



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE - FACE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

MESTRADO EM GESTÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE

**METODOLOGIA PARA VALORAÇÃO AMBIENTAL EM ESTUDOS DE
VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL (EVTEA) DE
EMPREENDIMENTOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
RODOVIÁRIOS**

BERNARDO BUBNIAK BOCANEGRA

**BRASÍLIA – DF
2017**

BERNARDO BUBNIAK BOCANEGRA

**METODOLOGIA PARA VALORAÇÃO AMBIENTAL EM ESTUDOS DE
VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL (EVTEA) DE
EMPREENDIMENTOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
RODOVIÁRIOS**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção de título de Mestre em Economia - Gestão Econômica do Meio Ambiente do Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Universidade de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira
Coorientadora: Profa. Dra. Joana D'Arc Bardella Castro

BRASÍLIA – DF

2017

BERNARDO BUBNIAK BOCANEGRA

**METODOLOGIA PARA VALORAÇÃO AMBIENTAL EM ESTUDOS DE
VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL (EVTEA) DE
EMPREENDIMENTOS DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
RODOVIÁRIOS**

Dissertação aprovada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Economia - Gestão Econômica do Meio Ambiente, do Programa de Pós-Graduação em Economia do Departamento de Economia da Universidade de Brasília, por intermédio do Centro de Estudos em Economia, Meio Ambiente e Agricultura (CEEMA). Comissão examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Jorge Madeira Nogueira
(Orientador)

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição
(Examinador Interno)

Prof. Dr. Augusto Ferreira Mendonça
(Examinador Externo)

Brasília - DF, 27 de junho de 2017

RESUMO

O objetivo da dissertação é apresentar uma metodologia de valoração ambiental aplicável às particularidades de Estudos de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEAs) de empreendimentos de infraestrutura de transportes rodoviários. A infraestrutura de transportes rodoviários não apenas contribui para o desenvolvimento econômico como também é uma considerável fonte de externalidades ambientais. Um dos modos de internalizar os custos (ou benefícios) externos advindos do setor de transportes é incluí-los no processo de avaliação econômica. Porém, tal fato dificilmente ocorre nos países em desenvolvimento. No Brasil as avaliações econômicas de projetos de infraestrutura de transportes, muitas vezes são chamadas de EVTEAs e utilizam a Análise Custo Benefício (ACB) como instrumento para verificar se os benefícios superam os custos do investimento. Resultados obtidos de outros autores indicam que a inclusão de externalidades ambientais em ACBs de projetos de infraestrutura de transportes rodoviários não ocorre de forma efetiva. Partindo-se deste pressuposto, no presente trabalho é verificado como deve ser realizada uma ACB, como as externalidades ambientais são incluídas na avaliação econômica em outros países, assim como são identificadas as principais externalidades ambientais da infraestrutura de transportes rodoviários e os métodos de valoração que podem ser aplicados para estimar um valor monetário para cada externalidade. As externalidades ambientais com maior relevância no setor de transportes são derivadas da Poluição do Ar, Ruídos e Mudanças Climáticas. As abordagens mais utilizadas no setor de transportes e que podem ser aplicadas com menos recursos, são relacionadas a métodos função da produção. Em um conjunto de EVTEAs do DNIT foram identificadas características de como é realizada a avaliação econômica e o tratamento dado aos atributos ambientais, verificando-se que as externalidades ambientais não são incluídas na ACB. Entre razões, apresentadas por empresas que elaboram os EVTEAs, para a não inclusão das externalidades ambientais, é a ausência de uma metodologia de valoração ambiental para o Brasil. Diante dos fatos mencionados e das pesquisas realizadas, a dissertação apresenta uma metodologia de valoração ambiental aplicável aos EVTEAs do DNIT. Na metodologia são apresentadas diretrizes para estimar o valor monetário das principais externalidades ambientais do setor de transportes por meio de duas abordagens.

Palavras-chave: EVTEA. Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental. Valoração Ambiental. Análise Custo Benefício. Infraestrutura de Transportes Rodoviários.

RESUMEN

El objetivo de la disertación es presentar una metodología de valoración ambiental aplicable a las particularidades de Estudios de Viabilidad Técnica Económica y Medioambiental (EVTEAs) de emprendimientos de infraestructura de transporte por carretera. La infraestructura de transporte por carretera no sólo contribuye al desarrollo económico, sino que también es una considerable fuente de externalidades medioambientales. Uno de los modos de internalizar los costos (o beneficios) externos provenientes del sector de transporte es incluirlos en el proceso de evaluación económica. Sin embargo, tal hecho difícilmente ocurre en los países en desarrollo. En Brasil las evaluaciones económicas de proyectos de infraestructura de transporte, a menudo se llaman EVTEAs y utilizan el Análisis del Costo Beneficio (ACB) como instrumento para verificar si los beneficios superan los costos de la inversión. Los resultados obtenidos de otros autores indican que la inclusión de externalidades ambientales en ACBs de proyectos de infraestructura de transporte por carretera no ocurre de forma efectiva. A partir de este supuesto, en el presente trabajo se investiga cómo debe realizarse una ACB, como las externalidades medioambientales son incluidas en la evaluación económica en otros países, así como se identifican las principales externalidades medioambientales de la infraestructura de transporte por carretera y los métodos de valoración que pueden ser aplicados para estimar un valor monetario para cada externalidad. Las externalidades medioambientales con más importancia en el sector del transporte se derivan de la contaminación del aire, de los ruidos y de los cambios climáticos. Los enfoques más utilizados en el sector del transporte y que pueden ser aplicados con menos recursos, tienen relación con los métodos función de producción. En un conjunto de EVTEAs del DNIT se identificaron características de cómo se realiza la evaluación económica y el tratamiento dado a los atributos medioambientales, verificándose que las externalidades medioambientales no son incluidas en la ACB. Entre las razones, presentadas por empresas que elaboran los EVTEAs, para la no inclusión de las externalidades medioambientales, es la inexistencia de una metodología de valoración medioambiental para Brasil. Ante los hechos mencionados y las investigaciones realizadas, la disertación presenta una metodología de valoración medioambiental aplicable a los EVTEAs del DNIT. En la metodología se presentan directrices para estimar el valor monetario de las principales externalidades medioambientales del sector del transporte por medio de dos enfoques.

Palabras clave: EVTEA. Estudios de Viabilidad Técnica Económica y Medioambiental. Valoración del Medioambiente. Análisis Costo Beneficio. Infraestructura de Transporte por Carretera.

ABSTRACT

The objective of the dissertation is to present an environmental valuation methodology applicable to the particularities of Technical, Economic and Environmental Feasibility Studies (EVTEAs) of road transportation infrastructure projects. Road transport infrastructure not only contributes to economic development but is also a considerable source of environmental externalities. One way of internalizing the external costs (or benefits) from the transport sector is to include them in the process of economic evaluation. However, this is hardly the case in developing countries. In Brazil, economic evaluations of transport infrastructure projects are often called EVTEAs and use the Cost Benefit Analysis (CBA) as an instrument to verify if the benefits outweigh the investment costs. Results obtained from other authors indicate that the inclusion of environmental externalities in CBAs of road transport infrastructure projects does not occur effectively. Based on this assumption, in the present work it is verified how a CBA should be carried out, how environmental externalities are included in the economic evaluation in other countries, as well as the main environmental externalities of the road transportation infrastructure and the valuation methods that can be applied to estimate a monetary value for each externality. The most important environmental externalities in the transport sector are derived from Air Pollution, Noise and Climate Change. The approaches most used in the transport sector and that can be applied with less resources, are related to methods function of the production. In a set of DNIT's EVTEAs, were identified characteristics of how the economic evaluation is performed and the treatment given to the environmental attributes, and it was verified that environmental externalities are not included in the CBA. Among the reasons presented by companies that elaborate EVTEAs for the non-inclusion of environmental externalities is the lack of an environmental valuation methodology for Brazil. In view of the aforementioned facts and the researches carried out, the dissertation presents an environmental valuation methodology applicable to the DNIT's EVTEAs. In the methodology are presented guidelines to estimate the monetary value of the main environmental externalities of the transport sector through two approaches.

Keywords: EVTEA. Technical, Economic and Environmental Feasibility Studies. Environmental Valuation. Cost Benefit Analysis. Infrastructure of Road Transport.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Comparação entre Publicações.....	36
Quadro 2.1 - Classificação dos Efeitos dos Ruídos.....	44
Quadro 2.2 - Fontes de Ruídos.....	45
Quadro 2.3 - Fatores que Influenciam a Geração de Externalidades Ligadas a Ruídos.....	46
Quadro 2.4 - Externalidades Geradas pela Poluição Atmosférica.....	49
Quadro 2.5 - Efeitos na Biodiversidade.....	57
Quadro 3.1 - Comparação entre Métodos de Valoração Utilizados na Infraestrutura de Transportes.....	72
Quadro 4.1 - Tratamento dado às Externalidades Ambientais nos EVTEAs do DNIT.....	75
Quadro 4.2 - Informações Úteis à Valoração.....	80
Quadro 4.3 - Parâmetros Avaliados no HDM-4.....	83
Quadro 4.4 - Impactos Ambientais Identificados nos EVTEAs do DNIT.....	85
Quadro 5.1 - Externalidades Economicamente Relevantes.....	97
Quadro 6.1 - Fatores que Influenciam a Dispersão de Poluentes em Rodovias.....	108
Quadro 6.2 - Fatores que Influenciam na Recepção de Poluentes.....	108
Quadro 6.3 - Características do AIRQ2.2.....	112
Quadro 6.4 - Características do TNM.....	119
Quadro 6.5 - Efeitos de Diferentes Níveis de Ruídos na Saúde da População.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Externalidades Economicamente Relevantes (Expressas em Fração Percentual do Conjunto de Externalidades Ambientais).....	96
Tabela 6.1 - Padrões Aceitáveis de Exposição a Poluentes.....	110
Tabela 6.2 - Níveis de Ruídos Aceitáveis para o Conforto Acústico.....	121
Tabela 6.3 - Custo Social do Carbono para Diferentes Taxas de Desconto(em US\$ de 2007 por tonelada métrica de CO2).....	131

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Valor Econômico Total.....	24
Figura 2.1 - Classificação das Externalidades do Setor de Transportes.....	41
Figura 3.1 - Classificação de Métodos de Valoração Ambiental com Aplicações Identificadas na Infraestrutura de Transportes.....	59
Figura 4.1 - Alternativas de Traçado e Segmentação Homogênea em um EVTEA...	79
Figura 5.1 - Metodologia de Valoração Ambiental Proposta.....	92
Figura 6.1 - Processo de Valoração Ambiental para cada EVTEA.....	103
Figura 6.2 - Processo de Valoração das Externalidades Geradas pela Poluição do Ar	105
Figura 6.3 - Valoração das Externalidades Geradas por Ruídos.....	115
Figura 6.4 - Valoração Monetária das Mudanças Climáticas.....	129

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACB - Análise Custo Benefício

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

CSC - Custo Social do Carbono

DALY - Disability-Adjusted Life Year

DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs

DICE - Dynamic Integrated Climate and Economy

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EB - Escopo Básico

EBD - Environmental Burden of Disease

EVTEA - Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental

FUND - Climate Framework for Uncertainty, Negotiation, and Distribution

GBD - Global Burden of Disease

HDM-4 - Highway Development and Management Model

IAMs - Integrated Assessment Models

IAR - Instrução para Apresentação de Relatórios

IAWG - Interagency Working Group on Social Cost of Carbon

IMPACT - Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias

IS - Instrução de Serviço

MVC - Método de Valoração Contingente

MCC - Método Custos de Controle

MCP - Método de Custos de Oportunidade

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MCV - Método Custos de Viagem

MDR - Método Dose Resposta

MP - Material Particulado

MPH - Método de Preços Hedônicos

NO_x - Óxidos de Nitrogênio

O₃ - Ozônio

OMS - Organização Mundial da Saúde

PAGE - Policy Analysis of the Greenhouse Effect

PIARC - The World Road Association

SO₂ - Dióxido de Enxofre

TAG - Transport Analysis Guidance

TCU - Tribunal de Contas da União

TNM - Traffic Noise Model

VET - Valor Econômico Total

VOC - Compostos Orgânicos Voláteis

WHO - World Health Organization

WITCH - World Induced Technical Change Hybrid

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS.....	18
1.1 EVTEAS NO DNIT – MARCO CONCEITUAL.....	19
1.2 ANÁLISES CUSTO BENEFÍCIO.....	21
1.3 EXTERNALIDADES.....	23
1.4 VALOR ECONÔMICO TOTAL.....	24
1.4.1 Valor de Uso.....	25
1.4.2 Valor de Não Uso.....	25
1.5 GUIAS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS DE TRANSPORTES. 26	
1.5.1 Economic Appraisal of Transport Projects.....	27
1.5.2 Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte.....	28
1.5.3 Handbook on Estimation of External Costs in The Transport Sector.....	29
1.5.4 Evaluación Económica de Proyectos de Transporte.....	30
1.5.5 Principles and Guidelines for Economical Appraisal of Transport Investment and Initiatives.....	31
1.5.6 Transport Analysis Guidance.....	32
1.5.7 Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários.....	32
1.5.8 Gestão para o Licenciamento Ambiental de Obras Rodoviárias – Conceitos e Procedimentos.....	33
1.5.9 Comparação entre Publicações.....	34
2 EXTERNALIDADES NO SETOR DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS.....	39
2.1 EXTERNALIDADES NO SETOR DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS.....	39
2.1.1 Ruídos.....	42
2.1.2 Vibrações.....	46
2.1.3 Poluição do Ar.....	47
2.1.4 Mudanças Climáticas.....	50
2.1.5 Processos Pré e Pós Uso.....	52
2.1.6 Poluição da Água e do Solo.....	53
2.1.7 Alterações na Natureza e Paisagem.....	54
2.1.8 Interferências em Áreas Sensíveis.....	55
2.1.9 Alterações na Biodiversidade.....	56

3 MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL UTILIZADOS NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS.....	58
3.1 MÉTODOS FUNÇÃO DA PRODUÇÃO.....	59
3.1.1 Método Dose Resposta (MDR).....	61
3.1.2 Método de Custos de Controle (MCC).....	62
3.1.3 Método do Custo de Oportunidade (MCO).....	63
3.2 MÉTODOS FUNÇÃO DA DEMANDA.....	63
3.2.1 Métodos de Preferência Revelada.....	64
3.2.1.1 Método de Preços Hedônicos (MPH).....	64
3.2.1.2 Método Custos de Viagem (MCV).....	66
3.2.2 Métodos de Preferência Declarada.....	67
3.2.2.1 Método de Valoração Contingente (MVC).....	67
3.3 TRANSFERÊNCIA DE BENEFÍCIOS.....	69
3.4 COMPARAÇÕES ENTRE MÉTODOS.....	71
4 EVTEAS NO DNIT.....	74
4.1 CARACTERÍSTICAS DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS EVTEAS.....	77
4.1.1 HDM - <i>Highway Development and Management Model (HDM-4)</i>	81
4.2 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS PRESENTES NOS EVTEAS DO DNIT.....	84
5 METODOLOGIA DE VALORAÇÃO AMBIENTAL.....	89
5.1 CONCEPÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO.....	90
5.2 METODOLOGIA – SETOR DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS.....	93
5.2.1 Identificação dos Impactos.....	93
5.2.2 Impactos Economicamente Relevantes.....	93
5.2.3 Quantificação Física dos Impactos Economicamente Relevantes.....	97
5.2.3.1 Quantificação de Impactos Relacionados à Saúde.....	98
5.2.4 Valoração Monetária.....	101
6 VALORAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AOS EVTEAS.....	102
6.1 DIRETRIZES GERAIS.....	102
6.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	104
6.2.1 Quantificação Física.....	106
6.2.1.1 Quantificação de Emissões.....	106
6.2.1.2 Exposição aos Poluentes.....	107
6.2.2 Valoração Monetária.....	110
6.2.2.1 Abordagem utilizando o Método Dose Resposta (MDR).....	111

6.2.2.2	Abordagem com o Método Custos de Controle.....	113
6.3	RUÍDOS.....	113
6.3.1	Diretrizes Gerais.....	116
6.3.2	Quantificação das Emissões de Ruídos.....	117
6.3.3	Abordagem Utilizando Relações Dose Resposta.....	121
6.3.3.1	Valoração monetária.....	126
6.3.4	Abordagem Utilizando o Método de Custos de Controle.....	126
6.3.4.1	Uso de Barreiras Sonoras.....	127
6.3.4.2	Isolamento acústico.....	127
6.4	MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	127
6.4.1	Quantificação das Emissões.....	128
6.4.2	Valoração Monetária.....	129
6.5	OUTRAS EXTERNALIDADES.....	132
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134
	REFERÊNCIAS.....	138

INTRODUÇÃO

O objetivo da dissertação é apresentar uma metodologia de valoração ambiental aplicável às particularidades de Estudos de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEAs) de empreendimentos de infraestrutura de transportes rodoviários.

A infraestrutura de transportes rodoviários, em geral tem a intenção de melhorar o nível de bem-estar da sociedade. Porém, a construção ou adequação de capacidade de rodovias, além de demandar o uso de uma quantidade significativa de recursos econômicos, é responsável por gerar tanto benefícios como danos à sociedade e ao meio ambiente, benefícios e danos que não devem ser negligenciados (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

Considerando que, na maioria dos países, a escassez de recursos econômicos aproxima-se mais a uma regra que a uma exceção (CONTADOR, 2014), e diante de muitos possíveis usos de tais recursos, é conveniente que haja um processo que auxilie tanto à tomada de decisões quanto à priorização de investimentos assim como também verifique se os recursos têm a capacidade de serem alocados de forma que os benefícios possam superar os custos do investimento, permitindo um aumento do nível de bem-estar da sociedade.

No âmbito do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT¹), existem os Estudos de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEAs), que representam um conjunto de estudos desenvolvidos para avaliação dos benefícios sociais e econômicos decorrentes dos investimentos em implantação de novas rodovias ou melhoramentos de rodovias já existentes (BRASIL, 2006a). Um EVTEA, por meio do uso de Análises Custo Benefício (ACB), verifica se os benefícios estimados podem superar os custos incorridos com o empreendimento.

Para que a ACB seja realizada é necessário estimar todos os custos e benefícios envolvidos no empreendimento. Porém, muitos destes custos e benefícios não possuem um valor monetário de mercado que permita que sejam estimados diretamente. Grande parte desses custos e benefícios que não podem ser

¹ O DNIT é o órgão federal que tem por objetivo implementar a política de infraestrutura do Sistema Federal de Viação, compreendendo sua operação, manutenção, restauração ou reposição, adequação de capacidade e ampliação mediante construção de novas vias e terminais, envolvendo ferrovias, hidrovias e rodovias (BRASIL, 2017).

estimados diretamente são relacionados ao meio ambiente. Assim, é relevante o uso de técnicas de valoração ambiental para estimar um valor monetário para tais custos e benefícios.

De acordo com Roscoe (2011), as recentes aplicações da ACB em projetos de transportes rodoviários não se mostram efetivas quanto à internalização de variáveis ambientais. Tampouco elas fornecem estimativas realistas quanto aos custos ambientais associados aos projetos de investimento, sendo necessário que a forma de incorporação de variáveis ambientais nas ACBs para projetos rodoviários no Brasil, seja aperfeiçoada e amplamente discutida.

Considerando o que foi observado por Roscoe (2011) e o que os EVTEAs do DNIT se propõem a fazer, surge a hipótese de que os EVTEAs não estão sendo realizados como deveriam. Além dos atributos ambientais não estarem sendo levados em consideração de forma efetiva na avaliação econômica, há a possibilidade de que os investimentos em infraestrutura de transportes rodoviários não estejam permitindo elevar o nível de bem-estar da sociedade. Se possíveis custos e benefícios ambientais relevantes não estão sendo internalizados, possivelmente não ocorre a melhora do nível do bem-estar de todos, sem que alguém piore sua condição (ou que piore sua condição mas tenha sido compensado por isso).

Na literatura há vários métodos de valoração ambiental que permitem estimar um valor monetário para algumas externalidades associadas à infraestrutura de transportes rodoviários. A aplicação de tais técnicas de valoração adaptadas às características dos EVTEAs pode permitir que parte das externalidades ambientais seja incorporada às análises custo benefício. Atendo-se a hipótese de que nos EVTEAs do DNIT, os atributos ambientais não são valorados, observa-se a necessidade de identificar uma metodologia que permita que as técnicas de valoração ambiental (ou conjunto delas) sejam aplicadas nos EVTEAs de acordo com as características próprias de países em desenvolvimento. Apenas assim faz sentido se falar que trata-se de um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Diante de tais fatos, o presente trabalho se dispõe a:

- a) Identificar como ocorre a incorporação de variáveis ambientais na avaliação econômica de projetos de infraestrutura de transportes rodoviários em outros países;

- b) Identificar possíveis metodologias de valoração ambiental aplicáveis ao transporte rodoviário em países em desenvolvimento;
- c) Identificar as principais externalidades do setor de transportes rodoviário assim como as externalidades que são mais relevantes economicamente;
- d) Identificar os principais métodos de valoração ambiental que permitam a inclusão de variáveis ambientais em uma ACB;
- e) Verificar se as observações apontadas por Roscoe (2011) continuam válidas nos EVTEAs do DNIT;
- f) Apresentar uma metodologia de valoração ambiental que possa ser aplicável às características de EVTEAs de empreendimentos de infraestrutura de transportes rodoviários do DNIT.

A principal contribuição esperada da dissertação é a apresentação de uma metodologia de valoração ambiental que possa ser aplicável às avaliações econômicas de empreendimentos infraestrutura de transportes rodoviários em países em desenvolvimento, mais especificamente nos EVTEAs do DNIT. Deste modo, haverá a possibilidade das externalidades ambientais serem incluídas na avaliação econômica.

O desenvolvimento da dissertação realizou-se por meio de consulta a artigos científicos, livros, manuais de avaliação econômica de projetos de transportes, relatórios técnicos, informações verbais, legislação, EVTEAs do DNIT, editais para contratação de EVTEAs, assim como outras publicações relacionadas à fundamentação teórica sobre valoração ambiental e conceitos econômicos correlatos, com ênfase na valoração ambiental aplicada à infraestrutura de transportes rodoviários.

Após o levantamento das principais externalidades ambientais presentes na infraestrutura de transportes, foram identificadas as mais relevantes economicamente e com potencialidade de serem mensuradas nos EVTEAs do DNIT. Para todas as externalidades relevantes destacadas, com base na literatura existente, foram identificados os principais métodos de valoração ambiental que podem ser aplicados. Dentro das características de cada método e do modo como são elaborados os EVTEAs, é apresentada uma metodologia que tem o potencial de aplicar a valoração ambiental para as principais externalidades ambientais. Ou seja, buscou-se, adaptar a aplicação de métodos e técnicas de valoração ambiental às

características das externalidades encontradas nos EVTEAs, gerando como resultado final, diretrizes para realizar a valoração ambiental de cada externalidade ambiental economicamente relevante.

O trabalho está dividido em 6 capítulos, além desta introdução e das considerações finais. O capítulo 1 apresenta uma breve revisão sobre avaliação econômica de projetos com ênfase na Análise Custo Benefício, conceitos sobre valor econômico do meio ambiente, apresenta uma breve explicação sobre o surgimento dos EVTEAs e realiza uma análise em guias de avaliação econômica de projetos de transportes rodoviários a fim de identificar possíveis metodologias aplicáveis aos estudos brasileiros.

No capítulo 2 são identificadas as principais fontes de externalidades ambientais relacionadas à infraestrutura de transportes rodoviários. Para cada fonte de externalidades são apresentadas suas principais características, o modo como são geradas no transporte rodoviário e a forma como causam externalidades.

No capítulo 3 são apresentados os principais métodos de valoração ambiental que a literatura científica apresenta aplicações para valorar externalidades ambientais relacionadas à infraestrutura de transportes rodoviários, assim como há uma comparação entre métodos com as suas principais potencialidades e limitações para aplicação no transporte rodoviário.

O capítulo 4 é dedicado aos EVTEAs do DNIT, apresentando características de como são elaborados, as fontes de externalidades identificadas, assim como é realizada uma análise a 9 EVTEAs concluídos entre os anos de 2011 a 2015, de modo a verificar quais são os principais impactos ambientais identificados e como ocorre o tratamento dado às fontes de externalidades ambientais no processo de avaliação econômica. Com a análise aos EVTEAs é verificado se a constatação apontada por Roscoe (2011), de que as recentes aplicações da ACB em projetos de transportes rodoviários não se mostram efetivas quanto à internalização de variáveis ambientais, continua verdadeira e os possíveis motivos que podem levar a esta inefetividade.

O capítulo 5 apresenta uma metodologia de valoração ambiental com características aplicáveis às externalidades ambientais presentes nos EVTEAs do DNIT. Tal metodologia foi baseada tanto nas melhores técnicas com uso na infraestrutura de transportes rodoviários, que possam ter uma aplicação prática às

características da realidade brasileira, assim como no modo como é realizada a avaliação econômica dos EVTEAs.

O capítulo 6 apresenta diretrizes de como realizar a valoração ambiental para cada uma das principais externalidades economicamente relevantes presentes nos EVTEAs do DNIT.

Por fim, nas considerações finais é verificado se os objetivos da dissertação foram atingidos de modo satisfatório, sendo apresentadas as principais conclusões e considerações obtidas na realização do trabalho, assim como recomendações para trabalhos futuros.

1 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS

A infraestrutura de transportes rodoviários objetiva melhorar o bem-estar socioeconômico das pessoas e pode determinar a dinâmica da mobilidade além de influenciar o fluxo de comércio e os locais industriais e de residências. O aumento da capacidade de uma rodovia e melhora das condições do pavimento podem reduzir o tempo de viagem e diminuir os custos dos usuários, além aumentar o acesso a mercados trabalhos, educação serviços de saúde e reduzir os custos de transportes tanto para passageiro com para frete (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; SHORT e KOPP,² 2005 apud QUADROS, 2014 p.41).

Embora, para a sociedade, haja muitos aspectos positivos advindos da infraestrutura de transportes, podem haver significativos impactos negativos no meio ambiente, tanto em escala local como global assim como impactos em comunidades próximas a um novo projeto de rodovia. A população pode ser afetada por estar no traçado da rodovia a ser construída, além dos problemas relacionados a mudanças climáticas, poluição atmosférica, ruídos e acidentes. Ambientes naturais sensíveis podem ser afetados de modo irreversível, assim como o estilo de vida de populações tradicionais pode ser significativamente afetado pelo empreendimento (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; PIARC, 2012).

É inegável que as rodovias são agentes de mudanças, mas sua construção ou adequação de capacidade, envolve o uso de significativa quantidade de recursos econômicos e tal processo é responsável tanto pelos benefícios como por danos à sociedade e ao meio ambiente, benefícios e danos que não devem ser negligenciados (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997). Para qualquer nível de riqueza, regime político e sistema econômico dos países, a escassez de recursos econômicos está mais próxima de ser uma regra que uma exceção (CONTADOR, 2014). Diante de tal fato há uma questão fundamental em economia que é como alocar recursos escassos diante de desejos ilimitados (HANLEY e BARBIER, 2009).

Em relação ao transporte rodoviário, face à necessidade da utilização de um grande montante de recursos, da relativa escassez de recursos disponíveis e de potenciais danos ao meio ambiente torna-se pertinente que não haja desperdício. Um dos modos que podem contribuir para a redução de desperdícios e aumentar o

² SHORT, J.; KOPP, A. 2005. "Transport infrastructure: Investment and planning. Policy and research aspects". *Transport Policy* 12, 360–367.

nível de bem-estar da sociedade é através da realização de um planejamento econômico que inclua uma avaliação com regras e critérios que possam testar a viabilidade econômica dos projetos e ordenar a priorização dos investimentos (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; SHORT e KOPP 2005, apud QUADROS, 2014 p.41; CONTADOR, 2014).

Entre possíveis métodos úteis no processo de ordenar a preferência na hierarquização de alternativas de projetos estão a Análise Custo Efetividade, Análise Multicritério, Análise Custo Benefício (ACB), entre outros. Em particular, a ACB além de ser útil no processo de hierarquizar alternativas de projeto, também permite testar sua viabilidade econômica e desde a década de 1960, tornou-se norma acadêmica aceita para avaliar projetos de infraestrutura de transportes (QUADROS, 2014). Apesar de suas possíveis limitações atualmente é um dos métodos de avaliação *ex ante* mais populares, sendo reconhecida como a principal técnica de avaliação de investimentos públicos e políticas públicas e é utilizada em muitos países para decisões de prioridades de investimentos governamentais em projetos de infraestrutura de transportes (PIARC, 2012; QUADROS, 2014).

No setor de transportes rodoviários no Brasil, estabeleceram-se como uma das medidas mais diretas de avaliação e priorização de investimentos, os estudos de viabilidade técnica e econômica, com os quais, pelos indicadores econômicos resultantes, setores governamentais, instituições financiadoras e até o setor privado passaram a subsidiar suas tomadas de decisões (QUADROS, 2014). No caso do DNIT, o processo de avaliação econômica de empreendimentos de transportes rodoviários é realizado através de estudos conhecidos como Estudos de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEAs).

1.1 EVTEAS NO DNIT – MARCO CONCEITUAL

No âmbito do DNIT, de acordo com BRASIL (2006a, p31), os Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de empreendimentos rodoviários são: “o conjunto de estudos desenvolvidos para avaliação dos benefícios sociais e econômicos decorrentes dos investimentos em implantação de novas rodovias ou melhoramentos de rodovias já existentes”.

A avaliação deve verificar se os benefícios estimados apresentam a capacidade de superar os custos com estudos, projetos e execução das obras

previstas, tendo como principal objetivo identificar a alternativa mais viável para a sociedade para resolver um determinado problema de infraestrutura de transportes (BRASIL, 2006a, p.31). A técnica utilizada na avaliação econômica é ACB.

O princípio do surgimento da utilização dos EVTEAs no DNIT, é marcado pela LEI Nº 5917/73, mais especificamente em seu artigo 3º e incisos “f”, “h” e “i”:

[...]

“Art 3º - O Plano Nacional de Viação será implementado no contexto dos Planos Nacionais de Desenvolvimento e dos Orçamentos Plurianuais de Investimento, instituídos pelo Ato Complementar Nº 43, de 29 de janeiro de 1969, modificado pelo Ato Complementar Nº76, de 21 de outubro 1969, e Lei Complementar Nº9, de 11 de dezembro de 1970, obedecidos especialmente os princípios e normas fundamentais seguintes, aplicáveis a todo o Sistema Nacional de Viação, e inclusive à navegação marítima, hidroviária e aérea.” [...]

[...]

“f) a execução das obras referentes ao Sistema Nacional de Viação, especialmente as previstas no Plano Nacional de Viação, **deverá ser realizada em função da existência prévia de estudos econômicos, que se ajustem às peculiaridades locais, que justifiquem sua prioridade e de projetos de engenharia finais;**” (Grifo nosso)

[...]

“h) a adoção de quaisquer medidas organizacionais, técnicas ou técnico-econômicas no Setor, deverão compatibilizar e integrar os meios usados aos objetivos modais e intermodais dos transportes, considerado o desenvolvimento científico e tecnológico mundial. Evitar-se-á, sempre que possível, o emprego de métodos, processos, dispositivos, maquinarias ou materiais superados e que redundem em menor rentabilidade ou eficiência, face àquele desenvolvimento;”

“i) **tanto os investimentos na infraestrutura como a operação dos serviços de transportes reger-se-ão por critérios econômicos;** ressalvam-se apenas as necessidades imperiosas ligadas à Segurança Nacional, e as de caráter social inadiáveis, definidas e justificadas como tais pelas autoridades competentes, vinculando-se, porém, sempre aos menores custos, e levadas em conta outras alternativas possíveis;”(Grifo nosso)

[...]

Assim, de acordo com a Lei Nº 5917/73, as obras devem ser precedidas de um estudo econômico que se ajuste às características locais, ao menos em teoria.

No ano de 2005 o Acórdão Nº 555/2005 – TCU (Tribunal de Contas da União) determinou ao DNIT que deveriam ser realizados estudos de viabilidade econômica para obras de infraestrutura de transportes, de modo a atender ao previsto na Lei Nº 5917/73.

De modo a atender ao supracitado acórdão, o DNIT publicou a portaria DNIT Nº 1705 de 14 de novembro de 2007, determinando que as obras de implantação e construção de infraestrutura rodoviária (com e sem pavimentação), assim como obras de adequação e ampliação de capacidade apenas podem ser licitadas após a realização de Estudos de Viabilidade Técnica Economia e Ambiental (EVTEA) que comprovem sua viabilidade.

O DNIT através do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), nas publicações IPR 726 - Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/Instruções de Serviço e IPR 726 - Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Instruções para Apresentação de relatórios, apresenta diretrizes de como devem ser elaborados os EVTEAs.

Com o objetivo de aperfeiçoar o processo decisório e evitar o desperdício, o Governo Federal por meio da Lei 11.653/2008, que dispõe sobre o Plano Plurianual de 2008-2011, para aquele período, tornou necessária a realização de estudos de viabilidade técnica e socioeconômica para projetos de grande vulto que tivessem como origem recursos públicos. Porém nos seguintes planos plurianuais já não é mencionada a necessidade da realização de estudos de viabilidade.

1.2 ANÁLISES CUSTO BENEFÍCIO

A origem histórica das análises custo benefício data do século 19, tanto na França como nos Estados Unidos, porém a ACB ganhou maior relevância a partir da década de 1930, em que o setor de água nos Estados Unidos utilizou a ACB para analisar grandes investimentos públicos no controle de inundações (HANLEY e SPASH, 1993; PEARCE et al., 2006; DIXON, 2012; FIELD e FIELD, 2014), tendo como propósito fornecer um procedimento consistente para avaliar decisões em termos de suas consequências (DRÈZE e STERN, 1987).

Como essência, a ideia por detrás da análise custo benefício é muito simples. É uma técnica para verificar se os benefícios (melhoria do nível de bem-estar humano, ou utilidade) esperados de uma ação são maiores que os custos (redução no nível de bem-estar), avaliados do ponto de vista da sociedade como um todo. Trata-se uma forma racional de decidir sobre a adequabilidade e aceitabilidade de realizar algum empreendimento (PEARCE et al., 2006; HANLEY e BARBIER, 2009; MOURA, 2011).

Um dos pré-requisitos para que os custos e benefícios sejam confrontáveis entre si é que os mesmos sejam mensurados ou representados em uma mesma unidade, em geral a monetária (HANLEY e BARBIER, 2009). O objetivo de tais análises é verificar se o valor presente dos benefícios é maior que o valor presente dos custos (DIXON, 2012).

De acordo com Hanley e Spash (1993), as etapas essenciais que devem ser realizadas em uma análise custo benefício, são:

- a) Definição do Projeto;
- b) A identificação dos impactos do projeto;
- c) Determinação de quais destes impactos são economicamente relevantes;
- d) Quantificação física dos efeitos relevantes;
- e) Valoração monetária dos efeitos relevantes;
- f) Fluxo de descontos de custos e benefícios;
- g) Aplicar o teste do valor presente líquido; e
- h) Análise de Sensibilidade.

Na valoração de custos e benefícios ambientais que decorrem do processo econômico, sempre que possível deve-se empregar preços de mercado. Porém, em muitos casos, benefícios ou danos ambientais possuem características de bens públicos e não possuem preços de mercado associados a eles (MUELLER, 2012). Assim, um dos problemas que enfrenta a sociedade em geral e a agências de planejamento rodoviário, em particular, é como esses efeitos não mercantis, sem preço, devem ser levados em consideração no processo de avaliações econômicas (TSUNOKAWA E HOBAN, 1997).

Desde que hajam dados confiáveis, as etapas para realização de uma ACB, podem parecer simples, principalmente definir valor dos custos. Porém quantificar monetariamente os benefícios e alguns impactos é uma tarefa extremamente difícil, embora não impossível (MOURA, 2011). Grande parte desta dificuldade deve-se ao fato da existência de falhas de mercado, e ausência de mercado para alguns bens (que conseqüentemente não possuem preços de mercado), sendo necessário recorrer a estimativas (HANLEY e SPASH, 1993; MOURA, 2011).

Embora existam algumas deficiências e dificuldades na utilização da ACB, Hanley e Spash (1993) ressaltam que ela é bastante útil na avaliação de projetos

que resultam em impactos sobre o meio ambiente e pode permitir uma clara distinção entre os custos e benefícios. Também é uma ferramenta de apoio à decisão, útil para hierarquização de alternativas de investimentos de projetos.

1.3 EXTERNALIDADES

Uma das principais falhas de mercado que envolvem o meio ambiente e geram dificuldades na realização da ACB, são os efeitos (custos ou benefícios) externos ou externalidades.

