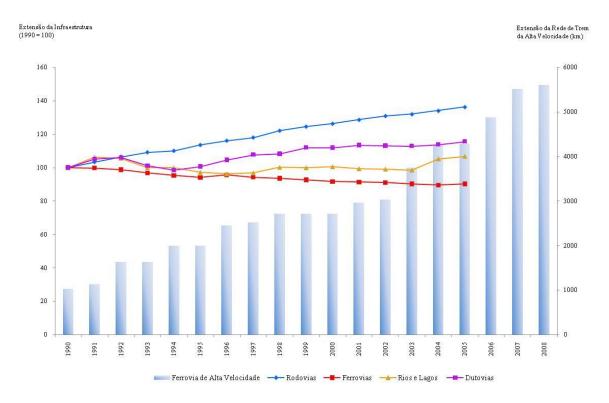


Gráfico 4.7: Cumprimento de infraestrutura de transporte terrestre em EEA Fonte: European Environment Agency, 2010.

Em termos de volume de investimentos, como indutor de competitividade, entre 1999 a 2008, os membros da EU investiram, juntos, €1.002.334,00 milhões; uma média de €90.469,00 milhões. As redes de rodovias e ferrovias constituem prioridades dos investimentos (88%), ou seja, 57% e 32% respectivamente para rodovias e ferrovias (vide Gráfico 4.8).

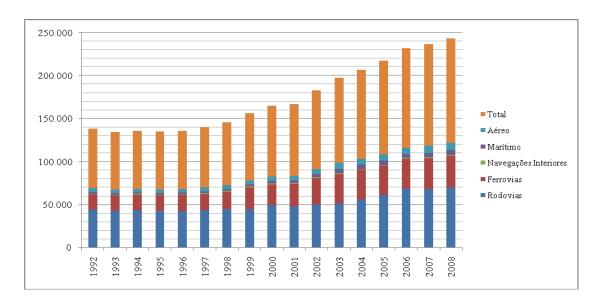


Gráfico 4.8: Dados globais sobre os investimentos em infraestrutura (milhões de euros) por modalidade entre 1992-2008, EEA (2010).

4.3.3 Aspectos da Centralidade no contexto da mobilidade urbana

"A acessibilidade promovida pela expansão da rede viária e a aglomeração de atividades econômicas passam a centralizar e atrair determinados tipos de fluxos que se reproduzem numa espacialidade de configuração diferenciada, dada a sua forma e função em relação ao restante da estrutura urbana. Esta é composta basicamente de dois setores intercomunicantes: o centro de gestão - o núcleo central (Centro Interurbano ou CIU; Central Business District ou CBD; Área Central de Negócios ou ACN); e uma franja de usos diversificados que separa o centro dos demais bairros – a zona periférica ao centro (frame, zone in transition, zona de obsolescência ou deteriorada). (TORREZ, 2009)".

O painel literário sobre o processo da ocupação do espaço urbano, o fenômeno da centralidade, a emergência de novos centros e subcentros (com Dinamismo próprio, absoluto ou relativo) é vasto, destacando-se ANDRADE (2009), Soja (2000), KNEIB

(2008), TOURINHO (2007), KOSSMANN e RIBEIRO (1984), CORRÊA (2001), LIMA (2007), SPÓSITO (2004) entre outros.

O fenômeno da centralidade remonta, segundo Soja (2000), o final do século XIX, no limiar do desenvolvimento dos meios de comunicação e transportes em metrópoles europeias. O crescimento das cidades deveu-se a mobilidade individual, com o progressivo deslocamento das áreas residenciais para subúrbios, acompanhado de movimento sequencial e seletivo de polos de negócios e serviços. Esse processo "levou a fragmentação" do espaço urbano no que tange ao uso e ocupação do solo, evidenciandose as classes sociais e grupos étnicos.

Os efeitos do crescimento das aglomerações urbanas em áreas centrais, motorização e congestionamentos aceleraram, segundo Kneib (2008), a descentralização de algumas atividades, que se reposicionaram fora da área central. Com o tempo, tais atividades voltarão a concentrar-se em clusters secundários, ou nós, denominados subcentros. Para estes autores, é o emprego e não a população, a chave para o entendimento da formação dos subcentros urbanos; e que tais subcentros são melhor identificados em uma zona onde a taxa de densidade de emprego ultrapassa a de seus vizinhos.

Por essa razão, Spósito (2004) esclarece que a centralidade se redefine continuamente – algo dinâmico-, inclusive em escalas temporais de curto prazo, pelos fluxos que se desenham através da circulação das pessoas, das mercadorias, das informações, das ideias e dos valores.

Na acepção de alguns autores, o início de fenômeno das novas centralidades em várias cidades brasileiras, se deu na década de 1960. Foi a década em que inaugura a nova capital política e administrativa federal do país – novo centro - acompanhado de grandes transformações socioculturais, e industriais no sudeste.

No Estado do Rio de Janeiro, em especial, Kossmann e Ribeiro (1984) comungam a opinião de que o processo de descentralização e a emergência de subcentros teriam começado entre as décadas de 1940-1950, quando alguns bairros atraíram vários estabelecimentos comerciais e de serviços que até então circunscrito ao centro da cidade.

Para Kneib (2008), a suburbanização dos anos 60 no Brasil, ao contrário das cidades norte-americanas e européias, não teve seu alicerce nas elites, mas nas camadas

populares, com base do transporte rodoviário coletivo e de baixa qualidade, concorrendo para que a geração de novos polos de centralidade no espaço metropolitano contemporâneo fosse acompanhada de grande segregação sócio-espacial. Essa perspectiva não é comungada por Vilhaça (2001), que atribui alto peso às elites brasileiras na transformação das cidades, no que tange a mudança no padrão de ocupação do espaço urbano. Corrêa (1999), Vilhaça (2001) e Kneib (2008), destacam a importância dos transportes (flexíveis: automóveis, ônibus, caminhão) que favoreceram a acessibilidade. A expansão do transporte privado permitiu que a população de maior poder aquisitivo pudesse eleger áreas fora dos setores centrais para seu lugar de residência que, paulatinamente, começaram a atrair as atividades de serviço e comércio a elas dirigidas, gerando novos polos de centralidade no espaço metropolitano. O movimento de descentralização, segundo Corrêa (1999), deveu-se à infraestrutura implantada, às qualidades atrativas do sítio, aos transportes, ao crescimento espacial e demográfico dentre outros.

Cabe ressaltar, entretanto, que a emergência de subcentros não "anula" a relevância dos centros, posto que, estes (centros) ainda possuem importantes centralizações por conta da concentração de atividades financeiras, bancárias e seguradoras. De acordo com Corrêa (2001), o centro reúne condições ideais e essenciais para o dinamismo das relações capitalistas de produção, por causa da capilaridade; conexões a demais áreas. Nele concentra uma diversidade de comércios e serviços, órgãos públicos, locais destinados ao lazer, potencializados por uma configuração territorial que permita os fluxos de pessoas, mercadorias, capital, informações etc.

Mesmo que o centro perca centralidade para novas áreas de centralidade, ainda assim preserva a sua centralidade, continuando a ser Centro, tanto do ponto de vista operacional e funcional, quanto em seus aspectos simbólicos, formais e funcionais. Por essa razão, "o Centro, os Subcentros e o Centro Expandido, fazem parte de um mesmo sistema, ainda que não possuam a mesma abrangência territorial – caracterizado pela complementaridade de suas partes, que é o resultado de uma forma de crescimento da cidade contínua e interligada" (Tourinho, 2007; in FUPAM).

No Brasil, a integração físico-territorial se baseia na construção da infraestrutura física, especialmente transportes, energia e telecomunicações, e na rede de cidades. Os traçados das novas vias de transporte (ferrovias, rodovias, vias de navegação, linhas aéreas) terão

impactos decisivos sobre o sentido dos fluxos e sobre a integração da economia e da sociedade brasileiras. Por essa razão, eles têm um papel determinante sobre a forma e as características da articulação e da integração do espaço econômico e social do país. As cidades e sua capacidade de centralização articulam e orientam a ocupação do espaço. A combinação entre a infraestrutura de transportes e as cidades deve ser o ponto de partida para o desenvolvimento regional e o ordenamento do território. Em contraste com a alta concentração populacional nas metrópoles da faixa atlântica, a criação de novas centralidades nas regiões de menor densidade populacional atenderia a dois objetivos centrais. Em primeiro lugar, funcionariam como centros de produção industrial e de serviços que, além de seu próprio crescimento, serviriam como suporte ao desenvolvimento econômico de seu entorno.

Além disso, os novos centros serviriam para reorientar os fluxos migratórios e frear o crescimento demográfico das grandes metrópoles, contribuindo para uma melhor distribuição produtiva e populacional no país. O segundo aspecto da integração é a econômica stricto sensu, entendida como a relação de complementaridade que se estabelece entre as atividades produtivas de determinados setores ou regiões. Essa integração provoca a criação de cadeias produtivas que reforçam as especializações regionais e potencializam o aproveitamento das vantagens comparativas de cada região, ao mesmo tempo em que favorecem a integração técnica e a cooperação econômica entre setores, empresas e regiões. No entanto, essa integração deveria, também, propiciar uma maior solidariedade entre as regiões e estados, coibindo as guerras fiscais que vêm sendo praticadas no Brasil (IPEA, 2005).

Ainda de acordo com o documento do IPEA (2005), o terceiro aspecto da integração refere-se ao campo social, compreendido como o processo de incorporação da grande parcela da população brasileira ao mercado e a padrões dignos de vida. Essa inclusão só se efetivará, de forma plena, quando toda a população brasileira tiver acesso aos serviços sociais básicos (educação e saúde, principalmente), condições adequadas de moradia e oportunidade de trabalho e emprego que lhe assegure um padrão de renda compatível com as necessidades básicas de consumo, conforme "rezam" os capítulos Pobreza e Exclusão Social e Cidadania e Participação (IPEA, 2005).

Por fim, a integração política, como base para o reforço da solidariedade nacional e para um projeto de nação. Ela pressupõe uma reformulação do quadro normativo do sistema

federativo, maior descentralização política e financeira do governo e o esforço de envolvimento e incorporação da sociedade civil na construção coletiva da nação (IPEA, 2005).

Segundo Kötter e Friescke (2007), ocorre também um processo de desurbanização e suburbanização provocados pelas elevadas taxas de motorização combinada com a prosperidade, desenvolvimento do tráfego e infraestruturas de comunicação. Ainda de segundo estes autores, as grandes aglomerações urbanas presentes nas megacidades e metrópoles não trazem somente benefícios como também riscos, trazendo importantes contribuições para a ciência, para política e para a economia. O entendimento das características fundamentais da megacidades e do seu processo evolucional levou a identificação de alguns dos principais indicadores urbanos, importantes para melhoria da gestão urbana, tais como:

- (a) Densidade: tratam-se densidade populacional, industrial e de produção e infraestruturas social e técnica; atraindo, portanto, empresas de economia global e rendas;
- (b) Dinamismo de crescimento: maior dinâmica nos domínios espacial e demográfico, na ocupação e consumo da terra (geralmente sem planejamento urbano), além de alto potencial de induzir crescimento econômico do seu entorno, dada a rede de negócios e conexão com economia internacional;
- (c) Disparidades socioeconômicas: verifica-se ampla gama de padrões e fragmentos sociais, bem como conflitos socioculturais em virtude de diferentes origens de imigrantes. Em megacidades e metrópoles há também um aumento da pobreza urbana;
- (d) *Riscos e vulnerabilidade*: as cidades desses portes estão vulneráveis a desastres naturais e os provocados pela ação humana, como, *enchente, terremotos, deslizamentos etc.*, sendo que na maioria parte das vezes, ocorrem em países em desenvolvimento.
- (e) Governança urbana: deve envolver, além do Estado, o setor privado e a sociedade civil. A governabilidade constitui um dos maiores desafios das megacidades e metrópoles. Algumas características dessa governança são: participação, o papel

da lei, transparência, responsividade, consenso, equidade, eficácia, eficiência, índice de corrupção, etc..

Na acepção da Zmitrowicz e Neto (1997), a evolução da cidade corresponde a modificações quantitativas e qualitativas na gama de atividades urbanas e, consequentemente, a necessidade de adaptação tanto dos espaços quanto da acessibilidade e as infraestruturas pertinentes.

As atividades econômicas, sobretudo as industriais, tendem a se deslocar das capitais para outros municípios "membros" dos aglomerados metropolitanos, em virtude das pressões do capital imobiliário pelo uso dos espaços urbanos mais nobres e também pela ação do Estado. Isso possibilita a promoção da regionalização econômica e permite as economias de aglomeração, além da redistribuição espacial da população, por meio de intensa migração - prioritariamente, entre a capital dos aglomerados urbanos e os municípios vizinhos (BRITO et al., 2005).

É nesse prisma que Sassen (1991) parece posicionar-se, ao privilegiar mais a concepção da nova geografia da centralidade e da marginalidade sobre centralidade simplesmente. Conforme Angotti (2009), o processo de urbanização da população mundial é um fenômeno não linear, sendo repletas de contradições, ambiguidades e complexidades, mas cuja sua compreensão reveste-se de suma importância para formulação de políticas públicas – sobretudo localmente, a partir das similaridades e assim criar coalizões e estratégias globais.

Em todos os países em desenvolvimento, e o Brasil em particular, a descontinuidade de ações públicas voltadas para criação de infraestruturas urbanas suficientes e que acompanhasse rápido crescimento da população urbana —processo de consolidação das metrópoles - bem como a taxa de motorização, comprometeu a essência da mobilidade urbana e a acessibilidade. A opção fundamental feita pelos sucessivos governos pela automobilização e «rodoviaríssimo», aliada ao «crescimento relativo» da renda contribuíram para o «espraiamento» urbano.

A intensa especulação e valorização imobiliárias das áreas centrais e a motorização «expulsaram» população e empresas para novas áreas e municípios, que com o tempo «descolaram» relativamente o centro. Guerras fiscais entre estados e municípios, incentivos do estado desenvolvimento da economia local – arranjos produtivos locais –,

bem como o advento de nova economia —baseada na telecomunicações e informações - também contribuíram para a emergência de subcentros.

No caso do Rio de Janeiro, pode-se citar como exemplos das ações do estado e empresa, a construção do Polo Reduc (Duque de Caxias), Fábrica de Caminhões da Volkswagen (Resende), Comperj (Itaboraí), Complexo de negócios comerciais e residenciais da Barra da Tijuca (Barra Shopping, Downtown, Barra D'OR etc.); Porto de Itaguaí (Itaguaí), Agronegócios e Ecoturismo na Região Serrana, Petróleo e Gás em Macaé e Campos de Goytacases, Universidade Estadual Norte Fluminense – UENF em Campos, etc..

O fator crescimento da renda nos municípios e/ou bairros como Campo Grande, Nova Iguaçu, Santa Cruz e outros atraíram grandes redes de varejos e grandes construtoras. Essas iniciativas e a motorização (ante a insuficiência de infraestrutura e dissonantes com as linhas de desejos das populações) contribuíram para alterar os padrões de deslocamentos da população urbana, sobretudo aquelas usuárias de transporte público (vide Tabelas 4.2 e 4.3). Estas tabelas foram elaboradas a partir de dados da matriz de O/D publicados pelo PDTU (2005).

De acordo com a Tabela 4.2, no Rio de Janeiro, o ônibus é o principal meio usado para deslocamentos (73%), com alto peso relativo de viagem pendular (casa-trabalho-casa, 13,6%).

Tabela 4.2: Distribuição dos deslocamentos segundo os motivos e tipo de veículos no RJ

Modo Principal	Trabalho	Estudo	Compras	Saúde	Lazer	Outros	Subtotal
Auto	4,7%	2,3%	0,6%	0,7%	0,3%	13,3%	22%
Ônibus	13,6%	11,9%	2,1%	1,7%	0,5%	42,7%	73%
Vans	0,5%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	1,8%	3%
Trens	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	1,0%	2%
Outros	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	1%
Total Geral	20%	15%	3%	3%	1%	59%	100%

Fonte: Elaborado a partir do PDTU (2005)

Observando-se a Tabela 4.3, conclui-se que 73,71% dos deslocamentos (viagens) oriundas na baixada fluminense ficam na própria região e outros 24,98% destinam-se à capital - Cidade do Rio de Janeiro. Isso sinaliza que os serviços e oportunidades já instaladas em municípios da Baixada Fluminense são capazes de atender significativamente a demanda por bens e serviços da região. Por outro lado, 89% dos

deslocamentos oriundos na Cidade do Rio de Janeiro demonstram realizam-se na própria cidade e apenas 8,41% destinam-se a algum município da baixada.

Destaca-se ainda que os destinos das maiorias dos deslocamentos com origem na capital são para os municípios de Duque de Caxias (24,1%), Nova Iguaçu (19,05%), São João de Meriti (20,14%) e Belford Roxo (13,68%). E no âmbito dos municípios, em média, 75% das viagens ou deslocamentos têm como O/D o próprio seio dos respectivos municípios.

Tabela 4.3: Padrões de deslocamentos na RMRJ, 2005

Regiões	Baixada Fluminense	Capital	Outros	Total geral
Baixada	73,71%	24,98%	1,31%	100%
Capital	8,41%	89,00%	2,59%	100%
Outros	1,65%	12,07%	86,28%	100%
Total geral	21,38%	64,28%	14,33%	100%

Fonte: Elaborado a partir do PDTU (2005)

4.4 Iniciativas pró-mobilidade sustentável em metrópoles

As deseconomias provocadas pelas insuficiências e ineficiências de sistemas de transporte público de maior capacidade, suplantadas pela tendência crescente de motorização individual na maioria das metrópoles e megacidades levaram a implantação de várias iniciativas mais racionais, a maioria das quais em países desenvolvidos. São casos de integração multimodais, integração tarifária, expansão de corredores seletivos para ônibus, *Bus Rapid Transit – BRT, Bus Rapid Service – BRS*, expansão de ferrovias de alta velocidade, veículo verde, etc..

Estas iniciativas, de alguma forma, alteram a configuração de redes de transportes tanto física quanto sob a forma de prestação de serviços, o que favorece maior eficiência e eficácia econômica.

4.4.1 Bus Rapid Transit: caso do TransMilénio e outras tendências

De acordo com DOT (2006), o TransMilénio que atende a cidade de Bogotá-Colômbia, é considerado o primeiro sistema de *Bus Rapid Transit* – *BRT* implantado no mundo, e

pretende implantar esse modelo – Modelo de Bogotá – no contexto de trânsito dos Estados Unidos da América.

Entretanto, segundos fontes vinculadas à Revista Ônibus, o TransMilénio, sistema de BRT de Bogotá fora inspirado na rede de transportes de Curitiba, implantada nos anos de 1970 – denominada *Rede Integrada de Transportes – RIT – de Curitiba* (Figuras 4.1 e 4.2). Mas graças ao TransMilénio tal tecnologia tornou-se conhecida mundialmente, permitindo a sua difusão e implantação nos cinco continentes. Hoje, essa tecnologia está presente em países como: México, Chile, Tanzânia, EUA, Austrália, França, Reino Unido, Índia e Japão. Somente no final dos anos de 1990, esta tecnologia – RIT, já com a denominação internacional de BRT. No Brasil, as cidades de Goiânia, São Paulo e Porto Alegre já possuem sistemas de BRT implantados (Revista Ônibus, 2009).

O sistema é gerido pelo TransMilénio S.A., uma nova Agência do Setor Público, responsável pelo planejamento, supervisão e manutenção diária do serviço, ao passo que as empresas privadas incumbem-se de cobrança de tarifas e operações (incluindo os custos de veículos), por meio de contrato de concessão acordos. Tais concessionárias são selecionadas por meio de um processo formal (concurso) e pagas por *quilômetros de serviços* (DOT, 2006).

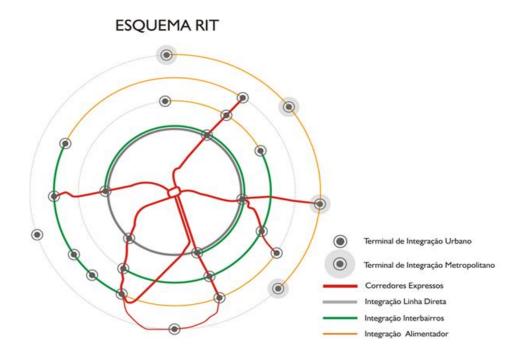


Figura 4.1: Esquema da Rede Integrada de Transporte Fonte: URBS, 2011

Ainda de acordo com URBS (2011), em 1974, 92% dos usuários se deslocavam até a região central de Curitiba, tendo passado para apenas 30% dos usuários a partir de 2003. Cabe ressaltar que, na ocasião de sua criação em 1974, a rede tinha 20 km e a cidade tinha 600 mil habitantes. Atualmente, Curitiba tem 1,7 milhão de habitantes e 72 km de canaletas (Revista Ônibus, 2009).



