

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES**

**PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS RODOVIÁRIOS: ESTUDO  
DE CASO BR-040, BR-116 E BR-381**

**Gustavo Resende Furtado**

**Belo Horizonte**

**2014**

**Gustavo Resende Furtado**

**PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS RODOVIÁRIOS: ESTUDO  
DE CASO BR-040, BR-116 E BR-381**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Profa. Dra. Heloisa Maria Barbosa

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2014

F922p

Furtado, Gustavo Resende.

Priorização de investimentos rodoviários [Manuscrito]: estudo de caso BR-040, BR-116 e BR-381 / Gustavo Resende Furtado. – 2014.  
ix, 112 f., enc.: il.

Orientadora: Heloisa Maria Barbosa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia de transportes - Teses. 2. Rodovias – Processo decisório- Teses. 3. Infra-estrutura (Economia) -Teses. I. Barbosa, Heloisa Maria. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656(043)



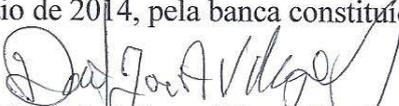
## FOLHA DE APROVAÇÃO

### **PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS RODOVIÁRIOS: ESTUDO DE CASO BR-040, BR-116 E BR-381**

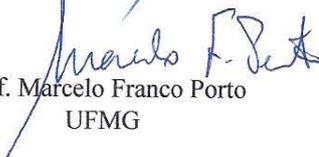
### **GUSTAVO RESENDE FURTADO**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 30 de maio de 2014, pela banca constituída pelos membros:

  
Prof. David José Ahouagi Vaz de Magalhães - Presidente da banca  
UFMG

  
Prof. Carlos Alexandre Braz de Carvalho  
UFV

  
Prof. Marcelo Franco Porto  
UFMG

Belo Horizonte, 30 de maio de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos amigos de Belo Horizonte. Aos colegas de curso da UFMG, em especial a Anna, Artur, Natália e Leonardo Lacerda, pela amizade e experiências acadêmicas compartilhadas.

Aos amigos da Consol, pela confiança e aprendizado diários.

Aos entrevistados que participaram desta pesquisa, pela disponibilidade e atenção.

Ao consultor Jaime Dicker e ao engenheiro Marcus Vinícius, pela importante contribuição neste trabalho.

Aos professores da UFV e da UFMG, pela excepcional contribuição de aprendizado e por todo conhecimento transmitido, que permitem a cada dia o crescimento profissional e humano.

Aos membros da banca, pelo aceite do convite e pelas observações com as quais certamente contribuirão.

Em especial, à orientadora Prof<sup>a</sup> Heloisa Barbosa, pelos ensinamentos, dedicação no acompanhamento dos trabalhos e significativa contribuição para a conclusão desta dissertação.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém  
ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer

*“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana,  
seja apenas outra alma humana.”*

Carl Jung

## RESUMO

Os investimentos rodoviários no Brasil têm sido insuficientes para a demanda do país, e as intervenções necessárias não poderiam ser realizadas simultaneamente, tendo em vista as limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais referentes aos investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos das rodovias. Com isso, evidencia-se a importância da priorização entre opções de investimento no setor. O objetivo geral deste trabalho, é propor uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários. Por meio de um estudo de caso com três opções de investimento, foi aplicada a Análise Multicritério utilizando-se o método Analytic Hierarchy Process - AHP, com uma abordagem econômica, social, logística e operacional. A rede de critérios adotada apresenta três níveis. As opções foram selecionadas com base na importância econômica e social das principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais, e foram representadas por trechos das BR-040, BR-116 e BR-381. Foram entrevistados profissionais de diversas áreas, que foram divididos em quatro grupos (Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos), com o objetivo de se criar cenários distintos, com diferentes pontos de vista. As entrevistas foram divididas em duas fases. Na primeira, foram julgados os critérios, e todos os entrevistados selecionados participaram. A segunda fase tratou do julgamento das opções, e participaram os entrevistados que atuam na área de transportes ou engenharia rodoviária. Para a parte matemática de todo o processo, utilizou-se o software Expert Choice. No julgamento dos critérios a consistência obtida foi 63,6%. Os aspectos sociais apresentaram o maior peso global, 38,9%. Para o julgamento das opções obteve-se uma consistência de 75,6%. A BR-381 apresentou a maior pontuação final, com praticamente 50% de prioridade. Foram realizadas ainda análises de sensibilidade, que mostraram a convergência das opiniões dos diferentes grupos de avaliadores. Por fim, este estudo foi comparado com outros três estudos relacionados ao tema e, tendo em vista que as matrizes obtidas não apresentaram intransitividade em nenhum caso, foi concluído que o modelo proposto é válido.

**Palavras Chaves:** *Infraestrutura, Transportes, Rodovias, Multicritério, Modelo de Análise Hierárquica, Processos de Decisão.*

## ABSTRACT

Highway investments in Brazil have been insufficient to meet demand, and the necessary interventions could not be carried out simultaneously, in view of the limitations in relation to financial resources, managerial problems relating to investments and the complexity of the bidding process and construction of highways. With this, highlights the importance of prioritization among investment options in the sector, and as a general objective of this work, a methodology to aid prioritization between road investment options was proposed. Through a case study with three options, Multicriteria Analysis was applied using the method - Analytic Hierarchy Process - AHP, with an economic, social, logistical and operational approach. The network of criteria adopted has three levels. The options were selected based on the economic and social importance of road links that pass through Minas Gerais, and are represented by stretches of highway (BR-040, BR-116 and BR -381) that comprise three of the main links in the state. Professionals from various fields, divided into five groups (Highway Engineers, Academics, Agencies, and Other Members) were interviewed, with the objective of creating different scenarios, with different points of view. The interviews were divided into two phases. At first, the criteria were judged, and all selected respondents participated. The second phase dealt with the trial of the options, and participated respondents who work in transportation or road engineering. For the mathematical part of the process, were used the Choice Expert software. For judging the criteria, the consistency of 63.6% was obtained.. The social aspects showed the greatest overall weight relative to the goal, 38.9%. For the trial of the options, the consistency was 75,6%. The BR-381 had the highest final score, with almost 50% of priority. Further sensitivity analyzes showed the convergence of the views of different groups of evaluators. Finally, this study was compared with three other studies related to the topic and, given that the matrices obtained did not show intransitivity in any case, it was concluded that the proposed model is valid.

**Key words:** *Infrastructure, Transportation, Highways, Multicriteria, Analytic Hierarchy Process, Decision Processes.*

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.2 JUSTIFICATIVA.....	3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1 O CENÁRIO RODOVIÁRIO NO BRASIL .....	6
2.2 AS CONCESSÕES RODOVIÁRIAS.....	7
2.3 A IMPORTÂNCIA DA PRIORIZAÇÃO ENTRE OPÇÕES DE INVESTIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	9
2.4 AS DECISÕES E A PRIORIZAÇÃO ENTRE OPÇÕES DE INVESTIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	10
2.5 A ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	12
2.5.1 O método Copeland.....	12
2.5.2 O método Promethee.....	13
2.5.3 O método Thor.....	14
2.5.4 O método Analytic Hierarchy Process - AHP.....	15
2.5.5 O método Analytic Network Process - ANP.....	19
2.6 APLICAÇÕES DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NO CONTEXTO DOS TRANSPORTES.....	19
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
3.1 ELABORAÇÃO DA REDE DE CRITÉRIOS ADOTADA .....	23
3.2 SELEÇÃO DAS OPÇÕES.....	28
3.3 ENTREVISTAS.....	31
3.4 APOIO COMPUTACIONAL DO <i>SOFTWARE EXPERT CHOICE</i> .....	31
3.5 JULGAMENTO DOS CRITÉRIOS, CÁLCULO DAS RC E DOS PESOS .....	32
3.6 JULGAMENTO, CÁLCULO DAS RC, PONTUAÇÕES E PRIORIZAÇÃO DAS OPÇÕES.....	34
<b>4 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>35</b>
4.1 DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS DA REDE ADOTADA E JULGAMENTOS.....	35
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OPÇÕES .....	40
4.2.1 BR-040.....	40

4.2.2	<i>BR-116</i> .....	41
4.2.3	<i>BR-381</i> .....	42
4.2.4	<i>Códigos do Sistema Nacional de Viação - SNV</i> .....	43
4.2.5	<i>Dados de acidentes</i> .....	45
4.2.6	<i>Condições dos trechos</i> .....	50
4.2.7	<i>Dados de tráfego</i> .....	51
4.2.8	<i>Interferências com áreas urbanas</i> .....	52
4.3	<b>PERFIL DA AMOSTRA DE AVALIADORES E ENTREVISTAS</b> .....	55
4.3.1	<i>Primeira fase de entrevistas</i> .....	57
4.3.2	<i>Segunda fase de entrevistas</i> .....	60
4.4	<b>REGISTRO DOS JULGAMENTOS E DAS RAZÕES DE CONSISTÊNCIA (RC) OBTIDAS</b> .....	62
4.4.1	<i>Critérios</i> .....	62
4.4.2	<i>Opções</i> .....	63
<b>5</b>	<b>ANÁLISES E RESULTADOS</b> .....	<b>64</b>
5.1	RC OBTIDAS PARA O JULGAMENTO DOS CRITÉRIOS.....	64
5.2	PESOS GLOBAIS E LOCAIS DOS CRITÉRIOS .....	66
5.3	PESOS GLOBAIS REUNIDOS APENAS NO NÍVEL III .....	68
5.4	ANÁLISES DE SENSIBILIDADE .....	70
5.5	RC OBTIDAS PARA O JULGAMENTO DAS OPÇÕES.....	74
5.6	PONTUAÇÕES PARCIAIS DAS OPÇÕES .....	75
5.7	PONTUAÇÕES FINAIS E PRIORIZAÇÃO DAS OPÇÕES .....	76
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE A - INTERFERÊNCIAS COM ÁREAS URBANAS</b> .....	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE B - JULGAMENTO E RC OBTIDAS (CRITÉRIOS)</b> .....	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE C - RC OBTIDAS POR GRUPO, POR MATRIZ</b> .....	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE D - JULGAMENTO E RC OBTIDAS (OPÇÕES)</b> .....	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Escala de comparação de critérios de Saaty.....	16
Figura 2.2 - Representação esquemática de uma rede de critérios do método AHP.....	16
Figura 3.1 - Matrizes presentes na rede adotada, passíveis de inconsistência .....	26
Figura 3.2 - Rede de critérios adotada. Fonte - Elaborado pelo autor.....	27
Figura 3.3 - Trechos que compõem as principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais.....	29
Figura 3.4 - Vinculação das opções aos critérios do último nível da rede (Nível III).....	30
Figura 3.5 - Rede de critérios adotada inserida na interface do <i>software Expert Choice</i> .....	32
Figura 4.1 - Trecho representado pela opção BR-040 do estudo de caso. ....	41
Figura 4.2 - Trecho representado pela opção BR-116 do estudo de caso. ....	42
Figura 4.3 - Trecho representado pela opção BR-381 do estudo de caso. ....	43
Figura 4.4 - Percentual de avaliadores por titulação. ....	57
Figura 4.5 - Ficha de preenchimento das entrevistas (primeira fase).....	59
Figura 4.6 - Ficha de preenchimento das entrevistas (segunda fase). Fonte - Elaborado pelo autor. ....	61
Figura 5.1 - Pesos globais (%) para os critérios do Nível I, considerando-se todos os avaliadores.....	66
Figura 5.2 - Pesos globais (%) em todos os níveis, considerando-se todos os avaliadores.....	67
Figura 5.3 - Pesos globais (%) em todos os níveis, considerando-se todos os avaliadores.....	68
Figura 5.4 - Pesos globais (%) Nível III (todos os avaliadores), na ordem dos julgamentos.....	69
Figura 5.5 - Pesos globais (%) Nível III (todos os avaliadores), na ordem decrescente dos pesos.....	69
Figura 5.6 - Pesos globais (%) para os critérios do Nível I (todos os avaliadores e por grupo). ....	70
Figura 5.7 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Engenheiros Rodoviários. ....	72
Figura 5.8 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Acadêmicos. ....	72
Figura 5.9 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Órgãos. ....	73
Figura 5.10 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Diversos. ....	73
Figura 5.11 - Pontuações parciais das opções.....	76
Figura 5.12 - Aspectos considerados no estudo, seus pesos globais e as pontuações das opções.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Índices randômicos em relação à ordem n de uma matriz.....	18
Tabela 3.1 - Rede de critérios adotada.....	25
Tabela 3.2 - Ligações rodoviárias selecionadas - posição no <i>ranking</i> da CNT (2013).....	28
Tabela 4.1 - Acidentes em rodovias federais por tipo de veículo, em 2002.....	37
Tabela 4.2 - Códigos SNV (2013) para o trecho da BR-040.....	44
Tabela 4.3 - Códigos SNV (2013) para o trecho da BR-116.....	44
Tabela 4.4 - Códigos SNV (2013) para o trecho da BR-381.....	45
Tabela 4.5 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-040, em 2011.....	46
Tabela 4.6 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-116, em 2011.....	47
Tabela 4.7 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-381, em 2011.....	48
Tabela 4.8 - Total de quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km), em 2011.....	50
Tabela 4.9 - Condições dos trechos selecionados para o estudo de caso.....	51
Tabela 4.10 - Volumes de tráfego por segmento (2006) e percentual do volume de caminhões.....	52
Tabela 4.11 - Interferências das rodovias com as áreas urbanas, para o traçado atual dos trechos.....	54
Tabela 4.12 - Perfil da amostra de avaliadores.....	56
Tabela 5.1 - RC obtidas para o julgamento dos critérios, por grupo (%).....	64
Tabela 5.2 - RC obtidas para o julgamento dos critérios, considerando-se todos os avaliadores (%).....	65
Tabela 5.3 - Convergência da opiniões dos grupos de avaliadores.....	71
Tabela 5.4 - RC obtidas para o julgamento das opções (%).....	75
Tabela 5.5 - Comparações com outros estudos relacionados ao tema.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCR	Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias
Acid.	Acidentes
AHP	Analytic Hierarchy Process
AMD	Apoio Multicritério à Decisão
ANP	Analytic Network Process
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquáticos
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
auto	Automóveis
BA	Estado da Bahia
BCG	Boston Consulting Group
BHTRANS	Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEFTRU	Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes
CMBH	Câmara Municipal de Belo Horizonte
CNT	Confederação Nacional do Transporte
Cód	Código
Com.	Comunicação
CREA-MG	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais
Datatan	Banco de dados de acidentes de trânsito da Polícia Rodoviária Federal
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DER-MG	Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S. A.
DES DRUMOND	Desembargador Drumond (estação ferroviária município de Nova Era - MG)
DF	Distrito Federal
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
Econ.	Economia
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
Eng.	Engenheiro (a) / Engenharia
ENTR	Entroncamento

ES	Estado do Espírito Santo
ETG	Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia
EUA	Estados Unidos da América
Ext	Extensão
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
FUMEC	Fundação Mineira de Educação e Cultura - Universidade FUMEC
Geop.	Geoprocessamento
Geotec.	Geotecnia
GEOTRANS	Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes
GO	Estado de Goiás
HUD	US Department of Housing and Urban Development
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de consistência
Ietec	Instituto de Educação Tecnológica
ILOS	Instituto de Logística e Supply Chain
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IR	Índice randômico
M4	Motorway (rodovia) entre Londres e South Wales
MT	Estado do Mato Grosso
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OAEs	Obras-de-arte especiais
PA	Estado do Pará
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
Pav.	Pavimentação
PER	Programa de Exploração Rodoviária
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transporte
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PROCROFE	Programa de Concessão de Rodovias Federais
RC	Razão de Consistência
RJ	Estado do Rio de Janeiro
S DOM DO PRATA	Município de São Domingos do Prata - MG
Seg	Segmento
Seg.	Segurança

Sinaenco	Sindicato da Arquitetura e da Engenharia
SNV	Sistema Nacional de Viação
TCA	Teoria dos Conjuntos Aproximativos
TCN	Teoria dos Conjuntos Nebulosos
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TO	Estado do Tocantins
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UnB	Universidade de Brasília
USP	Universidade de São Paulo
VMD	Volume Médio Diário
VPL	Valor Presente Líquido

# 1 INTRODUÇÃO

O principal modo de transporte no Brasil, tanto de cargas quanto de passageiros, é o rodoviário, com uma malha de aproximadamente 1,6 milhões de quilômetros de rodovias e estradas, dos quais, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2014), cerca de 219 mil estão pavimentados.

Considerando-se apenas as rodovias federais, Minas Gerais tem a maior malha, com pouco mais de 10 mil km, seguido pelo Rio Grande do Sul, com quase 5,4 mil e por São Paulo, com quase 5,2 mil. Já levando-se em conta as rodovias federais, estaduais e municipais, São Paulo tem a maior malha, com quase 33,5 mil km, seguido por Minas Gerais, com quase 25 mil e pelo Paraná, com quase 20,3 mil (DNIT, 2014). Enfim, o país tem uma grande capilaridade que interliga as regiões de uma forma relativamente rápida e a um baixo custo operacional.

No entanto, segundo o Instituto de Logística e Supply Chain - ILOS (2013), em relação à porcentagem pavimentada o Brasil fica atrás de países como, por exemplo, a Argentina e Uruguai. O Brasil tem 12,24% de malha pavimentada, enquanto, a exemplo a Argentina, tem 87,21, os EUA 64,5 e a Alemanha 100%, assim como a França, Itália e Reino Unido. Em relação à densidade pavimentada, expressa pelo Índice de Mortara, que relaciona a infraestrutura com a extensão territorial, população e frota de veículos, segundo Vianna (2007), em 2006 a Bélgica tinha 7,22, a Holanda 7,09, a Índia 3,02, os EUA 2,29 e a China 1,61, enquanto o Brasil, apenas 0,23.

Destaca-se ainda que a maior parte das rodovias do país foi construída há 30 e 40 anos, com parâmetros geométricos, de sinalização e de segurança viária que não atendem aos volumes de tráfego e às velocidades praticadas hoje pelos motoristas, que com veículos mais potentes que os da época excedem os limites regulamentados. As novas rodovias são atualmente implantadas para atender aos atuais volumes de tráfego, com parâmetros geométricos mais elevados, faixas e acostamentos mais largos e com dispositivos que proporcionam maior conforto e segurança.

De acordo com a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários - ANTF (2014), nos EUA a participação do modo ferroviário no transporte de cargas é de 43%. Já no Brasil, segundo o Manual Didático de Ferrovias da Universidade Federal do Paraná - UFPR (2011), entre 1999 e 2008 o modo rodoviário participou com cerca de 60%, enquanto o ferroviário com 20% e o aquaviário com 14%. Estes dados mostram as distorções na matriz de transportes do país.

Para Ribeiro e Ferreira (2002), grande parte destas distorções, assim como as ineficiências observadas, são explicadas pelos longos anos de estatização dos portos, ferrovias e dutos no Brasil,

bem como pelos subsídios praticados no passado e que ainda permanecem, mesmo que com menor ênfase, para o modo rodoviário. Estas distorções não apontam uma maior eficiência do modo rodoviário em relação aos demais (pois devido à falta de infraestrutura, nem sempre é utilizado o modo mais adequado para o tipo de carga transportada), mas mostram a dependência do país em relação a este modo e sua ligação com o desenvolvimento econômico e social. Sendo assim, com a falta de uma alternativa, existe a necessidade de investimento no setor.

Os investimentos rodoviários têm sido insuficientes desde 1988 devido a uma redução da disponibilidade de recursos, consequência da extinção de um modelo adotado no passado, quando ainda vigorava o Fundo Rodoviário Nacional - FRN, que garantia a destinação de recursos arrecadados para investimentos em transportes (HARRAL; FAIZ, 1988, SCHLISSLER; BULL, 1994 *apud* VELOSO, 2004).

Além das limitações de recursos, há também um problema gerencial em relação aos investimentos. Segundo o Boletim Econômico da CNT (2012), no ano correspondente foram autorizados R\$ 18,6 bilhões para investimentos em rodovias, dos quais, no entanto, apenas R\$ 8,8 bilhões foram pagos (cerca de 47%). Um fator que contribui para este cenário é a complexidade dos processos licitatórios e construtivos de rodovias, que além de questões técnicas envolvem aspectos econômicos, sociais e ambientais.

A questão é: como suprir a demanda de investimentos rodoviários no país diante de um cenário tão desfavorável? Uma saída encontrada pelo Governo foi a implantação do Programa de Concessão de Rodovias Federais - PROCROFE, em 1994, por meio do Ministério dos Transportes (Portaria nº010/1993). Porém, mesmo com as melhorias implementadas pelos programas de concessão, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2010) e de acordo com o Boletim Econômico da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2012), ainda há a necessidade de investimento no setor.

As limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais referentes aos investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos das rodovias são fatores que dificultam a realização simultânea das intervenções necessárias e destacam a importância da priorização entre opções de investimento.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é propor uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários. Por meio de um estudo de caso com três opções, representadas por

trechos das BR-040, BR-116 e BR-381, que compõem três das principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais, será aplicada a Análise Multicritério utilizando-se o método Analytic Hierarchy Process - AHP, com uma abordagem econômica, social, logística e operacional.

Como objetivos específicos pretende-se:

- realizar as análises de sensibilidade considerando-se grupos de avaliadores de forma isolada, a fim de se verificar a influência das opiniões destes grupos nos pesos dos critérios;

- comparar as particularidades observadas neste trabalho com as verificadas em estudos já realizados relacionados ao tema;

- verificar as vantagens e desvantagens da aplicação do método AHP à priorização entre opções de investimentos rodoviários;

- avaliar a funcionalidade do *software Expert Choice* e a sua capacidade computacional no apoio à aplicação do método AHP; e

- propor recomendações para estudos futuros.

## **1.2 Justificativa**

Para Ribeiro e Ferreira (2002), as distorções na matriz de transportes do Brasil, que apontam um desequilíbrio entre a participação dos modos ferroviário e rodoviário no transporte de cargas, mostram a dependência do país em relação a este segundo e sua ligação com o desenvolvimento econômico e social. Sendo assim, com a falta de uma alternativa, existe a necessidade de investimento no setor rodoviário.

Apesar das melhorias implementadas pelos programas de concessão, de acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2010) e com o Boletim Econômico da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2012), ainda há necessidade de investimento no setor rodoviário.

Limitações de recursos financeiros, problemas gerenciais e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos dificultam a realização simultânea das intervenções necessárias e destacam a importância da priorização entre opções de investimento.

Os processos de decisão entre diferentes opções de investimento podem ser complexos. Nem sempre as decisões são tomadas com base na priorização entre as opções. Por exemplo, diante de três trechos de rodovia, carentes de investimentos, em qual investir primeiro? Quais aspectos

considerar para esta decisão? Como mensurar o peso de cada um dos possíveis critérios relevantes? Quais setores da sociedade devem participar destas decisões e com qual relevância e frequência?

Até que ponto uma decisão pode ser tomada com base em interesses políticos em detrimento do desenvolvimento econômico e social? Nesse contexto, existem diversos processos que podem ser utilizados como ferramenta de apoio às decisões, que serão comentados mais adiante, entre os quais a Análise Multicritério, utilizada neste estudo, é um deles, podendo sua aplicação ser apresentada como uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho foi estruturado em 6 capítulos, incluindo a introdução que contém os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a estrutura. No Capítulo 2, que trata da revisão bibliográfica, descreve-se sobre a dependência do país em relação ao modo rodoviário e sua ligação com o desenvolvimento econômico e social, destacando-se que, com a falta de uma alternativa, existe a necessidade de investimento no setor. Desenvolve-se também sobre a situação atual dos investimentos rodoviários no Brasil, e sobre as concessões rodoviárias. Dispõe-se sobre as limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais relacionados a investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos de rodovias, destacando-se a importância da priorização entre opções de investimento. Descreve-se ainda sobre os aspectos, os critérios e os setores da sociedade que possivelmente estariam envolvidos nos processos de decisão relacionados à priorização dessas opções, e apresentam-se os diversos processos que podem ser utilizados como ferramenta de apoio às decisões, destacando-se a Análise Multicritério. Por fim, são apresentados os métodos Copeland, Promethee, Thor, Analytic Hierarchy Process - AHP (e o *software Expert Choice*, que dá apoio computacional ao seu processo de aplicação) e Analytic Network Process - ANP, bem como alguns trabalhos já realizados com a utilização destes métodos, com destaque para este penúltimo.

A metodologia do trabalho está descrita no Capítulo 3 e apresenta a justificativa para a escolha do método AHP. Em função do estudo de caso proposto, desenvolve-se sobre a elaboração da rede critérios adotada, apresentada em forma de tabela e de diagrama, e sobre a seleção das opções. Descreve-se sucintamente sobre o processo das entrevistas e os grupos de avaliadores. Apresenta-se o *software Expert Choice*, e os processos por meio dos quais foram realizados os cálculos para a aplicação do método. Os processos de julgamento dos critérios, de obtenção das razões de consistência (RC) e dos seus pesos globais e locais estão descritos no final do capítulo, bem como

os processos de julgamento das opções, de obtenção de suas RC e de suas pontuações parciais e finais (que permitiram a priorização entre elas).

O estudo de caso está apresentado no Capítulo 4, no qual descrevem-se de forma mais detalhada os critérios da rede adotada e a forma como devem ser julgados. Caracterizam-se as opções selecionadas, com informações que visaram subsidiar os julgamentos dos avaliadores. Apresentam-se o perfil da amostra de entrevistados e os quatro grupos de avaliadores, Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos, assim divididos com o objetivo de se criar cenários distintos, com diferentes pontos de vista. Relata-se mais detalhadamente o processo das entrevistas, que foram divididas em duas fases. Por fim, descreve-se como foi realizado o registro dos julgamentos e das RC obtidas, em planilhas *Excel*.

No Capítulo 5, as análises e resultados apresentam as RC obtidas para o julgamento dos critérios, por grupo e para todos os avaliadores. Os pesos globais e locais dos critérios, para todos os avaliadores, estão apresentados nas seções 5.2 e 5.3. As análises de sensibilidade estão apresentadas na seção 5.4. Na seção seguinte, estão as RC obtidas para o julgamento das opções. Apresentam-se as pontuações parciais e finais das opções e a priorização entre elas. Por fim, apresentam-se as comparações realizadas com um outro estudo relacionado ao tema, utilizado como referência para o desenvolvimento deste trabalho, e com outros estudos semelhantes, concluindo-se sobre a validade do modelo proposto.

Um resumo do que foi desenvolvido no trabalho está apresentado no Capítulo 6. Apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia. Comenta-se sobre as comparações realizadas com os outros estudos, e conclui-se sobre a validade da aplicação do modelo proposto. Apresentam-se as vantagens, as desvantagens e as limitações observadas para a aplicação do método e, por fim, orienta-se acerca de novos estudos relacionados ao tema.

Complementam o documento as referências bibliográficas, e ainda: o Apêndice A, que apresenta as interferências dos trechos rodoviários propostos como opções no estudo de caso, com as respectivas áreas urbanas atravessadas; o Apêndice B, contendo os julgamentos e as RC obtidas para os critérios; o Apêndice C, que mostra as RC obtidas por grupo, por matriz; e, o Apêndice D, com os julgamentos e as RC obtidas para as opções.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo a seguir descreve-se sobre a dependência do país em relação ao modo rodoviário e sua ligação com o desenvolvimento econômico e social, destacando-se que, com a falta de uma alternativa, existe a necessidade de investimento no setor. Desenvolve-se também sobre a situação atual dos investimentos rodoviários no Brasil, e sobre as concessões rodoviárias. Dispõe-se sobre as limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais relacionados a investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos de rodovias, destacando-se a importância da priorização entre opções de investimento. Descreve-se ainda sobre os aspectos, os critérios e os setores da sociedade que possivelmente estariam envolvidos nos processos de decisão relacionados à priorização dessas opções, e apresentam-se os diversos processos que podem ser utilizados como ferramenta de apoio às decisões, destacando-se a Análise Multicritério. Por fim, são apresentados os métodos Copeland, Promethee, Thor, Analytic Hierarchy Process - AHP (e o *software Expert Choice*, que dá apoio computacional ao seu processo de aplicação) e Analytic Network Process - ANP, bem como alguns trabalhos já realizados com a utilização destes métodos, com destaque para este penúltimo.

### 2.1 O cenário rodoviário no Brasil

Ribeiro e Ferreira (2002) afirmam que existem distorções na matriz de transportes do país. Esta colocação pode ser confirmada diante dos dados do Boletim Estatístico da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2012), que indica uma participação de 61,1% do setor rodoviário no transporte de cargas, o que corresponde a 485,6 bilhões de tonelada-quilômetro úteis - tku. Segundo o Manual Didático de Ferrovias da Universidade Federal do Paraná - UFPR (2011), entre 1999 e 2008 o modo rodoviário participou com cerca de 60% no transporte de cargas, enquanto o ferroviário com 20% e o aquaviário com 14%.

Como já exposto, essas distorções não apontam uma maior eficiência do modo rodoviário em relação aos demais, mas mostram a dependência do país em relação a este modo e sua ligação com o desenvolvimento econômico e social. Sendo assim, com a falta de uma alternativa, existe a necessidade de investimento no setor.

Desde a extinção do Fundo Rodoviário Nacional - FRN, em 1988, os investimentos rodoviários têm sido insuficientes para a demanda do setor no país. Segundo estimativa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2010), seriam necessários R\$ 183,5 bilhões em investimentos para se resolver os problemas rodoviários e gerar impactos positivos na economia. Para chegar a este valor,

o IPEA considerou as obras identificadas como necessárias em diversos levantamentos feitos pelo Governo nos últimos anos, por meio do Plano Nacional de Logística e Transporte - PNLT, do Plano Plurianual, do Plano CNT de Logística e do Programa de Aceleração do Crescimento - PAC.

A complexidade dos processos licitatórios e construtivos de rodovias, que além de questões técnicas envolvem aspectos econômicos, sociais e ambientais, contribui para um problema gerencial em relação aos investimentos. Em 2012 foram autorizados R\$ 18,6 bilhões para investimentos em rodovias no país, dos quais, no entanto, apenas R\$ 8,8 bilhões foram pagos, cerca de 47% (CNT, 2012).

## **2.2 As concessões rodoviárias**

Uma solução adotada pelo Governo para implementar melhorarias no cenário rodoviário do país foi a implantação dos programas de concessão, que tiveram início em 1994, com o Programa de Concessão de Rodovias Federais - PROCROFE, criado pelo Ministério dos Transportes por meio da Portaria nº010/1993.

A concessão de um trecho rodoviário passa por um processo complexo, desde a definição dos critérios de seleção dos trechos, até a definição dos critérios para julgamento das licitações e a elaboração de contratos que garantam a atratividade ao negócio. Segundo Gualberto e Venalle (2003), o planejamento de investimentos e financiamento dos programas é baseado no modelo *Project Financing*, como forma de selecionar os programas de investimento viáveis e passíveis de serem submetidos ao interesse privado, seja o programa federal, estadual ou municipal. O *Project Financing* é um modelo de financiamento de projetos de investimentos cuja avaliação de viabilidade e hierarquização de prioridades leva em conta a capacidade do projeto de gerar recursos diretos para recuperação dos capitais investidos.

Pires e Giambiagi (2000) apontam alguns problemas relacionados às concessões. A regulação, por meio de mecanismos administrativos, precisa garantir a eficiência do empreendimento, o equilíbrio econômico-financeiro e a extração da renda de monopólio em benefício dos usuários ou do Governo. Problemas como as assimetrias e os custos regulatórios são enfrentados para se estabelecer um ambiente institucional imparcial, composto por agências reguladoras independentes que permitam a solução dos conflitos. Um outro problema é o estabelecimento de mecanismos regulatórios eficazes na distribuição dos riscos entre as partes envolvidas.

Os tipos de riscos podem ser identificados como riscos mercadológicos, riscos operacionais e riscos provocados pelas mudanças nas regras de um programa. Eles precisam ser considerados quando da

modelagem do contrato, pois o ambiente econômico é complexo e imprevisível, o que pode influenciar na apuração dos resultados previstos fazendo com que a lucratividade da concessão possa prejudicar ou beneficiar demais a operadora.

Segundo Pires e Giambiagi (2000) os modelos de licitação de concessão e de regulação tarifária também precisam ser criteriosamente analisados. Podem ser identificados quatro modelos básicos de licitação: disputa pela menor tarifa, disputa pelo menor prazo de concessão, maior valor de outorga e a combinação destes três critérios. Quanto à regulação tarifária, existe a possibilidade de se implantar regimes tarifários através de dois métodos: tarifação com base no custo de serviço ou estabelecimento de preço-teto.