As externalidades podem ser definidas como a diferença existente entre os custos privados e os custos sociais (PEARCE et al., 2006) Elas ocorrem quando uma atividade produz benefícios ou custos para outras atividades que não possuem preços diretos no mercado (TREASURY, 2013). Ou seja, nenhuma compensação é recebida ou pagamento é realizado pelo gerador do impacto na renda afetada (PERMAN et al., 2003).

As externalidades possuem características de bens públicos, ou seja, não rivais e não excludentes. Este é o caso de externalidades que envolvem o meio ambiente (PERMAN et al., 2003), que geralmente são externalidades negativas (MOTA, 2006).

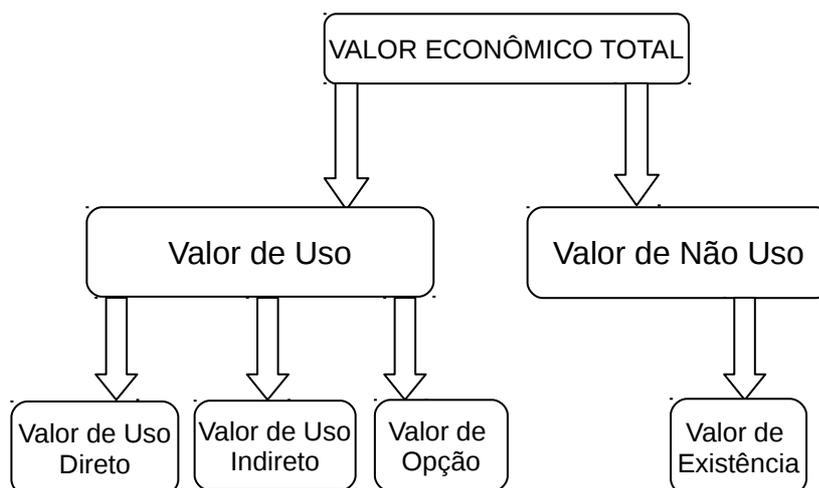
Como a intenção de uma avaliação econômica de projetos de transportes é alocar de forma mais eficiente os recursos, assim como definir os custos e benefícios sociais, e as externalidades são custos impostos à sociedade, e no caso das ambientais não possuem um preço de mercado, torna-se relevante a internalização destas externalidades. Motta (2006) ressalta que a eficiência econômica exige que haja um preço para os recursos ambientais, e que o ato de internalizar os custos (ou benefícios) ambientais nas atividades de produção ou consumo, torna possível que se obtenha uma melhoria de eficiência econômica e se aumente o nível de bem estar. Maibach et al. (2008) citam que projetos de pesquisa, têm mostrado que a internalização das externalidades dos transportes através mensuração do seu custo (ou benefício), podem ser um eficiente meio de reduzir os impactos negativos do setor de transportes.

1.4 VALOR ECONÔMICO TOTAL

O uso de ACB para avaliar projetos com impactos não catastróficos sobre o meio ambiente, envolve a necessidade de incluir a dimensão ambiental de uma forma mais abrangente e considerar o Valor Econômico Total (VET), como a estimativa do benefício líquido da preservação, ou seja, não executar o projeto, pois com a execução do projeto, serviços ambientais poderiam deixar de existir (MUELLER, 2012).

O Valor Econômico da Natureza, Valor Econômico Total (PEARCE et al., 2006; MUELLER, 2012), Valor Econômico do Recursos Naturais (MOTTA, 2006) ou qualquer outra denominação que possa ter, dificilmente é observado por preços de mercado (MOTTA, 2006). Seu valor está associado a atributos do meio ambiente que podem ou não estar associados a um uso, assim o conceito de Valor Econômico Total (VET) fornece uma medida abrangente de qualquer bem ambiental. Em geral, o Valor Econômico Total é dividido em valores de Uso e de Não Uso, assim como outras subclassificações quando necessário (PEARCE et al., 2006). A figura 1.1 ilustra algumas das possíveis subdivisões do VET.

Figura 1.1 - Valor Econômico Total



Fonte: Elaboração própria com base em Pearce et al. (2006) e Mueller (2012).

1.4.1 Valor de Uso

O Valor de Uso, é o valor presente do benefício líquido que os usuários do meio ambiente não afetado pelo projeto estimam usufruir dele, ou seja, é o valor que espera-se obter do uso do meio ambiente inalterado (MUELLER, 2012). Tal uso pode ser tanto um uso possível ou planejado (PEARCE et al., 2006). O Valor de Uso pode ser subdividido em valor de uso direto, valor de uso indireto e valor de opção:

- a) Valor de Uso Direto: Valor atribuído aos recursos ambientais pelo uso que tais recursos podem proporcionar à sociedade de forma direta, como um consumo direto ou extração de matéria-prima para um uso direto (MOTTA, 2006);
- b) Valor de Uso Indireto: Valor que os indivíduos podem atribuir a um recurso, quando o benefício de seu uso se processa de forma indireta, como as funções ecossistêmicas (ex.: contenção de erosão, reprodução de espécies pela conservação de um habitat) (MOTTA, 2006);
- c) Valor de Opção: Trata-se do valor presente do benefício líquido que os indivíduos atribuem para preservar algum recurso ambiental, que em dado momento não estão usufruindo, porém que podem usufruir de modo direto ou indireto em um outro momento. Em outras palavras, pode ser definido como o desejo dos indivíduos de pagar pela preservação do meio ambiente na expectativa de utilizar-se dela no futuro (MOTTA, 2006; MUELLER, 2012).

1.4.2 Valor de Não Uso

O valor de Existência é o valor atribuído à sociedade pela mera existência do meio ambiente preservado, ou parte dele, sendo tal valor dissociado de uso, podendo estar associado a uma posição cultural, moral, ética ou altruística em relação ao direito de existência de demais fatores do meio ambiente que não representarão uso a ninguém (MOTTA, 2006; MUELLER, 2012).

O consumo não explica como nem por que a sociedade valoriza estes recursos. Porém pode haver disposição em pagar para preservá-los. Muitas vezes o valor de existência pode ser visto através de leis de preservação ambiental, assim como espécies ameaçadas de extinção (THOMAS e CALLAN, 2013). Esta seria uma

das formas como o valor de existência poderia impactar projetos de infraestrutura de transportes.

A literatura cita algumas subdivisões do valor de existência, como Valor de herança (MOTTA, 2006), consumo vicário e curadoria (THOMAS e CALLAN, 2013), porém, em termos práticos, tais subclassificações poderiam ser consideradas irrelevantes visto que Mueller (2012) ressalta que é difícil de valorar-se algo relacionado ao valor de existência devido ao custo alto (do processo de valoração) pois pode englobar o mundo todo além de raramente beneficiar os habitantes das regiões de existência do projeto, assim como Motta (2006) cita o desafio que existe para os indivíduos valorarem algo que eles não façam qualquer uso.

1.5 GUIAS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS DE TRANSPORTES

Como forma de orientar as avaliações econômicas de investimentos em projetos de infraestrutura de transportes há uma significativa quantidade de guias ou manuais de procedimentos com instruções e metodologias que orientam a realização de avaliações econômicas e internalização de algumas externalidades. Cada publicação possui inúmeras particularidades. Algumas não contemplam variáveis relacionadas ao meio ambiente, enquanto outras já apresentam uma grande preocupação com a inclusão de aspectos ambientais na avaliação econômica, inclusive com volumes dedicados apenas às questões ambientais e uma estimativa de custo marginal para algumas externalidades.

PIARC (2008), ao fazer uma análise sobre as práticas de monetização de impactos ambientais em metodologias de avaliação econômica de projetos de rodovias que são utilizadas ao redor do mundo, menciona que impactos e custos de tabelas derivados da União Europeia (relativas aos guias avaliados), do modo que se encontram não são aptos para serem transferidos para países fora da União Europeia, em particular para economias de transição ou em desenvolvimento.

De modo a avaliar suas características assim como extrair informações úteis, são apresentados alguns dos principais guias de avaliação econômica de projetos de transportes utilizados ao redor do mundo, com suas particularidades de metodologias, enfocando no modo como as variáveis ambientais são incorporadas na avaliação econômica.

Entre os guias estão:

- a) *Economic Appraisal of Transport Projects*, escrito por Hans A. Adler, publicado pelo Banco Mundial em 1987;
- b) *Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*, publicado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) em 2006;
- c) *Handbook on Estimation of External Costs In the Transport Sector*, publicado por Delft na Comunidade Europeia em 2008 (com atualizações em 2014).
- d) *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*, publicado pelo Ministério de Fomento do Governo da Espanha em 2010;
- e) *Principles and Guidelines for Economical Appraisal of Transport Investment and Initiatives*, publicado pelo governo de New South Wales, Austrália em 2016;
- f) *Transport Analysis Guidance*, publicado pelo Departamento de Transportes do Reino Unido em dezembro de 2015 (com atualizações em 2017).

No Brasil embora não haja um guia de referência propriamente dito, o DNIT por meio do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), em suas publicações 726/2006 (BRASIL, 2006a) e 727/2006 (BRASIL, 2006b), apresenta diretrizes de como deve ser realizada uma avaliação econômica no âmbito dos EVTEAs de empreendimentos rodoviários.

1.5.1 Economic Appraisal of Transport Projects

O *Economic Appraisal of Transport Projects*, publicado no ano de 1987, não engloba apenas a avaliação de projetos de transportes rodoviário, mas também outros modais e não contempla questões ambientais na avaliação econômica.

O guia cita o conhecimento da existência de externalidades ambientais, como ruídos, poluição, intrusão visual, efeito barreira, assim como também menciona-se o aumento da importância das questões ambientais ao longo dos anos.

Em parte a justificativa de tal publicação não contemplar questões ambientais deve-se ao fato de na década de 80 não haver relativa preocupação com a conservação do meio ambiente, e o guia ter como foco os países em desenvolvimento. Isso pode ser evidenciado quando Adler (1978) menciona que há custos externos como ruído e poluição que são mais evidentes em países industrializados, mas os governos de países em desenvolvimento dão maior prioridade ao aumento de produção de bens e serviços tangíveis do que questões

ambientais, em parte pelos efeitos no meio ambiente serem incertos e frequentemente sentidos apenas a longo prazo.

1.5.2 Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte

O *Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*, escrito por De Rus et al. (2006) e publicado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), de acordo com seus autores, tem como objetivo ser uma ferramenta de avaliação de projetos de transportes que seja útil e consistente com os avanços conceituais da teoria econômica.

Foi publicado com o objetivo de contribuir ao planejamento e avaliação de projetos de transportes na América Latina e Caribe. Não trata apenas de transportes rodoviários.

De Rus et al. (2006) mencionam a importância de valorar monetariamente mudanças no meio ambiente, assim como citam a existência alguns métodos de valoração ambiental que podem ser empregados para infraestrutura de transportes em geral, apresentando uma breve explicação de métodos de preferência declarada e revelada. O manual apresenta ainda alguns tipos de danos que projetos de transportes podem ocasionar ao meio ambiente, assim como possíveis impactos relativos a cada dano ambiental. Apesar de não apresentar uma metodologia de valoração ambiental para projetos de transportes, faz considerações a respeito das questões ambientais no processo de avaliação econômica.

De Rus et al. (2006) mencionam também, que a valoração monetária de emissões, pode ser obtida por diferentes métodos (ou seja, apresenta maior factibilidade). Porém, a metodologia de valoração monetária disponível para a maioria das externalidades não se encontra avançada. Algumas externalidades como as associadas à contaminação do ar, aquecimento global e ruídos são mais conhecidas. No entanto, para as demais externalidades ambientais o número de estudos é reduzido e quase sempre para projetos específicos, conseqüentemente utilizar valores obtidos em projetos específicos nem sempre traz bons resultados, devido a características próprias de cada projeto e a forma como cada estudo foi conduzido.

A título de exemplo, o guia apresenta alguns valores médios de custos de externalidades ambientais (emissões, aquecimento global e ruídos) por km de

rodovia, para Alemanha e Suíça, os valores são diferentes em cada país. Também é apresentado um quadro comparativo com custos de emissões em vários países da Europa para alguns poluentes, os valores também variaram entre os países. Com isto, em parte, o guia sugere que os valores podem ser distintos de local para local, evidenciando a hipótese de que utilizar valores obtidos para um projeto específico em outros, nem sempre pode ser produtivo.

De modo geral, o guia cita que é factível a utilização da valoração ambiental, mas não defende que seja realizada uma análise custo benefício para todas as decisões que afetam o meio ambiente, pois nem tudo poderia ou deveria ser quantificado, havendo casos com incerteza e informação inadequada, o que dificultaria sua transformação em números. Nestes casos seria mais relevante uma descrição qualitativa em vez de incluir um valor monetário sem garantias.

1.5.3 Handbook on Estimation of External Costs in The Transport Sector

O *Handbook On Estimation Of External Costs In The Transport Sector*, foi publicado no ano de 2008 em conjunto com o “*Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT) Version 1.1*”, por CE Delft³ para aplicação na União Europeia. Após sua publicação sofreu algumas atualizações, sendo a última com maior relevância no ano de 2014. Tais atualizações, entretanto, não substituem a publicação original como um todo, apenas trazem as alterações que ocorreram.

Apesar de não ser um guia de avaliação econômica de projetos como os demais, em termos de externalidades ambientais é uma publicação bastante completa. Ela engloba vários modais de transportes, apresenta as principais externalidades do setor de transporte com bom nível de detalhes, assim como apresenta informações sobre as melhores práticas para se valorar cada externalidade na realidade europeia.

Um dos objetivos do guia é obter um valor médio para o custo marginal de cada externalidade com a finalidade de utilizar tais resultados na definição de políticas públicas para internalizar as externalidades do setor de transportes. O público alvo de tal publicação é a comunidade europeia, e a base para seu

³ DELFT, segundo sua própria apresentação, é uma organização independente de pesquisa e consultoria especializada em desenvolvimento estrutural e soluções inovadoras para problemas ambientais.

desenvolvimento são estudos científicos e outros trabalhos desenvolvidos principalmente em nível europeu. Assim, os dados de entrada utilizados no processo de valoração, tanto socioeconômicos como valores padrão, são apresentados para os países da Europa.

1.5.4 Evaluación Económica de Proyectos de Transporte

O guia *Evaluación Económica de Proyectos de Transporte*, escrito por DE RUS et al. (2010) e publicado pelo governo da Espanha, não é exclusivo ao transporte rodoviário e engloba vários modais de transporte. Ele tem como objetivo servir de ferramenta para a avaliação econômica de projetos de transportes na Espanha, utilizando-se de análises custo benefício na avaliação econômica.

Em relação a aspectos ambientais, o manual cita as principais externalidades geradas pela infraestrutura de transportes, assim como alguns valores monetários recomendados em nível da Espanha para serem aplicados à algumas externalidades (ruídos, contaminação do ar e mudanças climáticas). Porém, tais valores foram obtidos de poucos estudos, apresentam uma grande variação de um local para outro, e são aplicáveis a casos específicos.

Para outras externalidades (contaminação do solo, contaminação da água, alteração da paisagem) são citados exemplos de métodos de valoração que poderiam ser aplicados, porém sem informar como seriam aplicados tais métodos e tampouco alguma faixa de valores. Entre aspectos relevantes, De Rus et al. (2010) mencionam que a avaliação econômica pode pecar por dois erros extremos que afetam os impactos ambientais: O primeiro, por omissão, quando os aspectos ambientais não são levados em consideração, o outro, quando há um dispêndio grande de esforço em quantificar custos e benefícios. Casos em que é preferível incluir uma descrição qualitativa sobre algum impacto do que incluir um valor obtido de um processo não fiável.

Entre os valores apresentados para externalidades geradas por ruídos, De Rus et al. (2010) fazem uma importante observação sobre possíveis problemas que podem ocorrer com o uso de métodos de preferências declaradas, pois em geral quem vive em áreas com maior nível ruídos são pessoas de renda mais baixa que podem atribuir um menor valor à externalidade, que pode ser igual ou até inferior ao

atribuído por pessoas que vivem em uma área menos ruidosa, devido a sua renda mais alta.

1.5.5 Principles and Guidelines for Economical Appraisal of Transport Investment and Initiatives

O “*Principles and Guidelines for Economical Appraisal of Transport Investment and Initiatives*”, publicado pelo governo de New South Wales, Austrália em 2016, não engloba apenas o transporte rodoviário, mas vários modais de transportes.

O guia cita que um dos objetivos de se internalizar as variáveis ambientais é fazer com que os tomadores de decisão tenham conhecimento de que o meio ambiente não é um bem sem custo. Assim, afirma que é útil fornecer algum indicativo de valor para externalidades ambientais do que ignorar um valor apenas por causa de sua possível incerteza.

Entre aspectos relativos à inclusão das variáveis ambientais na avaliação econômica, o guia apresenta as principais externalidades comumente encontradas em projetos de transportes na Austrália (como ruídos, vibração, intrusão visual, impactos na qualidade do ar e da água, distúrbios locais devido a construção). Ele faz uma apresentação e explicação de alguns métodos de valoração ambiental disponíveis e inclui em seus anexos tabelas com valores médios para algumas externalidades ambientais (utilizando tais valores médios como uma aproximação para o custo marginal de cada externalidade). Tais valores foram obtidos principalmente de estudos europeus e adaptados à realidade australiana através da transferência de valores.

O manual apresenta um método bastante simplificado para auxílio na valoração de ruídos e da poluição do ar. Em seus anexos eletrônicos⁴, o guia cita métodos que podem ser utilizados para valorar algumas externalidades ambientais previamente identificadas, com uma compilação de autores que publicaram artigos sobre a valoração ambiental de cada externalidade e o método utilizado. O conjunto de artigos inclui todos os modais de transportes, não sendo muitos para o modal rodoviário, e os artigos mais recentes datam da década de 90.

⁴ “Link” para um sitio web

1.5.6 Transport Analysis Guidance

O *Transport Analysis Guidance (TAG)*, publicado pelo departamento de transportes do Reino Unido, em sua unidade *A3 -Environmental Impact Appraisal*, publicada em dezembro de 2015, fornece uma avaliação dos principais impactos ambientais resultantes de intervenções do setor de transportes, tratando dos impactos no ambiente natural, infraestrutura e nos seres humanos.

O guia abrange vários modais, não apenas o rodoviário, apresenta as principais fontes de externalidades do setor de transportes presentes no Reino Unido (ruídos, qualidade do ar, gases de efeito estufa, paisagem, paisagem urbana, ambiente histórico, biodiversidade e meio aquático), apresenta considerações voltadas à fase de planejamento, ou seja, uma previsão dos impactos, e um detalhamento para auxiliar o processo de valoração para algumas externalidades (poluição do ar, ruídos e mudanças climáticas), e para outras aborda uma avaliação qualitativa.

Apesar de o TAG ser bastante sucinto, ele apresenta referências para outros documentos com procedimentos específicos para a valoração de algumas externalidades (Poluição do Ar, Ruídos e Mudanças Climáticas), assim como fornece planilhas com dados de entrada previamente preenchidos e que podem ser utilizadas no processo de valoração ambiental no Reino Unido, para outras externalidades as planilhas oferecem tabelas organizadas com a finalidade de prover um auxílio em uma valoração qualitativa.

1.5.7 Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários

No Brasil, para projetos rodoviários, o mais próximo que encontra-se de um guia de avaliação econômica são as publicações de diretrizes e instruções de serviços do DNIT, como as publicações: IPR 726 - Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/Instruções de Serviço e IPR 726 - Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Instruções para Apresentação de relatórios, ambas publicadas pelo Instituto de Pesquisa Rodoviária (IPR).

Em tais publicações há documentos (EB-101, IAR-02 e IS-229) com diretrizes básicas para o desenvolvimento de um EVTEA, indicando procedimentos

referentes às sucessivas etapas a serem cumpridas na avaliação econômica. Apresenta uma relação de itens mínimos que devem ter seus custos e benefícios estimados. Em relação ao meio ambiente apenas há referência a serem determinados custos relativos às medidas de proteção ambiental e custos de recuperação do passivo ambiental. Os aspectos ambientais são avaliados de forma qualitativa, prevendo identificar e criar medidas para minimizarem-se os possíveis impactos ambientais, assim como evitar interferências com restrições legais (como terras indígenas e unidades de conservação).

As publicações têm aplicação para estudos que visam a construção de uma nova rodovia, assim como estudos que objetivam melhorar a rodovia existente. O propósito destes estudos é demonstrar que a alternativa escolhida é a melhor e que ela fornece mais benefícios que as outras que foram consideradas, levando em consideração o design e características técnicas, condições para operação e custos incorridos (PIARC, 2008).

De acordo com Dalbe et al. (2010), tais documentos são bastante completos no que se refere a aspectos de engenharia e tráfego, mas dedicam-se pouco aos procedimentos que devem ser adotados em avaliações econômicas de projetos. Já Verón (2010), faz a observação que as normas do DNIT fornecem apenas orientações e não prescrições sobre o que precisa ser avaliado.

Dalbe et al. (2010) citam que no Brasil a metodologia para avaliação econômica ainda encontra-se nos primórdios, e os manuais não oferecem nível de detalhes que permitam a sua aplicação prática, embora mencionem as diretrizes que devem ser seguidas e muitas das quais se aproximam das identificadas na literatura para avaliações econômicas. Os autores também citam que tentativas recentes de detalhamento de procedimentos e de monetização de impactos sociais mostram que o país está buscando atingir melhores práticas, mas em geral adotam-se procedimentos bastante simplificados na quantificação das externalidades. Algo que pode-se constatar em itens relativos ao meio ambiente.

1.5.8 Gestão para o Licenciamento Ambiental de Obras Rodoviárias – Conceitos e Procedimentos

O livro *Gestão para o Licenciamento Ambiental de Obras Rodoviárias – Conceitos e Procedimentos*, publicado no ano de 2014, apesar de não ser um guia

de avaliação econômica de projetos, traz os principais impactos ambientais que comumente ocorrem em empreendimentos rodoviários, porém o que despertou o interesse em ver o conteúdo de tal publicação, é o fato dela apresentar uma metodologia de valoração ambiental para empreendimentos de transporte rodoviários.

Pimenta et al. (2014) fazem um destaque para a metodologia proposta para valoração de impactos ambientais, como uma das importantes contribuições da publicação, porém ao analisar o conteúdo de tal metodologia constata-se que a metodologia apesar de possuir valoração em seu nome, não tem a finalidade em atribuir um valor monetário para cada impacto ambiental, mas sim avaliar de forma qualitativa, algumas características dos impactos como probabilidade de ocorrência, atribuindo um peso para cada característica de acordo com o potencial dano ao meio ambiente, para no final obter um valor numérico que apenas permite comparar um impacto ao outro ou comparar com o mesmo impacto em outro empreendimento.

A metodologia de valoração proposta não apresenta relação com indicadores econômicos, não atribui valor monetário aos impactos assim como tampouco trata das externalidades por eles geradas.

1.5.9 Comparação entre Publicações

Entre as publicações consultadas para elaboração deste estudo, nenhuma apresentou diretrizes para aplicação na valoração das externalidades ambientais que, sem consistentes modificações, possam ser replicáveis às avaliações econômicas de projetos de infraestrutura de transportes rodoviário nos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Embora existam manuais muito bem detalhados, inclusive apresentando valores monetários do custo marginal de algumas externalidades ambientais para serem utilizados na formulação de políticas públicas, tais valores foram obtidos de projetos com características muito locais, tanto físicas como socioeconômicas, e não poderiam ser replicáveis sem várias adaptações, assim como as propostas de quantificação de fontes de externalidades não poderiam ser utilizadas sem a necessidade de adequações à realidade brasileira e ao objetivo da avaliação econômica, porém a maioria das publicações apresenta algum tipo de informação

relevante que pode contribuir ao desenvolvimento de uma metodologia para valoração das externalidades ambientais para o Brasil.

O quadro 1.1 apresenta uma comparação de alguns manuais consultados, ressaltando como é o tratamento dado às externalidades ambientais.

Cabe a observação de que o valor estimado, em algumas publicações, para o custo marginal de algumas externalidades ambientais, tem a finalidade de uso como transferência de benefícios nos locais em que foram concebidos para a formulação de políticas públicas para internalizar as externalidades e não para a realização de avaliações econômicas comparando diferentes alternativas de investimento. Deste modo, a princípio julga-se que é inapropriado utilizar tais dados, do modo como se encontram, em estudos a serem realizados no Brasil.

Quadro 1.1 - Comparação entre Publicações

continua

Publicação	Objetivo	Tratamento dado à valoração ambiental	Externalidades ambientais identificadas	Externalidades valoradas - Dados de saída	Observações
Economic Appraisal of Transport Projects (1987)	Avaliação Econômica de projetos de transportes em países em desenvolvimento	Não contempla aspectos ambientais diretamente, pois foi desenhado para países em desenvolvimento em que há outras prioridades.	Ruídos Poluição do ar Intrusão visual Separação de comunidades	Nenhuma	Ano em que foi escrito não havia relativa importância com questões ambientais.
Manual de Evaluación Económica de Projectos de Transporte (2006)	Ser uma ferramenta de avaliação econômica de projetos de transportes, considerando limitações de recursos materiais, humanos e incertezas. Comparação entre alternativas de investimento de transportes, em geral <i>ex ante</i>	Não apresenta metodologia embora reconheça a existência das externalidades ambientais e faça considerações à valoração. Em muitos casos o guia recomenda uma avaliação qualitativa de aspectos ambientais que um processo inadequado de valoração	Contaminação do Ar; Mudanças Climáticas; Ruídos; Danos a natureza e Paisagem; Contaminação solo e água; Risco sobre a geração de energia nuclear; Visibilidade, vibração e outros efeitos.	Apresenta valores médios por km de rodovia para alguns países: Poluição do Ar Ruídos; Mudanças Climáticas.	Cita métodos que podem ser utilizados para algumas externalidades
Handbook on estimation of external costs in the transport sector (2008)	Fornecer informações de como quantificar externalidades de transportes para servirem de base na definição de políticas de internalização	Apresenta externalidades ambientais, inclui descrição detalhada assim como apresenta métodos de como valorar algumas externalidades fornecendo dados de entrada a nível europeu, e valores médios estimados para algumas externalidades.	Poluição do Ar; Ruídos; Mudanças Climáticas; Natureza e Paisagem; Poluição da Água e Solo; Áreas sensíveis; Processo pré e pós uso; Outras.	Poluição do Ar; Ruídos; Mudanças Climáticas; Perda de habitat (Suíça); Fragmentação de habitat (Suíça); Poluição água e solo; Processos pré uso (apenas resultados);	Atualizado em 2011 e 2014. Resultados e metodologia baseados em uma grande quantidade de artigos científicos. Apesar de haver resultados de valoração para algumas externalidades, tais dados são aplicados a países europeus

Publicação	Objetivo	Tratamento dado à valoração ambiental	Externalidades ambientais identificadas	Externalidades valoradas - Dados de saída	Observações
Evaluación Económica de Proyectos de Transporte (2010)	Ser uma ferramenta de avaliação econômica de projetos de transportes para Espanha	Menciona a importância da internalização de externalidades ambientais; Apresenta externalidades, sua descrição e considerações sobre o processo de valoração. Porém, não há metodologia de valoração.	Ruídos; Contaminação do Ar; Paisagem; Contaminação do solo; Contaminação da Água; Mudanças Climáticas; Vibrações.	Para algumas externalidades há exemplos de valores adaptados à Espanha: -Ruídos -Mudanças climáticas -Poluição do ar Resultados apenas, sem metodologia.	
Principles and Guidelines for Economical Appraisal of Transport Investment and Initiatives (2016)	Fornecer princípios básico e diretrizes para avaliação econômica de projetos de transportes	Apresenta externalidades ambientais de transportes, breve descrição de algumas externalidades assim como breves conceitos de métodos de valoração.	Ruídos; Vibrações; Intrusão visual; Poluição do Ar; Alterações na qualidade da Água.	Para poluição do Ar e Ruídos há uma metodologia simplificada; Apenas resultados: Poluição do Ar Emissão de gases de efeito estufa Poluição da água Natureza e Paisagem Processo pré e pós uso	Faixa de valores por km percorridos - tais valores foram obtidos de estudos europeus e adaptados à realidade australiana)

Publicação	Objetivo	Tratamento dado à valoração ambiental	Externalidades ambientais identificadas	Externalidades valoradas - Dados de saída	Observações
Transport Analysis Guidance – Part 3 (2015)	Fornecer diretrizes sobre avaliação de impactos ambientais advindos de intervenções de transportes Com aplicação no Reino Unido	Volume próprio para externalidades ambientais; Diretrizes de que aspectos ambientais devem ser considerados; Métodos para valorar algumas externalidades ambientais	Ruídos; Impactos na Qualidade do Ar; Gases de Efeito Estufa; Impactos na Paisagem; Impactos em Ambientes Históricos; Impactos na Biodiversidade; Impactos no Ambiente Aquático;	Ruídos; Impactos na Qualidade do Ar; Gases de Efeito Estufa; Para outras externalidades prevê uma avaliação qualitativa	Apresenta planilhas com dados de entrada para o Reino Unido, ou as vezes apenas Londres.
Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – IPR -727 e IPR 726 (2006)	Fornecer diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários	Cita que é imprescindível a realização de estudos relativos ao impacto da rodovia sobre o meio ambiente.	Nenhuma. Não especifica, apenas cita que podem existir (mas como o nome de dano ambiental)	O escopo básico EB 101 menciona que devem ser estimados custos relativos a medidas de proteção ambiental	As normas DNIT fornecem apenas orientações e não prescrições sobre o que precisa ser avaliado (VERON, 2010).

Fonte: Elaboração própria a partir das publicações citadas no Quadro 1.1.

2 EXTERNALIDADES NO SETOR DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS

O setor de transportes é uma considerável fonte de danos ambientais que afetam uma ampla faixa de receptores. A extensão de parte destes danos pode ser representada por externalidades cujo, valor geralmente não é refletido em preços de mercado (TSOLAKIS et al., 2003; BICKEL et al., 2006; SANTOS et al., 2010), fazendo-se necessário estimar um valor monetário para que tais externalidades possam ser incorporadas em um processo de avaliação econômica que utiliza uma análise custo benefício.

2.1 EXTERNALIDADES NO SETOR DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS

O ideal seria que todas as externalidades ambientais fossem quantificadas. No entanto, nem sempre isto é possível (pela falta de dados ou conhecimento) ou necessário (devido ao fato de alguns efeitos não serem relevantes ou serem negligenciáveis) (BICKEL et al., 2006; DE RUS, et al., 2006). Assim, torna-se conveniente identificar um conjunto de externalidades mais representativas.

As principais fontes de externalidades resultantes da infraestrutura de transportes podem ser enquadradas nas seguintes categorias (VERHOEF, 1994; TSOLAKIS et al., 2003; MAIBACH et al., 2008; GIBSON et al., 2014; NSW GOVERNMENT, 2013, 2016; UK GOVERNMENT, 2015; ARE, 2016):

- a) Acidentes;
- b) Congestionamentos;
- c) Ruídos;
- d) Vibrações;
- e) Poluição do Ar;
- f) Mudanças Climáticas;
- g) Processos Pré e Pós uso;
- h) Poluição da Água e do Solo;
- i) Danos à Natureza e Paisagem;
- j) Efeito Barreira;
- k) Interferências em Áreas Sensíveis;
- l) Alterações na Biodiversidade.

A literatura sugere várias formas de identificar e classificar as externalidades do setor de transportes, sendo algumas diretas e outras indiretas, mas estreitamente relacionadas à infraestrutura de transportes. As fontes de externalidades que possuem uma maior abordagem na literatura são as que estão relacionadas ao uso em si da infraestrutura de transportes (Acidentes, Congestionamento, Poluição Atmosférica, Ruídos e Mudanças Climáticas). As demais externalidades apresentam uma abordagem mais restrita com menos estudos e em geral para condições específicas.

No que se refere às externalidades relacionadas ao setor de transportes, Verhoef (1994) faz uma distinção entre externalidades intrasetoriais (em que os usuários impõe custos principalmente sobre eles mesmos) e externalidades ambientais (em que os custos são impostos sobre toda a sociedade). Dentro das externalidades ambientais é feita uma outra distinção, no sentido ecológico e, em um sentido um pouco diferente, a respeito dos ambientes sociais. As externalidades no sentido ecológico, afetam principalmente os ambientes naturais (que geram custos para sociedade), enquanto as externalidades no sentido social, afetariam predominantemente o ambiente social, podendo ainda ter efeitos menores em ambientes naturais.

Proost e Van Dender (2012) podem facilitar um pouco o processo de diferenciar as externalidades geradas pela infraestrutura de transportes que seriam ambientais propriamente ditas (no sentido ecológico) das sociais, ao afirmarem que os danos ambientais geram externalidades ao meio ambiente e ao resto da sociedade. As externalidades ambientais apresentam, entretanto, algumas características um pouco distintas das demais. Por exemplo, o nível do dano ambiental não desencoraja por si só reduzir o nível do uso de veículos, como no caso do congestionamento (uma externalidade no sentido social). Alguns danos ambientais podem ser reduzidos com instrumentos tecnológicos como controle de emissões e ruídos. A poluição pode diminuir sem reduzir o número de veículos, diferentemente de congestionamento que predominantemente apenas poderia diminuir reduzindo-se o número ou forma de uso dos veículos.

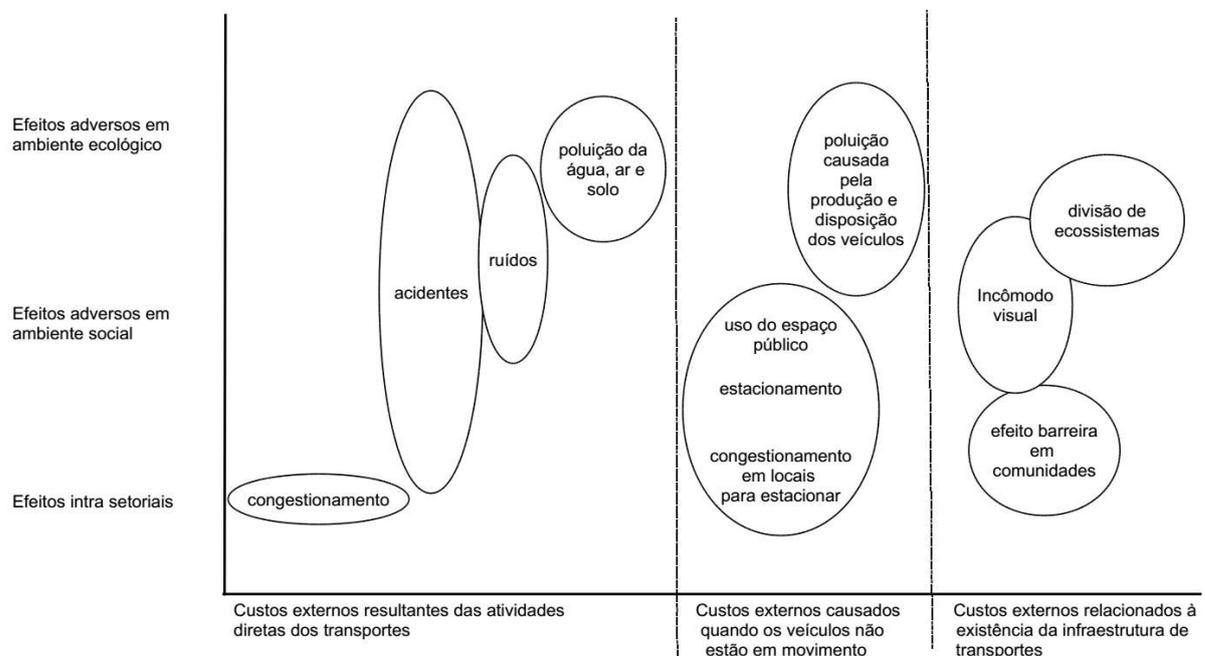
Acidentes, congestionamentos assim como perdas e alterações no valor do uso do solo podem ser consideradas externalidades sociais (PRATT, 2002). Acidentes embora possam ter um impacto ao meio ambiente (como liberação de produtos tóxicos, ou geração de resíduos), agem causando impactos de forma

predominante nos próprios usuários e na sociedade (como mortes, custos médicos, perda de horas produtivas).

Congestionamento, embora possam causar um aumento de emissões, causam principalmente efeitos negativos para os próprios usuários (e a sociedade), como perda de horas produtivas para si e para os demais.

A Figura 2.1 ilustra como pode ocorrer a distribuição das externalidades de transportes nos setores que atuam, sejam externalidades ambientais no sentido ecológico e social, ou externalidades intrasetoriais.

Figura 2.1 - Classificação das Externalidades do Setor de Transportes



Fonte: Verhoef (1994). Adaptado.

Maibach et al. (2008) dividem as externalidades do setor de transportes em: custos de insuficiente infraestrutura (congestionamentos), custos de acidentes e custos ambientais. Acidentes e Congestionamentos embora sejam umas das principais fontes de externalidades do setor de transportes, no processo de avaliação econômica dos EVTEAs do DNIT já existe um tratamento para custos relativos a acidentes e congestionamentos (tempo de viagem) no sentido social. Como tais externalidades geram predominantemente custos intrasetoriais e sociais

que não afetam diretamente o meio ambiente, não são objeto de estudo direto neste trabalho.