Sistema é executado por empresas privadas, sendo 10 urbanas e 18 metropolitanas.

Frota Operante: 1915

Passageiros Transportados (d.u.): 2,36

milhões Linhas: 355 Terminais: 30 Estações tubo: 364 Pontos de Parada: 8550 Viagens (d.u.): 21.200

Idade Média da Frota: 4,69 anos

Figura 4.2: Rede Integrada de Transporte – Curitiba

Fonte: URBS, 2011

No caso da Colômbia, quando da concepção e implantação do BRT de Bogotá em 1998, esta cidade já possuía mais de 6 milhões de habitantes (em 1999), tráfego desordenado (vide Figuras 4.3 e 4.4), elevados custos econômicos e sociais (ambientais, congestionamentos, tempo de viagens, alto índice de acidentes, baixa rentabilidade para empresários e condições precárias dos rodoviários).

Para tal, a cidade passou por grande transformação urbana: "calçadas e praças foram criadas ou ampliadas, ciclovias foram implantadas, ruas foram fechadas e o espaço para automóveis reduzido". Conforme relatórios da Plataforma Cidades Sustentáveis (2011),

"Foram construídos mais de 300 km de ciclovias, que se estendem desde as áreas de favelas e subúrbios até o centro da capital. O traçado inclui uma rede de lazer, faixas locais e um sistema longo em áreas verdes. O transporte público também foi melhorado. Devido à restrição de veículos particulares no centro da cidade na hora do rush, esses ônibus funcionam três vezes mais rápido que um típico ônibus de Nova York, o que equivale a 28 km por hora. Redução do tráfego de automóvel em Bogotá de 40%, o que torna possível aos carros manter uma velocidade média de 28 quilômetros por hora, mesmo

durante a hora do rush. Hoje, 35% das viagens feitas por motivo de estudos; 31% trabalho; 14% esporte; 16% vários; 4% recreação".



Figura 4.3: Bogotá antes do BRT Fonte: DOT (2006)

Figura 4.4: Bogotá depois do BRT Fonte: Jornal do Commercio

Hoje, o TransMilénio transporta diariamente, em seu sistema troncal, 1,5 milhão de passageiros, nos seus 84 km de vias e 1.100 ônibus vermelhos articulados e biarticulados. As 74 linhas alimentadoras, divididas em nove zonas de operação, conduzem 755 mil passageiros por dia, em 475 ônibus verdes (Revista Ônibus, 2009).

A reestruturação da rede de transporte público de Bogotá por meio da implantação do TransMilénio trouxe uma série de benefícios dos quais se destacam:

- (a) Tempo de viagem: a velocidade média de viagem passou de 15 km/hora de pico para 25km/hora de pico, trazendo uma economia de tempo de 136750 horas por dia ou uma redução de 16 minutos por viagem para os usuários do trânsito, segundo DOT (2006);
- (b) Segurança: redução em 79% de colisão nos corredores de serviços e consequentemente, drástica redução dos acidentes fatais; o número de assaltos no sistema caiu fortemente, em função da presença de policiamento ostensivo em torno das estações (DOT, 2006);
- (c) Tempo de espera: o tempo de espera e o tempo de embarque passaram, respectivamente, de 18 e 12 minutos para 3 minutos;
- (d) O índice de passageiro por quilômetro- IPK do TransMilénio é de 5,1. No horário de pico, o sistema transporta mais passageiros do que 95% dos metrôs do mundo,

- aproximadamente 46 mil pessoas por quilômetro, por hora, por sentido, sendo, portanto, considerado "muito cheio" pelos moradores (Revista Ônibus, 2009);
- (e) A remuneração dos operadores é calculada por quilômetro percorrido no troncal e por passageiro transportado no alimentador; entre outros benefícios.

4.4.2 Bus Rapid Service - Copacabana

O serviço de ônibus rápido, cuja sigla inglesa é BRS – *Bus Rapid Servive*, é um projeto implantado na Avenida Nossa Senhora de Copacabana no bairro de Copacabana – RJ, com vistas a promover a melhoria da circulação do transporte coletivo, com reflexos positivos nos deslocamentos individuais e para operadores. Segundo a Fetranspor (2011), o projeto preve um total de 22 corredores de BRS. Os veículos transportadores de valores e táxis podem circular pela BRS, mas apenas os táxis adaptados para os PNEs estão autorizados para embarque e desembarques de passageiros. De acordo com Prefeitura do Rio (2011), haverá flexibilidade, nos dias úteis das 21h ás 6h; aos sábados, a partir das 14h e por 24h nos domingos e feriados. Nesse projeto piloto, as linhas de ônibus que trafegam pelo BRS da Av. Nª Sª de Copacabana se dividem em três grupos: *BRS*1 é composto de sete pontos destinados às linhas de interligação Centro – Zona Sul; *BRS*2 é composto de seis pontos destinados as paragens das linhas do *Consórcio Intersul* que circulam na Zona Sul ou têm como destino a Zona Norte; *BRS*3 é composto de quatro pontos por onde param as linhas operadas pelos ônibus de demais consórcios.



Figura 4.5: Av. N^a. S^a de Copacabana (Antes do BRS)
Fonte: Informatvorio, 2010



Figura 4.6: Av. N^a. S^a de Copacabana (Depois do BRS)
Fonte: Extra (2011)

O sistema BRS, segundo SMTR/Prefeitura do Rio (2011) trouxe maior racionalidade da frota de ônibus no município (Figuras 4.5 e 4.6). Essa racionalização entendida como a redução da frota circulante — de 419 ônibus por hora nos horário de pico para 320 ônibus por hora, sem afetar a quantidade de passageiros — e aumento da velocidade média de 13 km/h para 24km/h, e a expectativa de redução em 40% do tempo de viagens dos passageiros.

4.4.3 Consórcio Metropolitano de Transportes

O consórcio metropolitano de transportes consiste de um sistema de gestão dos transportes tripartites, pois deve envolver governos do estado e das prefeituras da região metropolitana, bem como operadores particulares. Segundo Sampaio *et al.* (2009), o consórcio metropolitano, como o que pretende criar para a Região Metropolitana do Recife - RMR, visa a *integração o estado e municípios para enfrentar as deficiências do sistema e promover melhorias no transporte público*. A estrutura organizacional deverá ser integrada por: Assembléia dos Acionistas, Conselhos de Administração, Fiscal, Consultivo; e Órgão Executivo. Com feito, o consórcio terá, fundamentalmente, as seguintes atribuições: planejamento, gerenciamento e controle dos serviços de transportes; gerenciamento financeiro do sistema; providência de recursos externos para o sistema; e dar diligências para a universalização do acesso ao transporte.

No caso do Rio de Janeiro, segundo a Fetranspor (2011), no intuito de dotar a cidade de uma melhor racionalidade do serviço de transporte público, esta foi dividida em cinco regiões (vide Figura 4.7), denominada de Rede de Transportes Regionais (RTR), e cada consórcio vencedor da licitação operará as linhas de ônibus por 20 anos.



Figura 4.7 – Áreas dos consórcios de transportes do Rio de Janeiro Fonte: Skyscrapercity, 2010

- (a) A RTR 1 inclui o Centro e os bairros do entorno. Por ser uma área de operação comum, não foi licitada.
- (b) A RTR2, de responsabilidade do Consórcio Intersul de Transportes, envolve a Zona Sul, grande Tijuca e Santa Teresa. Intersul é representado pela empresa Real Auto Ônibus Ltda.
- (c) A RTR3, de responsabilidade do *Consórcio Internorte*, engloba toda a Zona Norte (com exceção de Madureira e bairros do entorno), sendo liderada pela Viação Nossa Senhora de Lourdes S/A.
- (d) A RTR4, sob administração do Consórcio Transcarioca de Transportes, engloba o transporte parcial da Zona Oeste (Barra da Tijuca e Jacarepaguá), Madureira e bairros vizinhos, e é liderado pela Viação Redentor Ltda.
- (e) A RTR5, sob administração do *Consórcio Santa Cruz*, compreende os demais bairros da Zona Oeste (Bangu, Campo Grande, Santa Cruz e Realengo), sendo representado pela empresa Expresso Pégaso Ltda.
- 4.4.4 Resenha sobre política de transporte e mobilidade em San Jose, República da Costa Rica

De acordo com Inter-American Development Bank (2011), Costa Rica ainda tem de desenvolver ou implementar planos de mobilidade sustentável de baixo carbono para suas principais cidades. O transporte urbano na área da capital, San Jose, ainda é marcado pela presença de vários operadores e diferentes tipos, qualidade e idades veículos idade, longe dos padrões ambientais desejáveis atualmente, em termos ambientais.

Ao menos dois fatores constituem fortes barreiras que impedem a implementação de um plano de mobilidade urbana sustentável em San Jose: primeiro, a falta de coordenação institucional entre o governo nacional, para a cidade de San Jose, e as outras cidades da região metropolitana; segunda, os opradores de transporte de San Jose são avessos a introdução de novos modelos de negócios, especialmente, a implantação do sistema

BRT. Isso se deve também ao desconhecimento sobre os impactos finaneiros do novo modelo. (INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK, 2011).

Compposta por 11 municípios e um total de 2,74 milhões de habitantes, as viagens realizadas na Grande Área Metropolitana de San Jose - GAMSJ se distribui da seguinte maneira: 40,8% são realizadas por ônibus regulares, 25,3% de viagens são não-motorizadas, 23,5% são realizadas de veículos particulares e 10% são referentes a ônibus especiais, táxis, veículos informais, trem e motociclos. (INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK, 2011).

Confome CAF (2011), o tempo médio de viagens realizadas de automóveis na GAMSJ é de 39 minutos, contra 41 minutos de táxi, 43 minutos de trem e 57 minutos por ônibus. As autoridades de transportes vêm tentando implementar algumas inicitivas com vistas a tornar os transportes públicos da GAMSJ mais eficientes e sustentáveis.

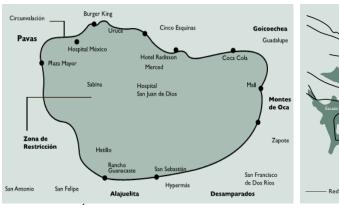
Em 2002, foram lançadas duas iniciativas de projetos de BRT: uma para a bacia do Pavas-San Jose e outra para o corredor Santo Domingo-Tibas. Ambos so corredores seriam são operadas por um único operador. Apesar de os estudos de pré-viabilidades econômico-financeiras terem apresentados grandes vantagens para a população e para os operadores, o governo negligenciou a implantação dos mesmos.

Em 2007 as autoridades tentaram: a) criação de sete rotas inter-setoriais planejadas; b) concessão destas rotas a um consórcio de operadores de San Jose; c) instalação de sinalização nos pontos de ônibus. Entretanto, tais iniciativas fracassaram. (INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK, 2011).

Conforme o Plano Nacional de Desenvolvimento 2011-2014, o governo da Costa Rica investirá US\$2.66 bilhões para melhorar e modernizar a infraestrutura portuária, aeroportuária e viária do país, dos quais US\$40 milhões se destinarão para o sistema de transporte público, incluindo um trem para a área metropolitana de San José e um sistema aprimorado de transporte público para a cidade.

Enquanto a implementação destas e outras iniciativas não se consolidam, o descompasso entre o ritmo do crescimento da motorização e a disponibilidade de infraestrutura e com opções de conectividade tem aumentando desde a década de 1980, agravando o problema de congestionamento. (CAF, 2011). Entre 1997 e 2007, a frota de

veículos cresceu 119%, passando de 507.137 unidades para 1.109.570 veículos, 50% das quais se concentra na capital. Nesse período a população cresceu apena 19% e perfazendo 2,86 habitantes/veículo na capital do país – San Jose. O número de mortes por acidentes tem aumentado, tendo passado de 14,24 por 100 mil habitantes em 2005 para 16,92 por 100 mil habitantes em 2007, particularmente, pedestres e motociclistas, (CAF, 2011).



San Jun

San Francisco

San Francisco

San Francisco

Correlabat

Correlaba

Figura 4.8 – Área de restrições de acesso de veículos por placa na GAMSJ Fonte: CAF (2011)

Figura 4.9 – San Jose e seus Municípios Fonte: CAF (2011)

O aumento da frota de veículos e seus impactos sobre a economia costariquenha, em termos de demanda de combustíveis e a subida de preços do petróleo, fez o governo adotar medidas de restrição de veículos na capital, por meio de anel urbano e controle de placas (vide Figuras 4.8 e 4.9). Vale dizer, a importação de petróleo e combustíveis representavam 5,7% do produto interno bruto de 2007.

Na Costa Rica, o órgão responsável pelas políticas públicas de infraestruturas e serviços de transportes é Ministério de Obras Públicas e Transportes – MOPT. Em 2000, este órgão criou leis que regulamentam os serviços públicos, entre elas, a lei n. 7.969/2000, que regulamenta os serviços públicos pagos pelas pessoas na modalidade de transporte por táxi. (CAF, 2011). Por meio desta lei foi criado o Conselho de transporte Público (CTP) – órgão especializado e com atribuição e estabelecer normas, procedimentos e ações para melhoria das políticas e diretrizes em transporte público.

4.5 Considerações finais deste capítulo

Os fenômenos da metropolização, urbanização, motorização e emergência dos subcentros em países de todos os condimentes, acompanhada com o planejamento

dissonante entre as infraestruturas de suporte ao desenvolvimento impõem tremendos desafios da mobilidade às autoridades de transportes, urbanismo e agências de financiamentos. Por outro lado, esses fenômenos ajudaram a desencadear soluções inovadoras voltadas para a gestão urbana de forma sustentável, envolvendo maior participação da sociedade, governos e empresas. Algumas intervenções como o BRT e BRS alteraram a configuração da rede de serviços e contribuíram para ganhos da eficiência e eficácia econômica da região. Organismos internacionais de financiamentos manifetam preocupações com o descompasso entre a disponibilidade das infraestruturas e a motorização, e têm adotado maior rigor no financiamento de projetos nacionais que não contemplem a dimensão se sustentabilidade. Destacam-se também a adoção de medidas no plano regulatório com vistas a racionalizar os projetos de mobilidade, como é o caso da cidade de San Jose, Costa Rica.

5. MÉTODOS, BASE DE DADOS E A APLICAÇÃO

5.1 Considerações iniciais e roteiro metodológico

O eixo central deste estudo circunscreve-se no campo da economia industrial aplicada aos serviços de transporte público urbano, na medida em que aborda a competitividade das empresas do setor, de forma implícita. O advento da teoria dos mercados contestáveis nos anos de 1970, que culminou com a quebra das estruturas produtivas baseadas no monopólio e a consequente disseminação da reestruturação produtiva (desregulamentação e regulação) influenciou a forma de prestação de serviços por parte das empresas de TPU⁴. Cresce a importância das redes dentro de um sistema produtivo, cuja eficiência pode ser modificada pela regulamentação das mesmas. Portanto, esta seção constitui um *modus operandi* sobre o desenvolvimento desta tese, em atenção aos objetivos e pressupostos estabelecidos previamente (vide capítulo 1). O seu desenvolvimento contempla os seguintes estágios sequenciais e interdependentes, com vistas a evidenciar o produto proposto inicialmente, conforme apresentado a seguir:

- (a) O primeiro estágio trata da formulação do modelo conceitual de produto de TPU;
- (b) No segundo estágio amplia-se a função produto de TPU por meio da inserção das características morfológicas de rede e a proposta de matriz de rede de TPU;
- (c) No terceiro estágio faz a formulação da Análise Envoltória de Dados DEA
- (d) No *quarto estágio* discutem-se resultados obtidos da partir da manipulação de dados de redes de TPU obtidos da Área Metropolitana de San José da Costa Rica;
- (e) *No quinto estágio* procuram-se entender as diferentes formas de exploração de economia de rede, aplicada ao TPU; seguindo-se das analises dos resultados.

A seguir apresentam-se o desenvolvimento de cada uma destas fases.

5.2 Estágios do procedimento metodológico da tese

5.2.1 Primeiro Estágio – Formulação do modelo conceitual de produto de TPU

A especificação da função custo de produção aplicada às estruturas produtivas multisserviços exige grande quantidade de variáveis e seus argumentos, que tornaria

⁴ É um segmento de multisserviços porque uma mesma empresa pode atuar na produção: serviços de parador, expresso, rápido, condomínio, pico, fora do pico, turismo, com passageiros consumindo com níveis de satisfação diferentes e a empresa com custos (endógenos e exógenos) diferentes.

estatisticamente impossível de determinar. Por essa razão, a função de custo de produção deve incorporar parâmetros que mais influenciam os custos, designadas *hedônicas*, por Quinet (1998), tendo apresentado a seguinte função de custos e as respectivas variáveis (equação 5.1):

$$C = f(Q_V, Q_M, T, N, L)$$

$$(5.1)$$

Em que,

 Q_{V} - o total de tráfego, expresso em passageiros x quilômetro (Pass.km)

 $Q_{\rm M}$ - o total de transporte de cargas, expresso em tonelada x quilômetro (ton.km)

T - a taxa de carregamento médio

L - a distância média de transporte

N - a distância total da rede

No âmbito de custos, as funções custos *translog* são as mais utilizadas, pois permite o desenvolvimento limitado de ordem 2 do logaritmo da função de custo. E permite que a elasticidade de substituição da função de custo *Translog* possa assumir qualquer valor, ao passo que a de *Cobb-Douglas* só pode assumir valor igual à unidade (1), sendo portanto, o principal limitador desta. Como de *práxis* para análise da economia de rede de transportes público urbano segue a "métrica trivial", baseada na formulação clássica da função produção *Cobb-Douglas* - um modelo consagrado e bastante aceito pela comunidade científica, conforme a equação geral (equação 5.2):

$$C = Q_V^a Q_M^b N^c L^d (5.2)$$

Uma formulação similar foi usada por Yevdokimov (2001) na análise da oferta de serviço de transporte urbano, conforme equação a seguir (equação 5.3):

$$Y = \beta K^{\mu} L^{\gamma} T^{\eta} \tag{5.3}$$

Em que K representa o capital; L é o trabalho; T é o transporte; μ , ν e η são parâmetros a serem estimados; Y é o produto ofertado e β é uma constante. No nosso entendimento, essa constante representa a propensão marginal a produzir numa determinada rede de TPU, devendo ser sempre positiva (não existe produto negativo).

Em virtude da dificuldade de se encontrar informações e dados da série histórica de empresas de PTU para se aferir, com acurácia, esta propensão (β), ou seja, a proporção de cada fator de produção destinada a produzir um determinado montante de serviço e o respectivo nível de serviço (satisfação final dos clientes), eventualmente, pode-se entender a constante (β) como elasticidade global dos fatores ali representados.

À luz dos objetivos preconizados, neste estudo não há a preocupação explícita com a estrutura de mercado onde a produção se realiza efetivamente, embora se reconheça que a organização da produção de qualquer bem ou serviço se enquadre numa das quatro formas de estruturação do mercado: monopólio, oligopólio, competição e competição monopolista. Cada uma destas formas características de mercado está umbilicalmente atrelada à natureza de capital e também do modelo regulatório existente (desregulamentação, regulação e regulamentação). Estas não constituem o cerne da nossa discussão; portanto, *coeteris paribus*.

Ressalta-se que na formulação de Yevdokimov o uso das variáveis capital e transporte, de um lado, refletem a estrutura produtiva global em termos de infraestrutura física e a frota respectivamente, mas por outro lado, pode remeter a dupla contagem (dado que o capital e transporte podem ser simplesmente capital em algumas literaturas).

Por isso, a formulação apresentada em Quinet é mais recomendável, pois incorpora algumas características de rede de transporte mais explícita, e um pouco mais desagregada. Entretanto, em ambos os casos, elementos relacionados a configuração de rede de TPU não foram evidenciados.

Para vincular tais características de rede à produção de TPU – objetivo central desta tese; e em função de dados disponíveis, foi necessário fazer algumas considerações com vistas a ampliação da formulação apresentada acima. Primeiramente, numa análise de curto prazo, não há variação dos fatores de produção disponíveis (endógenos), mas o produto de pode variar, pois é considerado elemento exógeno.