Ainda sobre os problemas relacionados às concessões, Arruda *et al.* (2008) apontam que o acompanhamento dos programas tem sido feito apenas de forma fiscalizatória do cumprimento dos contratos, ao invés de considerar de forma mais ampla a qualidade dos serviços prestados aos usuários, uma vez que a concessão de um serviço público é a delegação de sua prestação, feita pelo poder concedente mediante licitação, à pessoa jurídica ou consórcio de empresas que tenha capacidade para prestar os serviços de forma eficiente, com desempenho satisfatório e por sua própria conta e risco.

Iniciadas as atividades, outro processo complexo é o de acompanhamento do desempenho das concessões e o tratamento aos riscos regulatórios. Para o acompanhamento do desempenho das concessões são utilizados indicadores. Para Diógenes (2002, *apud* Mucci, 2011), os indicadores podem ser utilizados para prover informações, auxiliar na tomada de decisões, contribuir para a melhoria na aplicação de recursos e permitir comparações. Os indicadores de desempenho utilizados nos programas de concessões de rodovias são geralmente divididos em quatro grupos: financeiro, operacional, social e ambiental. O Governo Federal, por meio do Programa de Exploração Rodoviária - PER, define alguns índices como o de condição da rodovia, de qualidade do pavimento, de nível de serviço e o de qualidade da rodovia, que auxiliam os gestores a direcionarem as decisões relativas aos programas de concessões.

Com o início das concessões alguns trechos de rodovias brasileiras estão sendo estudados e submetidos a programas de parceria entre o setor público e o privado. Os programas de concessão no Brasil são baseados nos modelos praticados em países como a França, Espanha, Portugal, Argentina e México, destaca Oliveira (2001, *apud* Gualberto e Venalle, 2003).

Quanto às extensões, na primeira fase dos programas foram concedidos 6 trechos, somando-se 1.482 km. Na segunda, mais 8 trechos, num total de 3.281 km. Hoje são 4.774 km de rodovias federais concedidas no país, e segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2014), já estão sendo implementados outros 7 lotes, que totalizarão mais 5.084 km.

Programas estaduais também já foram implantados no Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia e Pernambuco, com um total de 10.680 km, conforme dados da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias - ABCR (2012). Por fim, já existe também experiência na esfera municipal, caso da implantação da Linha Amarela no município do Rio de Janeiro.

Dos 219 mil km de rodovias pavimentadas no Brasil, pouco mais de 15 mil são concedidos, o que abre a possibilidade de se desenvolver programas padronizados, que melhorem os processos de implantação e de acompanhamento de desempenho, que diminuam a exposição aos riscos e que permitam um processo transparente de concessão.

### **2.3 A importância da priorização entre opções de investimentos rodoviários**

Apesar das melhorias implementadas pelos programas de concessão de rodovias no Brasil, ainda há a necessidade de investimento no setor. Entre 2009 e 2012, cerca de 10 milhões de novos veículos passaram a circular no país. De acordo com o Boletim Econômico da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2012), a qualidade da malha rodoviária caiu em relação a 2011, e cerca de dois terços das rodovias pavimentadas estão em condições péssimas, ruins ou regulares. Em pesquisa, destaca que as piores estradas estão concentradas na Região Norte, enquanto as melhores encontram-se em São Paulo, no Rio de Janeiro e no Paraná.

As intervenções necessárias não poderiam ser realizadas simultaneamente, tendo em vista as limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais referentes aos investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos das rodovias. Com isso, destaca-se a importância da priorização entre opções de investimento no setor.

A priorização entre opções de investimentos rodoviários envolvem decisões do Governo. Não são decisões simples, uma vez que devem contemplar aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais, logísticos e operacionais. Como considerar o peso de cada um destes aspectos? Quais critérios devem ser considerados para se tomar a decisão mais correta diante da escolha entre diferentes opções? Enfim, são questões que devem ser melhor estudadas, pois os investimentos

rodoviários geram impactos positivos na economia, na logística e na segurança, melhorando a qualidade de vida da sociedade.

## 2.4 As decisões e a priorização entre opções de investimentos rodoviários

Para Costa (2004), caracteriza-se uma decisão quando necessita-se avaliar um conjunto de opções em relação a critérios pré-definidos e escolher uma delas. Existem várias formas de se classificar uma decisão: quanto à probabilidade de ocorrência de um cenário (certeza, incerteza e risco), quanto ao tipo de decisão (escolha, classificação, ordenação e priorização) e quanto ao número de critérios (monocritério e multicritério).

Segundo Bartolomeu e Ferreira (2000), a tomada de decisão é o processo de escolha de uma opção viável entre um grupo de opções disponíveis para se atingir um objetivo. Zeleny (1942, *apud* Mendes e Caldas, 2010) coloca que uma decisão acontece mesmo quando o decisor decide não decidir.

Custo de implantação, retorno do investimento, custo benefício, desenvolvimento nacional e regional, número de vítimas fatais, índice de acidentes, impactos em áreas urbanas, conexão modal e intermodal, transporte de *commodities* e de produtos de alto valor agregado, tempo de viagem e custo de transporte, são, entre outros, critérios que podem ser julgados e ponderados, como parte dos processos de decisão relacionados à priorização de opções de investimentos rodoviários.

Políticos, imprensa, economistas, sociólogos, sindicalistas, engenheiros rodoviários, consultores rodoviários, acadêmicos e empresários, são, entre outros, setores da sociedade que podem ter opiniões diferentes entre si, e mostrar linhas de pensamento divergentes quanto à importância relativa entre os critérios mencionados e/ou entre opções de investimentos rodoviários.

Nesse contexto, existem diversos processos que podem ser utilizados como ferramenta de apoio às decisões, como por exemplo, métodos financeiros, métodos de estratégia de negócio, diagramas de bolhas, modelos de escore (*scoring models*), *checklists* e os métodos de Apoio Multicritério à Decisão - AMD (ou Análise Multicritério), como a Teoria da Utilidade, métodos TODIM, Electre, Copeland, Prométhée, Thor, AHP e o Analytic Network Process - ANP (SILVA *et al.*, 2007). Existem ainda os métodos híbridos, resultantes da combinação de métodos, como por exemplo, financeiros e de estratégia de negócio.

Segundo Campos (2011), entre os métodos financeiros estão o Período de Retorno de Capital (*payback*), Taxa Interna de Retorno - TIR e Valor Presente Líquido - VPL. O *payback* ou prazo de

retorno de um projeto é a extensão de tempo necessária para que seus fluxos de caixa nominais cubram o investimento inicial. Tem como principais pontos fracos: não considerar o valor do dinheiro no tempo, não considerar todos os capitais do fluxo de caixa, não ser uma medida de rentabilidade do investimento e exigir um limite arbitrário de tempo para a tomada de decisão. É possível incluir o custo de oportunidade no cálculo do *payback*, resultando no que se convencionou chamar de *payback* descontado. Dadas as suas limitações e a sua simplicidade é muito mais provável que as empresas empreguem o período de *payback* de um investimento apenas como um auxílio na tomada de decisões, utilizando-o seja como um parâmetro limitador (prazo máximo de retorno) sobre a tomada de decisões, seja para a escolha entre projetos que tenham desempenho igual em relação à uma regra básica de decisão.

Já a Taxa Interna de Retorno - TIR é utilizada para igualar o valor investido com os saldos finais projetados no caixa. A TIR é a taxa de desconto que torna o valor atual líquido do investimento igual a zero, também chamada de taxa interna efetiva de rentabilidade. Deve ser comparada com uma outra taxa, denominada Taxa Mínima de Atratividade - TMA, para aceitação ou não de um projeto. Para a avaliação de propostas de investimento o cálculo da TIR requer basicamente o conhecimento dos montantes de dispêndio de capital e dos fluxos de caixa líquidos incrementais gerados pela decisão. Considerando que esses valores ocorrem em diferentes momentos, pode-se dizer que a TIR, ao levar em conta o valor do dinheiro no tempo, representa a rentabilidade de um projeto expressa em termos de taxa de juros compostos equivalente.

O Valor Presente Líquido - VPL é a diferença entre o valor descontado do fluxo de caixa para a data do investimento inicial e o valor do investimento inicial de um projeto. Todos os projetos que apresentarem VPL maior ou igual a zero podem ser aceitos, pois geram retorno igual ou maior que o custo de capital. Quando um projeto apresenta o VPL menor que zero, seu retorno é inferior a seu custo de capital e ele deixa de ser atrativo.

Nos métodos de estratégia de negócio o planejamento estratégico é a base para alocação de recursos financeiros para os diferentes projetos. Nestes métodos, é a estratégia considerada que influencia as decisões sobre investimentos em pesquisa, desenvolvimento e projetos de novos produtos.

Os diagramas de bolha são essencialmente derivados dos modelos de portfólio desenvolvidos pela BCG (Boston Consulting Group) e do modelo da GE/McKinsey. Neste tipo de análise os projetos/produtos são plotados em um diagrama X-Y onde são escolhidas as dimensões do interesse da companhia. Várias dimensões podem ser analisadas dessa forma, tais como: atratividade, probabilidade de sucesso, margem bruta, valor percebido, entre outros.

Nos modelos de score (*scoring models*) os projetos são avaliados e pontuados de acordo com uma variedade de questões qualitativas que buscam entender, entre outros, qual será o sucesso de um novo projeto de produto, atratividade do mercado e sinergia com o negócio. Este processo leva à priorização ou desistência de projetos já em andamento ou de possíveis projetos ainda em fase de desenvolvimento.

Os métodos *checklists* constituem-se de listas de verificação que avaliam os projetos segundo uma série de questões de respostas sim ou não que, ao final, fornecem boas ou más avaliações, de acordo com o número de respostas positivas.

Os métodos de apoio multicritério à decisão, ou simplesmente Análise Multicritério, são processos nos quais é possível considerar diversos critérios e múltiplas opções. No contexto deste trabalho, sua aplicação pode ser apresentada como uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários. Sendo assim, apresenta-se a seguir um conteúdo mais detalhado sobre estes processos e seus diferentes métodos.

## **2.5 A Análise Multicritério**

A Análise Multicritério constitui-se de um processo que envolve duas etapas principais: a construção de um modelo ou rede, com base nos critérios relacionados à natureza da decisão, e sua posterior aplicação aos processos de avaliação ou julgamento. A integração destas duas etapas e a maneira como elas se articulam definem o processo de Apoio Multicritério à Decisão - AMD (RAMOS, 2000). Entre os principais métodos de Análise Multicritério estão: Copeland, Promethee, Thor, AHP e Analytic Network Process - ANP.

Conforme apresentado mais adiante, na seção 2.6, no setor de transportes a Análise Multicritério já foi aplicada, com resultados satisfatórios, em diversos casos como, por exemplo, estudos de projetos hidroviários, de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de carga, de opções de traçado de rodovias, de tecnologias para travessia de canais, de determinação do global de um conjunto de empresas de navegação fluvial mista, de tecnologias para transporte público, de localização de terminais etc., e pode ser uma importante ferramenta de apoio nos processos de decisão relacionados à priorização entre opções de investimentos rodoviários.

### **2.5.1 O método Copeland**

Copeland é um dos métodos ordinais. Estes métodos são mais simples e intuitivos, pouco exigentes mesmo em termos computacionais, mas apresentam resultados satisfatórios e interessantes

dependendo do objetivo a ser atendido. Neles, o decisor coloca as opções em ordem de sua preferência, de acordo com os critérios estipulados anteriormente. Nesta classe de métodos estão Borda, Condorcet e Copeland (BARBA-ROMERO; POMEROL, 2000 *apud* MENDES; CALDAS, 2010).

O método de Copeland deriva do método de Condorcet. Foi proposto pelo pesquisador americano A. H. Copeland na Universidade de Michigan em 1951. Consiste em tomar a soma das vitórias menos derrotas numa maioria simples de voto e ranquear as opções em termos deste resultado. Em outras palavras, o método de Copeland ranqueia as opções de acordo com o *score* da soma das células na matriz de relação de Condorcet.

Neste ponto vale ressaltar que, ainda que parecido ao método de votação de Borda, o método de Copeland conta as vitórias menos as derrotas e não os votos, como este outro. Segundo Klamler (2005, *apud* Mendes e Caldas, 2010), um grande apelo intuitivo deste método é o entendimento de que ele respeita a ideia de uma tomada de decisão democrática. Para Klamler, em resumo, Copeland roda uma ordenação das opções de acordo com suas posições relativas do vencedor de Condorcet - quanto menor a distância, mais alta a opção será posicionada na escala de preferência.

### **2.5.2 O método Promethee**

Segundo Brans e Vincke (1985, *apud* Cardoso *et al.*, 2011), o método Promethee (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) consiste em construir uma relação de sobreclassificação de valores. Foi desenvolvido para tratar de problemas multicritério, e para executá-los necessita-se de informações adicionais que são constituídas particularmente de informações entre os critérios e informações para cada critério.

Entende-se que o conjunto  $\{w_j, j = 1, 2, \dots, n\}$  representa os pesos de importância relativa dos diferentes critérios. Estes pesos são números não negativos, não dependente da unidade de medição e quanto maior o peso, maior é a importância do critério.

O método Promethee se diferencia dos outros da Escola Francesa nos tipos de critérios utilizados. Podem-se empregar seis tipos de funções para descrever os critérios avaliados na implementação do método. Cada tipo de critério é caracterizado por uma função que busca representar a preferência do decisor. Os critérios diferentes são amplamente utilizados pelos tomadores de decisão para concluir a sua apreciação. O fluxo líquido global de uma opção é o produto escalar entre o vetor de pesos e o vetor perfil desta opção.

### 2.5.3 O método Thor

O método Thor, segundo Gomes (2006), é constituído de um algoritmo que considera ganhos, perdas e imprecisões, na priorização das opções. A opção a ser considerada prioritária será a que melhor se posicionar nestes três aspectos, que normalmente são conflitantes. O algoritmo não é rígido em determinar um método e/ou ferramenta para ser utilizada pelos atores de decisão no processo de determinação dos critérios. Sugere-se o uso de *brainstorm* associado ou não a outras ferramentas e técnicas.

Os especialistas que, como parte do método serão envolvidos no processo, deverão realizar uma análise paritária de importância entre os critérios, e estabelecer ou não pesos para os mesmos. O *software* Thor implementado em Visual Basic, para suporte ao algoritmo de mesmo nome, tem um módulo de apoio para que o especialista envolvido explicita suas preferências. Além disso, o *software* permite:

- a) efetuar análises de sensibilidade, alterando os parâmetros de pesos, incertezas etc.;
- b) comparar os três tipos de ordenações existentes no algoritmo; e
- c) eliminar critérios irrelevantes.

A primeira experiência de Gomes (2006) mostrou que o algoritmo pode ser utilizado em priorizações de fornecedores, e um novo estudo mostrou a sua aplicabilidade em ordenação de pessoas. A validação definitiva das vantagens desse algoritmo sobre os demais seria possível por meio de sua aplicação em outros estudos de caso, e comparação dos resultados com os algoritmos e/ou metodologias existentes. Pode-se vislumbrar aplicações do método Thor em: priorização de serviços e/ou projetos; priorização de opções e/ou linhas de ação em operações militares; e, priorizações de investimentos (onde os investimentos são opções discretas).

Dentro dos conceitos do AMD, o método Thor possui as seguintes características:

- a) ordena opções discretas em processos decisórios transitivos ou não;
- b) primeiro algoritmo que faz a eliminação de critérios redundantes considerando simultaneamente se a informação é dúbia (Teoria dos Conjuntos Aproximativos - TCA) e se ocorre elevação da imprecisão do processo de decisão (Teoria dos Conjuntos Nebulosos - TCN);
- c) quantifica a imprecisão e a utiliza no processo de decisão AMD;

d) primeiro algoritmo que permite simultaneamente a entrada de dados de mais de um decisor, possibilitando que estes expressem seu(s) juízo(s) de valor(es) em escala de razões, intervalo ou ordinal;

e) a nova fórmula utilizada pelo Thor para atribuição de pesos em escala ordinal foi obtida após o estudo das três fórmulas existentes na literatura; e o decisor também pode executar o processo de decisão sem atribuir pesos aos critérios; e

f) elimina a necessidade de determinar um valor, normalmente arbitrário, para a concordância (como é o caso de alguns algoritmos que se baseiam na Modelagem de Preferências).

#### **2.5.4 O método Analytic Hierarchy Process - AHP**

O método AHP é baseado na definição de uma rede de critérios que se relacionam entre si, aos quais são vinculadas as opções consideradas para um determinado objetivo. Os critérios são julgados por avaliadores a fim de se obter seus pesos globais e locais. Os pesos se propagam até as opções, que são também julgadas, sempre sob o ponto de vista de cada critério do último nível, o que permite a obtenção de suas pontuações parciais e finais, e, conseqüentemente, a priorização entre elas.

Em relação à obtenção dos pesos, Ramos (2000) comenta que não há um método obrigatório para tal, mas destaca que várias propostas de procedimentos podem ser encontradas na literatura (VOOGD, 1983, VON WINTERFELDT; EDWARDS, 1986, MALCZEWSKI, 1999, *apud* RAMOS, 2000). Segundo o autor, é possível agrupar os métodos de obtenção de pesos em quatro categorias: métodos baseados em ordenação de critérios, em escalas de pontos, em distribuição de pontos e comparação de critérios par a par.

A técnica da comparação par a par baseia-se numa matriz quadrada  $n \times n$ , em que as linhas e colunas correspondem aos critérios analisados para o objetivo em questão. Assim, o valor  $a_{ij}$  representa a importância relativa do critério da linha  $i$  face ao critério da coluna  $j$ . Como esta matriz é recíproca, apenas uma metade triangular precisa ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores iguais a 1. Para o estabelecimento das comparações par a par, utiliza-se da escala adaptada de Saaty (1980). Essa escala pode ser numérica ou verbal, e está apresentada na Figura 2.1 seguir.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extrema- mente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extrema- mente
<b>MENOS IMPORTANTE</b>				<b>MAIS IMPORTANTE</b>				

Figura 2.1 - Escala de comparação de critérios de Saaty.

Fonte - Saaty (1980).

Na aplicação do método com esta técnica, os critérios são julgados quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério que está posicionado um nível acima na rede. Os resultados dos julgamentos realizados pelos avaliadores permitem o cálculo dos pesos globais e locais dos critérios.

As opções são também julgadas par a par, sempre em relação aos critérios do último nível. Os resultados desses julgamentos permitem o cálculo das pontuações parciais e finais de cada opção, permitindo a priorização entre elas.

A Figura 2.2 a seguir apresenta esquematicamente a maneira como as opções são vinculadas aos critérios, e como os critérios são vinculados ao objetivo, em uma rede de critérios do método AHP.

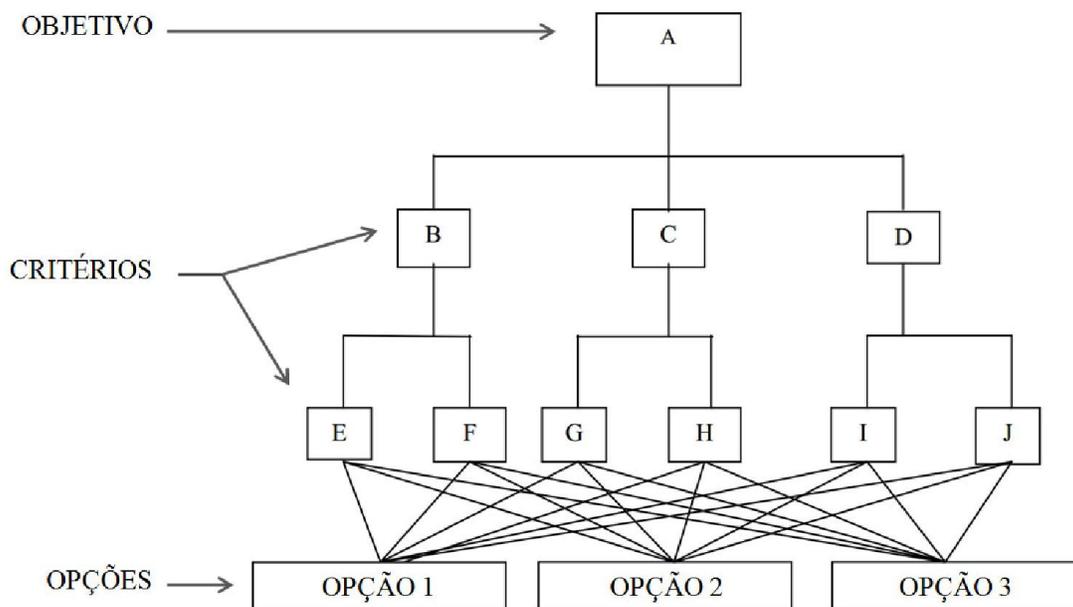


Figura 2.2 - Representação esquemática de uma rede de critérios do método AHP.

Fonte - Morita (1998)

Os julgamentos permitem também o cálculo das razões de consistência (RC), que indicam se o problema está bem estruturado e se o avaliador estabeleceu relações lógicas entre as idéias nos seus julgamentos, de tal forma a buscar uma coerência entre eles, e avaliar a sua consistência.

O método AHP permite trabalhar com a subjetividade nos julgamentos. Não é esperado que o avaliador realize julgamentos totalmente consistentes, porém, a coerência dos resultados depende da consistência dos julgamentos entre os pares de elementos. Estes elementos são fatores de decisão (critérios e alternativas) que compõem uma matriz de comparações paritárias, que será consistente se os seus elementos respeitarem uma relação de transitividade.

As inconsistências podem ocorrer devido à ausência de fatores de decisão no problema. Segundo Morita (1998), as inconsistências, quando verificadas, indicam que pode estar ocorrendo algum erro na estruturação do problema ou incoerência por parte dos avaliadores. O autor recomenda a revisão dos julgamentos para que seja reduzido o percentual de inconsistência.

Ainda segundo Morita (1998), caso seja realizada uma revisão e as inconsistências persistam, duas considerações devem ser analisadas: a rede elaborada não é regida pela relação de transitividade, ou os avaliadores não possuem conhecimento para realizarem os julgamentos.

Segundo as diretrizes de Saaty (1980), as matrizes que apresentam RC entre 0,10 e 0,20 são consideradas inconsistentes, e para valores  $> 0,20$ , de grande inconsistência. Assim, as matrizes com RC acima de 0,10 devem ser descartadas das análises.

A etapa inicial para o cálculo das RC é a determinação do autovalor  $\lambda_{m\acute{a}x}$ , obtido pela multiplicação da matriz formada pela soma das colunas da matriz analisada (V) pelo vetor de prioridades (P), como recomenda Saaty (1991).

$$\lambda_{m\acute{a}x} = V . P$$

Com base no autovalor  $\lambda_{m\acute{a}x}$  determina-se, em função da ordem da matriz (n), o índice de consistência (IC), também denominado desvio de consistência:

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}x} - n)}{(n - 1)}$$

As RC são obtidas a partir de experimentos com dados de IC realizados no Laboratório Nacional de Oak Bridge (EUA) e na Universidade de Wharton. Simulações com matrizes 9 x 9 e 11 x 11 foram geradas randomicamente, com recíprocas forçadas de índice randômico (IR), um tipo de

consistência aleatória. Em função dos resultados alcançados, obtidos com amostras de 100 (Oak Bridge) e 500 (Wharton), Saaty (1991) propôs a Tabela 2.1, que mostra os valores de IR em função da ordem n da matriz analisada.

Tabela 2.1 – Índices randômicos em relação à ordem n de uma matriz

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,58

Fonte - Saaty (1991)

Cabe destacar que a tabela não possui valores de IR para n=1, pois para se realizar uma comparação são necessários mais de um elemento, e, portanto, para n=1 esta tarefa não é possível. Com 2 elementos já é possível realizar uma comparação, porém, para se detectar inconsistências é necessário um terceiro elemento, de redundância, para fornecer a referência da inconsistência. Sendo assim, a tabela inicia-se com n=3.

Por fim, as razões de consistência (RC), que são indicadores que mostram a verdadeira consistência das respostas obtidas em uma pesquisa com o método AHP, são determinadas por:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

O método AHP permite também que sejam realizadas análises de sensibilidade. Os cálculos podem ser processados excluindo-se, a qualquer tempo, um ou mais critérios, ou ainda, processados para apenas um critério. Os avaliadores podem ser divididos em grupos, e assim como para os critérios, os cálculos podem ser processados excluindo-se, conforme a ocasião, um ou mais grupos. Os grupos podem receber prioridades diferentes. Com isso, todas essas considerações permitem a criação de cenários distintos, com diferentes pontos de vista.

Para a parte matemática de todo o processo é possível a utilização do *software Expert Choice*, que já distribui sua versão 11, e conta com uma opção *trial* disponibilizada *on line* pelo fornecedor, denominada Comparion Trial, além das versões Comparion Suíte, Comparion *TeamTime* e Expert Choise Inside. A versão *TeamTime* permite a realização de conferências *on line* durante o processo de aplicação do método. Os usuários podem também contratar serviços de consultoria e treinamento.

Grandes organizações aplicam o método AHP para suas tomadas de decisão e utilizam-se do *software Expert Choice*, entre elas, a AOL, US Department of Housing and Urban Development

(HUD), NASA, Medtronic, 3M, Blue Cross and Blue Shield of Florida, AT&T, Bank of America, Boeing e GM.

Os cálculos realizados no *software* compreendem: processamento do julgamento dos critérios e cálculo das razões de consistência; descarte das matrizes inconsistentes; cálculo dos pesos globais e locais dos critérios; processamento do julgamento das opções e cálculo das razões de consistência; descarte das matrizes inconsistentes; e, cálculo das pontuações parciais e finais das opções.

#### **2.5.5 O método Analytic Network Process - ANP**

Segundo Saaty (1996, *apud* Lisboa, 2002), uma evolução do método AHP, desenvolvida pelo próprio criador do processo, considera que a tomada de decisão seja dependente de valores e julgamentos de indivíduos e grupos, permitindo um constante retorno entre os decisores e o método, formando-se redes de interações. Trata-se do método denominado Analytic Network Process - ANP.

### **2.6 Aplicações da Análise Multicritério no contexto dos transportes**

No contexto dos transportes a Análise Multicritério já foi aplicada, com resultados satisfatórios, em diversos casos. Estudos de projetos hidroviários, de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de carga, de opções de traçado de rodovias, de tecnologias para travessia de canais, de determinação do desempenho global de um conjunto de empresas de navegação fluvial mista, de tecnologias para transporte público, de localização de terminais etc. já foram contemplados com a aplicação dos diversos modelos multicritério.

Cardoso *et al.* (2011) aplicaram a Análise Multicritério utilizando-se o método Promethee para priorização de intervenções hidroviárias nos eixos estruturantes do Brasil. Organizaram as intervenções em *clusters*, e apresentaram uma problemática de ordenação na qual as hidrovias com melhor desempenho seriam consideradas mais importantes. Os projetos considerados no estudo são intervenções identificadas no Plano Nacional de Logística e Transporte - PNLT, de 2011, e foram avaliados por especialistas do Plano CNT de Transporte e Logística, em relação aos critérios de acessibilidade, custo, integração, econômico e ambiental, e a aplicação do método permitiu a elaboração de um *ranking*: Eixo Litorâneo, Eixo Norte-Sul, Eixo Nordeste-Sul, Eixo Norte-Sudeste, Eixo de Cabotagem, Eixo Leste-Oeste, Eixo Nordeste-Sudeste, Eixo Amazônico e Eixo Centro-Norte. O trabalho ofereceu também uma contribuição sobre a importância dos critérios utilizados, para uma reflexão acerca do nível de desenvolvimento das hidrovias.

Mendes e Caldas (2010) utilizaram o método Copeland na ordenação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de carga no Brasil. Os autores destacaram que este é um método mais simples e intuitivo, menos exigente em termos computacionais do que os métodos que utilizam algoritmos, e portanto, a ordenação final resultante da aplicação do método seria apresentada apenas como uma orientação inicial no processo decisório, recomendando-se a utilização de análises mais específicas, inclusive com a aplicação de metodologia clássica de análise de projetos de investimento (com investigação de fatores financeiros e econômicos), para uma decisão final. Cinco analistas de projeto de uma instituição do mercado avaliaram os projetos em relação a critérios financeiros, situacionais, econômicos, de risco e sociais, e os resultados apresentaram a seguinte ordenação das opções:

- Região Amazônica: Eclusas de Tucuruí/PA (executados 78% dos serviços);
- Pará: BR-230 - Construção de ponte sobre o Rio Araguaia - Divisa PA/TO;
- Bahia: BR-030 - Conclusão da construção da ponte sobre o rio São Francisco - Malhada - Carinhanha;
- Arco Rodoviário RJ;
- Rio Grande do Sul: BR-116 - Duplicação Eldorado do Sul - Pelotas; e
- Goiás: BR-080 - Construção e pavimentação Uruaçu - São Miguel do Araguaia (Divisa GO/MT).

Lisboa (2002) citou experiências nas quais a seleção de opções de traçado foi realizada levando-se em consideração aspectos ambientais, como o caso da Santa Bárbara Highway, nos EUA (1969), e o da M4 - Contorno de Cardiff, no País de Gales (1972). O autor apresentou uma proposta de aplicação do método AHP ao Desenvolvimento Rodoviário S. A. - DERSA, empreendedor do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo, que se interessou por uma simulação para o caso real de quatro opções de traçado propostas em um Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental - EIA-RIMA do Trecho Norte deste empreendimento.

Com uma abordagem sócio ambiental, o autor utilizou aspectos econômicos, construtivos, operacionais e de segurança de tráfego e ambientais, que foram julgados por 34 indivíduos, divididos em 13 grupos, que representaram diversos setores da sociedade.

O autor realizou em seu estudo 15 análises de sensibilidade, considerando critérios isolados e combinações de critérios nas quais um ou mais foram desconsiderados. Em relação às razões de

consistência (RC) para o julgamento dos critérios, o autor fez verificações para cada avaliador individualmente, para a média por grupo e para a média geral de todos os avaliadores. Constatou que para os julgamentos individuais, 39% das matrizes apresentaram consistência. Para os julgamentos médios por grupo, 47%, e para a média geral de todos os avaliadores, este número subiu para 86%.

Delospital *et al.* (2013) aplicaram o auxílio multicritério à decisão ao projeto de travessia entre Santos e Guarujá. Foram avaliados os possíveis locais e tecnologias para a travessia do canal. O trabalho foi elaborado em três etapas: estruturação do problema, avaliação das alternativas e recomendações. Como resultado, as opções estudadas foram ordenadas a partir dos valores globais obtidos.

Cardoso *et al.* (2013) utilizaram um modelo multicritério para determinar o desempenho global de um conjunto de empresas de navegação fluvial mista (carga e passageiros) na Amazônia, por meio dos critérios de serviço descritos na resolução 912 da Agência Nacional de Transportes Aquáticos - ANTAQ. Foram avaliados: segurança, atendimento, higiene, conforto, modicidade, e alimentação. Neste estudo, foram consultados apenas três especialistas.

Ainda Figueiredo Junior (2009) aplicou o método ANP para implantação de empreendimentos relacionados a águas urbanas. O autor desenvolveu em planilha eletrônica um modelo denominado AUrb/ANP, e realizou dois estudos de caso: um para a avaliação do projeto de um empreendimento em área já urbanizada, e o outro em área natural. Foram entrevistados 10 profissionais da área, e foi concluído que a aplicação do modelo proposto é eficiente, apresentando-se, inclusive, a perspectiva de se verificar a viabilidade de sua aplicação em outras áreas.

Como já exposto, as limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais em relação aos investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos de rodovias dificultam a realização simultânea das intervenções necessárias e destacam a importância da priorização entre opções de investimento no setor, o que pode ser um processo complexo, no qual as decisões envolvem aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais, logísticos e operacionais.

Sendo assim, foi proposta uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários, por meio da aplicação da Análise Multicritério utilizando-se o método AHP, com uma abordagem econômica, social, logística e operacional. O método foi escolhido com base na sua utilização em casos anteriores (como os citados anteriormente), na disponibilidade do *software* computacional *Expert Choice*, que dá apoio ao método, e na possibilidade de se considerar

múltiplos critérios relacionados ao objetivo, múltiplas opções e grupos de avaliadores com diferentes perfis. A metodologia proposta está descrita na seção seguinte deste trabalho.

