

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Rafael Weber Nunes**

**ANÁLISE ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO DE FAIXAS  
ADICIONAIS DE ULTRAPASSAGEM COMO ALTERNATIVA  
À OBRAS DE DUPLICAÇÃO EM RODOVIAS DE PISTA  
SIMPLES**

Porto Alegre  
dezembro de 2017

**RAFAEL WEBER NUNES**

**ANÁLISE ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO DE FAIXAS  
ADICIONAIS DE ULTRAPASSAGEM COMO ALTERNATIVA  
À OBRAS DE DUPLICAÇÃO EM RODOVIAS DE PISTA  
SIMPLES**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientador: Prof. Daniel Sergio Presta García**

Porto Alegre  
dezembro de 2017

**RAFAEL WEBER NUNES**

**ANÁLISE ECONÔMICA DA CONSTRUÇÃO DE FAIXAS  
ADICIONAIS DE ULTRAPASSAGEM COMO ALTERNATIVA  
À OBRAS DE DUPLICAÇÃO EM RODOVIAS DE PISTA  
SIMPLES**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da atividade de ensino Trabalho de Conclusão de Curso II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2017.

**Prof. Daniel Sergio Presta García**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Christine Tessele Nodari**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Daniel Sergio Presta García**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. João Fortini Albano**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

À memória de Renato Lopes Nunes, meu pai.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu pai, in memoriam, e a minha avó Zilda, por todo o apoio incondicional e confiança durante a faculdade. Agradeço minha mãe Raquel, por ter me incentivado ingressar na faculdade. Agradeço especialmente a minha tia Rosélia e meu tio Santo, que acreditaram em mim e me apoiaram imensamente nos últimos semestres de faculdade. Agradeço também meu tio Ricardo e minha namorada Mainara, que sempre esteve ao meu lado em momentos complicados. Por último, mas não menos importante, agradeço ao professor Daniel, pela excelente orientação que tive ao longo da elaboração deste trabalho.

A única coisa tão inevitável quanto a morte é a vida.

*Charles Chaplin*

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação socioeconômica de duas possíveis melhorias às rodovias de pista simples, são elas: construção de faixas intermitentes de ultrapassagens ao longo da rodovia (terceira faixa ou faixa adicional de ultrapassagem) e duplicação da rodovia. Ambas melhorias visam reduzir o tempo de viagem dos usuários e o número de acidentes, e, conseqüentemente, acabam gerando benefícios financeiros e sociais para os governos e usuários. O objetivo deste trabalho é analisar de forma simplificada se a construção de faixas adicionais de ultrapassagem é uma alternativa economicamente viável em relação a duplicação. Para a análise socioeconômica foi escolhido um modelo de rodovia com configurações típicas. Após isto, foi realizada uma revisão bibliográfica onde foi escolhido o modelo custo-benefício para a análise, sendo este um dos modelos mais utilizados para a análise de projetos rodoviários, juntamente com a escolha do modelo foram definidos os indicadores financeiros, são eles: valor presente líquido, relação benefício-custo e taxa interna de retorno. A etapa seguinte foi a definição dos custos e dos benefícios que as melhorias proporcionariam. Os principais benefícios identificados foram a redução do tempo de viagem e a redução no número de acidentes. Já os custos são: de implementação da alternativa, manutenção e conservação da rodovia. Após definido o modelo de avaliação socioeconômica a ser utilizada, bem como os indicadores financeiros e os custos e benefícios de cada melhoria, foi realizada a avaliação econômica da implementação da faixa adicional de ultrapassagem e da duplicação. Após a análise custo-benefício foi verificado que nenhuma das duas melhorias, para rodovias típicas, eram viáveis economicamente. Contudo, este trabalho deve ser visto com um roteiro para futuros estudos sobre faixas adicionais de ultrapassagem, visto que no Brasil a terceira faixa é utilizada na maioria dos casos em trechos de aclives e somente no sentido ascendente, já este trabalho baseia-se no aumento da velocidade operacional proporcionado por faixas de ultrapassagens em terrenos ondulados, e com faixas intermitentes em ambos os sentidos de tráfego.