Considerando a abordagem da literatura consultada, e as considerações acima elencadas, os principais conjuntos de fontes externalidades ambientais do setor de transportes rodoviário são:

- a) Ruídos;
- b) Vibrações;
- c) Poluição do Ar;
- d) Mudanças Climáticas;
- e) Processo pré e pós Uso;
- f) Poluição da Água e do Solo;
- g) Alterações na Biodiversidade;
- h) Danos a Natureza e Paisagem; e
- i) Interferência em Áreas Sensíveis.

Para cada fonte de externalidades, são apresentadas suas principais características que possam indicar como são originadas e como podem causar externalidades.

2.1.1 Ruídos

O ruído pode ser definido com um som não desejável ou perturbador, que dependendo da duração, intensidade ou outra qualidade, causa danos fisiológicos ou psicológicos nos seres humanos (MAIBACH et al., 2008) e/ou animais. Os principais efeitos causados pelos ruídos provenientes de rodovias são a dor e fadiga auditiva, distúrbios do sono, interferências no comportamento social, na comunicação, respostas hormonais (como estresse), alteração no desempenho laboral e escolar, distúrbios na vida selvagem, entre outros (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; DELUCCHI, 2000; BICKEL et al., 2006; MAIBACH et al., 2008; SANTOS et al., 2010; BECKER et al., 2012; SANTOS, 2015).

Todos esses efeitos ocasionam uma alteração de bem-estar em alguns indivíduos e geram externalidades representadas por vários tipos de custos como: despesas médicas, perda de produtividade laboral, custos devido ao aumento da mortalidade, entre outros (MAIBACH et al., 2008).

Danos auditivos podem ser causados por ruídos acima de 85 dB(A)⁵, e ruídos em torno de 60 dB(A) podem resultar em reações de estresse, como alterações nos batimentos cardíacos, aumento da pressão sanguínea e alterações hormonais. Grupos de risco como crianças e idosos devem ser levados em consideração (MAIBACH et al., 2008).

Para se ter uma dimensão da importância do ruído nas externalidades da infraestrutura de transportes, Cravioto et al. (2013) citam que o ruído corresponde a 9% das externalidades do setor de transportes (não apenas ambientais) no México (que também é um país em desenvolvimento assim como o Brasil, embora as características do tráfego possam ser distintas).

Concha-Barrientos, Campbell-Lendrun e Steenland (2012⁶, apud SANTOS, 2015 p.33) indicam que os custos estimados que os países desenvolvidos têm com despesas relacionadas a doenças causadas com ruídos são de 0,2 a 2 % do PIB. Dados que preliminarmente indicam que as externalidades geradas por ruídos não devem negligenciadas.

Embora os ruídos sejam um dos mais óbvios impactos do uso de uma rodovia, eles frequentemente têm menor importância que outros impactos econômicos e ambientais, principalmente por que eles não são visíveis e são difíceis de quantificar monetariamente (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

Outro fator relevante em relação aos distúrbios provocados pelos ruídos é que seus efeitos adversos são altamente dependentes das atividades expostas aos ruídos, assim um nível de exposição de 85 dB(A) durante um dia laboral, dependendo do tipo de trabalho, pode ter um efeito menor que 60 dB(A) em uma atividade de lazer em casa ou 45 dB(A) durante o sono (BRAUBACH, JACOBS e ORMANDY, 2011).

O quadro 2.1 apresenta uma classificação para os impactos gerados pelos ruídos na vida humana, a possibilidade de ocorrência e os efeitos relacionados a cada categoria de impacto.

⁵ Geralmente quando são mencionados níveis de ruídos, os valores referem-se ao Nível Equivalente Acústico (Leq) que é o nível sonoro de um determinado ruído constante que contém a mesma energia que um ruído variável em determinado período, ou seja, o ruído médio observado durante o período (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

⁶ CONCHA-BARRIENTOS, M.; CAMPBELL-LENDRUN, D.; STEENLAND, K. Occupational noise. *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, v. 54, n. 1, p.106–8, 2012.

Quadro 2.1 - Classificação dos Efeitos dos Ruídos

Possibilidade de Ocorrência	Categoria	Efeitos
Risco relativo	Estresse – efeitos na saúde	Hipertensão; Doenças cardíacas; Alterações hormonais; Irritação; Perda temporária ou permanente da audição.
Risco absoluto	Efeitos psicossociais	Desconforto; Alteração no desempenho de trabalho ou aprendizado.
Risco absoluto	Distúrbio do sono	Distúrbios no sono; Insônia.

Fonte: Chiquetto (1994) e Bickel et al. (2006). Adaptado.

Em relação à vida selvagem, os principais efeitos gerados por ruídos provenientes de rodovias referem-se a perda de habitat e isolamento de comunidades, pois os animais tendem a sentir medo dos ruídos da rodovia (até então desconhecidos) e acabam afastando-se da rodovia limitando seu espaço reprodutivo e habitat (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

Entre as principais fontes de ruídos que ocorrem de forma permanente em rodovias, estão as vibrações no motor e transmissão, sistemas de exaustão (escapamento) e interação entre pneu e pavimento. Outros fatores como freios e buzinas embora sejam fontes de ruídos até mais intensas, ocorrem de forma isolada, exercendo uma menor influência no conjunto (TEPPER e TSOLAKIS, 2000).

Para Shiftan et al. (2002), quando o tráfego não está em condições de fluxo livre, ou seja, com muitas paradas e velocidades mais baixas, os ruídos provenientes do motor, sistema de transmissão e exaustão (principalmente de veículos pesados) são dominantes no conjunto, enquanto em condições de tráfego com fluxo livre, predominam os ruídos provenientes da interação entre pneu e pavimento.

As principais fontes geradoras de ruídos e as condições em que cada fonte exerce uma maior influência no conjunto são apresentadas no quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Fontes de Ruídos

Fontes de ruídos	Contribuição média (Austrália)	Condições de tráfego em que predomina o ruído
Vibrações no motor e transmissão	34%	Sem condições de fluxo livre
Sistemas de exaustão	26,5 %	Sem condições de fluxo livre
Carroceria e carga movendo-se	Pouco significativo	Sem condições de fluxo livre
Freio a ar e a tambor	Pouco significativo	Sem condições de fluxo livre
Superfície de contato entre pneu e pavimento	30,3%	Fluxo Livre
Buzinas, portas, e som automotivos	Pouco significativo	Sem condições de fluxo livre
Ruído aerodinâmico	Pouco significativo	Fluxo Livre
Sistema de admissão de ar	9,2%	Fluxo Livre

Fonte: Elaboração própria a partir de NSW GOVERNMENT(2013) e Shiftan et al. (2002).

Os efeitos dos ruídos podem ser mitigados (ou atenuados) com a instalação de vidros duplos, barreiras sonoras ao redor da rodovia, uso de veículos mais silenciosos assim como a utilização de pavimentos que possam reduzir os ruídos provenientes da interação pneu-pavimento (TEPPER e TSOLAKIS, 2000; SANTOS et al., 2010).

Ruídos são uma fonte de externalidades muito local (sendo necessário que haja indivíduos próximos à rodovia a ponto de sentirem seus efeitos) e para quantificá-la deve-se levar em consideração vários fatores relevantes, apresentados no quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Fatores que Influenciam a Geração de Externalidades Relacionadas a Ruídos

Fator	Contribuição
Distribuição e distância de pessoas (ou animais) expostas à fonte	Quanto maior a densidade populacional e mais próximos os indivíduos estiverem da rodovia, os efeitos dos ruídos serão mais intensos. A diferenciação entre áreas rurais e urbanas também é relevante em uma pré avaliação qualitativa.
O nível de ruído existente	Os danos provados pelos ruídos apresentam relação a sua intensidade.
O horário do dia	Período noturno embora possa haver menos ruídos devido a um menor tráfego, os seus efeitos são mais intensos, principalmente no que refere-se a perturbação do sono.
Direção do Vento	A propagação do ruído é afetada pelo vento, assim de acordo com a direção dominante do vento, o ruído pode afetar mais um lado da rodovia do que outro.
Construções existentes	Edificações podem refletir ou absorver ruídos.

Fonte: Elaboração própria a partir de Tsunokawa e Hoban(1997), U.S. Department of Transportation (1998), Bickel et al.(2005), Maibach et al. (2008), Becker et al. (2012), Cravioto et al. (2013), NSW GOVERNMENT (2013) e UK GOVERNMENT (2015).

2.1.2 Vibrações

Vibração refere-se aos efeitos da propagação das ondas de superfície, embora às vezes possa ser confundido com ruído de baixa frequência advindo de veículos pesados. Apresentam efeitos principalmente em edifícios mais sensíveis como no caso de construções antigas, dutos, erosão em margens (como no caso da rodovia estar próxima a um penhasco ou próximo à margem de uma praia) (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; TEPPER e TSOLAKIS, 2000).

Em geral, as externalidades causadas pelas vibrações são estimadas em conjunto com ruídos (pelo fato de também serem fontes de ruídos). Não obstante a avaliação dos impactos advindos de vibrações pode ser necessária se uma (ou mais) das seguintes condições ocorre(NSW GOVERNMENT, 2013, 2016):

- a) Existe uma grande parcela de tráfego pesado utilizando uma rodovia de superfície irregular;
- b) O tráfego pesado circula próximo a pedestres e edifícios sensíveis à vibração;
- c) Superfície inusual ou condições estruturais que propagam ou amplificam a vibração em frequências susceptíveis de serem gerados pela iteração superfície veículo / estrada.

Deste modo, apesar dos efeitos das vibrações não serem relevantes em todas as situações, em alguns casos podem causar efeitos significativos e devem ser levados em consideração.

2.1.3 Poluição do Ar

A poluição do ar, na infraestrutura de transportes, está relacionada principalmente à queima de combustíveis fósseis. Ela gera significativos custos relacionados à saúde, danos materiais e ao meio ambiente, sendo uma das principais externalidades do setor de transportes com potencialidade de gerar impactos regionais e globais. Além do uso de combustíveis na combustão direta (nos motores), a poluição também pode ser gerada no processo de produção de veículos e dos combustíveis, porém ocorrendo em menor escala (MAIBACH et al., 2008; SANTOS et al., 2010; FERRÓN-VÍLCHEZ et al., 2011; ZAWIESKA et al., 2013).

Na Europa, o setor de transportes é um dos mais importantes contribuintes para a poluição do ar (ZAWIESKA et al., 2013). No Brasil, durante as décadas de 1960 e 1970 a poluição do ar era proveniente principalmente de fontes industriais. No entanto, atualmente o setor de transportes passou a ser uma das principais fontes de poluição do ar (LANDMANN et al., 2007). No México, a poluição do ar representa 13% de todas as externalidades do setor de transportes (CRAVIOTO et al., 2013), na Europa, 10,4% (ZAWIESKA et al., 2013).⁷

A poluição atmosférica ocorre por várias substâncias emitidas na infraestrutura de transportes, sendo as principais (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; DELUCCHI, 2000; MAIBACH et al., 2008; SANTOS et al., 2010; BECKER et al., 2012; ZAWIESKA et al., 2013; CORIA et al., 2015):

- a) Óxidos de Nitrogênio (NO_x);
- b) Material Particulado (MP₁₀ e MP_{2,5})⁸;
- c) Hidrocarbonetos (HC) e Compostos Orgânicos Voláteis (VOC);
- d) Monóxido de Carbono (CO);
- e) Dióxido de Enxofre (SO₂).

⁷ Nestas contas estão excluídos os efeitos do CO₂ que entra em uma outra categoria de externalidades.

⁸ MP₁₀ refere-se a partículas menores que 10 µm e MP_{2,5} refere-se a partículas menores que 2,5 µm.

As externalidades do setor de transportes rodoviários relacionadas à poluição do ar são umas das mais estudadas (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; MAIBACH et al., 2008; FERRÓN-VÍLCHEZ et al., 2011) e podem ser divididas em quatro categorias principais:

- a) Danos à saúde: podem ser tanto danos relativos à morbidade como mortalidade. Praticamente todos os poluentes geram efeitos na saúde. Ao aspirar os poluentes pode-se ter problemas cardiovasculares, irritação nos olhos, garganta e nariz. Em alguns casos, como o monóxido de carbono, se inalado em grande quantidade, suas moléculas podem entrar na corrente sanguínea e inibir a distribuição de oxigênio pelo corpo podendo levar à morte. Apesar de praticamente todos os poluentes exercerem efeitos sobre a saúde, o Material Particulado é o que apresenta mais danos, principalmente pela maior exposição em relação aos demais (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; BICKEL et al., 2006; FERRÓN-VÍLCHEZ et al., 2011; ZAWIESKA et al., 2013).
- b) Danos materiais: podem ocorrer de dois modos principais, pelo acúmulo de partículas e sujeira (através da ação do material particulado) e pelo processo corrosivo causado principalmente por reações ácidas que ocorrem com SO_2 e NO_x (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; BICKEL et al., 2006; MAIBACH et al., 2008; FERRÓN-VÍLCHEZ et al., 2011; ZAWIESKA et al., 2013; ARE, 2016);
- c) Perdas em colheitas: ocorrem devido à ação do ozônio (que é gerado a partir do NO_x) que age oxidando membranas de plantas e dificultando a fotossíntese, assim como através da acidificação do solo (NO_x e SO_2) originada principalmente pela chuva ácida (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; BICKEL et al., 2006; MAIBACH et al., 2008; FERRÓN-VÍLCHEZ et al., 2011; ZAWIESKA et al., 2013; ARE, 2016);
- d) Alterações na biodiversidade e no ecossistema: ocorrem pela ação de poluentes que contribuem para acidificação do solo (SO_2 e NO_x), eutrofização (NO_x) e pela oxidação da flora causada pelo ozônio. Qualquer alteração que venha a ocorrer no balanço de nutrientes pode causar o declínio de alguma espécie ou proliferação excessiva de outra. O processo de acidificação gera os mesmos efeitos (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; BICKEL et al., 2006; MAIBACH et al., 2008; FERRÓN-VÍLCHEZ et al., 2011; ZAWIESKA et al., 2013; ARE, 2016).

O quadro 2.4, para cada classe de externalidades geradas pela poluição do ar advinda do setor de transportes, apresenta os poluentes que mais exercem influência e os principais efeitos relacionados.

Quadro 2.4 - Externalidades Geradas pela Poluição Atmosférica

Classe de Externalidade	Poluentes responsáveis	Efeitos
Danos à Saúde (Mortalidade)	MP _{10/2,5} ; SO ₂ ; O ₃ ; CO	Redução da expectativa de vida devido à mortalidade crônica e aguda.
Danos à Saúde (Morbidade)	MP _{10/2,5} ; O ₃	Dias de trabalho perdidos devido a internações em hospitais; Problemas respiratórios; Problemas cardiovasculares; Ataques de Asma.
Danos materiais	MP _{10/2,5} ; NO _x ; SO ₂	Sujeira; Corrosão.
Perdas das colheitas	MP _{10/2,5} ; NO _x ; SO ₂ ; HC, O ₃	Eutrofização (terrestre e aquática); Acidificação do solo; Oxidação de membranas de plantas.
Impactos na biodiversidade	MP _{10/2,5} ; NO _x ; SO ₂ ; HC, O ₃	Eutrofização (terrestre e aquática); Acidificação do solo e água; Oxidação de membranas de plantas.

Fonte: Elaboração própria a partir de Bickel et al. (2006), Maibach et al. (2008), Ferrón-Vílchez et al. (2011), Zawieska et al. (2013) e ARE (2016).

O mecanismo pelo qual as emissões dos veículos podem causar impactos no meio ambiente e conseqüentemente gerar externalidades é composto por três processos (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997):

- a) Emissões: Os gases emitidos por veículo;
- b) Dispersão: forma como os poluentes se movem na atmosfera; e
- c) Recepção: forma como os poluentes são assimilados por organismos.

Entre outros fatores, a quantidade de emissão dos veículos depende da velocidade, tipo de combustível, tecnologia de combustão e de exaustão, carga e tamanho do veículo, temperatura do motor, manutenção do veículo, comportamento do motorista, geometria da rodovia entre outros (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; MAIBACH et al., 2008).

A dispersão depende da velocidade e direção dominante do vento, condições meteorológicas, vegetação, topografia, distância da rodovia entre outros fatores (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

A qualidade do ar não depende apenas da concentração e da taxa de emissões dos poluentes, mas também da capacidade de assimilação do meio ambiente.

Esta capacidade de assimilação refere-se à capacidade de o meio ambiente limpar-se por si mesmo após receber uma determinada quantidade de poluentes seja pela degradação ou conversão em substâncias menos daninas ao meio ambiente.

Tal capacidade de assimilação depende de condições meteorológicas, como a velocidade do vento, temperatura vertical de estratificação e altura de mistura, chuvas, rugosidade do terreno (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; LANDMANN et al., 2007; CORIA et al., 2015). Assim, uma mesma quantidade de poluentes emitida em um local não necessariamente gera as mesmas externalidades se for emitida em outro local, ou em uma época do ano distinta.

Para Bickel et al. (2006), em uma pré-análise qualitativa das extensões dos impactos resultantes da poluição do ar (de modo a determinar a relevância do impacto), é importante levar em consideração alguns fatores de acordo com a característica da área como:

- a) Emissões em área urbana: a densidade populacional local e fatores meteorológicos;
- b) Emissões fora de áreas urbanas: a localização geográfica e a característica da rodovia (passa ou cruza áreas edificadas).

2.1.4 Mudanças Climáticas

As Mudanças Climáticas são uma das principais externalidades relacionadas ao setor de transportes, podendo ser definidas como alterações no clima, atribuídas à alteração da atmosfera global causada direta ou indiretamente pela atividade humana.

Tais alterações na atmosfera devem-se ao aumento da concentração de gases de efeito estufa (principalmente o CO₂) e geram um efeito comumente chamado de aquecimento global (NOCERA e CAVALLARO, 2012; ZAWIESKA et al., 2013).

A contribuição da infraestrutura de transportes às mudanças climáticas deve-se às emissões de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono (CO₂), óxido

nitroso (N_2O) e metano (CH_4) (MAIBACH et al., 2008; CRAVIOTO et al., 2013). A nível global o principal poluente é o CO_2 , que pode representar mais de 75% do total de emissões de gases de efeito estufa (SANTOS et al., 2010; NOCERA e CAVALLARO, 2012).

As mudanças Climáticas podem causar vários efeitos que geram externalidades, como o aumento do nível dos oceanos, perdas na agricultura, problemas no suprimento de água, inundações, perda de biodiversidade, problemas de saúde relacionados à mudança de temperatura, entre outros (MAIBACH et al., 2008; NOCERA e CAVALLARO, 2012; CRAVIOTO et al., 2013; ZAWIESKA et al., 2013; ARE, 2016).

Diferente de outros tipos de emissões, que podem ter apenas um impacto local, os impactos gerados pelas mudanças climáticas possuem uma posição especial nas externalidades da infraestrutura de transportes, devido ao fato que as mudanças climáticas não dependem necessariamente da localização das emissões e seus efeitos são globais.

O setor de transportes é o setor responsável pelo maior e mais acelerado crescimento em termos de emissões de gases de efeito estufa que causam as mudanças climáticas (DELUCCHI, 2000; BARBERO, 2012). Ele é responsável por 14 % do total de emissões de gases de efeito estufa a nível global, de acordo com dados do IPCC (2015). As emissões indiretas de CO_2 do setor de transportes correspondem a 0,3% das emissões globais (IPCC, 2015).

Diante da relevância dos efeitos do aquecimento global e da influência do setor de transportes como contribuinte para as emissões de gases de efeito estufa, torna-se pertinente a internalização dos custos relativos às mudanças climáticas em avaliações econômicas de projetos de infraestrutura de transportes rodoviários.

As emissões de CO_2 no setor de transportes rodoviários dependem de vários fatores que podem dificultar a quantificação, como o tipo de veículo (tanto modelo como idade), equipamentos de controle de emissões, combustível utilizado, velocidade de viagem, nível de manutenção dos veículos, comportamento do condutor, geometria da rodovia e nível de tráfego (PRATT, 2002).

Tal quantificação pode apresentar algumas dificuldades no caso brasileiro devido a não homogeneidade da frota e a existência de veículos com muito tempo de uso (principalmente veículos de carga).

Becker et al. (2012) citam que na Europa o setor de transportes é responsável por um quarto das emissões de gases de efeito estufa (com dados de 2009) e dentro das emissões de transportes, o setor rodoviário contribui com quase 70 % do total de emissões.

No Brasil, com dados estimados para o ano de 2012, o transporte rodoviário contribui com mais de 90 % das emissões de gases de efeito estufa no setor de transportes e, aproximadamente, 16 % do total de emissões de gases de efeito estufa (MCTI, 2014). No estado de São Paulo a contribuição do transporte rodoviário para as emissões de gases de efeito estufa chega a aproximadamente 25% do total de emissões (CETESB, 2011).

Os impactos das emissões advindas de gases de efeito estufa ao longo do tempo são difíceis de serem previstos, mas são potencialmente catastróficos (MAIBACH et al., 2008). Tsolakis et al. (2003) citam que os custos relativos às mudanças climáticas poderiam ser considerados um custo de oportunidade, pelo fato de seus efeitos ainda serem incertos e aplicáveis às gerações futuras.

2.1.5 Processos Pré e Pós Uso

Nesta categoria estariam os efeitos indiretos, relacionados às atividades que antecedem o uso da infraestrutura de transportes ou que ocorrem após o seu uso, mas que apenas ocorreriam devido à existência da rodovia (MAIBACH et al., 2008; ARE, 2016). Esses processos ocorrem geralmente em três grupos principais:

- a) Produção de combustíveis: Gera principalmente problemas relacionados a emissões de poluentes, ou outros possíveis danos que ocorrem em seu processo produtivo. No caso da produção de biocombustíveis e hidroelectricidade, que apesar de serem considerados menos agressivos, podem ocorrer danos à biodiversidade, devido a alterações ecossistêmicas (alagamentos e monocultura). Gibson et al. (2015) atentam-se ao fato de que a eletricidade que move veículos elétricos pode ter como origem a queima de combustíveis fósseis ou serem de fonte nuclear;
- b) Produção, manutenção e descarte de veículos: Há impactos ambientais na extração de matéria-prima utilizada para fabricação dos veículos e compostos de manutenção, assim como o descarte dos veículos e componentes

utilizados na manutenção (como pneus) podendo ocasionar efeitos na poluição hídrica, atmosférica e do solo;

- c) Construção, manutenção e disposição da rodovia: Podem ocasionar muitos danos à biodiversidade (principalmente no local de construção), gerar emissões de poluentes, ocasionar danos na extração de matéria-prima e na disposição de elementos da infraestrutura.

Embora alguns custos possam parecer insignificantes, ARE (2016) cita que somente a fragmentação de habitats causada pela construção da rodovia já é considerado suficientemente relevante para que os custos sejam calculados.

2.1.6 Poluição da Água e do Solo

As externalidades geradas pela poluição da água e do solo na infraestrutura de transportes, em grande parte dos casos apresentam causas que estão relacionadas e afetam os dois meios quase simultaneamente, pois geralmente os poluentes que são lançados ou se depositam na rodovia são dispersos pelo escoamento da água da chuva nos sistemas de drenagem, podendo ter como destino final o solo ou corpos hídricos.

São várias as atividades da infraestrutura de transportes que podem afetar negativamente a água e o solo, entre os quais pode-se citar: acidentes com cargas tóxicas, uso de herbicidas, degradação do pavimento e dos pneus, vazamentos de óleo de motores, entre outros (TEPPER e TSOLAKIS, 2000; MAIBACH et al., 2008). Determinar a contribuição dos transportes para a poluição da água e do solo é uma tarefa difícil, pois muitas vezes há uma distância considerável entre uma fonte de poluição e o local afetado, a contaminação pode ocorrer devido à interação da chuva com poluentes atmosféricos, assim como alguns efeitos podem se manifestar por anos (TEPPER e TSOLAKIS, 2000; DE RUS et al., 2010).

A contaminação da água pode afetar a flora e a fauna (como a produção pesqueira) e seus ecossistemas correspondentes, a produção agrícola, o valor recreativo dos espaços naturais e a saúde humana (DE RUS et al., 2010). Um possível exemplo seria a contaminação de corpos hídricos próximos à captação de água para abastecimento humano, gerando assim uma externalidade para a

população afetada, pois seria necessário utilizar outra fonte de abastecimento ou dispendir mais recursos monetários no tratamento da água.

Os efeitos da contaminação da água pelo setor de transportes são significativos, pois um litro de óleo tem o potencial de contaminar o sabor de quatro milhões de litros de água potável (TINCH⁹, 1995 apud TEPPER e TSOLAKIS, 2000, p.14).

As principais fontes que podem ocasionar impactos na qualidade da água e gerar externalidades são (NSW GOVERNMENT, 2013, 2016):

- a) Poluição da superfície através do run-off;
- b) Acidentes com derramamentos de produtos tóxicos;
- c) Contaminação de aquíferos, tanto por derramamentos no solo, como construção da rodovia ao redor de solo contaminado, em que o run-off pode levar os contaminantes para a água; e
- d) Eventuais modificações nos fluxos de água (como assoreamentos) podem provocar risco de inundações assim como interferir nos aquíferos e afetar os ecossistemas de áreas vizinhas.

2.1.7 Alterações na Natureza e Paisagem

A infraestrutura de transportes gera inúmeros impactos para a natureza e paisagem que poderiam ocasionar externalidades. Dentre esses, três tipos de impactos são mais relevantes: a perda de habitat, fragmentação de habitats e perda de qualidade de habitats (MAIBACH et al., 2008; ARE, 2016).

- a) A perda de habitat pode ocorrer com a própria construção da rodovia, que retira o espaço em que algumas espécies vivem (podendo inclusive ser a espécie humana), assim como a operação da rodovia pode gerar condições que dificultam a ocupação das espécies, como no caso da presença de ruídos que pode afugentar algumas espécies, ou poluição hídrica que pode forçar a migração de espécies;
- b) A fragmentação de habitats (às vezes chamado efeito barreira), faz com que o ambiente seja dividido pela rodovia, gerando uma barreira que divide o habitat de várias espécies, causando restrições ao descolamento, podendo tanto impedir sua passagem fisicamente como causar atropelamentos (MAIBACH

⁹ TINCH, R. . The Valuation of Environmental Externalities: Full Report. Report prepared for Great Britain Department of Transport. (HMSO: London) .1995.

- et al., 2008). Além da atuação do efeito barreira na fauna, dependendo de onde possa ocorrer, há efeitos diretos para os seres humanos, pois o tráfego pode retardar os pedestres em sua tarefa de cruzar as rodovias (causando perda de horas produtivas) assim como causar riscos de atropelamento (NSW GOVERNMENT, 2013). Entre as externalidades geradas pela fragmentação, há a alteração da biodiversidade, causada tanto por mortes de animais como em alterações de hábitos alimentares e reprodutivos; e
- c) A perda de qualidade do habitat, pode ser gerada por várias fontes que, em geral, causam impactos no habitat como: ruídos, emissões e interferências em áreas sensíveis. A perda de qualidade por ser manifestada através de impactos nos valores cênicos, perda de áreas recreativas (como no caso de um lago poluído) e a própria degradação do habitat (ARE, 2016).

2.1.8 Interferências em Áreas Sensíveis

Áreas sensíveis poderiam ser definidas como áreas em que os danos ambientais são maiores (devido a impactos ambientais mais elevados, ou porque ocorrem efeitos mais nocivos com um mesmo nível de impacto comparado a outras áreas). Assim, recursos naturais únicos ou patrimônio cultural podem ser colocados em risco (MAIBACH et al., 2008).

As principais categorias de áreas sensíveis, identificadas nos EVTEAs do DNIT e correlacionadas com impactos ambientais relacionados às rodovias citados por Pimenta et al. (2014), que podem enquadrar-se na definição acima apresentada, no caso de rodovias brasileiras são:

- a) Unidades de Conservação (UC): geralmente são áreas que não sofrem influência antrópica. Os efeitos de ruídos podem causar um sério impacto na fauna, assim como as emissões podem afetar a área de modo mais intenso que em uma área com ocupação humana, podendo causar danos a biodiversidade;
- b) Ecossistemas únicos: tais ecossistemas sofrem impactos que alteram tanto seu valor cênico, como perda de biodiversidade (por exemplo, construção de rodovia em um mangue, na mata atlântica ou floresta amazônica). A simples existência da infraestrutura pode permitir que seja facilitado o acesso antrópico a tais áreas e ocorra depredação de recursos naturais;

- c) Áreas definidas como de Preservação Permanente (APP): tais áreas, em geral devem ser preservadas devido a sua função ecossistêmica, como vegetação em encostas e nas margens de rios pois sua destruição pode gerar erosão do solo, podendo destruir mais áreas e até mesmo parte da própria rodovia;
- d) Sítios Arqueológicos: pode ocorrer a destruição de patrimônio cultural como no caso de destruição de um local considerado sagrado para algumas culturas, vibrações podem afetar cavernas, porém a construção da rodovia pode levar a descoberta de sítios arqueológicos e permitir o seu resgate aumentando o conhecimento histórico; e
- e) Comunidades Tradicionais: o simples contato de uma rodovia com áreas indígenas (principalmente isoladas), pode levar o fim da sua cultura e da sua existência devido à possibilidade de contato com doenças desconhecidas (em que o organismo não apresenta imunidade).

2.1.9 Alterações na Biodiversidade

Para Grafton et al. (2001), a biodiversidade poderia ser definida como o total de variações em toda a vida na terra ou dentro de uma determinada área ou ecossistema, podendo ser expressa como o número do total de espécies encontradas dentro de uma área de interesse, assim como também a diversidade genética dentro de uma mesma espécie. Noss (1990¹⁰ apud ZHANG et al., 2004 p.451) ainda define mais um nível de biodiversidade, a diversidade do ecossistema, que é referente aos vários tipos de ecossistemas.

Praticamente todas as atividades do setor de transportes tem um grande potencial de causar danos à biodiversidade, ocasionando alterações tanto na flora como na fauna e conseqüentemente gerando externalidades para a sociedade, porém definir qual a magnitude do dano e quais são todas estas externalidades é algo um pouco complexo por três razões principais (ZHANG et al., 2004):

- a) As alterações na biodiversidade dependem de vários fatores que interagem entre si, e o transporte é apenas um deles;
- b) Alguns tipos de externalidades dependem de vários fatores, e a alteração da biodiversidade também é apenas um destes fatores; e

¹⁰ Noss, R.F.. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. Conservation Biology 4. 1990

- c) A biodiversidade pode assumir um valor de uso (a perda de uma espécie de planta medicinal pode gerar custos a sociedade), de opção (a preservação de determinado ecossistema pode trazer benefícios a serem utilizados no futuro) e de existência (o valor de ainda existirem papagaios de peito roxo, onde passaria uma rodovia).

O quadro 2.5 apresenta as principais atividades do setor de transportes que geram impactos no meio ambiente e seus efeitos na biodiversidade. Cada um destes efeitos tem um potencial de gerar externalidades seja através de valor de uso, opção ou existência.

Quadro 2.5 - Efeitos na Biodiversidade

ATIVIDADE	IMPACTO NO MEIO AMBIENTE	EFEITO NA BIODIVERSIDADE
Construção da rodovia	Perda de habitat; Fragmentação e isolamento.	Desequilíbrio ecológico; Risco de extinção de espécies; Alteração do ecossistema.
Emissões	Eutrofização; Acidez no solo; Oxidação de membranas de plantas.	Aumento em determinadas populações. Desequilíbrio ecológico; Morte de plantas;
Ruídos	Afugentamento da fauna; Estresse sobre a fauna.	Migração de espécies; Interferência na reprodução.
Mudanças climáticas	Aumento de temperatura global	Migração de espécies; Extinção de espécies; Desequilíbrio ecológico.
Uso da Rodovia	Atropelamento de animais; Caça predatória; Extração de espécies vegetais.	Interferência na reprodução; Diminuição de populações; Risco de extinção de algumas espécies.
Existência da rodovia	Fragmentação e isolamento	Interferência na reprodução; Alterações na diversidade; genética; Alterações nos comportamentos migratórios.

Fonte: Elaboração Própria, a partir de Zhang et al. (2004), Maibach et al. (2008) e Van Essen et al. (2011).

Como pode ser observado, uma fonte de externalidade pode gerar vários efeitos similares aos gerados por outras fontes de externalidades, sendo necessário um cuidado para não ocorrer dupla contagem. Assim, no capítulo 4, as externalidades estão reorganizadas de acordo com as categorias presentes nos EVTEAS do DNIT.

3 MÉTODOS DE VALORAÇÃO AMBIENTAL UTILIZADOS NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS

Na realização de Análises Custo Benefício (ACB) é necessário estimar todos os custos e benefícios envolvidos. Não obstante, muitos desses custos e benefícios não possuem um valor monetário de mercado que permita que sejam estimados diretamente.

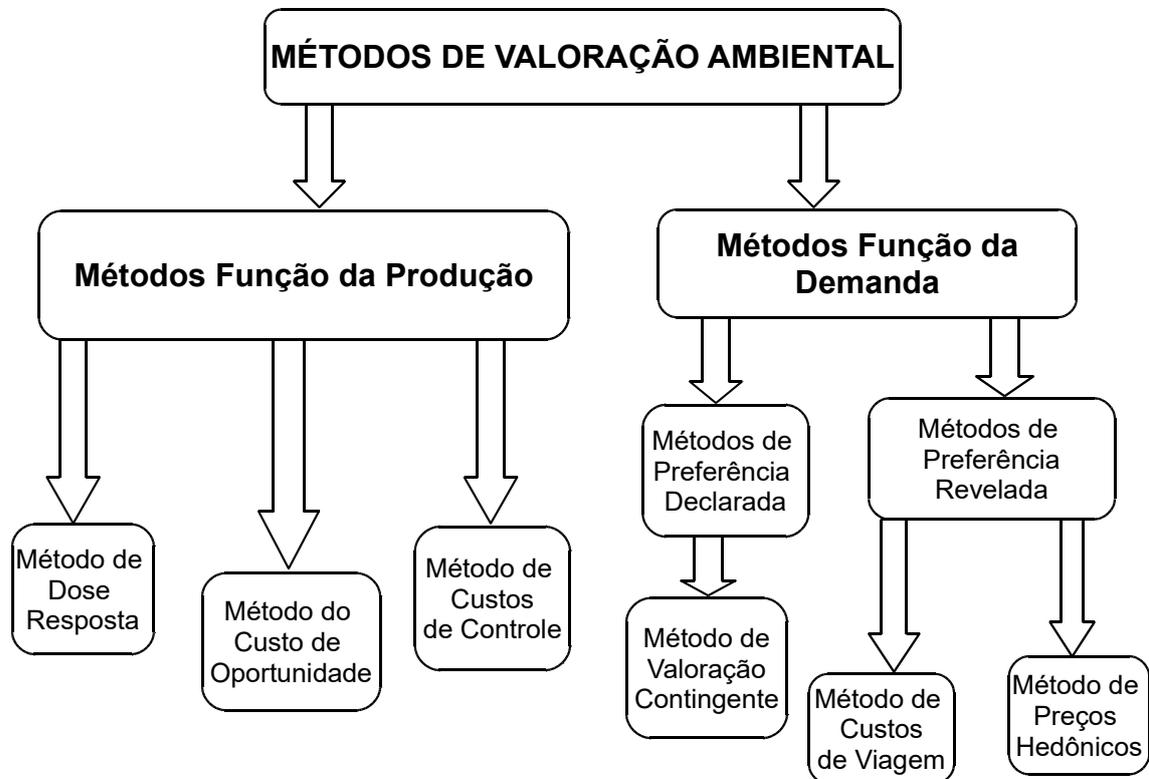
Grande parte desses custos e benefícios que não podem ser estimados diretamente referem-se a atributos ambientais. Então, para que estes atributos ambientais possam ser valorados faz-se necessário o uso de métodos de valoração ambiental (MUELLER, 2012).

Na literatura há vários métodos de valoração ambiental que permitem estimar um valor para algumas externalidades associadas à infraestrutura de transportes rodoviários. Porém, como observado por Castro (2015), nenhum desses métodos é inteiramente apropriado para se avaliar alguma externalidade ambiental, inclusive às relacionadas à infraestrutura de transportes, sendo então necessário muitas vezes realizar a combinação de mais de um método e/ou adaptação de tais métodos às diferentes especificidades características das externalidades ambientais da infraestrutura de transportes.

Perman et al. (2003) citam que a literatura sobre técnicas de valoração ambiental é muito extensa, motivo pelo qual neste trabalho estão apresentadas apenas as principais técnicas de valoração ambiental com aplicações na infraestrutura de transportes rodoviários.