Nesse sentido, para a formulação do presente modelo reescreveu-se e obteve-se a nova equação (equação 5.4), na qual constam as modificações necessárias para que se cumpra o objetivo central da tese, conforme segue:

$$Y = \beta K^{\mu} N^{\eta} Q_N^c W^{\varphi} \tag{5.4}$$

Nessa equação (5.4) foram excluídas as variáveis relacionadas ao transporte de carga, tais como a taxa que mede de carregamento e o momento de transporte de cargas (expressa em ton.km), e limitaram-se apenas aquelas relacionadas com o transporte de passageiros, especialmente o TPU por ônibus. Em seguida, a equação deve ser transformada, por meio da linearização para colmatar o problema de multicolinearidade (equação 5.5). Dessa forma, os parâmetros então obtidos e associados aos respectivos termos são considerados *elasticidade*, pois expressam a sensibilidade com que as variações percentuais de qualquer uma das variáveis do termo afeta o comportamento do termo todo.

$$LnY = \beta + \mu LnK + \eta LnN + cLnQ_N + \varphi LnW + \varepsilon_i$$
 (5.5)

A versão *Translog* dessa equação é expressa da seguinte forma (equação 5.6):

$$LnY = \beta + \mu LnK + \eta LnN + cLnQ_N + \varphi LnW + \mu \left(\frac{1}{2}LnK^2\right) + \eta \left(\frac{1}{2}LnN^2\right) + c\left(\frac{1}{2}LnQ_N^2\right) + \varphi \left(\frac{1}{2}LnW^2\right) + \mu LnKLnN + (5.6)$$

$$\mu LnKLnQ_N + \mu LnKLnW + \eta LnNLnQ_N + \eta LnNLnW + cLnQ_N LnW + \varepsilon_i$$

Sendo assim, doravante, (Y) representa a produção Translog do período; (K) representa a frota operacional disponível (medidos em unidades de ônibus padrão), considerando-se homogênea a tecnologia de transporte. O índice (μ) associado ao capital representa a taxa média de ocupação de veículo (equação 5.7), sendo estimado pela razão entre a capacidade efetivamente realizada $(C_{ef.})$ pela capacidade potencialmente ofertada $(C_{pot.})^5$.

$$\mu = \frac{C_{ef.}}{C_{pot.}}$$
; com $\mu > 0$ e $\mu \in R^+$ (5.7)

-

⁵ Alternativamente, na falta de dados, a taxa de ocupação pode ser determinada pela razão entre a demanda total e o produto entre viagem-linha e a capacidade do ônibus padrão.

A variável (N^{η}) representa o tamanho da rede TPU, expressa em km de extensão de todas as linhas da rede, sendo associado ao índice de cobertura ou densidade da rede (η), constituindo uma das características de essenciais de uma rede (vide seção 2.1, equação 2.1).

A variável (Q_N^c) representa a quantidade de linhas da rede explorada por uma empresa. É expressa em unidades e associado ao índice de conectividade (c), uma das mais importantes características de uma rede, e cujos detalhes discutidos no próximo estágio.

A variável (W^{φ}) representa a força de trabalho da empresa de TPU, podendo ser representado pelas despesas administrativas realizadas para o pagamento dos salários e encargos sociais do pessoal da operação (W). Essa variável é indexada ao grau de comprometimento das receitas operacionais com os custos de produção (φ) ; ou seja, pela razão entre as despesas operacionais totais (DOT) e o resultado financeiro operacional total (receita operacional total - ROT); sendo determinado equação (5.8), a seguir:

$$\varphi = \frac{DOT}{ROT} \tag{5.8}$$

É preferível que este índice seja maior que zero $(0 < \varphi < 1)$. Ao contrário, se este coeficiente (φ) for maior que unidade, a situação das empresas é completamente inviável.

A formulação deste índice desta maneira ajuda a equacionar problemas de falta de dados, pois nem sempre as empresas divulgam seu contingente da força de trabalho e as despesas salariais e os encargos que esta acarreta para a empresa. Não raro, as empresas não possuem dados estatísticos confiáveis e desagregados, sobretudo as de natureza econômico-financeiras, na forma de série histórica que possibilite o estudo comportamental da sensibilidade de determinadas variáveis ao longo de um determinado período, por meio da elasticidade.

Por fim, termo beta (β) representa a sensibilidade rede da demanda. A variação da rede no curto prazo é nula (ou seja, fixa)⁶; ao passo que a demanda é variável por excelência. Para a determinação do valor de beta (β) adaptou-se a equação do valor esperado de modelo de precificação de ativos financeiros – CAPM, que estabelece a relação entre o grau de dispersão de uma ação em relação a parâmetro de mercado. Assim beta (β) representa a medida do grau de sensibilidade do produto esperado de uma rede em relação a medida do mercado (todas as redes).

• Determinação do valor esperado de redes de TPU (equação 5.9):

$$\bar{k} = \sum_{i=1}^{n} c_i D_i \tag{5.9}$$

Em que \bar{k} representa o valor esperado de redes de TPU; c_i representa a conectividade da malha (rede) de cada empresa; e D_i é a demanda diária de cada empresa, expressa em passageiros transportados num período.

• O passo seguinte consistiu em determinar o desvio-padrão de cada empresa (representada pela rede que opera), a partir da raiz da variância (equação 5.10):

$$\sigma_i = \sqrt{\langle \! \! \ell_i - \overline{k} \rangle \! \! ^2} p_i \tag{5.10}$$

Em que p_i é a probabilidade de ocorrência de serviços na rede de transportes; e não sendo o exagero considerar igual à unidade (100%). Com efeito, os valores dos betas β_i refletem a razão entre os desvios padrão individual e o de mercado.

Destarte, a proposição do modelo conforme a equação 5.4, mostra-se robusto em relação a qualquer alteração na configuração de rede de TPU e que, a rigor, acarrete uma redistribuição de demanda e fluxo. Esses fenômenos são facilmente capturados tanto nos custos e receitas operacionais quanto na taxa de ocupação dos veículos.

_

⁶⁶ Ao menos que haja um dispositivo legal, por meio de uma regulação flexível por excelência, e que permita variações de redes a contento da demanda.

5.2.2 Segundo Estágio – inserção das características morfológicas⁷ de rede e a proposta de matriz de rede de TPU

"A forma, a conectividade e a acessibilidade de uma rede e das suas componentes é definida como sendo a sua topologia, ou seja, *a forma como os elementos da rede (arcos e nós) estão relacionados (SOUSA, 2010, p. 53)*

A premissa básica é de que a rede existente constitui a infraestrutura de suporte sobre a qual a operação se realiza, e, portanto, não deve ser desprezada a influência desta no desempenho global do processo produtivo. A economia de rede se realiza em função da existência de uma estrutura de rede pré-existente; em que se destacam os seguintes elementos de rede, na forma de índice ou grau: conexidade, conectividade, cobertura de rede ou densidade da rede (equação 5.7), modalidade, complementaridade, grau de centralidade, elasticidade e acessibilidade. Na subseção 2.1 desta tese, estas características já foram abordadas amplamente; e cujos valores podem ser calculados ou já são dados na análise da literatura.

Conforme exposto na etapa precedente, neste estágio faz-se um aprofundamento de componentes da morfologia de redes. Diferentemente do índice funcional (que considera os recursos alocados e variáveis como a velocidade, frequência, tempo de viagem etc.), o índice morfológico prioriza a geometria e a configuração de rede, tais como o número de arcos de um cluster, o número de linhas que passam por um centro entre outros.

Qualquer estudo que priorize apenas um destes índices (morfológico e funcional) proporcionaria uma dimensão parcial da realidade. Com efeito, o índice de acessibilidade apresenta como a melhor medida, por reunir elementos que equalizam as duas abordagens, incluindo também o tempo. Seu cálculo mobiliza todo o arsenal de algorítimo elaborado para a pesquisa de caminhos mais curto do grafo.

Shimbel (1953) foi um dos mais notaveis precursores dessa abordagem, pois formulou o cálculo do índice de acessibilidade (*Di*), somando as distâncias topológicas de um nó a

_

⁷ Segundo Sousa (2010, p. 53), a forma, a conectividade e a acessibilidade de uma rede e das suas componentes são definidas como sendo a sua topologia, ou seja, a forma como os elementos da rede (arcos e nós) estão relacionados.

todos os outros do grafo (do nó i ao nó j), no menor tempo e caminho, conforme a equação 5.11, a seguir:

$$Di = \sum_{i=1}^{n} Dij \tag{5.11}$$

Sousa (2010) fez a implementação do índice de Shimbel e propós o índice de acessibilidade geral (*D*), representando a média dos somatórios das distâncias topológicas de todos os nós do grafo entre si. O valor obtido mede a dispersão média do grafo, e permite comparar grafos de diferentes complexidades e geometrias (equação 5.12).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} dij}{(n-1) \times n}$$
 (5.12)

Em que n representa o número de nós (ou pontos) da rede e dij representa menor distância entre um nó i e o nó j. O emprego do índice médio de dispersão ajuda a resolver o problema sério de inacessibilidade a dados e informações de empresas, sobretudo aqueles relacionados aos indicadores funcionais.

As medidas da acessibilidade baseadas nos indicadores ou índices são, em geral, bastante complexas de se determinar, pois envolvem um arsenal de variáveis quantitativas e qualitativas. E dependendo da qualidade dos mesmos podem enviesar quaisquer estudos de diagnóstico.

Por isso, nessa proposta de tese, privilegiou-se a conectividade como o principal elemento característico de rede. Trata-se de um indicador que permite a comparação de redes de transporte e da comunicação, avaliar o desenvolvimento da rede ao longo do tempo e identificar as suas configurações. À medida que esta se expande em função da necessidade de atendimento da demanda de infraestruturas de suporte ao desenvolvimento, este indicador reflete a complexidade da organização espacial. Conforme Sousa (2010), o indicador de conectividade (c) pode ser classificado como de graus mínimo e máximo. A conectividade mínima ocorre se cada um dos nós estiver ligado a rede e nenhum dos nós estiver isolado e no caso da conectividade máxima, cada nó deve estar ligado diretamente a qualquer outro nó da rede. Matematicamente, as

formulações que representam as conectividades de graus mínimo e máximo são, respectivamente, equações 5.13 e 5,14:

$$c_{\min} = \mathbf{Q} - 1 \tag{5.13}$$

e

$$c_{\text{max}} = 3 \left(\mathbf{4} - 2 \right) \tag{5.14}$$

Nesta última equação $C_m \in n > 2$, quando o grafo for planar. Em que n representa o número de nós (cidade, bairro, centro de tráfego etc.) da rede.

Depreende-se, destarte, que a retórica de Sousa (2010) reforça a eloquência do trabalho de Taaffe sobre a conectividade e que formulara, os seus principais índices – alfa (a), beta (β) e gama (γ) . Dentre estes índices de conectividade, o gama é apontado como o mais representativo das medidas topológicas da teoria de grafo, pois este índice (γ) permite avaliar a conectividade relativa da rede.

Nos grafos planares, matematicamente, este índice é determinado pela expressão (equação 5.15) a seguir, com o seu valor variando de $\frac{1}{3} \le \gamma \le \frac{1}{2}$, quando n > 4.

$$\gamma = \frac{n-1}{3(n-2)} \tag{5.15}$$

Com esta formulação, os grafos podem representar as configurações em delta, grelha e espinha. Na configuração de rede em delta, a densidade das ligações é muito elevada face ao número de nós existentes, e sempre que um nó é adicionado à rede, duas novas linhas (arcos) são exigidas (a = 2N - 3); e seus valores estão compreendidos entre $\frac{2}{3} \le \gamma \le 1$, quando n > 3. Nesse tipo de rede existem sempre caminhos alternativos para assegurar a circulação entre quaisquer pares de nós. A forma geométrica dominante é o triângulo e sempre que é adicionado um nó à rede, são necessárias duas novas ligações para manter máximo o grau de conectividade e, consequentemente, a complexidade estrutural da rede no espaço. A configuração em malha (grelha), uma intermediária,

entre a espinha e delta, *possui* valores do índice que variam entre $\frac{1}{2} \le \gamma \le \frac{2}{3}$, quando n > 4.

Conforme observad acima, além do índice *gama*, *e*m transportes, os índices relacionados às configurações também podem ser determinados por meio do índice alfa (α) , sendo expresso pela equação 5.16.

$$\alpha = \left(\frac{\mu}{2n-5}\right) = \frac{circuitos \cdot existentes}{\max . circuitos . possíveis}$$
(5.16)

Em que $0 \le \alpha \le 1$, e $\mu = (n-1) - n + 1$. Desse modo, em configurações de redes de transporte com alto grau de complexidade é determinado pelo índice Delta (similar ao índice Gama), e por meio da seguinte expressão (equação 5.17):

$$\partial = \frac{n-2}{2n-5} \tag{5.17}$$

O conceito de relatividade em análise da conectividade de rede reveste-se de importância primordial, dados os aspectos evolucionistas desta, condicionada *Ipso facto* a dinâmica econômica espaciotemporal. Com efeito, a prática mostra que as formas espaciais de redes remetem a polígonos irregulares, mormente em transportes urbanos.

Dadas as dificuldades de se construir redes vinculadas à cada empresa selecionada recorreu-se a algumas abstrações da mesma e de forma que se pudesse construir um painel, representando a matriz de relacionamento entre as topológicas de redes e seus respectivos indicadores e índices (vide Tabela 5.1).

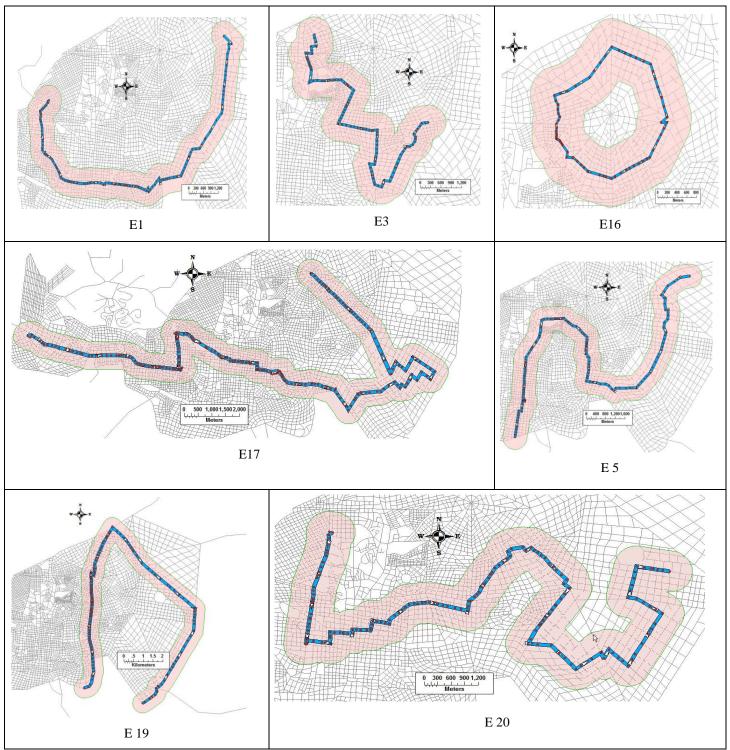
A determinação do número de nós de cada rede em cada cenário foi arbitrada, tendo sido usado a fórmula "=Aleatoriamente(1;20)", sendo a rede mais rudimentar (primária) àquela que possui apenas um nó e a mais evoluída (complexa) a que apresenta maior quantidade de nós. A determinação e distribuição dos nós das redes foram particularmente importantes, pois serviu de base para se determinar as quantidades de arcos, estes últimos determinados conforme formulações feitas anteriormente.

Ressalta-se, entretanto, que em situação de disponibilidade de dados precisos da malha de uma rede ou de um sistema, tais como a quantidade de nós, a extensão da distância média entre cada par de nós, a velocidade média entre os mesmos e o tempo médio de percursos e o fluxo, dispensariam a arbitração de dados e com isso, seria menos trabalhosa a aplicação simples das formulações de Shimbel e de Täaffe.

Tabela 5.1: Matriz de relacionamento entre as topológicas de redes (malhas) e seus respectivos parâmetros e índices

		ratiiz de relacionamento entre as to		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
N° Ordem	Polígono	Densidade Malha	Sensibilidade Demanda	Sensibilidade Densidade Pontos	Taxa de Ocupação	Conectividade Gama	Conectividade Alfa
1	Circulo (circular)	0,847	0,040	0,137	0,819	0,833	0,526
2	Circulo (circular)	0,997	0,041	0,178	0,489	1,000	0,571
3	Complexa (irregular)	0,699	0,038	0,025	0,922	0,733	0,571
4	Complexa (irregular)	0,916	0,040	1,342	0,760	0,714	0,519
5	Complexa (irregular)	0,933	0,040	0,394	1,046	1,000	0,520
6	Complexa (irregular)	0,774	0,035	0,824	0,977	0,733	0,529
7	Complexa (irregular)	0,844	0,039	1,671	1,388	0,714	0,516
8	Complexa (irregular)	0,792	0,039	0,231	1,013	0,722	0,526
9	Complexa (irregular)	0,844	0,039	0,097	1,061	0,750	0,516
10	Complexa (irregular)	0,924	0,041	1,888	0,639	0,714	0,520
11	Irregular	0,818	0,041	1,495	0,225	0,750	0,600
12	Irregular (escaleno)	0,967	0,040	1,463	0,525	0,750	0,514
13	Irregular (trapézio)	0,796	0,042	0,131	0,452	0,733	0,516
14	Irregular (Ziguezague)	0,859	0,041	0,010	0,780	0,333	0,571
15	Irregular (Ziguezague)	0,738	0,040	2,312	0,751	0,722	0,667
16	Linear	0,821	0,041	0,378	0,731	0,750	0,517
17	Linear	0,890	0,040	1,464	0,930	0,708	0,556
18	Linear	0,850	0,040	0,161	1,200	0,778	0,516
19	Linear	0,838	0,041	3,598	0,784	0,733	0,556
20	Linear	0,844	0,041	1,995	0,666	0,778	0,545
21	Linear	0,804	0,042	1,385	0,321	0,714	0,522
22	Linear	0,820	0,041	1,305	0,679	1,000	0,533
23	Quadrada (grelha)	0,934	0,040	0,487	1,022	0,722	0,000
24	Semicircular	0,962	0,041	1,806	0,588	0,714	0,556
25	Senoidal (Irregular)	0,844	0,041	0,222	0,610	0,714	0,538

Fonte: Elaboração própria



Quadro 5.1: Algumas configurações de malhas de redes estudadas Fonte: Elaboração própria

Este quadro 5.1 contém algumas figuras de malhas das redes estudadas, evidenciando as suas configurações e cujas características topológicas contidas na Tabela 5.1. Para obtê-las, foram usadas as informações dos itinerários disponibilizados no painel de dados. Buscaram-me os traçados por meio dos aplicativos Google Earth e Google Maps. Em seguida, os dados georeferenciados processados e gerados tais mapas das malhas em TransCad 4.5, disponível no Laboratório do Reset do Programa de Engenharia dos Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A leitura dessa tabela pressupõe a aceitação de alguns critérios para fins de comparação e interpretação de dados obtidos. No curto prazo, todas são constantes.

- (a) Quanto ao polígono, constata-se o predomínio de malha com configurações complexas ou irregulares, sendo raras as situações em que se observam malhas com características geométricas conforme frequentemente tratadas na literatura, *i. e.*, delta, quadrada, espinha etc.. Nesse sentido, ao menos em TPU, as configurações obtidas retratam melhor a realidade prática, *sine qua non* à produção de transportes em ambientes urbanos, principalmente por ônibus. Dessa forma, tais configurações se aproximam das linhas de desejo dos usuários da rede.
- (b) Quanto à densidade da malha, cujo grau varia de zero a unidade, obedece ao critério de quanto maior melhor. Com efeito, quanto mais próximo da unidade significa maior densidade e presume que proporciona maior opção a usuário. Aquela que estiver próxima de zero, traduz a situação onde inexiste malha e consequentemente, não há atendimento ao usuário. Esse último caso condiz mais com ambiente rural ou inóspito.
- (c) Quanto à sensibilidade da demanda, quanto menor for melhor é. Essa medida é sempre positiva, variando de zero a unidade. Neste caso, a melhor sensibilidade significa melhor acuraria e menos dispersão ou imprevisibilidade em face de conectividade.
- (d) Quanto à sensibilidade da densidade de pontos, assume-se que quanto maior for melhor a medida, já que no âmbito dos TPU por ônibus, quantidade e a dispersão de

pontos ao longo da linha e da área de influência do itinerário afetam sensivelmente a produtividade. Afeta positivamente no que tange a renovação de passageiros no veículo e consequentemente, o faturamento; e afeta negativamente, quanto aos custos operacionais, devido ao número de paradas, e a velocidade média do fluxo, ressalvando-se o tipo de serviço prestado – se parador ou se expresso. Em suma, do ponto de vista do binômio potencial de interface com outras facilidades – faturamento, essa medida mostra ser relevante em TPU, e não necessariamente para outros modos de transportes, devido os custos das infraestruturas de suportes. (O procedimento para o cálculo deste índice encontra-se no apêndice desta tese).