Palavras-chave: Análise custo-benefício. Terceira faixa. Faixa adicional de ultrapassagem. Avaliação de custos de melhorias rodoviárias. Avaliação de benefícios de melhorias rodoviárias.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama das etapas da pesquisa. ....	18
Figura 2: Rodovia de Pista Simples (Agência Goiana de Transporte e Obras).....	19
Figura 3: Rodovia duplicada com mureta central (Portal Estradas).....	21
Figura 4: Rodovia de pista dupla com canteiro central (Governo de São Paulo).....	21
Figura 5: Exemplo de faixa adicional de ultrapassagem (Missouri Department of Transportation). ....	23
Figura 6: Faixa adicional de ultrapassagem (Alberta Transportation). ....	23
Figura 7: Configuração típica de faixa de ultrapassagem (HCM 2000, adaptado).....	24
Figura 8: Consumo de gasolina em função da velocidade do automóvel (ANTP, 1999). ....	30
Figura 9: Variação da velocidade em trechos com faixa adicional de ultrapassagem (HCM 2010, adaptado). ....	35
Figura 10: Configuração adotada para a faixa adicional de ultrapassagem (CAFISO, S. et al., 2017, adaptado) .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Custo de construção da faixa adicional de ultrapassagem e custo de duplicação (DNIT, 2016).....	25
Quadro 2: Custo de conservação para rodovias de pista simples e pista dupla (DNIT, 2016).	26
Quadro 3: Custos de manutenção (DNIT, 2016).....	26
Quadro 4: Custo de acidentes por tipo de gravidade (DNIT, 2016).....	31
Quadro 5 Valores ideais para o comprimento da faixa adicional de ultrapassagem, adaptado para quilômetros (HCM 2010, adaptado).....	35
Quadro 6: Cálculo da velocidade operacional em rodovias de pista dupla (HCM 2010, adaptado). ....	38
Quadro 7: Parâmetros adotados para rodovia de pista simples e faixa adicional de ultrapassagem .....	52
Quadro 8: Parâmetros adotados para a rodovia duplicada .....	53
Quadro 9: Velocidade conforme tipo de relevo e classe de projeto (DNER, 1999).....	53
Quadro 10: Custo de implementação por km de rodovia .....	56
Quadro 11: Custo de conservação por km de rodovia.....	56
Quadro 12: Custo de manutenção por km de rodovia .....	56
Quadro 13: Custos totais por ano de cada alternativa .....	57
Quadro 14: Número médio de usuários por tipo de veículo (Santos, 2012) .....	58
Quadro 15: Divisão percentual do VMD (DNER, 1999).....	59
Quadro 16: Velocidades das melhorias propostas para VMD inicial de 3046.....	60
Quadro 17: Velocidades das melhorias propostas para VMD inicial de 5500.....	61
Quadro 18: Benefícios das melhorias propostas para VMD inicial de 3046.....	62
Quadro 19: Benefícios das melhorias propostas para VMD inicial de 5500.....	63
Quadro 20: Fluxo de caixa das alternativas para VMD inicial de 3046.....	64
Quadro 21: Fluxo de caixa das alternativas para VMD inicial de 5500.....	65
Quadro 22: VPL do fluxo de caixa para VMD inicial de 3046.....	66
Quadro 23: VPL do fluxo de caixa para VMD final de 5500 .....	67
Quadro 24: TIR das melhorias propostas .....	68
Quadro 25: Relação B/C.....	68

## LISTA DE SIGLAS

ACB – Análise Custo-Benefício

ACE – Análise Custo-Efetividade

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos

B/C – Relação Benefício Custo

CNT – Confederação Nacional de Transporte

CP – Carros de Passeio

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FHP – Fator de hora-pico

HCM – Highway Capacity Manual

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VHP – Volume Horário de Projeto

VMD – Volume Médio Diário

VPL – Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	DIRETRIZES DA PESQUISA .....	14
2.1	QUESTÃO DA PESQUISA.....	14
2.2	OBJETIVO DA PESQUISA .....	14
2.2.1	Objetivo Geral .....	14
2.2.2	Objetivos Específicos .....	14
2.3	DESCRIÇÃO DO TRABALHO .....	14
2.4	ALTERNATIVAS PROPOSTAS .....	15
2.4.1	Não fazer Nada .....	15
2.4.2	Duplicar .....	15
2.4.3	Construção das Faixas Adicionais de Ultrapassagem .....	16
2.5	HIPÓTESE.....	16
2.6	DELIMITAÇÕES .....	16
2.7	LIMITAÇÕES .....	17
2.8	DELINEAMENTO .....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1	RODOVIA DE PISTA SIMPLES .....	19
3.2	RODOVIA DE PISTA DUPLA .....	20
3.3	FAIXA ADICIONAL DE ULTRAPASSAGEM.....	21
3.4	CUSTOS RODOVIÁRIOS.....	24
3.4.1	Custos de Implementação.....	25
3.4.2	Custos de Conservação e Manutenção .....	25
3.4.3	Custos Operacionais .....	27
3.5	BENEFÍCIOS .....	27
3.5.1	Redução do Tempo de Viagem .....	28
3.5.2	Redução dos Custos Operacionais dos Veículos.....	29