Há um desacordo de conceitos, classificações e terminologia em relação a métodos de valoração ambiental (CHIQUELLO, 1994; NOGUEIRA et al., 2000), existindo variações tanto na nomenclatura como classificação de abordagens. Assim, para o propósito deste trabalho, adota-se a classificação inicial utilizada por Motta (2006) que divide os métodos de valoração ambiental em dois grupos principais: métodos função da produção e métodos função da demanda. Quanto aos conceitos e terminologias, são realizadas considerações de acordo com o uso que possuem na infraestrutura de transportes. A classificação adotada no trabalho é representada na figura 3.1.

Figura 3.1 - Classificação de Métodos de Valoração Ambiental com Aplicações Identificadas na Infraestrutura de Transportes



Fonte: Elaboração própria, baseado em Perman et al. (2003) e Motta (2006).

3.1 MÉTODOS FUNÇÃO DA PRODUÇÃO

Os métodos função da produção são assim denominados devido ao fato de estimarem o valor econômico de bens ambientais a partir das relações existentes entre o fornecimento de um serviço ecossistêmico e a produção de um bem de mercado (DEFRA, 2007).

Motta (2006) menciona que, devido a sua simplicidade, são os métodos de valoração mais adotados.

Os sistemas de recursos naturais, além de fornecerem serviços diretamente aos indivíduos na categoria de consumidores, podem afetar os custos e os níveis de produção dos produtores em uma economia. Os efeitos dessas mudanças impactam os indivíduos (produtores e consumidores) via o sistema de preços sob a forma de

alterações nos custos e preços de bens e serviços finais, assim como nas alterações dos preços dos fatores e rendimentos (HANLEY e BARBIER, 2009).

Ao modelar corretamente o modo como a qualidade do ambiente afeta a produção e seus custos, é possível determinar os impactos no bem-estar ocasionados por estas alterações. Assumindo que um recurso ambiental é um insumo ou um substituto de um bem ou serviço privado, os métodos função de produção se utilizam de preços de mercado deste bem ou serviço privado para estimar o valor econômico do recurso ambiental. As alterações na disponibilidade do recurso ambiental afetam os custos deste bem privado, e as variações em seu custo permitem estimar um valor para a variação da disponibilidade do recurso ambiental (MOTTA, 2006; DEFRA, 2007; HANLEY e BARBIER, 2009).

Para Hanley e Barbier (2009), de modo geral o uso de tais métodos envolve duas etapas:

- a) Determinar os efeitos físicos de uma alteração ambiental em uma atividade econômica; e
- b) Avaliar o impacto desta alteração ambiental em termos da variação correspondente na produção comercializada.

Entre as principais vantagens da aplicação de tais métodos é que são mais simples e, pois permitem que se estime o valor de um recurso ambiental em função da sua contribuição como fator de produção de um bem, mesmo em casos onde meio ambiente fornece serviços não comercializáveis (como no caso da limitação de danos ao patrimônio ou vidas humanas) (MOTTA, 2006; HANLEY e BARBIER, 2009). Entre as limitações está a necessidade de haver preços de mercado para a variação da quantidade ou qualidade do produto avaliado ou de seus produtos substitutos, e há casos em que o meio ambiente fornece serviços não comercializáveis (MOTTA, 2006).

Entre os principais métodos em função da produção que a literatura cita uso na infraestrutura de transportes estão o Método de Dose Resposta, Método de Custos de Controle e Método de Custo de Oportunidade.

3.1.1 Método Dose Resposta (MDR)

O Método de Dose Resposta (Nogueira et al., 2000; Hanley e Barbier, 2009), que entre suas variações também é chamado de método da produtividade marginal (MOTTA, 2006) ou função de danos (Jensen et al., 2008), baseia-se no princípio de estimar o valor de um atributo ambiental, por meio de uma variação de uma função de produção ocasionada pela variação do fator ambiental objeto da valoração¹¹.

Para aplicação do Método Dose Resposta são necessárias duas etapas básicas: a identificação da relação de dose (poluente) resposta (do receptor). Ou seja, primeiro deve-se determinar os efeitos físicos de uma mudança ambiental em uma atividade econômica, e na sequência, é necessária a escolha e aplicação do modelo econômico. Nessa segunda etapa, o impacto desta alteração ambiental é avaliado em termos da mudança correspondente na produção comercializada da atividade relevante (HANLEY e BARBIER, 2009; JENSEN et al., 2008; DANIELIS e CHIABAI, 1998; NOGUEIRA et al., 2000).

Como exemplos de aplicações do Método de Dose Resposta na infraestrutura de transportes, o estudo de Danielis e Chiabai (1998) estima os custos relacionados à poluição do ar provocada por rodovias, com base em uma relação dose resposta, da mortalidade (resposta) ocasionada pela poluição do ar (dose). Jensen et al. (2008) estimam os custos da poluição do ar, por meio de uma abordagem que utiliza uma função dose resposta para o dano causado pela poluição, sendo esses danos, a mortalidade, corrosão, perda de rendimento na agricultura e efeitos climáticos.

Entre alguns casos em que é preferível a utilização deste método, Danielis e Chiabai (1998) citam que para a valoração de efeitos da poluição do ar, devido à falta de conhecimento dos indivíduos dos efeitos da poluição, os métodos baseados em preferências (ou em função da demanda) são menos confiáveis que os métodos que realizam a estimativa de modo direto, como o método de dose resposta.

¹¹ DEFRA (2007) argumenta que o MDR não é uma técnica de valoração, pois a valoração é realizada através do resultado quantificado pelo uso das relações dose resposta, sendo então necessário o uso de uma outra técnica para obter o valor dos bens ambientais. Como mencionado anteriormente, existe um desacordo entre nomenclatura, terminologias, classificações e conceitos sobre os métodos de valoração ambiental, deste modo o MDR as vezes é considerado como todo o processo de valoração, ou apenas a quantificação do impacto. Como o propósito deste trabalho não é discorrer sobre a divergência entre classificações, terminologias e conceitos, quando menciona-se o MDR, considera-se que abrange todo o processo de valoração e não apenas as relações dose resposta.

Entre as limitações do método, Field e Field (2012), assim como Hanley e Barbier (2009), mencionam que um grande problema das tentativas de se medir funções de danos diretamente é a mudança das pessoas e dos mercados, que se ajustam à poluição ambiental. Nesse caso, para incluirmos totalmente os danos causados pela poluição, teríamos que considerar esses ajustes. As pessoas tendem a alterar o seu comportamento ao enfrentar a poluição, envolvendo-se em um comportamento preventivo, ou fazendo mudanças no seu estilo de vida. Esses efeitos podem ser difíceis de medir quando usa-se uma abordagem direta para mensurar os danos.

Motta (2006) ressalta que as funções de dose resposta nem sempre são fáceis de serem utilizadas, principalmente devido ao fato que estabelecer relações de causa e efeito pode ser uma atividade extremamente complexa quando se trata da dinâmica dos ecossistemas, que além de complexa, ainda não é suficientemente conhecida para estabelecer, com precisão, tais relações de causa e efeito.

3.1.2 Método de Custos de Controle (MCC)¹²

A receita líquida de uma atividade econômica pode ser afetada pela variação de um recurso ambiental, não apenas pela redução da produção, mas também pelo aumento de custos.

O método de custos de controle recebe este nome devido a estimar o valor do recurso ambiental, com base nos custos incorridos por empresas ou consumidores para controlar ou evitar a perda de qualidade ou quantidade do bem ambiental (MOTTA, 2006).

Como exemplo da aplicação do MCC na infraestrutura de transportes, pode-se citar o estudo de Landmann et al. (2007). Eles valoram a poluição do ar com base nos custos incorridos para controlar que as emissões veiculares não ultrapassem determinado nível de concentração. Neste caso, considera-se que se forem adotadas medidas de controle para as emissões veiculares, a qualidade do ar não seria afetada. Então ao estimar todos os custos relativos ao controle de emissões a níveis aceitáveis, pode-se inferir que este seria um valor para a poluição gerada pelos veículos. Já Chiquetto (1994) cita aplicabilidade do Método de Custos de

¹² O que denominamos MCC nesta dissertação, pode receber outras denominações na literatura especializada: Método Custos Evitados (MCE), Método Gastos Preventivos (MCP).

Controle para externalidades geradas com ruídos provenientes de rodovias, através dos custos para instalar barreiras acústicas ou vidros duplos nas residências.

Este método apresenta uma relativa simplicidade em sua aplicação, porém entre possíveis vulnerabilidades, Motta (2006) ressalta que pode haver uma subestimação do valor econômico do recurso natural devido ao fato da dificuldade de haver no mundo real algum substituto perfeito para o recurso natural ou medidas que possam evitar a degradação de tal recurso de forma perfeita.

3.1.3 Método do Custo de Oportunidade (MCO)

O Método de Custo de Oportunidade utiliza como premissa para valorar um recurso ambiental, o custo de oportunidade em preservá-lo, ou seja, a renda sacrificada pela não realização de uma atividade econômica face a conservação do recurso ambiental (MOTTA, 2006), mesmo que este recurso ambiental não venha a ser utilizado.

No caso da infraestrutura de transportes, pode-se citar o exemplo da não construção de uma rodovia que atravessaria uma área recreativa. Assim estima-se o valor da área recreativa, devido aos benefícios sacrificados pela não construção da rodovia, como trajeto menor que outras rodovias (que poderia reduzir os custos de viagem), menor consumo de combustível e manutenção de veículos, redução de emissões, entre outros (IVEHAMMAR, 2008).

3.2 MÉTODOS FUNÇÃO DA DEMANDA

O princípio de aplicação dos Métodos Função da Demanda consiste em assumir que a variação da disponibilidade do bem ambiental (tanto em termos qualitativos como quantitativos) altera disposição a pagar ou compensação a aceitar dos indivíduos em relação àquele bem ambiental ou seu bem privado complementar. O valor econômico dos atributos ambientais é estimado por meio de funções demanda para recursos derivados de mercado de bens ou serviços privados complementares ao bem ambiental ou mercados hipotéticos construídos especificamente para o recurso ambiental em análise (MOTTA, 2006).

Assim, podem ser determinadas as variações do excedente do consumidor frente as variações na disponibilidade do bem ambiental. O benefício (ou custo) da

variação da disponibilidade do bem ambiental pode ser estimado pela variação do excedente do consumidor medida pela função de demanda estimada para o bem ambiental (MOTTA, 2006).

As técnicas de valoração ambiental que possuem seus princípios baseados em função da demanda podem ser divididas em métodos de preferência revelada e métodos de preferência declarada (PEARCE e SECCOMBE-HETT, 2000).

3.2.1 Métodos de Preferência Revelada

Os Métodos de Preferência Revelada fornecem uma abordagem para a valoração de bens (ou males) ambientais, partindo do princípio que os indivíduos usufruem de um bem ambiental sem valor de mercado por meio do consumo de algum bem privado com valor de mercado (BATEMAN et al., 2011).

Os indivíduos ao realizarem escolhas de mercado (via sua disposição a pagar) entre determinados bens privados que possuem diferentes características relacionadas ao meio ambiente, revelam o valor que atribuem aos bens ambientais (BATEMAN et al., 2011; FIELD e FIELD, 2012).

Entre os métodos que usam abordagem de preferência revelada na valoração ambiental com aplicações na infraestrutura de transportes, estão o Método de Preços Hedônicos e Método Custos de Viagem.

3.2.1.1 Método de Preços Hedônicos (MPH)

A aplicação do método de preços hedônicos consiste em estimar o valor de um bem sem valor de mercado (no caso, bens ambientais) por meio da observação do comportamento em mercados em que os bens ambientais são implicitamente negociados. Entre os tipos de mercado mais relevantes estão o mercado imobiliário e o mercado de trabalho (PEARCE et al., 2006).

O Método de Preços Hedônicos vale-se do preço de propriedades em transações imobiliárias, para identificar o valor implícito de características ocultas como acessibilidade vizinhança e aspectos ambientais. Distintas propriedades com características semelhantes podem apresentar diferentes preços em função de seus atributos ambientais. Propriedades com características ambientais desejáveis tendem a apresentar preços superiores a outras com uma qualidade ambiental

inferior. Deste modo a proximidade a uma praia ou níveis de ruído podem ser fatores que influenciam a diferença de preços entre propriedades com características semelhantes (PEARCE et al., 2006; MOTTA, 2006; DEFRA, 2007; GIBBONS et al., 2014).

No caso da aplicação do MPH via o mercado laboral, observa-se a variação de salários (para funções semelhantes) de acordo com as diferentes características de bens (ou males) ambientais envolvidos. Assim alguém estaria disposto a trabalhar em um local com maior risco apenas se tiver uma maior remuneração (PEARCE et al., 2006). Porém, assim como no mercado imobiliário, há muitas outras variáveis envolvidas.

A aplicação do MPH demanda um levantamento minucioso de dados, como informações sobre outras características, além das ambientais, que podem influenciar o preço da propriedade tais como as suas próprias características (tamanho, grau de conservação, benfeitorias, etc.), serviços próximos (comerciais, transporte, educação), a qualidade do local (vizinhança, taxa de criminalidade, etc.), bem como informações socioeconômicas dos proprietários sobre uma amostra representativa das propriedades de uma região (MOTTA, 2006).

Para Motta (2006), o bem ou serviço ambiental a ser avaliado necessita estar precisamente definido, pois o consumidor somente irá valorar com base em uma qualidade geral do ambiente.

O MPH, como método de valoração ambiental, sempre será limitado a uma pequena faixa de bens e serviços ambientais, captando apenas valores de uso e de opção. Caso não haja transações imobiliárias, limita-se a utilização de tal método, assim como períodos de crises, ou questões fiscais que podem fazer com que os preços estejam subestimados ou que haja “bolhas” imobiliárias onde os preços podem ser superestimados (MOTTA, 2006; HANLEY e BARBIER, 2009).

Outro fator limitante na aplicação de tal método, é o fato de ser difícil isolar apenas um bem (ou mal) ambiental no processo de valoração, pois preços de transações imobiliárias em geral envolvem um extenso conjunto de características, assim como é necessário ter uma amostra com características semelhantes (PEARCE et al., 2006). Algumas externalidades ambientais geradas no setor de transportes como ruído e poluição atmosférica geralmente estão presentes simultaneamente (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

Apesar de algumas limitações na aplicação do método, na literatura encontram-se várias aplicações do MPH para estimar o valor de externalidades geradas pela infraestrutura de transportes, principalmente no que se refere a ruídos provenientes de rodovias: Day et al., (2007); Baranzini et al., (2010), Brandt e Maennig (2011); Andersson et al., (2010); Andersson et al., (2013); Łowicki e Piotrowska (2015). Chiquetto (1994), Tsunokawa e Hoban (1997), Maibach et al. (2008) apesar de não aplicarem diretamente o método, o indicam para uso tanto estimar efeitos de externalidades geradas por ruídos como pela poluição atmosférica.

3.2.1.2 Método Custos de Viagem (MCV)

Pode-se observar pessoas deslocando-se para desfrutar, por exemplo, de experiências recreativas em parques, nadando e pescando em lagos e rios, entre outros. O deslocamento em si envolve recursos monetários (como combustível e depreciação do veículo) e tempo (custo de oportunidade do tempo) (PEARCE et al., 2006; FIELD e FIELD, 2012). O princípio de aplicação do Método Custos de Viagem consiste em estimar a demanda por um bem ambiental, com base em custos de viagem associados à visita de tal bem ambiental (MOTTA, 2006).

Para estimar o valor do bem ambiental objeto de valoração, em geral, deve-se utilizar procedimentos econométricos. Por meio de pesquisas em campo, identifica-se, por amostragem, os usuários, frequência e custo de viagem das visitas, idade, zona residencial, renda, escolaridade, entre outros dados. A partir destes dados, estima-se a taxa de visitação (visitantes por mil habitantes por ano, por exemplo) de cada zona residencial da amostra para correlacioná-la em termos estatísticos com os dados de custo médio de viagem de cada zona residencial da amostra e as demais variáveis socioeconômicas da zona em questão (MOTTA, 2006).

Entre as limitações do MCV, está o fato que não pode ser utilizado para valores de não uso (como opção e existência), e mesmo para valores de uso é restrito em termos de que problemas eles podem ser aplicados (MOTTA, 2006; HANLEY e BARBIER, 2009), inicialmente foi desenvolvido para valorar bens como áreas geográficas e localizações de uso recreacional (PEARCE et al., 2006). A mensuração do próprio custo de viagem, não apenas pelo custo das despesas de

viagem em si, mas do custo de oportunidade do tempo, assim como viagens multipropósito (MOTTA, 2006; PEARCE et al., 2006) também constituem-se dificuldades do método.

Muitas vezes o MCV pode ser aplicado em combinação com métodos de preferência declarada (HANLEY e BARBIER, 2009). Na literatura há aplicações na infraestrutura de transportes do MCV combinado com o Método de Valoração Contingente, como no estudo de Ivehammar (2008) ao estimar o dano ambiental causado por uma rodovia em um ambiente natural.

3.2.2 Métodos de Preferência Declarada

Os métodos de preferência declarada têm seu princípio de aplicação baseado nas preferências dos consumidores ou usuários de recursos naturais. Eles utilizam mecanismos de eliciar escolhas por meio de técnicas de questionários, geralmente pedindo diretamente as pessoas que indiquem sua disposição a pagar (ou aceitar) por algum elemento ambiental ou algum resultado que está estritamente ligado a alterações na qualidade do meio ambiente (HANLEY e BARBIER, 2009; FIELD e FIELD, 2012; MOTA e BURSZTYN, 2013). O principal método de preferências declaradas com ampla aplicação na infraestrutura de transportes é o Método de Valoração Contingente.

3.2.2.1 Método de Valoração Contingente (MVC)

“A ideia básica do MVC é que as pessoas têm diferentes graus de preferência ou gostos por diferentes bens ou serviços e isso se manifesta quando elas vão ao mercado e pagam quantias específicas por eles. Isto é, ao adquiri-los, elas expressam sua disposição a pagar (DAP) por esses bens ou serviços”. (NOGUEIRA et al., 2000, p.94)

O MCV também se aplica a temas não ambientais (FIELD e FIELD, 2012). Porém, no contexto relacionado ao meio ambiente, para Motta (2006) o MVC objetiva mensurar monetariamente o impacto no nível de bem-estar dos indivíduos decorrente de uma variação qualitativa ou quantitativa dos bens ambientais, tendo como indicadores de valor a DAP e disposição a aceitar (DAA) por alguma alteração.

A aplicação do MVC, consiste em realizar entrevistas em uma amostra significativa da população, envolvendo questões sobre sua DAP (que procura descobrir o que o entrevistado pagaria para evitar um resultado negativo, ou para

conseguir um resultado positivo) e DAA (procura descobrir o pagamento mínimo que o entrevistado está disposto de receber a fim de aceitar o resultado negativo, ou não receber um resultado positivo) em cenários hipotéticos.

O método é chamado Valoração Contingente devido a valoração ser contingente a cenários hipotéticos que são postos aos entrevistados (PERMAN et al., 2003; HAUSMAN, 2012; NSW GOVERNMENT, 2013).

Para que haja sucesso na aplicação do método, os cenários ambientais hipotéticos, devem ser simulados estando o mais próximo possível das características da realidade de modo que as preferências reveladas nas pesquisas reflitam decisões que os indivíduos tomariam, caso existisse um mercado para o bem ambiental descrito no cenário hipotético (MOTTA, 2006).

O processo de análise dos resultados e estimação dos valores, varia de acordo com a forma como as entrevistas são realizadas. Se as perguntas forem elaboradas de modo que os entrevistados forneçam um valor em forma de lances livres, produzindo uma variável contínua de lances, o valor da DAP e DAA pode ser obtido com técnicas econométricas. Se o questionário for elaborado de modo que as respostas sejam escolhas dicotômicas ou com mais variáveis tendo distribuição discreta de lances, a DAP e DAA podem ser obtidas por funções de distribuição de respostas e correlacionadas com uma função de utilidade indireta (MOTTA, 2006).

Entre as principais vantagens de tal método é a flexibilidade e aplicabilidade a vários fatores em diferentes situações, diferente de outros métodos pode ser utilizado para capturar valores de uso e não uso, incluindo de existência e de opção, que dificilmente são capturados por outros métodos (FIELD e FIELD, 2012; NSW GOVERNMENT, 2013).

Field e Field (2012) mencionam que os entrevistados, pelo carácter hipotético, podem não estar preocupados informar os reais valores, quando há situações que envolvem disposição a aceitar dificilmente se obtêm um valor coerente. Motta (2006) menciona que pela preocupação do entrevistado em pensar que realmente terá que pagar por aquele valor pode informar um valor mais baixo do que realmente estaria disposto a pagar.

Na literatura encontram-se aplicações do MVC para valorar externalidades geradas pela infraestrutura de transportes rodoviários, nos estudos de Fosgerau e Bjorner (2006) que utilizam dados de Valoração Contingente para estimar a disposição a pagar pela redução de ruídos provenientes de rodovia. Lera-Lopez et

al. (2012) usam o MVC para determinar disposição a pagar pela redução da poluição sonora e atmosférica, Istamto et al. (2014) utilizam o MVC para determinar a disposição a pagar para evitar os efeitos relacionados a poluição atmosférica e sonora, Wardman e Bristow (2004), utilizam o MVC, em conjunto para estimar o valor do ruído e poluição atmosférica causada pelo tráfego em rodovias, Chiquetto (1994) apesar de não aplicar o MVC, indica seu uso tanto estimar efeitos de externalidades geradas por ruídos assim como pela poluição atmosférica.

3.3 TRANSFERÊNCIA DE BENEFÍCIOS

Para Boyle e Bergstron (1992¹³ apud PEARCE et al., 2006 p.255), a transferência de valores ou transferência de benefícios pode ser definida como: “a transferência de estimativas existentes de bens sem valor de mercado para um novo estudo que é diferente do estudo do qual os valores foram originalmente estimados”.

O processo de utilizar valores para externalidades ambientais obtidas em outros estudos, nem sempre é tão simples (muitas vezes sendo necessários vários ajustes), mas pode ser muito útil ao evitar a necessidade de realizar um estudo original ou primário para cada externalidade de um novo projeto, assim podendo-se economizar recursos financeiros e principalmente tempo (DIXON e PAGIOLA, 1998; NAVRUD et al., 2002; PEARCE et al., 2006; SCHWEMER, 2012).

Há duas principais abordagens para transferência de benefícios (NAVRUD et al., 2002; SCHWEMER, 2012):

- a) Transferência de valores: que seriam a transferência simples de valor (assumindo que ambos os locais são muito semelhantes) e transferências com ajustes de renda (na maioria dos casos). Geralmente o resultado da transferência é um valor marginal para algumas externalidades (ex. Euros por pessoa por dB(A), ou dólares por veículo a cada ano); e
- b) Transferência de funções: que é o uso de funções de outros estudos, principalmente dose resposta. A transferência pode ser realizada a partir de apenas um estudo original, ou um conjunto de estudos, mas de qualquer modo é necessária uma análise minuciosa para verificar a possibilidade de uso de dados de outros estudos.

¹³ Boyle, K.J. and J.C. Bergstrom, Benefits Transfer Studies: Myths, Pragmatism and Idealism, Water Resources Research, Vol. 28, n. 3, p. 657-663. 1992.

Entre algumas condicionantes para realizar a transferência de valores em externalidades ambientais é conhecer a linha de base do estudo original, dados socioeconômicos, variações temporais e principalmente a existência de estudos originais de boa qualidade. Devido à falta de bons estudos originais de qualidade para muitos tipos de externalidades, além do fato de estudos bons tipicamente não serem desenvolvidos para aplicações de transferência de benefícios, muitos cuidados devem ser tomados (DIXON e PAGIOLA, 1998; PEARCE et al., 2006; SCHWEMER, 2012):

- a) As características da externalidade a ser avaliada devem mostrar uma considerável concordância com o estudo primário;
- b) As condições socioeconômicas da população afetada devem ser muito semelhantes. A precisão de uma transferência internacional de dados é consideravelmente menor que a de uma transferência regional dentro de um país, porém mesmo dentro de um país pode haver muita disparidade;
- c) O estudo primário precisa ser suficientemente bem documentado para permitir a variação de certos parâmetros para permitir a transferência com confiabilidade;
- d) A definição do mercado deve ser plausível e lógica. Deve ser possível tirar conclusões sobre a DAP. Para calcular o valor agregado com base em uma transferência de valores, é usual multiplicar a DAP do estudo primário pelo número de famílias afetadas pelo dano ambiental em questão; e
- e) Os resultados devem ser os mais atualizados possível. Muitas vezes é necessário ajustar os resultados dos estudos mais antigos.

Grande parte dos estudos relacionados à valoração de externalidades ambientais do transporte rodoviário são da Europa e de países com características muito distintas do Brasil, o que poderia tornar o uso da transferência de benefícios um processo com uma incerteza grande, principalmente se o dado a ser transferido for apenas a transferência de valores, e conseqüentemente neste caso não ter um uso recomendado conforme mencionado por De Rus et al. (2006).

PIARC (2008) menciona que não há uma razão fundamental para que a transferência de benefícios de impactos socioambientais não possa ser utilizada em países com economias menos desenvolvidas. No entanto, no caso de transferência de valores, a utilização de valores europeus poderia ser uma aproximação um pouco

grosseira. O uso de transferência de valores para externalidades relacionadas a poluição do ar, ruídos e mudanças climáticas, poderia ser realizada com a justificativa de que é impraticável a realização de alguns estudos de valoração (principalmente por questões financeiras em países com economias em desenvolvimento).

3.4 COMPARAÇÕES ENTRE MÉTODOS

Considerando que a escolha de um método de valoração ambiental depende do objetivo da valoração, das hipóteses consideradas, disponibilidade de dados, tempo disponível, recursos financeiros, conhecimento científico além de outras variáveis (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; MOTTA, 2006), apresenta-se o Quadro 3.1, com uma comparação de características dos métodos, com limitações, potencialidades e externalidades a que são aplicáveis na infraestrutura de transportes.

Com esta comparação, o processo de escolha de determinado método pode ficar mais claro na proposição de metodologia de valoração ambiental dos EVTEAs do DNIT.

Quadro 3.1 - Comparação entre Métodos de Valoração Utilizados na Infraestrutura de Transportes

Continua

Método	Valor Captado	Potencialidades	Restrições	Externalidades Aplicáveis
Dose Resposta	Uso Opção	Mais utilizados na infraestrutura de transportes; Custos relativamente baixos de aplicação; Aplicabilidade relativamente simples; Permite que seja estabelecida uma relação causa-efeito que outros métodos não alcançam; O uso de preços de mercado para obter o valor geralmente são robustos.	Como capta apenas valores de uso, os valores de recursos ambiental são subestimados quando os valores de opção e existência são significativos; Capta apenas o valor mínimo do bem ambiental; Pessoas podem alterar seu comportamento diante da poluição e ter um comportamento preventivo; Estabelecer relações de causa e efeito pode ser uma atividade extremamente complexa para aspectos ambientais; Difícilmente pode haver funções para todos os efeitos, assim o valor seria parcial; Existem incertezas no comportamento de funções ambientais.	Poluição do ar; Ruídos; Mudanças Climáticas; Perda de biodiversidade.
Custo de Oportunidade	Uso	Facilidade de obtenção de dados; Exige poucos recursos para aplicação.	Os valores podem ser subestimados quando os valores de opção e existência são significativos	Natureza e Paisagem; Interferência em Áreas sensíveis.
Custos Controle	Uso e Opção	Facilidade de obtenção de dados Exige poucos recursos para aplicação; A segunda melhor abordagem para incluir categorias para as quais o conhecimento sobre os efeitos é insuficiente, os efeitos adversos são muito complexos ou não há estimativas confirmadas ainda do dano assumido.	Não é a primeira melhor solução da perspectiva do bem-estar econômico, pois não considera a preferência dos indivíduos. Pode haver uma subestimação do valor do recurso ambiental devido à dificuldade de haver um substituto perfeito para o recurso ambiental, ou medidas que possam evitar a degradação do bem ambiental.	Poluição do Ar; Ruídos (limitado); Mudanças climáticas; Alteração na biodiversidade.

Método	Valor Captado	Potencialidades	Restrições	Externalidades Aplicáveis
MCV	Uso	Pode ser combinado com outros métodos.	Viagens multipropósitos; Complementariedade entre valoração ambiental e consumo (se o consumo for nulo, o valor do bem ambiental seria nulo) Necessidade de valoração do tempo; Dificuldade do cálculo do custo de viagem em si; Dificuldade na seleção da amostra dos entrevistados; Limitado a poucos bens ambientais;	Natureza e Paisagem; Ruídos (áreas silenciosas).
MPH	Uso e Opção	Há metodologia consolidada e grande número de estudos; Um dos principais métodos utilizados no caso de ruídos.	Relativa dificuldade de obter imóveis com características semelhantes; Alta correlação entre poluição do ar e outros impactos do tráfego intenso no valor dos imóveis; Sensível a períodos de crises; Dificuldade de isolar apenas um bem ambiental objeto de valoração. Necessidade de definir precisamente o atributo a ser valorado; Risco de omissão de variáveis relevantes, e consequentemente produzir resultados imprecisos	Ruídos; Poluição do Ar; Natureza e Paisagem.
MVC	Uso e Não Uso	Flexibilidade para vários fatores e diferentes situações; Capta as preferências dos indivíduos.	Se não for bem aplicado pode conduzir a erros; Demanda significativa de recursos financeiros em sua aplicação; Possibilidade de a informação não ser bem estendida pelo entrevistado, locais com mais problemas ambientais tendem a ter uma população com renda mais baixa e menor nível de instrução; Desenho inadequado conduz a muitos erros; Possível dificuldade de distinção entre o ativo valorado e conjunto maior de ativos ambientais; Escolha inadequada da amostra.	Ruídos; Poluição do Ar; Interferência em Áreas Sensíveis; Natureza e paisagem; Alterações da biodiversidade.

Fonte: Elaboração própria a partir de Motta (2006), Landmann et al. (2007), Chiquetto (1994), Danielis e Chiabai (1998), Jensen et al. (2008), Field e Field (2012), Hanley e Barbier (2009), IVEHAMMAR (2008), Maibach et al. (2008), Brandt e Maennig (2011), Tsunokawa e Hoban(1997), Batteman et al.(2011), Day et al. (2007), Istamto et al. (2014), Anderson et al.(2010), Baranzini et al. (2010), Anderson et al.(2013), Castro (2015) e Łowicki e Piotrowska (2015).

4 EVTEAS NO DNIT

Para extrair características do modo como são elaborados os Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) de empreendimentos de infraestrutura rodoviária no DNIT, e verificar se as constatações realizadas por Roscoe (2011) continuam válidas, foram analisados nove estudos licitados pelo DNIT¹⁴ nos últimos anos. Foram analisados, também, editais contendo termo de referência para contratação de tais estudos, documentos normativos contendo diretrizes para elaboração dos EVTEAs e informações obtidas através de comunicação pessoal.

Após análise do conjunto de estudos e de editais para sua contratação, verifica-se que, de modo geral, em sua elaboração, tais EVTEAs seguem as diretrizes apresentadas nos documentos EB-101: Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental de Rodovias e IS-229: Elaboração de Estudos de Viabilidade Econômica de Rodovias (Área Rural), além de algumas particularidades elencadas em termos de referência para contratação de cada estudo.

As informações que identificam os estudos analisados e um resumo de como são tratadas as externalidades ambientais são apresentadas no quadro 4.1.

¹⁴ O corpo técnico do DNIT não elabora os estudos, contrata empresas que os elaboram, e verifica se o conteúdo está de acordo com o objeto contratado.

Quadro 4.1 – Tratamento dado às Externalidades Ambientais nos EVTEAs do DNIT

Continua

Estudo	Ano	Editais	Externalidades ambientais solicitadas	Externalidades ambientais valoradas
1 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade na Rodovia BR 316 PA	2011	22/2007-02	Os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos	Nenhuma
2 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Pontos Críticos na Rodovia BR – 285/RS	2011	753/2009-00	Custos do passivo ambiental, onde deverão ser demonstrados os custos dos danos ambientais em decorrência da implantação do empreendimento e os custos das ações mitigadoras, compensatórias e de monitoramento a serem implementadas para proteção e compensação dos meios biótico, físico e antrópico	Nenhuma, mas cita que o HDM-4 realiza estimativas avaliação dos efeitos ambientais de ruídos e emissões de tráfegos dos veículos. Assim como faz considerações sobre emissões veiculares, com dados de emissões por km, mas não apresenta nenhum resultado.
3 Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica, Financeira e Ambiental para Obras de Adequação da Capacidade e Reabilitação com Melhorias para Segurança na BR-230/MA	2013	254/2007-15	Nenhuma	Nenhuma
4 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Construção, Adequação De Capacidade, Melhorias na Segurança e Correção de Pontos Críticos na Rodovia Federal BR-374	2014	203/2013-08	Os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos.	Nenhuma
5 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Pontos Críticos na Rodovia BR – 470 SC	2014	392/2007-00	Nenhuma	Nenhuma

Estudo	Ano	Editais	Externalidades ambientais solicitadas	Externalidades ambientais valoradas
6 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Segmentos Críticos da Rodovia BR-153/RS	2014	228/20 10-10	Nenhuma	Nenhuma
7 Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade com Melhoria de Segurança e Eliminação de Pontos Críticos da Rodovia Federal Br-230/PA – “Complexo Rodoviário de Marabá”.	2015	877/20 12-00	Os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos.	Nenhuma
8 Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica E Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Pontos Críticos na Rodovia BR – 282/SC, no Estado de Santa Catarina	2015	677/20 12-00	Os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos.	Nenhuma
9 Execução dos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (1ª Etapa) e Elaboração do Projeto Executivo de Engenharia para Melhoramentos em Rodovias para Adequação de Capacidade e Segurança de Segmento(2ª Etapa) na Rodovia BR 367/BA.	2015	099/20 13	Os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos.	Nenhuma, com a justificativa: “Estes custos são de montante irrisório, uma vez que a rodovia se desenvolve quase que totalmente em área rural muito aquém de situações de congestionamento. Assim, não foram computados custos ou benefícios para este item”

Fonte: Elaboração própria com base nos dados obtidos dos estudos apresentados no Quadro 4.1.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS EVTEAS

De modo a investigar métodos de valoração ambiental que possam ser aplicáveis aos EVTEAs do DNIT, faz-se relevante o conhecimento de algumas características básicas do processo de avaliação econômica dos EVTEAs.

Em geral todos os estudos possuem um mesmo nome: *Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Segmentos Críticos da Rodovia BR "XX"*. Em situações ideais, os problemas são previamente identificados em uma rede de transportes e são propostas e estudadas soluções para os problemas encontrados.

Entre as alternativas estudadas o EVTEA deve buscar propor a solução mais viável para a sociedade realizando uma avaliação econômica fundamentada em uma Análise Custo Benefício, e tal análise, principalmente nos estudos mais recentes é realizada com o auxílio de um software, o HDM-4. De acordo com a IS-229 - Instruções de Serviço para Estudos de Viabilidade Econômica de Rodovias (Área Rural), a metodologia para análise econômica inicialmente desenvolvida pelo Banco Mundial, HDM-4 *Highway Development & Management*, é aceita de forma satisfatória para os objetivos dos estudos de viabilidade.

BRASIL (2014a) cita que os principais custos e benefícios que devem ser estimados são separados em duas categorias, o cenário atual da rodovia (base) e cenários com intervenções:

- a) Na situação atual (ou cenário base), devem ser estimados os custos somente com a programação de conservações, restaurações e/ou reconstruções já programadas.
- b) No cenário com intervenções, devem ser estimados os custos de investimentos com as intervenções decorrentes das alternativas estudadas, considerando-se, no mínimo:
 - Custos de elaboração de EVTEA e Projetos;
 - Custos de implementação dos empreendimentos, onde deverão ser demonstrados os custos com a execução dos estudos e projetos, desapropriação, construção das obras, supervisão de obras e eventuais serviços a serem executados particularmente para o trecho. É de suma

importância que o orçamento seja discriminado por tipo de intervenção pretendida, de tal forma que se possam ranquear as mais importantes nas alternativas das verificações de viabilidade parciais;

- Custos de Conservação;
- Custos de Restauração;
- Custos de Reconstrução;
- Custos de Infraestrutura Operacional da Rodovia;
- Custos de Supervisão das Obras e de Supervisão Ambiental;
- Custos Ambientais, onde deverão ser demonstrados os custos dos danos ambientais em decorrência da implantação do empreendimento e os custos das ações mitigadoras, compensatórias e de monitoramento a serem implementadas para proteção e compensação do meio biótico, meio físico e meio antrópico; e
- Os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos.

Os benefícios são divididos em diretos em indiretos. Os benefícios diretos, na maioria dos casos, são estimados por meio da redução de custos entre as alternativas propostas e a alternativa base, já os benefícios indiretos, decorrem principalmente do desenvolvimento social e econômico da região (BRASIL, 2006a).