(e) Quanto a taxa de ocupação, quanto mais alta for melhor será a relevância de medida, capaz de refletir diretamente a utilidade do serviço da malha para os usuários (dependentes), impactando no resultado líquido da empresa.

Adicionalmente, além das medidas de dimensão topológica apresentadas na tabela-matriz, o esquema metodológico desta tese contempla ainda as dimensões da produção e financeira (Figura 5.1).

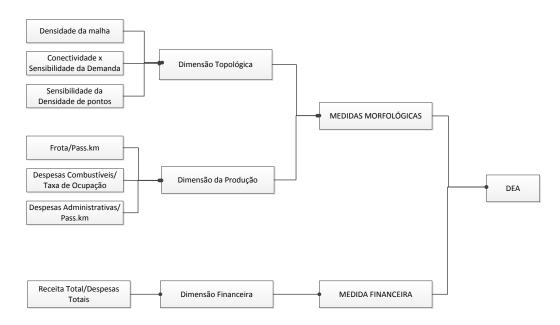


Figura 5.1: Esquema do método da Tese

As de dimensão da produção levam em consideração o momento de transporte (expresso em passageiro-quilómetro) realizado num período como sendo a principal variável

dependente, representando o produto total (PT). Procura-se, com efeito, apresentar medidas de eficiências cada empresa (ME), em função do capital, do trabalho e da energia. Vale dizer, a eficiência de capital (MEK) estabelece a razão entre a frota total em operação e passageiro-quilômetro. Essa medida (equação 5.18) é sempre positiva (MEK > 0) e quanto menor for essa relação, melhor o desemprenho da empresa.

$$MEK = \frac{K}{PT} \tag{5.18}$$

A eficiência energética (EE) é obtida pela razão entre o consumo de combustíveis (representado pela despesa total com combustível, quando não se tem a medida da quantidade de litros de combustível efetivamente consumida segundo a tecnologia de transporte em operação) e a taxa de ocupação do veículo (equação 5.19). Quanto mais baixo for o quociente, melhor a eficiência energética da taxa de ocupação (*MEE* > 0). O apelo socioeconômico dessa medida ou índice é muito significativo, pois atende às expectativas do meio ambiente *vis-à-vis* a motorização e outras externalidades, bem como o grau de dependência da sociedade em relação aos PTU.

$$MEE = \frac{DespesasCombustíveis}{Tx.Ocupação}$$
 (5.19)

A medida da eficiência do trabalho (MEL), expresso pela razão entre o total das despesas administrativas – pois as várias categorias de profissionais efetivamente ligadas ao processo administrativo da produção de TPU estão representadas nesta formulação (equação 5.20), e o passageiro-quilômetro. Assim como as demais medidas abordadas antes, quanto menor for o quociente, melhor a eficiência administrativa da empresa, e *MEL* > 0.

$$MEL = \frac{L}{PT} \tag{5.20}$$

Se na ótica do produtor quanto mais altas forem estas medidas, melhores elas representam, por outro lado, esta pode não refletir a intensidade de satisfação de consumidores. Isso é particularmente pontual na medida da eficiência energética da taxa de ocupação, podendo

sinalizar a superlotação do veículo. O aprofundamento da análise econômica das medidas de dimensão da produção permite explorar conceitos da propensão marginal e de elasticidade, que são bem mais robustas que as da produtividade média, pois medem a sensibilidade ou a intensidade das variações percentuais entre as grandezas (variáveis). Para tal, bastam as séries históricas de dados.

Na dimensão financeira, a razão entre a receita operacional e as despesas operacionais totais reflete a capacidade financeira da empresa de honrar os compromissos de produção. Essa medida é sempre positiva e o ideal é que seja maior que unidade. Assim, quanto maior for melhor a capacidade financeira da empresa.

Finalmente, as variáveis selecionadas para o procedimento (relacionadas na equação 5.4) passaram por uma análise estatística, a fim de observar possíveis perturbações relacionadas à interdependência, como é o caso da multicolinearidade (relações lineares entre as variáveis explanatória e dependente).

Primeiramente foram feitas análises de correlação das variáveis (brutas) relativas aos graus de conectividades Gama e Alfa, e constatou-se que em ambas as situações as variáveis K, Q, e W têm altos graus de correlações, isto é, acima dos 0,70 (vide Tabelas A1.2 e A1.3, do anexo). As variáveis relacionadas a força de trabalho (W) e capital (K) explicariam ou influenciariam em 0,97 e 0,96 respectivamente, a variável dependente (Y), por exemplo. Conforme literatura, essa condição ser ia prejudicial ao modelo, e por isso, tais variáveis deveriam ser excluídas. Entretanto, na minha acepção, trata-se de uma condição inerente à própria natureza do fenômeno ou do segmento em estudo. A disponibilidade dos equipamentos (ônibus) e a força de trabalho (rodoviários) são determinantes para a produção de transportes, *coeteris paribus*.

Optou-se por trabalhar com indicadores obtidos a partir dos dados disponíveis, conforme apresentados na tabela de matriz relacionamento de características topológicas de rede (Tabela 5.1) e nas tabelas de indicadores relativas as sensibilidades Beta (Tabelas A1.9 e A1.10, do anexo). Adotou o mesmo procedimento, ou seja, fez-se análise de correlação e depois a regressão múltipla, a fim de verificar a existência ou não da multicolinearidade. Na literatura, a existência de multicolinearidade ocorre quando o coeficiente de determinação

(R-quadrado) é elevado ou quando o valor dos estimadores dos parâmetros $(\hat{\beta}_j)$ for superior a 0,7. Em geral, as variáveis que apresentam algo grau de correlação são excluídas. O critério científico usado para escolha da variável a ser excluída é feito mediante o cálculo do *Fator Inflacionário da Variância* – FIV (em inglês é Variance inflationary Factor – VIF), que mede o quanto a variância do coeficiente $(\hat{\beta}_j)$ é inflacionada por sua colinearidade. Nesse contexto, a multicolinearidade se dá quando FIV atinge o valor crítico superior a 10 (dez); embora, alguns autores prefiram considerar como crítico quando VIF for maior ou igual a 5 (cinco). Matematicamente, o cálculo do FIV é dado pela expressão (equação 5.21), em que R_j é a correlação entre uma variável independente com as restantes variáveis independentes.

$$FIV_{j} = \frac{1}{1 - R_{j}^{2}} \tag{5.21}$$

Tanto VIF quanto Regressão, ambos são recursos do Excel, disponíveis na ferramenta *Suplementos*. Deve-se ativar o PHStat e também análise de dados. Nesse estudo, utilizou-se o aplicativo PHStat2 v3 e seleciona-se a opção "*Regression*" e seguida da opção "*Multiple Regression*". Usou-se a regressão múltipla porque neste estudo está-se considerando que a função produto (Y) depende ou é explicada por mais de uma variável (X).

Aqui, o recurso à regressão múltipla não teve como principal motivação a averiguação de quaisquer hipóteses, mas sim como um método descritivo da análise de dados. As observações centraram nos comportamentos do coeficiente de determinação (conhecido por R-quadrado) e no erro-padrão, já que em caso de serem elevados implicariam a existência de multicolinearidades elevada e moderada, respectivamente.

Resultados destes ensaios

Na tabela 5.2 observa-se que não existe alto grau de correlação entre as variáveis da matriz topológica de rede, situando-se abaixo de 0,4. A mais alta verificada é a correlação entre a Sensibilidade da demanda e a densidade da malha, com 0,33. Destaque também para a correlação negativa entre a sensibilidade da demanda e a taxa de ocupação com -0,59,

indicando a assimetria entre a ocupação do equipamento e a variabilidade da demanda. E também, quanto maior a conectividade (representada por Gama) a taxa de ocupação pode dispersar-se mais ainda, conforme o valor da correlação encontrada (-0,38). Esse fato não representa qualquer incongruência, uma vez que nem sempre as decisões de prestador de serviço em prol da maximização de resultados por meio de arranjos de rede vão ao encontro com os desejos dos usuários. Até porque outros fatores subjetivos podem explicar essa assimetria, como por exemplo o congestionamento da rede. Por outro lado, quando considerada a situação de baixa conectividade – designada Alfa, observa-se uma correlação positiva, porém baixa (em torno de 0,12).

Tabela 5.2: Análise da correlação das variáveis características topológicas de redes

	Densid. Malha	Тх. Осир.	Gama	Alfa	Sens. Demanda	Sens.Dens.Pontos
Densidade da Malha	1					
Taxa de Ocupação	-0,099	1				
Gama	-0,235	-0,386	1			
Alfa	0,017	0,113	0,003	1		
Sensibilidade Demanda	0,330	-0,596	0,297	-0,029	1	
Sens.Dens.Pontos	0,051	-0,189	0,018	-0,019	0,177	1

O resultado da correlação da sensibilidade rede da demanda (Beta "A") ficou em níveis aceites, ao passo que a da sensibilidade rede da demanda (Beta "G") ficou bem acima do nível aceito (Tabelas A1.4 e A1.8 do anexo). No caso da sensibilidade rede da demanda (Beta "G"), a análise da regressão mostra que 0,7658 do Beta é devidamente explicado pelos indicadores selecionados (vide Tabela A.1.5 do anexo) e o valor do Fator Inflacionário das Variâncias (FIV) das variáveis passageiro-quilômetro e conectividade foi muito bom e igual a 1,097 para ambos (vide Tabelas A.16 e A.1.7 do anexo).

O passo seguinte, conforme a esquematização metodológica (Figura 5.1), consiste da construção da formulação e implementação da análise envoltória de dados – DEA. Como inputs considerou-se as medidas designadas medidas morfológicas da malha, representadas pelo conjunto formado pelos indicadores das dimensões topológicas e de produção, e o indicador da dimensão financeira foi considerado como output. Os argumentos relacionados ao DEA aplicado aos transportes são apresentados a seguir.

5.2.3 Terceiro Estágio – Formulação da DEA

A 10^a Conferência Internacional sobre DEA realizada em agosto de 2012, em Natal – RN, novos desdobramentos ampliando a utilidade dessa importante ferramenta nos mais variados segmentos produtivos foram apresentados, tais como a saúde, a educação, energia elétrica, bancos. No campo dos transportes públicos urbanos por ônibus constatou-se apenas um trabalho apresentado por Carlos Contreras; ou seja, remete a perspectiva de que há um campo vasto a ser explorado sobre a aplicação do DEA em transportes. É um do método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) que fora aplicada originalmente em ambiente de produção (transformação de insumos em produtos). Tal característica multicriterial implica o uso de indicadores do tipo "quanto menor melhor" no lugar dos inputs, *i.e.*, risco, custo, endividamento etc. e os do tipo "quanto maior melhor" no lugar dos outputs, *i. e.*, lucratividade, retorno, liquidez etc.; visando consolidar várias perspectivas (critérios) de desempenhos diferentes (Macedo e Manhães, 2009).

Conforme a originalidade de seus criadores - Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978 construíram modelos clássicos baseados em retornos constantes de escala (CRS - constant return to scale, em inglês), permitindo obter a Eficiência Total. Mais tarde, Banker (1984), um dos mais proeminentes discípulos seus propôs a extensão do modelo, a qual designou retornos variáveis de escala (VRS – variable return to scale, em ingês). Dessa forma, Banker (198) evidencia o conceito de economia de escala de produção, permitindo a obtenção da Eficiência Técnica. Seja qual for a perspectiva (RVS/CRS), a Análise por Envoltória de Dados (DEA) se baseia em programação linear - PL, com abordagem não-paramétrica, permitindo a mensuração comparativa da eficiência das unidades de decisão (DMUs - decision making units), por meio também do benchmarking. Como pré-condições da DEA, o conjunto de DMUs deve ser homogêneo e ter em comum a utilização dos mesmos inputs e a produção dos mesmos outputs.

Cada um desses modelos (RVS/CRS) pode ser desenhado tanto para maximizar a eficiência, por meio da redução do consumo de insumos, mantendo o nível de produção, sendo, portanto orientado ao insumo; quanto para maximizar a eficiência por meio do aumento da produção, face os níveis de insumos; ou seja, uma orientação para o produto (Peña, 2008). Essas orientações (seja para input, seja para output) dependem apenas dos

objetivos que se queira alcançar (se para a redução de recursos ou para o aumento da produção).

Graficamente, o formato da curva da eficiência é côncavo em relação a insumos e delimita as DMUs eficientes e as ineficientes (Figura 5.2).

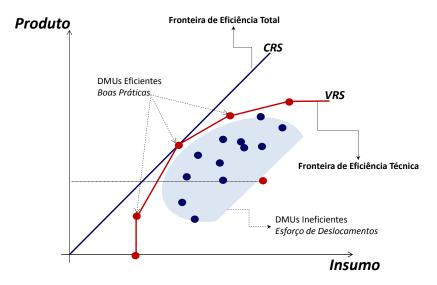


Figura 5.2 Fronteiras de Eficiências em DEA Fonte: Adaptado de Pedroso *et al.* (2012) e Mariano *et al.* (2006)

Matematicamente, a determinação da eficiência das DMUs na perspectiva dos CRS "primal" é dada pela expressão (equação 5.22):

$$Maxh_{0} = \frac{\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{j0}}{\sum_{i=1}^{m} v_{i} x_{i0}} = \frac{\mu_{1} y_{10} + \mu_{2} y_{20} + \dots + \mu_{j} y_{j0}}{v_{1} x_{10} + v_{2} x_{20} + \dots + v_{i} x_{i0}}$$
(5.22)

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{j=1}^{s} \mu_{j} y_{jk}}{\sum_{i=1}^{m} v_{i} x_{ik}} \leq 1 \quad , \text{ com } k = 1, 2, 3, ..., n$$

e $\mu_j \ge 0... \forall j$ $v_i \ge 0,... \forall i$ (condição de não-negatividade para os pesos, assumindo valores positivos ou iguais a zero).

Em que, Y_j representa o produto, variando de 1 a j-ésimo produtos de cada DMU; X é o insumo, variando de 1 a m-ésimo insumos de cada DMU (variando de j = 1 a s-ésimo); v_i é o preço do insumo X_i e μ_j é o preço do produto Y_j ; h é o indicador de eficiência técnica de cada DMU analisado, sob a ótica dos insumos, com rendimentos constantes de escala (CONTRERAS-MONTYA, 2000).

Dessa forma, o Modelo Original CCR permite a obtenção de retornos variáveis de escala. Ressalta-se, entretanto, que para se corrigir a possibilidade de múltiplas soluções conforme a formulação expressa na equação 5.22 e as respectivas restrições, o procedimento adequado consiste em linearizá-la, transformando-a num problema de programação linear (PPL). Para tal, deve-se converter o divisor da função objetivo (equação 5.22) numa constante unitária (igual a unidade) e também estabelecer a inequação por meio da diferença entre o numerador e o denominador, cujo valor deve ser menor ou igual a unidade⁸.

A luz dos objetivos estabelecidos, o emprego desta técnica é orientado para produto. Mantendo os insumos constantes (no curto prazo), a maximização da produção conforme modelo CCR obedece a seguinte formulação (equação 5.23):

$$Minh_0 = \sum_{i=1}^m \mathcal{V}_i \, \mathcal{X}_{i0} \tag{5.23}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^{n} \mu_{j} y_{j0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{n} \mu_{j} y_{j0} - \sum_{i=1}^{m} v_{i} \chi_{i0} \le 0 \qquad (j=1, 2, 3, ..., n) \text{ e, } (u_{j}; v_{i} \ge 0)$$

E na perspectiva do modelo envoltório CCR orientado para o produto, o índice de eficiência da DMU é representado pela seguinte equação (equação 5.24):

-

 $^{^{8}}$ Vide: FERREIRA & GOMES (2009),

$$\underset{\phi,\lambda}{Min}\phi$$
 (5.24)

Sujeito a:

$$\chi_{i0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \chi_{ij} \ge 0$$
 (*i*= 1, 2, 3, ..., n)

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{j} y_{rj} - y_{r0} \ge 0 \qquad (r=1, 2, 3, ..., m) e \ (\lambda_{j} \ge 0; ej=1, 2, 3, ..., n)$$

Na perspectiva de retornos variáveis de escala, a formulação estabelecida pelo modelo BCC orientado para produto é a seguinte (equação 5.25):

$$\max_{\phi,\lambda} \phi$$
 (5.25)

Sujeito a:

$$\chi_{i0} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \chi_{ij} \ge 0$$
 (i= 1, 2, 3, ..., r)

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_{j} y_{rj} - \phi y_{r0} \ge 0 \quad (r=1, 2, 3, ..., m) e \left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_{j} = 1 ; e \lambda_{j} \ge 0 \right)$$

Além destas restrições apresentadas no modelo BCC orientado para o produto, a obtenção de retornos crescentes e decrescentes de escala só seria possível pela imposição das seguintes restrições, respectivamente:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \ge 1 \qquad \text{e} \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \le 1$$

Com estas duas perspectivas de abordagens, ou seja, a formulação baseada em retornos variáveis de escala - posto atende a um dos objetivos do trabalho, que é a exploração de economia de escala de rede e permite comparar as firmas (DMUs), uma em relação às outras (eficiência técnica); e a segunda, baseada na formulação da eficiência total - que potencializa a análise global das firmas, entende-se suficiente para atender o painel de dados que se dispõe. Guardadas devidas peculiaridades, as empresas não possuem

exclusividade sobre toda a malha da rede, havendo algum grau de compartilhamento desta. Trata-se de um capital fixo importante para que a produção de multisserviços se realize. De igual modo, a inserção de políticas de integração total ou parcial linhas por meio de "política tarifária", evidencia a natureza de economia de escopo; que é inerente a produção de transporte. Nesse sentido, acredito ser razoável, que no âmbito da análise da eficiência total comporte a exploração do conceito de subaditividade⁹.

5.2.4 Quarto Estágio – implementação e discussão de resultados de DMUs da rede de TPU por ônibus da GAMSJ

Os resultados ora apresentados cumprem a lógica do esquema metodológico (Figura 5.1) e as variáveis utilizadas foram devidamente descritas quando da formulação da equação 5.4 e se referem à cidade de San Jose, Costa Rica (vide subitem 4.4.4). Embora baseado em dados de empresas de ônibus que operam malhas da rede de transporte público urbano da GAMSJ, estes resultados apenas servem para ilustrar a técnica usada na avaliação da eficiência. Portanto, não traduzem a realidade necessariamente, porque de um lado, são dados do final da década de 1990 (base de dados usada na tese do Contreras-Montoya, 2000) e por outro lado, foram implementadas algumas manipulações para se encontrar outras variáveis explanatórias deste procedimento.

Foram contruídos dois cenários relacionados a indicador morfológico das malhas da rede, cujos índices de conectividade são, respectivamente, Gama e Alfa. No cenário relacionado ao índice Gama, assumiu-se que se tratava de uma malha bem desenvolvida, enquanto no Alfa assumiu-se uma perspectiva contrária, ou seja, a malha de rede não é desenvolvida e portanto, não complexa em termos de conectividade.

Foi utilizado a software package for data envelopment analysis model, um pacote disponibilizado no Sistema Integrado de Apoio à Decisão – SIAD, da Universidade Federal

estritamente subaditiva", proposto por Baumol et al. (1982)

-

⁹ O conceito de subaditividade de custos trata da condição em que os custos de produção conjunta são menores do que os custos de produção especializada para qualquer escala e/ou combinação de produtos; a condição suficiente seria a existência de economias de escala, ou seja, quando uma função custo for tal que os custos médios sejam decrescentes para o aumento das quantidades, esta função seria

Fluminense (http://www.uff.br/decisao/), para rodar os dados obtidos e devidamente tratados.

As variáveis selecionadas foram: malha (número de linhas), frota (número de veículos operacionais), extensão da linha (km), área de influência (km²), passageiro mensal (passmês), passageiro-quilômetro (pass-km), taxa de ocupação do veículo (tx. Ocup.), pontos de interseção (número de pontos de interseção ao longo da linha), despesas totais a operação (em unidade monetária) e as receitas operacionais (em unidade monetária). Em seguida, foram feitos dois ensaios.