3.5.3	Redução do Número de Acidentes .....	30
3.6	DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA OPERACIONAL.....	31
3.6.1	Rodovia de Pista Simples .....	32
3.6.2	Rodovia com Faixa Adicional de Ultrapassagem .....	34
3.6.3	Rodovia de Pista Dupla .....	36
3.7	AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	39
3.8	MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA .....	41
3.8.1	Análise de Custo-Benefício .....	42
3.8.2	Análise de Custo-Efetividade .....	44
3.9	INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	45
3.9.1	Valor Presente Líquido (VPL).....	47
3.9.2	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	48
3.9.3	Relação Benefício-Custo (B/C).....	50
4	ANÁLISE ECONÔMICA.....	52
4.1	ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE.....	52
4.2	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO.....	52
4.2.1	Fator Hora Pico (FHP).....	53
4.2.2	Volume Médio Diário.....	54
4.3	ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO DA FAIXA ADICIONAL DE ULTRAPASSAGEM .....	54
4.4	CÁLCULO DOS CUSTOS DAS ALTERNATIVAS.....	55
4.4.1	Custos das Melhorias.....	56
4.5	CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS DAS ALTERNATIVAS .....	57
4.5.1	Velocidade Média Operacional das Melhorias.....	59
4.5.2	Benefícios das Melhorias.....	61
4.6	CÁLCULO DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS.....	63
4.6.1	VPL.....	65

4.6.2	TIR.....	67
4.6.3	B/C.....	68
5	CONCLUSÕES .....	69
6	REFERÊNCIAS .....	70
	APÊNDICE A – Cálculo das Velocidades Operacionais.....	75
	APÊNDICE B – Cálculo dos custos.....	81
	APÊNDICE C – Cálculo dos benefícios .....	83

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil o modal rodoviário tem grande importância para a economia, pois é o meio de transporte mais utilizado no país. Segundo a CNT (2015), o de transporte rodoviário de carga representa cerca de 61% da matriz total, e o transporte rodoviário de passageiros equivale a 95% do total. Em sua maioria a malha rodoviária é composta por rodovias de pista simples, conforme CNT (2016), as rodovias de pista simples representam 88,4% (57.398 km) da totalidade das rodovias federais, as rodovias duplicadas 9,6% (6.221 km) e as em duplicação 2% (1.276 km).

Em rodovias de pista simples ocorre o surgimento de pelotões, esses pelotões são formados devido ao Volume Médio Diário (VMD) elevado e das características geométricas que dificultam as ultrapassagens. Um fator que vem contribuindo para o aumento do VMD nas rodovias é o constante crescimento da frota veicular, segundo DENATRAN (2017), a frota de veículos em janeiro de 2007 era de 45.653.808 veículos, e a frota em janeiro de 2017 era de 94.091.786, ou seja, o número de veículos mais que dobrou no período de 10 anos, mas os investimentos em infraestrutura não foram suficientes para adequar a malha rodoviária a este aumento na frota. Como consequência do elevado VMD e da dificuldade de ultrapassagem ocorre o aumento no tempo de viagem dos usuários da rodovia. Este aumento no tempo de viagem converte-se em custos operacionais, que acabam por afetar toda a economia do país.

Outro ponto importante sobre rodovias de pista simples, é que os seus usuários estão expostos a um risco maior de acidentes por colisão frontal. Essas colisões são causadas devido as rodovias apresentarem um número reduzido de pontos de ultrapassagens, ou ao grande volume de tráfego no sentido contrário. Aliada a estas duas características existe ainda a imprudência dos motoristas, que acaba contribuindo no aumento dos índices de acidentes. Conforme IPEA (2015), as colisões frontais foram responsáveis por 33,7% das mortes, e correspondem a apenas 4,1% do total de acidentes, ou seja, é o tipo de acidente com maior mortalidade. Ainda segundo IPEA (2015), 89,71% das colisões frontais ocorrem em rodovias de pista simples, e 93,91% dos óbitos decorrentes de colisões frontais ocorrem em rodovias de pista simples.

Uma solução para redução dos pelotões em horário de pico e do número de acidentes por colisões frontais, seria a duplicação, contudo, obras de duplicação são muito onerosas para os governos, e em muitos casos não há recursos financeiros disponíveis para realização de tais

obras. Considerando este impasse sobre as duplicações de rodovias de pista simples que necessitam serem duplicadas, e considerando a importância do transporte rodoviário no Brasil, este trabalho tem a finalidade de avaliar economicamente uma solução de menor custo capaz de reduzir o tempo de viagem. Essa solução alternativa seria a construção de faixas de ultrapassagem adicionais intermitentes ao longo de rodovias de pista simples que necessitem de obras de duplicação.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

### **2.1 QUESTÃO DA PESQUISA**

Questão da pesquisa é: a construção de faixas de ultrapassagem adicionais intermitentes ao longo da rodovias de pista simples, é uma alternativa financeiramente vantajosa em relação a obras de duplicação?