Ao final deste estudo, foram realizadas comparações com outros estudos relacionados ao tema, principalmente, com o de Lisboa (2002), que foi a principal referência para o desenvolvimento deste trabalho. Assim, foram apresentadas as particularidades de cada estudo para que fosse possível concluir sobre a validade desta pesquisa.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo, que trata da metodologia utilizada no estudo, apresenta-se a justificativa para a escolha do método Analytic Hierarchy Process - AHP. Em função do estudo de caso proposto, desenvolve-se sobre a elaboração da rede critérios adotada, apresentada em forma de tabela e de diagrama, e sobre a seleção das opções. Descreve-se sucintamente sobre o processo das entrevistas e os grupos de avaliadores. Apresenta-se o *software Expert Choice*, e os processos por meio dos quais foram realizados os cálculos para a aplicação do método. Os processos de julgamento dos critérios, de obtenção das razões de consistência (RC) e dos seus pesos globais e locais estão descritos no final do capítulo, bem como os processos de julgamento das opções, de obtenção de suas RC e de suas pontuações parciais e finais (que permitiram a priorização entre as elas).

Com o objetivo de se propor uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários foi aplicada a Análise Multicritério, por meio de um estudo de caso com três opções, utilizando-se o método AHP, com uma abordagem econômica, social, logística e operacional. A escolha do método está embasada na sua utilização em casos anteriores (como os citados no capítulo anterior), na disponibilidade do *software* computacional *Expert Choice*, que dá apoio ao método, e na possibilidade de se considerar múltiplos critérios relacionados ao objetivo, múltiplas opções e grupos de avaliadores com diferentes perfis.

#### **3.1 Elaboração da rede de critérios adotada**

Entende-se por critério um conceito representando um conjunto homogêneo de valores que permite comparar, sem ambiguidade, diferentes opções propostas para determinado fim. São atributos que podem ser quantificados ou avaliados e que contribuem para a decisão.

A busca da solução de um problema frequentemente ocorre em ambiente no qual os critérios podem ser conflitantes, ou seja, o ganho em um critério poderá causar a perda em outro. Por exemplo, uma intervenção rodoviária de melhor retorno do investimento pode não ser a de menor custo de implantação por km.

Estes critérios podem ser do tipo fator, compostos por variáveis que acentuam ou diminuem a aptidão de uma determinada opção para o objetivo em questão, ou podem ser do tipo exclusão, compostos por variáveis que limitam determinada opção em consideração na análise, excluindo-a do conjunto solução (MOUSSEAU, 1997).

Segundo Mendes e Caldas (2010), não há um limite mínimo ou máximo para a quantidade de critérios a ser empregada numa Análise Multicritério, porém, devem ser observadas as premissas teóricas aplicáveis (redundância, transitividade etc.).

As decisões de investimento em rodovias envolvem aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais, logísticos e operacionais, que influenciam os resultados gerados pelas intervenções. Este trabalho propõe a aplicação da Análise Multicritério considerando-se quatro aspectos: econômicos, sociais, logísticos e operacionais.

Para a elaboração da rede de critérios foram consultados diversos estudos relacionados ao tema. Um deles, o de Cardoso *et al.* (2011), trata da aplicação da Análise Multicritério utilizando-se o método Promethee para priorização de intervenções hidroviárias nos eixos estruturantes do Brasil. Mendes e Caldas (2010) utilizaram o método Copeland na ordenação de projetos de investimento em infraestrutura de transporte de carga no Brasil. Lisboa (2002) apresentou uma proposta de aplicação do método AHP ao Desenvolvimento Rodoviário S. A. - DERSA, empreendedor do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo.

O estudo de Delospital *et al.* (2013) apresenta a aplicação do auxílio multicritério à decisão ao projeto de travessia entre Santos e Guarujá. Ainda Cardoso *et al.* (2013) utilizaram um modelo multicritério para determinar o desempenho global de um conjunto de empresas de navegação fluvial mista (carga e passageiros) na Amazônia.

Estes estudos nortearam o processo de elaboração da rede de critérios, que se deu por meio de um *brainstorm* no qual participaram o autor deste trabalho, um consultor rodoviário ex-diretor do DER-MG, com mais de 40 anos de atuação na área de transportes e ainda um engenheiro rodoviário, que atua na direção de uma empresa de consultoria em transportes e tem mais de 20 anos de experiência no setor. A rede adotada é composta por três níveis, conforme apresenta a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Rede de critérios adotada.

Matriz	Nível I	Nível II	Matriz	Nível III
Matriz 1 (4 x 4)	ASPECTOS ECONÔMICOS	Custo / retorno do investimento	Matriz 2 (3 x 3)	Menor custo de implantação
				Retorno do investimento
				Melhor custo / benefício
		Desenvolvimento econômico	-	Desenvolvimento nacional
				Desenvolvimento regional
	ASPECTOS SOCIAIS	Redução dos impactos sociais	Matriz 3 (3 x 3)	Redução de acidentes com vítimas fatais
				Redução do índice de acidentes
				Redução dos impactos em áreas urbanas
	ASPECTOS LOGÍSTICOS	Conexão	-	Conexão modal
				Conexão intermodal
		Abastecimento da cadeia logística	-	Transporte de commodities
Transporte de produtos de alto valor agregado				
ASPECTOS OPERACIONAIS	Tempo / custo das viagens	-	Redução do tempo de viagem	
			Redução do custo de transporte	

Fonte - Elaborado pelo autor.

Conforme já mencionado na Revisão Bibliográfica, apenas as matrizes maiores que 2 x 2 são passíveis de inconsistência. Com 2 elementos é possível realizar uma comparação, porém, para se detectar inconsistências é necessário um terceiro elemento, de redundância, para fornecer a referência da inconsistência.

Das matrizes presentes na rede adotada, três delas se enquadram neste caso. A Figura 3.1 a seguir apresenta estas matrizes, numeradas de acordo com a Tabela 3.1.

**Matriz 1 (4 x 4)**

	ASPECTOS ECONÔMICOS	ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS LOGÍSTICOS	ASPECTOS OPERACIONAIS
ASPECTOS ECONÔMICOS				
ASPECTOS SOCIAIS				
ASPECTOS LOGÍSTICOS				
ASPECTOS OPERACIONAIS				

**Matriz 2 (3 x 3)**

	Menor custo de implantação	Retorno do investimento	Melhor custo / benefício
Menor custo de implantação			
Retorno do investimento			
Melhor custo / benefício			

**Matriz 3 (3 x 3)**

	Redução de acidentes com vítimas fatais	Redução do índice de acidentes	Redução dos impactos em áreas urbanas
Redução de acidentes com vítimas fatais			
Redução do índice de acidentes			
Redução dos impactos em áreas urbanas			

Figura 3.1 - Matrizes presentes na rede adotada, passíveis de inconsistência

Fonte - Elaborado pelo autor.

A Figura 3.2 a seguir apresenta um diagrama no qual é possível observar os três níveis dos critérios, com o primeiro nível vinculado ao objetivo da rede (priorização de investimentos em corredores de transporte rodoviário).

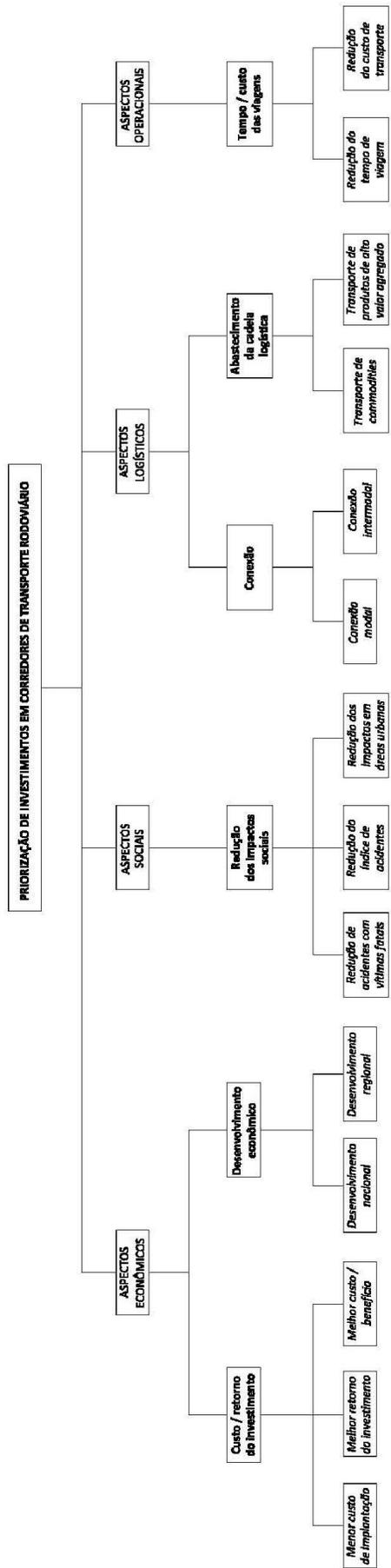


Figura 3.2 - Rede de critérios adotada. Fonte - Elaborado pelo autor.

### 3.2 Seleção das Opções

A Confederação Nacional dos Transportes - CNT (2013) publicou uma pesquisa na qual apresenta um *ranking* com 109 ligações rodoviárias no Brasil, elaborado de acordo com o estado geral das rodovias (ótima, boa, regular ou ruim). Entende-se por ligação rodoviária a extensão formada por uma ou mais rodovias pavimentadas (federais ou estaduais), com expressiva importância econômica e social e volume significativo de veículos de carga e/ou passageiros, interligando regiões de uma ou mais Unidades da Federação.

As opções foram selecionadas com base na importância econômica e social das principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais, de acordo com a CNT (2013), e são representadas por trechos das BR-040, BR-116 e BR-381. A Tabela 3.2 apresenta essas ligações e suas posições no *ranking* da CNT.

Tabela 3.2 - Ligações rodoviárias selecionadas - posição no *ranking* da CNT (2013).

Ligação	Rodovias	Classificação Geral	Posição
Brasília DF - Rio de Janeiro RJ	BR-040, BR-267	Regular	63º
Rio de Janeiro RJ - Bahia BA	BR-116, BR-393, BR-458	Bom	35º
Jataí GO - Vitória ES	BR-050, BR-262, BR-265, BR-364, BR-365, BR-381, ES-060	Regular	57º

Fonte - CNT (2013).

Para a ligação Brasília DF - Rio de Janeiro RJ foi selecionado o trecho da BR-040 compreendido entre o entroncamento com a BR-356 e o acesso a Alto Doce (início de pista dupla), com 137,0 km. Para a ligação Rio de Janeiro RJ - Bahia BA o trecho selecionado foi o da BR-116, que vai do entroncamento com a BR-262 Realeza até o entroncamento com a MG-285 Laranjal, com 147,6 km. Já para a ligação Jataí GO - Vitória ES, o trecho da BR-381, entre Santa Maria do Itabira e o entroncamento com a BR-262, com 134,9 km. Estes trechos estão descritos mais detalhadamente na seção 4.2.

Na mesma publicação, a CNT apresenta um relatório com a classificação dos trechos das rodovias de todo o Brasil, por Unidade Federativa, de acordo com o estado geral. Para esta classificação foram considerados os aspectos pavimento, sinalização, geometria, e estrutura de apoio (borracharia, concessionária de caminhões ou ônibus/oficina mecânica, posto de abastecimento e

restaurante/lanchonete). A Figura 3.3 apresenta a classificação da CNT para os trechos que compõem as principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais.

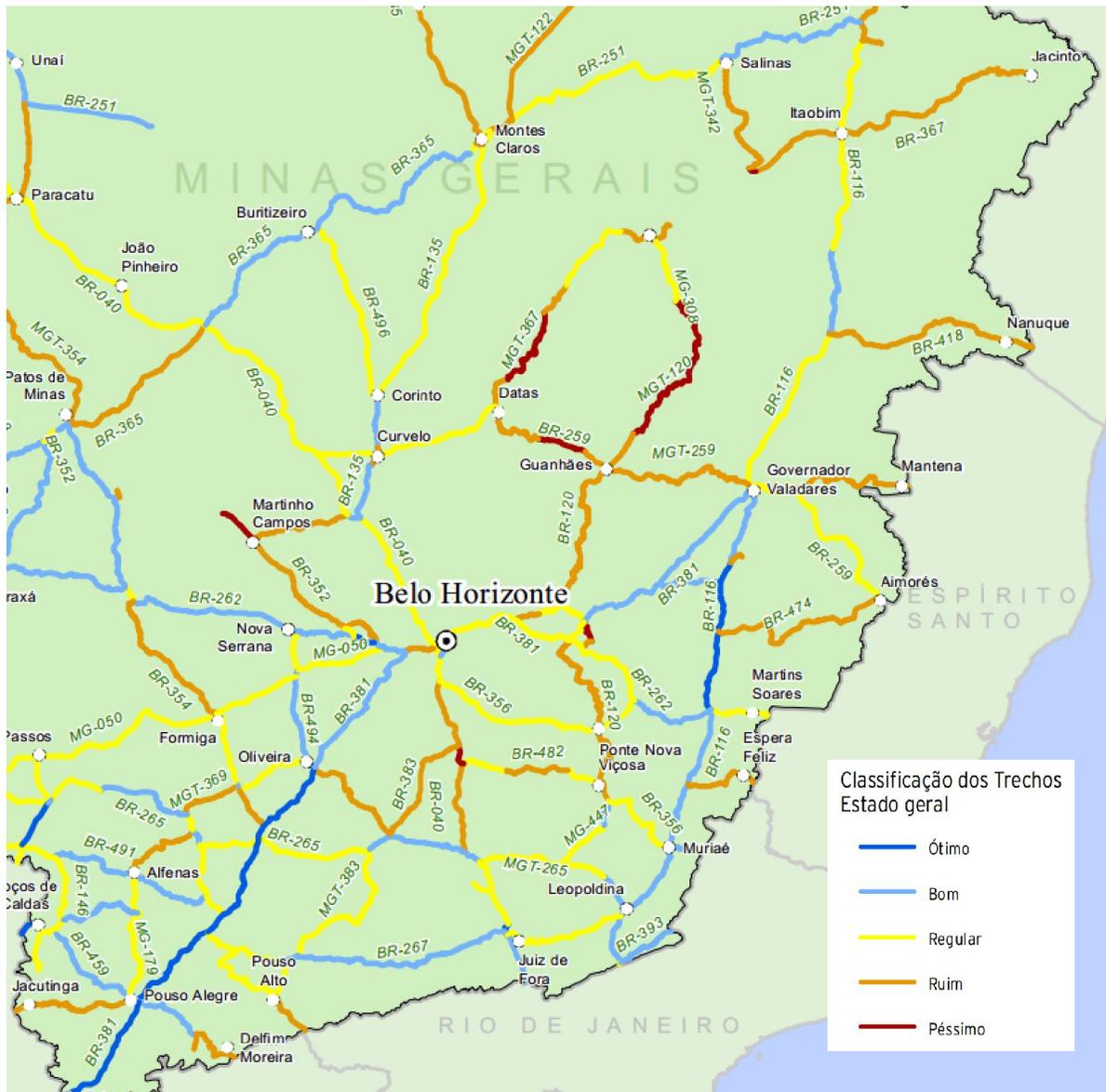


Figura 3.3 - Trechos que compõem as principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais.

Fonte - CNT (2013).

Observa-se que a classificação dos trechos selecionados para o estudo de caso, em relação ao estado geral, é ruim (BR-040), bom (BR-116) ou regular (BR-381).

De acordo com os princípios de aplicação do método AHP, as opções são vinculadas aos critérios do último nível da rede (neste caso, o Nível III, conforme apresentado na Figura 3.4).

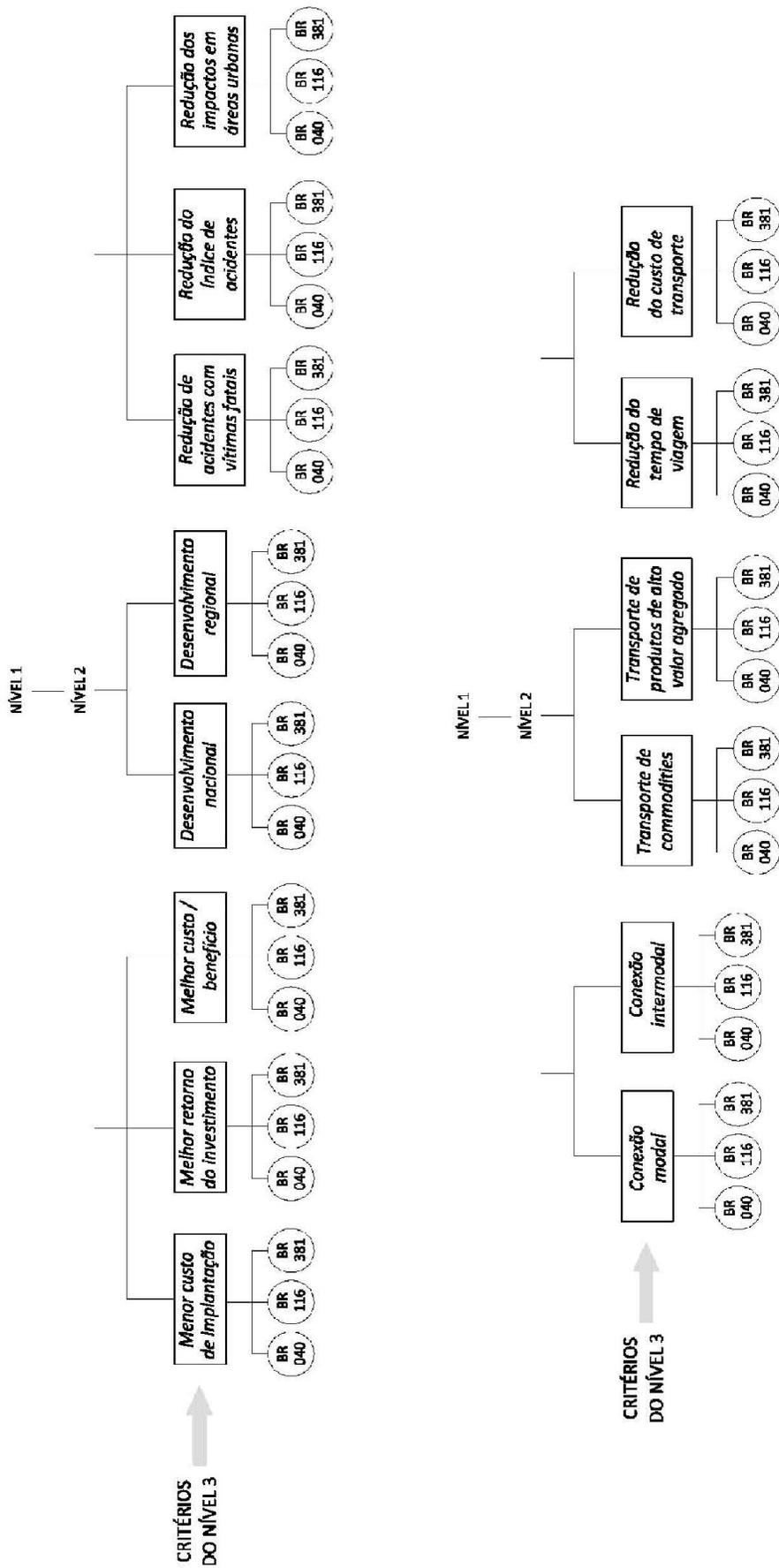


Figura 3.4 - Vinculação das opções aos critérios do último nível da rede (Nível III).  
 Fonte - Elaborado pelo autor.

### 3.3 Entrevistas

Segundo Mendes e Caldas (2010), assim como para a quantidade de critérios, não há um limite mínimo ou máximo para a quantidade de avaliadores na aplicação da Análise Multicritério. Com o objetivo de se criar cenários distintos, com diferentes pontos de vista, os entrevistados (avaliadores) foram divididos em quatro grupos: Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos.

As entrevistas foram divididas em duas fases. Na primeira fase, foram julgados os critérios, e todos os entrevistados selecionados participaram, num total de 33 avaliadores, que realizaram 18 julgamentos cada. Para uma breve comparação, no estudo utilizado como referência para este trabalho, Lisboa (2002), foram entrevistados, para o julgamento dos critérios, 34 avaliadores.

A segunda fase tratou do julgamento das opções. Nesta fase a amostra foi reduzida, devido à demanda de um tempo maior de dedicação à pesquisa, além da necessidade de novos contatos com os avaliadores, que nem sempre seriam possíveis devido à indisponibilidade destes para uma nova entrevista. Assim, para o julgamento das opções não foi considerada a divisão dos avaliadores em grupos, participando entrevistados que atuam na área de transportes ou engenharia rodoviária, totalizando 12 avaliadores, que realizaram 42 julgamentos cada.

### 3.4 Apoio computacional do *software Expert Choice*

Para a parte matemática de todo o processo, utilizou-se o *software Expert Choice*, por meio de uma versão *trial* disponibilizada *on line* pelo fornecedor. A Figura 3.5 apresenta a rede de critérios adotada inserida na interface do *software*. Os cálculos foram realizados por meio dos seguintes processos:

- processamento do julgamento dos critérios e cálculo das razões de consistência (RC);
- descarte das matrizes inconsistentes;
- cálculo dos pesos globais e locais dos critérios;
- análises de sensibilidade, por meio de considerações isoladas dos grupos;
- processamento do julgamento das opções e cálculo das razões de consistência;
- descarte das matrizes inconsistentes; e

- cálculo das pontuações parciais e finais das opções.

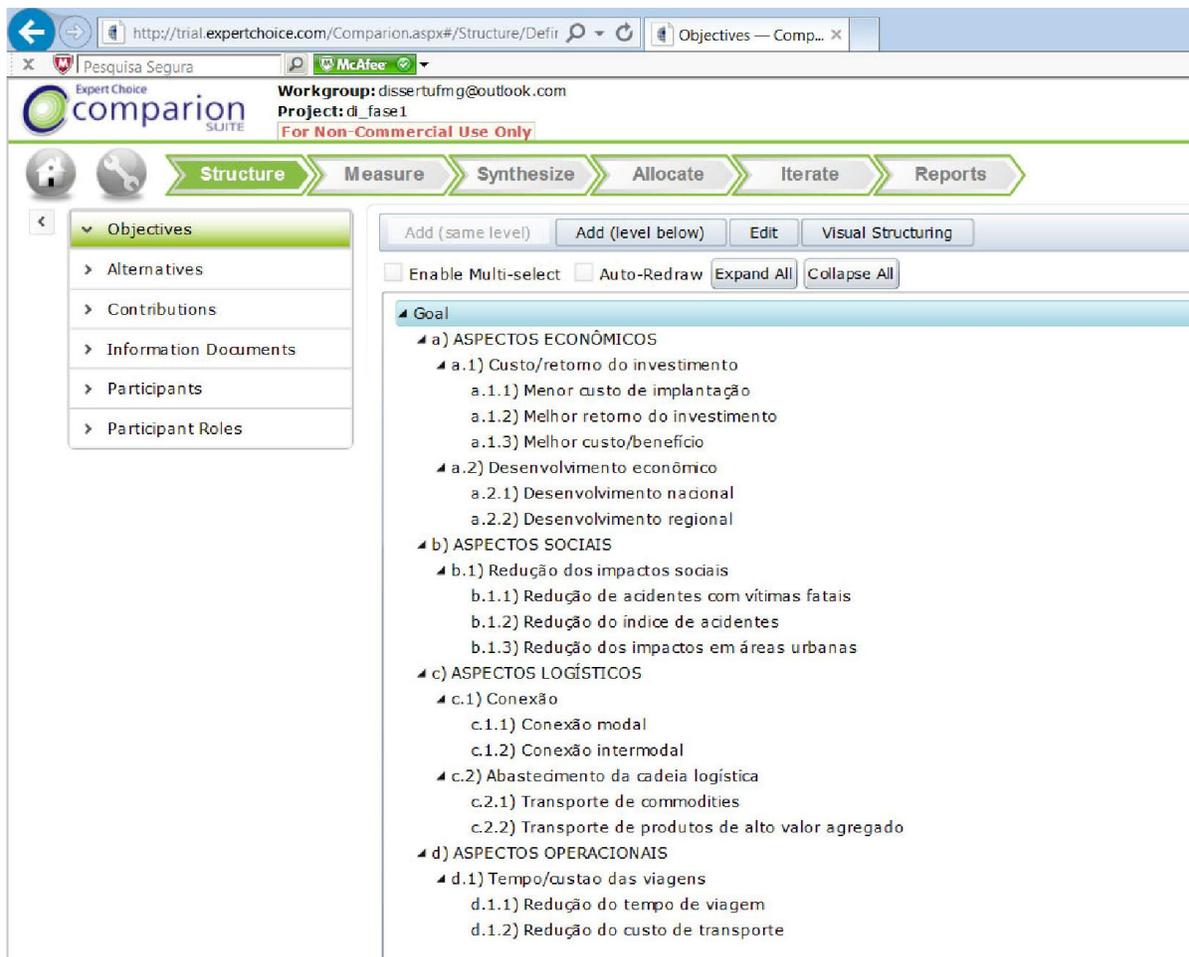


Figura 3.5 - Rede de critérios adotada inserida na interface do *software Expert Choice*.

Fonte - Elaborado pelo autor.

### 3.5 Julgamento dos critérios, cálculo das RC e dos pesos

Conforme já mencionado na seção 2.5.4, é possível agrupar os métodos de obtenção dos pesos em quatro categorias: métodos baseados em ordenação de critérios, em escalas de pontos, em distribuição de pontos e comparação de critérios par a par.

Neste estudo, optou-se pelo método de comparação par a par, conforme Saaty (1977). Esta técnica baseia-se numa matriz quadrada  $n \times n$ , em que as linhas e colunas correspondem aos critérios analisados para o problema em questão. Assim, o valor  $a_{ij}$  representa a importância relativa do critério da linha  $i$  face ao critério da coluna  $j$ . Como esta matriz é recíproca, apenas uma metade triangular precisa ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume

valores iguais a 1. Para o estabelecimento das comparações par a par foi utilizada a escala adaptada de Saaty (1980), que pode ser numérica ou verbal, já apresentada na seção 2.5.4.

Os critérios foram julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do que está posicionado um nível acima na rede. No total, foram 18 julgamentos por avaliador.

Com os resultados do julgamento dos critérios, foram calculadas as razões de consistência (RC) para as matrizes maiores que 2 x 2 (uma vez que as matrizes 2 x 2 não apresentam inconsistência), numeradas de 1 a 3, conforme a Tabela 3.1 e a Figura 3.1 apresentadas na seção 3.1. Estas RC foram calculadas de acordo com o processo apresentado na seção 2.5.4.

Segundo as diretrizes de Saaty (1980), as matrizes que apresentam RC entre 0,10 e 0,20 são consideradas inconsistentes, e para valores  $> 0,20$ , de grande inconsistência. Assim, as matrizes com RC acima de 0,10 foram descartadas das análises.

Diferentemente do presente trabalho, no estudo de referência, Lisboa (2002), o autor calculou as RC para o julgamento dos critérios considerando cada avaliador individualmente, a média por grupo e a média geral dos avaliadores. Para estes cálculos, processos mais complexos devem ser aplicados, e para tal, o *software* utilizado não dá o suporte necessário. Sendo assim, como o presente trabalho não considera uma abordagem mais profunda à parte matemática do método, as RC para o julgamento dos critérios foram calculadas apenas para os julgamentos individuais.

Os resultados do julgamento dos critérios permitiram o cálculo de seus pesos globais e locais. Para este processo utilizou-se o *software Expert Choice*.

Foram realizadas ainda análises de sensibilidade, considerando-se cada grupo de avaliadores de forma isolada. Estas análises possibilitaram verificar, por exemplo, em quais das considerações isoladas por grupo o critério de maior peso global foi o mesmo para a consideração de todos os avaliadores, permitindo concluir sobre a influência da opinião de cada grupo nos pesos globais dos critérios.

No estudo de Lisboa (2002), o autor não processou estas análises para os grupos, mas as realizou para os critérios, considerando cada um deles de forma isolada e combinações nas quais um ou mais foram desconsiderados.

### **3.6 Julgamento, cálculo das RC, pontuações e priorização das opções**

As opções foram também julgadas pelos avaliadores, par a par, sempre em relação aos critérios do último nível da rede (Nível III). Foram 42 julgamentos por avaliador, e, assim como para os critérios, com os resultados do julgamento das opções foram calculadas as RC para as 14 matrizes obtidas, já que todas elas são passíveis de inconsistência. Estas RC para foram calculadas da mesma forma que para os critérios (ou seja, de acordo com o processo apresentado na seção 2.5.4). Da mesma maneira, foram descartadas das análises as matrizes com RC acima de 0,10.

Com os resultados do julgamento das opções foram calculadas as suas pontuações parciais em relação aos critérios do Nível III. Por meio dessas pontuações parciais e dos pesos globais destes critérios, foram obtidas as pontuações finais das opções, que permitiram a priorização entre elas, objetivo geral da rede de critérios adotada. Assim como para os critérios, para todos estes processos utilizou-se o *software Expert Choice*.

As análises de sensibilidade realizadas (já comentadas na seção anterior), considerando-se cada grupo de forma isolada, permitiram concluir sobre a influência da opinião de cada grupo nos pesos globais dos critérios. No entanto, na segunda fase, que tratou do julgamento das opções, a amostra foi reduzida (conforme colocado na seção 3.3), e por isso não foi considerada a divisão dos avaliadores em grupos. Sendo assim, estas análises não tiveram efeito nas pontuações finais das opções, e estas pontuações foram calculadas apenas para os pesos globais obtidos com a consideração de todos os avaliadores.

Conforme já comentado na seção anterior, no estudo de referência, Lisboa (2002), o autor realizou as análises de sensibilidade para os critérios, ou seja, considerando cada um deles de forma isolada e combinações nas quais um ou mais foram desconsiderados. Como no AHP as opções são vinculadas aos critérios, estas análises tiveram efeito nas pontuações finais das opções, o que possibilitou verificar, por exemplo, em quais das considerações a opção de maior pontuação final foi a mesma para a consideração de todos os critérios, permitindo concluir sobre a influência de cada critério nas pontuações finais das opções.

## **4 ESTUDO DE CASO**

No estudo de caso descrevem-se de forma mais detalhada os critérios da rede adotada e a forma como devem ser julgados. Caracterizam-se as opções selecionadas, com informações que visaram subsidiar os julgamentos dos avaliadores. Apresentam-se o perfil da amostra de entrevistados e os quatro grupos de avaliadores, Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos, assim divididos com o objetivo de se criar cenários distintos, com diferentes pontos de vista. Relata-se mais detalhadamente o processo das entrevistas, que foram divididas em duas fases. Por fim, descreve-se como foi realizado o registro dos julgamentos e das RC obtidas, em planilhas *Excel*.

### **4.1 Descrição dos critérios da rede adotada e julgamentos**

Alguns dos critérios adotados, como menor custo de implantação ou redução do tempo de viagem são de fácil compreensão e podem ser interpretados corretamente mesmo por profissionais que não estejam envolvidos com atividades relacionadas a transportes. Já outros, como redução do índice de acidentes (que considera a extensão do trecho e o volume do tráfego) podem não ser tão familiares para estes profissionais. Sendo assim, visando permitir, por parte dos avaliadores, o correto entendimento e uniformidade de conceitos em relação ao que se desejou julgar, foram apresentadas as descrições dos critérios da rede adotada e a forma como devem ser julgados, conforme se segue.

#### **a) ASPECTOS ECONÔMICOS**

Conforme já mencionado, existem distorções na matriz de transportes do Brasil, que mostram a dependência do país em relação ao modo rodoviário e sua ligação com o desenvolvimento econômico e social. McCann e Shefer (2004, *apud* Torres, 2009) consideram que o impacto econômico que a melhoria da infraestrutura de transportes acarretará sobre o desenvolvimento local depende do tipo de aglomeração existente. Os aspectos econômicos estão relacionados aos custos dos investimentos e ao desenvolvimento econômico proporcionado por eles.

##### **a.1) Custo/retorno do investimento**

São considerados o custo de implantação, o retorno e o custo/benefício gerado pelos investimentos. Para a obtenção destes valores seriam necessários projetos e estudos econômicos sobre os trechos considerados para as opções. Como estes dados não existem, os avaliadores devem estimar estes valores com base nos outros dados fornecidos sobre os trechos e com base em seus próprios conhecimentos.

Estes critérios devem ser julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima na rede, ou seja, custo/retorno do investimento.

a.1.1) Menor custo de implantação - Custo para a execução da obra, considerando todos os seus aspectos (geológicos, geotécnicos, hidrológicos, pavimentação, desapropriação, interferências, obras-de-arte especiais - OAEs e meio ambiente).

a.1.2) Melhor retorno do investimento - É a relação entre o lucro gerado por um investimento e o valor deste.

a.1.3) Melhor custo/benefício - É a relação entre os benefícios gerados por um investimento e o valor deste (expressos em valores monetários).