No primeiro, transformaram-se as variáveis em medidas de desempenho e sensibilidade geralmente aceitos em pesquisas de transportes, capazes de evidenciar a relação entre a eficiência e a principal característica de uma rede — a conectividade; conforme já descritas no segundo estágio desta pesquisa. Assim, constituíram insumos (inputs) a densidade da malha, a sensibilidade demanda de passageiro da conectividade, a sensibilidade dos pontos de parada ou de interseção, frota por passageiro-quilômetro, as despesas com combustíveis por passageiro-quilômetro e as despesas administrativas operacionais por passageiro-quilômetro e apenas receitas operacionais por despesas totais da operação como produto (output). Uma das mais relevantes variáveis é a sensibilidade da demanda de passageiro da conectividade, que associa as mutações na conectividade da malha sobre a demanda. Dessa forma, vincula-se o aspecto morfológico a desempenho.

No segundo ensaio, conforme ilustrado na Figura 5.1, fez-se o agrupamento destas medidas em três dimensões: morfológica, produção e financeira. Este ensaio tornou mais robusto e restrito os *scores* de eficiências. Em ambos os ensaios foram analisadas 25 DMUs. Com efeito, os resultados do primeiro ensaio indicam que 48% das DMUs (12) são classificadas como eficientes no modelo CCR (CRS), e no segundo ensaio, o mesmo modelo limitou a apenas 8% (2 DMUs); como ilustram as figuras abaixo (Figuras 5.3a e 5.3b).

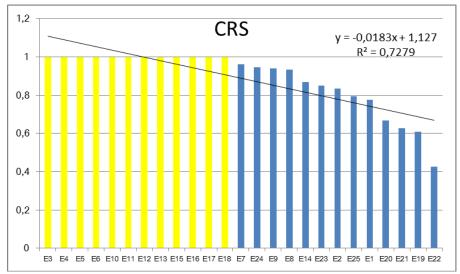


Figura 5.3a: Score CCR das DMUS _ Ensaio 1 Fonte: Elaboração própria

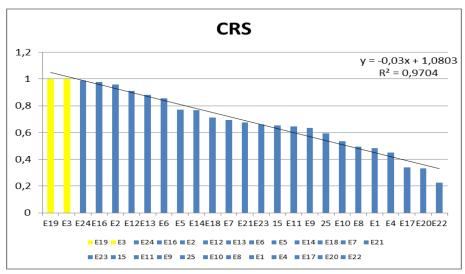


Figura 5.3b: Score CCR das DMUS _ Ensaio 2 Fonte: Elaboração própria

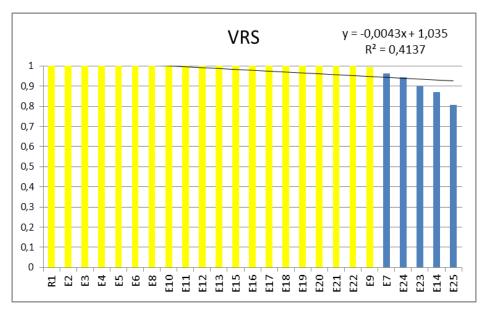


Figura 5.4a: Score BCC das DMUS _ Ensaio 1 Fonte: Elaboração própria

De igual modo, sob perspectiva do modelo BCC (VRS), no primeiro ensaio 76% das DMUs foram classificadas como eficientes, contra 32% obtidas no segundo ensaio (vide Figuras 5.4a e 5.4b).

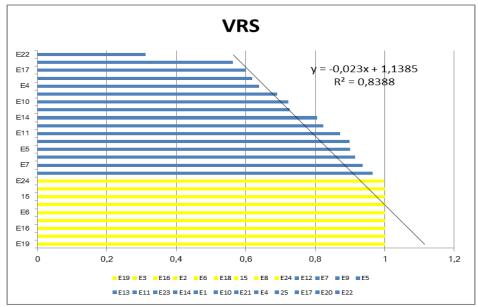


Figura 5.4b: Score BCC das DMUS _ Ensaio 2 Fonte: Elaboração própria

Importa ressaltar ainda, que no segundo ensaio averiguou-se o comportamento da eficiência de cada DMU nos dois modelos (VRS e CRS), sob duas perspectivas ou situações: na primeira situação assumia-se a conectividade fraca ou baixa (Alfa) e na segunda situação, assumia-se a conectividade alta (Gama).

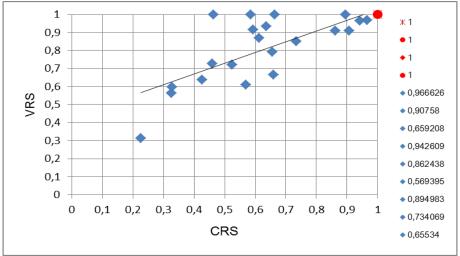


Figura 5.5a: Score das DMUS _ conectividade Alfa Fonte: Elaboração própria

E por fim, fez-se a análise da eficiência de escala. Os resultados foram os seguintes: visualmente, as feições das figuras parecem semelhantes tanto para a situação de alta conectividade quanto de baixa conectividade (Figuras 5.5a e 5.5b). Isso é verídico apenas no modelo VRS em que 32% das DMUs (8) foram consideradas eficientes, no modelo CRS 16% das DMUs foram consideradas eficientes contras 8% relativas a conectividades baixa e alta, respectivamente.

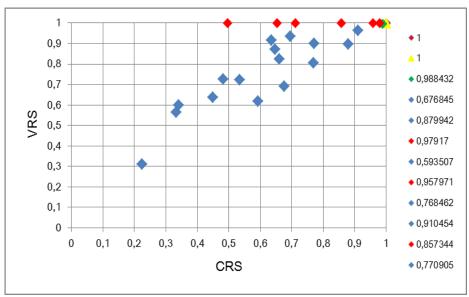


Figura 5.5b: Score das DMUS _ conectividade Gama Fonte: Elaboração própria

Ainda no escopo dessas análises, apenas as E3 e E19 servem de benchmarks quando da alta conectividade no modelo CRS, enquanto que na situação de baixa conectividade além destas duas (E3 e E19), as DMUs E2 e E16 também servem de benchmarks para as demais (Vide Figura 5.6, a seguir).

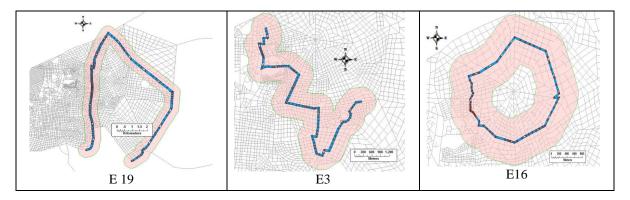


Figura 5.6: Configurações de malhas selecionadas (E3, E16 e E19)

Finalmente, quatro DMUs na situação de baixa conectividade e somente duas DMUs na situação de conectividade elevada obtiveram eficiência de escala (Figuras 5.7a e 5.7b); ou seja, a eficiência de escala ocorre quando os resultados das eficiências técnicas dos modelos VRS e CRS são iguais. Caso contrário, sinaliza a existência da ineficiência de escala.

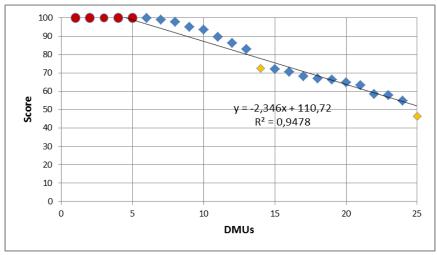


Figura 5.7a: Score de Eficiência de Escala _ conectividade Alfa Fonte: Elaboração própria

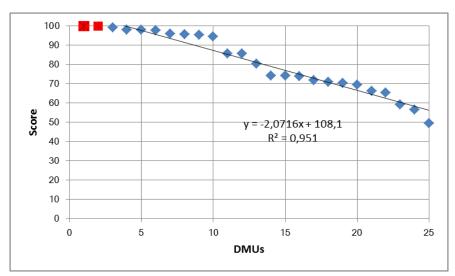


Figura 5.7b: Score de Eficiência de Escala _ conectividade Gama Fonte: Elaboração própria

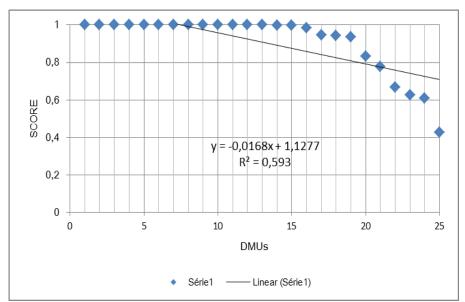


Figura 5.7c: Score de Eficiência de Escala, com desagregação do índice morfológico Fonte: Elaboração própria

E comparadas com a situação original (com desagregação do indicador morfológico) 52% das DMUs (13) foram classificadas no nível de eficiência de escala (Figura 5.7c).

5.3 Conclusões sobre os resultados da eficiência de TPU

Todos os ensaios foram rodados em DEA orientados para produtos, nos dois modelos BCC (VRS) e CCR (CRS). Constatou-se que, em geral, o modelo BCC (VRS) aproximadamente 40% a mais de DMUs alcançam o nível de eficiência (fronteira de eficiência técnica) em relação a eficiência total (do modelo CCR/CRS). Isso é plausível dado que este último (CCR/CRS) está relacionado a medida de longo prazo, onde todos os fatores são não fixos, tais como a tecnologia de transporte, configuração da malha da rede etc.. E no curto prazo (BCC/VRS), embora a tecnologia de transportes (TPU por ônibus) possa alterar, o peso relativo de fatores que mais influenciam são a sensibilidade da demanda relativa a conectividade capaz de otimizar a mobiidade. Esta demanda, em geral, é exógena, pois depende mais da elasticidade custo da renda e da necessidade individual ao preferir ou optar por esta modalidade de descolamento.

Conclui-se que a influência do grau de conectividade afeta os resultados das eficiências técnica e de escala e consequente classificação das unidades de decisão – DMUs,

geralmente reduzindo em 50% da situação de baixa para alta conectividade (respectivamente, de 16% para 8%). Comparadas com a situação original (sem a inclusão do indicador de conectividade) 52% das DMUs foram classificadas no nível de eficiência de escala (Figura 5.7c).

Com relação a configuração da malha da rede e sua relação com níveis de eficiências, não há elementos suficientes para concluir à respeito, dado que figuras com configurações diferentes (desenho) obtiveram mesmo nível de eficiência de escala. Há outros elementos de rede mais explicativos para tais resultados. Não obstante, a medida do índice morfológico merece destaque, pois atribui maior robustez à análise. Nela, está implícita a sensibilidade rede da demanda de passageiros, de suma relevância posto que toda vez que o desenho (configuração) de uma rede é alterado, provoca alteração em sua conectividade (tornando-a mais simplificada ou mais complexa) e afetando o fluxo dos usuários. Isso é particularmente relevante porque os objetivos dos usuários e dos provedores (operadores) nem sempre são alinhados; ou seja, geralmente são conflitantes. O operado sempre buscará uma configuração de rede que potencialize seus ganhos (financeiros) ao passo que, os usuários buscarão maximizar ganhos (econômicos ou benefício-custo). É nesse meio que deve entrar a autoridade pública de transportes.

5.3.1 Quinto estágio - diferentes formas de exploração de economia de rede em TPU da GAMSJ

Nessa seção, apresenta-se uma discussão sobre as economias de escala, de escopo e da densidade em transporte público urbano por ônibus relativos à GAMSJ. Aprofunda-se na análise de economia da densidade das redes selecionadas e apresenta-se um exercício. Como justificativas, ratificam-se os argumentos de que, a economia de rede de TPU por ônibus não pode ser explicada sob da economia de escala.

5.3.1.1 Economia de escopo da rede em TPU da GAMSJ

Conforme vistos no capítulo 2, Basso e Jara-Díaz (2005) recomendam que, em transportes, a economia de escopo deve ser abordada sob perspectiva espacial, posto que, "o incremento

do tamanho da rede está inequivocamente associada a um crescimento em números de produtos e, portanto, redes variáveis estão associadas à economia de escopo".

Com efeito, em virtude dessa característica de produção baseada em multisserviços, a estimação da economia de escopo, assim como da escala, envolve algum grau de difuldade devido as situações circunstanciais nas quais a empresas atuam, em termos de características de ambientais e técnicas, induzindo a vários níveis de sinergias em diferentes serviços no mercado. Diferenças estas que, segundo Farsi *et al.* (2007), transpõem a variação no produto e tamanho, gerando forte heterogeneidade entre multisserviços. Consequentemente, a função custo com coeficiente constante é insuficiente para uma análise confiável de economias de escopo.

O fato é que, como a economia de escopo advém da conveniência dos custos, ela deve ser observada sob duas perspectivas: a do consumidor e a do operador. A natureza multiproduto dos transportes urbanos torna inerente a exploração de economia de escopo, havendo, portanto certa convergência entre as duas perspectivas quando da maximização dos resultados, otimizando os custos. Os arranjos que vem ocorrendo no campo dos transportes, tais como a formação de consórcios, a disseminação de tecnologia bilhetagem e a integração modal evidenciam os aspectos da exploração de economia de escopo; sendo portanto, mais fácil de ser mensurada sob a perspectiva do operador do que nos consumidores.

No caso das redes selecionadas da GAMSJ, devido a precariedade dos dados obtidos, tornou-se inviável apresentar qualquer exercício que demonstrasse a discussão apresentada nesse subitem, a partir da formulação apresentada no subitem 2.3.1.

5.3.1.2 Economia de escala rede em TPU da GAMSJ

Em transportes, os custos unitários de produção de produção devem diminuir sempre que a firma aumente a oferta de viagem para novos pontos (pontos ainda não atendidos) sem que a taxa de ocupação, a distância média ou nível de produção por pontos atendidos. Essa formulação adaptada de Caves *et al.* (1984) induz haver economias de escala quando

houver atendimento à demanda potencial ou percebida pela cia sem comprometer o nível de serviços.

Tecnicamente, a nossa arguição à tese de Caves deve-se ao fato de não ser "viável" em TPU, ao menos que a firma estivesse operando com capacidade ociosa. Nesse caso, primeira decisão da firma seria aumentar a taxa de ocupação e/ou aumentar a frequência a fim de capturar a demanda não atendida e afetaria o nível de serviço. Em segundo lugar, ainda no âmbito do TPU, qualquer atendimento adicional a novos pontos implica alteração na rede e a respectiva conectividade. De igual modo, a inclusão de mais veículos para atender a novos pontos e, portanto, manter inalterado a taxa de ocupação e a distância média, necessariamente provocará aumento de custos de operação.

Conforme apresentado item 2.3.1 do capítulo 2, diversos estudos analisados referem à economia de escala sob a denotação de retornos de escala - RTS (equação 5.7), como sendo uma função inversa do somatório das elasticidades custos de produção. De fato, a elasticidade custo de produção traduz a sensibilidade ou impacto da variação percentual da produção sobre os custos (equação 5.26), onde C é o custo total; P é um vetor de preços dos fatores de produção ou insumos, e Q é o produto total.

$$\varepsilon_{\text{PC}} = \frac{\frac{\partial C(P,Q)}{\partial Q}}{\frac{C(P,Q)}{Q}}$$
(5.26)

$$RTS = \frac{1}{\sum_{i} \varepsilon_{\text{(PC)}j}}$$
 (5.27)

Assim, as economias de escala ocorrem quando os retornos de escala forem maiores que a unidade (RTS > 1), retornos constantes de escala quando forem iguais a unidade (RTS = 1) e deseconomias de escala quando retrnos de escala forem inferiores a unidade (RTS < 1).

Em outra releitura sobre os retornos de escala, Graham *et al.* (2003), entretanto, estabelece a relação entre os insumos e toda a escala de operações tanto de produtos quanto do tamanho de rede, mais alinhado com as posições de Caves *et al.*, (1984), Romero-Hernández e Salgado (2005) e Basso e Jara-Díaz (2003); aos quais, determinaram os

retornos de escala a partir da função inversa da soma entre o somatório da elasticidade de custos de produção (ε_j) - representada pelo regressor da equação estimada; e a elasticidade da rede (ε_N) - representada pelo regressor de número de rotas atendida pela firma; conforme a equação 5.28, a seguir:

$$RTS = \frac{1}{\sum_{j} \varepsilon_{j} + \varepsilon_{N}}$$
 (5.28)

Com esta formulação, os autores consideraram o tamanho da rede na qual a produção se realiza e a variação do custo de produção. Mas, ainda cabe uma observação e adequação a fim de representar o ambiente de TPU por ônibus.

Qualquer modificação no tamanho da rede de transporte (aumento ou redução) afeta a distribuição da demanda. Por isso, em lugar da elasticidade do tamanho da rede sugere-se o uso do grau de sensibilidade da demanda em relação à conectividade da rede (ε_B) e o somatório da elasticidade produto do custo total (equação 5.29). A inclusão desta característica morfológica reflete melhor o impacto do uso do solo pela configuração de rede sobre o acréscimo ou diminuição da demanda. A dimensão de custos envolveria diferentes variáveis observáveis e não-observáveis de impacto na produtividade da firma de transportes. As observáveis podem ser os equipamentos, mão de obra, insumos energéticos, velocidade média na malha da rede, tecnologia e a manutenção. As não-observáveis, satisfação de cliente com o nível de serviços e tempo de viagem em decorrência dos congestionamentos e outras externalidades provocadas pela tipologia de rede e as condições do mercado.

$$RTS = \frac{1}{\sum_{j} \varepsilon_{j} + |\varepsilon_{B}|}$$
 (5.29)

O uso do módulo na sensibilidade demanda de conectividade da rede indica que os valores devem ser sempre positivos, já que muitas vezes, os objetivos da firma em maximizar a rentabilidade por meio de expansão da rede e sua reconfiguração podem esbarrar com os de usuários. Estes, ao perceberem redução no nível de serviços, podem migrar para opções

alternativas, implicando em queda da demanda (seja pela queda no nível de serviço – tempo de viagem e de espera, seja por conta da subida do valor da tarifa, em virtude dos custos da expansão da rede).

Os resultados da aplicação desta formulação (equação 5.29) às redes de transporte urbano por ônibus da GAMSJ são apresentados a seguir (tabela 5.3).

5.3.1.3 Economia da densidade da rede em TPU da GAMSJ

A economia da densidade está associada ao aumento da produção, mantendo-se fixos os fatores de produção (os insumos). Na ótica do retorno, o retorno à densidade (RTD) representa a variação dos custos unitários causados pelo aumento de serviços de transporte dentro de uma rede de determinado tamanho.

Conforme apresentado no capítulo 2, seção 2.3.2, estudos relacionados à mensuração dos retornos da densidade em economia de rede dos transportes foram apresentados por Silva (1997), Basso e Jara-Díaz (2003), Graham *et al.*, (2003) e Farsi *et al.*, (2005). Todos eles¹⁰, a exceção de Graham *et al.*, (op. cit), seguiram a formulação de Caves *et al.*, (1984) e aplicaram em estudos de setores diferentes. Basso e Jara-Díaz (2003) procuraram identificar o papel da dimensão espacial do produto nas análises da estrutura da indústria de transporte aéreo; Farsi *et al.* (2005) analisaram a reestruturação gerencial da rede de transportes ferroviários suíços no contexto do novo ambiente regulatórios, baseado na competição e privilégio à Cia mais eficiente.

Caves *et al.* (1984) ao analisarem a rede de transportes aéreos, concluíram existir a economias da densidade quando os custos unitários declivam em virtude das Cias Aéreas adicionarem voos ou assentos em voos existentes (via aeronaves maiores ou por uma configuração de assentos mais densa), sem que haja alteração na taxa de ocupação, ou no número de aeronaves utilidades para tal ou no cumprimento da linha da rede.

anatica ratial control produção do vetor produção constante. Este indicador mantém a proporção namente de constante o total de ton-km pela rota de diferentes resultados. Portanto, a economia da densidade é crescente quando $\varepsilon_d < 1$; retorno constante quando $\varepsilon_d = 1$, e retornos decrescentes quando $\varepsilon_d > 1$. O autor esclarece que o retorno da densidade constante é quando há aumento proporcional da

 $\mathcal{E}_d = 1$, $\mathcal{E}_d = 1$,

Economia da Densidade indica quão a produção aumenta quando todos os insumos aumentam em proporções fixas. Esta é a base do pressuposto da análise radial e, portanto, mantém a proporção do vetor produção constante. Economia de Escala indica como produção aumenta proporcionalmente com

Ainda segundo estes autores, os custos unitários declinam acentuadamente com a densidade do serviço e aumento médio de comprimento distância. De igual modo, os custos também variam inversamente com a taxa de ocupação média e, até recentemente, os serviços locais tinham fatores de carga mais baixos do que os troncos. Portanto, estes autores formularam o retorno da densidade (*RTD*) como uma função inversa da elasticidade do custo total relativa à produção, conforme a equação 5.30, a seguir:

$$RTD = \frac{1}{\sum_{i} \varepsilon_{Y_{i}}}$$
 (5.30)

Onde, (Y) é um vetor de dois produtos (passageiro-quilômetro e frete-quilômetro voados); (W) é o preços de quatro insumos (energia, labor, material e capital); e (C) é custo de produção.