Os benefícios diretos, que se aplicam tanto aos tráfegos normal, desviado e gerado, são calculados principalmente pela (BRASIL, 2014a):

- a) Redução do custo operacional;
- b) Redução do custo de tempo de viagem;
- c) Redução do custo de tempo de carga parada;
- d) Redução do custo de manutenção;
- e) Redução do custo de acidentes; e
- f) **Redução do custo de emissão de gases e ruídos.**(grifo nosso)

De acordo com BRASIL (2006a), os benefícios indiretos que resultam do desenvolvimento social e econômico da região são representados por:

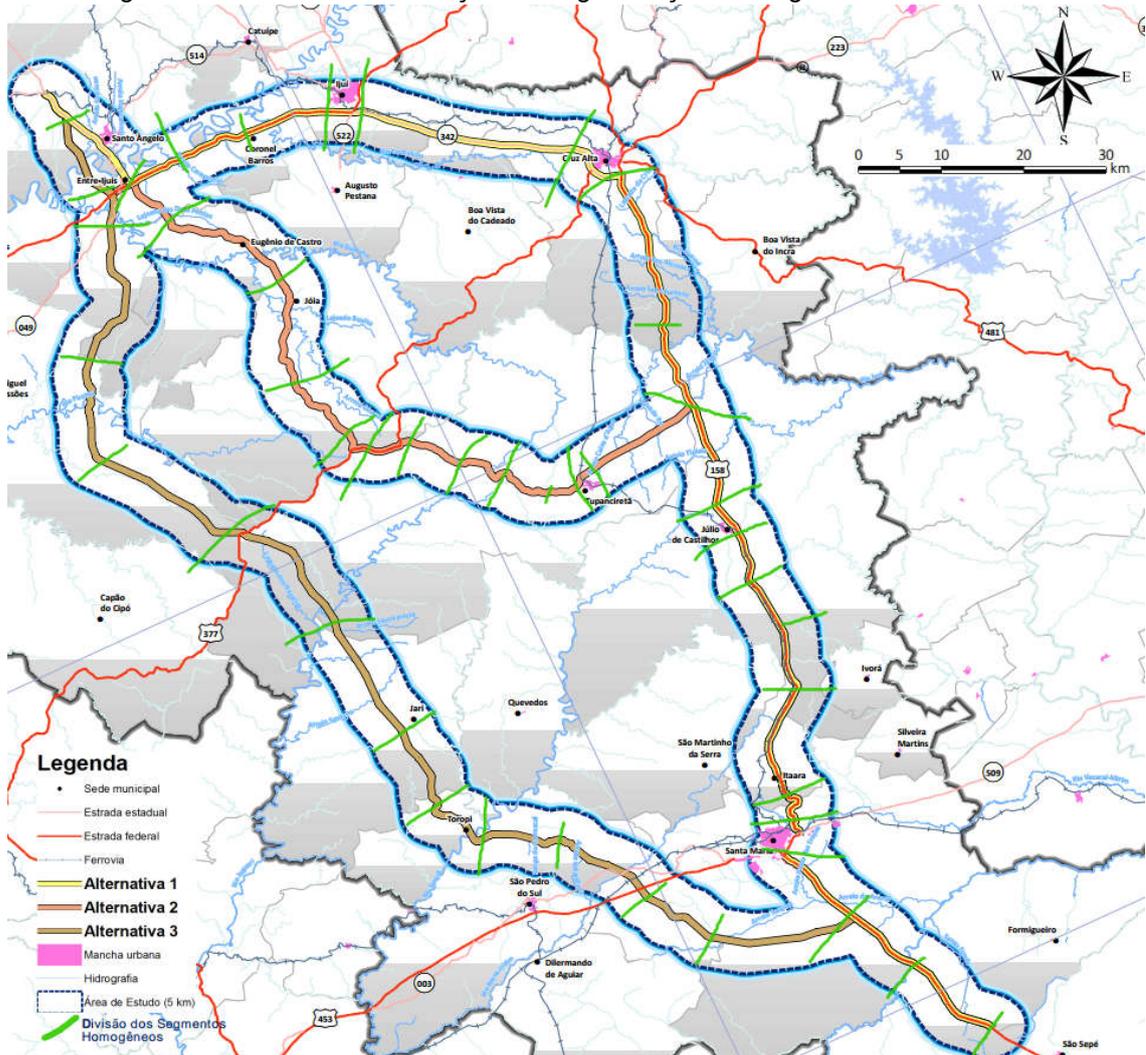
- a) Crescimento líquido da produção local;
- b) Valorização real das propriedades localizadas na área de influência da rodovia; e

- c) Evolução social, da renda e da redistribuição adequada da população domiciliada na região estudada.

A figura 4.1 apresenta um exemplo hipotético de como são as alternativas de traçado avaliadas em um EVTEA, assim como um exemplo da divisão em segmentos homogêneos. Observa-se que há uma alternativa base (rodovia existente) e outras alternativas de intervenções.

Os segmentos homogêneos são segmentos da rodovia que apresentam características comuns em toda a sua extensão. As características podem ser físicas como: regiões planas, de alicve ou declive; muitas curvas; pista dupla ou simples; áreas rurais ou interferências em áreas urbanas, entre outras.

Figura 4.1- Alternativas de Traçado e Segmentação Homogênea em um EVTEA.



Fonte: BRASIL (2014e), Modificado.

O Quadro 4.2, apresenta informações existentes em um EVTEA, e que dentro das características das externalidades ambientais do setor de transportes rodoviários e dos métodos de valoração ambiental, que apresentam potencialidade de serem utilizados em um processo de valoração ambiental, sem a necessidade de busca de dados adicionais.

Quadro 4.2 - Informações Úteis à Valoração

Dados	Potenciais usos na valoração
Taxa de crescimento da região Dados demográficos	Previsão de ocupação populacional
Tráfego atual e projeção futura	Projeção da extensão dos danos ambientais; Quantificação de emissões e ruídos.
Determinação da composição da frota atual e futura	Projeção de extensão de impactos ambientais; Quantificação de emissões e ruídos.
Divisão da rodovia em segmentos homogêneos	Segmentos da rodovia com características semelhantes; Uso em modelos de quantificação e dispersão de poluentes atmosféricos, e modelos de dispersão de ruídos.
Utilização do software HDM-4	Quantificação de emissões veiculares; Inclusão de externalidades ambientais na avaliação econômica.
Estudos Ambientais	Avaliação e extensão dos impactos ambientais existentes e potenciais. Dados meteorológicos; Avaliação qualitativa da extensão dos impactos.
Modelo digital do terreno	Condições topográficas da área; Utilização em modelos de dispersão de poluentes e ruídos.

Fonte: Elaboração Própria com base em dados do estudo.

Entre os dados apresentados no Quadro 4.2 que podem contribuir de modo bastante significativo às particularidades de cada EVTEA e que diferenciam-se de outras metodologias utilizadas na valoração de externalidades ambientais de rodovias, está a divisão em segmentos homogêneos (permitindo que as características da rodovia possam ser analisadas com mais detalhes nos pontos mais relevantes) e a utilização do modelo HDM-4. As principais informações do HDM-4 são apresentadas em 4.1.1.

4.1.1 HDM - *Highway Development and Management Model (HDM-4)*

O HDM-4 (*Highway Development and Management Model*) é uma ferramenta computacional destinada ao auxílio no gerenciamento de pavimentos do DNIT assim como na avaliação econômica dos EVTEAs. A produção de um modelo de avaliação de projetos rodoviários teve origem através de iniciativas do Banco Mundial em 1968, por meio de estudos em conjunto com o *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL) e o *Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées* (LCPC). O *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) elaborou o modelo *Highway Cost Model* baseado nas condições disponíveis na época, que foi um avanço na análise das interações entre custos de construção, de manutenção e de operação dos veículos. Apesar desta evolução, ainda faltava uma base empírica que se adequasse a diversas regiões, assim como países em desenvolvimento, que em tese seriam os que mais necessitavam realizar avaliações econômicas em seus projetos (KLEIN, 2005).

A base empírica, adequação a diversas regiões, incluindo países em desenvolvimento, ocorreu através de estudos realizados pelo TRRL e pelo Banco Mundial no Quênia, no Caribe, na Índia e no Brasil. No caso brasileiro, houve um convênio entre o governo brasileiro, através do Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes (GEIPOT) e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o que resultou na elaboração do HDM-III (KLEIN, 2005; NUNES, 2012).

Com o passar dos anos, constatou-se que as relações técnicas presentes nos modelos ficaram ultrapassadas. Foi necessário que os modelos até então utilizados fossem reformulados para a incorporação de maior variedade de tipos e estruturas de pavimentos e condições de utilização, além de considerar efeitos de congestionamentos, climas frios, aspectos relacionados a acidentes e efeitos ambientais. Diante disso, o *International Study of Highway Development and Management* (ISOHDM), projeto internacional coordenado pela PIARC (World Road Association), foi conduzido para estender o alcance do modelo HDM-III, obtendo-se o programa de análise técnico-econômica *HDM-4 - Highway Development & Management* (KLEIN, 2005; NUNES, 2012).

O HDM-4 simula as condições físicas e econômicas do modal de transporte rodoviário em um determinado período de análise, para uma série de alternativas de

estratégias de intervenções e cenários de investimentos especificados pelo usuário (CHANDRAMA PRASAD et al., 2013) e é uma ferramenta mundialmente reconhecida no que diz respeito ao auxílio a engenheiros em Sistemas de Gerência Rodoviários, principalmente para análises econômicas de alternativas de investimentos (NUNES, 2012).

A grande utilidade e disseminação do HDM-4 deve-se ao fato de ser um modelo capaz de reunir as principais características do modal de transporte rodoviário (condições da rodovia, custos de manutenção, custos de operação, custos de tempo de viagem, entre outros) e apresentar auxílio no estudo de viabilidade econômica através dessas informações, remetendo dados finais de saída, indicadores econômicos como Taxa Interna de Retorno(TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e relação benefício Custo (B/C) para cada alternativa de análise (NUNES, 2012).

O uso do software HDM-4 na análise de viabilidade técnica e econômica em obras de infraestrutura de transportes é obrigatório para obtenção de recursos para investimento no Banco Mundial, sendo exigido também na solicitação de financiamentos em outras agências de fomento, como o BID, CAF e BNDES (DNIT, 2016).

O software HDM-4, se calibrado corretamente, apresenta um potencial a contribuir no auxílio da valoração de externalidades relativas à poluição atmosférica e mudanças climáticas. Entre suas opções de uso, o HDM-4 pode fornecer dados de emissão de gases, além de incorporar o efeito dos ruídos na avaliação econômica (neste caso o valor referente a ruídos deve ser obtido por outra fonte) (BENNETT e GREENWOOD, 2004).

Nos EVTEAs de empreendimentos rodoviários analisados, observa-se a utilização do HDM-4 como ferramenta de avaliação econômica em todos os estudos, porém, em nenhum deles foram atribuídos dados relativos ao meio ambiente. O que poderia ocorrer pela dificuldade em se calibrar corretamente os parâmetros de entrada, pela descrença que os fatores relativos ao meio ambiente podem contribuir de alguma forma na avaliação econômica ou simplesmente para poupar trabalho.

Pelo fato do HDM-4 incorporar uma grande quantidade de parâmetros de entrada de modo a obter dados mais precisos observa-se uma maior potencialidade de resultados mais consistentes na quantificação das emissões comparando-se a aos outros métodos utilizados em guias de avaliação econômica de projetos de

transportes. Os parâmetros de entrada que tornam seu uso relevante para serem utilizados no processo de valoração ambiental dos EVTEAs, são apresentados no quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Parâmetros Avaliados no HDM-4

Característica	Descrição	Relevância
Divisão em segmentos homogêneos	Permite que a rodovia seja dividida em segmentos que apresentam características semelhantes de geometria ou interferência em áreas urbanas	As emissões dependem de características da rodovia.
Calibração por tipo de combustível	Cada classe de veículo pode utilizar um tipo de combustível diferente	As emissões dependem do tipo de combustível utilizado.
Dados geométricos e topográficos da rodovia		As emissões dependem de características geométricas e topográficas da rodovia.
16 classes de veículos	16 tipos diferentes de veículos	Pode haver uma variação muito maior que simplesmente separar em veículos de carga e leves. As emissões dependem da tecnologia do sistema de combustão.
Volume de tráfego	Quantidade de veículos transitam no intervalo de uma hora	As emissões dependem da quantidade de veículos.
Velocidade dos veículos	Velocidade média percorrida no segmento	As emissões dependem da velocidade dos veículos.
Combustível	Combustível utilizado em cada classe de veículo	As emissões dependem da composição do combustível utilizado e são proporcionais ao consumo de combustível.
Poluentes quantificados	Hidrocarbonetos; Monóxido de carbono; Óxido Nitroso; Dióxido sulfúrico; Dióxido de carbono; Material Particulado; chumbo ¹⁵	Possui os principais poluentes objeto de análise.
Taxa de crescimento do tráfego	Pode prever a variação do número de veículos ao longo do período de análise, não sendo necessariamente a mesma variação para todos os veículos.	Permite prever as alterações das emissões ao longo do tempo, em função do número de veículos.

Fonte: Elaboração própria, com dados de Wightman, Stannard e Dakin (2004) e Bennett e Greenwood (2004).

¹⁵ Considerando que nos parâmetros de entrada de dados do software, são inseridas as características dos combustíveis utilizados, o chumbo que não está presente na composição dos combustíveis utilizados no Brasil, apresentará valor nulo nas emissões.

Com esses parâmetros de entrada é possível obter uma maior precisão na estimativa das emissões para o conjunto total de veículos que circulam pela rodovia, que apenas utilizar valores médios de emissões por veículo, ou uma função que dependa apenas do tipo de veículo e combustível sem considerar as características da rodovia.

4.2 EXTERNALIDADES AMBIENTAIS PRESENTES NOS EVTEAS DO DNIT

Na análise ao conjunto de EVTEAs do DNIT foram identificadas as principais fontes geradores de externalidades ambientais que estão presentes nos estudos. Tais fontes em geral são tratadas apenas como impactos ambientais. O Quadro 4.4 apresenta os impactos que foram identificados e a classe de externalidade que cada impacto pode gerar, assim como também há a indicação em que fase esses impactos ocorrem, se na implantação (construção da rodovia) ou operação (uso da rodovia).

Constata-se que os impactos que ocorrem com grande frequência referem-se as classes de externalidades: danos na natureza e paisagem, e alterações da biodiversidade, assim como há alguns casos (porém significativos) de interferências em áreas sensíveis. Isso pode ser relevante no processo de valoração das externalidades ambientais.

No conteúdo dos EVTEAs, observou-se que na descrição de grande parte dos impactos identificados, não são, em geral, apresentadas informações de como tais impactos geram externalidades, como de estimar o seu valor e tampouco uma quantificação dos impactos. Isto possivelmente ocorre devido ao fato de potenciais impactos ambientais serem citados com a intenção de se propor medidas para mitigar seus efeitos em casos onde há possibilidade. No entanto, nos casos em que não há a possibilidade de eliminar os efeitos não são tratados como externalidades e tampouco incluídos na avaliação econômica¹⁶.

¹⁶ Tal hipótese sobre o tratamento dado aos aspectos ambientais é corroborada por Véron (2010), ao mencionar que o objetivo destes estudos é obter licenças ambientais e não fazer um trabalho de avaliação.

Quadro 4.4 - Impactos Ambientais Identificados nos EVTEAs do DNIT

Impacto	Fase	Classe de Externalidade
Exposição do solo a processos erosivos	Implantação.	Danos a Natureza e Paisagem.
Contaminação do solo e recursos hídricos por combustíveis óleo e graxas e produtos químicos	Implantação; Operação.	Poluição da Água e do Solo.
Geração de ruídos e material particulado	Implantação.	Ruídos; Poluição Atmosférica.
Poluição atmosférica	Implantação; Operação.	Poluição Atmosférica;
Alteração de regime hídrico	Implantação; Operação	Danos a Natureza e Paisagem; Alterações na Biodiversidade.
Alteração do padrão cênico - Paisagístico	Implantação; Operação.	Danos a Natureza e Paisagem;
Supressão de vegetação	Implantação	Danos a Natureza e Paisagem; Alterações na Biodiversidade.
Geração de estresse sobre a fauna	Implantação operação	Alterações na Biodiversidade; Natureza e Paisagem.
Atropelamento e morte de animais	Implantação; Operação	Natureza e Paisagem; Alterações na Biodiversidade.
Criação de barreiras a dispersão de animais	Implantação; Operação	Natureza e Paisagem; Alterações na Biodiversidade.
Substituição gradual de formações florestais por áreas abertas	Operação	Natureza e Paisagem; Alterações na Biodiversidade.
Alteração em sítios arqueológicos	Implantação	Interferências em Áreas Sensíveis.
Interferência em comunidades Indígenas e Tradicionais	Implantação; Operação	Interferências em Áreas Sensíveis.
Alteração do uso do solo	Implantação; Operação	Natureza e Paisagem;
Interferências em pontos de captações de água	Implantação; Operação	Poluição da Água e do Solo;
Alteração da qualidade das águas	Implantação; Operação	Poluição da Água e do Solo;
Redução de habitats	Implantação; Operação	Natureza e Paisagem; Alteração da Biodiversidade.
Alteração da paisagem natural	Implantação; Operação	Natureza e Paisagem; Alteração da Biodiversidade.
Emissão de ruídos	Operação	Ruídos.
Emissão de gases	Operação	Poluição do Ar.

Fonte: Elaboração própria a com base nos estudos apresentados no Quadro 4.1 e em Pimenta et al. (2014).

Embora grande parte da literatura referente a externalidades ambientais no transporte rodoviário aponte mudanças climáticas como uma das externalidades mais relevantes, tal externalidade não chega a ser citada nos EVTEAs do DNIT. Tal fato deve-se provavelmente a intenção de apenas citar impactos ambientais que possam ter algum programa ambiental exigido por um órgão ambiental em um eventual processo de licenciamento ambiental do que analisar os impactos que podem realmente ocorrer.

Nos estudos analisados há variações entre o detalhamento dos custos ambientais exigidos. Entretanto o que mais se aproxima de valores monetários em todos os estudos, são estimativas de custos para mitigar potenciais impactos ambientais advindos das obras. O modo como tais custos foram estimados, na maioria dos estudos, foi através de uma estimativa de custos necessários a execução de programas ambientais que são comumente exigidos por órgãos ambientais no processo de licenciamento ambiental. Em caso de interferências com unidades de conservação é previsto um valor máximo de 0,5 % do valor das obras como compensação ambiental (apenas por uma exigência legal). UK GOVERNMENT (2015) menciona que a quantificação de impactos não deve ser uma fração do valor do empreendimento, mas sim deve considerar os reais danos ao meio ambiente.

A publicação IPR 726 - Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, não menciona a obrigatoriedade de se considerar valores monetários das externalidades relativas ao meio ambiente na análise econômica, citando apenas que nos custos de construção do empreendimento devem ser considerados custos das medidas de proteção ambiental.

Nos termos de referência, que apresentam as diretrizes mais específicas de como devem ser elaborados os EVTEAs contratados, há recomendações ou obrigatoriedade de que sejam estimados os custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos. Isso pode ser interpretado como incorporação de algumas externalidades ambientais na avaliação econômica. Porém, em nenhum dos estudos analisados tais custos foram estimados. Em um dos estudos há a justificativa de que:

“Estes custos são de montante irrisório, uma vez que a rodovia se desenvolve quase que totalmente em área rural muito aquém de situações de congestionamento. Assim, não foram computados custos ou benefícios para este item”. (BRASIL, 2015 p.323).

Apesar de haver a justificativa não há nenhuma informação adicional que fundamente tal afirmação.

Algo que chama a atenção é modo como, em alguns casos, os custos relativos à poluição do ar e ruídos são solicitados, pois estão no formato como o descrito em BRASIL (2016 p.2):

“Dados de redução da poluição sonora e atmosférica, também **poderão** compor os cálculos dos estudos apresentados, **desde que devidamente fundamentados**, principalmente nas regiões de concentração populacional”. (grifo nosso).

O fato de no texto citado de BRASIL (2016 p.2) haver a observação de que tais dados estejam devidamente fundamentados, é um dos possíveis motivos pelos quais as empresas que elaboram os EVTEAs para o DNIT, não estimem os custos das externalidades relativas à poluição do ar e sonora.

Considerando o Edital 453/2014, que tem por objeto à contratação de empresa especializada para a elaboração de 60 EVTEAs ao longo de 3 anos, em relação a custos ambientais há as seguintes exigências relativas a custos que devem ser estimados:

“Custos Ambientais, onde deverão ser demonstrados os custos dos danos ambientais em decorrência da implantação do empreendimento e os custos das ações mitigadoras, compensatórias e de monitoramento a serem implementadas para proteção e compensação do meio biótico, meio físico e meio antrópico; (BRASIL, 2014 p.68)”

[...]

“Os custos decorrentes **da emissão de poluentes e da produção de ruídos**”; (BRASIL, 2014 p.68)(grifo nosso)

[...]

“As estimativas das quantidades **deverão refletir o máximo grau de detalhe e precisão possíveis**, adotando-se os mesmos critérios e conceitos para todas as alternativas em análise.” (BRASIL, 2014 p.74) (grifo nosso)

Wanka (2016) informa que, apesar de ser solicitada a realização de uma estimativa de custos decorrentes da emissão de poluentes e da produção de ruídos,

o consórcio que elabora tais EVTEAs não estima tais custos em virtude de não haver uma metodologia para estimar tais custos no Brasil (informação verbal)¹⁷.

Com a análise ao conteúdo dos EVTEAs, editais contendo termos de referências para a elaboração de tais estudos e a informações verbais, verifica-se que as externalidades ambientais não são incorporadas na avaliação econômica, mesmo quando solicitadas, valendo-se da falta de diretrizes a respeito de valoração ambiental nos manuais do DNIT para justificar a não execução da atividade por parte das empresas que elaboraram os EVTEAs para o DNIT.

¹⁷ Informação fornecida por João Vicente H. G. K. Wanka (membro da equipe técnica do consórcio vencedor da licitação que contempla o edital 453/2014) durante reunião realizada com equipe técnica do DNIT em Brasília - DF, em agosto de 2016.

5 METODOLOGIA DE VALORAÇÃO AMBIENTAL

Entre as características dos EVTEAs estão a avaliação econômica *ex ante* com um período de análise de 20 anos e a realização de estudos tanto para casos de implantação como adequação de rodovias. Neste contexto, em várias situações não se está avaliando uma alternativa que existe fisicamente e permanecerá igual, mas sim situações hipotéticas (de projeto) e/ou simulações de situações futuras. O objetivo da metodologia de valoração ambiental é, portanto, propor diretrizes que permitam a realização de um processo de valoração das externalidades ambientais aplicável a qualquer EVTEA do DNIT, com um nível de precisão razoável para a tomada de decisões, e não a realização de um único processo de valoração ambiental para um EVTEA específico.

Maibach et al. (2008) citam que resultados mais precisos ocorrem quando a metodologia é elaborada para o caso concreto, baseada em processos de valoração e dados próprios e há uma precisão menor quando ocorre a transferência de valores para áreas específicas e situações de tráfego próprias, que seria o caso dos EVTEAs do DNIT. Consequentemente, não é conveniente utilizar dados de outros estudos que forneçam um valor para cada externalidade ambiental em termos de unidade monetária para cada km de rodovia, veículo, passageiro ou tonelada de carga transportada, pois aqueles valores provavelmente são válidos apenas no local do estudo original.

De Rus et al. (2010) observam que a avaliação econômica pode pecar por dois erros extremos que afetam os impactos ambientais: O primeiro, por omissão, quando os aspectos ambientais não são levados em consideração. O outro é quando há um dispêndio grande de esforço em quantificar custos e benefícios.

Partindo do pressuposto afirmado por ARE (2016) de que é impossível calcular externalidades sem fazer considerações e simplificações, e levando em consideração as observações de Maibach et al. (2008), de De Rus et al. (2010) e de DEFRA (2007)¹⁸, no desenvolvimento de uma abordagem para valoração das

¹⁸ Uma grande vantagem da transferência de benefícios é a redução da necessidade da realização estudos primários de valoração para cada ACB realizada, principalmente em ACBs que envolvam um grande número de impactos sem valor de mercado, pois nestes casos poderia ser inviável a realização de todos os estudos primários de valoração ambiental necessários (DEFRA, 2007). Outro fator levado em consideração refere-se a observação realizada por DEFRA (2007) de que em situações onde alguma decisão depende fortemente da precisão do valor monetário das externalidades ambientais um estudo de valoração primário poderia ser justificável.

externalidades ambientais dos EVTEAs, considerando tanto os recursos como o tempo disponível para a realização dos estudos, procurou-se utilizar-se das práticas mais viáveis ou que forneçam uma maior precisão no processo de valoração ambiental para cada externalidade, inclusive valendo-se da transferência de benefícios em casos onde possa ser aplicável, como no caso da transferência de funções dose resposta ou preços sombra.

5.1 CONCEPÇÃO DA METODOLOGIA DE VALORAÇÃO

Para que se seja possível valorar uma externalidade ambiental, inicialmente deve-se identificar e mensurar os impactos (DIXON e PAGIOLA, 1998), assim como identificar as externalidades geradas em cada impacto. Considerando que as diretrizes propostas não têm o objetivo de abranger toda uma ACB, mas sim apenas os pontos necessários para que as externalidades ambientais possam ser incluídas na avaliação econômica dos EVTEAs, a metodologia de valoração proposta (representada no diagrama 5.1) baseia-se em apenas quatro das etapas essenciais, apresentadas por Hanley e Spash (1993), que devem ser utilizadas em uma análise custo benefício:

- a) **Identificação dos impactos:** identificação das fontes de externalidades do setor de transportes rodoviários;
- b) **Identificação dos impactos economicamente relevantes:** identificar quais das fontes de externalidades são economicamente relevantes um EVTEA;
- c) **Quantificação dos impactos economicamente relevantes:** proposição de abordagens para quantificação de tais fontes de externalidades; e
- d) **Valoração monetária dos impactos economicamente relevantes:** proposição de métodos para valoração de cada externalidade.

A partir das etapas essenciais, como espera-se obter diretrizes a serem aplicadas a vários EVTEAs, essas etapas foram divididas em dois blocos:

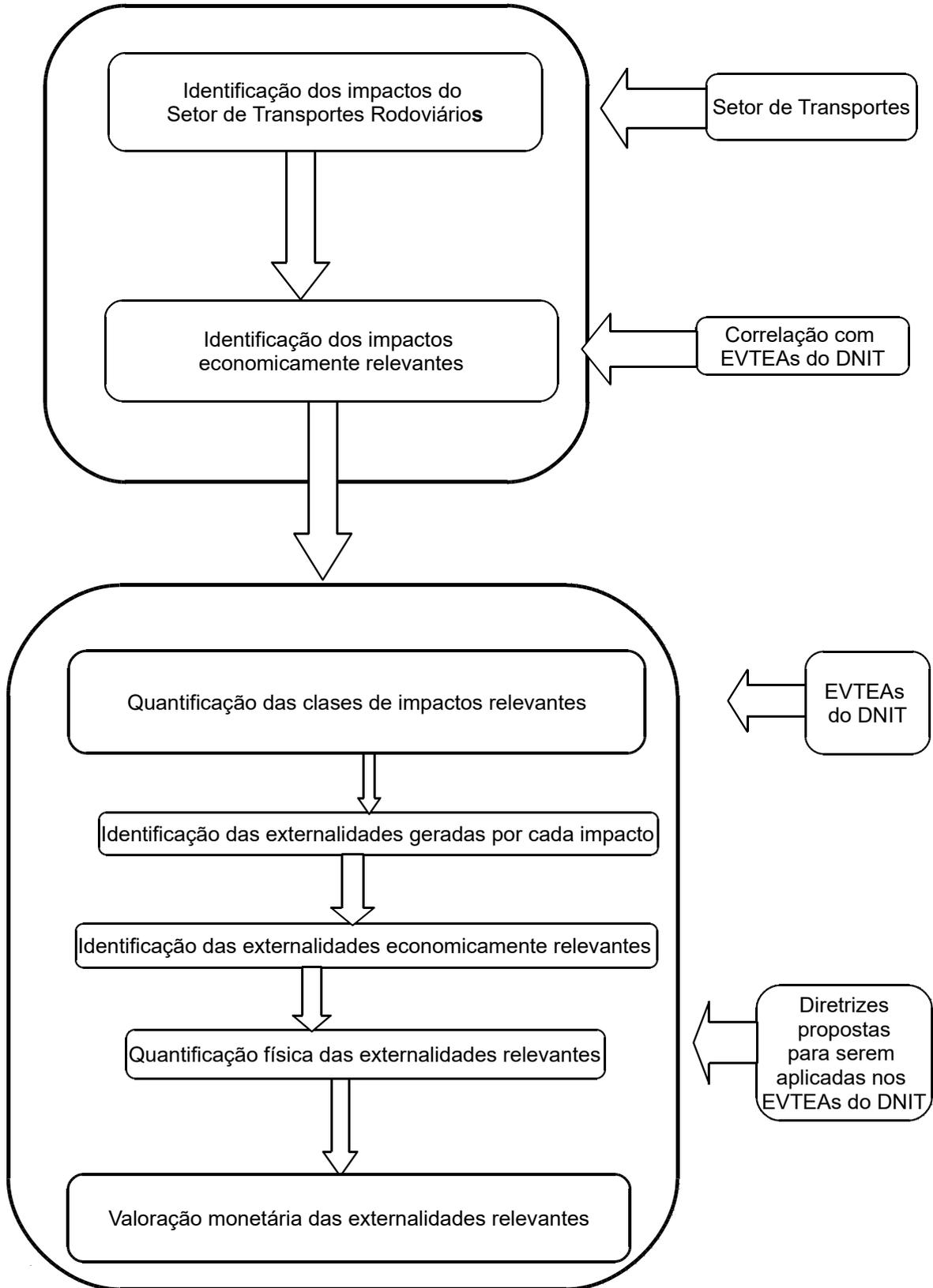
- a) O primeiro envolve a identificação dos impactos geradores de externalidades ambientais e a identificação de quais deles são economicamente relevantes. Tal bloco é aplicável ao setor de transportes rodoviário como um todo, e fornece considerações gerais; e

- b) O segundo, partindo da previa identificação dos impactos economicamente relevantes do setor de transportes, apresenta uma abordagem de valoração ambiental com diretrizes que devem ser seguidas em cada EVTEA, para a quantificação e valoração de cada impacto economicamente relevante.

A elaboração da abordagem proposta para valorar monetariamente cada fonte de externalidade ambiental identificada no setor de transportes é baseada nessas etapas:

- a) Identificação das externalidades geradas;
- b) Identificação das externalidades que são economicamente relevantes: com base em conhecimento científico e avaliação de cada caso em concreto;
- c) Quantificação das externalidades economicamente relevantes: valendo-se de técnicas aplicáveis às informações disponíveis (ou que possam ser obtidas com recursos financeiros e tempo dentro de limites aceitáveis para o estudo);
- d) Valoração monetária das externalidades economicamente relevantes: aplicação de técnicas de acordo com a característica de cada caso.

Figura 5.1 - Metodologia de Valoração Ambiental Proposta



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do estudo.

5.2 METODOLOGIA – SETOR DE TRANSPORTES RODOVIÁRIOS

5.2.1 Identificação dos Impactos

As principais fontes de externalidades ambientais geradas no setor de transportes, como já assinalado no capítulo 2, inicialmente foram identificadas através de consulta a artigos científicos e livros relacionados ao transporte rodoviário, assim como a guias de avaliação econômica de projetos de transportes. Posteriormente, de modo a identificar a potencial relevância de tais fontes de externalidades no caso brasileiro, houve a correlação com impactos ambientais identificados para rodovias brasileiras sob gestão do DNIT¹⁹, assim como aos impactos ambientais identificados nos EVTEAs do DNIT. Os impactos foram agrupados em categorias de fontes de externalidades ambientais do setor de transportes rodoviário resultando em 8 principais classes de fontes de externalidades ambientais:

- a) Poluição do Ar;
- b) Ruídos;
- c) Mudanças Climáticas;
- d) Natureza e Paisagem;
- e) Processos pré e pós uso;
- f) Degradação solo e água;
- g) Alterações na Biodiversidade; e
- h) Interferência em Áreas Sensíveis.

5.2.2 Impactos Economicamente Relevantes

A identificação de quais fontes de externalidades são economicamente relevantes para serem incluídas em uma ACB, foi realizada através da consulta a publicações que apresentam dados de valoração para um conjunto de externalidades (ambientais ou não) do transporte rodoviário²⁰.

No processo de identificar quais externalidades são relevantes foram utilizados apenas estudos que apresentassem dados para um conjunto de

¹⁹ Em Pimenta et al.(2014)

²⁰ Em estudos que apresentavam outras externalidades além das ambientais, para que fosse possível a comparação relativa, foram selecionadas apenas as externalidades ambientais.

externalidades ambientais, ou seja, em tal etapa não foram utilizados estudos que apresentassem dados quantitativos apenas para uma ou duas externalidades.

Para que os dados das diversas publicações pudessem ser comparados entre si, pois são de países com características distintas, obtidos por métodos distintos em períodos diferentes e com ano-base distintos, assim como apresentados de forma distinta²¹, os valores monetários de cada classe de externalidade foram convertidos em frações do conjunto de externalidades ambientais. Tais resultados são apresentados na tabela 5.1.

A comparação realizada, apresenta limitações, principalmente pela falta de dados em um formato que permitissem uma comparação apenas de externalidades do modal rodoviário. Ela deve ser entendida apenas como um indicativo de quais podem as externalidades mais relevantes economicamente. Devido a esta carência de dados e a pouca consistência nos resultados, para que os resultados pudessem ser confirmados foram utilizadas informações de publicações que citam quais são as classes de externalidades mais relevantes economicamente, mesmo que não apresentassem dados quantitativos.

É importante destacar que os dados da Tabela 5.1 são apenas um referencial para a identificação das externalidades mais relevantes do setor de transportes rodoviários em termos médios. No entanto, como cada EVTEA possui características próprias da região do estudo e das soluções de engenharia propostas deve-se antes realizar uma avaliação qualitativa dos impactos ambientais de modo a determinar a potencial relevância econômica de cada externalidade. Ao assim proceder, algumas que não figuram relevantes nesta comparação podem apresentar grande relevância econômica em um projeto específico, principalmente em casos onde ocorram interferências em comunidades tradicionais (indígenas e quilombolas) ou unidades de conservação²².

Entre os estudos analisados há uma variação nos resultados obtidos para o conjunto das externalidades, assim como existem diferenças entre ambiente rural e urbano, tal variação, em parte, deve-se à forma como cada externalidade foi calculada, assim como características locais.

²¹ As vezes em porcentagem, valor monetário absoluto ou custo médio marginal

²² Os dados da tabela, foram obtidos principalmente em estudos europeus, que apresentam algumas características distintas do Brasil.

Algo que se destaca nos dados é a relevância dos custos externos ocorridos com processos pré e pós uso, além da variação no valor dos dados entre diferentes estudos.

Tal variação deve-se ao método como os valores foram obtidos em cada estudo, assim como os fatores que foram considerados. Em alguns casos são considerados os custos das externalidades relativas ao processo de implantação da rodovia, em outros não. Outro fator que contribui para que haja relevância econômica de tal externalidade é que significativa parcela dos custos são referentes às externalidades da geração da energia elétrica²³ (utilizada tanto para mover veículos elétricos como na produção e descarte de qualquer tipo de veículo), que muitas vezes é nuclear e no valor das externalidades estão incluídos os riscos de acidentes.

As externalidades com maior relevância obtidas do conjunto são as relativas à qualidade do ar, ruídos, mudanças climáticas e processos pré e pós uso. Devido a considerações das diferenças existentes em países europeus e o Brasil, assim como formas práticas de quantificar e valorar as externalidades de processo pré e pós uso, tal classe não será objeto de estudo direto na metodologia proposta para os EVTEAs do DNIT.

Embora nos dados da Tabela 5.1 não seja verificada significativa relevância econômica para alterações na biodiversidade assim como danos à natureza e paisagem, de acordo com os dados obtidos dos impactos ambientais dos EVTEAs do DNIT e da observação de ARE(2016)²⁴, preliminarmente julga-se que pode haver potencial relevância econômica para tais externalidades em rodovias brasileiras.

²³ Em muitos casos, a geração de energia elétrica é realizada por centrais nucleares e no valor das externalidades estão incluídos os riscos de acidentes.

²⁴ Somente a fragmentação de habitats causada pela construção da rodovia já é considerada suficientemente relevante para que os custos sejam calculados.