## **a.2) Desenvolvimento econômico**

É considerada a abrangência (nacional ou regional) do desenvolvimento econômico gerado pelos investimentos rodoviários. Sendo assim, estes critérios devem ser julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima na rede, ou seja, desenvolvimento econômico.

a.2.1) Desenvolvimento nacional - É a contribuição para o desenvolvimento econômico em proporções nacionais. Por exemplo, a atração de novos negócios, ou novas indústrias.

a.2.2) Desenvolvimento regional - É a contribuição para o desenvolvimento econômico em proporções regionais. Por exemplo, a integração econômica das regiões.

Devem ainda ser julgados os critérios do Nível II, custo/retorno do investimento e desenvolvimento econômico, sob o ponto de vista dos aspectos econômicos.

## **b) ASPECTOS SOCIAIS**

Estão relacionados à redução dos impactos sociais. A Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito (2010) analisou entre 2005 e 2008, 399 km de rodovias federais em áreas urbanas e constatou um aumento de 25% do número de acidentes. Nos acidentes nesses trechos, 38% das vítimas fatais eram pedestres, 7% eram ciclistas, e 15% motociclistas.

Segundo a Instrução de Proteção Ambiental das Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais, do Instituto de Pesquisas Rodoviárias do extinto Departamento Nacional de Estradas de

Rodagem - DNER/IPR (1996), problemas como a ruptura de valores arquitetônicos, favelização e desemprego são fatores desfavoráveis à implantação, por exemplo, de uma travessia urbana. Podem ser citados ainda os impactos como a intrusão visual e a poluição sonora e atmosférica, que são entre outros, segundo Bartholomeu (2006), aspectos negativos do modo rodoviário.

### **b.1) Redução dos impactos sociais**

São consideradas a redução de acidentes com vítimas fatais, do índice de acidentes e dos impactos em áreas urbanas. Sendo assim, estes critérios devem ser julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima na rede, ou seja, redução dos impactos sociais.

b.1.1) Redução de acidentes com vítimas fatais - É a redução do número absoluto de acidentes com mortes. Em relação a este critério, pode-se destacar a relação direta entre o número de acidentes e a participação dos veículos de carga na composição do tráfego. Um estudo do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes - CEFTRU, da Universidade de Brasília - UnB (2002) em convênio com o Ministério dos Transportes mostrou, conforme a Tabela 4.1, que a participação dos veículos de carga nos acidentes com vítimas fatais em rodovias federais é de 34,5%.

Tabela 4.1 - Acidentes em rodovias federais por tipo de veículo, em 2002.

Tipo de veículo	Acid. com mortos		Acid. com feridos		Acid. com danos		Total de acidentes	
	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%
Passeio	3.332	45,2	27.612	59,3	74.918	63,5	105.862	61,6
Carga	2.546	34,5	10.889	23,4	36.100	30,6	49.535	28,8
Coletivo	400	5,4	1.631	3,5	5.795	4,9	7.826	4,6
Outros	1.094	14,8	6.440	13,8	1.207	1,0	8.741	5,1
Total	7.372	100,0	46.572	100,0	118.020	100,0	171.964	100,0
		4,3%		27,1%		68,6%		100,0%

Fonte - CEFTRU/UnB (2002).

Lima *et al.* (2008) desenvolveram um estudo específico sobre acidentes em rodovias. Por meio da análise do banco de dados de acidentes de trânsito da Polícia Rodoviária Federal - PRF, o Datatran, os autores constataram que três tipos de acidentes geraram pouco mais de 50% das vítimas fatais: os atropelamentos, as colisões frontais e as colisões laterais. Os atropelamentos foram responsáveis por 19,1% do total das mortes nos acidentes, ultrapassados somente pelas colisões frontais, com 24,6%. Esse estudo apontou o desenvolvimento urbano descontrolado das áreas no entorno das rodovias – travessias urbanas, como um dos fatores responsáveis pelos acidentes em rodovias brasileiras.

b.1.2) Redução do índice de acidentes - o Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN (1984) considera o número absoluto de acidentes em relação à extensão e ao volume de tráfego do trecho em questão. O índice de acidentes é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Índice de acidentes} = (N \times 10^6) \div (E \times VDM \times T)$$

em que N = número de acidentes no período e no trecho em estudo;

E = extensão do trecho (em km);

VDM = volume diário médio de veículos passando pelo trecho; e

T = período de estudo (geralmente 365 dias).

b.1.3) Redução dos impactos em áreas urbanas - É a redução dos impactos causados pelas rodovias nas áreas urbanas, como a ruptura de valores arquitetônicos, a favelização, o desemprego, a intrusão visual e a poluição sonora e atmosférica.

Para Ary e Raphul (1986), os tratamentos rodoviários recomendados para diminuir os impactos das rodovias nas áreas urbanas necessitam incorporar conceitos de planejamento urbano e de engenharia de tráfego aos recursos de engenharia rodoviária.

### c) ASPECTOS LOGÍSTICOS

Os aspectos logísticos estão relacionados aos benefícios dos investimentos rodoviários à cadeia de distribuição, envolvendo conceitos de conexão (modal e intermodal) e transporte de cargas.

#### c.1) Conexão

São consideradas a conexão com outros corredores e outras rodovias, além da conexão com outros modos, como ferrovias e hidrovias. Sendo assim, estes critérios devem ser julgados pelos avaliadores quanto à importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima na rede, ou seja, conexão.

c.1.1) Conexão modal - Conexão com outros corredores e outras rodovias.

c.1.2) Conexão intermodal - Conexão com outros modos de transporte, como ferrovias e hidrovias.

#### c.2) Abastecimento da cadeia logística

São considerados o transporte de commodities e o de produtos de alto valor agregado. Sendo assim, estes critérios devem ser julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima na rede, ou seja, abastecimento da cadeia logística.

c.2.1) Transporte de commodities - É o transporte de produtos de origem agrícola, pecuária ou florestal, metais, minerais etc..

c.2.2) Transporte de produtos de alto valor agregado - É o transporte de produtos que passaram por processos que objetivaram agregar valor, como carga refrigerada perecível, produtos farmacêuticos, produtos químicos ou destinados à saúde, produtos eletrônicos etc..

Devem ainda ser julgados os critérios do Nível II, conexão e abastecimento da cadeia logística, sob o ponto de vista dos aspectos logísticos.

#### d) ASPECTOS OPERACIONAIS

Estão relacionados à melhoria da qualidade das viagens por meio de melhorias geométricas, de sinalização e de pavimentação que reduzem o tempo e o custo de transporte.

##### **d.1) Tempo/custo das viagens**

São consideradas a redução do tempo de viagem e do custo de transporte. Sendo assim, estes critérios devem ser julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima na rede, ou seja, tempo/custo das viagens.

Segundo o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER/IPR (1999), a classe de uma rodovia define parâmetros a serem considerados em projeto, tais como rampa máxima, raio mínimo para curvas horizontais, distâncias mínimas de visibilidades, entre outros, que visam oferecer segurança, conforto e boas condições de operação aos usuários. Os projetos rodoviários de adequação de capacidade e melhorias contemplam esses parâmetros, e portanto, melhoram as características técnicas da rodovia, o que pode reduzir tanto o tempo das viagens quanto o custo de transporte.

d.1.1) Redução do tempo de viagem - As melhorias geométricas, de sinalização e de pavimentação (ou seja, os investimentos) reduzem o tempo gasto pelo usuário para a realização da viagem.

d.1.2) Redução do custo de transporte - As melhorias citadas no item anterior podem reduzir também o custo de transporte, o que nem sempre acontece nos casos em que as melhorias são realizadas seguidas de implantação de pedágio (concessões). A redução do custo de transporte favorece principalmente a movimentação de cargas, e, conseqüentemente, o custo de vida da sociedade.

## **4.2 Caracterização das opções**

As opções foram selecionadas conforme apresentado na seção 3.2. São representadas por trechos das BR-040, BR-116 e BR-381, que compõem três das principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais. Foram apresentadas informações resumidas dos trechos selecionados, como mapas e conexões (Figura 4.1, Figura 4.2 e Figura 4.3), códigos do Sistema Nacional de Viação - SNV (Tabela 4.2, Tabela 4.3 e Tabela 4.4), que permitem a identificação dos segmentos que compõem cada trecho, dados de acidentes (Tabela 4.5, Tabela 4.6, Tabela 4.7 e Tabela 4.8), condições da rodovia (Tabela 4.9), dados de tráfego (Tabela 4.10), e interferências com áreas urbanas (Tabela 4.11). Estas informações visaram subsidiar os julgamentos dos entrevistados em relação às opções.

É importante observar que todos os trechos considerados são de rodovias federais pavimentadas. Em relação à geometria, as seções tipo são todas em pista simples, com acostamento. As BR-040 e BR-116 estão inseridas em região ondulada, enquanto a BR-381, em região montanhosa.

### **4.2.1 BR-040**

Conforme apresentado na Tabela 4.2, para a opção representada pela BR-040 foi considerada a extensão que vai do entroncamento com a BR-356 (B) (código SNV 040BMG0410), no km 563,5, até o acesso Alto Doce (início de pista dupla) (código SNV 040BMG0510), no km 700,5, com um total de 137,0 km, conforme a Figura 4.1 a seguir:

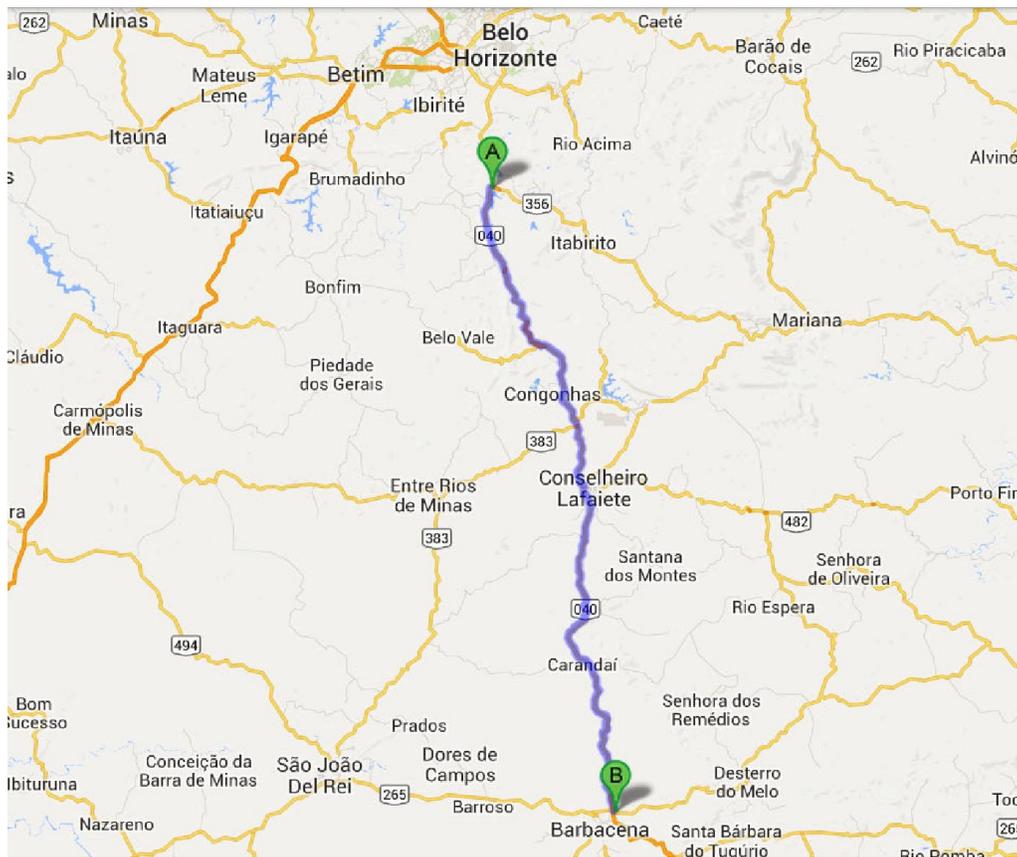


Figura 4.1 - Trecho representado pela opção BR-040 do estudo de caso.

Fonte - Google Maps (2013).

Em relação à conexão, observa-se que, no sentido crescente, o trecho considerado para a BR-040 se conecta com a BR-356, MG-442, MG-030 e MG-443 (em Conselheiro Lafaiete), BR-383, MG-129, BR-482, MG-275, e ainda com a BR-265, MG-338 e MG-135, em Barbacena.

#### 4.2.2 BR-116

Conforme apresentado na Tabela 4.3, para a opção representada pela BR-116 foi considerada a extensão que vai do entroncamento com a BR-262 Realeza (código SNV 116BMG1300), no km 590,5, até o entroncamento com a MG-285 Laranjal (código SNV 116BMG1370), no km 738,1, com um total de 147,6 km, conforme a Figura 4.2 a seguir:

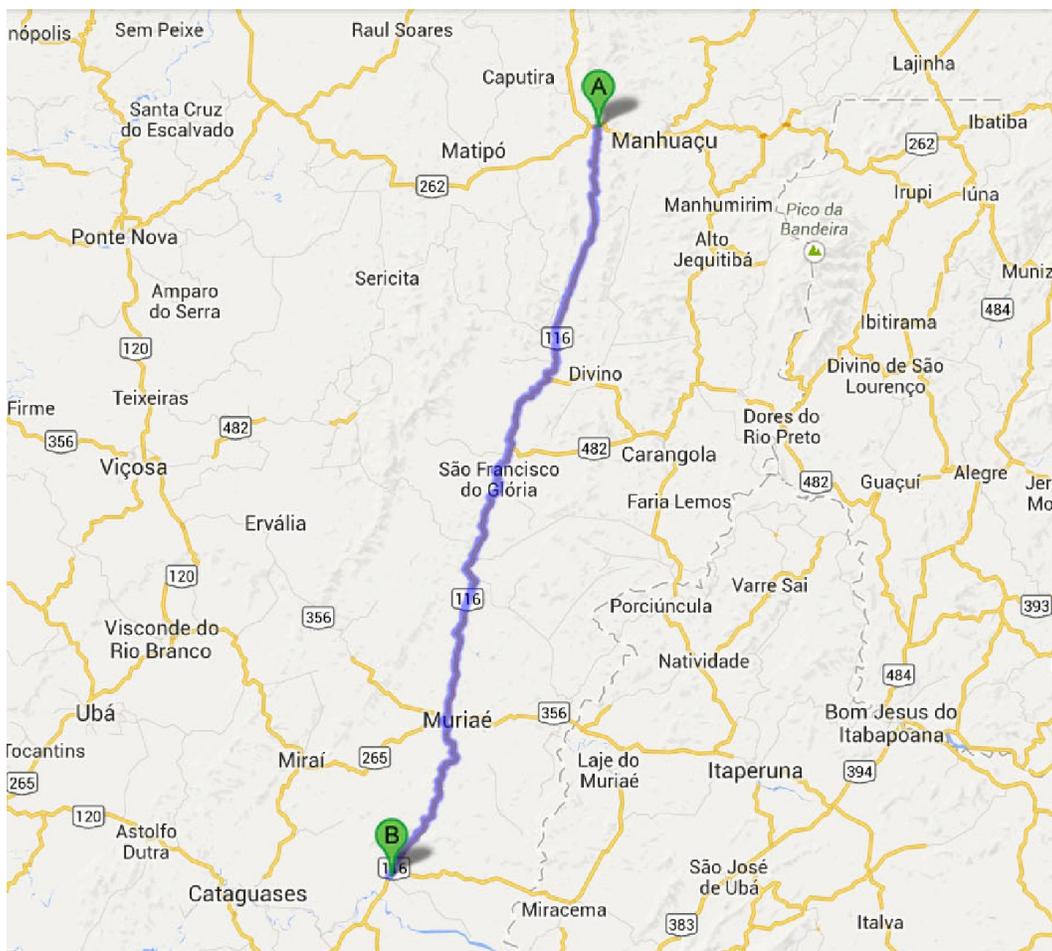


Figura 4.2 - Trecho representado pela opção BR-116 do estudo de caso.

Fonte - Google Maps (2013).

Em relação à conexão, observa-se que, no sentido crescente, o trecho considerado para a BR-116 se conecta com a BR-262, MG-265, BR-482, BR-356, BR-265 e MG-265 (em Muriaé) e MG-285.

#### 4.2.3 BR-381

Conforme apresentado na Tabela 4.4, para a opção representada pela BR-381 foi considerada a extensão que vai do acesso a Santa Maria do Itabira (código SNV 381BMG0265), no km 325,8, até o entroncamento com a BR-262 (A) (código SNV 381BMG0350), no km 460,7, com um total de 134,9 km, conforme a Figura 4.3 a seguir:

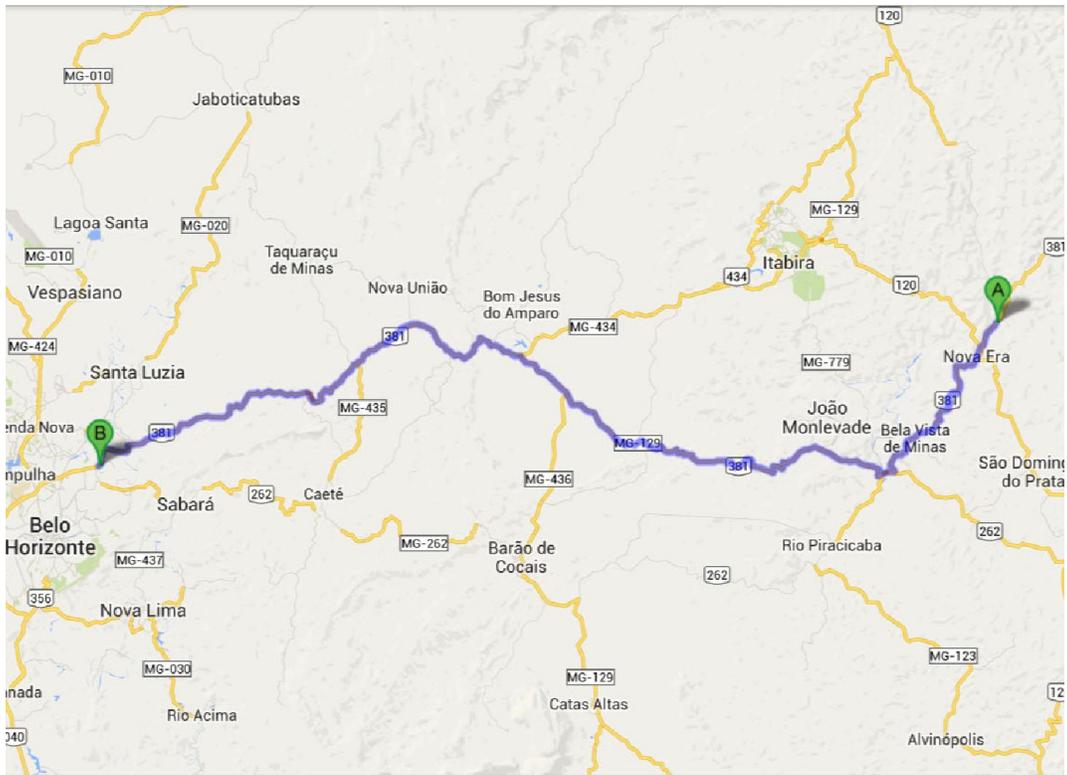


Figura 4.3 - Trecho representado pela opção BR-381 do estudo de caso.

Fonte - Google Maps (2013).

Em relação à conexão, observa-se que, no sentido crescente, o trecho considerado para a BR-381 se conecta com a BR-120, BR-262 (em João Monlevade e em Belo Horizonte), MG-123, MG-129, MG-436, MG-434 e MG-435.

#### 4.2.4 Códigos do Sistema Nacional de Viação - SNV

A Tabela 4.2, Tabela 4.3 e a Tabela 4.4 a seguir apresentam, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2014), os códigos SNV para o trecho selecionado na BR-040, BR-116 e BR-381, respectivamente.

Tabela 4.2 - Códigos SNV (2013) para o trecho da BR-040.

<b>Cód SNV 2013 (040BMG)</b>	<b>Local de Início</b>	<b>Local de Fim</b>	<b>Seg</b>	<b>km inicial</b>	<b>km final</b>	<b>Ext (km)</b>
0410	ENTR BR-356(B)	ENTR MG-442 (P/BELOVALE)	1	563,5	597,8	34,3
0430	ENTR MG-442 (P/BELOVALE)	ACESSO CONGONHAS	2	597,8	611,7	13,9
0450	ACESSO CONGONHAS	ACESSO OURO BRANCO	3	611,7	615,6	3,9
0457	ACESSO OURO BRANCO	ENTR BR-383(A)	4	615,6	617,4	1,8
0470	ENTR BR-383(A)	ENTR BR-383(B)/482 (CONSELHEIRO LAFAIETE)	5	617,4	629,5	12,1
0490	ENTR BR-383(B)/482 (CONSELHEIRO LAFAIETE)	ENTR MG-275 (P/CARANDAÍ)	6	629,5	667,3	37,8
0510	ENTR MG-275 (P/CARANDAÍ)	ACESSO ALTO DOCE (INÍCIO PISTA DUPLA)	7	667,3	700,5	33,2
<b>Total</b>						<b>137,0</b>

Fonte - DNIT (2014).

Tabela 4.3 - Códigos SNV (2013) para o trecho da BR-116.

<b>Cód SNV 2013 (116BMG)</b>	<b>Local de Início</b>	<b>Local de Fim</b>	<b>Seg</b>	<b>km inicial</b>	<b>km final</b>	<b>Ext (km)</b>
1300	ENTR BR-262 (REALEZA)	TREVO DE ACESSO SÃO JOÃO DO MANHUAÇU	8	590,5	609,1	18,6
1310	TREVO DE ACESSO SÃO JOÃO DO MANHUAÇU	ENTR MG-265 (P/DIVINO)	9	609,1	637	27,9
1330	ENTR MG-265 (P/DIVINO)	ENTR BR-482 (FERVEDOURO)	10	637	652,5	15,5
1350	ENTR BR-482 (FERVEDOURO)	ENTR BR-265/356 (MURIAÉ)	11	652,5	704,2	51,7
1370	ENTR BR-265/356 (MURIAÉ)	ENTR MG-285 (LARANJAL)	12	704,2	738,1	33,9
<b>Total</b>						<b>147,6</b>

Fonte - DNIT (2014).

Tabela 4.4 - Códigos SNV (2013) para o trecho da BR-381.

Cód SNV 2013 (381BMG)	Local de Início	Local de Fim	Seg	km inicial	km final	Ext (km)
0265	ACESSO SANTA MARIA DE ITABIRA	ENTR BR-120(A) (DES DRUMOND) (P/ ITABIRA)	13	325,8	330,2	4,4
0270	ENTR BR-120(A) (DES DRUMOND) (P/ ITABIRA)	ENTR BR-120(B) (NOVA ERA) (P/ S DOM DO PRATA)	14	330,2	335,7	5,5
0275	ENTR BR-120(B) (NOVA ERA) (P/ S DOM DO PRATA)	ENTR BR-262 (JOÃO MONLEVADE)	15	335,7	351,7	16
0290	ENTR BR-262 (JOÃO MONLEVADE)	ENTR MG-129 (SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO)	16	351,7	384,2	32,5
0310	ENTR MG-129 (SÃO GONÇALO DO RIO ABAIXO)	ENTR MG-436	17	384,2	394,7	10,5
0330	ENTR MG-436	ENTR MG-434	18	394,7	401,2	6,5
0335	ENTR MG-434	ENTR MG-435 (P/CAETÉ)	19	401,2	431,8	30,6
0350	ENTR MG-435 (P/CAETÉ)	ENTR BR-262(A)	20	431,8	460,7	28,9
Total						134,9

Fonte - DNIT (2014).

#### 4.2.5 Dados de acidentes

A Tabela 4.5, Tabela 4.6 e a Tabela 4.7 a seguir apresentam dados de acidentes para o ano de 2011, de acordo com o DNIT (2013a). Foram considerados apenas os quilômetros com mais de oito ocorrências, denominados km concentradores de acidentes. Observa-se que o trecho da BR-381, com 89 km concentradores de acidentes, é muito mais crítico que o da BR-116, com apenas 15.

Tabela 4.5 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-040, em 2011.

De Belo Horizonte para o Rio de Janeiro					Do Rio de Janeiro para Belo Horizonte				
km	s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total	km	s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total
572	8	0	0	8	567	4	3	1	8
576	6	2	0	8	588	5	4	0	9
581	10	1	0	11	589	6	0	2	8
582	6	2	0	8	591	9	3	1	13
586	5	3	1	9	592	8	2	0	10
587	8	4	1	13	593	7	1	0	8
588	11	3	1	15	598	8	0	0	8
602	10	2	0	12	601	6	2	0	8
604	1	5	2	8	607	6	2	0	8
605	5	3	1	9	608	11	4	1	16
608	9	4	0	13	611	8	1	0	9
613	8	3	1	12	614	3	5	1	9
614	14	9	1	24	617	11	7	0	18
615	21	5	0	26	626	9	5	1	15
617	12	3	0	15	632	6	7	0	13
619	4	4	1	9	633	16	7	0	23
622	4	4	1	9	642	12	9	1	22
623	6	2	0	8	656	18	11	2	31
627	11	6	0	17	659	6	3	0	9
628	5	4	1	10	694	3	5	0	8
629	9	9	1	19	696	6	4	0	10
632	10	5	0	15					
633	19	4	0	23					
639	2	4	2	8					
667	4	4	0	8					
692	6	4	0	10					
699	6	5	0	11					
Totais						s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total
						388	189	24	601

Fonte - DNIT (2013a).

Tabela 4.6 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-116, em 2011.

<b>Ambos os Sentidos</b>				
<b>km</b>	<b>s/ vítima</b>	<b>c/ ferido</b>	<b>c/ morto</b>	<b>Total</b>
593	6	4	0	10
595	6	8	0	14
596	7	18	1	26
627	8	2	3	13
642	8	0	0	8
651	5	4	2	11
665	11	3	1	15
680	4	6	0	10
684	6	2	2	10
700	3	7	1	11
701	4	10	1	15
702a	15	12	0	27
702b	21	8	0	29
703	22	11	0	33
704	10	3	1	14
705	3	6	1	10
<b>Totais</b>	<b>139</b>	<b>104</b>	<b>13</b>	<b>256</b>

Fonte - DNIT (2013a).

Tabela 4.7 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-381, em 2011.

Ambos os Sentidos					Ambos os Sentidos				
km	s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total	km	s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total
326	9	1	0	10	402	9	8	2	19
332	8	7	0	15	403	7	6	0	13
333	7	3	0	10	404	8	2	0	10
335	9	2	0	11	405	8	3	2	13
336	4	4	0	8	407	6	5	0	11
337	5	7	0	12	410	6	3	0	9
338	8	3	1	12	412	11	4	0	15
340	6	4	0	10	413	5	4	0	9
341	7	6	0	13	414	17	5	0	22
342	7	6	0	13	415	17	8	1	26
343	22	10	1	33	416	15	4	0	19
344	23	15	0	38	417	5	5	0	10
345	7	3	1	11	419	5	9	0	14
346	6	9	0	15	420	11	3	1	15
347	22	9	1	32	421	11	6	0	17
348	15	6	0	21	423	7	1	1	9
349	17	9	0	26	425	10	3	2	15
350	19	12	0	31	427	10	5	0	15
351	24	17	0	41	428	6	2	0	8
352	0	9	0	9	429	11	4	1	16
355	7	3	1	11	430	20	20	1	41
356	16	4	0	20	431	10	6	1	17
357	19	16	0	35	432	12	4	0	16
358	12	15	0	27	433	9	3	0	12
359	3	6	0	9	434	16	8	1	25
360	13	8	1	22	435	6	3	0	9
361	5	8	1	14	436	6	7	0	13

Tabela 4.7 - Quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km) para a BR-381, em 2011. (continuação)

Ambos os Sentidos					Ambos os Sentidos				
km	s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total	km	s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total
363	8	6	2	16	437	8	6	2	16
364	2	8	1	11	439	10	6	1	17
365	5	3	1	9	440	12	6	2	20
366	9	5	2	16	441	9	1	2	12
369	6	1	1	8	442	14	5	0	19
370	7	9	3	19	444	12	2	0	14
374	-6	7	1	2	445	8	8	0	16
375	13	6	1	20	446	9	2	1	12
376	7	9	0	16	447	7	4	0	11
379	11	2	0	13	448	12	7	0	19
380	16	3	1	20	449	16	10	0	26
386	5	3	0	8	450	13	4	0	17
390	5	3	1	9	451	14	9	1	24
392	3	3	2	8	452	40	15	0	55
398	11	3	0	14	453	25	8	1	34
399	11	10	0	21	454	21	17	0	38
400	6	6	0	12	455	17	13	3	33
					456	36	9	0	45
Totais						s/ vítima	c/ ferido	c/ morto	Total
						966	562	49	1577

Fonte - DNIT (2013a).

Tabela 4.8 - Total de quilômetros concentradores de acidentes (corte em 8/km), em 2011.

	<b>km concentradores de acidentes</b>	<b>Acidentes s/ vítima</b>	<b>Acidentes c/ ferido</b>	<b>Acidentes c/ morto</b>	<b>Total de acidentes</b>
BR-040	48	388	189	24	601
BR-116	15	139	104	13	256
BR-381	89	966	562	49	1577

Fonte - DNIT (2013a).

#### **4.2.6 Condições dos trechos**

A Tabela 4.9 apresenta as condições dos trechos selecionados para o estudo de caso, de acordo com o DNIT (2013b). Segundo o Órgão, a última atualização destes dados é de 25/11/2013.

Tabela 4.9 - Condições dos trechos selecionados para o estudo de caso.

	km início	km fim	Ext (km)	Condições	Observações
BR-040 (25/11/2013)	563,6	615,5	51,9	Condições Regulares	Trecho em obras revitalização. Sinalização vertical em bom estado e horizontal em estado regular. Durante período chuvoso podem surgir alguns buracos. Operação tapa buracos em andamento.
	615,5	629,5	14,0	Condições Regulares	Trecho em obras revitalização. Sinalização vertical em bom estado e horizontal em estado regular. Durante período chuvoso podem surgir alguns buracos. Operação tapa buracos em andamento.
	629,5	665,4	35,9	Boas Condições	Trecho em boas condições de trafegabilidade. Operação tapa buracos em andamento. Sinalizações vertical e horizontal em bom estado.
	665,4	700,5	35,1	Boas Condições	Segmento com boas condições de trânsito. Sinalizações horizontal e vertical em condições regulares.
BR-116 (25/11/2013)	589,3	635,6	46,3	Condições Regulares	Alguns buracos na pista
	635,6	651,1	15,5	Condições Regulares	Pavimento em boas condições. Sinalização vertical e horizontal regular. Apresenta algumas erosões atingindo acostamento.
	651,1	702,8	51,7	Condições Regulares	Alguns buracos na pista. Sinalização vertical e horizontal regular.
	702,8	737,6	34,8	Boas Condições	Pavimento em boas condições. Sinalização vertical e horizontal regular.
BR-381 (25/11/2013)	310,8	336,7	25,9	Boas Condições	ATENÇÃO: OBRAS DE REVITALIZAÇÃO. Pavimento com alguns buracos. Segmento com contrato de manutenção. Sinalizações horizontal e vertical em bom estado.
	336,7	446,0	109,3	Boas Condições	Trecho sinuoso, com tráfego intenso de veículos de carga. Sem buracos. Sinalizações horizontal e vertical boas.
	453,3	464,0	10,7	Boas Condições	ATENÇÃO: TRECHO URBANO, COM FLUXO INTENSO DE VEÍCULOS E ALTO ÍNDICE DE ACIDENTES. VELOCIDADE MÁXIMA DE 60 KM/H PARA ÔNIBUS E CAMINHÕES, E 80 KM/H PARA VEÍCULOS LEVES. Trecho urbano coincidente com o Anel Rodoviário de Belo Horizonte. VEÍCULOS DE CARGA DEVEM TRAFEGAR SOMENTE NA PISTA DA DIREITA.

Fonte - DNIT (2013b).

#### 4.2.7 Dados de tráfego

A Tabela 4.10 apresenta, para os trechos selecionados para o estudo de caso, os volumes de tráfego por segmento e o percentual do volume de caminhões, de acordo com a contagem realizada em 2006 pelo DNIT (2013c). Quanto mais elevados, tanto os volumes totais quanto os percentuais de caminhões, maiores são os problemas operacionais e os impactos negativos na economia, e, portanto, maior a necessidade de duplicação do trecho.

Tabela 4.10 - Volumes de tráfego por segmento (2006) e percentual do volume de caminhões.