Portanto, nesta tese, também foi observado o comportamento da economia da densidade relacionada às redes de transporte urbano por ônibus da GAMSJ, à luz da formulação feita por Caves *et al.*, (1984) e resultados são apresentados a seguir (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Retornos de Escala e da Densidade relativas à redes selecionadas da GAMSJ

	ELASTICIDADE CUSTO TOTAL (ECT)			ÍNDICE TOPOLÓGICO (IT)		RETORNOS DE ESCALA (RE)		RETORNO DA
O.N.	ECT95/94	ECT96/95	Soma (ECT)	IT_ Gama	IT_ Alfa	RE_Gama	RE_Alfa	DENSIDADE RD
1	0,2687	-0,0124	0,2563	1,4483	0,9141	0,600	0,900	3,900
2	0,1846	-0,0702	0,1144	0,3106	0,1774	2,400	3,500	8,740
3	0,2756	-0,0265	0,2490	0,0064	0,0050	4,000	4,000	4,020
4	0,2848	0,0339	0,3187	0,9328	0,6777	0,800	1,100	3,140
5	0,1099	-0,0226	0,0874	0,1873	0,0974	3,700	5,500	11,450
6	11,1182	-0,1750	10,9432	0,0130	0,0094	0,100	0,100	0,090
7	0,5299	-1,0502	-0,5202	0,8764	0,6331	2,900	8,900	-1,920
8	0,0595	-0,0053	0,0543	2,1783	1,5865	0,500	0,700	18,420
9	0,0566	-0,0003	0,0562	1,2625	0,8686	0,800	1,100	17,790
10	0,3615	-0,0559	0,3057	0,4558	0,3318	1,400	1,600	3,270
11	0,0579	0,0078	0,0657	1,0576	0,8461	0,900	1,100	15,220
12	6,2325	0,4217	6,6542	0,1372	0,0940	0,200	0,200	0,150
13	0,9384	0,0767	1,0151	0,0601	0,0423	1,000	1,000	0,990
14	0,0890	-0,1069	-0,0179	0,1516	0,2596	7,500	4,200	-55,870
15	0,3424	0,5835	0,9259	1,2326	1,1384	0,500	0,500	1,080
16	0,0750	0,2603	0,3353	0,0868	0,0598	2,400	2,600	2,980
17	0,1243	-0,0033	0,1210	1,0026	0,7870	0,900	1,200	8,260
18	0,8482	0,5781	1,4264	1,3606	0,9027	0,400	0,500	0,700
19	0,2104	0,0054	0,2158	0,0767	0,0581	3,500	3,700	4,630
20	0,0598	0,0143	0,0741	0,9516	0,6668	1,000	1,400	13,490
21	0,1530	-0,0067	0,1463	0,1269	0,0927	3,700	4,200	6,830
22	0,9864	0,3209	1,3074	1,1144	0,5940	0,500	0,600	0,760
23	0,0612	0,0000	0,0612	0,7734	0,0000	1,200	16,400	16,340
24	0,0570	0,0225	0,0795	0,0975	0,0759	5,700	6,500	12,580
25	0,1941	0,0086	0,2027	0,2623	0,1976	2,200	2,500	4,930

Fonte: Elaboração própria.

5.3.2 Discussão de resultados sobre as formas de exploração de economias de rede em TPU por ônibus da GAMSJ

Ao longo deste capítulo foram apresentadas diferentes abordagens sobre a economia de escopo, de escala e da densidade, objetos de estudos de vários autores durantes décadas nos mais variados setores. A maioria dos autores pesquisados debruçou sobre economias de escala e de escopo e em certas ocasiões, abordou sobre economia da densidade. Esta última, relacionada ou a densidade populacional de uma região ou metrópole, ou a densidade de transporte de carga marítima, como por exemplo, o petróleo.

No campo dos transportes, a maioria dos trabalhos pesquisados foi nos segmentos aeroviário e ferroviário, privilegiando as abordagens de economias de escala e de escopo; reportando sempre a referência do Caves *et al.*, (1984). Graham *et al.*(2003) incluíram a variável mudança tecnológica, por meio do parâmetro Hicks-neutro e segundo o qual, o conceito de neutro ocorre se a taxa marginal de substituição produz uma substituição dos insumos, aumentando ou diminuindo apenas.

Basso e Jara-Díaz atualizaram a discussão sobre economias de rede dos transportes aéreos e, apresentaram uma comparação entre a economia da escala e da densidade (retornos de escala e da densidade). Estes autores destacaram a dimensão espacial da rede como fator importante. Apenas dois trabalhos trataram dos transportes urbanos de passageiros por ônibus – Orrico Filho (1979) e Contreras-Montoya (2000), discutindo com boa propriedade os aspectos da economia de escala.

As abordagens apresentadas por todos estes autores proporcionaram subsídios importantes para o entendimento das formas de exploração de economia de rede em transporte público por ônibus, sobretudo na análise da densidade; obtida pela função inversa da elasticidade custo total da produção. Para este ensaio ilustrativo, não foi necessário recorrer-se a análise de regressão para se obter o regressor da função, posto que os dados disponíveis possibilitaram calcular a elasticidade de cada firma. No caso da economia de escala, uma função inversa do somatório da elasticidade custo total e elasticidade relativa ao tamanho da rede. O nosso entendimento é que a extensão da rede simplesmente representa muito pouco. Duas redes podem ter a mesma extensão (cumprimento), mas apresentar

características topológicas diferentes, com reflexos sobre o consumo viagens. Nesse caso, em lugar da variação percentual da extensão da rede, optou-se pelo índice topológico da malha da rede, que é uma constante e reflete o produto entre o grau da densidade da malha, a sensibilidade dos pontos relativa à extensão e o grau de conectividade (Gama quando for alta e Alfa, quando for baixa).

Os resultados desse estudo estão resumidos na Tabela 5.3. Quanto aos retornos da densidade observou-se que não houve situação de retorno constante. Dois casos apresentaram resultados negativos. Isso se deve ao fato de os aumentos nominais dos custos totais terem afetados negativamente a demanda (reduzindo-a), já que os operadores de transportes geralmente repassam-nos para os consumidores. De fato, as tarifas passaram de 20 unidades monetárias em 1995 para 25 em 1996 e depois para 30 u.m. em 1997, por exemplo. Ainda com relação aos retornos da densidade, cinco empresas apresentaram retornos decrescentes (RD < 1); isto é, mantidos todos os fatores de produção fixos, a produção diminuiu.

Quanto ao retorno de escala, duas firmas registraram retornos constantes (E13 e E20) associadas a índice topológico gama contra apenas uma (a mesma E13) relativa ao índice topológico alfa. Em ambas as situações, a maioria das firmas apresentou retorno crescente de escala (RE > 1) e significa haver um aumento mais que proporcional da produção relativa ao aumento dos fatores de produção.

Conclui-se que, em transportes, as firmas menores que operam parte da rede (malha) podem obter ganhos de escala e que o ambiente competitivo proporcionado pela desregulamentação e regulação setorial é ideal para tal.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DA TESE

Este capítulo faz um retrato de confronto entre os resultados obtidos e os objetivos propostos (representando o sexto estágio do esquema metodológico) e por fim são apresentadas considerações finais e recomendações (representando o sétimo estágio da metodologia).

6.1 Conclusões da tese

O homem é um dos grandes e dos principais modeladores da crosta terrestre, fazendo intervenções nela a medida de suas necessidades e anseios. O alcance destes é graças à audácia, mas limitados pelo grau conhecimentos acumulados e das tecnologias disponíveis. Nesse processo, os transportes (no sentido lato) estão sempre presentes, como elo central para a re-distribuição e re-alocação dos recursos disponíveis.

Ao longo desta tese percorreu-se o universo do conhecimento acumulado em transportes, enfatizou-se o segmento dos transportes urbano e constataram-se poucos estudos a respeito dos serviços dos transportes públicos por ônibus, se comparada à quantidade de pesquisas disponíveis nos segmentos de cargas (todos os modos) e também nos segmentos de transportes de passageiros por aeronaves, trens, metrôs. Nesse sentido, a disponibilidade de dados e informações de âmbito ferroviário, aquaviário e aeroviário é imenso. Não é em vão, que estes segmentos de transportes possuem agências internacionais que as regulam e dispõem de dados globais, tais como a *International Air Transport Association (IATA*), *International Union of Railways (UIC), European* Railway Agency (*ERA*), *International Maritine Organization (IMO*), com respectivos jornais e revistas.

De fato, a literatura internacional em sua maioria proveniente de países como os Estados Unidos da América, o Japão, a China, a Coreia do Sul e da União Europeia potencializam estudos e modelos voltados para transportes ferroviários e aeroviários, como aliás, constituem objetos das respectivas políticas de mobilidade voltadas para alta capacidade e rapidez.

Os transportes urbanos por ônibus, bem característico em economias menos avançadas, além da escassez de pesquisas, encontram limitações quanto aos painéis de dados para esse feito. Por essa razão, a contribuição desta tese torna-se relevante. Elas sintetizam esforços quanto a organização e compilação da literatura profunda e atualizada sobre redes, em especial, a rede de transporte público urbanos. Também é moderna na medida em que discute sobre rede, um tema ultrainteressante e que ocupa os esforços de cientistas de mais diversas áreas, tais como as telecomunicações, redes sociais, redes de serviços bancários, de turismo, de saúde, de conhecimento etc., proporcionando uma caudal de modelos e inesgotáveis insumos para novos trabalhos científicos.

Outro fato relevante destas conclusões é a consolidação dos argumentos da contestabilidade, que impôs a subsunção formal dos dogmas do monopólio, como a condição chave para a existência de economias de escala. Evidentemente, a perpetuidade deste "dogma" não teria sido abalada não fossem os avanços tecnológicos e de gestão proporcionado pela acumulação de conhecimento, pela questão urbana em si. A desregulamentação e regulação de serviços disseminados no mundo tornou visível que um sistema (ferroviário, telefónico, dutoviário, aeroviário, energético, gaseduto, duto que seja) pode ser fraccionado em "lotes" de rede ou até de linha, de cuja operação por empresas menores pode proporcionar importantes economias de escala, de escopo, da densidade e da aglomeração, por meio até de compartilhamento de infraestruturas, evidenciando a competição.

A concepção de um indicador morfológico que represente os aspectos topológicos de redes e a conjugação de esforços sobre a efetividade da eficiência econômica de rede de TPU são necessários, constituindo outra grande contribuição ao conhecimento científico, ainda que em estágio embrionário. Este indicador pode subsidiar as propostas de planejamento funcional dos transportes entre os agentes econômicos, dado que, qualquer arranjo na configuração de redes afeta a demanda e consequentemente, os resultados de empresas. Portanto, o uso do Modelo de Precificação de Ativos Financeiros - CAPM foi inovador no contexto da análise eficiência de redes, se comparada com todos os procedimentos analisados e compilados nas tabelas 2.3, 3.1 2 3.3 desta tese. Por meio deste modelo foi possível construir uma medida da sensibilidade rede da demanda, a partir da expectativa

esperada da mesma, com intuito de atender a um dos principais objetivos da tese; ou seja, a relação entre a configuração de redes e a eficiência (vide tabela 5.1).

Finalmente, os objetivos propostos e os pressupostos apresentados para o desenvolvimento desta tese foram alcançados, com subsídios de ferramentas computacionais e de modelagem fez uma aplicação de DEA – Análise Envoltória de Dados para verificar a eficiência das malhas de redes, mesmo com os dados precários, da rede de transporte por ônibus da cidade de San Jose da Costa Rica. Vale ressaltar que o DEA mostrou ser uma ferramenta poderosa e de fácil manipulação para a classificação de unidades de decisão. Os dados foram rigorosamente selecionados e submetidos a análise estatística (usando-se o Excel e PHStat2) disponíveis. Dois cenários construídos sopunham malhas com alta conectividade e baixa conectividade. Concluiu-se que, os resultados da eficiência de escala que continham as medidas topológicas da rede foram diferentes dos sem as medidas topológicas. Por essa razão, fica claro o pressuposto de que existe uma relação entre morfologia de rede e a eficiência economia. Entretanto, ainda não se pode concluir com precisão sobre o impacto da configuração.

6.2 Recomendações da tese

Recomenda-se que novos estudos sejam desenvolvidos a respeito da configuração de malhas de redes de transportes como um todo, mas especialmente dos transportes públicos urbanos, dado que a questão de mobilidade urbana e o provimento da acessibilidade constituem desafios crescentes da sociedade.

Nesse sentido, a busca pela eficiência e eficácia deve constituir em objetivos e metas dos agentes econômicos em geral, de forma efetiva, tanto em termos de alocação técnica. Para tanto, recomenda-se a incorporação de novos elementos no estudo de economia de rede de transportes, destacando-se os transportes públicos por ônibus, uma vez que estes continuarão sendo o subsistema de provimento da mobilidade urbana de média capacidade de mais fácil implementação e flexibilidade em economias menos desenvolvidas ou em contexto de recursos limitados.

Os novos elementos devem ser, por exemplo, a velocidade média de trechos da malha, a abrangência da área de influência atendida pelas linhas de uma rede, número de funcionários de empresas de ônibus por passageiros transportados por período, o grau de atratividade dos usuários por pontos (não seria o mesmo que índice de passageiro-quilômetro), custos operacionais diretos, a distância entre pontos e a velocidade interpontos, a densidade populacional do bairro servido pela linha da rede, viagem-quilômetros, a rodagem, valor da tarifa e da receita, quantidade de empregados segundos categorias de cada empresa operadora da linha, bem como a taxa de sobreposição da infraestrutura ajudariam a construir novos argumentos e precisão na análise de rede (operacional e funcional). Em cada ponto da linha da rede de TPU por ônibus deve ser analisado o potencial de conexão e as respectivas distâncias, a semelhança do que ocorre em terminais dos transportes aéreos.

Esforços devem ser feitos no sentido de se desenvolver um índice morfológico que represente as configurações topológicas de redes de TPU.

No caso da cidade do Rio de Janeiro onde as autoridades de transportes têm implementados novos conceitos de transportes por ônibus pró-mobilidade urbana, dos quais se destacam, *Bus Rapid Transit* – *BRT*, *Bus Rapid Services* – *BRS*, consórcios metropolitanos (intersul, internorte, intercentro etc.), bem como os sistemas de bilhetagem, devem disponibilizar o imenso banco de dados e de informações acumuladas para as instituições de pesquisas, afim de que estudos dessa natureza seja aplicada. Nesse caso, os serviços de BRTs por possuírem conceitos similares a dos subsistemas sobre trilhos, permite estudos de economias de escala, da aglomeração e da densidade. E os consórcios metropolitanos além desses citados permite a análise de economias de escopo e da subaditividade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOISE, D. J. et al., 2001, "Teoria dos Grafos e Aplicações" (capítulos 1 e 2). *Natal-RN: Dimap/UFRN*. In: http://www.dimap.ufrn.br/
- ANGELIS, A. F. de, 2005, "Tutorial redes complexas Projeto Kyatera", *IFSC/FAPESP São Carlos-SP*, 21p. Disponível em: http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST464-261483/apoio/4/Tutorial_RedesComplexas.pdf
- ANGOTTI, T., 2009, "Planeta favela", *Revistasusp*, v.16 n.25, São Paulo p. 357-366, Disponível em www.revistasusp.sibi.usp.br/pdf/posfau/n25/24.pdf
- BAI, R., WALLACE, S. W., LI, J., CHONG, A. Y-L., 2014, Stochastic service network design with rerouting, *Transportation Research Part B* 60, pp. 50–65. In: www.elsevier.com/locate/trb
- BANISTER, D., BERECHMAN, Y., 2001, "Transport investment and the promotion of economic growth", *Journal of Transport Geography*, v. 9 (3), pp. 209-218. In: http://www.sciencedirect.com
- BARABÁSI, A. L., et al., 2000, Topology of evolving networks: local events and universality. *Physical Review Letters*, vol. 85 (24), pp. 5234-5237. In: http://www.barabasi.com/pubs.ph
- BARABÁSI, A. L., et al., 2002, Evolution of the social network of scientific collaborations. *Physica* A 311, 590-614. In: http://www.barabasi.com/pubs.ph
- BARABÁSI, A.-L., ALBERT, R., 1999, Emergence of scaling in random networks. *Science* 286, 509–512. In: http://www.barabasi.com/pubs.ph
- BARNUM, D. T., MCNEIL, S., HART, J., 2007, "Comparing the Efficiency of Public Transportation Subunits Using Data Envelopment Analysis", *Journal of Public Transportation*, v. 10, No. 2, pp. 16.

- BASSO, L., JARA-DÍAZ, S. R., 2006. "Distinguishing multiproduct economies of scale from economies of density on a fixed-size transport network", *Elsevier* (Networks and Spatial Economics 6), pp. 149-162; Accessed: August 30, 2010. Available at: http://www.cec.uchile.cl/~dicidet/publicaciones_jara.html
- BASSO, L., JARA-DÍAZ, S., 2005, "Calculation of economies of spatial scope from transport cost functions with aggregate output with an application to the airline industry", *Journal of Transport Economics and Policy*, v 39, (Jan), pp. 25-52.
- BAUMOL, W.J., PANZAR, J.C., WILLIG, R., 1982, "Contestable markets and the theory of industry structure", *The American Economic Review*, V. 72 (1), pp. 1-15. In: http://econ.ucdenver.edu/beckman/research/readings/baumol-contestable.pdf
- BERNSTEIN, J. I., 2007, "Dynamics, efficiency and network industries: a special issue of the review of network economics (Introduction and Overview)". Florida International University and NBER: *Review of Network Economics*, v.6 (Issue 3), September 2007, pp.10. Available in.: http://ideas.repec.org/
- BEZERRA, R. L., 2009, Análise da conectividade em redes móveis utilizando dados obtidos da mobilidade humana. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ-COPPE, 102p.
- BLUMENFIELD-LIEBERTHAL, E., 2008, "The topology of transportation networks: a comparison between different economies", *Springer Science: Published online:* pp 427–458, Disponível em: www.portaldacapes.org.br; www.springer.com
- BRITO, F., SOUZA, J. de., 2005, "Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza", *Revista São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 4, p. 48-63, São Paulo, out./dez. Disponível em: www.scielo.org
- CASTELLS, M., 2006, *A questão urbana*. Tradução de Arlene Caetano. 3ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 590p.

- CASTELLS, M., 2000, *The rise of the network society*. 2nd ed. Cambridge: Wiley-Blackwell Publishers, 594p.
- CATERMOL, F., 2004, "Inovações e contestabilidade: algumas considerações sobre eficiência econômica", *Revista do BNDES*, v. 11, N. 22, pp. 123-149, Rio de Janeiro, dez. disponpive em: www.bndes.gov.br/
- CAVES, D. W., CHRISTENSEN, L. R., TRETHEWAY, M. W., 1984, "Economies of density versus economies of scale: why thrunk and local service airline cost differ", *The Rand Journal of Economics*, v. 15, No 4, pp. 471-459. Available at www.jstor.org/
- CAVES, D., CHRISTENSEN, L. R., TRETHEWAY, M. W., et al., 1985, "Network Effects and the Measurement of Returns to Scale and Density for U.S. Railroads", *Cambridge, Cambridge University Press*, in Analytical Studies in Transport Economics, Daughety (ed), pp. 97-120.
- CHARNES, A., COOPER, W., LEWIN, A. Y. M., et al., 1997, Data Envelopment Analysis DEA. Massachusetts-USA, Kluwer Academic Publishers, 513p.
- CHEN, Y.-Z, LI, N., HE, D-R., 2007, A study on some urban bus transport networks. *ScienceDirect, Physica A*, v. 376, pp. 747-754. In: www.elsevier.com/locate/physa
- CHU, X.; FIELDING, G.J., LAMAR, B.W., 1990, "Measuring transit performance using data envelopment analysis", *Transportation Research A*, Vol. 26 (3), 1992, pp. 223-230. In: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0965856492900334
- CLAESSENS, S., DOBOS, G., KLINGEBIEL, D., et al., 2003, "The growing importance of networks in finance and its effects on competition", *University of Ansteerdan*, January 24, pp. 109-134, Accessed august 02, 2010; Available at: http://www1.fee.uva.nl/fm/PAPERS/Claessens/Network Anna Near%20Final.pdf
- COELLI, T. J., RAO, D. S. P., O'DONNELL, C. J., *et al.*, 1998, "An efficiency and productivity analysis", *Springeuronline*, 2nd ed., XVII, 345p.