Tabela 5.1 - Externalidades Economicamente Relevantes (Expressas em Fração Percentual do Conjunto de Externalidades Ambientais)

Externalidade	Cravioto et al. (2013)-	ARE (2016)	Van Essen et al. (2011)	VAN Essen et al. (2011)	NSW GOVERNMENT (2013)	NSW GOVERNMENT (2013)	UK GOVERNMENT (2015b)	Becker et al. (2012)
Qualidade do Ar	30,23	35,6	20,7	40,7	40,8	0,74	18,7	27,62
Ruídos	20,9	25,8	6,9	13,5	6,8	1,22	12,5	7,60
Mudanças Climáticas	48,8	21,7	51,1	17,2	9	16,2	68,75	42,33
Natureza e paisagem		13,3	1,7	3,9	0,7	12,3		
Processos pré e pós uso		2	15,55	19,2	36,4	65		22,44
Degradação solo e água		2	1,8	3,5	6,2	4,3		
Perda de Biodiversidade			0,98	1,9				
Total de Externalidades Ambientais (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Observações	Pais: México Ano base: 2006	País: Suíça Ano Base: 2012	País: CE 27 Ano Base: 2008 Alto impacto de GEE	País: CE 27 Ano Base: 2008 Baixo impacto de GEE	País: Austrália Veículos pesados Ambiente urbano Ano base: 2014 ²⁵	País: Austrália Veículos pesados Ambiente rural Ano base: 2014	País: Inglaterra Ano Base: 2010	País: CE 27 Ano Base: 2008 Veículos leves Baixo impacto de GEE

Fonte: Elaboração Própria com base em Cravioto et al. (2013), Van Essen et al.(2011), Becker et al. (2012), NSW GOVERNMENT (2013), ARE (2016) e UK GOVERNMENT (2015b)

²⁵ Valores indexados para ano de 2014.

O quadro 5.2 apresenta as externalidades que foram identificadas como economicamente relevantes na infraestrutura de transportes rodoviários, assim como outras que tendem a apresentar potencial relevância no Brasil. Por exemplo, o fato de interferências em áreas sensíveis nem sequer figurar na comparação deve-se ao fato que grande parte dos resultados quantitativos foram obtidos de estudos realizados em países desenvolvidos que não possuem alguns fatores como comunidades indígenas ou um alto grau de biodiversidade.

Quadro 5.1 - Externalidades Economicamente Relevantes

Classe de Externalidade	Considerações
Poluição do Ar	Uma das fontes de externalidades mais comuns, existirá em praticamente todas as situações, porém o grau de impacto depende muito de fatores locais.
Ruídos	Uma das fontes de externalidades mais comuns, existirá em praticamente todas as situações, porém o grau de impacto depende muito de fatores locais.
Mudanças Climáticas	Uma das fontes de externalidades mais comuns, existirá em praticamente todas as situações; Gera externalidades a nível global.
Processos Pré e Pós Uso	Apresenta relevância, pode gerar externalidades a em outros países, porém o grau de impacto depende muito de fatores locais, um pouco complexa de ser quantificada.
Alterações na Biodiversidade	Apresenta potencial relevância econômica para o Brasil
Interferências em Áreas Sensíveis	Apresenta potencial relevância econômica para o Brasil, principalmente em casos de interferências em unidade de conservação e em comunidades tradicionais.

Fonte: Elaboração Própria com base em dados do estudo.

5.2.3 Quantificação Física dos Impactos Economicamente Relevantes

O modo como é realizada a quantificação dos impactos depende muito das características de cada fonte de externalidade, das intervenções e localização geográfica de cada EVTEA, assim como as técnicas a serem utilizadas para a valoração monetária das externalidades ambientais. Deste modo, no capítulo 6 para cada classe de externalidades são apresentadas diretrizes para proceder com a quantificação física nos EVTEAs.

Alguns impactos são mais significativos que outros, porém nem sempre a probabilidade de ocorrência é a mesma, pois alguns têm sua ocorrência em praticamente todos os casos enquanto outros possuem uma menor probabilidade de ocorrência e/ou sua probabilidade está associada a outros fatores que podem

ocorrer com frequência incerta dependendo das soluções de engenharia propostas na elaboração das alternativas. Assim, para cada fonte de externalidades é conveniente, quando possível, que haja mais de uma abordagem para a quantificação, principalmente para a utilização em casos específicos.

Embora seja conveniente que o processo de quantificação dos impactos seja apresentado de modo detalhado nas sessões subsequentes para cada classe de externalidade levando em consideração as características dos EVTEAs, algumas abordagens utilizadas na quantificação dos impactos têm aplicações em mais de uma classe de externalidades. Assim nesta sessão são apresentados apenas os procedimentos gerais de algumas abordagens aplicação em mais de uma fonte de externalidades ambientais.

Como recomendações aplicáveis a todos os casos para o processo de quantificação, assim como na avaliação econômica, no período de análise, ano a ano, deve-se considerar a variação no fluxo de veículos, tendências de crescimento da população assim como ocupação e uso do solo.

5.2.3.1 Quantificação de Impactos Relacionados à Saúde

Um relevante método que pode auxiliar na quantificação dos efeitos relacionados às alterações na saúde, provocadas por impactos do transporte é derivado de estudos que, de acordo com WHO (2017), começaram a ser desenvolvidos por uma iniciativa Banco Mundial em 199. O resultado de tal quantificação pode ser chamada de Carga Global de Doenças (GBD²⁶).

Uma grande contribuição dos estudos sobre o GBD no processo para quantificar numericamente os efeitos na alteração da saúde, é a introdução de uma nova medida chamada de DALY (*Disability-Adjusted Life Year*), que representa a soma dos potenciais anos de vida perdidos devido a mortes prematuras e dos anos equivalentes de vida saudável perdidos em virtude de um mal estado de saúde ou deficiências (WHO, 2017).

No caso de doenças atribuídas a fatores ambientais, a GBD sofre uma alteração em seu nome, sendo chamada de Carga de Doenças Ambientais (EBD²⁷). Apesar desta alteração, ela mantém a mesma medida da GBD para quantificar os efeitos das doenças. Uma das diferenças entre a GDB, é que a EBD é destinada a

²⁶ *Global Burden of Disease*, em inglês.

²⁷ *Environmental Burden of Disease*, em inglês.

doenças com origem relacionada a fatores ambientais e, em geral, a EBD é proporcional aos fatores ambientais a que os indivíduos estão expostos (WHO, 2011b).

O processo de cálculo do valor numérico do DALY, obtido pela equação 5.1, utiliza uma avaliação quantitativa de riscos à exposição a doença, identificação da população exposta aos fatores de risco, uso de funções dose-resposta adequadas, gerando como resultado um valor numérico expresso em anos de vida ajustados por incapacidade (WHO, 2011b, 2016 e 2017).

$$DALY(c,s,a,t) = YLL(c,s,a,t) + YLD(c,s,a,t) \quad (5.1)$$

onde:

- c, é a causa;
- a, é a idade da pessoa;
- s, é o sexo;
- t, é o ano.

YLL representa o número de anos perdidos devido a potenciais mortes prematuras, sendo obtido pela equação 5.2:

$$YLL(c,s,a,t) = N(c,s,a,t) \times L(s,a) \quad (5.2)$$

em que $N(c,s,a,t)$, é o número de mortes devido a causa “c”, para dada idade “a”, sexo “s”, e ano “t”.

O número de mortes *N* é obtido através multiplicação da população exposta ao fator ambiental, pela diferença entre o risco de uma morte no cenário com exposição e no cenário sem exposição ao fator ambiental.

$$N = PopExp \cdot [risco (cenário exposição) - risco (cenário base)] \quad (5.3)$$

De um modo simplificado, o risco de mortes (para o fator analisado) é obtido para o local de aplicação do estudo com base em estatísticas locais (número de mortes por habitante). Caso não se disponham de estatísticas locais, sugere-se o uso de estatísticas nacionais. O risco de mortes no cenário com exposição, é obtido

pela multiplicação do risco de mortes, multiplicado pela função dose resposta para o fator a ser analisado.

A população exposta, $PopExp$, é obtida pela correção entre a distribuição espacial da população com os locais em que o fator ambiental excede padrões de qualidade, indicando que geram externalidades.

$L(s,a)$ é a expectativa de vida para a idade “a” e sexo “s” do conjunto de indivíduos expostos ao fator ambiental, ou seja, quanto espera-se que cada indivíduo viva considerando sua idade atual. Tais dados podem ser obtidos com base em estatísticas da região.

YLD representa o número de potenciais anos de vida saudável perdidos devido a um mal estado de saúde ou incapacidades e é dado por:

$$YLD(c,s,a,t) = I(c,s,a,t) \times DW(c,s,a) \times L(c,s,a,t) \quad (5.4)$$

$I(c,s,a,t)$ é o número de casos incidentes para a causa c, idade a, e sexo s, no ano t.

O número de casos incidentes I, é estimado através multiplicação da população exposta ao fator ambiental, pela diferença entre o risco de uma doença no cenário com exposição e no cenário base, sendo dado por:

$$I = PopExp \cdot [risco (cenário exposição) - risco (cenário base)] \quad (5.5)$$

O risco pode ser obtido por dados estatísticos da região, referindo-se aos casos de doenças sem mortes.

Em alguns casos, como distúrbios do sono e incomodo, o risco, ou índice de população altamente exposta, é dado por funções dose resposta.

$DW(c,s,a)$ é o peso da incapacidade, que fornece uma estimativa da relevância que cada situação de doença ou incapacidade, exerce na saúde humana. O valor de DW varia entre 0 (condição de total saúde) a 1 (condição que equivale a morte) e pode ser obtido por valores recomendados pela OMS.

$L(c,s,a,t)$, é uma duração média da incapacidade em anos, até a total cura ou morte, que poderia ser entendida como uma “expectativa de vida da doença ou incapacidade”. Em casos onde a duração seja permanente, como “distúrbios do

sono” ou “incomodo”, considera-se o valor de L igual a 1, ou seja, todo o ano em que se está quantificando.

Para cada fonte de externalidades há algumas adaptações, ou métodos de obter cada componente das equações, que estão apresentados nos casos específicos relacionados a ruídos e poluição do ar.

5.2.4 Valoração Monetária

Esta etapa pode ser considerada como uma das mais complicadas em uma análise custo benefício (ACB), dependendo de muitos fatores e de cada caso concreto. Assim, a escolha de uma técnica de valoração para um EVTEA de uma região pode não ser a melhor primeira opção para um EVTEA de outra região.

Na escolha da melhor técnica para valoração monetária, Tsunokawa e Hoban (1997) citam fatores que devem ser levados em consideração:

- a) O efeito a ser valorado;
- b) As informações disponíveis;
- c) O tempo e recursos financeiros disponíveis; e
- d) As características técnicas disponíveis.

Como nem sempre é viável a realização de um estudo primário de valoração para cada externalidade em cada EVTEA (principalmente devido ao tempo e recursos financeiros disponíveis), assim como utilizar-se da transferência de benefícios para dados de outros países, é relevante apresentar a técnica que melhor pode adaptar-se às características dos EVTEAs. Apresenta-se também uma segunda melhor opção.

A escolha dos métodos utilizados na valoração é dependente das características das fontes de externalidades para cada caso e dificilmente um método único pode ser aplicado a todo o EVTEA. Deste modo, as diretrizes para proceder o processo de valoração monetária dos impactos economicamente relevantes é apresentado para cada classe de externalidade no capítulo 6.

6 VALORAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AOS EVTEAS

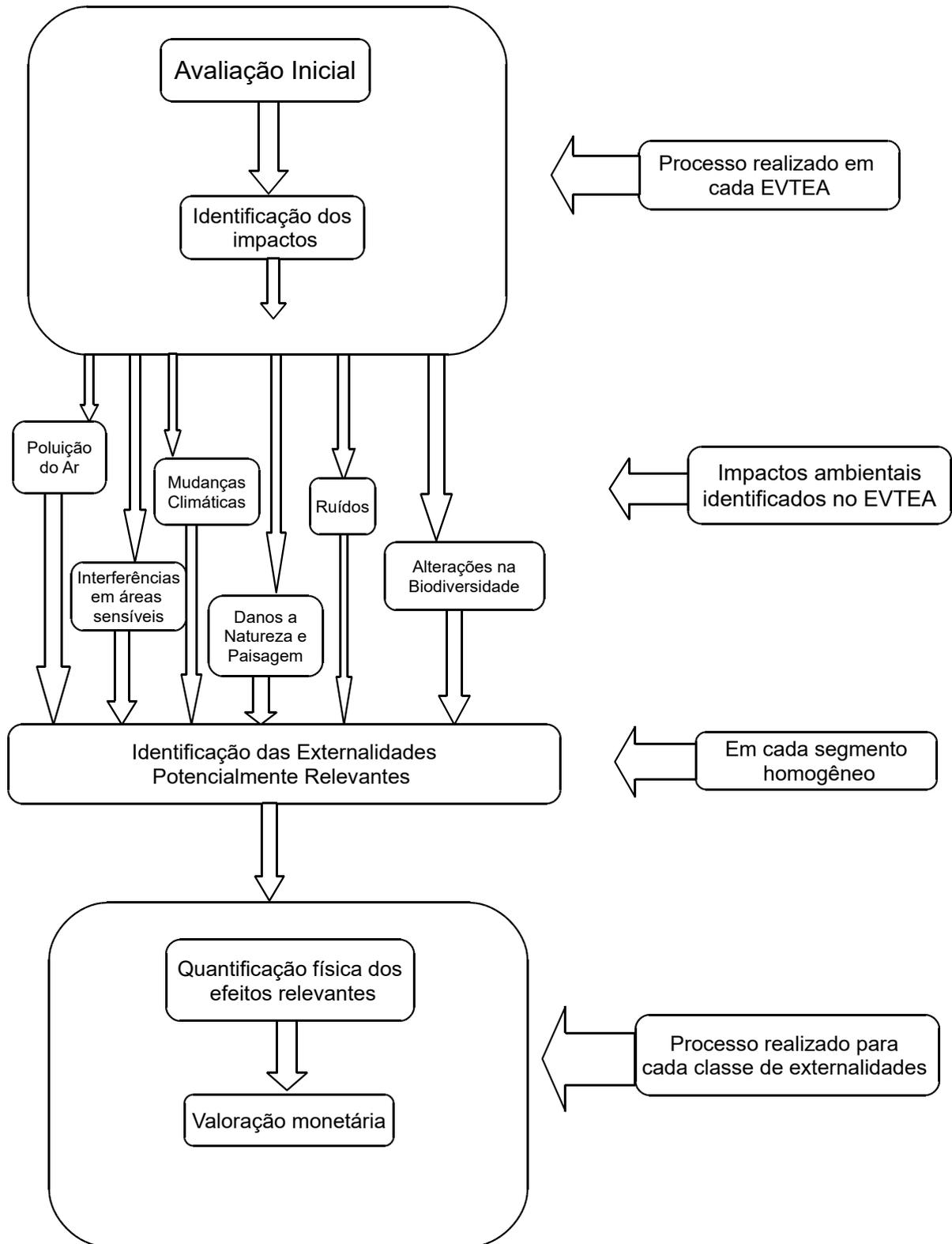
6.1 DIRETRIZES GERAIS

Na avaliação econômica dos EVTEAs ocorre a divisão do trecho da rodovia em estudo em segmentos homogêneos. Devido ao fato da proposição do uso de modelos matemáticos e softwares para auxiliar no processo de quantificação de algumas externalidades, torna-se conveniente utilizar a mesma divisão da rodovia em segmentos homogêneos e realizar o processo de valoração em cada segmento. Porém, em alguns casos será necessária uma subdivisão de alguns dos segmentos.

De modo geral, o processo de valoração ambiental para cada fonte de externalidade economicamente relevante presente nos EVTEAs do DNIT, (representado na figura 6.1) deve ser composto pelas seguintes etapas:

- a) Avaliação inicial: Para cada classe de externalidade deve-se realizar uma avaliação inicial das características do local, obtendo-se as informações necessárias para um diagnóstico da área e correlacioná-las com as intervenções propostas, elaborando uma avaliação ambiental qualitativa;
- b) Identificação das externalidades: para cada EVTEA e/ou segmento homogêneo, com base na avaliação qualitativa, deve-se identificar as externalidades que podem ocorrer;
- c) Identificação das externalidades economicamente relevantes: de modo a realizar simplificações, entre as externalidades identificadas na etapa anterior devem ser identificadas as externalidades que no processo de avaliação econômica demonstrarem apresentar maior relevância econômica; e
- d) Quantificação dos impactos relevantes e valoração monetária das externalidades: o processo de quantificação e valoração em geral ocorre de modo simultâneo e a forma como tal etapa ocorre depende da abordagem escolhida, da classe e tipo de externalidade valorada.

Figura 6.1 - Processo de Valoração Ambiental para cada EVTEA



Fonte: Elaboração própria com base em resultados do estudo.

Para as classes de externalidades identificadas no capítulo anterior são apresentadas diretrizes para realizar o processo de valoração monetária das externalidades ambientais.

6.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

As quatro principais externalidades geradas pela poluição do ar em rodovias são:

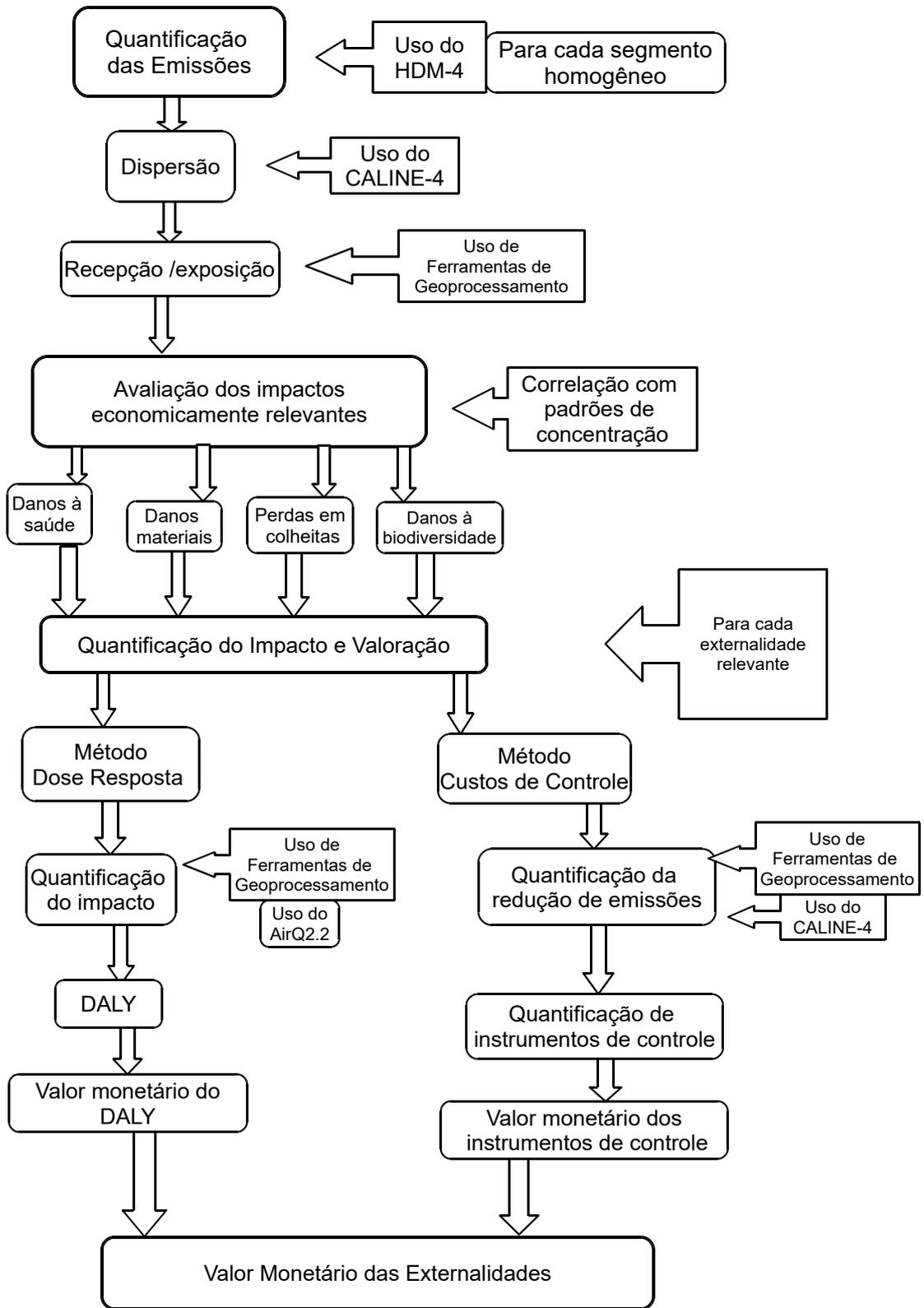
- a) Danos à Saúde;
- b) Perdas em Colheitas;
- c) Danos Materiais; e
- d) Danos à Biodiversidade.

De acordo com BICKEL et al. (2006), os custos relacionados à saúde (em particular perda da expectativa de vida) dominam os efeitos das externalidades relativas à poluição do ar. Os demais efeitos apresentam uma relevância menor. Gibson et al. (2014) recomendam como efeitos mais relevantes, a mortalidade (assim como perda em expectativa de vida), doenças respiratórias e cardiopulmonares.

Considerando tal predominância de externalidades relacionadas à saúde, recomenda-se manter o foco principal em relação aos efeitos relacionados à saúde. Porém, caso após a análise qualitativa, os impactos relacionados às perdas em colheitas, danos materiais e danos à biodiversidade demonstrem potencial relevância econômica, procede-se à valoração das externalidades geradas por tais impactos.

O processo proposto para valoração monetária das externalidades relativas à poluição do ar está representado na figura 6.2.

Figura 6.2 - Processo de Valoração das Externalidades Geradas pela Poluição do Ar



Fonte: Elaboração própria com base em resultados do estudo.

6.2.1 Quantificação Física

A quantificação física dos impactos econômicos das emissões veiculares e o modo como podem causar externalidades dependem do tipo e idade do veículo, velocidade, composição do combustível, sistema de exaustão e tratamento de gases, tamanho e carga do veículo, geometria da rodovia, comportamento do condutor, localização geográfica da rodovia, condições meteorológicas (principalmente velocidade e direção do vento), distribuição da densidade populacional, entre outros fatores (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997; BICKEL et al., 2006; MAIBACH et al., 2008).

Neste contexto, é conveniente dividir o processo de quantificação do impacto em duas etapas principais:

- a) Quantificação das emissões; e
- b) Exposição aos poluentes.

6.2.1.1 Quantificação de Emissões

Para a etapa de quantificação das emissões, recomenda-se a utilização do software HDM-4, pois tal software já é uma ferramenta utilizada no processo de avaliação econômica das alternativas nos EVTEAs, assim como permite apresentar dados de emissões em cada segmento homogêneo. Para que o HDM-4 apresente resultados consistentes é necessário a calibração do modelo para as características da frota e combustíveis utilizados no Brasil.

Arango (2017), integrante de corpo técnico de empresa responsável pela calibração e aferição do modelo HDM-4 para o DNIT, ao ser questionada se a empresa já havia realizado algum estudo de calibração do HDM-4 no que se refere a emissões, informou que a empresa nunca realizou e que no mundo praticamente não existem dados sobre a calibração do HDM para emissões, mas que é possível (comunicação verbal)²⁸.

Apesar das informações de Arango (2017) foi verificado que há estudos que já realizaram quantificações de emissões veiculares utilizando o HDM-4 em rodovias brasileiras no estado de Santa Catarina (JUNIOR et al., 2016). No entanto, não

²⁸ Luisa Fernanda Arango, em: Calibração e aferição do modelo HDM-4, palestra proferida no evento: 1ª semana do planejamento. Realizado no DNIT em Brasília – DF, 21/06/2017.

necessariamente foram utilizados todos os 16 tipos de veículos que o software permite, assim, preliminarmente não recomenda-se que nos EVTEAs do DNIT sejam adotados os mesmos parâmetros utilizados por SANTA CATARINA (2012), antes de uma profunda avaliação no processo de calibração de modo a verificar se tal processo é consistente²⁹.

Em consulta a Bennett e Greenwood (2004), verificou-se que o modelo utiliza o consumo de combustível para quantificar as emissões. Assim caso o modelo esteja corretamente calibrado no que se refere ao consumo combustível, com um pouco de conhecimento de termodinâmica, composição do combustível e dados sobre catalisadores utilizados da frota brasileira, pode-se ajustar o HDM-4 para quantificar emissões nos veículos brasileiros³⁰.

Após a simulação das alternativas de estudo no software corretamente calibrado, pode-se obter os resultados de emissões de Hidrocarbonetos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Óxido Nitroso (NO₂), Dióxido de Carbono (CO₂) e Material Particulado (MP) em cada segmento homogêneo.

6.2.1.2 Exposição aos Poluentes

A exposição aos poluentes envolve duas etapas principais: a dispersão e a recepção dos poluentes tanto a seres vivos como estruturas que possam ser danificadas. A dispersão, é uma das etapas mais complicadas no processo de quantificação dos impactos relativos a qualidade do ar. Os principais fatores que influenciam no processo de dispersão e recepção são apresentados nos quadros 6.1 e 6.2.

²⁹ Os dados de calibração não estavam presentes em SANTA CATARINA (2012) e para o presente trabalho, não foram obtidos os dados utilizados no processo de calibração, razão pela qual há tal recomendação.

³⁰ Cabe a ressalva, que se torna relevante realizar atualizações no processo de calibração, sempre que houver renovação da frota, alterações na tecnologia do processo de exaustão da frota, assim como na composição do combustível, principalmente o diesel utilizado em veículos pesados.

Quadro 6.1 - Fatores que Influenciam a Dispersão de Poluentes em Rodovias

Fator	Influência
Clima	Dados pluviométricos, umidade e temperatura, exercem influência na circulação atmosférica e conseqüentemente na dispersão.
Velocidade do vento	O processo de dispersão é proporcional a velocidade do vento, assim em locais com grande velocidade do vento, a dispersão pode ser muito rápida.
Direção do vento	Influencia para qual lado da rodovia o poluente tende a se deslocar, e conseqüentemente onde se concentram os impactos
Características do relevo	Pode formar barreiras à dispersão assim como exercer influência na absorção de poluentes por estruturas do relevo
Vegetação ao redor da rodovia	A vegetação pode filtrar alguns poluentes reduzindo a exposição a seres humanos, assim como reter o processo de dispersão e concentrá-los em um local específico. A vegetação também pode ser danificada.
Estruturas Físicas	A presença de estruturas físicas pode servir de barreiras aos poluentes.
Tipo de poluente	O poluente pode sofrer reações químicas na atmosfera

Fonte: Elaboração própria com base em Tsunokawa e Hoban (1997).

Quadro 6.2 - Fatores que Influenciam na Recepção de Poluentes

Fator	Relevância
Concentração da poluição sem a rodovia	A concentração final é composta pela da concentração inicial somada as emissões da rodovia
Localização dos indivíduos	Quanto mais distantes da rodovia estiverem, menor a probabilidade dos indivíduos estarem expostos à poluição advinda da rodovia; A localização influencia na concentração de poluentes recebida pelos indivíduos.
Concentração populacional	Locais com maior densidade populacional, são mais propensos a terem um impacto maior, devido a maior quantidade de pessoas expostas.
Localização das estruturas sujeitas a corrosão e deterioração	A localização influencia na concentração de poluentes recebida pelas estruturas.
Flora circundante	O tipo flora assim como a localização, influenciam na concentração de poluentes recebidos assim como o impacto sofrido.
Fauna	A existência e localização da fauna influenciam na concentração de poluentes recebidos assim como o impacto sofrido.

Fonte: Elaboração própria com base em Tsunokawa e Hoban (1997) e Coria et al. (2015).

Esta complexa etapa envolve muitas variáveis que são específicas de cada local e é praticamente impossível obter dados extremamente precisos da concentração de cada poluente em cada local em cada instante de tempo a não ser

que haja um monitoramento constante em cada local. Isto apenas funcionaria em uma avaliação *ex post*, que não é o caso. Porém, é possível a utilização de modelos matemáticos para simular o processo de dispersão de poluentes. Existem modelos computacionais desenvolvidos especificamente para simular a dispersão de poluentes ao redor de rodovias, que apesar de algumas limitações podem atender satisfatoriamente as necessidades de dados para a quantificação dos impactos. Entre os muitos modelos desenvolvidos especificamente para rodovias, estão o MOBILE-5 (ou demais versões), EMFAC, CALINE-4 (ou demais versões), entre outros. Nem sempre os modelos possuem uma interface gráfica, mas é possível a utilização de softwares que incorporam os modelos e os deixam com uma interface gráfica agradável ao usuário.

Devido a seu amplo uso ao longo do tempo (KONAR e CHAKRABARTY, 2012; MAKRA et al., 2013; SAMARANAYAKE et al., 2014; GOUD et al., 2015), a título de exemplo, pode-se sugerir o CALINE-4, como modelo disponível para utilização nos EVTEAs do DNIT. Porém, qualquer outro modelo também pode ser utilizado desde que se obtenham os parâmetros de entrada necessários e apresente resultados consistentes.

Após a execução do modelo é possível determinar de concentração de cada gás em determinado ponto de interesse e instante de tempo. Com auxílio de ferramentas de geoprocessamento, correlaciona-se a concentração dos poluentes com a população ou estruturas expostas, assim há dados sobre a recepção de poluentes.

De acordo com a resolução CONAMA 03/90, em seu Art 1º:

“São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral”.

As externalidades podem ocorrer quando os padrões de qualidade do ar, aos quais os indivíduos estão expostos, são excedidos. Embora a resolução CONAMA 03/90 apresente padrões de qualidade do ar para alguns poluentes, sugere-se a utilização de padrões globais de qualidade do ar definidos pela Organização Mundial de Saúde devido a serem mais atuais que os apresentados na resolução CONAMA 03/90 e abrangerem mais poluentes. De acordo com WHO (2017 b), os dados mais

atuais disponíveis para padrões globais são os definidos em WHO (2006), que foram atualizados para o ano de 2005.

Os padrões de qualidade do ar quanto à exposição aos poluentes que podem ter sua emissão quantificada pelo HDM-4 são apresentados na tabela 6.1. De acordo com WHO (2006), esses são os níveis mais baixos com os que se têm demonstrado com mais de 95 % de confiança que a mortalidade total, cardiopulmonar e câncer de pulmão, aumentam em resposta a exposição prolongada aos poluentes.

Tabela 6.1 - Padrões Aceitáveis de Exposição a Poluentes

Poluente	Concentração Máxima Permitida (μm^3)		
	Média de 10 minutos	Média em 24 horas de exposição	Média Anual
SO ₂	500	20	
NO _x		200	40
MP ₁₀		50	20
MP _{2,5}		25	10

Fonte: Elaboração própria com dados de WHO (2006).

Com a execução desta etapa pode-se obter dados da quantificação das emissões, concentração a que cada indivíduo está exposto assim como identificar se há ou não potencialidade de ocorrerem externalidades. Um valor monetário da quantificação do impacto dependerá do processo de valoração escolhido.

6.2.2 Valoração Monetária

Para a valoração monetária das alterações da qualidade do ar devido aos poluentes emitidos pelos veículos, pode-se considerar distintas abordagens de acordo com as características dos danos.

Considerando os dados disponíveis e as características dos EVTEAs do DNIT, o processo de valoração com melhor aplicabilidade é o de abordagens que utilizam o Método Dose Resposta (MDR) e o Método de Custos de Controle (MCC), este como segunda melhor opção.

O MVC embora seja amplamente utilizado na literatura e tenha a capacidade de captar o valor econômico total, não tem sua aplicação sugerida para a valoração das externalidades resultantes da poluição do ar nos EVTEAs do DNIT, devido a sua

relativa complexidade de aplicação para obter dados consistentes. Além disso, seria necessário um estudo primário para cada EVTEA elaborado, o que poderia inviabilizar o processo de valoração em termos de tempo e recursos disponíveis.

6.2.2.1 Abordagem utilizando o Método Dose Resposta (MDR)

Há uma similaridade no comportamento da exposição à poluição do ar na saúde humana em diferentes locais do mundo (WHO, 2006), tanto que foram definidos a nível global padrões de exposição a poluentes. Portanto, o uso de funções exposição resposta³¹ obtidas em outros estudos poderiam ser utilizados como uma aproximação para estimar impactos advindos da poluição do ar sobre a saúde. Neste caso, a exposição (dose) refere-se à concentração de poluentes que excede os padrões de qualidade do ar e a resposta é o aumento de danos à saúde.

No uso desta abordagem para a quantificação dos impactos, optou-se pelo uso do método que calcula a EBD para os efeitos da poluição do ar. Como o princípio de obtenção do valor numérico da EBD, foi exposta em 5.3.3.1, assim, apenas são apresentadas as considerações pertinentes quanto à aplicação do método para quantificar a EBD da poluição do ar.

O poluente com maior relevância econômica é o MP³². A mortalidade proveniente de MP, pode corresponder à 89 % dos custos na saúde (WHO, 2016). Assim, de modo a realizar simplificações, poderia ser o único poluente considerado para a quantificação da EBD relativa a poluição do ar. WHO (2006) apresenta dados de estudos, realizados em diferentes países, sobre os efeitos do aumento da exposição de MP na saúde humana. Conclui que os riscos para a saúde associados à exposição de MP são semelhantes em países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Considerando essas relações de semelhança, sugere-se o uso de relações exposição resposta de outros estudos³³.

De modo a simplificar o processo para obter a EBD tanto para o MP, como para outros gases, há alternativa do uso de modelos computacionais desenvolvidos especificamente para este fim. Esses modelos, a partir de dados de entrada de acordo com as características regionais e a exposição a poluentes, apresentam

³¹ Variação no nome do método dose resposta quando aplicado à exposição a poluentes.

³² Tanto MP_{2,5} como MP₁₀.

³³ A quantificação da EBD, pode ser aplicada através do procedimento apresentado no capítulo anterior, através do uso de dados obtidos da OSM e em conjunto com dados demográficos e estatísticos nacionais.

dados de saída em DALY ou em valor monetário (caso seja atribuído um valor para o DALY e/ou outros dados relacionados a despesas médicas).

WHO (2014, 2016b) apresentam vários modelos, alguns com usos apenas em certos países, outros em nível global, ou em nível local, desde que o usuário disponha de dados de entrada locais. Embora sempre existam limitações, o uso de tais modelos é bastante útil e prático. Um dos modelos que possuem maior aplicabilidade ao uso nos EVTEAs é o AIRQ2.2 (ou outra versão mais recente), cujas principais características são apresentadas no quadro 6.3.

Quadro 6.3 – Características do AIRQ2.2

Característica	AIRQ2.2
Resolução espacial	Regional; Nacional; Em nível de cidade; Qualquer nível menor.
Poluentes avaliados	MP ₁₀ , MP _{2,5} , O ₃ , NO ₂ , SO ₂ e CO
Resultados	Mortalidade (casos); DALY; Morbidade (casos).
Validação	Revisado por especialistas
Tipo de código	Código aberto
Dado de entrada do poluente	Concentração

Fonte: WHO (2014).

O valor monetário das externalidades geradas pela poluição do ar pode ser estimado através valor do DALY. Entre possíveis alternativas (que não se limitam a estas) para estimar o valor do DALY, estão:

- a) Uso de transferência de benefícios de outros estudos que obtiveram um valor monetário para DALY com os devidos ajustes necessários;
- b) Considerando que nos EVTEAs é estimado o valor para uma eventual redução em tempo de viagem, o valor atribuído essas horas perdidas ou ganhas, poderia ser convertido em DALY;
- c) Uso do valor estatístico da vida para estimar o valor do DALY, neste caso utilizar-se-ia o valor obtido de outros estudos no Brasil; e
- d) Realização de um estudo próprio com o MVC para obter o valor do DALY³⁴

³⁴ Neste caso o resultado obtido pelo MVC para o DALY, pode ser utilizado para outros EVTEAs assim como para outras externalidades.

6.2.2.2 Abordagem com o Método Custos de Controle

Em tal abordagem deve-se estimar os custos necessários para reduzir a exposição da poluição a níveis aceitáveis a ponto de não gerarem externalidades.

A simples comparação das emissões de cada veículo com os padrões legais de emissões veiculares não é suficiente para quantificar as emissões que geram externalidades devido ao comportamento dispersão e concentração de poluentes em uma bacia eólica. Isto porque um veículo que emite uma grande quantidade de poluentes acima dos limites legais pode não exercer externalidades, enquanto veículos com baixos níveis de emissões podem gerar externalidades devido a fatores de concentração de poluentes e contribuições de vários veículos.

Para utilizar esta abordagem é necessário realizar os mesmos passos da abordagem que utiliza o Método Dose Resposta com efeitos relacionados à saúde, referentes à quantificação do impacto, até a determinação do nível de exposição em cada receptor.