Seg	Início (km)	Fim (km)	Ext (km)	VMD (2006)	Volumes classificados segundo o DNIT/IPR				Volume de caminhões (% do total)	
					auto	ônibus	caminhões	motos		
BR-040	1	563.6	597.2	33.6	23.930	13.213	937	9.301	479	38,9
	2	597.2	611.9	14.7	22.662	12.513	888	8.808	453	38,9
	3	611.9	615.5	3.6	21.697	11.980	850	8.433	434	38,9
	4	615.5	617.2	1.7	16.925	8.801	525	7.079	520	41,8
	5	617.2	629.5	12.3	14.889	7.742	462	6.227	458	41,8
	6	629.5	665.4	35.9	12.567	7.021	563	4.587	396	36,5
	7	665.4	700.5	35.1	12.628	7.055	566	4.609	398	36,5
BR-116	8	588.7	607.1	18.4	7.074	3.967	316	2.502	289	35,4
	9	607.1	635.0	27.9	7.043	3.950	315	2.491	287	35,4
	10	635.0	650.5	15.5	6.436	3.427	279	2.407	323	37,4
	11	650.5	702.2	51.7	7.614	4.270	340	2.693	311	35,4
	12	702.2	737.0	34.8	7.957	4.462	356	2.814	325	35,4
BR-381	13	322.6	327.7	5.1	13.140	6.833	407	5.496	404	41,8
	14	327.7	332.5	4.8	12.900	7.207	578	4.709	406	36,5
	15	332.5	348.5	16.0	12.978	7.250	582	4.737	409	36,5
	16	348.5	381.0	32.5	17.752	9.231	550	7.425	546	41,8
	17	381.0	391.5	10.5	17.763	9.237	551	7.429	546	41,8
	18	391.5	398.0	6.5	20.452	11.293	801	7.949	409	38,9
	19	398.0	428.6	30.6	23.142	12.778	906	8.995	463	38,9
	20	428.6	457.8	29.2	25.853	14.275	1.013	10.048	517	38,9

Fonte - DNIT (2013c).

#### 4.2.8 Interferências com áreas urbanas

O Artigo 27 da publicação do DNER (1973) dispõe:

Nos trechos urbanos, sempre que economicamente possível, ou nos que apresentem tendências de tornar-se urbanos em futuro próximo, a faixa de domínio deverá ter largura que permita a construção de duas vias para atender ao tráfego local, uma de cada lado, fisicamente separadas do corpo da estrada.

Com isso, um investimento proposto em qualquer opção avaliada (BR-040, BR-116 ou BR-381) demandaria um tratamento especial nas áreas urbanas dos municípios atravessados.

Com o auxílio do Google Earth Pro 2013 foram estimadas, por meio de um levantamento rápido e visual, as quantidades de acessos e interseções de cada rodovia com as vias locais e avenidas dos municípios identificados.

Por meio de aplicações em AutoCAD Civil 3D 2012 foram importadas do Google Earth Pro 2013 imagens georeferenciadas das áreas urbanas atravessadas pelas rodovias. O traçado atual de cada rodovia foi reproduzido no AutoCAD Civil 3D 2012 (conforme apresentado na sequência de figuras do Apêndice A, no final deste trabalho), o que permitiu estimar as extensões destas áreas atravessadas.

Por fim, de acordo com o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2013), foram obtidas as populações dos municípios, para que assim pudesse ser apresentada uma relação população/extensão para cada município atravessado, visando subsidiar a opinião dos avaliadores em relação às interferências das rodovias com as áreas urbanas. Por exemplo, a interferência da BR-116 no Município de Muriaé, com 15.502 hab/km, é mais intensa que a interferência da BR-040 no Município de Cristiano Ottoni, com apenas 1.727 hab/km. A Tabela 4.11 apresenta os dados referentes a estas interferências, para o traçado atual dos trechos.

Para a BR-381 não foi considerada a relação população/extensão para Santa Luzia, Sabará e Belo Horizonte, pois nestes municípios a extensão atravessada é muito pequena em relação à população.

Tabela 4.11 - Interferências das rodovias com as áreas urbanas, para o traçado atual dos trechos.

	<b>Municípios</b>	<b>Acessos</b>	<b>Interseções</b>	<b>Ext (km)</b>	<b>População (IBGE - 2010)</b>	<b>População / Extensão</b>
BR-040	Congonhas	18	4	6,9	48.519	7.032
	Conselheiro Lafaiete	32	3	8,1	116.512	14.384
	Cristiano Ottoni	7	2	2,9	5.007	1.727
	Carandaí	12	2	3,9	23.346	5.986
	Ressaquinha	10	0	2,2	4.711	2.141
	Alfredo Vasconcelos	12	1	2,1	6.075	2.893
	<b>TOTAIS</b>	<b>91</b>	<b>12</b>	<b>26,1</b>	<b>204.170</b>	<b>7.823</b>
BR-116	São João do Manhuaçu	2	1	1,8	10.245	5.692
	Fervedouro	7	1	2,1	10.349	4.928
	Miradouro	3	2	2,5	10.251	4.100
	Muriaé	13	7	6,5	100.765	15.502
	Laranjal	1	1	2	6.465	3.233
	<b>TOTAIS</b>	<b>26</b>	<b>12</b>	<b>14,9</b>	<b>138.075</b>	<b>9.267</b>
BR-381	Nova Era	11	4	4,6	17.528	3.810
	Bela Vista de Minas	14	2	4,1	10.004	2.440
	João Monlevade	15	6	5,6	73.610	13.145
	São Gonçalo do Rio Abaixo	4	3	2,2	9.777	4.444
	Santa Luzia	15	1	3,2	202.942	-
	Sabará	9	1	3,6	126.269	-
	Belo Horizonte	7	4	4,1	-	-
<b>TOTAIS</b>	<b>75</b>	<b>21</b>	<b>27,4</b>	<b>440.130</b>	<b>6.722</b>	

Fonte - Google Earth (2013), AutoCAD Civil 3D (2012), IBGE (2013). Fonte - Elaborado pelo Autor.

### 4.3 Perfil da amostra de avaliadores e entrevistados

Foram entrevistados 33 profissionais das áreas de engenharia rodoviária, engenharia de trânsito, transportes, economia, geografia, meio ambiente, política e comunicação, além de políticos, professores, servidores de órgãos rodoviários (DNIT e DER), entre outros. Ocupam cargos ou funções como superintendentes, diretores, consultores, supervisores, analistas, ambientalistas e fiscais, representando órgãos, instituições, ou empresas diversas. De acordo com a seção 3.3, não há um limite mínimo ou máximo para a quantidade de avaliadores na aplicação da Análise Multicritério.

No estudo de Lisboa (2002), os 34 entrevistados foram divididos em 13 grupos, sendo que três deles estavam representados por apenas um avaliador, o que segundo o autor comprometeu a representatividade desses grupos. Os grupos foram formados com o objetivo de se criar cenários distintos, com diferentes pontos de vista. Já no presente trabalho, foram considerados quatro grupos (Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos), criados com o mesmo objetivo do estudo de referência, com oito ou nove avaliadores cada, garantindo a uniformidade de suas representatividades.

No grupo Engenheiros Rodoviários estão os profissionais que dominam conceitos técnicos como capacidade, nível de serviço, índice de acidentes etc.. Possuem conhecimentos em planejamento, gerenciamento, projeto e operação em transporte e logística.

Assim como neste primeiro, nos grupos Acadêmicos e Órgãos os avaliadores também apresentam afinidade com a área de transportes e possuem conhecimentos específicos que os conferem habilidades para a realização dos julgamentos.

Já no grupo Diversos estão profissionais de áreas distintas, como jornalistas, políticos, geógrafos, ambientalistas, economistas etc. Estes profissionais não possuem conhecimentos específicos na área de transportes.

A Tabela 4.12 a seguir apresenta as informações que caracterizam o perfil da amostra de avaliadores, fornecidas pelos próprios entrevistados, que estão numerados de 1 a 33 e separados por grupo. Os campos em branco não foram informados.

Tabela 4.12 - Perfil da amostra de avaliadores.

Grupo	Entrevistado	Gênero*	Órgão / Instituição / Empresa	Cargo / Função	Área de atuação	Formação acadêmica		
						Instituição	Área	
Eng. Rodoviários	1	M	Consol	Consultor	Eng. Rodoviária	E	IPR	Econ. Rodoviária
	2	M	Consol	Consultor	Eng. Rodoviária	G	UFMG	Eng. Civil
	3	M	Consol	Diretor	Eng. Rodoviária	E	Ietec	Gestão de Custos
	4	M	Consol	Orçamentista	Orçamento	G	UFMG	Eng. Civil
	5	M	Consol	Supervisor	Eng. Rodoviária	E	Fac. Kennedy	Eng. Transportes
	6	F	Consol	Consultor	Licitações	E	Fac. Kennedy	Eng. Transportes
	7	M	Sinaenco	Presidente	Sindicalismo	E	Fac. Kennedy	Eng. Transportes
	8	M	Consol	Eng. de Pav.	Pav. Rodovias	M	UFMG	Geotec. e Transportes
Acadêmicos	9	M	CEFET - MG	Professor	Transportes	M	UFOP	Geotecnia
	10	M	FUMEC	Professor	Eng. de Trânsito	D	USP	Eng. Transportes
	11	F	UFMG	Professor	Transportes	D	USP	Eng. Transportes
	12	F	CEFET - MG	Professor	Transportes	M	UFMG	Geotec. e Transportes
	13	M	UFV	Professor	Transportes	D	USP	Eng. Transportes
	14	F	UFMG	Professor	Transportes	D	University of Leeds	Eng. Transportes
	15	M	UFMG	Professor	Transportes	D	UFMG	Ciências Humanas
	16	M	UniBH	Analista	Eng. de Trânsito	M	UFMG	Geotec. e Transportes
Órgãos	17	M	DER - MG	Diretor	Transportes	M	UFMG	Eng. Produção
	18	M	DNIT	Analista	Eng. Rodoviária	G		-
	19	F	DNIT	Analista	Eng. Rodoviária	G		-
	20	M	BHTRANS	Supervisor	Eng. de Trânsito	E	UCAM Prominas	Gestão de Projetos
	21	M	CREA - MG	Fiscal	Fiscalização	E		Seg. do Trabalho
	22	M	BHTRANS	Superintendente	Eng. de Trânsito	M	UFMG	Geotec. e Transportes
	23	F	CREA - MG	Fiscal	Fiscalização	G	Fac. Kennedy	Eng. Civil
	24	M	CREA - MG	Fiscal	Fiscalização	G	Fac. Kennedy	Eng. Civil
Diversos	25	M	CMBH	Chefe Gabinete	Política	G	-	Direito
	26	M	Consol	Geógrafo	Geografia	G	UFMG	Geografia
	27	F	Consol	Ambientalista	Meio Ambiente	E	UniBH	Geop. e Análise Ambiental
	28	M	CMBH	Superintendente	Com. Institucional	-	-	-
	29	F	CMBH	Jornalista	Jornalismo	G	-	Jornalismo
	30	M	-	Coordenador	Comunicação	G	-	Jornalismo
	31	F	Biodiversitas	Ambientalista	Meio Ambiente	-	-	-
	32	F	CMBH	Vereador	Política	-	-	-
	33	M	-	Economista	Economia	M	FGV - SP	Economia

\*M=masculino / F=feminino

\*\*G=graduação / E=especialização / M=mestrado / D=doutorado

Fonte - Elaborado pelo autor.

Os entrevistados possuem formações acadêmicas distintas, com titulações de graduação, especialização, mestrado ou doutorado. A Figura 4.4 apresenta o percentual de avaliadores por titulação.

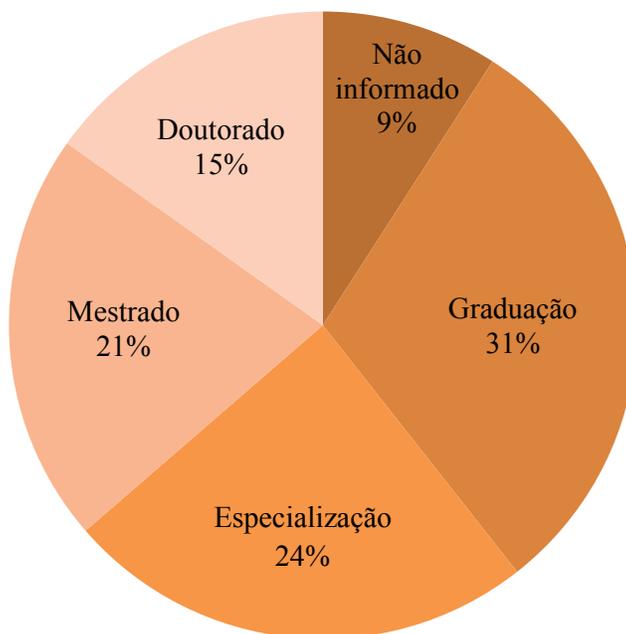


Figura 4.4 - Percentual de avaliadores por titulação.

Fonte - Elaborado pelo autor.

As entrevistas foram divididas em duas fases. Na primeira, foram julgados os critérios e todos os entrevistados selecionados participaram. A segunda fase tratou do julgamento das opções, e participaram somente os que atuam na área de transportes ou engenharia rodoviária. O processo de entrevista se deu por contato pessoal ou por encaminhamento do caderno de entrevista por e-mail, com posterior retorno por parte do entrevistado.

#### 4.3.1 Primeira fase de entrevistas

Na primeira fase de entrevistas participaram os 33 avaliadores selecionados, e foi realizado o julgamento dos critérios (Nível I, Nível II e Nível III). O caderno de entrevistas apresentou a rede de critérios adotada e a ficha de preenchimento. Visando permitir, por parte dos avaliadores, o correto entendimento e uniformidade de conceitos em relação ao que se desejou julgar, foram apresentadas também as descrições dos critérios da rede adotada e a forma como devem ser

julgados (conforme descrito na seção 4.1). Nesta fase, três matrizes são passíveis de inconsistência, conforme a Tabela 3.1 e a Figura 3.1 apresentadas na seção 3.1.

A Figura 4.5 apresenta a ficha de preenchimento, na qual apresentam-se os 18 julgamentos realizados na primeira fase. Cabe destacar que, para cada julgamento, o avaliador marcou um "X" na coluna correspondente ao critério que considerou mais importante sob o ponto de vista do critério que está posicionado um nível acima na rede (já apresentada na seção 3.1), ou, um "X" na coluna central, caso tenha considerado mesma importância para ambos os critérios.

As colunas à direita foram reservadas para que o avaliador expressasse a intensidade da importância considerada: um pouco, muito, muitíssimo e extremamente. Essa escala verbal foi convertida para a escala adaptada de Saaty (1980), para valores iguais a 2, 4, 6 e 8, respectivamente.

Nome do entrevistado ..... Data .....

Órgão/Instituição/Empresa .....

Cargo/função ..... Titulação .....

Instituição Ensino ..... Área .....

Julgamentos	Marque com um X o critério mais importante sob o ponto de vista do critério posicionado um nível acima no diagrama anexo, ou, marque "mesma importância"			Marque com um X a intensidade da importância (ou deixe em branco para mesma importância)			
	Mais importante	Mesma importância	Mais importante	Um pouco	Muito	Muitíssimo	Extremamente
1	ASPECTOS ECONÔMICOS			ASPECTOS SOCIAIS			
2	ASPECTOS ECONÔMICOS			ASPECTOS LOGÍSTICOS			
3	ASPECTOS ECONÔMICOS			ASPECTOS OPERACIONAIS			
4	ASPECTOS SOCIAIS			ASPECTOS LOGÍSTICOS			
5	ASPECTOS SOCIAIS			ASPECTOS OPERACIONAIS			
6	ASPECTOS LOGÍSTICOS			ASPECTOS OPERACIONAIS			
7	<b>Custo/retorno do investimento</b>			<b>Desenvolvimento econômico</b>			
8	<i>Menor custo de implantação</i>			<i>Melhor retorno do investimento</i>			
9	<i>Menor custo de implantação</i>			<i>Melhor custo/benefício</i>			
10	<i>Melhor retorno do investimento</i>			<i>Melhor custo/benefício</i>			
11	<i>Desenvolvimento nacional</i>			<i>Desenvolvimento regional</i>			
12	<i>Redução de acidentes com vítimas fatais</i>			<i>Redução do índice de acidentes</i>			
13	<i>Redução de acidentes com vítimas fatais</i>			<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>			
14	<i>Redução do índice de acidentes</i>			<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>			
15	<b>Conexão</b>			<b>Abastecimento da cadeia logística</b>			
16	<i>Conexão modal</i>			<i>Conexão intermodal</i>			
17	<i>Transporte de Commodities</i>			<i>Transporte de produtos de alto valor agregado</i>			
18	<i>Redução do tempo de viagem</i>			<i>Redução do custo de transporte</i>			

Exemplos para o julgamento dos critérios (Veja o diagrama anexo)

Para o julgamento 1:

Sob o ponto de vista da **PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM CORREDORES RODOVIÁRIOS**, o que é mais importante: ASPECTOS ECONÔMICOS ou ASPECTOS SOCIAIS?

Para o julgamento 7:

Sob o ponto de vista dos ASPECTOS ECONÔMICOS, o que é mais importante: **Custo/retorno do investimento** ou **Desenvolvimento econômico**?

Figura 4.5 - Ficha de preenchimento das entrevistas (primeira fase).

Fonte - Elaborado pelo autor.

### 4.3.2 Segunda fase de entrevistas

A segunda fase de entrevistas tratou do julgamento das opções. Conforme já colocado, nesta fase a amostra foi reduzida, devido à demanda de um tempo maior de dedicação à pesquisa, além de novos contatos com os avaliadores, que nem sempre seriam possíveis devido à indisponibilidade destes para uma nova entrevista. Assim, para o julgamento das opções não foi considerada a divisão dos avaliadores em grupos, e participaram 12 entrevistados, que atuam na área de transportes ou engenharia rodoviária. O caderno de entrevistas apresentou a ficha de preenchimento e informações sobre os trechos selecionados para o estudo de caso, que visaram subsidiar os julgamentos. Estas informações estão apresentadas na seção 4.2, e contemplam mapas, conexões, códigos do Sistema Nacional de Viação - SNV, dados de acidentes, condições da rodovia, dados de tráfego e interferências com áreas urbanas.

A Figura 4.6 apresenta a ficha de preenchimento, na qual apresentam-se os 42 julgamentos realizados na segunda fase. Essa ficha é semelhante à da primeira fase, porém, dividida em duas partes, que mostram as matrizes 1 a 7 e 8 a 14, com três julgamentos cada. Nesta fase, todas as 14 matrizes são passíveis de inconsistência. Não foram necessárias as informações referentes à formação acadêmica (titulação, instituição de ensino e área) pois estas já foram informadas na primeira fase.

Da mesma forma que na primeira fase, o avaliador marcou um "X" na coluna correspondente à opção que considerou mais importante sob o ponto de vista do critério correspondente (em negrito, na parte cinza da ficha), ou, um "X" na coluna central, caso tenha considerado mesma importância para ambas as opções. As colunas à direita foram reservadas para o registro da intensidade da importância considerada, nos mesmos moldes que na primeira fase.

Nome do entrevistado .....

Empresa/Instituição .....

Cargo/função ..... Data .....

Julgamentos	Marque com um X a opção mais importante sob o ponto de vista do critério indicado na área cinza correspondente, ou marque "mesma importância"				Marque com um X a intensidade da importância (ou deixe em branco para mesma importância)			
	Mais importante	Mesma importância	Mais importante		Um pouco	Muito	Muitíssimo	Extremamente
<b>1</b>	<b>Menor custo de implantação</b>							
1 a	BR-040			BR-116				
1 b	BR-116			BR-381				
1 c	BR-040			BR-381				
<b>2</b>	<b>Melhor retorno do investimento</b>							
2 a	BR-040			BR-116				
2 b	BR-116			BR-381				
2 c	BR-040			BR-381				
<b>3</b>	<b>Melhor custo / benefício</b>							
3 a	BR-040			BR-116				
3 b	BR-116			BR-381				
3 c	BR-040			BR-381				
<b>4</b>	<b>Desenvolvimento nacional</b>							
4 a	BR-040			BR-116				
4 b	BR-116			BR-381				
4 c	BR-040			BR-381				
<b>5</b>	<b>Desenvolvimento regional</b>							
5 a	BR-040			BR-116				
5 b	BR-116			BR-381				
5 c	BR-040			BR-381				
<b>6</b>	<b>Redução de acidentes com vítimas fatais</b>							
6 a	BR-040			BR-116				
6 b	BR-116			BR-381				
6 c	BR-040			BR-381				
<b>7</b>	<b>Redução do índice de acidentes</b>							
7 a	BR-040			BR-116				
7 b	BR-116			BR-381				
7 c	BR-040			BR-381				

Julgamentos	Marque com um X a opção mais importante sob o ponto de vista do critério indicado na área cinza acima correspondente, ou marque "mesma importância"				Marque com um X a intensidade da importância (ou deixe em branco para mesma importância)			
	Mais importante	Mesma importância	Mais importante		Um pouco	Muito	Muitíssimo	Extremamente
<b>8</b>	<b>Redução dos impactos em áreas urbanas</b>							
8 a	BR-040			BR-116				
8 b	BR-116			BR-381				
8 c	BR-040			BR-381				
<b>9</b>	<b>Conexão modal</b>							
9 a	BR-040			BR-116				
9 b	BR-116			BR-381				
9 c	BR-040			BR-381				
<b>10</b>	<b>Conexão intermodal</b>							
10 a	BR-040			BR-116				
10 b	BR-116			BR-381				
10 c	BR-040			BR-381				
<b>11</b>	<b>Transporte de commodities</b>							
11 a	BR-040			BR-116				
11 b	BR-116			BR-381				
11 c	BR-040			BR-381				
<b>12</b>	<b>Transporte de produtos de alto valor agregado</b>							
12 a	BR-040			BR-116				
12 b	BR-116			BR-381				
12 c	BR-040			BR-381				
<b>13</b>	<b>Redução do tempo de viagem</b>							
13 a	BR-040			BR-116				
13 b	BR-116			BR-381				
13 c	BR-040			BR-381				
<b>14</b>	<b>Redução do custo de transporte</b>							
14 a	BR-040			BR-116				
14 b	BR-116			BR-381				
14 c	BR-040			BR-381				

**Exemplos para o julgamento das opções**

Para o julgamento **1a**:

Sob o ponto de vista do **Menor custo de implantação**, qual opção é mais importante, o trecho da BR-040 ou o trecho da BR-116?

Para o julgamento **6b**:

Sob o ponto de vista da **Redução de acidentes com vítimas fatais**, qual opção é mais importante, o trecho da BR-116 ou o trecho da BR-381?

Figura 4.6 - Ficha de preenchimento das entrevistas (segunda fase). Fonte - Elaborado pelo autor.

## 4.4 Registro dos julgamentos e das razões de consistência (RC) obtidas

Os julgamentos foram inicialmente registrados nas fichas de preenchimento, pelos próprios avaliadores, tanto para os critérios (primeira fase de entrevistas) quanto para as opções (segunda fase). Posteriormente, esses dados foram transferidos para planilhas *Excel* e inseridos no *software Expert Choice*, que calculou as RC correspondentes, conforme descrito na seção 3.4. O registro dos julgamentos de todos os avaliadores resultou em 504 na primeira fase e 594 na segunda, totalizando 1.098 julgamentos. A seguir descrevem-se detalhadamente estes processos.

### 4.4.1 Critérios

Os critérios foram julgados quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do que está posicionado um nível acima na rede. Esta etapa constituiu-se da primeira fase das entrevistas, com 33 avaliadores.

Conforme já apresentado na seção 3.5, com os resultados do julgamento dos critérios foram calculadas as razões de consistência (RC) para as matrizes maiores que 2 x 2 (uma vez que as matrizes 2 x 2 não apresentam inconsistência), numeradas de 1 a 3, conforme a Tabela 3.1 e a Figura 3.1 apresentadas na seção 3.1. Segundo as diretrizes de Saaty (1980), as matrizes que apresentam RC entre 0,10 e 0,20 são consideradas inconsistentes, e para valores > 0,20, de grande inconsistência. Na aplicação do método essas matrizes foram descartadas.

No Apêndice B, apresentam-se, para cada avaliador, separados por grupo, o julgamento dos critérios e suas RC obtidas, em planilhas *Excel*. As matrizes mantêm a mesma numeração já apresentada, ou seja, de 1 a 3. Os julgamentos estão numerados de 1 a 18, e para cada um deles a escala de valores varia de -8 a +8 (valores resultantes da conversão da escala verbal para a numérica, por meio do *software Excel*), sendo que para valores negativos o critério da esquerda foi considerado o mais importante, e para positivos, o da direita.

As RC entre 0,10 e 0,20 estão destacadas em negrito, e as > 0,20 em vermelho. Observa-se que dois dos avaliadores apresentaram 100% de consistência, ou seja, RC = 0,00 nas três matrizes passíveis de inconsistência, e que para seis deles essas três matrizes apresentaram RC < 0,10. Apenas um dos avaliadores apresentou três inconsistências.

No Apêndice C, apresentam-se as RC para o julgamento dos critérios, obtidas por grupo, e separadas por matriz. Observa-se que a matriz 1 foi a mais consistente, 24 do total de 33. Isso pode ser explicado com base nas considerações apresentadas na seção 2.5.4, ou seja, nesta matriz a

ausência de fatores de decisão é menor, o que confere a ela uma maior consistência. Para as matrizes 2 e 3 registraram-se 22 e 17 consistências, respectivamente.

#### **4.4.2 Opções**

As opções foram também julgadas pelos avaliadores, par a par, sob o ponto de vista de cada critério do Nível III. Apenas os avaliadores que atuam na área de transportes ou engenharia rodoviária participaram destes julgamentos, num total de 12.

Conforme já mencionado na seção 3.6, assim como para os critérios, com os resultados do julgamento das opções foram calculadas as RC, para as 14 matrizes obtidas, já que todas elas são passíveis de inconsistência. Da mesma forma, foram descartadas as matrizes inconsistentes.

No Apêndice D, apresentam-se, para cada avaliador, o julgamento das opções e suas RC obtidas, também em planilhas *Excel*. As matrizes estão numeradas de 1 a 14, e possuem três julgamentos cada. Da mesma forma que para os critérios, para cada julgamento a escala de valores varia de -8 a +8, sendo que para valores negativos a opção da esquerda foi considerada a mais importante, e para positivos, a da direita.

As RC entre 0,10 e 0,20 e  $> 0,20$  estão também destacadas, da mesma forma que para os critérios. Observa-se que para um dos avaliadores as matrizes inconsistentes foram quase a totalidade (13 em 14). Outros dois apresentaram 5 e 6 inconsistências, e para os outros nove esse número foi no máximo 3, sendo que para dois deles as matrizes foram todas consistentes. Novamente, explica-se este fato com base nas considerações apresentadas na seção 2.5.4, ou seja, não é esperado que o avaliador realize julgamentos totalmente consistentes, pois nem sempre ele estabelece relações lógicas entre as idéias nos seus julgamentos, de tal forma a buscar uma coerência entre eles, e avaliar a sua consistência.

## 5 ANÁLISES E RESULTADOS

As análises e resultados apresentam as razões de consistência (RC) obtidas para o julgamento dos critérios, por grupo e para todos os avaliadores. Os pesos globais e locais dos critérios, para todos os avaliadores, estão apresentados nas seções 5.2 e 5.3. As análises de sensibilidade estão apresentadas na seção 5.4. Na seção seguinte, estão as RC obtidas para o julgamento das opções. Apresentam-se as pontuações parciais e finais das opções e a priorização entre elas. Ao final deste capítulo, apresentam-se as comparações realizadas com o estudo de referência, e com outros estudos relacionados ao tema, concluindo-se sobre a validade do modelo proposto.

Cabe destacar que a priorização das opções baseada nas pontuações finais obtidas, indicada no final deste capítulo, poderia ser apresentada apenas como uma orientação inicial aos gestores no processo decisório, recomendando-se, para uma decisão final, a utilização de análises mais completas, com a aplicação de metodologias clássicas de análise de projetos de investimento, como os métodos financeiros e de estratégia de negócio, citados na seção 2.4, entre outros, com investigação inclusive de fatores financeiros e econômicos.

### 5.1 RC obtidas para o julgamento dos critérios

As RC para o julgamento dos critérios foram calculadas por meio do *software Expert Choice*. Conforme já mencionado, seguindo as diretrizes de Saaty (1980) as matrizes que apresentaram RC entre 0,10 e 0,20 foram consideradas inconsistentes, e para valores  $> 0,20$ , de grande inconsistência. Assim, as matrizes com RC acima de 0,10 foram descartadas das análises.

A Tabela 5.1 a seguir apresenta as RC obtidas para o julgamento dos critérios, por grupo de avaliadores, em porcentagem. Com esses dados foi possível avaliar o desempenho relativo de cada grupo quanto às RC.

Tabela 5.1 - RC obtidas para o julgamento dos critérios, por grupo (%).

Grupo	RC < 0,10	RC entre 0,10 e 0,20	RC > 0,20
Engenheiros Rodoviários	66,7	20,8	12,5
Acadêmicos	66,7	8,3	25,0
Órgãos	66,7	12,5	20,8
Diversos	55,6	14,8	29,6

Fonte - Elaborado pelo autor.

Observa-se que os grupos Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos e Órgãos apresentaram os melhores resultados, com 66,7% de matrizes consistentes, do total das matrizes passíveis de inconsistência. Já para o grupo Diversos, as matrizes consistentes representaram 55,6%.

A Tabela 5.2 apresenta as RC obtidas para o julgamento dos critérios, considerando-se todos os avaliadores, em porcentagem. Não foram encontrados na literatura valores de referência que qualifiquem a rede de critérios em função das RC obtidas.

Tabela 5.2 - RC obtidas para o julgamento dos critérios, considerando-se todos os avaliadores (%).

<b>Matriz</b>	<b>RC &lt; 0,10</b>	<b>%</b>	<b>RC entre 0,10 e 0,20</b>	<b>%</b>	<b>RC ≥ 0,20</b>	<b>%</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
1	24	72,7	8	24,2	1	3,0	33	100,0
2	22	66,7	3	9,1	8	24,2	33	100,0
3	17	51,5	3	9,1	13	39,4	33	100,0
Totais	63	63,6	14	14,1	22	22,2	99	100,0

Fonte - Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram que das 99 matrizes obtidas, passíveis de inconsistência, 63 apresentaram  $RC < 0,10$  (o que corresponde a 63,6% de matrizes consistentes, em relação ao total), 14, entre 0,10 e 0,20 e 22  $> 0,20$ .

Lisboa (2002), principal referência para o desenvolvimento deste trabalho, calculou as RC para o julgamento dos critérios considerando cada avaliador individualmente, a média por grupo e a média geral dos avaliadores. O autor verificou em seu estudo que para os julgamentos individuais 39% das matrizes foram consistentes, e, para a média geral dos avaliadores, 86%, concluindo que a grande inconsistência inicialmente verificada foi reduzida para os julgamentos médios. No entanto, o autor não apresenta uma possível razão para tal redução, assim como não comenta sobre o que isso poderia significar.

Cabe lembrar, conforme já apresentado na seção 3.5, que para os cálculos com as médias, processos mais complexos devem ser aplicados, e para tal, o *software* utilizado não dá o suporte necessário. Sendo assim, como o presente trabalho não considerou uma abordagem mais profunda à parte matemática do método, as RC para o julgamento dos critérios foram calculadas apenas para os julgamentos individuais.

## 5.2 Pesos globais e locais dos critérios

Para a obtenção dos pesos dos critérios, neste estudo optou-se pelo método de comparação par a par, conforme Saaty (1977). Os critérios foram julgados pelos avaliadores quanto a importância de um em relação a outro, par a par, sempre sob o ponto de vista do que está posicionado um nível acima na rede. Os julgamentos foram processados no *software Expert Choice*, que calculou os pesos globais e locais para os critérios.

A Figura 5.1 apresenta os pesos globais dos critérios do Nível I, em porcentagem, considerando-se todos os avaliadores.