- COLBURN, C., TALLEY, W., 1992, "A firm specific analysis of economies of size in the U.S. urban multiservice transit industry", *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 26 (Issue 3), p. 195-206. In: http://www.sciencedirect.com/science/
- COMISSÃO EUROPÉIA, 1996, "Cidades européias sustentáveis" Relatório. *In.*: ec.europa.eu/environment/urban/pdf/rport-pt.pdf
- CONTRERAS-MONTOYA, C. A., 2000, "Análise Integrada da Produção, Custos, Eficiência e Produtividade na Indústria de Transporte Urbano por Ônibus caso do Rio de Janeiro", Tese* D.Sc., Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, 2000, 142 p.
- COOPER, W. W., SEIFORD, L. M., ZHU, J., 2004, *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
- CORPORACIÓN ANDINA De FOMENTO- CAF, 2011, "Desarrollo urbano y movilidad en América Latina", 317p. In: http://publicaciones.caf.com/media/10819/omu.pdf
- CORRÊA, R. L., 1999, *Trajetórias Geográficas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- CRAINIC, T. G., 2000, Service network design in freight transportation. *European Journal of Operational Research*, vol. 122 (2), pp. 272-288. In: www.elsevier.com/locate/orms
- CUNHA, C. B. S. H., 2008, "Transporte no Rio de Janeiro: Recomendações Iniciais para a Implantação de Políticas que favoreçam a inclusão social e fomentem o desenvolvimento", Artigo, PET-COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro.
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION DOT, 2006, "Applicability of Bogotá's TransMilenio BRT System to the United States", May 2006, 86p. available in.: www.nbrti.org/
- DUPUY, G., 1985, Systèmes, Réseaux et Territoires: principles de réseaux territoriale.

 Paris: Presses de L'école nationale dès ponts et chaussées, 168p.
- ECONOMIDES, N., 1996, *The Economics of networks*. Stern School of Business, New York University. New York, NY 10012-1126, USA, Elsevier Science B.V.

- EUROPEAN ENVIROMENT AGENCY EEA, 2010, "Investments in transport infrastructure (Term 019)", *European Environment Agency*, In.: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/infrastructure-investments-assessment-draft-created#eea-comments
- EXTRA, 2011, Prefeitura anuncia novas mudanças no corredor de ônibus inaugurado sábado em Copacabana. Notícias: In: http://extra.globo.com/noticias/rio/rio-transito/prefeitura-anuncia-novas-mudancas-no-corredor-de-onibus-inaugurado-sabado-em-copacabana-1106457.html
- FARSI M, Fetz A, Filippini M., 2007. "Economies of scale and scope in local public transportation", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 41(3), pp. 345–361. In: http://www.cepe.ethz.ch/publications/workingPapers/CEPE_WP59.pdf
- FARSI, M. FILIPPINI, M., GREENE, W., 2005a, "Efficiency measurement in network industries: application to the swiss railway companies", *Journal of Regulatory Economics*, vol. 28(1), pp. 69–90; In: www.cepe.ethz.ch.
- FARSI, M., FETZ, A., FILIPPINI, M., 2007, "Economies of Scale and Scope in the Swiss Multi-Utilities Sector", *Center For Energy Policy and Economics CEPE;* Zurich, Switzerland. Department of Management, Technology and Economics, ETH Zurich, September, CEPE Working Paper No. 59, In: www.cepe.ethz.ch/, Acessado em 13/10/2010.
- FARSI, M., FETZ, A., FILIPPINI, M., 2007, "Economies of scale and scope in local public transportation", *Journal of Transport Economics and Policy* 41(3):345–361. Accessed: october 13, 2010. Available at: www.cepe.ch/
- FARSI, M., FILIPPINI, M., KUENZLE, M., 2006, "Cost efficiency in regional bus companies: an application of alternative stochastic frontier models", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 40(1): 95–118. In: https://doc.rero.ch/record/6550/files/filippini_JTEP_2006.pdf

- FERREIRA, C. M. C., GOMES, A. P., 2009, *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações.* Viçosa, MG: Editora UFV, 389 p.
- FERREIRA, S. C., 2007, "Urbanização e rede urbana brasileira: orientação teórica e metodológica preliminar", *1º Simpósio de Pós-graduação em Geografia do Estado de São Paulo/Unesp*, Rio Claro-SP, pp.535-538, disponível em < http://www.rc.unesp.br/igce/simpgeo/535-548sandra.pdf>
- FERRONATTO, L. G., DOMINGUEZ, E. M., MICHEL, F. D., 2009, "Modelagem da eficiencia de linhas de onibus urbano utilizando o método DEA", *Empresa Pública de Transporte e Circulação EPTC*, Porto Alegre-RS, Disponível em: < www.cbtu.gov.br/monografia>.
- FETRANSPOR, 2011, "Serviço de Ônibus Rápido- BRS", *Fetranspor*, disponível em: http://www.fetranspor.com.br/brs/>
- FIELDING, G. J., GLAUTHIER, R. E., LAVE, C. A., 1978, "Performance indicators for transit management", *Transportation*, vol. 7 (4), pp. 365-379. In: http://128.200.36.2/its/publications/papers/ITS/UCI-ITS-WP-78-1.pdf
- GILLEN, D. W., OUM, T. H., TRETHEWAY, M. W., 1990, "Airline cost strucuture and policy implications", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. XXIV, No 1, pp. 9-34. In: http://www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf
- GOMIDE, A. de Á., 2008, "Agenda governamental e formulação de políticas públicas: o projeto de lei de diretrizes da política nacional de mobilidade urbana", *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*, Rio de Janeiro: IPEA, 23p. In www.ipea.gov.br
- GRAHAM, D. J., 2007, "Agglomeration, Productivity and Transport Investment", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 41 (3), pp. 317-343(27). http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DiscussionPaper11.pdf>
- GRAHAM, D. J., 2007c, "Variable returns to agglomeration and the effect of road traffic congestion", *Journal of Urban Economics*, vol. 62 (1), pp. 103-120. http://ideas.repec.org/a/eee/juecon/v62y2007i1p103-120.html

- GRAHAM, D. J., COUTO, A., ADENEY, W., GLASITER, S., 2003, "Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity", *Transportation Research E* 39, 443-458. < http://www3.ic.ac.uk/pls/portallive/docs/1/8597696.PDF>
- GRAHAM, D. J., GIBBONS, S., MARTIN, R., 2010, "The spatial decay of agglomeration economies: estimates for use in transport appraisal". *Imperial College London -Final Report*, 40p. Available at: http://assets.dft.gov.uk/publications/>
- HUAPU, L., SHI, Y., 2007, Complexity of Public Transport Networks. *Tsinghua Science and Technology*. Elsevier, v. 12, Issue 2, April 2007, pp. 204–213, In: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007021407700299
- HUSAIN, N., ABDULLAH, M., KUMAN, S., 2000, Evaluating public sector efficiency with data envelopment analysis (DEA): a case study in road transport department, Selangor, Malaysia. Volume 11, Issue 4-6, pp. 830-836.
- IGLIORI, D., SARTORIS, A., 2007, "Economia Espacial", FEA/USP, Comunicação técnica, São Paulo. Disponível em: < www.econ.fea.usp.br; acessado em 20 de agosto de 2008>.
- INFORMATIVORIO, 2010. Avenida Nossa Senhora de Copacabana e Barata Ribeiro terão faixa exclusiva para ônibus em janeiro, setembro de 2010. In: http://informativorio.blogspot.com.br/2010/09/avenida-nossa-senhora-de-copacabana-e.html
- INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK, 2011, "Sustainable Urban Mobility Program for the Greater San Jose Metropolitan Area, Costa Rica", *IADB*, /(CR-T1077), 18p. In: http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36725532
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA APLICADA IPEA, 2003(?), "Brasil: território e nação", *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*, Rio de Janeiro, 42 p, Disponível em: <www.ipea.gov.br/destaques>; Acessado em 20 de agosto de 2008.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA APLICADA IPEA, 2005, "Brasil: o estado de uma nação", *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*, 372p, Rio de Janeiro: Fernando Rezende e Paulo Tafner Editores. Disponível em http://en.ipea.gov.br/>
- JACKSON, M. O., 2007, "The study of social networks" *Economics. Department of Economics*, Stanford University, Stanford, 25p. In: http://www.stanford.edu/~jacksonm/netsocialecon.pdf
- JARA-DÍAZ, S. R., BASSO, L., 2003, "Transport cost functions, network expansion and economies of scope", *Elsevier: Transportation Research E* 39, 271-288. Accessed at: Augus 30, 2010; Available: http://www.sciencedirect.com/science
- JARA-DÍAZ, S. R., CORTES. C., 1996, "On the calculation of scale economies from transport cost functions", *Journal of Transport Economics and Policy*. 30, 157-170, < http://www.cec.uchile.cl/~dicidet/Lbasso/CalculationOfEconomies.pdf>
- JORNAL DO COMMERCIO, 2012, "BRT como solução para o transporte público do Brasil". In: http://jconlineblogs.ne10.uol.com.br/deolhonotransito/2012/08/30/brt-como-solucao-para-o-transporte-publico-do-brasil/
- KARLAFTIS, M. G., 2004, "A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems", *European Journal of Operational Research*, n. 152, p. 354-364, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221703000298
- KNEIB, E. C., 2008, "Subcentros urbanos: construção conceitual e metodológica à sua definição e identificação para planejamento de transportes", Tese* D.Sc., Brasília-DF, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília/Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília 207p.
- KON, A, 2004, *Economia de Serviços: teoria e evolução no Brasil*. Rio de Janeiro, Elsevier, 269p.
- KÖTTER, T., FRIESECKE, F., 2007, "Developing urban Indicators for Managing Mega Cities", in: < iteresources.worldbank.org/

- KRUGMAN, P., 1991, "Increasing returns and economy geography", *Journal of Political Economy*, v. 99 (3), pp. 483 499. In: http://www.princeton.edu/~pkrugman/geography.pdf
- LAIRD, J. J., NELLTHORP, J., MACKIE, P. J, 2005, "Network effects and total economic impact in transport appraisal", *Transport Policy*, v. 12, Issue 6, pp. 537-544. In: http://www.sciencedirect.com/science/jounal/0967070x>
- LeBLANC, L. J., MORLOK, E. K., PIERSKALLA, W. P., 1975, "An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem?", *Transportation Research, Pergamon Press*, vol. 9 (5), pp. 309–318. In: http://www.sciencedirect.com
- LEI N° 8.666, de 21 de junho de 1993. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm
- LEI N° 8987, de 13 de fevereiro de 1995. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18987cons.htm
- LEI N° 9.491, de 9 de setembro de 1997. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9491.htm#art35
- LEVAGGI, R., 1994, "Parametric and non-parametric approach to efficiency: the case of urban transport in Italy", *Studi Economici*, 49(53), 1994, pp. 67-88.
- LÉVÊQUE, F, 1998, Économie de la Regulamentation. Paris: La Découverte, 125p.
- LIMA, E. F., 2007, "Velhos centros, novas centralidades: políticas de empobrecimento urbano e usos do espaço público", *Scientia Plena*, v. 3, no 5, disponível em < www.scientiaplena.org.br>
- LINS, M. E., LOBO, M. S. de C., DA SILVA, A. C. M., et al., 2007, "O uso da análise envoltória de dados DEA para avaliação de hospitais universitários brasileiros", *Revista Ciência da Saúde Coletiva*, v.12, ano 4, Rio de Janeiro: July/Aug. http://www.scielosp.org/scielo

- MACÁRIO, R., 2003, "Institutional frameworks, regulatory agencies and the land passenger transport industry: reflections on recent evolutions", THREDBO 8, pp. 541-558, in Hensher, D., (Editor), in, Competition and Ownership in land passenger transport, Elsevier, 2005, 796p.
- MARCUCCI, E., AVARELLO, L., 2003, "The reform of local public transportin italy: the roman case", the 8thInternational Conference (Thredbo 8), pp. 617 636, in Hensher, D., (Editor), in, Competition and Ownership in land passenger transport, Elsevier, 2005, 796p.
- MASCARÓ, J. L., 1987. "Desenho Urbano e Custos de Urbanização". Brasília: MHU/SAM.
- MAURY, P., 1993, "Inteligência competitiva e decisão empresarial", *Instituto Brasileiro de Informaçãoem Ciência e Tecnologia (IBICT)*, Brasília, maio/ago, pp.138-141. Disponível em: < http://revista.ibict.br/ciinf/index.php/ciinf/article/viewFile/1185/828>
- MELLO, J. C. C. B. S. de., GOMES, E. G., 2004, "Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com análise de envoltória de dados", *Revista de Economia e Administração*, v.3, n.1, p. 15-23, http://www.uff.br/decisao/eff_aeropot_rev>
- MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2005, "Mobilidade e Política Urbana: Subsídios para uma gestão interada", *IBAM- Rio de Janeiro*, 52p, http://www.observatorioseguranca.org/documentos/METODOLOGIA
- MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006, "A mobilidade urban no planejamento da cidade", *IBAM*, 36p, < http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/mobilidade_urbana.pdf>
- MOLINERO, A., ARELLANO, I., 1996, "Transporte Público: planeacion, diseño, operacíon y administracíon", *Secretaria de Transporte y Vialidad del Distrito Federal México –DF*:, cap. 5, pp. 209 249.
- MORIA, T., NISHIKIMIB, K., 2002, "Economies of transport density and industrial agglomeration", *Regional Science and Urban Economics*, pp. 167–200, JEL classification F12, O14, R12, R49, Available at:<www.elsevier.com/locate/econbase>

- MOURA, R., 2004, "Morfologias de concentração no Brasil: o que se configura além da metropolização?", *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, n.107, p.77-92, jul./dez, Curitiba. Disponível em: <www.ipardes.gov.br/pdf/revista>
- NAGURNEY, A *et. al* (2009). *Network Economics*. Handbook of Computational Econometrics. David Belsley and Erricos KONtoghiorghes, Editors, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2009, pp 429 486. In: supernet.som.umass.edu/articles/NetworkEconomics.pdfNG, C. K.; SEABRIGHT, P. (2001): "Competition, Privatisation and Productive Efficiency: Evidence From The Airline Industry". The Economic Journal. 111. 591-619.
- NAGURNEY, A., 2005, "The evolution and integration of social and financial networks with applications", *Cambridge Colloquium on Complexity and Social Networks Kennedy School of Government*, Accessed: December 12, 2009; Available: http://supernet.som.umass.edu
- NAGURNEY, A., *et al.*, 2003, "Some recent developments in network economics", *Isenberg School of Management*, University of Massachusetts, pp. 68-72, In.: supernet.som.umass.edu/
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM NCHRP, 2010, "Measuring transportation network performance", *Transportation Research Board TRB*, Report 664, 87p, Washington, D.C. In.:http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_664.pdf>
- NATIONAL TRANSPORT AGENCY FOR SCOTLAND, 2008, "Agglomeration economies", *Transport Scotland*, In URL: < http://www.transportscotland.gov.uk/stag/td/Part2/Economy/9.3.1>
- NETTO, P. O. B., 2006, *Grafos: teoria, modelos, algoritmos.* 4ª ed., São Paulo: Edgard Blucher, 313p.
- NOLAN, J. F., 1996, "Determinants of productive efficiency in urban transit", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 32(3), pp. 319–342. In: http://trid.trb.org/view.aspx?id=468244

- ONNELA, J.-P., et al. 2007, Structure and tie strengths in mobile communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (18), 7332-7336. In: http://www.barabasi.com/pubs.ph
- ORRICO FILHO, R. D., 1979, Economia da escala na indústria de transportes urbanos por ônibus. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro.
- ORRICO FILHO, R. D., 1997, La politique tarifaire de transports collectifs urbains au Brèsil: le cas de Salvador de Bahia, IUP-Université de Paris XII, Paris, France.
- ORRICO FILHO, R. D., 2009, *Redes de transporte público coletivo urbano*, Projeto de pesquisa, UFRJ-CNPq, 26 p. Rio de Janeiro, Mimeo.
- ORRICO FILHO, R. D., BRASILEIRO, A., SANTOS, E. M. dos, et al., Ônibus Urbano: regulamentação e mercados. Brasília: L.G.E, 1996, 304p.
- OTTAVIANO, G. I. P., PUGA, D., 1997, "Agglomeration in the global economy: A survey of the 'new economic geography", *Università degli Studi di Bologna*, Discussion Paper No. 356, Bologna-Italy. Available: http://cep.lse.ac.uk/pubs.pdf>, Accessed: August 20, 2010.
- OUM, H. T., ZHANG, Y., 1997, "A note on scale economies in transport", *Journal of Transport Economics and Policy.*, n. 3, vol. XXXI, pp 309-315. In: http://www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf/Volume_XXX1_No_3_309-315.pdf
- PARK, J., KANG, S-C., 2011, "A model for evaluating the connectivity of multimodal transit networks", *Transportation Research Board Annual Meeting*. In.: http://trid.trb.org (http://trid.trb.org/view.aspx?id=1092067)
- PEDROSO et al., 2012, Eficiência relativa da política nacional de procedimentos cirúrgicos eletivos de média complexidade. *Curitiba Mar./Apr. 2012, Revista de Administração Contemporânea*, V. 16, N. 2, In: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-65552012000200005

- PEÑA, C. R., 2008, "Um modelo de avaliação da eficiencia da administração pública através do método análise envoltória de dados-DEA", *Revista de administração contemporânea RAC*, v. 12, n. 1, p. 83-106, jan./mar. Curitiba-PR. Disponível em: www.scielo.br/
- PEREIRA, M. F. V., 2009, "Redes, sistemas de transportes e as novas dinâmicas do território no período atual: notas sobre o caso brasileiro", *Sociedade & Natureza*, pp. 121-129, Uberlândia/MG. Disponível em: www.sociedadenatureza.ig.ufu.br/include/getdoc.php?
- PINDYCK, R., ROBERT, S., DANIEL, L., 1992, *Microeconomics*. 2^a ed. EUA, Macmillan.
- PLATAFORMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2011, "Cidades sustentáveis" *In.*: http://www.cidadessustentaveis.org.br/plataforma
- PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2011, "Indicadores da cidade do Rio de Janeiro", *Secretaria Municipal dos Transportes*. Disponível em:<portalgeo.rio.rj.gov.br/protocolo/Indicadores_capitulos/>
- REVISTA ÔNIBUS, 2009, *Grandes mudanças no setor de transportes*. Revista Ônibus, Ano X, N0. 56, Outubro/Novembro, 40p.
- ROMERO-HERNÁNDEZ, M., SALGADO, H., 2005. "Economies of density, network size and spatial scope in the european airline industry", *University of California at Berkeley Institute of Transportation Studies*. Berkeley-USA. Acessado em 13/10/2010. Disponível em: www.fedea.es/pub/
- SAMPAIO, B. R., LIMA NETO, O., SAMPAIO, Y., 2009, "Efficiency analysis of public transport systems: Lessons for institutional planning", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 42 (3), pp. 445-454. In http://www.sciencedirect.com/science/journal/09658564/42/3
- SANTOS, E., ARAGÃO, J., 2000, *Transporte em Tempo de Reforma*. Ensaios sobre a problemática. Brasília: L.G.E., 510p.

- SASSEN, S., 1991, "The global city: New York, London, Tokyo", Princeton: University Press.
- SCOTCHMER, S., THISSE, J-F., 1993. "Les implications de l'espace pour la concurrence", *Revues Économiques*, vol. 44 (4), pp. 653-670. In: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/reco_0035-2764_1993_num_44_4_409471
- SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES, 2011, "Prefeitura implanta corredor preferencial para ônibus em Copacabana". *SMTR*, Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/web/smtr/exibeconteudo?article-id=1584365
- SHAPIRO, C., 1999. "Exclusivity in Network Industries", *George Mason Law Review*. v. 7 (3): 673-683. In: http://faculty.haas.berkeley.edu/SHAPIRO/exclusivity.pdf
- SHAPIRO, C., VARIAN, H. R., 1998, "Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy", *Cambridge*, *MA: Harvard Business School Press*. In: http://mbauninorte.files.wordpress.com/2009/08/information-rules.pdf
- SHIMBEL, A., 1953, "Structural parameters of communication networks", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, v. 15 (4), pp. 501-507, in: http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02476438
- SHY, Oz., 2001, *The Economics of Network Industries*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 315p.
- SILVA, E. P de la S., 1997, Estrutura de custo, economia de escala e fator demanda na indústria de transporte rodoviário de passageiros. Tese* D.Sc., Rio de Janeiro: PEP-COPPE-UFRJ, 108p.
- SKYSCRAPERCITY, 2010. Sistema de ônibus do Rio de Janeiro http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1186489&page=4
- SOJA, E W., 2000, Postmetropolis: critical studies of cities and regions, Oxford: Blackwell Publishers.