Devido ao processo de dispersão, a quantidade de poluição que deve ter sua emissão controlada não é a mesma que excede os níveis padrões máximos de exposição, mas uma quantidade maior. Consequentemente, deve-se utilizar o modelo de dispersão em um processo inverso, ou seja, utilizar como dados de entrada os padrões de qualidade do ar, obtendo-se como dados de saída o nível de emissões aceitáveis para cada conjunto de veículos. A partir dos dados de emissões de cada veículo, determina-se o nível de emissões que deve ser reduzido, a ponto de não gerarem externalidades.

O valor monetário das externalidades relativas à poluição do ar pode ser estimado com base no custo necessário para reduzir as emissões através do uso de equipamentos tecnológicos ou algum outro meio possível.

6.3 RUÍDOS

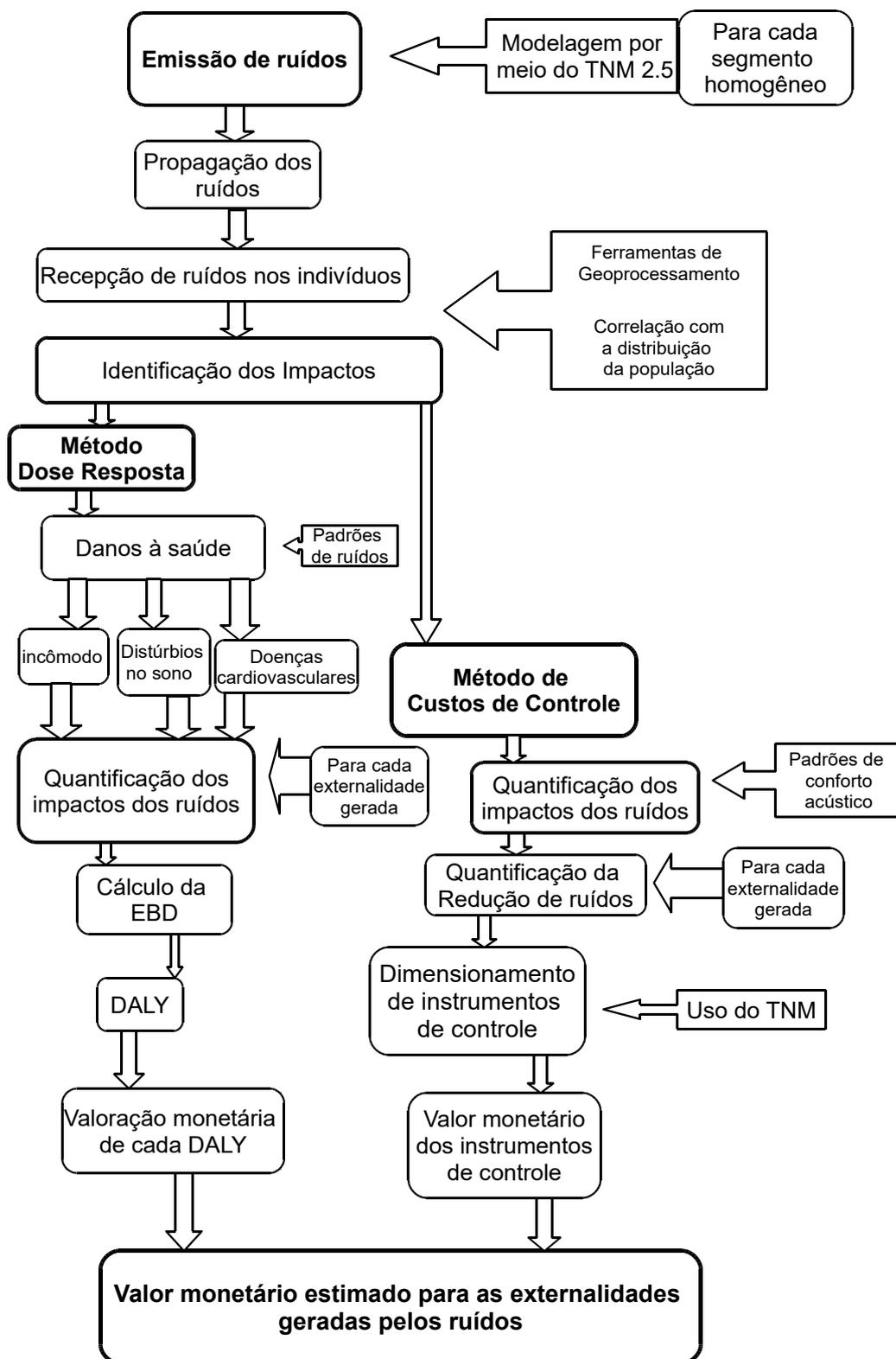
Ruídos, assim como a poluição atmosférica, geram externalidades de forma altamente dependente de características locais, como densidade populacional, condições topográficas, velocidade e densidade do tráfego (assim como sua composição), velocidade e direção do vento, período do dia (dia ou noite), entre outros. Assim uma generalização de valores para um custo marginal de ruídos (em

termos de unidades monetárias por veículos, ou unidades monetárias por veículos por km) é difícil se não impossível, devido à enorme quantidade de valores dependentes do local (MAIBACH et al., 2008). Então é relevante um processo próprio de valoração para as características locais. Porém o processo próprio não necessariamente precisa ser um estudo primário de valoração.

Apesar do Método de Preços Hedônicos ser dominante no número de estudos sobre valoração de ruídos em rodovias (embora muitos são antigos) (NAVRUD, 2002) e o Método de Valoração Contingente ser bastante utilizado no processo de valoração de ruídos, devido à relativa complexidade de aplicação de ambos os métodos para se obterem dados consistentes e da necessidade de serem aplicados para cada local, não recomenda-se sua utilização de forma isolada nos EVTEAs do DNIT.

Recomenda-se, então, a utilização de uma abordagem que permita que sejam obtidos resultados consistentes e ao mesmo tempo possa ser replicável de modo simples a outros estudos necessitando apenas alteração de parâmetros de entrada de características do EVTEA. No processo de valoração das externalidades geradas por ruídos, sugere-se a aplicação de duas abordagens híbridas, uma baseada em relações dose resposta e outra abordagem baseada em custos de controle, ambas representadas na figura 6.3, que ilustra o processo de valoração das externalidades geradas pelos ruídos.

Figura 6.3 - Valoração das Externalidades Geradas por Ruídos



Fonte: Elaboração própria a partir de resultados do estudo.

A abordagem que utiliza relações Dose Resposta tem sua fundamentação baseada na utilizada por Van Essen et al. (2004) e envolve 5 etapas principais:

- a) Estimar as emissões de cada fonte de ruídos;
- b) Determinar o tipo de impacto na saúde humana, agricultura, ambiente natural, entre outros;
- c) Estimar o número de indivíduos expostos às variações dos diferentes níveis de ruídos ao longo do tempo;
- d) Estabelecer a relação entre exposição a ruídos e variações na saúde e efeitos no bem-estar e prever o impacto dos ruídos baseados nestas relações; e
- e) Calcular a variação monetária dos efeitos de ruídos na saúde e outros.

A abordagem que utiliza o Método de Custos de Controle, envolve as seguintes etapas:

- a) Estimar as emissões de cada fonte de ruídos;
- b) Determinar o tipo de impacto na saúde humana, agricultura, ambiente natural, entre outros;
- c) Estimar o número de indivíduos, expostos às variações dos diferentes níveis de ruídos ao longo do tempo;
- d) Estabelecer instrumentos que possam controlar o nível de ruídos recebidos em cada indivíduo, de modo a evitar o impacto; e
- e) Calcular o valor monetário dos instrumentos utilizados para controlar os ruídos.

Como ambas as abordagens apresentam pontos em comum na obtenção de dados iniciais que quantificam o impacto e a principal variação ocorre no processo de obter um valor monetário para externalidades quantificadas, são apresentadas diretrizes gerais aplicáveis às duas abordagens e posteriormente são apresentadas as diretrizes específicas para cada uma delas.

6.3.1 Diretrizes Gerais

Inicialmente, com base em um diagnóstico da área de estudo, deve-se realizar uma avaliação qualitativa entre as características dos segmentos homogêneos e os locais com grande potencialidade de ruídos gerarem

externalidades, principalmente devido à existência de áreas urbanas, hospitais, escolas, áreas ambientalmente sensíveis e áreas desertas. Após a análise qualitativa determinam-se os locais com relevância para valoração, necessidade de subdivisão dos segmentos homogêneos previamente determinados, assim como o tipo de externalidades com potencial relevância.

6.3.2 Quantificação das Emissões de Ruídos

No processo de quantificação das emissões de ruídos, para uma rodovia existente e em uma avaliação *ex post*, há a possibilidade de realizar mensurações *in loco* da exposição de ruídos. Porém, como nos EVTEAs é realizada uma avaliação *ex ante*, assim como situações apenas planejadas, torna-se relevante a utilização de modelos matemáticos para estimar o nível emissões dos ruídos (tanto no momento atual como em um momento futuro) e seu comportamento com a variação do fluxo de veículos no período de análise.

A previsão da propagação de ruídos, devido a ser altamente dependente de características locais, apresenta uma certa complexidade. Assim, sugere-se a utilização de modelos matemáticos. Existem alguns modelos computacionais específicos para simular a propagação de ruídos oriundos do tráfego rodoviário a exemplo do TNM – *FHWA Traffic Noise Model*, desenvolvido pela *Federal Highway Administration*, dos Estados Unidos. Tal modelo pode estimar o nível de ruídos que é sentido pelos diversos receptores situados nas imediações da rodovia, tanto no presente como em uma situação futura ou de projeto (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1998).

O modelo apresenta algumas limitações, como não considerar a influência do vento, do gradiente de temperatura e não ser aplicável em situações onde os ruídos do tráfego não são dominantes (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1998, 2004). Porém, é uma ferramenta útil que pode atender as necessidades de um processo de estimar o impacto advindo dos ruídos. As características relevantes que justificam a utilização do TNM são apresentadas no quadro 6.4.

Para a simulação do nível de exposição a ruídos, é necessário identificar a distribuição da população ao longo da rodovia, as estruturas físicas existentes assim como a tendência de crescimento e distribuição populacional ao longo do período de análise do EVTEA.

Após a utilização do modelo (que precisa ser previamente calibrado para as condições da frota brasileira) e da correlação com a distribuição populacional ao longo da rodovia, é possível estimar o nível de ruído a que cada indivíduo está exposto ao longo do tempo. Tal etapa tem sua execução extremamente facilitada com o uso de ferramentas de geoprocessamento.

Os ruídos apenas serão considerados geradores de externalidades, caso provoquem alterações de bem-estar. Um dos modos de identificar, em termos médios, se houve esta variação de bem-estar, é a comparação do nível de ruídos a que cada indivíduo está exposto com padrões de conforto acústico para as diversas atividades da sociedade. Assim, caso os ruídos ultrapassem os padrões, é bastante provável que estão sendo geradas externalidades e é conveniente seguir as etapas de quantificação das externalidades geradas pelos ruídos e valoração monetária de tais externalidades.

Quadro 6.4 - Características do TNM

Característica do TNM	Descrição	Condições Brasileiras
5 tipos de veículos (Automóveis, caminhões, pesados e leves, ônibus, motocicletas)	Cada tipo de veículo emite um nível diferente de ruído.	A frota de veículos no Brasil é variável.
Modelagem para fluxo constante e intermitente	O nível de ruídos depende do tipo de fluxo de veículos	O comportamento do fluxo de veículos é variável ao longo do dia.
Considera diferentes tipos de pavimentos	A interação do pneu com diferentes tipos de pavimento produz diferentes níveis de ruídos, assim como as variações das condições do pavimento produzem diferentes níveis de ruídos.	Os pavimentos nas rodovias brasileiras não são uniformes.
Considera efeitos de atenuação ruídos por construções e densa vegetação	Vegetação e construções exercem influência na propagação dos ruídos	A ocupação das margens da rodovia é variável.
Considera sessões de elevação e depressão da rodovia	A interação do veículo ao trafegar em uma sessão com pequenas depressões ou elevações, produz maiores níveis de ruídos.	As rodovias brasileiras são irregulares; Pontes geralmente apresentam depressões e elevações; Em alguns locais existem sonorizadores nas rodovias.
Análise com existência de barreiras sonoras	As barreiras sonoras atenuam o nível de ruídos	Embora no Brasil, não sejam tradicionalmente previstas barreiras sonoras, no processo de valoração monetária de custos de controle de ruídos, as barreiras sonoras podem ser uma opção.
Velocidade de 0 a 130 km/h (varia em intervalos discretos de 10 km/h)	O nível de ruídos depende da velocidade dos veículos.	A velocidade é variável nos segmentos homogêneos.
Receptores de 10 a 300 m	O nível da intensidade dos ruídos depende da distância, e após 300 metros geralmente não são muito significativos.	Em rodovias brasileiras, é comum a ocupação de áreas próximas às rodovias.
Volume horário de tráfego	O fluxo de veículos não é constante ao longo do dia.	O fluxo de veículos é variável ao longo do dia.
Variação da composição da frota veículos (Composição relativa de cada tipo de veículo no conjunto)	Há veículos que produzem mais ruídos que outros.	A composição da frota de veículos é variável entre as rodovias.
Simula aceleração em paradas	Acelerações têm um nível distinto de ruídos.	Em rodovias brasileiras, são comuns a existência de intersecções e redutores de velocidade.

Fonte: Elaboração própria, com base em U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION(1998).

O Quadro 6.5 apresenta dados obtidos da Organização Mundial da Saúde sobre o efeito dos ruídos noturnos sobre o sono. Todos esses efeitos geram alterações no organismo e causam externalidades ao menos em uma parcela de indivíduos expostos aos ruídos.

Quadro 6.5 - Efeitos de Diferentes Níveis de Ruídos na Saúde da População

L_{night} ambiente externo	Efeitos observados na população
Menos que 30 dB(A)	Embora as sensibilidades e circunstâncias individuais possam diferir, até este nível não são observados efeitos biológicos substanciais.
30 a 40 dB(A)	Uma série de efeitos sobre o sono são observados a partir deste intervalo, como: movimentos do corpo, despertar, são relatados distúrbios do sono e excitações. A intensidade do efeito depende da natureza da fonte e do número de eventos. Grupos vulneráveis (por exemplo, crianças, enfermos crônicos e idosos) são mais suscetíveis. No entanto, mesmo nos piores casos os efeitos parecem ser modestos.
40 a 55 dB(A)	Efeitos adversos à saúde são observados entre a população exposta. Muitas pessoas têm que adaptar suas vidas para lidar com o ruído noturno. Os grupos vulneráveis são severamente afetados.
Mais que 55 dB(A)	A situação é considerada cada vez mais perigosa para a saúde pública. Efeitos adversos à saúde ocorrem com frequência, uma proporção considerável da população é altamente incomodada e perturbada pelo sono. Há evidências no aumento do risco de doenças cardiovasculares.

Fonte: WHO (2009).

A Norma ABNT NBR:10152 apresenta padrões para níveis de ruídos aceitáveis visando o conforto acústico em diversas finalidades. Assim, se este limite for excedido, mesmo que não cause danos à saúde de modo direto, irá causar uma alteração de bem-estar e conseqüentemente gerar potenciais externalidades. Tais valores podem ser utilizados como referência na aplicação do método de custos de controle. Tais dados são apresentados na tabela 6.3.

O modo como quantificar o impacto causado pelos ruídos é dependente da abordagem utilizada na valoração monetária, razão pela qual tal item está apresentado em conjunto com a valoração monetária.

Tabela 6.2 - Níveis de Ruídos Aceitáveis para o Conforto Acústico

Locais		dB(A) ³⁵	NC
Hospitais			
	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 – 45	30 – 40
	Laboratórios, Áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
	Serviços	45 - 55	40 - 50
Escolas			
	Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
	Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
	Circulação	45 - 55	40 - 50
Hotéis			
	Apartamentos	35 -45	30 - 40
	Restaurantes, Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
	Portaria, Recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
Residências			
	Dormitórios	35 - 45	30 - 40
	Salas de estar	40 - 50	35 - 45
Auditórios			
	Salas de concertos, Teatros	30 - 40	25 - 30
	Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Restaurantes		40 -50	30 - 45
Escritórios			
	Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
	Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
	Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
	Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)		40 - 50	35 - 45
Locais para esporte			
	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Fonte: ABNT: NBR-10152/1987.

6.3.3 Abordagem Utilizando Relações Dose Resposta

Nesta abordagem são utilizadas relações entre exposição a ruídos e variações na saúde e efeitos no bem-estar para quantificar o impacto (ou dano) provocado pelos ruídos. Quantificados os danos, estimam-se os custos destes

³⁵ O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

danos, resultando-se em uma aproximação para o valor monetário das externalidades geradas pelos ruídos advindos do transporte rodoviário.

As externalidades relevantes provocadas pelos ruídos para as quais se dispõem de funções exposição resposta apresentadas em publicações da OMS³⁶ que apresentam evidências concretas das relações entre os ruídos e efeitos na saúde, são relacionadas a doenças cardiovasculares, e distúrbios do sono e incomodo.

O método utilizado para a quantificação dos efeitos dos ruídos na saúde é o mesmo para quantificar a EBD proposto WHO (2011) com pequenas particularidades para cada fator analisado, porém de modo geral são necessários dados de:

- a) Distribuição da exposição de ruídos na população;
- b) Relações exposição resposta para cada fator;
- c) Fração da população exposta ao fator;
- d) Dados estatísticos sobre a incidência do fator sobre a população; e
- e) O DW para cada fator;

O valor do EBD, para cada efeito relacionado a ruídos, de modo simplificado, e com as considerações já apresentadas em 5.2.3.1 (com os mesmos índices) , é dado por:

$$DALY(c,s,a,t) = YLL(c,s,a,t) + YLD(c,s,a,t) \quad (6.1)$$

$$YLL(c,s,a,t) = N(c,s,a,t) \cdot L(s,a) \quad (6.2)$$

O número de mortes N, é obtido através multiplicação da população exposta pela diferença entre o risco de uma morte no cenário com ruídos e no cenário base.

$$N = Pop. [risco (cenário ruídos) - risco (cenário base)] \quad (6.3)$$

O risco de mortes (para o fator analisado) é obtido para o local de aplicação do estudo com base em estatísticas locais (número de mortes por habitante). Caso não se disponham de estatísticas locais, sugere-se o uso de estatísticas nacionais.

³⁶ WHO (2011) menciona que embora o incomodo não esteja classificado como doença no CID-10, ele afeta o bem-estar de muitas pessoas e pode ser considerado um efeito de saúde dentro da definição de saúde como sendo um completo estado de bem-estar físico, mental e social.

O risco de mortes no cenário com ruídos, é obtido pela multiplicação do risco de mortes, multiplicado pela função dose resposta para o fator a ser analisado.

$L(s,a)$ é a expectativa de vida para a referida idade e sexo de cada habitante exposto ao ruído, ou seja, quanto espera-se que cada indivíduo ainda viva. Tais dados podem ser obtidos com base em estatísticas da região.

$$YLD(c,s,a,t) = I(c,s,a,t) \times DW(c,s,a) \times L(c,s,a,t) \quad (6.4)$$

O número de casos incidentes I , é estimado através multiplicação da população exposta aos ruídos pela diferença entre o risco de uma doença no cenário com ruídos e no cenário sem ruídos.

$$I = \text{pop exposta} \cdot [\text{risco (cenários ruídos) } - \text{risco (cenário base) }] \quad (6.5)$$

O risco pode ser obtido por dados estatísticos da região, referindo-se aos casos de doenças sem mortes.

Em alguns casos, como distúrbios do sono e incomodo, o risco, ou índice de população altamente exposta, é dado por funções dose resposta.

$DW(c,s,a)$, pode ser obtido entre os valores recomendados pela OMS.

Na sequência são apresentadas as considerações necessárias para obter um valor para a EDB dos efeitos dos ruídos relacionado a Distúrbios do Sono, Incômodo e Doenças Cardiovasculares.

a) Distúrbios do Sono

De acordo com DEFRA (2014), a literatura científica é clara que distúrbios no sono induzidos por ruídos não resultam em mortes prematuras, conseqüentemente YLL pode ser considerado zero, e como a duração do efeito se dará por todo o ano, considera-se L como igual a 1, assim a EBD relativa a distúrbios no sono pode ser representada por:

$$DALY = I \times DW \quad (6.6)$$

O número de casos incidentes, é dado pela multiplicação da população exposta a um nível de ruído que possa causar distúrbio, multiplicada probabilidade de um indivíduo possuir distúrbio do sono naquele nível de ruído. A população exposta foi estimada em etapas anteriores, e a probabilidade de pessoas com alto distúrbio de sono (% *HSD*) pode ser dada pela função relação resposta obtida de WHO (2011), representada pela equação:

$$\% HSD = 20,8 - 1,05 \cdot L_{night} + 0,01486 \cdot L_{night}^2 \quad (6.7)$$

onde:

L_{night} : Representa o nível médio de ruídos no período noturno em que as pessoas estão dormindo, expresso em um intervalo de 8 horas, geralmente das 23h00 às 07h00;

Esta função deve ser utilizada para níveis de ruídos acima de 45 dB(A), e abaixo de 65 dB(A), caso os valores ultrapassem 65 dB(A), assume-se o mesmo valor de 65 dB(A). De acordo com DEFRA (2014) tal aproximação é realizada devido à falta de dados consistentes para estabelecer uma relação robusta acima destes níveis.

O peso da DW para o distúrbio de sono devido a ruídos, varia entre 0,04 a 0,1 com um valor recomendado de 0,07. O DW leva em consideração tanto as medianas como as médias do DW observados em vários estudos que analisam o impacto na saúde do distúrbio do sono relacionado ao ruído (WHO, 2009).

b) Incomodo

Para a quantificação da EBD relacionada a incômodos provocados por ruídos, o processo é semelhante ao realizado no cálculo de efeitos relacionados a distúrbios de sono, ou sejam não causam mortes.

$$DALY = I \times DW \quad (6.8)$$

O número de casos incidentes, é dado pela multiplicação da população exposta a um nível de ruído que possa causar incomodo, multiplicada probabilidade de um indivíduo ser altamente afetado por aquele nível de ruído. A população

exposta foi estimada em etapas anteriores, e a probabilidade de pessoas serem altamente afetadas pelos ruídos pode ser dado pela função relação resposta obtida de WHO (2011), representada pela equação:

$$\%HA = 9,868 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{den}-42)^3 - 1,436 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{den}-42)^2 + 0,5118 \cdot (L_{den}-42) \quad (6.9)$$

onde:

L_{den} : Representa o nível médio de ruídos em um período de 24 horas, ou seja, a soma de L_{day} , $L_{evening}$ e L_{night} .

Devido ao comportamento logarítmico da escala decibéis, e a diferente influência dos ruídos nos 3 períodos, a soma do nível de ruídos não é equivalente a uma simples soma algébrica, e é dada pela equação:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{5+L_{evening}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{10+L_{night}}{10}} \right) \quad (6.10)$$

Em que, L_{day} representa o nível médio de ruídos durante o período diurno, expresso em um intervalo de 12 horas, geralmente das 7h00 às 19h00 e $L_{evening}$ Representa o nível médio de ruídos durante o período da noite em que as pessoas estão despertas, expresso em um intervalo de 4 horas, das 19h00 às 23h00;

Esta função deve ser utilizada para nível de ruídos acima de 42 dB(A), e abaixo de 75 dB(A), caso os valores ultrapassem 75 dB(A), assume-se o mesmo valor de 75 dB(A). De acordo com DEFRA (2014), tal aproximação é realizada devido a falta de dados consistentes para estabelecer uma relação robusta acima destes níveis.

O valor de DW recomendado por WHO (2011), é de 0,02, podendo variar entre 0,01 a 0,12.

c) Doenças Cardiovasculares

Para estimar o valor da EBD referente a influência dos ruídos em doenças cardiovasculares, utilizando o procedimento descrito no capítulo anterior e as considerações para ruídos, o DALY é obtido pelos seguintes parâmetros de entrada: Relação dose resposta é dada por:

$$OR = 1,63 - 6,13 \cdot E-04 \cdot L_{day,16h}^2 + 7,36 \cdot E-06 \cdot L_{day,16h}^3 \quad (6.11)$$

onde:

OR é a relação dose resposta;

$L_{day,16h}$ representa o nível médio de ruídos durante o período diurno e início da noite, expresso em um intervalo de 16 horas, geralmente das 7h00 às 23h00;

Deve-se estimar população exposta a ruídos médios no intervalo de 16 horas $L_{day,16h}$ 55 a 80 dB(A), caso os valores ultrapassem 80 dB(A), considerar como se fossem 80 dB(A), devido a falta de dados confiáveis sobre as exposição resposta para valores superiores a 80 dB(A). Abaixo de 55dB(A) não são considerados efeitos significativos da influência de ruídos.

As taxas de risco de mortalidade podem ser obtidas através de dados estatísticos da região, assim como as de morbidade.

O valor de DW para cada doença cardiovascular pode ser obtido entre os valores recomendados por WHO (2011).

6.3.3.1 Valoração monetária

O processo para estimar o valor monetário dos efeitos dos ruídos estimados pelo método que obtêm a EBD consiste em multiplicar o valor monetário para um DALY pela quantidade de DALYs quantificados na etapa anterior.

6.3.4 Abordagem Utilizando o Método de Custos de Controle

A ideia por trás desta abordagem é estimar o custo necessário para reduzir o nível de ruídos sentidos pelos indivíduos até os limites que estejam dentro dos padrões aceitáveis. O custo monetário para a redução do nível de ruídos, ou seja, impedir que as externalidades geradas por ruídos ocorram, pode ser considerada uma aproximação para o valor das externalidades geradas pelos ruídos. Os padrões recomendados para uso são os apresentados na tabela 6.3.

Entre algumas das principais alternativas utilizadas para reduzir ruídos no setor de transportes (e que podem ser combinadas) são a instalação de barreiras

sonoras ao longo da rodovia e isolamento acústico nas edificações afetadas (TSUNOKAWA e HOBAN, 1997).

6.3.4.1 Uso de Barreiras Sonoras

Com a utilização do software TNM, pode-se dimensionar o tipo de barreira sonora, que permita a redução do nível de ruídos em cada receptor a níveis aceitáveis. Os custos necessários à construção de barreiras sonoras fornecem indicativos do valor das externalidades geradas pelos ruídos.

Embora a aplicação deste método possa parecer fácil e prática, ela pode trazer mais problemas ao processo de valoração, pois a construção em si da barreira pode criar outras externalidades difíceis de serem mensuradas, como a intrusão visual e efeito barreira³⁷.

6.3.4.2 Isolamento acústico

Tal alternativa prevê o uso de instrumentos para isolar acusticamente os ambientes ocupados pelos indivíduos a ponto que os ruídos advindos da rodovia não excedam os padrões aceitáveis para o nível de conforto a que se destinam as edificações. Para aplicar esta alternativa, além do uso do TNM para simular a propagação dos ruídos, é necessário obter características das edificações de modo a poder dimensionar a medida de isolamento acústico. As medidas de isolamento devem ser avaliadas de acordo com as características de cada caso.

Um exemplo de instrumento é a instalação de vidros duplos. O valor monetário desta instalação seria uma estimativa para o valor das externalidades geradas pelos ruídos.

6.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Como as mudanças climáticas são uma fonte de externalidades em nível global, o impacto não depende diretamente da localização das emissões. Portanto, de modo a realizar simplificações, adota-se a premissa que todo CO₂ (ou gás

³⁷ Criação de uma barreira física que impede o deslocamento das pessoas e/ou animais.

equivalente) emitido contribuirá para as mudanças climáticas, seja de modo direto ou indireto³⁸.

O processo de valoração proposto para as emissões, visualizado na figura 6.4, é composto por duas etapas principais:

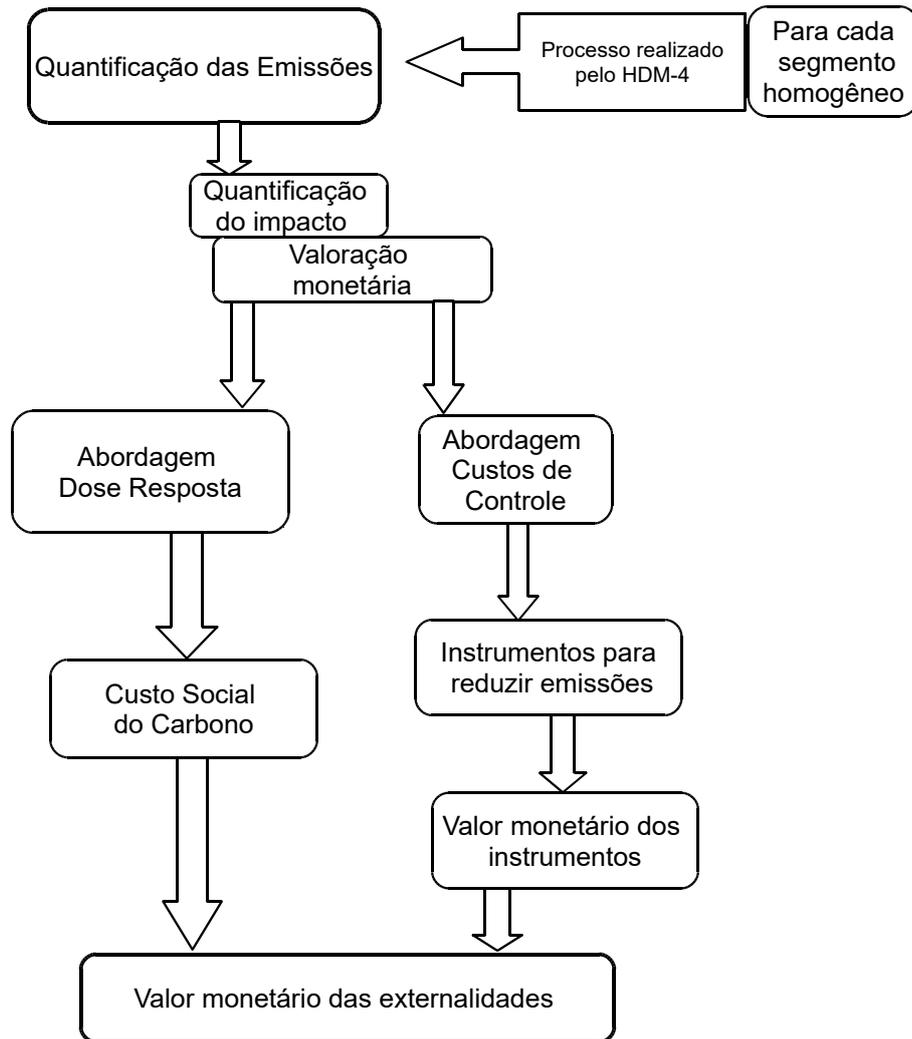
- a) Quantificação das emissões; e
- b) Valoração Monetária: sendo que nesta etapa utilizando-se dos dados de entrada da etapa anterior, ocorrem de modo simultâneo a identificação das externalidades geradas, quantificação e valoração monetária.

6.4.1 Quantificação das Emissões

Para o processo de quantificação das emissões diretas de CO₂ (e gases equivalentes) recomenda-se o uso do software HDM-4, pois pode ser utilizado em conjunto com a quantificação das emissões dos outros gases no processo de valoração das externalidades resultantes da poluição do ar. Após a simulação do HDM-4 em cada segmento homogêneo de análise, obtêm-se a quantidade de CO₂ emitida pelos veículos em dado intervalo de tempo. A quantificação das emissões será utilizada como dados de entrada para a etapa de valoração monetária.

³⁸ Criando concorrência com outra molécula que não seja emitida por veículos no processo de assimilação pela natureza

Figura 6.4 – Valoração Monetária das Mudanças Climáticas



Fonte: Elaboração própria com base em resultados do estudo.

6.4.2 Valoração Monetária

As principais abordagens utilizadas para a valoração monetária das emissões de CO₂ envolvem custos e danos e custo de abatimento das emissões.

Medidas que estimem o custo de abatimento do carbono, de acordo com Watkiss et al.³⁹(2005, apud Maibach et al. 2008 p.244), não são a primeira melhor solução da perspectiva de bem estar econômico, mas poderiam ser utilizadas assumindo que a redução de carbono representa a preferência das pessoas.

Para Gibson et al. (2014), uma medida que pudesse estimar por completo os custos e danos, embora seja desejável do ponto de vista científico, é difícil de ser

³⁹ Watkiss et al. The Social Cost of Carbon (SCC) Review : Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment, Final Report November London : UK Defra, 2005.

utilizada devido a grandes incertezas quanto aos efeitos do aquecimento global, assim como muitos danos podem surgir apenas em um horizonte de tempo mais distante.

BECKER et al. (2012) citam que de uma perspectiva científica, o cálculo de custos dos danos deveria ser o modo teoricamente preferível, porque os efeitos e custos externos são quantificados diretamente.

Uma alternativa que pode simplificar todo o processo de valoração, envolvendo as etapas de identificação dos impactos, quantificação dos impactos e valoração monetária das externalidades geradas sem utilizar métodos de custo de abatimento assim como tampouco desenvolver modelos próprios para estimar todos os danos gerados pelas mudanças climáticas, é a utilização da transferência de benefícios através do Custo Social do Carbono (CSC).

O Custo Social do Carbono, representa uma estimativa monetária dos danos causados ao longo do tempo pela emissão de uma tonelada de CO₂ (ou gás equivalente) em um dado ano, ou em outros termos poderia ser definido como o preço sombra dos efeitos do carbono em seu ciclo de vida (desde as emissões até que seja novamente assimilado pela natureza). Tem a intenção de incluir os efeitos das mudanças climáticas na saúde humana, nas alterações na produtividade agrícola, riscos de enchentes e valor de serviços ecossistêmicos, entre outros efeitos (NORDHAUS, 2014).

O valor do CSC varia de acordo com o ano (devido principalmente ao aumento da concentração de CO₂ acumulado na atmosfera) e da taxa de desconto escolhida, assim como também sofre constantes atualizações e revisões de acordo com aperfeiçoamento dos modelos escolhidos para estimar o seu valor (IAWG, 2016).

O valor do CSC é tipicamente estimado através do uso de modelos de simulação relativamente complexos que combinam processos climáticos, crescimento econômico e relações entre ambos em uma única estrutura de modelagem, muitas vezes referidos como modelos de avaliação integrada (*IAMs - Integrated Assessment Models*). Não há uma unanimidade quanto o valor monetário do custo social do carbono e do modelo escolhido para estimar os efeitos das alterações da concentração do CO₂ no meio ambiente, cada modelo utiliza um método de estimar os danos, assim o valor do CSC pode ser distinto de acordo como o modelo utilizado. Os principais modelos utilizados são: DICE (*Dynamic*

Integrated Climate and Economy), FUND (*Climate Framework for Uncertainty, Negotiation, and Distribution*), PAGE (*Policy Analysis of the Greenhouse Effect*) e WITCH (*World Induced Technical Change Hybrid*) (NEWBOLD et al., 2010).

Em alguns casos, com em IAWG (2016), o valor do CSC é obtido pela combinação de mais de um modelo, no caso: o DICE 2010, FUND 3.8, e PAGE 2009. Na tabela 6.4, a título de exemplo, são apresentados valores do custo social do carbono, para diferentes taxas de desconto com sua variação ao longo do tempo.

Tabela 6.3 - Custo Social do Carbono para Diferentes Taxas de Desconto (em US\$ de 2007 por tonelada métrica de CO₂)

Ano	5 %	3%	2,5 %
2015	11	36	56
2020	12	42	62
2025	14	46	68
2030	16	50	73
2035	18	55	78
2040	21	60	84
2045	23	64	89
2050	26	69	95

Fonte: IAWG (2016). Adaptado.

Ressalta-se que os dados da tabela 6.4 são apresentados apenas a título de ilustração, assim para o uso de valores do CSC em um processo de avaliação econômica, recomenda-se que seja consultada a fonte, para obter os valores mais atuais disponíveis, assim como se utilizem os dados para cada ano do período de análise e na mesma taxa de desconto utilizada na avaliação econômica.

Com os dados de emissões de CO₂ (ou gás equivalente) a cada ano do período de análise e os valores do CSC é possível obter uma estimativa de um valor monetário para as externalidades geradas por mudanças climáticas.

Embora, em grande parte dos casos o uso de valores obtidos através da transferência de benefícios não seja recomendada, devido principalmente a características locais que determinam o grau de danos, como as externalidades geradas pelas mudanças climáticas ocorrem a nível global, o uso da transferência de benefícios apenas referente ao valor do CSC apresenta uma incerteza muito menor que utilizar a transferência de benefícios para obter valores para os danos gerados a cada km de rodovia percorrido por um veículo.

Apesar das muitas incertezas envolvidas na identificação de todos os potenciais efeitos das mudanças climáticas, assim como a concentração de CO₂ presente na atmosfera a cada ano, o CSC demonstra ser uma medida útil para ser incluída em análises custo benefício dos EVTEAs do DNIT, pois, possivelmente as incertezas geradas quanto a obtenção do valor do CSC, sejam muito menores que um valor obtido em um estudo próprio realizado em um EVTEA.