### **2.2 OBJETIVO DA PESQUISA**

#### **2.2.1 Objetivo Geral**

Realizar uma análise econômica simplificada para verificar se a construção de faixas de adicionais de ultrapassagem intermitentes ao longo de rodovias de pista simples é uma alternativa financeiramente vantajosa em relação a uma obra de duplicação.

#### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o aumento da velocidade operacional, em horários de pico, decorrente da implementação das faixas adicionais de ultrapassagem intermitentes ao longo da rodovia, em rodovias de pista simples.
- Avaliar o aumento da velocidade operacional, em horários de pico, decorrente da duplicação de uma rodovia de pista simples.
- Avaliar a economia de tempo, dos usuários da rodovia, para os diferentes cenários propostos.
- Avaliar a economia de combustível, dos veículos que utilizam rodovia, para os diferentes cenários propostos.

### **2.3 DESCRIÇÃO DO TRABALHO**

Serão analisadas três alternativas à rodovias de pista simples passíveis de obras de duplicação, serão elas:

1. Não realizar intervenções na rodovia, hipótese nula;
2. Duplicação da rodovia, hipótese usual;
3. Construção de faixas adicionais de ultrapassagem ao longo da rodovia, alternativa proposta;

## 2.4 ALTERNATIVAS PROPOSTAS

### 2.4.1 Não fazer Nada

Não fazer nada (hipótese nula) consiste em não implementar nenhuma melhoria na rodovia, ou seja literalmente não fazer nada, esta alternativa não apresenta nenhum benefício, entretanto, também não apresenta nenhum custo de implementação.

Esta alternativa é utilizada como meio de comparação para o cálculo dos benefícios das melhorias propostas, pois, ao se implementar alguma melhoria, é esperado que os custos com o tempo de viagem, acidentes e operacionais dos veículos apresentem redução em relação a configuração inicial, por exemplo, uma rodovia após a sua duplicação apresentaria uma redução no tempo de viagem dos usuários em relação a rodovia de pista simples, este tempo economizado é monetizado e considerado como benefício da duplicação.

A opção de não fazer pode implicar no constante aumento do tempo de viagem, acidentes e custos operacionais dos veículos. Mas muitas vezes esta é a opção escolhida devido à falta de verba para a realização das melhorias necessárias.

### 2.4.2 Duplicar

Quando uma rodovia de pista simples alcança a sua capacidade, em termos de volume de tráfego, uma solução seria a sua duplicação, e do ponto de vista da segurança e conforto dos usuários, e da diminuição do tempo de viagem, duplicar (hipótese usual) esta rodovia seria a melhor alternativa.

Entretanto os custos de implementação dessa alternativa são os mais elevados se comparado com as demais alternativas propostas neste trabalho, o que diversas vezes acaba inviabilizando

a sua implementação, sendo assim tem-se um impasse, necessidade de duplicar mas sem a verba para a duplicação.

### **2.4.3 Construção das Faixas Adicionais de Ultrapassagem**

Como dito anteriormente, a melhor alternativa para solucionar os problemas de rodovias de pista simples, com elevados VMD, seria a duplicação, todavia, muitas vezes não há a verba necessária para tais duplicações, é aí que entra a alternativa de construção de faixas adicionais de ultrapassagem intermitentes ao longo da rodovia (alternativa proposta).

Os custos de construção das faixas adicionais de ultrapassagem são menores que as obras de duplicações, e é esperado que os benefícios decorrentes da construção justifiquem o investimento, porém, no Brasil, as terceiras faixas não são consideradas como alternativa a duplicação, elas são utilizadas apenas em trechos em aclives, para que os veículos lentos as utilizem para não prejudicar o fluxo dos demais veículos.

Este trabalho irá avaliar economicamente a construção da terceira faixa em trechos ondulados, e também apresentar algumas configurações da faixa adicional de ultrapassagem.

## **2.5 HIPÓTESE**

A hipótese é que a construção de faixas adicionais de ultrapassagem intermitente ao longo da rodovia seja uma alternativa economicamente viável, tendo um custo menor que uma duplicação e sendo capaz de diminuir o tempo em pelotões, o número de acidente e o custo operacional dos veículos em relação a rodovias de pista simples.