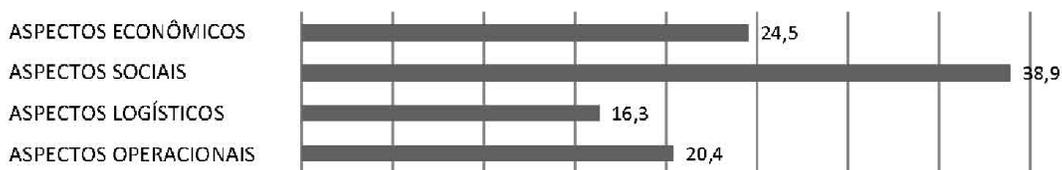
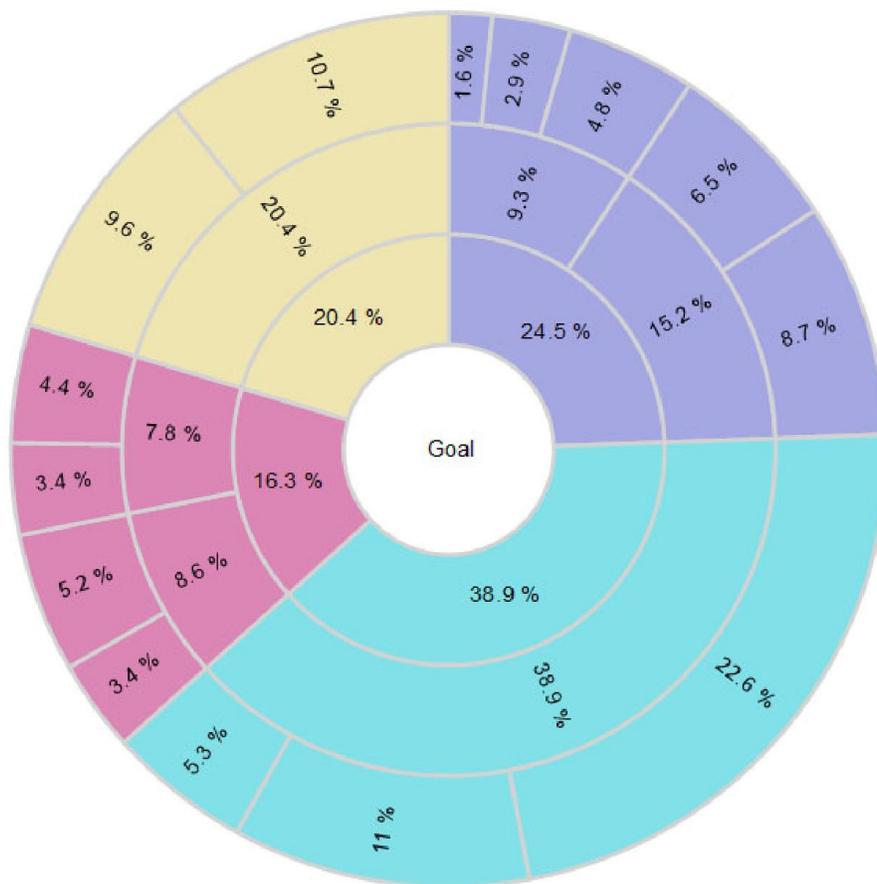


Figura 5.1 - Pesos globais (%) para os critérios do Nível I, considerando-se todos os avaliadores.

Fonte - Elaborado pelo autor.

Observa-se que os aspectos sociais apresentaram o maior peso global em relação ao objetivo, 38,9%, seguidos dos aspectos econômicos, com 24,5. Os aspectos logísticos apresentaram o menor peso, 16,3%.

A Figura 5.2 e a Figura 5.3 a seguir apresentam os pesos globais dos critérios em todos os níveis, em porcentagem, considerando-se todos os avaliadores, em gráficos tipo disco e barras, respectivamente. Esses dados permitem a visualização da propagação dos pesos dos critérios do Nível I entre os diversos critérios nos Níveis II e III.



- a) ASPECTOS ECONÔMICOS (24.5%) ● a.1) Custo/retorno do investimento (9.3%) ● a.1.1) Menor custo de implantação (1.6%) ● a.1.2) Melhor retorno do investimento (2.9%) ● a.1.3) Melhor custo/benefício (4.8%) ● a.2) Desenvolvimento econômico (15.2%) ● a.2.1) Desenvolvimento nacional (6.5%) ● a.2.2) Desenvolvimento regional (8.7%) ● b) ASPECTOS SOCIAIS (38.9%) ● b.1) Redução dos impactos sociais (38.9%) ● b.1.1) Redução de acidentes com vítimas fatais (22.6%) ● b.1.2) Redução do índice de acidentes (11%) ● b.1.3) Redução dos impactos em áreas urbanas (5.3%) ● c) ASPECTOS LOGÍSTICOS (16.3%) ● c.1) Conexão (8.6%) ● c.1.1) Conexão modal (3.4%) ● c.1.2) Conexão intermodal (5.2%) ● c.2) Abastecimento da cadeia logística (7.8%) ● c.2.1) Transporte de commodities (3.4%) ● c.2.2) Transporte de produtos de alto valor agregado (4.4%) ● d) ASPECTOS OPERACIONAIS (20.4%) ● d.1) Tempo/custao das viagens (20.4%) ● d.1.1) Redução do tempo de viagem (9.6%) ● d.1.2) Redução do custo de transporte (10.7%)

Figura 5.2 - Pesos globais (%) em todos os níveis, considerando-se todos os avaliadores.

Fonte - Elaborado pelo autor.

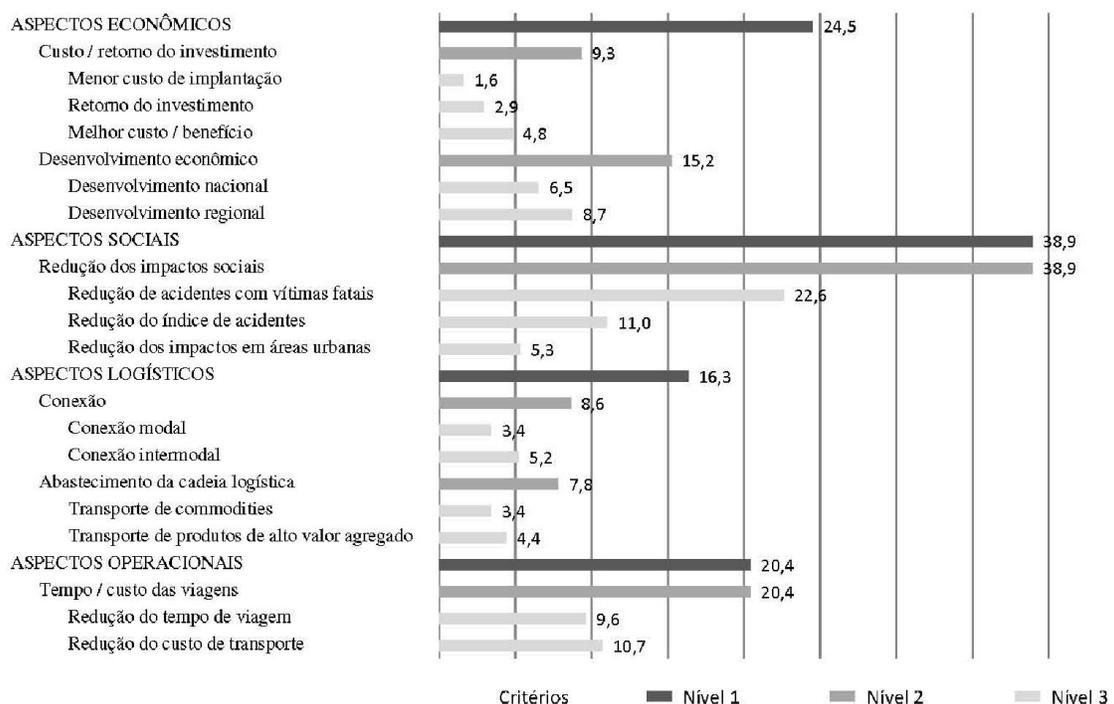


Figura 5.3 - Pesos globais (%) em todos os níveis, considerando-se todos os avaliadores.

Fonte - Elaborado pelo autor.

Os resultados mostram que os pesos globais dos critérios se propagaram do Nível I entre os diversos critérios nos Níveis II e III. Por exemplo, no Nível II o critério redução dos impactos sociais apresentou o maior peso global, 38,9%. No Nível III, os critérios redução de acidentes com vítimas fatais e redução do índice de acidentes apresentaram os maiores pesos globais, 22,6 e 11,0%, respectivamente. Estes critérios estão vinculados justamente aos aspectos sociais (os de maior peso no Nível I).

É importante destacar que, por exemplo, o fato de o critério redução do custo de transporte (que está vinculado aos aspectos operacionais) ter apresentado um peso global de 10,7%, muito maior que os 1,6 do critério menor custo de implantação (que está vinculado aos aspectos econômicos), não significa que num contexto geral os aspectos operacionais foram mais importantes que os econômicos, pois estes tiveram seus 24,5% distribuídos entre cinco critérios no Nível III, enquanto os primeiros, 20,4 distribuídos entre apenas dois.

### 5.3 Pesos globais reunidos apenas no Nível III

Os critérios do Nível III são os critérios em relação aos quais as opções foram julgadas, e pontuaram cada opção conforme seu peso global. Sendo assim, para uma melhor visualização de

quais critérios pontuaram mais as opções, a Figura 5.4 e a Figura 5.5 apresentam os pesos globais reunidos apenas no Nível III, em porcentagem, considerando-se todos os avaliadores, na ordem dos julgamentos e na ordem decrescente dos pesos, respectivamente.

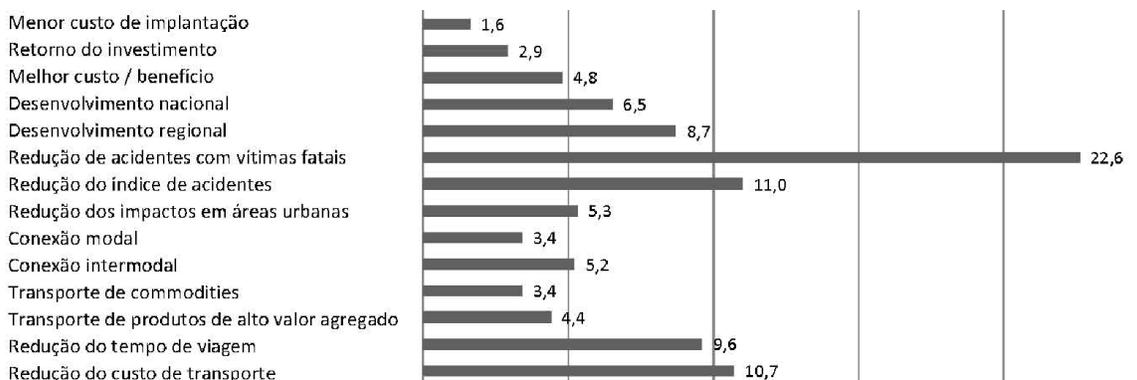


Figura 5.4 - Pesos globais (%) Nível III (todos os avaliadores), na ordem dos julgamentos.

Fonte - Elaborado pelo autor.

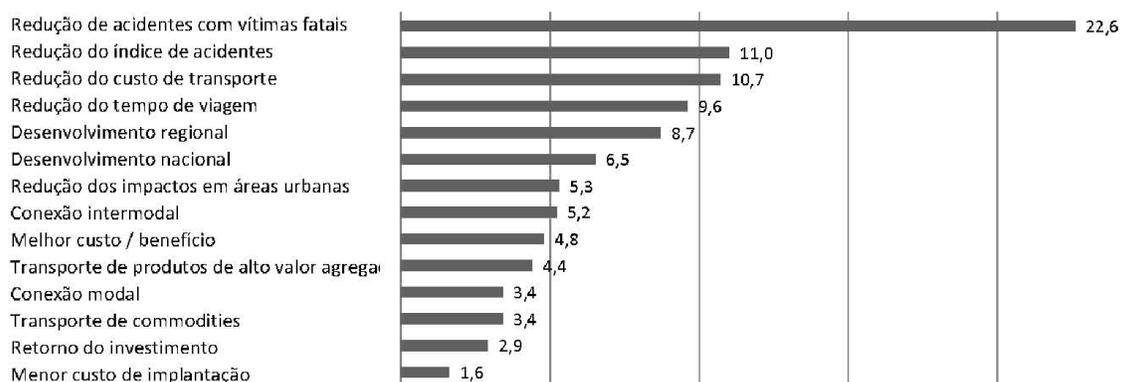


Figura 5.5 - Pesos globais (%) Nível III (todos os avaliadores), na ordem decrescente dos pesos.

Fonte - Elaborado pelo autor.

Observa-se que dos três critérios com maior peso global (e, portanto, que mais pontuaram as opções), dois estão relacionados aos aspectos sociais, que apresentaram o maior peso no Nível I, 38,9%, com a consideração de todos os avaliadores.

Dos três critérios com menor peso global, dois estão relacionados aos aspectos econômicos, que apresentaram o segundo maior peso no Nível I, 24,5%, também com a consideração de todos os avaliadores. Isso explica-se devido à quantidade de critérios no Nível III que estão vinculados aos aspectos econômicos (cinco).

## 5.4 Análises de Sensibilidade

Foram realizadas análises de sensibilidade, utilizando-se novamente o *software Expert Choice*, nas quais os grupos de avaliadores foram considerados de forma isolada. Estas análises permitiram a criação de cenários distintos, com diferentes pontos de vista.

As análises de sensibilidade possibilitaram verificar, por exemplo, em quais das considerações isoladas por grupo o critério de maior peso global foi o mesmo para a consideração de todos os avaliadores, permitindo concluir sobre a influência da opinião de cada grupo nos pesos globais dos critérios.

A Figura 5.6 a seguir apresenta os pesos globais para os critérios do Nível I, em porcentagem, considerando-se todos os avaliadores e para as considerações isoladas por grupo.

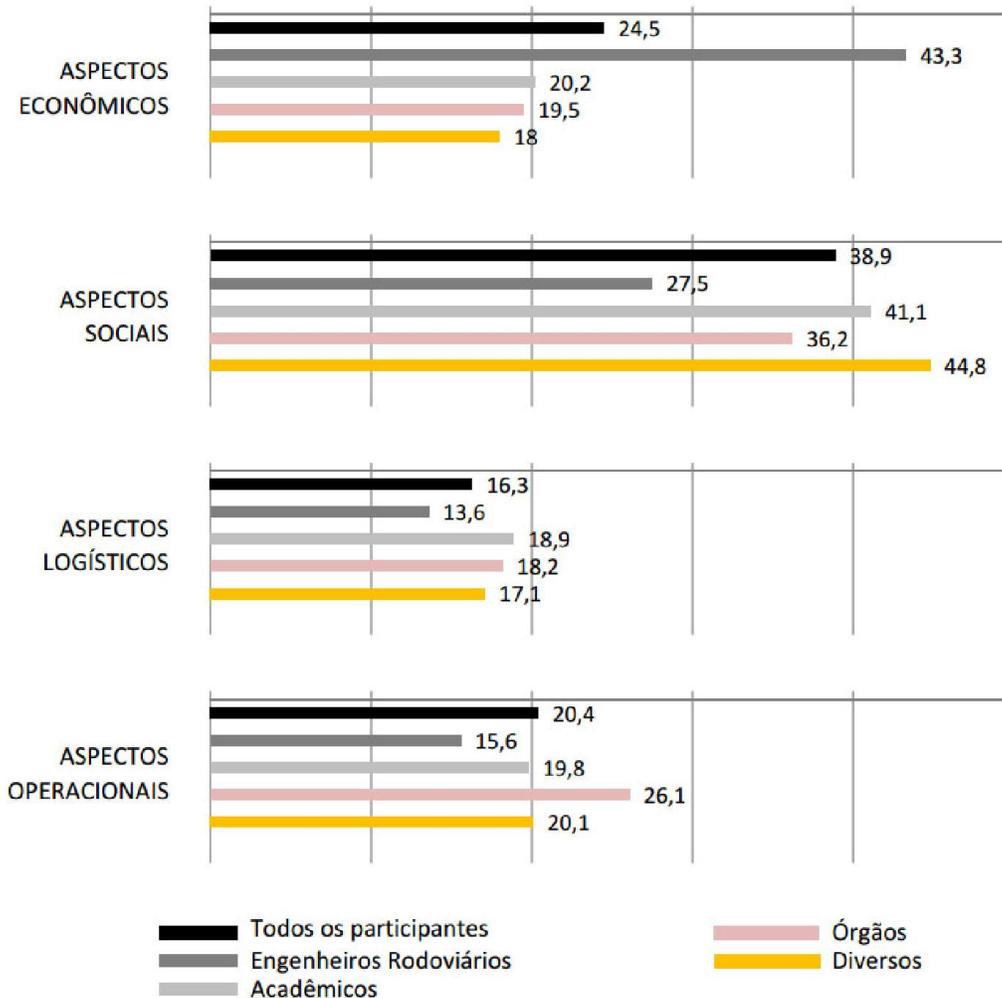


Figura 5.6 - Pesos globais (%) para os critérios do Nível I (todos os avaliadores e por grupo).

Fonte - Elaborado pelo autor.

Observa-se na figura que os aspectos sociais apresentaram o maior peso global para a consideração de todos os avaliadores (38,9%), e as considerações isoladas por grupo mostraram que estes aspectos foram também os que apresentaram o maior peso global em 3 das 4 considerações.

Apenas para o grupo Engenheiros Rodoviários os aspectos sociais não apresentaram o maior peso global. Para este grupo, os aspectos que apresentaram o maior peso foram os econômicos, com 43,3%.

Assim, é possível concluir que, em relação a estes dois aspectos (econômicos e sociais), apenas os Engenheiros Rodoviários têm uma opinião que tende a ser diferente da dos demais grupos. Já em relação aos demais aspectos, as opiniões são convergentes, conforme apresenta a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Convergência da opiniões dos grupos de avaliadores

	Engenheiros Rodoviários	Acadêmicos	Órgãos	Diversos
Aspectos Econômicos	43,3	20,2	19,5	18,0
Aspectos Sociais	27,5	41,1	36,2	44,8
Aspectos Logísticos	13,6	18,9	18,2	17,1
Aspectos Operacionais	15,6	19,8	26,1	20,1

Fonte - Elaborado pelo autor.

A convergência das opiniões dos grupos de avaliadores, e a divergência, no caso dos Engenheiros Rodoviários, se propagaram do Nível I ao Nível III. A Figura 5.7, Figura 5.8, Figura 5.9 e a Figura 5.10 a seguir apresentam os pesos globais em todos os níveis, em porcentagem, para as considerações isoladas por grupo (Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos, respectivamente).

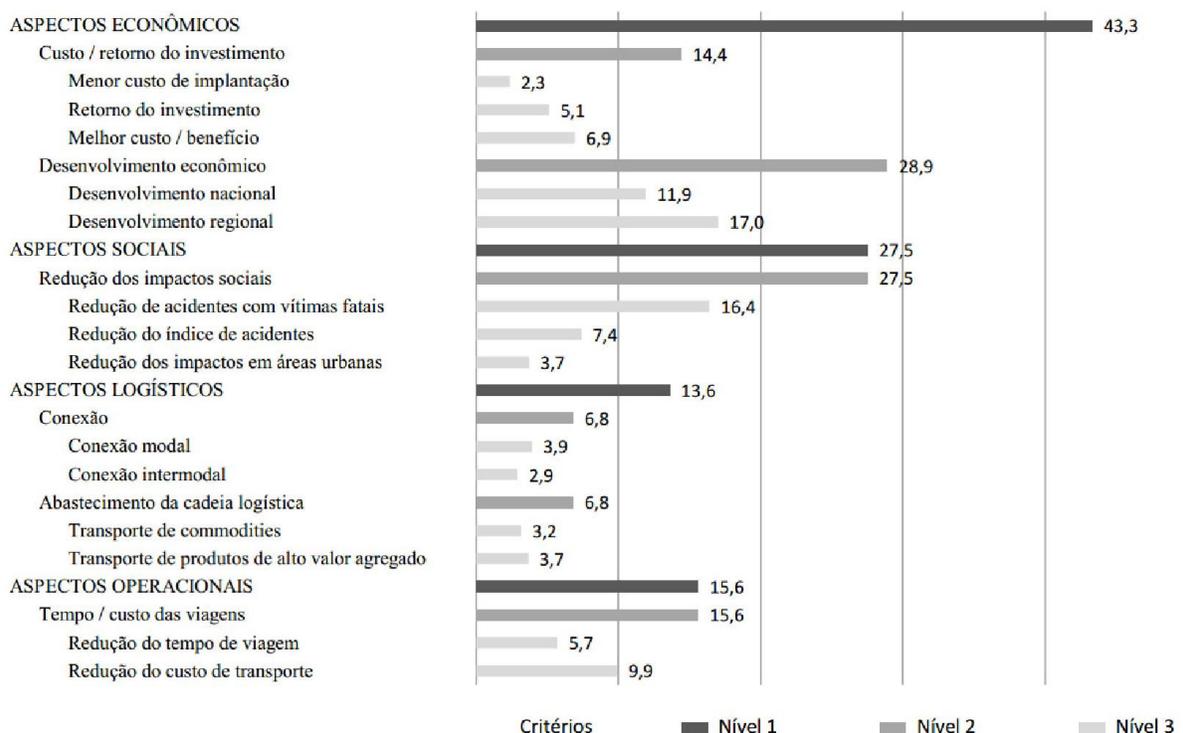


Figura 5.7 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Engenheiros Rodoviários.

Fonte - Elaborado pelo autor.

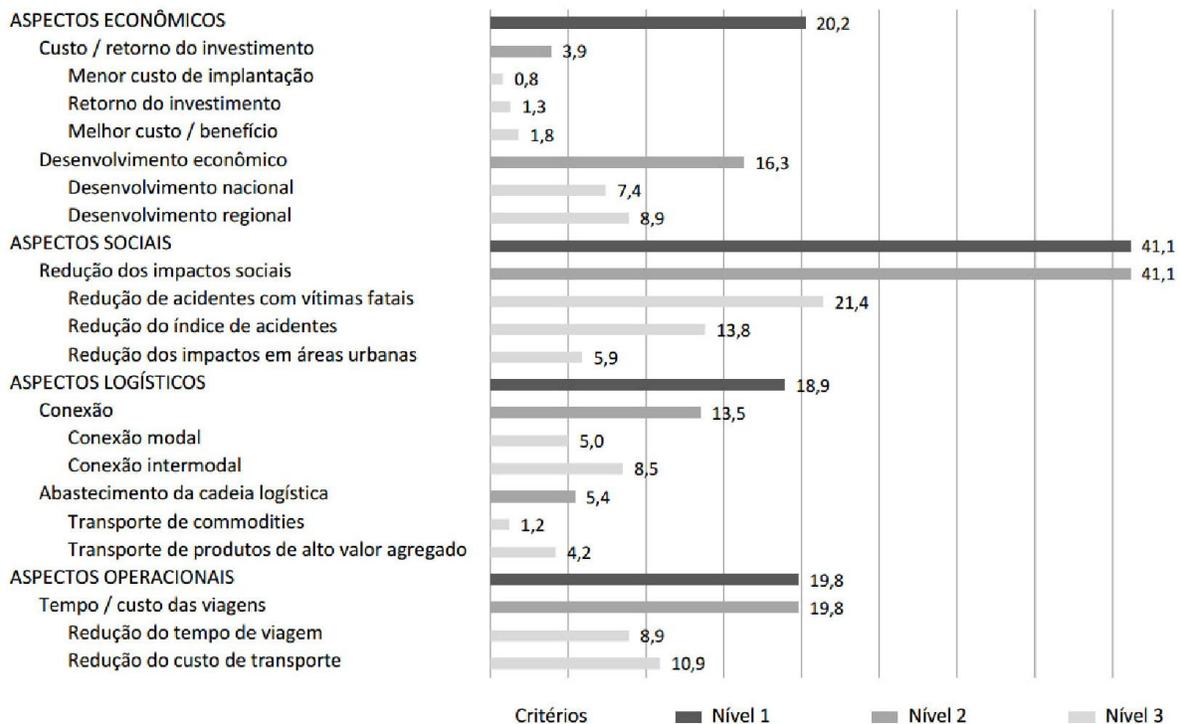


Figura 5.8 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Acadêmicos.

Fonte - Elaborado pelo autor.

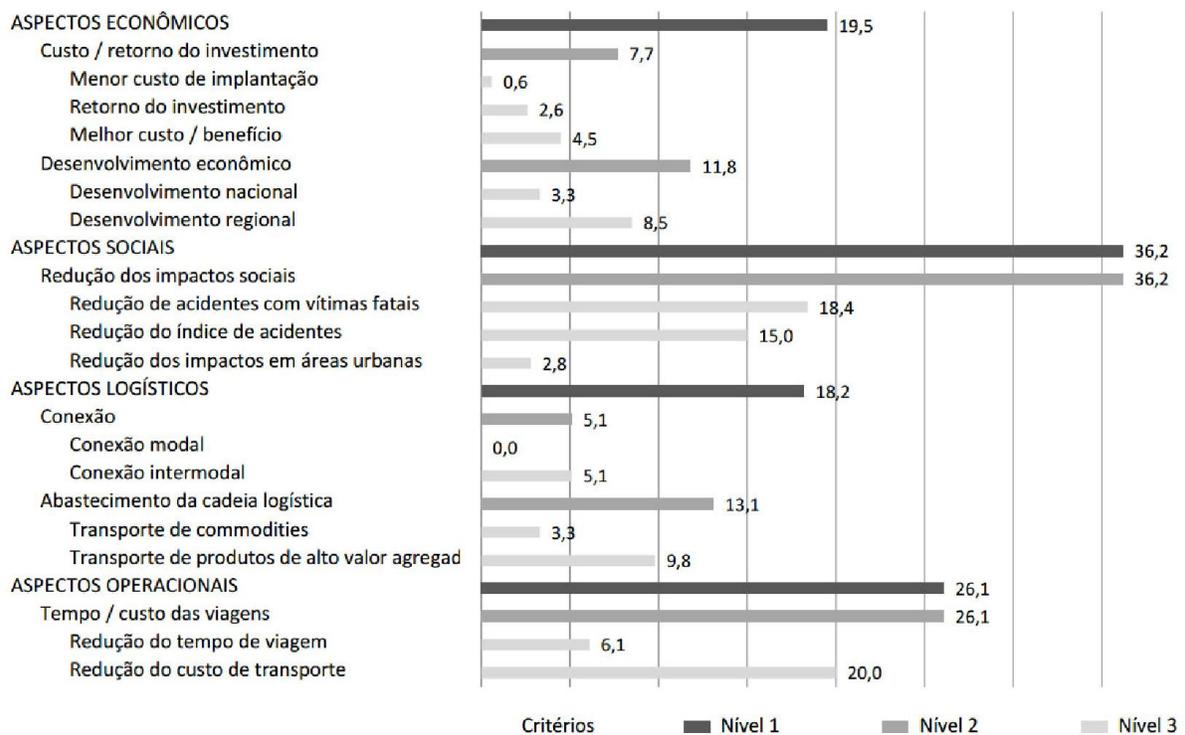


Figura 5.9 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Órgãos.

Fonte - Elaborado pelo autor.

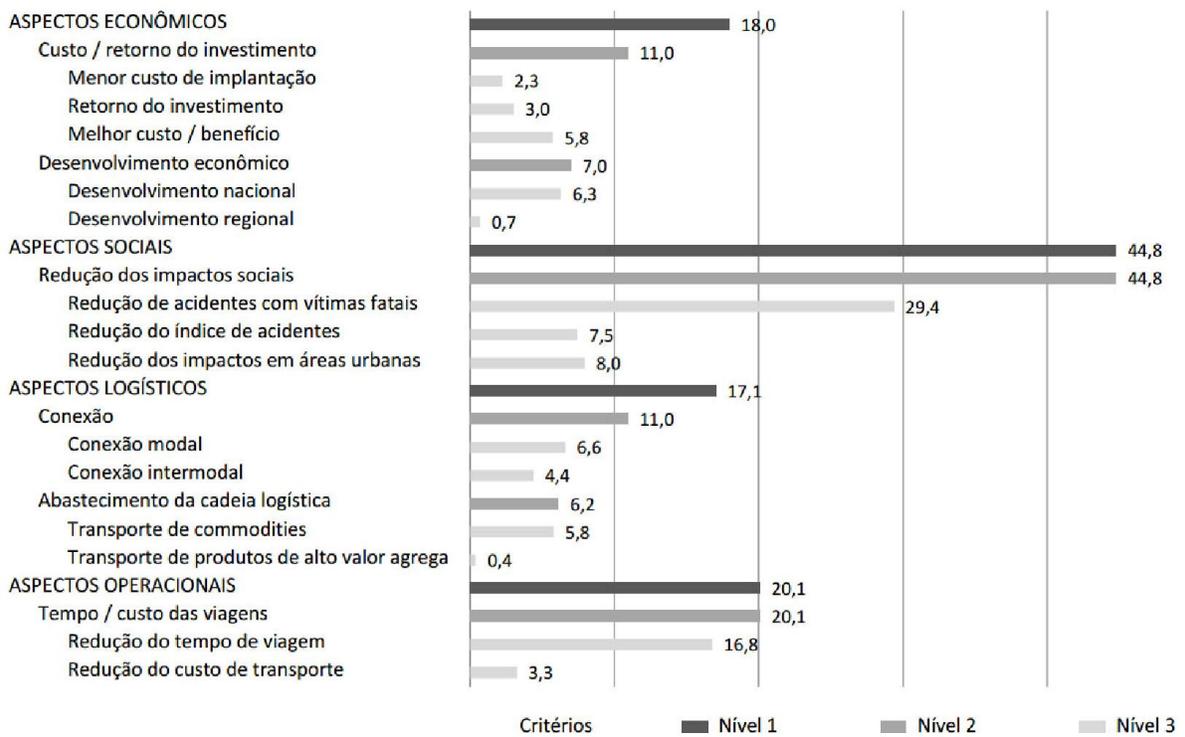


Figura 5.10 - Pesos globais (%) em todos os níveis, para o grupo Diversos.

Fonte - Elaborado pelo autor.

Observa-se que para o grupo Engenheiros Rodoviários, que atribuiu o maior peso global para os aspectos econômicos no Nível I, o maior peso no Nível III foi para o critério desenvolvimento regional (17,0%), que está vinculado justamente àqueles aspectos.

Para os grupos Acadêmicos e Diversos, que atribuíram o maior peso global para os aspectos sociais no Nível I, o maior peso no Nível III foi para o critério redução de acidentes com vítimas fatais, (21,4 e 29,4%, respectivamente), que está vinculado justamente aos aspectos sociais. No entanto, para o grupo Órgãos, que também atribuiu o maior peso global para os aspectos sociais no Nível I, o maior peso no Nível III foi para o critério redução do custo de transporte (20,0%), que não está vinculado aos aspectos sociais, porém, com peso muito próximo aos 18,4% atribuídos ao critério com segundo maior peso, ou seja, redução de vítimas com acidentes fatais (este sim, vinculado aos aspectos sociais).

## **5.5 RC obtidas para o julgamento das opções**

As RC para o julgamento das opções foram calculadas da mesma forma que para os critérios, ou seja, por meio do *software Expert Choice*. Da mesma maneira, as matrizes que apresentaram RC entre 0,10 e 0,20 foram consideradas inconsistentes, e para valores  $> 0,20$ , de grande inconsistência.

A Tabela 5.4 apresenta as RC obtidas para o julgamento das opções, em porcentagem. Observa-se que apenas 9 das 168 matrizes obtidas apresentaram RC entre 0,10 e 0,20, e 32 maior que 0,20. As matrizes consistentes totalizaram 127 (75,6% do total).

Tabela 5.4 - RC obtidas para o julgamento das opções (%).

Matriz	RC<0,10	%	RC 0,10 a 0,20	%	RC > 0,20	%	Total
1	8	66,7	1	8,3	3	25,0	12
2	11	91,7		0,0	1	8,3	12
3	11	91,7		0,0	1	8,3	12
4	8	66,7		0,0	4	33,3	12
5	10	83,3		0,0	2	16,7	12
6	5	41,7	3	25,0	4	33,3	12
7	5	41,7	3	25,0	4	33,3	12
8	11	91,7		0,0	1	8,3	12
9	11	91,7		0,0	1	8,3	12
10	9	75,0		0,0	3	25,0	12
11	9	75,0	1	8,3	2	16,7	12
12	9	75,0		0,0	3	25,0	12
13	10	83,3	1	8,3	1	8,3	12
14	10	83,3		0,0	2	16,7	12
Total	127		9		32		168
(%)	75,6		5,4		19		100

Fonte - Elaborado pelo autor.

## 5.6 Pontuações parciais das opções

Os resultados do julgamento das opções permitiram o cálculo de suas pontuações parciais em relação aos critérios do Nível III, conforme a Figura 5.11. Para estes cálculos, novamente utilizou-se o *software Expert Choice*. Observa-se que a BR-381 teve a melhor pontuação em 10 dos 14 critérios (perdeu basicamente em relação a custo/retorno do investimento) e a BR-116 em apenas um (menor custo de implantação). Isso não significa que o *ranking* da priorização já poderia ser definido (pois a pontuação final ainda depende do peso global de cada critério do Nível III), mas mostra a tendência da BR-381 a ser a mais importante, assim como a da BR-116, a menos.