6.5 OUTRAS EXTERNALIDADES

Embora seja possível valorar praticamente todas as externalidades (se houver tempo, recursos técnicos e financeiros disponíveis), muitas em termos médios, não são economicamente relevantes e poderiam ser suprimidas, porém em alguns casos específicos alguma fonte de externalidades que em termos médios no setor de transportes não é relevante, pode apresentar grande relevância econômica em um EVTEA específico. Portanto, primeiro recomenda-se realizar uma avaliação qualitativa dos impactos de modo a verificar se é pertinente ou não investir tempo e recursos financeiros em um processo de valoração para as demais externalidades.

Exemplos de fontes de externalidades que, na literatura (para casos europeus, principalmente), em termos médios não apresenta significativa relevância econômica e que em rodovias brasileiras, de acordo com o que foi observado em Pimenta et al.(2014), pode apresentar relevância econômica são:

- a) Danos à Natureza e Paisagem;
- b) Alterações na Biodiversidade; e
- c) Interferências em Áreas Sensíveis.

As principais razões pelas quais, publicações que apresentam estudos que abrangem um conjunto de externalidades ambientais demonstrarem pouca relevância econômica em termos médios para tais externalidades, deve-se ao fato de que a literatura relacionada às externalidades de transportes rodoviários, em geral, apresenta dados de países desenvolvidos que já possuem um nível de biodiversidade baixo, deste modo não ocorreriam alterações significativas.

De Rus et al. (2010) mencionam que a avaliação econômica pode pecar por dois erros extremos que afetam os impactos ambientais: O primeiro por omissão, quando os aspectos ambientais não são levados em consideração; e o outro é quando há um dispêndio grande de esforço em quantificar custos e benefícios.

A proposição de abordagens que possam estimar o valor para alterações na biodiversidade, interferências em áreas sensíveis e danos a natureza e paisagem, sem um dispêndio grande de esforço, é bastante dificultada em razão das características das externalidades geradas, principalmente quando afetam ambientes culturais e estéticos e envolvem valores de opção e existência, devendo em muitos destes casos, ser necessária a realização de um estudo próprio de valoração para cada caso.

Torna-se conveniente que tais fontes de externalidades sejam valoradas monetariamente nas situações que, após a avaliação qualitativa, demonstrem causarem impactos ambientais significativos, sendo assim necessário optar por um método de valoração de acordo com a característica de cada caso em particular.

Como um dos objetivos do presente trabalho é apresentar uma metodologia de valoração ambiental prática para aplicação nos EVTEAs, em razão das observações supracitadas e das limitações de tempo, não será proposta nenhuma abordagem de valoração aplicada aos EVTEAs para estas externalidades (alterações na biodiversidade, interferências em áreas sensíveis e danos à natureza e paisagem).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fontes de externalidades ambientais com maior relevância econômica na infraestrutura de transportes rodoviários são: Mudanças Climáticas, Poluição do Ar e Ruídos. Tais fontes ocorrem em praticamente todos os casos, apenas variando em magnitude.

Outras fontes de externalidades como: Interferência em Áreas Sensíveis, Alterações na Biodiversidade e Danos à Natureza e Paisagem, apresentam relevância econômica relativa, pois dependem muito de características locais e não ocorrem em todos os casos. No Brasil tais fontes de externalidades apresentam maior potencialidade de serem economicamente relevantes que em países desenvolvidos.

A partir das fontes utilizadas neste trabalho, observou-se que o tratamento dado a incorporação de externalidades ambientais em avaliações econômicas de projetos de transporte rodoviário é bastante heterogêneo. Em alguns países há um processo de valoração monetária consistente (não para todas as externalidades ambientais⁴⁰), há países que não incluem externalidades ambientais em uma avaliação econômica, outros utilizam-se predominantemente de transferência de valores (as vezes de forma bastante limitada), assim como há países que investem em pesquisas para valorar monetariamente as externalidades ambientais geradas pela infraestrutura de transportes⁴¹.

As externalidades ambientais presentes na infraestrutura de transportes rodoviários que são mais abordadas em avaliações econômicas são referentes à Poluição do Ar, Ruídos e Mudanças Climáticas, não necessariamente por serem as mais relevantes economicamente, mas pela grande quantidade de estudos realizados ao longo do tempo, o que facilita tanto o desenvolvimento de abordagens práticas para obter um valor monetário, como o uso da transferência de benefícios.

Apesar de existirem algumas limitações⁴², as abordagens que apresentam maior praticidade para valorar externalidades ambientais em avaliações econômicas *ex ante*, são as abordagens que utilizam-se de relações Dose Resposta, pois podem

⁴⁰ Neste caso isto deve-se ao fato da realização de análises econômicas multicritério, em que algumas externalidades ambientais são incluídas apenas de modo qualitativo.

⁴¹ Nestes casos geralmente a finalidade de uso dos dados está relacionada à formulação de políticas públicas para internalizar tais externalidades.

⁴² O Método Dose Resposta, não capta o Valor Econômico Total.

ter aplicação simples, apresentam custo relativamente baixo para serem executadas, em muitos casos permitem o uso de transferência de benefícios⁴³ de forma satisfatória, além de permitir que a aplicação de tais abordagens seja convertida em modelos computacionais para facilitar aplicações futuras.

Após consulta ao conteúdo de alguns EVTEAs do DNIT, de editais contendo termos de referências para a elaboração de tais estudos e de informações verbais de técnicos de empresas que elaboram EVTEAs para o DNIT, verifica-se que as principais externalidades ambientais não são incorporadas na avaliação econômica de um EVTEA⁴⁴.

Entre manuais e guias de avaliação econômica de projetos de transportes consultados para este trabalho, não foi identificada uma metodologia de valoração ambiental que pudesse ser aplicável de modo prático e consistente a avaliações econômicas *ex-ante* em países em desenvolvimento, sem a necessidade de vários ajustes. Isto não significa que não é possível ou inviável valorar as externalidades ambientais nos EVTEAs do DNIT.

Com a realização deste trabalho pôde-se identificar abordagens de valoração que, após algumas adaptações, apresentam a capacidade de estimar um valor monetário para as principais externalidades ambientais nas avaliações econômicas dos EVTEAs do DNIT. Porém, o valor estimado não corresponde ao Valor Econômico Total (VET), devido ao fato de não ser factível ou necessário valorar todas as externalidades ambientais em uma ACB.

A partir da análise às características e ao modo como são elaborados os EVTEAs, assim como às técnicas e abordagens de valoração ambiental com aplicações no setor de transportes rodoviários, foi possível apresentar uma metodologia que permite realizar a valoração ambiental para as três principais fontes de externalidades ambientais do setor de transportes rodoviários (Poluição do Ar, Ruídos e Mudanças Climáticas)⁴⁵. Tal metodologia pode ser replicável de modo prático a vários EVTEAs do DNIT com características distintas.

⁴³ Neste caso, principalmente o uso de funções Dose Resposta de outros estudos.

⁴⁴ Deste modo as contatações de Roscoe (2011) (de que as recentes aplicações da ACB em projetos de transportes rodoviários não se mostram efetivas quanto à internalização de variáveis ambientais, assim como tampouco fornecem estimativas realistas quanto aos custos ambientais associados aos projetos de investimento) continuam válidas.

⁴⁵ Estas são as externalidades que, nos termos de referências para elaboração dos EVTEAs, geralmente há solicitação para que sejam estimados seus custos.

Para outras fontes de externalidades (Danos à Natureza e Paisagem, Interferência em Áreas Sensíveis e Alterações na Biodiversidade) que dependem muito de características locais quanto à formação de externalidades, assim como também podem apresentar valores de opção e existência significativos, o uso de abordagens práticas⁴⁶ de valoração ambiental (principalmente o método Dose Resposta) é limitado, restando muitas vezes apenas a aplicação do MVC (que é capaz de captar o valor de existência). Deste modo, para tais fontes de externalidades, na dissertação, não foram apresentadas diretrizes detalhadas de como proceder com a valoração, mas apenas considerações gerais.

A metodologia apresentada, não tem a finalidade de obter o Valor Econômico Total (VET), mas sim obter o valor das principais externalidades ambientais (positivas ou negativas) que ocorrem em uma intervenção na infraestrutura de transportes rodoviários, ou seja, a variação do VET que ocorre partindo de um cenário base a um cenário com intervenções.

Considerando que em qualquer processo de valoração com um número grande de externalidades envolvidas é praticamente impossível obter uma estimativa exata para o VET, e que, de modo geral, na avaliação econômica dos EVTEAs, o objetivo não é verificar apenas em uma alternativa de investimento se os benefícios superam os custos, mas sim, comparar os indicadores econômicos entre mais de uma alternativa⁴⁷ de investimento, se ocorrer um processo de valoração para as principais externalidades ambientais por meio de um mesmo critério em cada alternativa avaliada, o peso das externalidades ambientais exercerá influência na avaliação econômica de um EVTEA, evitando que haja total omissão dos efeitos econômicos da infraestrutura de transportes rodoviários no meio ambiente.

Recomenda-se para trabalhos futuros a elaboração de um modelo computacional que, por meio da aplicação da metodologia proposta na dissertação, permita estimar um valor monetário para todas as principais externalidades ambientais de um EVTEA alterando-se apenas os parâmetros de entrada do modelo sem a necessidade de recorrer a diversos procedimentos para valorar cada externalidade.

Considerando a potencial relevância econômica em rodovias brasileiras para as externalidades relacionadas a Danos à Natureza e Paisagem, Interferência em

⁴⁶ Que possam ser replicáveis a vários EVTEAs com características distintas.

⁴⁷ Sendo no mínimo um cenário com intervenções e o cenário base.

Áreas Sensíveis e Alterações na Biodiversidade, recomenda-se para trabalhos futuros a realização de estudos visando a identificação de uma metodologia para valoração ambiental de tais externalidades aplicável aos EVTEAs do DNIT.

REFERÊNCIAS

- ADLER, H. A. **Economic Appraisal of Transport Projects : a manual with case studies**. World Bank Institute (WBI) development study. Baltimore and London, 1987.
- ANDERSON, H.; JONSSON, L.; OGREN, M. *Property prices and exposure to multiple noise sources: hedonic regression with road and railway noise*. **Environmental and Resource Economics**, v. 45, p. 73–89, 2010.
- ANDERSON, H.; JONSSON, L.; OGREN, M. Benefit measures for noise abatement: calculations for road and rail traffic noise. **European Transport Research Review**, v.5, p.135–148, 2013.
- ARE - Federal Office of Spatial Development. **External Costs and Benefits of Transport in Switzerland. Road, rail, air and waterborne transport from 2010 to 2012**. 2016. Disponível em: <
https://www.are.admin.ch/dam/are/en/dokumente/verkehr/publikationen/externe_kosten_undnutzendesverkehrsinderschweiz.pdf.download.pdf/external_costs_andbenefitsoftransportinswitzerland.pdf>. Acesso em 02 mar 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151. **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. 2000.
- BRAUBACH, Matthias et al., **Environmental burden of disease associated with inadequate housing: A method guide to the quantification of health effects of selected housing risks in the WHO European Region**. 2011.
- BARANZINI, A.; SCHAERER, C.; THALMANN, P. Using measured instead of perceived noise in hedonic models. **Transportation Research part. D**. v.15, p.473–482, 2010.
- BATEMAN, I. J.; et al., Economic analysis for ecosystem service assessments. **Environmental and Resource Economics**, v. 48, n. 2, p.177-218, 2011.
- BECKER, Udo J.; BECKER, Thilo; GERLACH, Julia. **The True Costs of Automobility: External Costs of Cars Overview on existing estimates in EU-27**. TU Dresden, 2012.
- BENNETT, C. AND GREENWOOD, I., Modelling road user and environmental effects in HDM-4, Volume 7, **The Highway Development and Management Series**, PIARC, Paris, 2004.
- BICKEL, Peter et al., Environmental costs. **Measuring the Marginal Social Cost of Transport, Research in Transportation Economics**, v. 14, p. 185-209, 2005.
- BICKEL, Peter et al., Introducing environmental externalities into transport pricing: measurement and implications. **Transport reviews**, v. 26, n. 4, p. 389-415, 2006.

BRANDT, S.; MAENNIG, W. *Road Noise Exposure and Residential Property Prices: Evidence from Hamburg*. **Transportation Research Part D**, v. 16, p. 3-30, 2011.

BRASIL. **Lei n. 5.917/73, de 10 de setembro de 1973**. Aprova o Plano Nacional de Viação e dá outras providências. 1973. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5917.htm>. Acesso em 15 abr 2016.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA 003/90**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em 12 mai 2017.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão Nº 555/2005 – TCU**. 2005. Disponível em: <https://contas.tcu.gov.br/pesquisaJurisprudencia/#/detalhamento/11/*/KEY%3AACORDAO-COMPLETO-22971/DTRELEVANCIA%20desc/false/1>. Acesso em, 12 de abr 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários: escopos básicos / instruções de serviço**. - 3. ed. - Rio de Janeiro, 2006a. 484p. (IPR. Publ., 726)

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Diretrizes básicas para estudos e projetos rodoviários instruções para apresentação de relatórios**. - Rio de Janeiro, 2006b. 313p. (IPR. Publ., 727).

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital.392/2007-00– DNIT**. 2007a. disponível em: <www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0392_07-00_0.zip> Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Portaria DNIT Nº 1.705 de 14 de novembro de 2007**. 2007b. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/planejamento-e-pesquisa/planejamento/estudos-de-viabilidade/portaria-1705.pdf>> Acesso em 02 de junho de 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital. 254/2007-15**. 2007c. Disponível em: < <http://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/editais2.asp> > Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital. 22/2007-02**. 2007d. Disponível em: < <http://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/editais2.asp> > Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital.753/2009-00– DNIT**. 2009. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0753_09-00_0.pdf> Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital.228/2010-10– DNIT** . 2010. Disponível em:
<http://www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0228_10-10_0.pdf> Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **BR 316 PA - Adequação de Capacidade de Trecho Rodoviário – Castanhal – Santa Maria do Pará –Capanema – no Estado do Pará**. Brasília – DF, 2011a.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudo De Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Pontos Críticos Na Rodovia BR – 285/RS**. Brasília – DF, 2011b.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital.877/2012-00– DNIT** .2012a. Disponível em:
<www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0877_12-00_0.doc> Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital.677/2012-00– DNIT**. 2012b. Disponível em:
<http://www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0677_12-00_0.pdf> Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital.099/2013– DNIT**. 2013a. Disponível em:
<http://www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0099_13-05_0.pdf> Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica, Financeira e Ambiental Para Obras de Adequação da Capacidade e Reabilitação com Melhorias Para Segurança Na BR-230/MA**. Brasília – DF, 2013b.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital. 203/2013-08**. 2013c. Disponível em: < <http://www1.dnit.gov.br/editais/consulta/editais2.asp> > Acesso em 12 de março de 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Edital. Nº 0453/2014 – 00 – DNIT**. 2014a. Disponível em:
<http://www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0453_14-00_1.pdf> Acesso em 02 de junho de 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) Para Construção, Adequação De Capacidade, Melhorias na Segurança e Correção de Pontos Críticos na Rodovia Federal BR-374**. Brasília – DF, 2014b.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação De Pontos Críticos Na Rodovia BR – 470 SC**. Brasília – DF, 2014c.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Segmentos Críticos da Rodovia BR-153/RS**. Brasília – DF, 2014d.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade Com Melhoria de Segurança e Eliminação de Pontos Críticos da Rodovia Federal Br-230/PA – “Complexo Rodoviário de Marabá”**. Brasília – DF, 2015a.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica E Ambiental (EVTEA) para Adequação de Capacidade, Melhoria da Segurança e Eliminação de Pontos Críticos Na Rodovia BR – 282/SC, no Estado de Santa Catarina**. Brasília – DF, 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Execução dos Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (1ª Etapa) e Elaboração do Projeto Executivo de Engenharia para Melhoramentos em Rodovias para Adequação de Capacidade e Segurança de Segmento (2ª Etapa) na Rodovia BR 367/BA**. Brasília – DF, 2015b.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/estudos-de-viabilidade>>. Acesso em 02 de junho de 2015c.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental - EVTEA**. 2016. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/planejamento-e-pesquisa/planejamento/estudos-de-viabilidade/lcs-097-2010-solic-public-texto-evtea-site-dnit.pdf>>. Acesso em 15 ago 2016.

BRASIL. **DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**. 2017. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br>>. Acesso em 10 jan 2017.

BRAUBACH, Matthias et al. **Environmental burden of disease associated with inadequate housing: A method guide to the quantification of health effects of selected housing risks in the WHO European Region**. 2011. Disponível em< http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/145511/e95004sum.pdf?ua=1>. Acesso em 06 mai 2017.

CASTRO, Joana D’arc Bardella. **Usos e abusos da valoração econômica do meio ambiente: ensaios sobre aplicações de métodos de função demanda no Brasil**. 2015. 250 f., il. Tese (Doutorado em Economia) —Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2015.

CETESB (São Paulo). **Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo**, 1.: comunicação estadual / CETESB; coordenação João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini

Ferrer; Equipe Mariana Pedrosa Gonzalez ... [et al.,], - 2.ed. - São Paulo: CETESB, 2011.192 p.

CHIQUETTO, Sergio. A Review On Monetary Valuation of the Environmental Impacts of Traffic. **TRANSPORTES**, Rio de Janeiro, RJ, v. 2, n. 1, abr. 1994. ISSN 2237-1346. Disponível em: <<http://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/332>>. Acesso em: 10 maio. 2015.

CORIA, Jessica et al., Air pollution dynamics and the need for temporally differentiated road pricing. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 75, p. 178-195, 2015.

CRAVIOTO, Jordi et al., Road transport externalities in Mexico: Estimates and international comparisons. **Transport Policy**, v. 30, p. 63-76, 2013.

DANIELIS, R; CHIABAI, A. *Estimating the Cost of Air Pollution from Road Transport in Italy*. **Transportation Research Part D**, v.3, p.249-258, 1998.

DANIELS, R.; HENSHER, D.A. Valuation of environmental impacts of transportation projects: The challenge of self-interest proximity. **Journal of Transport Economics and Policy**, v.34 (2), p.189-214, 2000.

DAY, B; BATEMAN, I; LAKE, I. Beyond implicit prices: recovering theoretically consistent and transferable values for noise avoidance from a hedonic property price model. **Environmental Resources Economics**, v.37, p.211–232, 2007.

DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs. **An introductory guide to valuing ecosystem services**. 2007. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69192/pb12852-eco-valuing-071205.pdf> Acesso em 12 jul 2016.

DELUCCHI, Mark A. Environmental externalities of motor-vehicle use in the US. **Journal of Transport Economics and Policy**, p. 135-168, 2000.

DE RUS, Gines; CRUZ, Ofelia; CAMPOS, Javier. **Manual de evaluación económica de proyectos de transporte**. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. 2006. Disponível em :<<https://publications.iadb.org/handle/11319/5169>>. Acesso em 25 fev 2016.

DE RUS, Gines; et al. **Manual de evaluación económica de proyectos de transporte**. Gobierno de España. 2010. Disponível em: <<http://www.evaluaciondeproyectos.es/EsWeb/Resultados/Manual/PDF/EsManual.pdf>>. Acesso em 01 mar 2016.

DIXON, John A. **Economic Cost-Benefit Analysis (CBA) of Project Environmental Impacts and Mitigation Measures: Implementation Guideline**. Inter-American Development Bank, 2012. Disponível em: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5975/Economic%20Cost%20-%20Benefit%20Analysis%20%28CBA%29%20of%20Project%20Environmental%20Impacts%20and%20Mitigation%20Measures%3a%20Implementation%20Guideline%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 15 abr 2017.

DIXON, John; PAGIOLA, Stefano. Economic analysis and environmental assessment. **Environmental assessment sourcebook update**, v. 23, 1998. Disponível em: < <http://siteresources.worldbank.org/INTSAFEPOL/1142947-1118039018606/20526257/Update23EconomicAnalysisAndEAApril1998.pdf>>. Acesso em 23 mai 2017.

DRÈZE, Jean; STERN, Nicholas. The theory of cost-benefit analysis. **Handbook of public economics**, v. 2, p. 909-989, 1987.

ECOPLAN, INFRAS. Externe Effekte des Verkehrs 2010, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. **Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE. Bern, Zürich, Altdorf**, 2014. Disponível em: < www.infras.ch/media/filer_public/77/42/77422e2e-434e-428c-a3f6-a5acceb167aa/ekv10_schlussbericht.pdf>. Acesso em 06 mai 2017.

FERRÓN-VÍLCHEZ, Vera et al., La Internalización De Los Costes Medioambientales En El Transporte De Mercancías Por Carretera (Internalizing Environmental Costs on the Road Freight Transport Industry). **Cuadernos de gestión**, v. 11, p. 117-140, 2011.

FIELD, B.C.; FIELD, M.K. Análise de custo – benefício: benefícios. In -. **Introdução à Economia do Meio Ambiente**. Tradução: Christiane de Brito Andrei; Revisão técnica: Ronaldo Seroa da Motta. Porto Alegre: AMGH, 2014 - 6. ed. p.132 – 155.

FOSGERAU, M.; BJØRNER, T.B. Joint models for noise annoyance and willingness to pay for road noise reduction. **Transportation Research. Part B: Methodological**, v.40, p.164-178, 2006.

GIBBONS, S.; MOURATO, S.; RESENDE, G.M. The Amenity Value of English Nature: A Hedonic Price Approach. **Environmental and Resource Economics**, v.5, p.175-196, 2014.

GIBSON, Gena et al., **Update of the handbook on external costs of transport**. Final report for the European commission, Directorate-General, Mobility and Transport, London, UK, 2014. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/studies/doc/2014-handbook-external-costs-transport.pdf>> Acesso em 12 set 2016.

GOUD, B. Santhaveerana; SAVADATTI, Sachinkumar; PRATHIBHA, D. Application of Caline 4 Model To Predict Pm_{2.5} Concentration at Central Silk Board Traffic Intersection of Bangalore City. **International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET)**. 6. p.191-200. 2015.

GRAFTON, R. Quentin; PENDLETON, Linwood H.; NELSON, Harry W. **A dictionary of environmental economics, science, and policy**. Edward Elgar, UK, 2001.

HAMERSMA, M.; et al. Residential satisfaction close to highways: The impact of accessibility, nuisances and highway adjustment projects. **Transportation research part A - Policy and practice**. v.59, p.106-121, 2014.

HANLEY, Nick; BARBIER, Edward B. **Pricing Nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy-Making**. Edward Elgar, UK, 2009. 360 p.

HANLEY, N.; SPASH, C. **Cost-Benefit Analysis and the Environment**. Edward Elgar Publishers Limited, England, Capítulo 1, p. 8-20, 1993.

HAUSMAN, J. Contingent Valuation: From Dubious to Hopeless. **Journal of Economic Perspectives**, v.26, n.4, p.43–56, 2012.

IAWG, U. S. **Technical update of the social cost of carbon for regulatory impact analysis under executive order 12866**. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government Technical support document , Washington, DC, 2016. disponível em https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf acesso em 15 maio de 2017.

IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 2015. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>> Acesso em 14 fev 2017.

ISTAMTO, T.; HOUTHUIJS, D; LEBRET, E. Multi-country willingness to pay study on road-traffic environmental health effects: are people willing and able to provide a number? **Environmental Health: A Global Access Science Source**, v.13, p.1-13, 2014.

ISTAMTO, T.; HOUTHUIJS, D; LEBRET, E. Willingness to pay to avoid health risks from road-traffic-related air pollution and noise across five countries. **Science of The Total Environment**, v.497-498 p.420-429, 2014.

JENSEN, S.S.; et al., Evaluation of exposure factors applied in marginal external cost analysis of transportation related air pollution. **Transportation Research Part D**, v.13 p.255-273, 2008.

JUNIOR, José Pedro Francisconi et al. CONTRIBUIÇÃO DO PROGRAMA DE INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE SANTA CATARINA NA REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 694-710, 2016.

KLEIN, Frederico de Carvalho. **Análise da influência de características geométricas de rodovias nos custos dos usuários utilizando o programa HDM-4**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KONAR, T. S.; CHAKRABARTY, S. Applicability of Caline4 model for NOx in Kolkata Roadway. **Journal of Civil and Environmental Engineering S**, v. 1, 2012.

LERA-LOPEZ, F.; FAULIN, J.; SANCHEZ, M. Determinants of the willingness-to-pay for reducing the environmental impacts of road transportation. **Transportation Research Part D**, v.17(3), p. 215–220, 2012.

LANDMANN, M. C.; RIBEIRO, H; DEÁK, C. Uma proposta metodológica para estimar o custo da poluição do ar nas análises de viabilidade de sistemas de transportes urbanos. **Transportes** (Rio de Janeiro), v.15, p.42-49, 2007.

ŁOWICKI, D; PIOTROWSKA, S. Monetary valuation of road noise. Residential property prices as an indicator of the acoustic climate quality. **Ecological Indicators**, v.52, p.472-479, 2015.

MAIBACH, Markus et al., **Handbook on estimation of external costs in the transport sector**. CE Delft, 2008. Disponível em: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/doc/2008_costs_handbook.pdf > Acesso em 12 mai 2016.

MAKRA, László et al. Application of CALINE4 for modeling dispersion of roadside CO and NO₂ emissions in Szeged, Hungary. **BULETINUL AGIR/AGIR SCIENTIFIC BULLETIN**, v. 18, p. 85-90, 2013.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa – 2ª edição**. 2014. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/Estimativas+2ed.pdf/0abe2683-e0a8-4563-b2cb-4c5cc536c336>>. Acesso em 12 jul 2016.

MOTA, José Aroudo; BURSZTYN, Marcel. O valor da natureza como apoio à decisão pública. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, v. 34, n. 125, p. 39-56, 2013.

MOTTA, R. S. **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006. 228p.

MOURA, Luiz Antônio Abdalla de. **Economia Ambiental: gestão de custos e investimentos** Del Rey, 2011. 296 p.

MUELLER, Charles. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1ª reimpressão, 2012. 562 p.

NOCERA, Silvio; CAVALLARO, Federico. Economic evaluation of future carbon dioxide impacts from Italian highways. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 54, p. 1360-1369, 2012.

NOGUEIRA, J.M., et al., Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empirismo? **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 17, n.2, p.81-115, 2000.

NORDHAUS, William. Estimates of the social cost of carbon: concepts and results from the DICE-2013R model and alternative approaches. **Journal of the Association of Environmental and Resource Economists**, v. 1, n. 1/2, p. 273-312, 2014.

NSW GOVERNMENT. **Principles and Guidelines for Economic Appraisal of Transport Investment and Initiatives**. 2013. Disponível em: <<https://www.transport.nsw.gov.au/newsroom-and-events/reports-and-publications/principles-and-guidelines-economic-appraisal-of>> Acesso em 02 nov 2015.

NSW GOVERNMENT. **Principles and Guidelines for Economic Appraisal of Transport Investment and Initiatives**., 2016. 353 p. Disponível em: <<https://www.transport.nsw.gov.au/sites/default/files/media/documents/2017/principles->

and-guidelines-for-economic-appraisal-of-transport-investment.pdf>. Acesso em 10/08/2017.

NUNES, D.F. **Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2012. 216 p.

PEARCE, David W.; SECCOMBE-HETT, Tannis. Economic Valuation and Environmental Decision-Making in Europe. **Environ. Sci. Technol**, v. 34, p. 1419-1425, 2000.

PEARCE, David; ATKINSON, Giles; MOURATO, Susana. **Cost-benefit analysis and the environment: recent developments**. Organisation for Economic Co-operation and development, 2006.

PERMAN, R.; MA, Y.; MCGILVRAY, J.; COMMON, M. **Natural Resource & Environmental Economics**. Harlow: Pearson Educated Limited, 2003. 726p.

PIARC - THE WORLD ROAD ASSOCIATION **The use of monetised values for socio-environmental impacts of road projects**. 107 p. 2008. Disponível em: < <https://www.piarc.org/en/order-library/6152-en-The%20use%20of%20monetised%20values%20for%20socio-environmental%20impacts%20of%20road%20projects.htm>>. Acesso em 21 abr 2017.

PIARC - THE WORLD ROAD ASSOCIATION. **Approaches to Evaluation of Social Impacts of Road Projects**. Technical Committee A.3 – Road System Economics and Social Development. 2012. Disponível em: < <https://www.piarc.org/en/order-library/17011-en-Approaches%20to%20evaluation%20of%20social%20impacts%20of%20road%20projects.htm>>. Acesso em 21 abr 2017.

PIARC - THE WORLD ROAD ASSOCIATION. **Appraisal of Sustainability of Transport Infrastructure Plans and Programs**. 52 p. 2016. Disponível em: < <https://www.piarc.org/en/order-library/25808-en-Appraisal%20of%20Sustainability%20of%20Transport%20Infrastructure%20Plans%20and%20Programs.htm>>. Acesso em 21 abr 2017.

PIMENTA, A. F. F. et al., **Gestão para o Licenciamento Ambiental de Obras Rodoviárias: conceitos e procedimentos**. Curitiba: UFPR/ITTI, 2014. 145 p.

PRASAD, Chandrama; SWAMY, Aravind Krishna; TIWARI, Geetam. Calibration of HDM-4 emission models for Indian conditions. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 104, p. 274-281, 2013.

PRATT, Caroline. Estimation and valuation of environmental and social externalities for the transport sector. In: **25th Australasian Transport Research Forum– Incorporating the BTRE Transport Policy Colloquium**. 2002. Disponível em: < http://atrf.info/papers/2002/2002_Pratt.pdf>. Acesso em 12 mar 2017.

PROOST, Stef; VAN DENDER, Kurt. Energy and environment challenges in the transport sector. **Economics of Transportation**, v. 1, n. 1, p. 77-87, 2012.

QUADROS, Saul Germano Rabello. **Contribuição ao Processo de Priorização de Investimentos em Infraestrutura de Transportes pelo Uso do Método de Análise Hierárquica**. – Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014. 301p.

ROSCOE, Juliana Sarti. **A internalização de variáveis ambientais nas análises custo-benefício para projetos rodoviários: utopia ou realidade?** 2011. 125 f., il. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) -Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2011.

SAMARANAYAKE, Samitha et al. Real-Time Estimation of Pollution Emissions and Dispersion from Highway Traffic. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 29, n. 7, p. 546-558, 2014.

SANTA CATARINA (Estado). **PROGRAMA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA DE SANTA CATARINA - BID VI: INFORME DE GESTÃO AMBIENTAL E SOCIAL**. Florianópolis, 2012. 311p.

SANTOS, Georgina et al., Part I: Externalities and economic policies in road transport. **Research in Transportation Economics**, v. 28, n. 1, p. 2-45, 2010.

SANTOS, Geanesson Alberto de Oliveira. **Avaliação de poluição sonora de tráfego nas proximidades de estações-tubo em diferentes áreas de zoneamento da cidade de Curitiba**. Curitiba, 2015. 110 f.

SCHWEMER, S. **Economic valuation of environmental damage: Methodological convention 2.0 for estimates of environmental costs**. Dessau, Germany: Umweltbundesamt. 2012. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/methological_convention_2_0_for_estimates_of_environmental_costs_annex_a.pdf>. Acesso em 14 abr. 2017.

TEPPER, S.; TSOLAKIS, D. **Valuing emissions and other externalities: A brief review of recent studies**. 2000. Disponível em: <<https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R179-00>>. Acesso em 03 nov 2016.

THOMAS, Janet M. ; CALLAN, Scott J.. **Environmental economics and management: Theory, policy, and applications**. Cengage Learning, 2013.

TREASURY, Her Majesty's. **The green book: appraisal and evaluation in central government**. 2003. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/the-green-book-appraisal-and-evaluation-in-central-government>>. Acesso em 12 abr 2017.

TSOLAKIS, D. HOUGHTON, N; LESTER, C; SEETHALER, R ;. **Valuing environmental and other externalities**. ARRB Transport Research Ltd, 2003. Disponível em: < <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R229-03>>. Acesso em 03 nove 2016.

TSUNOKAWA, Koji; HOBAN, Christopher. **Roads and the Environment: A handbook**. World Bank technical paper ; no. WTP 376. Washington, D.C.: The World

Bank. 1997. Disponível em: <
<http://documents.worldbank.org/curated/en/904041468766175280/Roads-and-the-environment-a-handbook>> Acesso em 02 mar 2017.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **FHWA Traffic Noise Model, Version 1.0**. Technical Manual. 1998. Disponível em: <
https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/documents_and_references/> Acesso em 01 jun 2017.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **FHWA Traffic Noise Model User's Guide**(Version 2.5 Addendum), 2004. Disponível em: <
https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/documents_and_references/> Acesso em 01 jun 2017.

UK GOVERNMENT. Department for Transport. **Transport Analysis Guidance UNIT A3. Environmental Impact Appraisal**. London. 2015a. Disponível em: <
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/487684/TAG_unit_a3_envir_imp_app_dec_15.pdf>. Acesso em 12 jul 2016.

UK GOVERNMENT. Department for Transport. **Transport Analysis Guidance UNIT A5.4. Marginal External Costs**. London. 2015b. Disponível em: <
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/625402/TAG_unit_a5.4_marginal_external_costs_jul17-2.pdf>. Acesso em 13 abr 2017.

UK GOVERNMENT. Department for Transport. **Transport Analysis Guidance UNIT A5.4. Marginal External Costs**. London. 2017. Disponível em: <
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/625402/TAG_unit_a5.4_marginal_external_costs_jul17-2.pdf>. Acesso em 22 ago 2017.

VAN ESSEN, H. P. et al., **Marginal costs of Infrastructure use—towards a simplified approach**. CE Delft, 2004. Disponível em: <
http://www.cedelft.eu/art/uploads/file/04_4597_15.pdf>. Acesso em 09 jun 2016.

VAN ESSEN, Huib et al., **External Costs of Transport in Europe, Update Study for 2008**. Delft, CE Delft, Publication code, v. 11, n. 50, p. 161, 2011.

VERHOEF, Erik. External effects and social costs of road transport. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 28, n. 4, p. 273-287, 1994.

VÉRON, Adrien. **Brazil-Improving the Appraisal Framework for Road Transport Infrastructure Investments: Elements for Consideration**. Transport paper series; no. TP-29. World Bank, Washington, DC. World Bank. 2010. disponível em <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17454>. Acesso em 12 abril de 2017.

WARDMAN, M.; BRISTOW, A.L. *Traffic Related Noise and Air Quality Valuations: Evidence from Stated Preference Residential Choice Models*. **Transportation Research Part D**, v.9, p.1–27, 2004.

WHO. World Health Organization. **Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide**. World Health Organization, 2006. Disponível em: <

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf> Acesso em 06 mai 2017.

WHO. World Health Organization. **Night noise guidelines for Europe**. 2009. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf> . Acesso em 06 mai 2017.

WHO. World Health Organization. **Burden of disease from environmental noise Quantification of healthy life years lost in Europe**. 2011. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf. Acesso em 06 mai 2017.

WHO. World Health Organization. **Environmental burden of disease associated with inadequate housing**. 2011b. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/145511/e95004sum.pdf?ua=1>. Acesso em 06 mai 2017.

WHO. World Health Organization. **Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level**. Expert Meeting. 2014. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/263629/WHO-Expert-Meeting-Methods-and-tools-for-assessing-the-health-risks-of-air-pollution-at-local,-national-and-international-level.pdf>. Acesso em 05 mai 2017.

WHO. World Health Organization. **Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth**. World Health Organization, v. 2, 2015.

WHO. World Health Organization. **Health risk assessment of air pollution – general principles**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2016. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1> Acesso em 05 mai 2017.

WHO. **Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2017. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/331660/Evolution-air-quality.pdf?ua=1>. Acesso em 05 mai 2017.

WHO World Health Organization .**Methods and data sources for global burden of disease estimates2000-2015**. Global Health Estimates Technical Paper. 2017b. Disponível em: <
http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GlobalDALYmethods_2000_2015.pdf?ua=1> Acesso em 25 mai 2017.

WILLIS, Kenneth G.; GARROD, G. D.; HARVEY, D. R. A review of cost–benefit analysis as applied to the evaluation of new road proposals in the UK. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 3, n. 3, p. 141-156, 1998.

ZAWIESKA, Jakub; ARSENIO, Elisabete; PONTES, José Pedro. How Transport Policies Have Been Influenced by Transport Externalities' Studies? A Comparison Study Between Portugal and Poland. In: **European Transport Conference 2013**. 2013. Disponível em: < <http://abstracts.aetransport.org/paper/index/id/199/confid/1>>. Acesso em 06 nov 2017.

ZHANG, Anming et al., **Towards estimating the social and environmental costs of transportation in Canada**. Report for Transport Canada, 2004. Disponível em: <<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0965490.pdf>>. Acesso em 23 ago 2016.