- SOUSA, P. A. M., 2010, "Efeito Estruturante das Redes de Transporte no Território Modelo de Análise". Tese* D.Sc., Lisboa: UL, 328p. In: www.ub.edu/geocrit
- SOUZA, R. P., COSTA, S. A. da, MACEDO, M. Á. da S., 2010, "Análise de eficiência de empresas do setor de transporte no Brasil: um estudo utilizando DEA", *Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais*, Anais, São Paulo pp. 17, In: http://www.simpoi.fgv.br/arquivo/2010/artigos/E2010_T00120_PCN08323.pdf
- SPÓSITO, M. E. B., 2004, *O chão em pedaços: urbanização, economia e cidades no Estado de São Paulo*, Tese* Livre Docência, Presidente Prudente SP, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 504p.
- STATHOPOULOS, N., 1997, *La Performance territoriale des reseaux de transport*. Paris: Presses de L'École Nationale des Ponts et Chaussés, 228p.
- TAAFFE, E. J., GAUTHIER, H. L., O'KELLY, M. E., 1996, *Geography of transportation*, New Jersey USA: Prentice Hall, 2nd ed., 422p.
- TAAFFE, E., GAUTHIER, H., 1973, *Geography of Transportation*. In Foundations of Economic Geography Series. Englewood Cliffs. Prentice Hall, 226p
- TAAFFE, E.; MORRIL, R.; GOULD, P., 1963, "Transport Expansion in underdeveloped countries: a comparative analysis", *Geographical Review*, 53(4): 503-529. In: < http://www.jstor.org/>
- TALLEY, W. K.; AGARWAL, V. B.; BREAKFIELD, J. W., 1986, "Economies of density of ocean tanker ships", *Journal of Transport Economy and Policy*, v. XX, No. 1, pp. 91 99. Available in www.bath.ac.uk/e-journals/jtep/pdf>.
- TALLEY, W. K.; ANDERSON, P. P., 1981, "Effectiveness and Efficiency in Transit Performance: a theoretical perspective". *Elsevier: Transportation Research Part A: General*, v. 15 (Issue 6), pp. 431-436, < http://www.sciencedirect.com/science>

- TAYLOR, C., WECKY, O. L. de., 2006, "Integrated transportation network design optimization", *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 16p. In: http://strategic.mit.edu/spacelogistics/pdf/AIAA-2006-1912-328.pdf
- TOMAZINIS, A. R., 1977, "Study of efficiency indicators of urban public transportation systems", *Final Report*, 308p. In: http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5406787
- TORREZ, R. F. B., 2009, Centralidade na cidade contemporânea, novos sujeitos e projetos: caso das universidades na área central do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: URFJ, 196p. Disponível em: www.ippur.ufrj.br/
- TOURINHO, A. de O., 2007, "Do centro à novas centralidades: uma trajetória de permanências e rupturas conceituais", pp. 11-28, In *Arquiteses*, v. 2, Cidades e Impasses. São Paulo: FAUUSP/FUPAM/Annablume.
- UNION INTERNACIONALE DES TRANSPORTS PUBLIC UITP, 2003, "Uma melhor mobilidade urbana em países em desenvolvimento: problemas, soluções", *UITP*, 48p, Available at: http://www.uitp.org/publications/brochures/Dev-Countries-pt.pdf
- UNION INTERNACIONALE DES TRANSPORTS PUBLIC, 2009, "Assessing the benefits of public transport", Available:www.uitp.org/mos/focus/FPBenefits-en.pdf; accessed at: April 30, 2010.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD), 2008, World Investment Repor: transnational corporations and the infrastructure challenge. New Dehli, United Nations Environment Programme, 294 p.
- VAN NES, R., 2002, *Design of multimodal transport networks: a hierarchical approach*, Thesis of Doctorat. Netherlands; Technische Universiteit Delft, 25, 304p.
- VARIAN, H. R., 1997, *Microeconomia: princípios básicos*. Tradução da 2ª edição original de Luciene Melo. Rio de Janeiro: Campus, 710p.
- VASCONCELLOS, E. A., 2006, *Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise dos impactos*, São Paulo, Editora do Autor.

- VILLAÇA, F., 2001, *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 379p.
- VISCUSI, W. K., VERNOR, J. N., HARRINGTON Jr., J. E., 1995, *Economics of regulation and antitrust*, 2nd edition, Massachusets Institute of Technology: MIT Press, 890p.
- VITON, P. A., 1997, "Technical efficiency in multi-mode bus transit: a production frontier analysis", *Transportation Research B*, Vol. 31 (1), p. 23-39. In: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261596000197
- WORLD GAZETTEER, 2011, "Welt: Ballungsräume" in: http://bevoelkerungsstatistik.de/
- WORLDBANCK, 2002, *Cities on the move:* a World Bank urban transport strategy review urban, World Bank, 206p.
- WORLDBANK, 2005, "Brasil: elementos de uma estratégia de cidades", Relatório N0 35749-BR, 32p, In: www.worldbank.org
- XIE, F., LEVINSON, D., 2008, "Topological evolution of surface transportation networks", *Elsevier*, 33, pp. 211-223. Minneapolis-USA, in: http://nexus.umn.edu/papers/topologicalevolution.pdf>
- YEVDOKIMOV, Y. V., 2001, "The economics of transportation networks", *University of New Brunswick*, New Brunswinck Canada, 26p. Acessado em 23/07/ 2008. In: http://www.unb.ca/econ;
- YEVDOKIMOV, Y. V., 2002, "Modeling transportation as a network industry" *University of New Brunswick*, New Brunswinck Canada, 15p. Acessado em 23/07/2008. Disponível em: www.unb.ca/transport.
- ZMITROWICZ, W. et al., 1997, "Infraestrutura Urbana", Texto Técnico da Escola Politécnica da USP/Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 36p. Disponível em: <pc2461.pcc.usp.br/Textos_Tecnicos/ttinfraestrutura17.pdf.>

ANEXOS

ANEXO 1

TABELA A1.1: Análise da correlação entre as variáveis das características morfológicas das redes

	Densid. Malha	Tx. Ocup.	Gama	Alfa	Sens. Demanda	Sens.Dens.Pontos
Densid. Malha	1					
Tx. Ocup.	-0,099368163	1				
Gama	-0,235064112	-0,386300993	1			
Alfa	0,017427036	0,112785324	0,00323829	1		
Sens. Demanda	0,330167377	-0,596093619	0,29711526	-0,02945042	1	
Sens.Dens.Pontos	0,05198839	-0,189822191	0,01804336	-0,018904737	0,177295839	1

TABELA A1.2: Análise da correlação das variáveis de custos e produção das malhas da rede, relativas a conectividade Gama

	Y	K	N	C (Gama)	Q	W
Y	1					
K	0,963184	1				
N	0,160362	0,06989	1			
C (Gama)	-0,23022	-0,21169	-0,34285	1		
Q	0,830393	0,767848	0,027163	-0,19508	1	
W	0,972631	0,944951	0,166036	-0,22353	0,817549	1

TABELA A1.3: Análise correlação das variáveis de custos e produção das malhas da rede, relativas a conectividade Alfa

	Y	K	N	C (Alfa)	Q	W
Y	1					
K	0,963184	1				
N	0,160362	0,06989	1			
c (Alfa)	0,049881	0,035319	0,06932	1		
Q	0,830393	0,767848	0,027163	0,090895	1	
W	0,972631	0,944951	0,166036	0,033475	0,817549	1

TABELA A1.4 – Análise correlação da Sensibilidade Rede da Demanda (Beta), relativas as variáveis conectividade Gama e passageiro-quilômetro

	Pass.km	Conectividade	Beta "G"
Pass.km	1		
Conectividade	-0,297296684	1	
Beta "G"	0,841008687	-0,01909	1

Análise de Regressão

TABELA A1.5 – Análise Regressão da Sensibilidade Rede da Demanda (Beta), relativas as variáveis conectividade Gama e passageiro-quilômetro

Regression Statistics					
Multiple R	0,8751				
R Square	0,7658				
Adjusted R Square	0,7445				
Standard Error	0,0000				
Observations	25				

Fator inflacionário da Variância – FIV ou "Variance inflationary factor (VIF)"

TABELA A1.6- Fator Inflacionário da Variância da variável Pass.km, relativa a todas outras variáveis X

Regression Statistics					
Multiple R	0,2973				
R Square	0,0884				
Adjusted R Square	0,0487				
Standard Error	3664879,5490				
Observations	25				
VIF	1,0970				

TABLA A1.7: Fator Inflacionário da Variância da variável Conectividade, relativa a todas outras variáveis X

Regression Statistics	
Multiple R R Square	0,2973 0,0884
Adjusted R Square	0,0487
Standard Error	0,1232
Observations	25
VIF	1,0970

TABELA A1.8: Análise correlação da Sensibilidade Rede da Demanda (Beta), relativas as variáveis conectividade Alfa e passageiro-quilômetro

	Pass.km	Conectividade	Beta "A"
Pass.km	1		
Conectividade	0,02945042	1	
Beta "A"	0,652005882	-0,15888	1_

TABELA A1.9: Indicadores propostos para estudos, relativas a sensibilidade Beta "A" - impacto da

conectividade Alfa sobre passageiro-quilômetro

O.N.	RecTot/DesTot	Dens.Malha	BETA "A"	Sens.Pontos	Fro/Pass.km	DesComb/TxOcup.	DesAdm/Pass.km
1	2,51293	0,96220	pass.km 0,91491	1,80618	0,00018	9,14465	0,00007
2	2,75515	0,82131	1,10859	0,37820	0,00020	3,54779	0,00009
		,		,	,	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
3	3,09952	0,85926	0,71615	0,01021	0,00025	9,27114	0,00007
4	2,16759	0,89020	0,47185	1,46379	0,00013	10,32336	0,00008
5	2,94656	0,84363	0,44610	0,22204	0,00016	10,58741	0,00007
6	2,41576	0,69851	1,95064	0,02524	0,00015	17,51184	0,00009
7	2,94656	0,91575	0,46250	1,34176	0,00008	9,23712	0,00004
8	3,09436	0,83827	0,83968	3,59802	0,00011	4,96455	0,00004
9	3,01828	0,84371	0,55273	1,99513	0,00011	6,13216	0,00005
10	2,38967	0,77408	4,81321	0,82435	0,00012	40,95787	0,00003
11	3,02572	0,84390	0,81820	1,67099	0,00007	5,83175	0,00002
12	3,12156	0,79208	1,24448	0,23089	0,00021	17,35337	0,00006
13	2,84857	0,84371	0,76286	0,09697	0,00009	10,09032	0,00004
14	2,60691	0,93414	0,64693	0,48678	0,00011	10,52749	0,00004
15	3,47783	0,73817	0,52593	2,31209	0,00019	8,69814	0,00005
16	3,23321	0,84701	0,38113	0,13657	0,00011	9,69196	0,00002
17	2,04283	0,96748	0,27977	1,46306	0,00016	17,76230	0,00007
18	3,45958	0,92435	0,47472	1,88811	0,00014	6,92320	0,00004
19	1,99099	0,79552	1,43274	0,13146	0,00068	1,47861	0,00004
20	1,91362	0,81848	1,26949	1,49481	0,00045	16,33111	0,00007
21	1,96405	0,99668	1,23809	0,17824	0,00019	5,92143	0,00008
22	1,06112	0,80440	1,33094	1,38538	0,00041	8,90466	0,00016
23	2,65238	0,82031	1,51498	1,30536	0,00015	6,53259	0,00006
24	2,87824	0,85033	0,46769	0,16060	0,00013	7,15306	0,00003
25	1,82627	0,93260	0,33571	0,39375	0,00014	6,01465	0,00009

TABELA A1.9.1: Resumo da Regressão

Regression Statis	stics
Multiple R	0,8664
R Square	0,7506
Adjusted R Square	0,6674
Standard Error	0,3376
Observations	25

TABELA A1.9.2 : Resumo dos Fatores Inflacionários das Variâncias das variáveis

Receita Total /Despesas Totais (Y)	
Densidade da Malha	1,2997
BETA "A" (pass.km)	3,0008
Sensibilidade Pontos	1,0426
Frota/Pass.km	1,4027
Despesas Combustível/Taxa Ocupação	2,7420
Despesas Administrativas/Pass.km	1,1225

TABELA A1.10: Indicadores propostos para estudos, relativas a sensibilidade Beta "G" - impacto da

conectividade Gama sobre passageiro-quilômetro

O.N.	RecTot/DesTot	Dens.Malha	Beta "G" pass.km	Sens.Pontos	Fro*30/Pass.km	(DesComb/TxOcup)/30	DesOp/Pass.km
1	2,5129	9,6220	5,6467	1,8062	1,7762	9,1447	6,7060
2	2,7551	8,2131	8,0326	3,7820	1,9929	3,5478	8,9756
3	3,0995	8,5926	4,895	1,0214	2,4622	9,2711	6,8087
4	2,1676	8,9020	1,2183	1,4638	1,2703	1,0323	8,3612
5	2,9466	8,4363	5,4055	2,2204	1,5772	1,0587	6,7124
6	2,4158	6,9851	3,2871	2,5241	1,4846	1,7512	8,7645
7	2,9466	9,1575	1,2213	1,3418	8,4597	9,2371	3,9160
8	3,0944	8,3827	5,8805	3,5980	1,1048	4,9645	3,9951
9	3,0183	8,4371	1,1636	1,9951	1,0866	6,1322	4,5834
10	2,3897	7,7408	7,1741	8,2435	1,2321	4,0958	3,0056
11	3,0257	8,4390	1,4015	1,6710	7,2951	5,8318	1,7026
12	3,1216	7,9208	2,5115	2,3089	2,0759	1,7353	5,8491
13	2,8486	8,4371	1,7208	9,6973	8,7212	1,0090	4,4996
14	2,6069	9,3414	2,5418	4,8678	1,1239	1,0527	3,6980
15	3,4778	7,3817	6,9422	2,3121	1,8542	8,6981	4,9305
16	3,2332	8,4701	1,2988	1,3657	1,1087	9,6920	1,9061
17	2,0428	9,6748	5,7915	1,4631	1,5505	1,7762	7,2908
18	3,4596	9,2435	5,3479	1,8881	1,4071	6,9232	3,6183
19	1,9910	7,9552	1,4066	1,3146	6,8496	1,4786	3,8206
20	1,9136	8,1848	1,1645	1,4948	4,4985	1,6331	6,9366
21	1,9640	9,9668	1,1362	1,7824	1,9100	5,9214	8,0286
22	1,0611	8,0440	1,1697	1,3854	4,1079	8,9047	1,6446
23	2,6524	8,2031	2,7519	1,3054	1,4753	6,5326	5,5317
24	2,8782	8,5033	1,0311	1,6060	1,2501	7,1531	2,5119
25	1,8263	9,3260	9,4114	3,9375	1,4137	6,0147	9,1159
					1		l

TABELA A1.10.1: Resumo da Regre	ssão
---------------------------------	------

Regression Statistics							
Multiple R	0,8726						
R Square	0,7615						
Adjusted R Square	0,6820						
Standard Error	0,3302						
Observations	25						

Inflacionários das Variâncias das variá	veis
Receita Total/Despesas Totais (Y)	
Densidade da Malha	1,4046
Beta "G" pass.km	3,8611
Sensibilidade de Pontos	1,1030
Frota*30/Pass.km	1,2792

(Desp.Combustível /Tx. Ocupação)/30

Despesas Operacionais /Pass.km

TABELA A1.10.2: Resumo dos Fatores

3,2689

1,1248

RESUMO DOS RESULTADOS

TABELA A1.11: Estatístico de Regressão das variáveis (Beta "G")

Estatística de regressão							
R múltiplo	0,872633						
R-Quadrado	0,761488						
R-quadrado ajustado	0,681984						
Erro padrão	0,330178						
Observações	25						

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	6	6,265028	1,044171	9,578000	0,000085
Resíduo	18	1,962318	0,109018		
Total	24	8,227346			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	6,79588	1,01403	6,70182	0,00000	4,66547	8,92628	4,66547	8,92628
Dens.Malha	-3,48111	1,10445	-3,15188	0,00552	-5,80148	-1,16074	-5,80148	-1,16074
Beta "G" pass.km	-0,15693	0,09036	-1,73676	0,09951	-0,34676	0,03290	-0,34676	0,03290
Sens.Pontos	-0,00969	0,07705	-0,12580	0,90128	-0,17157	0,15219	-0,17157	0,15219
Fro*30/Pass.km	-1865,59830	557,47092	-3,34654	0,00359	-3036,80125	-694,39535	-3036,80125	-694,39535
(DesComb/TxOcup)/30	-0,00051	0,01593	-0,03216	0,97470	-0,03398	0,03296	-0,03398	0,03296
DesOp/Pass.km	-11026,63668	2283,81046	-4,82818	0,00013	-15824,74441	-6228,52895	-15824,74441	-6228,52895

Análise de Regressão

Em relação à Gama

Estatística de regressão							
R múltiplo	0,98537676						
R-Quadrado	0,97096737						
R-quadrado ajustado	0,9633272						
Erro padrão	199,683931						
Observações	25						

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	5	25337166	5067433,2	127,087195	6,35718E-14
Resíduo	19	757599,777	39873,6725		
Total	24	26094765,8			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-150,29767	340,678171	-0,441172	0,66406783	-863,345274	562,749938	-863,34527	562,749938
K	29,422416	7,93222785	3,70922477	0,00148812	12,82007233	46,0247597	12,8200723	46,0247597
N	9,62347398	7,52659526	1,27859592	0,21643739	-6,12987094	25,3768189	-6,1298709	25,3768189
c (Gama)	56,8525244	352,573489	0,16125014	0,87359865	-681,092269	794,797318	-681,09227	794,797318
Q	72,354188	38,2785291	1,89020293	0,07408434	-7,76369415	152,47207	-7,7636942	152,47207
W	1,03932435	0,35527631	2,92539726	0,00868	0,295722483	1,78292622	0,29572248	1,78292622

Em relação à Alfa

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,98536419
R-Quadrado	0,97094259
R-quadrado ajustado	0,9632959
Erro padrão	199,769116
Observações	25

	Gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	5	25336519,5	5067303,9	126,975594	6,40868E-14
Resíduo	19	758246,296	39907,6998		
Total	24	26094765,8			
Total	24	26094765,8			_

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-116,5258	215,3336	-0,5411408	0,59469914	-567,22421	334,1726	-567,22421	334,1726
K	29,2584159	7,89946817	3,70384629	0,00150648	12,72463901	45,7921928	12,724639	45,7921928
N	9,14032558	7,10658145	1,28617756	0,21383435	-5,73392035	24,0145715	-5,7339204	24,0145715
c (Alfa)	35,802973	362,050964	0,09888932	0,92226203	-721,978405	793,584351	-721,9784	793,584351
Q	71,26532	38,4297063	1,85443312	0,07926553	-9,16897969	151,69962	-9,1689797	151,69962
W	1,04646345	0,35555341	2,9431962	0,00834619	0,302281607	1,7906453	0,30228161	1,7906453

APÊNDICE

Cálculo da sensibilidade pontos da malha de uma rede

• Primeiro: determinar a densidade dos pontos por área de influência da malha da rede (θ) .

$$\theta = \frac{P}{A}$$

Em que θ- densidade pontos da malha; P – Quantidade de pontos e A – área de influência da rede (km2)

• Segundo: achar a média da densidade dos pontos (µ)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} \theta}{N}$$

Em que μ – é a média da densidade pontos da malha; N – tamanho de observações.

• Terceiro: determinar a variância da densidade dos pontos em torno da sua média (σ^2)

$$\sigma_i^2 = (\theta_i - \mu)^2$$

• Quarto: determinar o desvio-padrão da densidade dos pontos em torno da sua média (σ = raiz da σ^2)

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2}$$

• Quinto: determinar a sensibilidade pontos da rede P^* , que é uma constante.

$$P_i^* = \frac{\sigma_i}{\mu}$$