	0		1	2	3	4	5	6	7	
	Cost	Risk								
1	BR-040	0.0000	0.0000	0.7983	1.0000	0.8447	0.5761	0.2992	0.2911	
	BR-116	0.0000	0.0000	1.0000	0.7164	0.6976	0.4213	0.1667	0.1490	
	BR-381	0.0000	0.0000	0.9936	0.9705	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
2	BR-040	Pairwise	a.1.1.) Menor custo de implantação	a.1.2.) Melhor retorno do investimento	a.1.3.) Melhor custo/benefício	a.2.1.) Desenvolvimento nacional	a.2.2.) Desenvolvimento regional	b.1.1.) Redução de acidentes com vítimas fatais	b.1.2.) Redução do índice de acidentes	
			Pairwise	b.1.3.) Redução dos impactos em áreas urbanas	c.1.1.) Conexão modal	c.1.2.) Conexão intermodal	c.2.1.) Transporte de commodities	c.2.2.) Transporte de produtos de alto valor agregado	d.1.1.) Redução do tempo de viagem	d.1.2.) Redução do custo de transporte
				b.1.2.) Redução do índice de acidentes	c.1.1.) Conexão modal	c.1.2.) Conexão intermodal	c.2.1.) Transporte de commodities	c.2.2.) Transporte de produtos de alto valor agregado	d.1.1.) Redução do tempo de viagem	d.1.2.) Redução do custo de transporte
BR-116	0.1490	0.4706		0.7169	0.4228	0.4071	0.5757	0.3397	0.3520	
3	BR-381	Pairwise	b.1.2.) Redução do índice de acidentes	c.1.1.) Conexão modal	c.1.2.) Conexão intermodal	c.2.1.) Transporte de commodities	c.2.2.) Transporte de produtos de alto valor agregado	d.1.1.) Redução do tempo de viagem	d.1.2.) Redução do custo de transporte	
			Pairwise	b.1.3.) Redução dos impactos em áreas urbanas	c.1.1.) Conexão modal	c.1.2.) Conexão intermodal	c.2.1.) Transporte de commodities	c.2.2.) Transporte de produtos de alto valor agregado	d.1.1.) Redução do tempo de viagem	d.1.2.) Redução do custo de transporte
				b.1.2.) Redução do índice de acidentes	c.1.1.) Conexão modal	c.1.2.) Conexão intermodal	c.2.1.) Transporte de commodities	c.2.2.) Transporte de produtos de alto valor agregado	d.1.1.) Redução do tempo de viagem	d.1.2.) Redução do custo de transporte
BR-040	0.2911	0.7028		0.8716	0.8095	0.6015	1.0000	0.5104	0.6421	
BR-116	0.1490	0.4706	0.7169	0.4228	0.4071	0.5757	0.3397	0.3520	0.3520	
BR-381	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9343	1.0000	1.0000	1.0000	

Figura 5.11 - Pontuações parciais das opções.

Fonte - Elaborado pelo autor.

## 5.7 Pontuações finais e priorização das opções

As opções avaliadas são representadas por trechos de rodovias (BR-040, BR-116 e BR-381) que compõem três das principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais. Para a obtenção de

suas pontuações finais foram utilizadas suas respectivas pontuações parciais em relação aos critérios do Nível III e os pesos globais destes critérios. Os cálculos foram processados no mesmo *software*.

As pontuações parciais em relação aos critérios do Nível III (Figura 5.11 na seção anterior) podem ser agrupadas e apresentadas em relação aos aspectos (ou critérios) do Nível I, como na Figura 5.12, que mostra à esquerda os quatro aspectos considerados no estudo, seus respectivos pesos globais e as pontuações parciais das opções em relação a cada um deles. À direita da figura estão as pontuações finais das opções.

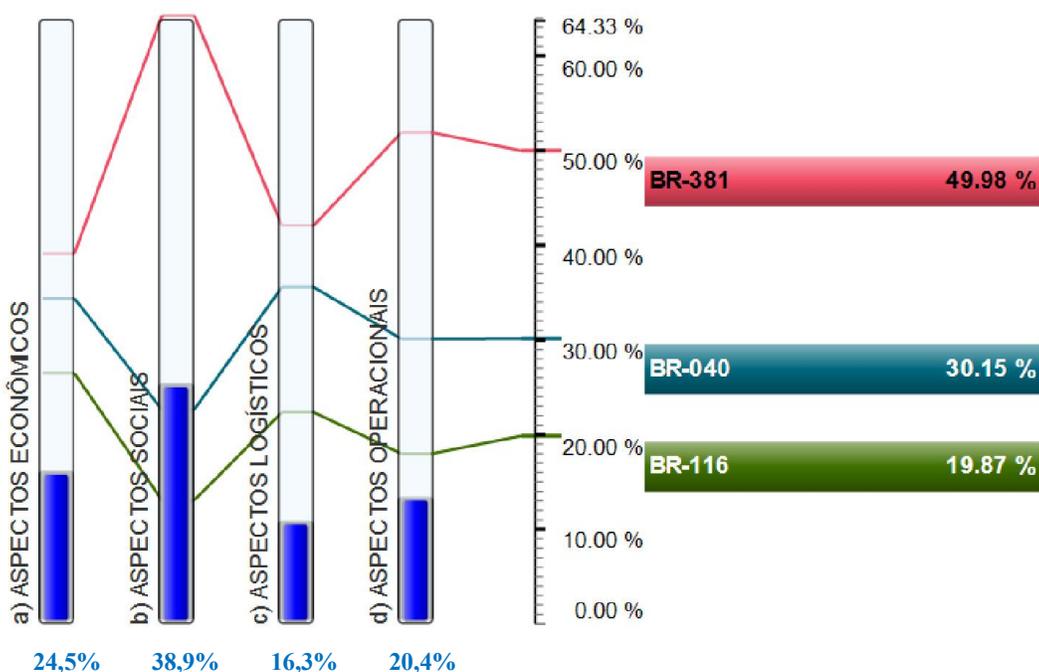


Figura 5.12 - Aspectos considerados no estudo, seus pesos globais e as pontuações das opções.

Fonte - Elaborado pelo autor.

Em todos os aspectos a BR-381 apresentou a maior pontuação parcial e a BR-116 (que não pontuou mais que 30% em nenhum deles) a menor. Em relação aos aspectos que tiveram o maior peso global (os sociais) a BR-381 pontuou 64,3%, enquanto cada uma das outras duas opções, menos que 30.

A BR-381 apresentou a maior pontuação final, logo, a maior importância relativa entre as três opções no que diz respeito a investimentos, com praticamente 50% de prioridade. A BR-040 apresentou a segunda maior pontuação, 30,1%, seguida da BR-116, com 19,9% (a opção de menor importância relativa entre as avaliadas).

Estes resultados foram obtidos considerando-se todos os avaliadores, porém, para o julgamento dos critérios foram criados cenários distintos, a fim de que se pudesse trabalhar com diferentes pontos de vista. Isto foi possível por meio das análises de sensibilidade, com as considerações isoladas por grupo de avaliadores.

As análises de sensibilidade mostraram que em relação aos aspectos econômicos e sociais, apenas os Engenheiros Rodoviários têm uma opinião que tende a ser diferente da dos demais grupos. Já em relação aos demais aspectos, as opiniões foram convergentes.

Sendo assim, como as pontuações finais das opções dependem dos pesos globais dos critérios, elas também seriam diferentes nas considerações isoladas por grupo. Por exemplo, para os aspectos sociais, considerando-se todos os avaliadores, o peso global foi de 38,9%, contra 27,5 para o grupo Engenheiros Rodoviários, o que permite concluir que, numa consideração isolada para este grupo, mantendo-se o julgamento das opções, a pontuação final da BR-381 (maior pontuação parcial em relação a este aspecto) seria diminuída, e, conseqüentemente, a da BR-116 (menor pontuação parcial) seria aumentada.

As diferenças nas pontuações parciais em relação aos aspectos mostram um outro fator que impactaria as pontuações finais das opções: a exclusão de um ou mais deles ou a inclusão de um novo. Por exemplo, excluindo-se os aspectos econômicos, a pontuação final da BR-116 seria diminuída, uma vez que este foi o aspecto em que ela apresentou a maior pontuação parcial. Da mesma forma, incluindo-se, por exemplo, aspectos políticos e ambientais, as opções apresentariam novas pontuações finais.

Seguindo as diretrizes de Saaty (1980), as matrizes que apresentaram RC entre 0,10 e 0,20 foram consideradas inconsistentes, e para valores  $> 0,20$ , de grande inconsistência. Cabe lembrar que não foram encontrados na literatura valores de referência que qualifiquem a rede de critérios em função das RC obtidas, no entanto, Lisboa (2002), em seu estudo, calculou as RC para o julgamento dos critérios considerando cada avaliador individualmente (obtendo 39% de matrizes consistentes), a média por grupo e a média geral dos avaliadores (com 86% de consistência).

As inconsistências apresentadas nas seções 5.1 e 5.5 indicam que pode estar ocorrendo algum erro na estruturação da rede ou incoerência por parte dos avaliadores (MORITA, 1998). O autor recomenda a revisão dos julgamentos para que seja reduzido o percentual de inconsistência. No presente estudo, este procedimento demandaria um tempo maior de dedicação à pesquisa, além

de novos contatos com os avaliadores, que nem sempre seriam possíveis devido à indisponibilidade destes para uma nova entrevista.

Ainda segundo Morita (1998), caso seja realizada uma revisão e as inconsistências persistam, duas considerações devem ser analisadas: a rede elaborada não é regida pela relação de transitividade, ou os avaliadores não possuem conhecimento para realizarem os julgamentos. Neste estudo, quanto à primeira consideração observa-se que todas as matrizes passíveis de inconsistência apresentaram bons resultados, pois para os critérios, a menor consistência, 51,5%, foi verificada para a matriz 3 (redução dos impactos sociais), e para as opções, este valor foi 41,7%, verificado para as matrizes 6 e 7 (redução de acidentes com vítimas fatais e redução do índice de acidentes, respectivamente). Sendo assim, a intransitividade não ocorreu em nenhum caso. Já a consideração de que os avaliadores não possuem conhecimento para realizarem os julgamentos pode ser justificada devido à subjetividade presente no processo e ao fato de que não é esperado que o avaliador realize julgamentos totalmente consistentes.

Por fim, destaca-se que foram realizadas comparações com outros estudos relacionados ao tema, principalmente, com o de Lisboa (2002), que foi a principal referência para o desenvolvimento deste trabalho. Foram apresentadas as particularidades de cada estudo, conforme apresenta a Tabela 5.5, para que fosse possível concluir sobre a validade desta pesquisa.

Tabela 5.5 - Comparações com outros estudos relacionados ao tema.

	<b>Presente Estudo</b>	<b>Lisboa (2002)</b>	<b>Mendes e Caldas (2010)</b>	<b>Cardoso <i>et al.</i> (2011)</b>	
Objetivo	Priorização de investimentos rodoviários	Classificação e seleção de alternativas de traçado	Projetos de investimento: infraestrutura de transporte de carga	Priorização de projetos hidroviários	
Método	AHP	AHP	Copeland	Promethee	
Rede Elaborada	Nº de níveis	3	3	2	1
	Nº de critérios no nível I	4	4	5	5
	Nº de critérios totais	24	29	20	5
Critérios	Julgamento dos critérios	33 avaliadores	34 avaliadores	5 avaliadores	Não informado
	Avaliadores em grupos	4 grupos	13 grupos	Não	Não
	Julgamentos médios	Não	Sim	Não	Não
Opções	Julgamento das opções	12 avaliadores	Não realizado	5 avaliadores	Não informado
	Nº de opções (ou alternativas)	3	4	6	9
Verificações	RC - julgamentos individuais	63,6% de consistência	39% de consistência	Não apresentadas	Não apresentadas
	RC - média geral	Não realizada	86% de consistência	Não apresentadas	Não apresentadas
	Análises de sensibilidade	Sim (grupos de avaliadores)	Sim (critérios)	Não	Não

Fonte - Elaborado pelo autor.

Assim, diante das justificativas apresentadas e das comparações realizadas, que mostram as particularidades de cada estudo, conforme apresentou a Tabela 5.5 (rede, critérios, opções e verificações), conclui-se que o modelo proposto é válido.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este último capítulo apresenta um resumo do que foi desenvolvido no trabalho. Apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia. Comenta-se sobre as comparações realizadas com os outros estudos, e conclui-se sobre a validade da aplicação do modelo proposto. Apresentam-se as vantagens, as desvantagens e as limitações observadas para a aplicação do método, e, por fim, orienta-se acerca de novos estudos relacionados ao tema.

Foi apresentada uma visão geral do cenário rodoviário no Brasil, destacando-se as distorções na matriz de transportes do país, sua dependência em relação ao modo rodoviário e a ligação deste com o desenvolvimento econômico e social, evidenciando-se que, diante da falta de uma alternativa, há a necessidade de investimento no setor.

Destacou-se que os investimentos rodoviários têm sido insuficientes para a demanda do país, e que a complexidade dos processos licitatórios e construtivos de rodovias contribui para um problema gerencial em relação aos investimentos. Uma solução adotada pelo Governo para implementar melhorias no cenário rodoviário foi a implantação dos programas de concessão, mas apesar das melhorias implementadas, ainda há a necessidade de investimento no setor.

As intervenções necessárias não poderiam ser realizadas simultaneamente, tendo em vista as limitações de recursos financeiros, os problemas gerenciais referentes aos investimentos e a complexidade dos processos licitatórios e construtivos das rodovias. Com isso, evidenciou-se a importância da priorização entre opções de investimento no setor.

A priorização entre opções de investimentos rodoviários envolvem decisões do Governo. Não são decisões simples, uma vez que devem contemplar aspectos econômicos, sociais, políticos, ambientais, logísticos e operacionais. Assim, apresentou-se a Análise Multicritério como uma ferramenta de apoio a estes processos de decisão. No setor de transportes, já foi aplicada com resultados satisfatórios em diversos casos.

O objetivo geral deste trabalho foi propor uma metodologia de auxílio à priorização entre opções de investimentos rodoviários. Por meio de um estudo de caso com três opções, foi aplicada a Análise Multicritério utilizando-se o método Analytic Hierarchy Process - AHP. A escolha do método está embasada na sua utilização em casos anteriores e na disponibilidade do *software* computacional *Expert Choice*, que dá apoio ao método.

A rede de critérios adotada apresenta quatro aspectos (econômicos, sociais, logísticos e operacionais) e três níveis. As opções foram selecionadas com base na importância econômica e social das principais ligações rodoviárias que passam por Minas Gerais, de acordo com a CNT, e são representadas por trechos das BR-040, BR-116 e BR-381.

Foram entrevistados profissionais das áreas de engenharia rodoviária, engenharia de trânsito, transportes, economia, geografia, meio ambiente, política e comunicação, além de políticos, professores, servidores de órgãos rodoviários (DNIT e DER), entre outros, que ocupam cargos ou funções como superintendentes, diretores, consultores, supervisores, analistas, ambientalistas e fiscais, representando órgãos, instituições e empresas diversas. Os entrevistados foram divididos em quatro grupos (Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos, Órgãos e Diversos), com o objetivo de se criar cenários distintos, com diferentes pontos de vista.

As entrevistas foram divididas em duas fases. Na primeira, foram julgados os critérios, e todos os entrevistados selecionados participaram. A segunda fase tratou do julgamento das opções, e participaram os entrevistados que atuam na área de transportes ou engenharia rodoviária. Para a parte matemática de todo o processo utilizou-se o *software Expert Choice*.

Quanto aos critérios do Nível I, os aspectos sociais apresentaram o maior peso global em relação ao objetivo, 38,9%, seguidos dos aspectos econômicos, com 24,5. Os aspectos logísticos apresentaram o menor, 16,3%.

Foram realizadas análises de sensibilidade, nas quais os grupos de avaliadores foram considerados de forma isolada, permitindo a criação de cenários distintos, com diferentes pontos de vista. Estas análises possibilitaram verificar, por exemplo, em quais das considerações isoladas por grupo o critério de maior peso global foi o mesmo para a consideração de todos os avaliadores, permitindo concluir sobre a influência da opinião de cada grupo nos pesos globais dos critérios. Os aspectos sociais apresentaram o maior peso global para a consideração de todos os avaliadores (38,9%), e as considerações isoladas por grupo mostraram que estes aspectos foram também os que apresentaram o maior peso global em 3 das 4 considerações. Apenas para o grupo Engenheiros Rodoviários os aspectos sociais não apresentaram o maior peso global (para este grupo, os aspectos que apresentaram o maior peso foram os econômicos, com 43,3%). Assim, foi possível concluir que, em relação a estes dois aspectos (econômicos e sociais), apenas os Engenheiros Rodoviários têm uma opinião que tende a ser diferente da dos demais grupos. Já em relação aos demais aspectos, as opiniões são convergentes.

Em relação às pontuações parciais, a BR-381 apresentou-se como a melhor opção em 10 dos 14 critérios do Nível III, e a BR-116, em apenas um. As pontuações parciais em relação aos critérios do Nível III puderam ser agrupadas e apresentadas em relação aos aspectos (ou critérios) do Nível I. Em todos os aspectos a BR-381 apresentou a maior pontuação parcial e a BR-116, a menor. Em relação aos aspectos que tiveram o maior peso global (os sociais) a BR-381 pontuou 64,3%.

A BR-381 apresentou a maior pontuação final, logo, a maior importância relativa entre as três opções no que diz respeito a investimentos, com praticamente 50% de prioridade. A BR-040 apresentou a segunda maior pontuação, 30,1%, seguida da BR-116, com 19,9% (a opção de menor importância relativa entre as avaliadas).

O estudo de Lisboa (2002), que apresentou uma proposta de aplicação do método AHP para o caso real de duas opções de traçado para o Trecho Norte do Rodoanel Mário Covas, com uma abordagem socioambiental, foi a principal fonte de referência para o desenvolvimento deste trabalho. O autor selecionou 34 entrevistados, e destacou que este número poderia ser considerado reduzido.

Outros estudos foram consultados, e foram verificadas amostras inferiores à de Lisboa, como foi o caso de Mendes e Caldas (2010), com cinco avaliadores, e de Cardoso *et al.* (2013), com apenas três. No presente trabalho, para o julgamento dos critérios foram entrevistados 33 avaliadores e, portanto, comparativamente ao estudo de Lisboa, esta quantidade seria considerada também reduzida, porém, se comparada às dos outros estudos consultados, se mostraria elevada.

No estudo de Lisboa, os entrevistados foram divididos em 13 grupos, sendo que três deles estavam representados por apenas um avaliador, o que segundo o autor comprometeu a representatividade destes grupos. Aqui, os grupos foram divididos em quantidades aproximadas (grupos com oito ou nove avaliadores), garantindo a uniformidade de suas representatividades.

Lisboa não considerou os aspectos sociais em seu estudo, o que poderia ser um ponto negativo, tendo em vista que os resultados aqui apresentados indicaram estes aspectos como os mais importantes. No entanto, os aspectos ambientais dão um caráter mais completo ao seu estudo, aspectos que não foram contemplados neste trabalho.

No estudo de referência, diferentemente do presente trabalho o autor não processou as análises de sensibilidade para os grupos, mas as realizou para os critérios, considerando cada um deles de forma isolada e combinações nas quais um ou mais foram desconsiderados, o que permitiu concluir sobre a influência de cada critério nas pontuações finais das opções.

Seguindo as diretrizes de Saaty (1980), as matrizes que apresentaram RC entre 0,10 e 0,20 foram consideradas inconsistentes, e para valores  $> 0,20$ , de grande inconsistência. Ressalta-se que não foram encontrados na literatura valores de referência que qualifiquem a rede de critérios em função das RC obtidas. Lisboa (2002) calculou as RC para o julgamento dos critérios considerando cada avaliador individualmente (obtendo 39% de matrizes consistentes), a média por grupo e a média geral dos avaliadores (com 86% de consistência).

No presente trabalho, em relação às razões de consistência (RC) obtidas, para o julgamento dos critérios os grupos Engenheiros Rodoviários, Acadêmicos e Órgãos apresentaram os melhores resultados, com 66,7% de matrizes consistentes, do total das matrizes passíveis de inconsistência. Considerando-se todos os avaliadores os resultados indicaram 63,6% de consistência. Para o julgamento das opções as matrizes consistentes representaram 75,6%.

As inconsistências verificadas indicam que pode estar ocorrendo algum erro na estruturação da rede ou incoerência por parte dos avaliadores (MORITA, 1998). O autor recomenda a revisão dos julgamentos para que seja reduzido o percentual de inconsistência.

Neste trabalho este procedimento demandaria um tempo maior de dedicação à pesquisa, considerando-se que 33 avaliadores realizaram 18 julgamentos cada, na primeira fase de entrevistas, num total de 504, e, posteriormente, 12 deles realizaram 42 cada, totalizando 594. Ao final, foram 1.098 julgamentos trabalhados. Além disso, novos contatos com os avaliadores seriam necessários, mas nem sempre possíveis devido à indisponibilidade destes para uma nova entrevista.

Ainda segundo Morita (1998), caso seja realizada uma revisão, e a inconsistência for novamente verificada, duas considerações devem ser analisadas: a rede elaborada não é regida pela relação de transitividade, ou os avaliadores não possuem conhecimento para realizarem os julgamentos. Neste estudo, quanto à primeira consideração observa-se que todas as matrizes passíveis de inconsistência apresentaram bons resultados, conforme apresentado na seção 5.7, e, portanto, a intransitividade não ocorre em nenhum caso. Já a consideração de que os avaliadores não possuem conhecimento para realizarem os julgamentos pode ser justificada devido à subjetividade presente no processo e ao fato de que não é esperado que o avaliador realize julgamentos totalmente consistentes, conforme já colocado anteriormente.

Diante das justificativas apresentadas e das comparações realizadas com outros três estudos relacionados ao tema, apresentadas na Tabela 5.5 na seção 5.7 (rede, critérios, opções e verificações), foi possível concluir que o modelo proposto é válido.

A priorização das opções baseada nas pontuações finais obtidas poderia ser apresentada apenas como uma orientação inicial aos gestores no processo decisório, recomendando-se, para uma decisão final, a utilização de análises mais completas, com a aplicação de metodologias clássicas de análise de projetos de investimento, como os métodos financeiros e de estratégia de negócio, citados na seção 2.4, entre outros, com investigação inclusive de fatores financeiros e econômicos.

Como vantagens do método proposto neste documento destacam-se a possibilidade de utilização do *software Expert Choice* e a de se construir uma rede de critérios bem estruturada. Além dessas vantagens, os métodos baseados na construção de uma função matemática (que é o caso do AHP) agregam um maior rigor ao processo. Com os julgamentos processados em um modelo robusto, com regras e verificações rígidas, obtêm-se resultados que podem não superar a subjetividade, mas que fornecem uma resposta coerente ao objetivo pretendido.

Como desvantagem, considera-se a presença da subjetividade, quase sempre inevitável em determinados tipos de julgamento. Destaca-se ainda que, em aplicações mais elaboradas, a provável complexidade da rede de critérios, assim como o elevado número de opções possíveis, podem levar os avaliadores a um processo exaustivo de julgamento. Outra desvantagem é a impossibilidade de ordenação dos julgamentos no *software* de modo a compatibilizá-la com as planilhas *Excel* utilizadas, o que torna o processo de entrada dos dados um pouco menos prático.

Após a aplicação dos processos que integram o método, observou-se um maior esforço nas fases iniciais, que envolveram a elaboração da rede de critérios. Esta etapa foi desenvolvida por meio de um *brainstorm* entre o autor deste trabalho, um consultor e um engenheiro rodoviário, e pôde ser verificada a subjetividade dos envolvidos em relação aos critérios, o que acabou por dificultar (porém não impedir) este processo.

Diante disso, e da possibilidade de se deparar com um processo exaustivo de julgamento, conclui-se que para decisões menos complexas, métodos menos exigentes em termos computacionais, como Copeland e Promethee, podem ser aplicados com resultados satisfatórios, por meio de processos mais simples e rápidos.

As inconsistências verificadas poderiam ter sido diminuídas, por meio de um acompanhamento dos processos com os entrevistados, solicitando-se revisões para os julgamentos não satisfatórios, porém, conforme já mencionado, este procedimento demandaria um tempo maior de dedicação à pesquisa e novos contatos com os avaliadores, que nem sempre seriam possíveis.

Ainda para estudos futuros, recomendam-se análises mais completas para casos semelhantes ao deste trabalho, com considerações de aspectos como, por exemplo, políticos e ambientais. O *software Expert Choice* pode ser melhor explorado, pois neste estudo, não foi verificado, por exemplo, sua compatibilidade com outros métodos de obtenção de pesos, como os baseados em ordenação de critérios, em escalas de pontos, ou em distribuição de pontos.

Estudos mais aprofundados do método AHP poderiam ser realizados, pois não há na literatura limites mínimos ou máximos para a quantidade de critérios e opções, assim como não há valores de referência que qualifiquem a rede de critérios em função das RC obtidas. Por fim, recomendam-se análises comparativas, utilizando-se para um mesmo caso, métodos diferentes de Análise Multicritério.

## REFERÊNCIAS

ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. 2014. Disponível em: <<http://www.abcr.org.br/Conteudo/Secao/43/estatisticas.aspx>> Acesso em: 13-fev-2014.

ANTF - Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários. 2014. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/index.php/noticias/2938-transporte-ferroviario-de-cargas-nos-estados-unidos-renasceu-apos-a-desregulamentacao>> Acesso em: 10-jun-2014.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2014. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/23333/Conheca\\_as\\_Etapas\\_de\\_Concessoes\\_Rodoviaras.html](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/23333/Conheca_as_Etapas_de_Concessoes_Rodoviaras.html)> Acesso em: 15-abr-2014.

ARRUDA, B. D. L., GALINDO, E. P., VILLELA, T. M. A., CRUZ, R. O. M. Indicadores para a avaliação da concessão dos serviços de exploração rodoviária: foco no resultado. *In: XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET. Fortaleza. 2008.*

ARY, J. C. A., C. C. RAPHUL. *Tratamento das Travessias Rodoviárias em Áreas Urbanas*. GEIPOT/EBTU – Ministério dos Transportes. Brasília. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PREVENÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO. 2010. Disponível em: <[http://www.vias-seguras.com/infra\\_estrutura/engenharia\\_rodoviaria/rodovias\\_em\\_meio\\_urbano/reduzir\\_os\\_acidentes\\_nas\\_rodovias\\_suburbanas/as\\_rodovias\\_suburbanas\\_matam\\_sobretudo\\_usuarios\\_desprotegidos](http://www.vias-seguras.com/infra_estrutura/engenharia_rodoviaria/rodovias_em_meio_urbano/reduzir_os_acidentes_nas_rodovias_suburbanas/as_rodovias_suburbanas_matam_sobretudo_usuarios_desprotegidos)> Acesso em: 09-abr-2013.

BARBA-ROMERO, S., POMEROL, J. C. *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice*. Operations Research Management Science. Massachusetts. 2000. *In: MENDES, E. C., CALDAS, M. Aplicação de análise multicritério em projetos de investimento em infraestrutura de transportes de carga no Brasil*. Artigo. Bento Gonçalves. 2010.

BARTHOLOMEU, D. B. *Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras*. 2006. 164f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2006.

BARTOLOMEU, T. A.; FERREIRA, M. E. M. *Tomada de Decisão Através de Múltiplo Atributo Difuso: Uma Revisão e uma Nova Técnica de Elucidação das Preferências*. 2010.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H. *A preference ranking organization method, the Promethee method for MCDM*. *Mgmt. Sci.*, v. 31, p. 647-656. 1985. *In: CARDOSO, P., SANTOS, J. T. de A. N., MOITA, M. H. V. Abordagem multicritério para priorização de projetos hidroviários: modelo aplicado em um plano de transporte e logística brasileiro*. *In: 2011. XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET. Belo Horizonte. 2011.*

CAMPOS, V. R. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011.

CARDOSO, P., SANTOS, J. T. de A. N., MOITA, M. H. V. Abordagem multicritério para priorização de projetos hidroviários: modelo aplicado em um plano de transporte e logística brasileiro. *In: 2011. XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET. Belo Horizonte. 2011.*

CARDOSO, P., SANTOS, J. T. de A. N., MACHADO, W. V. Modelo multicritério para determinar o índice de serviço adequado das empresas de navegação fluvial de passageiros. *In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET. Vol. 1, pp.1-12. Belém. 2013.*

CEFTRU/UnB - Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes. *Acidentes de trânsito em rodovias federais: análises e recomendações.* Brasília. 2002.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. Boletim Econômico. 2012.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. Boletim Estatístico. 2012.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. Relatório Gerencial - Pesquisa CNT de Rodovias 2013. 2013. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/ranking.aspx?origem=2>> Acesso em: 29-mai-2014.

COSTA, H. G. *Estrutura de Suporte à Decisão.* Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2004.

DELOSPITAL, F. R., D'ANDREA, A. F., GALVES, M. L. Aplicação do Auxílio Multicritério à Decisão ao projeto de travessia entre Santos e Guarujá. *In: XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET. Vol. 1, pp.1-12. Belém. 2013.*

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. Manual de Segurança de Trânsito. *Acidentologia.* Brasília. 1984. Tomo 1.

DIÓGENES, G. S. *Uma contribuição ao estudo dos indicadores de desempenho operacional de ferrovias de carga: o caso da Companhia Ferroviária do Nordeste – CFN.* 2002. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2002. *In: MUCCI, C. M. P. de M. Análise comparativa de modelos de concessão de rodovias no Brasil: um enfoque na segurança viária.* 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

DNER/IPR - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instrução de Proteção Ambiental das Faixas de Domínio e Lindeiras das Rodovias Federais. Brasília. 1996.

DNER/IPR - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Manual de Projeto Geométrico de rodovias Rurais. Brasília. 1999.

DNER/IPR - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Normas para o projeto de estradas de rodagem. Serviço de Publicações. Rio de Janeiro. 1973.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2013a. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/locaisconcentradoresdeacidentes8oumais-anode2011.pdf>> Acesso em: 23-out-2013.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2013b. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/rodovias/condicoes/mg.htm>> Acesso em: 08-dez-2013.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2013c Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/convenios-com-a-ufsc/convenio-00562007-p1-f4-produto-7.pdf>> Acesso em: 23-out-2013.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2014. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2013>> Acesso em: 04-03-2014.

FIGUEIREDO JUNIOR, M. O. *Avaliação de Intervenções em Áreas Urbanas à Luz dos Impactos nos Sistemas de Infra-estrutura Sanitária*. 2009. Dissertação (Mestrado Saneamento em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.

GOMES, C. F. S., GOMES, L., VALLE, R. Nova Proposta de Aplicação do Apoio Multicritério à Decisão (Algoritmo THOR) em Ordenação de Alternativas. XI Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia de Produção. Ponta Grossa. 2006.

GUALBERTO, J. C. R., VANALLE, R. M. Análise do processo decisório para seleção de rodovias a serem pedagiadas no Brasil. *Revista Administração Contemporânea*. vol. 7, no.1. Curitiba. 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141565552003000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141565552003000100008&script=sci_arttext)> Acesso em: 26 jun. 2012.

HARRAL, C., FAIZ, A. El deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo – Causas y Soluciones. Estudio de Políticas do Banco Mundial. ISBN 0-8213-1114 X. 1998. In: VELOSO, R. G. *Análise de otimização de um projeto de concessão rodoviária: maximizando o benefício do usuário*. 2004. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>> Acesso em: 23-out-2013.

ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain. 2013. Disponível em: <[http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=157&Itemid=200417](http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=157&Itemid=200417)> Acesso em: 08-out-2013.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2010. Disponível em: <[http://agencia.ipea.gov.br/index.php?option=com\\_alphacontent&ordering=5&limitstart=2850&limit=10&Itemid=20](http://agencia.ipea.gov.br/index.php?option=com_alphacontent&ordering=5&limitstart=2850&limit=10&Itemid=20)> Acesso em: 13-jul-2013.

KLAMLER, C. The Copeland Rule and Condorcet's Principle. *Economic Theory*. v. 25. 2005. In: MENDES, E. C., CALDAS, M. *Aplicação de análise multicritério em projetos de investimento em infraestrutura de transportes de carga no Brasil*. Artigo. Bento Gonçalves. 2010.

LIMA, I. M. O., FIGUEIREDO, J. C., MORITA, P. A., GOLD, P. *Fatores Condicionantes da Gravidade dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias*. Artigo. Brasília. 2008.

LISBOA, M. V. *Contribuição para Tomada de Decisão na Classificação e Seleção de Alternativas de Traçado para Rodovias em Trechos Urbanizados*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

MALCZEWSKI, J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, New York. 1999. In: RAMOS, R. A. R. *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. 2000. 299p. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga. 2000.

MCCANN, P., SHEFER, D. Location, agglomeration and infrastructure. *Papers in Regional Science*, Urbana: v. 83, n. 1, p.177-196. 2004. In: TORRES, C. E. G. *Transportes e desenvolvimento regional: uma análise de equilíbrio geral computável sobre os impactos na melhoria da infraestrutura de transporte rodoviário em Minas Gerais*. 2009. Tese (Doutorado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.

MENDES, E. C., CALDAS, M. *Aplicação de análise multicritério em projetos de investimento em infraestrutura de transportes de carga no Brasil*. Artigo. Bento Gonçalves. 2010.

MORITA, H. Revisão do método de análise hierárquica - MAH (AHP - analytic hierarchy process). 1998. 152p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1998.

MOUSSEAU, V. Compensatoriness of Preferences in Matching and Choice. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 22(1), 3-19. 1997.

MUCCI, C. M. P. de M. *Análise comparativa de modelos de concessão de rodovias no Brasil: um enfoque na segurança viária*. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2011.

OLIVEIRA, R. G. Avaliação do equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão de rodovias. FIPE/Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001. In: GUALBERTO, J. C. R., VANALLE, R. M. Análise do processo decisório para seleção de rodovias a serem pedagiadas no Brasil. *Revista Administração Contemporânea*. vol. 7, no.1. Curitiba. 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141565552003000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141565552003000100008&script=sci_arttext)> Acesso em: 26 jun. 2012.

PIRES, J. C. L., GIAMBIAGI, F. Retorno dos novos investimentos privados em contextos de incerteza: uma proposta de mudança do mecanismo de concessão de rodovias no Brasil. BNDES. Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/td/Td-81.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/td/Td-81.pdf)> Acesso em: 02 jul. 2012.

RAMOS, R. A. R. *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. 2000. 299p. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga. 2000.

RIBEIRO, P. C. C., FERREIRA, K. A. Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro. XXII ENEGEP. Curitiba. 2002.

SAATY, T. L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 15(3), 234-281. 1997.

SAATY, T. L. *Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York. 1980.

SAATY, T. L. Decision Making with Dependence and Feedback. The Analytic Network Process. Pittsburg. 1996. In: LISBOA, M. V. *Contribuição para Tomada de Decisão na Classificação e Seleção de Alternativas de Traçado para Rodovias em Trechos Urbanizados*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

SAATY, T. L. *Método de Análise Hierárquica*. McGraw-Hill, São Paulo. 1991.

SCHLIESSLER, A. S., BULL, A. Caminhos: Um Novo Enfoque para a Gestão e Manutenção Rodoviária. CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina e Caribe, Nações Unidas. Tradução não oficial: IPC-BR, 246p. 1994. In: VELOSO, R. G. *Análise de otimização de um projeto de concessão rodoviária: maximizando o benefício do usuário*. 2004. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2004.

SILVA, A. C. S.; NASCIMENTO, L. P. A. S.; BELDERRAIN, M. C. N. Método de apoio multicritério à decisão na seleção e priorização de portfólio de projetos. In: XIII Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ENCITA. São José dos Campos. 2007.

TORRES, C. E. G. *Transportes e desenvolvimento regional: uma análise de equilíbrio geral computável sobre os impactos na melhoria da infraestrutura de transporte rodoviário em Minas Gerais*. 2009. Tese (Doutorado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2009.

UFPR - Universidade Federal do Paraná. Manual Didático de Ferrovias. Camilo Borges Neto. 2011.

VELOSO, R. G. *Análise de otimização de um projeto de concessão rodoviária: maximizando o benefício do usuário*. 2004. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2004.

VIANNA, G. *O mito do rodoviarismo no brasileiro*. Associação Nacional de Transporte de Cargas e Logística - NTC&Logística. São Paulo. 2007.

VON WINTERFELDT, D., EDWARDS, W. *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge University Press. Cambridge. 1986. In: RAMOS, R. A. R. *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. 2000. 299p. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga. 2000.

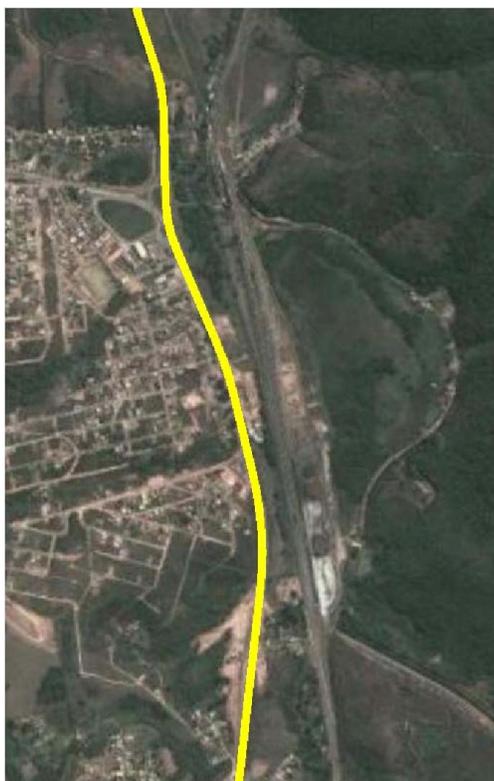
VOOGD, H. *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion Ltd. London. 1983. In: RAMOS, R. A. R. *Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Noroeste de Portugal*. 2000. 299p. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Braga. 2000.

ZELNY, M. *Human Systems Management: Integrating Knowledge, Management and Systems*. World Scientific Publishing Co. London. 1942. In: MENDES, E. C., CALDAS, M. *Aplicação de análise multicritério em projetos de investimento em infraestrutura de transportes de carga no Brasil*. Artigo. Bento Gonçalves. 2010.

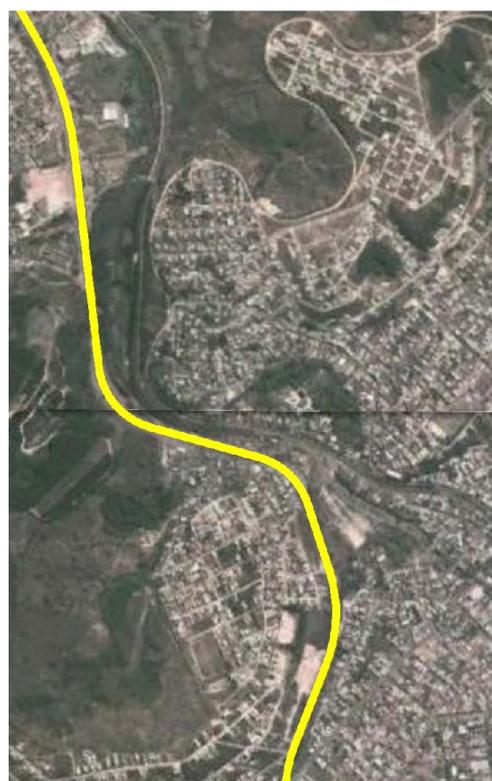
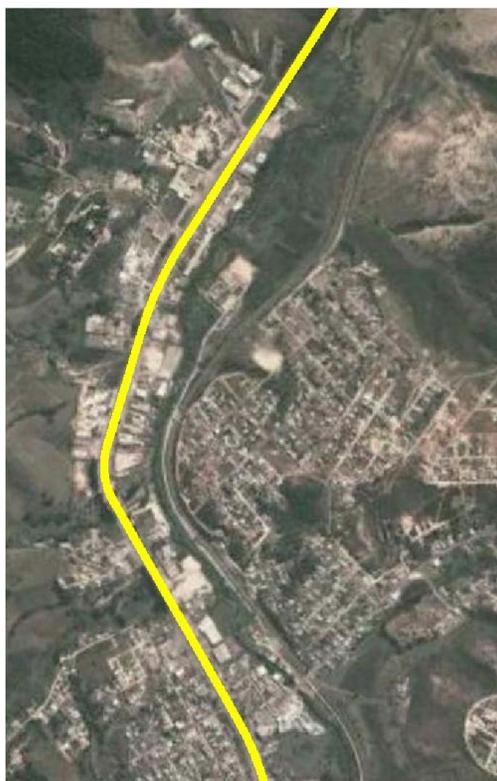
## APÊNDICE A - INTERFERÊNCIAS COM ÁREAS URBANAS



0.1 - Congonhas (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



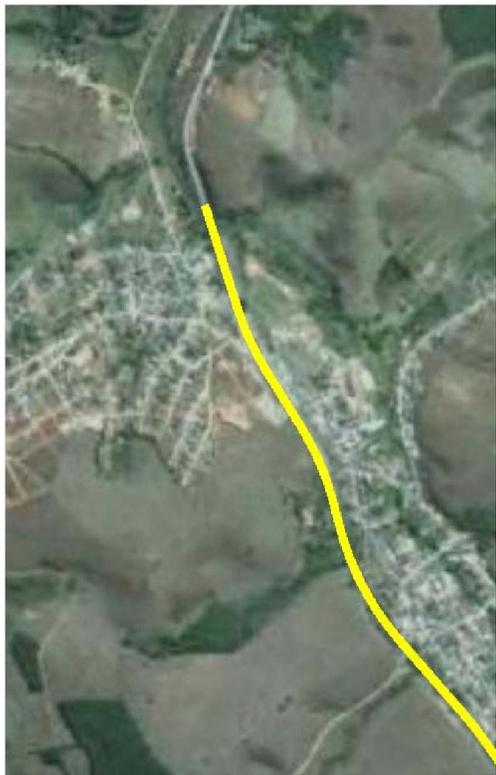
0.2 - Congonhas (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



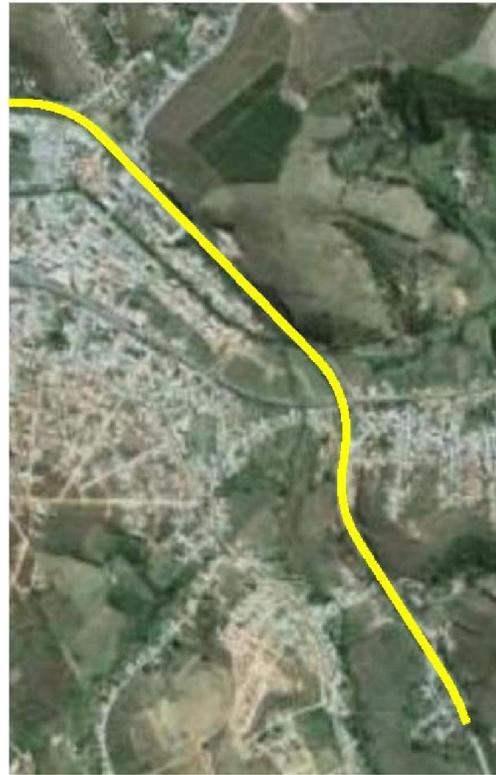
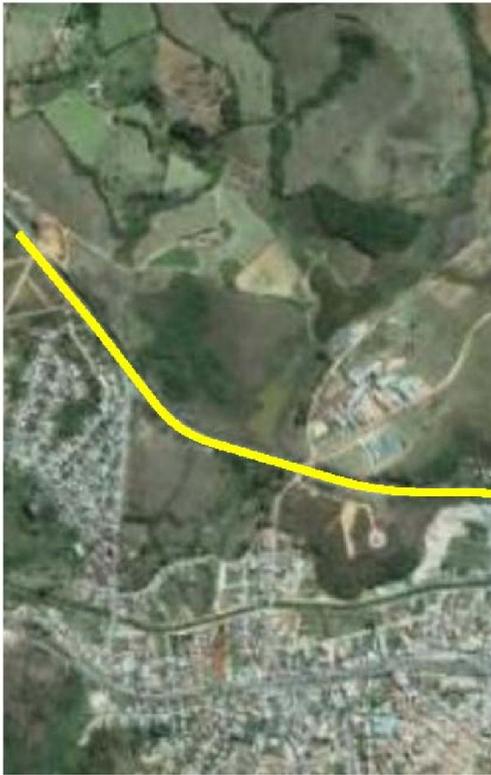
0.3 - Conselheiro Lafaiete (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



0.4 - Conselheiro Lafaiete (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



0.5 - Cristiano Ottoni (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



0.6 - Carandaí (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



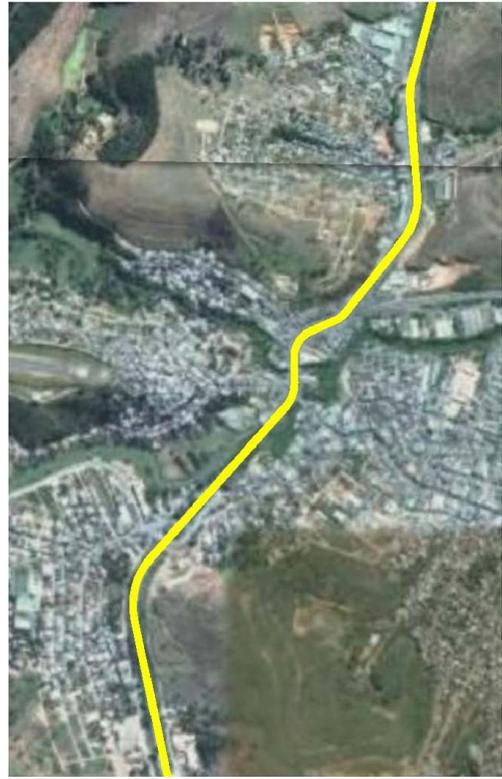
0.7 - Ressaquinha e Alfredo Vasconcelos (BR-040). Fonte - Google Earth (2013).



0.8 - São João do Manhuaçu e Fervedouro (BR-116). Fonte - Google Earth (2013).



0.9 - Miradouro (BR-116). Fonte - Google Earth (2013).



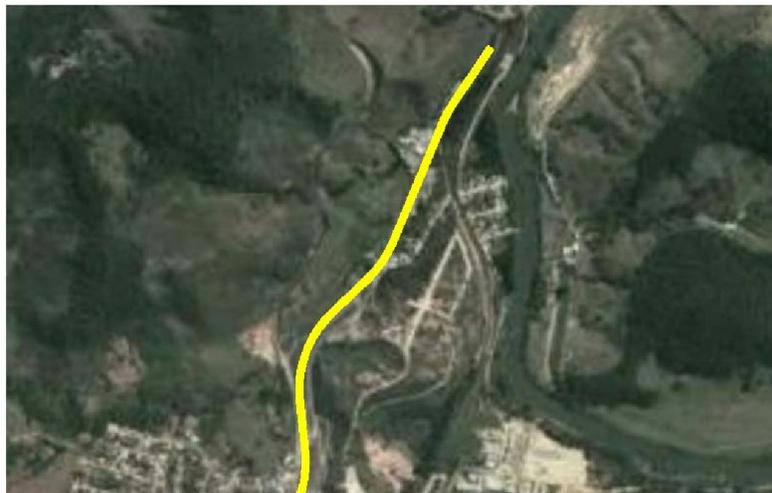
0.10 - Muriaé (BR-116). Fonte - Google Earth (2013).



0.11 - Muriaé (BR-116). Fonte - Google Earth (2013).



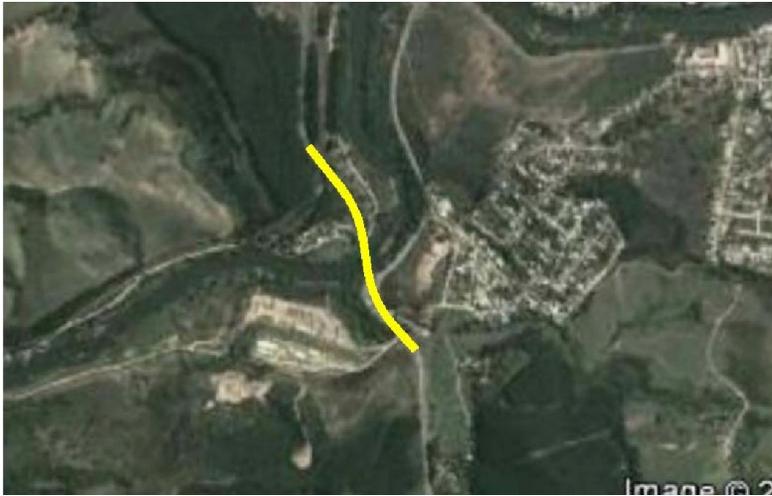
0.12 - Laranjal (BR-116). Fonte - Google Earth (2013).



0.13 - Nova Era (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.14 - Nova Era (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



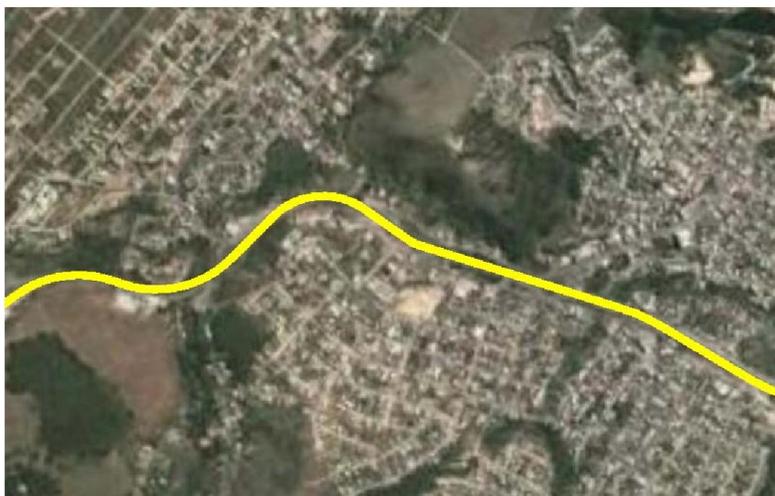
0.15 - Nova Era (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.16 - Bela Vista de Minas (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.17 - João Monlevade (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.18 - João Monlevade (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.19 - João Monlevade (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.20 - São Gonçalo do Rio Abaixo (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.21 - Santa Luzia (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.22 - Santa Luzia (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.23 - Sabará (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.24 - Sabará (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.25 - Belo Horizonte (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).



0.26 - Belo Horizonte (BR-381). Fonte - Google Earth (2013).

# APÊNDICE B - JULGAMENTO E RC OBTIDAS (CRITÉRIOS)

Julgamento e RC obtidas para o grupo Engenheiros Rodoviários.

Ordem no Questionário	Matriz	Extremamente	Muitíssimo	Muito	Um Pouco	Mesma Importância	Um Pouco	Muito	Muitíssimo	Extremamente	Julgamento											
											1	2	3	4	5	6	7	8				
1		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	ASPECTOS ECONÔMICOS											
4											ASPECTOS SOCIAIS											
6											ASPECTOS LOGÍSTICOS											
2	1										ASPECTOS LOGÍSTICOS											
5											ASPECTOS SOCIAIS											
3											ASPECTOS ECONÔMICOS											
7											ASPECTOS OPERACIONAIS											
8											ASPECTOS OPERACIONAIS											
6											<b>Desenvolvimento econômico</b>											
2											<i>Menor custo de implantação</i>											
10											<i>Melhor retorno do investimento</i>											
9											<i>Melhor custo/benefício</i>											
11											<i>Melhor custo/benefício</i>											
12											<i>Desenvolvimento nacional</i>											
14	3										<i>Desenvolvimento regional</i>											
13											<i>Redução de acidentes com vítimas fatais</i>											
15											<i>Redução do índice de acidentes</i>											
16											<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>											
17											<i>Redução de acidentes com vítimas fatais</i>											
18											<b>Conexão</b>											
											<i>Conexão intermodal</i>											
											<i>Transporte de Commodities</i>											
											<i>Transporte de produtos de alto valor agregado</i>											
											<i>Redução do tempo de viagem</i>											
											<i>Redução do custo de transporte</i>											

Fonte - Elaborado pelo autor.

1	2		3		4		5		6		7		8	
	Peso	RC												
-6	-2		8		8		4		1		4		8	
6	1		-8		-6		-4		-4		-4		-8	
1	1	0,07	4	0,07	1	0,00	1	0,17	2	0,02	-4	0,19	6	0,32
1	1		1		1		1		-2		4		6	
6	-2		-8		-6		-2		1		-4		-8	
1	-4		2		1		-4		1		4		6	
1	4		8		8		1		-2		4		4	
8	2		1		1		4		-6		2		4	
-4	1	0,00	8	0,00	1	0,00	-4	0,05	6	0,00	2	0,05	4	0,21
-2	2		8		1		2		1		2		4	
-4	1		1		6		1		6		4		-4	
1	-8		1		1		2		-4		-4		-8	
1	-6	0,35	-8	0,00	-6	0,00	2	0,05	-2	0,05	-4	0,21	-6	0,35
1	-8		-8		-6		2		-4		-4		-8	
1	1		1		-6		1		-2		-2		-4	
1	-4		1		6		1		2		2		4	
1	4		1		1		-4		4		2		4	
6	2		1		-6		-2		-8		2		4	

Ordem no Questionário	Matriz	Extremamente	Muito	Um Pouco	Mesma Importância	Um Pouco	Muito	Muitíssimo	Extremamente	
1		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
4		ASPECTOS ECONÔMICOS								
6	1	ASPECTOS SOCIAIS								
2		ASPECTOS LOGÍSTICOS								
5		ASPECTOS SOCIAIS								
3		ASPECTOS OPERACIONAIS								
7		Custo/retorno do investimento								
8		Menor custo de implantação								
10	2	Melhor retorno do investimento								
9		Menor custo de implantação								
11		Desenvolvimento nacional								
12		Redução de acidentes com vítimas fatais								
14	3	Redução do índice de acidentes								
13		Redução de acidentes com vítimas fatais								
15		Conexão								
16		Conexão modal								
17		Transporte de Commodities								
18		Redução do tempo de viagem								

Fonte - Elaborado pelo autor.

Ordem no Questionário	Matriz	Extremamente	Muito	Um Pouco	Mesma Importância	Um Pouco	Muito	Muitíssimo	Extremamente	8
1		ASPECTOS ECONÔMICOS	ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		
4		ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		
6	1	ASPECTOS LOGÍSTICOS	ASPECTOS LOGÍSTICOS	ASPECTOS LOGÍSTICOS		ASPECTOS LOGÍSTICOS		ASPECTOS LOGÍSTICOS		
2		ASPECTOS ECONÔMICOS	ASPECTOS LOGÍSTICOS	ASPECTOS LOGÍSTICOS		ASPECTOS LOGÍSTICOS		ASPECTOS LOGÍSTICOS		
5		ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		
3		ASPECTOS ECONÔMICOS	ASPECTOS SOCIAIS	ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		ASPECTOS SOCIAIS		
7		<b>Custo/retorno do investimento</b>	<b>Desenvolvimento econômico</b>	<b>Desenvolvimento econômico</b>		<b>Desenvolvimento econômico</b>		<b>Desenvolvimento econômico</b>		
8		<i>Menor custo de implantação</i>	<i>Melhor retorno do investimento</i>	<i>Melhor retorno do investimento</i>		<i>Melhor retorno do investimento</i>		<i>Melhor retorno do investimento</i>		
10	2	<i>Melhor retorno do investimento</i>	<i>Melhor custo/benefício</i>	<i>Melhor custo/benefício</i>		<i>Melhor custo/benefício</i>		<i>Melhor custo/benefício</i>		
9		<i>Menor custo de implantação</i>	<i>Melhor custo/benefício</i>	<i>Melhor custo/benefício</i>		<i>Melhor custo/benefício</i>		<i>Melhor custo/benefício</i>		
11		<i>Desenvolvimento nacional</i>	<i>Desenvolvimento nacional</i>	<i>Desenvolvimento nacional</i>		<i>Desenvolvimento nacional</i>		<i>Desenvolvimento nacional</i>		
12		<i>Redução de acidentes com vítimas fatais</i>	<i>Redução do índice de acidentes</i>	<i>Redução do índice de acidentes</i>		<i>Redução do índice de acidentes</i>		<i>Redução do índice de acidentes</i>		
14	3	<i>Redução do índice de acidentes</i>	<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>	<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>		<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>		<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>		
13		<i>Redução de acidentes com vítimas fatais</i>	<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>	<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>		<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>		<i>Redução dos impactos nas áreas urbanas</i>		
15		<b>Conexão</b>	<b>Abastecimento da cadeia logística</b>	<b>Abastecimento da cadeia logística</b>		<b>Abastecimento da cadeia logística</b>		<b>Abastecimento da cadeia logística</b>		
16		<i>Conexão modal</i>	<i>Conexão iniermodal</i>	<i>Conexão iniermodal</i>		<i>Conexão iniermodal</i>		<i>Conexão iniermodal</i>		
17		<i>Transporte de Commodities</i>	<i>Transporte de produtos de alto valor agregado</i>	<i>Transporte de produtos de alto valor agregado</i>		<i>Transporte de produtos de alto valor agregado</i>		<i>Transporte de produtos de alto valor agregado</i>		
18		<i>Redução do tempo de viagem</i>	<i>Redução do custo de transporte</i>	<i>Redução do custo de transporte</i>		<i>Redução do custo de transporte</i>		<i>Redução do custo de transporte</i>		

Fonte - Elaborado pelo autor.

1	2		3		4		5		6		7		8	
	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC
-4	6	-4	-4	-4	2	-	6	-	-2	-	8	-	8	-
-6	-4	-4	-4	-4	2	-	-4	-	1	-	1	-	-8	-
2	0,06	1	4	0,09	2	-	1	0,05	1	0,02	1	0,00	6	0,16
-6	1	4	-4	-4	2	-	4	-	-2	-	8	-	6	-
-2	-9	1	1	-4	1	-	-4	-	2	-	1	-	-8	-
-4	2	2	1	1	1	-	4	-	1	-	8	-	6	-
-2	-	6	-4	-	2	-	-4	-	1	-	1	-	6	-
-4	6	1	1	1	2	-	-2	0,05	6	0,00	8	-	6	-
6	0,01	-2	1	0,35	1	0,05	-2	0,05	1	0,00	8	0,48	6	0,35
2	2	2	6	6	4	-	-2	-	6	-	8	-	6	-
2	-	1	-4	-	2	-	1	-	8	-	1	-	6	-
-2	-6	-6	-6	-6	1	-	-6	-	1	-	1	-	8	-
-4	0,05	-4	-4	0,21	-4	0,00	-6	0,35	1	0,00	1	0,00	-8	0,00
-4	-4	-8	-6	-6	-4	-	-6	-	1	-	1	-	-8	-
1	-	1	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	6	-
-2	-	6	1	-	2	-	1	-	1	-	1	-	6	-
6	-	4	1	-	1	-	2	-	1	-	1	-	6	-
4	-	6	1	-	-2	-	-2	-	1	-	1	-	6	-

Ordem no Questionário	Matriz	Extremamente	Muito	Um Pouco	Mesma Importância	Um Pouco	Muito	Multíssimo	Extremamente	
1		-8	-6	-4	0	-2	2	4	6	8
4										
6	1									
2										
5										
3										
7										
8										
10	2									
9										
11										
12										
14	3									
13										
15										
16										
17										
18										

1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Peso	RC																
6	-4	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	1	6	1	1	1	1	1	1	1
4	0,17	1	0,02	1	0,05	8	0,12	-2	0,17	1	0,00	1	0,02	4	0,09	1	0,00
4	-4	-2	-2	-2	-4	-4	-4	4	4	1	1	-4	-4	-2	-2	-4	-4
4	-4	-2	-2	-4	-4	8	8	-4	-4	-8	-8	-4	-4	-2	-2	-4	-4
-2	-4	1	-5	-5	-4	8	8	-4	-4	1	1	-2	-2	-2	-2	-4	-4
-4	-4	4	-1	1	-1	1	1	1	1	4	4	6	6	4	4	1	1
1	0,00	4	6	6	0,00	-2	0,05	-4	0,05	-2	0,05	-6	0,02	4	0,21	4	0,21
1	0,00	2	0,05	1	0,00	6	0,05	2	0,05	4	0,05	4	0,02	2	0,21	1	0,21
1	-	4	6	6	-	6	6	1	-	1	-	1	-	2	-	1	-
4	-	6	-2	-2	-	2	-	6	-	1	-	1	-	1	-	1	-
4	0,21	-4	-8	-8	0,00	-8	0,35	6	0,35	-6	0,35	1	0,21	-4	0,00	-4	0,10
-4	-4	1	-5	-5	-	-8	-	1	-	-5	-	-4	-	-4	-	-6	-
-4	-4	1	-4	-4	-	4	-	4	-	4	-	1	-	4	-	1	-
4	-4	4	2	2	-	1	-	6	-	1	-	1	-	1	-	1	-
4	-	-8	-1	-1	-	-2	-	6	-	1	-	2	-	-2	-	1	-
1	-	1	-2	-2	-	-4	-	-8	-	1	-	1	-	2	-	1	-

Fonte - Elaborado pelo autor.

## APÊNDICE C - RC OBTIDAS POR GRUPO, POR MATRIZ

RC obtidas para o grupo Engenheiros Rodoviários.

Matriz	RC < 0,10	%	RC entre 0,10 e 0,20	%	RC ≥ 0,20	%	Total	%
1	7	87,5	1	12,5	0	0,0	8	100,0
2	4	50,0	3	37,5	1	12,5	8	100,0
3	5	62,5	1	12,5	2	25,0	8	100,0
Totais	16	66,7	5	20,8	3	12,5	24	100,0

Fonte - Elaborado pelo autor.

RC obtidas para o grupo Acadêmicos.

Matriz	RC < 0,10	%	RC entre 0,10 e 0,20	%	RC ≥ 0,20	%	Total	%
1	5	62,5	2	25,0	1	12,5	8	100,0
2	6	75,0	0	0,0	2	25,0	8	100,0
3	5	62,5	0	0,0	3	37,5	8	100,0
Totais	16	66,7	2	8,3	6	25,0	24	100,0

Fonte - Elaborado pelo autor.

RC obtidas para o grupo Órgãos.

Matriz	RC < 0,10	%	RC entre 0,10 e 0,20	%	RC ≥ 0,20	%	Total	%
1	6	75,0	2	25,0	0	0,0	8	100,0
2	5	62,5	0	0,0	3	37,5	8	100,0
3	5	62,5	1	12,5	2	25,0	8	100,0
Totais	16	66,7	3	12,5	5	20,8	24	100,0

Fonte - Elaborado pelo autor.

RC obtidas para o grupo Diversos.

Matriz	RC < 0,10	%	RC entre 0,10 e 0,20	%	RC ≥ 0,20	%	Total	%
1	6	66,7	3	33,3	0	0,0	9	100,0
2	7	77,8	0	0,0	2	22,2	9	100,0
3	2	22,2	1	11,1	6	66,7	9	100,0
Totais	15	55,6	4	14,8	8	29,6	27	100,0

Fonte - Elaborado pelo autor.

# APÊNDICE D - JULGAMENTO E RC OBTIDAS (OPÇÕES)

Julgamento das opções e RC obtidas (matrizes 1 a 7).

	Extremamente		Muito		Um Pouco		Mesma Importância		Um Pouco		Muito		Extremamente					
	8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
1 Menor custo de implantação	BR-116																	
	BR-331	0,21	0,00	-2	0,00	-4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,21	0,35
	BR-381	-4	-2	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2 Melhor retorno do investimento	BR-116	0,02	0,00	-2	0,05	4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,21	0,05
	BR-331	-4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	BR-381	1	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3 Melhor custo / benefício	BR-116	0,01	0,00	-2	0,00	2	0,00	4	0,21	-4	0,05	2	0,05	-4	0,02	6	0,01	0,01
	BR-331	-4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	BR-381	2	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4 Desenvolvimento nacional	BR-116	0,02	-4	0,21	-2	0,00	4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,05	-4	0,02	-2	0,21
	BR-331	-4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	BR-381	1	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5 Desenvolvimento regional	BR-116	0,00	0,05	2	0,05	4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,21	-4	0,05	4	0,21	0,05
	BR-331	-4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	BR-381	1	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6 Redução de acidentes com rifinas fúris	BR-116	0,10	0,48	8	0,13	4	0,05	8	0,48	-8	0,48	8	0,48	-8	0,48	8	0,48	0,10
	BR-331	-4	8	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	BR-381	4	8	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7 Redução do índice de acidentes	BR-116	0,10	0,48	8	0,13	4	0,05	8	0,48	-8	0,48	8	0,48	-8	0,48	8	0,48	0,13
	BR-331	-4	8	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	BR-381	4	8	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Fonte - Elaborado pelo autor.

Julgamento das opções e RC obtidas (matrizes 8 a 14).

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12											
	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC	Peso	RC										
8	Redução dos impostos em áreas urbanas																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	
9	Conexão modal																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	
10	Conexão intermodal																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	
11	Transporte de commodities																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	
12	Transporte de produtos de alto valor agregado																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	
13	Redução de tempo de viagem																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	
14	Redução do custo de transporte																																	
	Extremamente	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8																								
	Muito																																	

Fonte - Elaborado pelo autor.