## **2.6 DELIMITAÇÕES**

Este trabalho delimita-se a um estudo de caso, de uma rodovia com configuração típica, das características econômicas das alternativas propostas.

## 2.7 LIMITAÇÕES

- Os dados utilizados para estimação dos custos e benefícios serão de configurações típicas utilizadas como modelo, não serão utilizados dados de rodovias específicas;
- Os custos médios de manutenção e implantação serão considerados por quilometro de rodovia, e não por serviços unitários, tais como terraplenagem, pavimentação, custo de mão de obra, etc;
- Este trabalho não irá abordar os benefícios decorrentes do desenvolvimento socioeconômico pois seria necessário um estudo muito mais amplo e complexo.
- Não serão considerados benefícios ambientais;
- Não serão considerados os custos de possíveis desapropriações;
- O combustível considerado para todos os veículos será a gasolina.

## 2.8 DELINEAMENTO

Este trabalho foi realizado através das seguintes etapas:

1. Referencial teórico,
2. Descrição das alternativas propostas,
3. Definição dos custos rodoviários,
4. Definição dos benefícios de correntes das melhorias propostas,
5. Definição dos métodos de análise econômica,
6. Definição dos indicadores econômicos,
7. Escolha do método de análise econômica a ser utilizado no trabalho,
8. Cálculo dos custos e benefícios das alternativas,
9. Cálculo dos indicadores econômicos,
10. Análise dos resultados obtidos,
11. Conclusões.

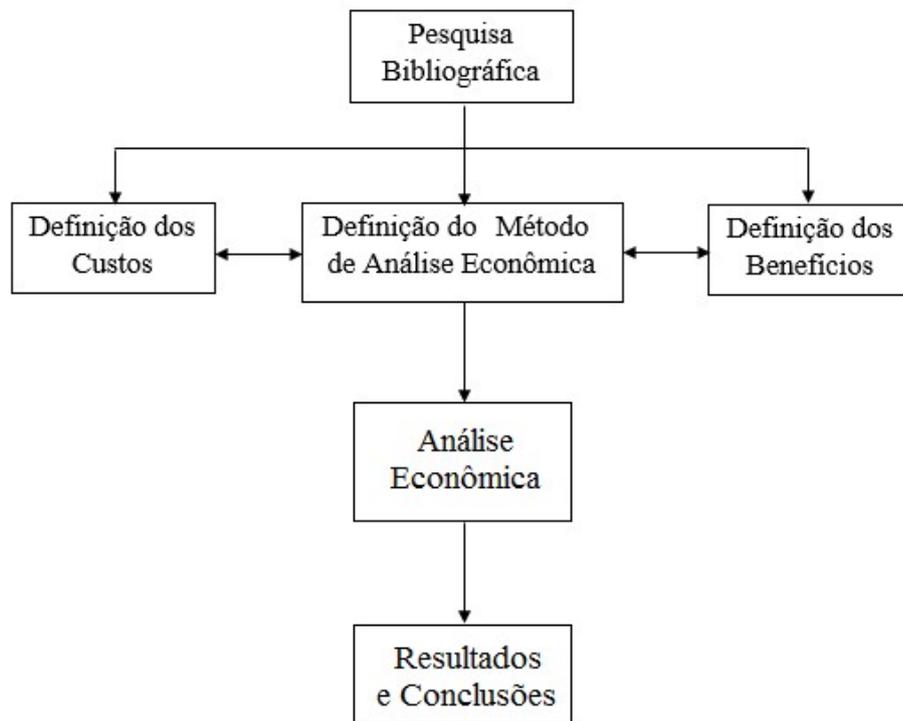


Figura 1: Diagrama das etapas da pesquisa.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 RODOVIA DE PISTA SIMPLES

Representam a maior parcela das rodovias federais brasileiras, o HCM define rodovias de pista simples como rodovias que possuem uma pista com duas faixas, uma faixa para cada direção de fluxo, em que as manobras de ultrapassagem devem ser feitas na faixa oposta. Uma vantagem deste tipo de rodovia é que a sua construção é de menor custo se comparado com uma obra de duplicação.

Este tipo de rodovia possui um maior número de colisões frontais se comparado com rodovias duplicadas, isto se dá ao fato de que os usuários precisam realizar as ultrapassagens na faixa de sentido oposto. Pontos de ultrapassagens reduzidos devido as características geométricas, e o elevado fluxo no sentido contrário contribuem para essas colisões.

Outro ponto negativo é a formação de pelotões devido ao elevado VMD em horários de pico, esses pelotões aumentam o tempo de viagem dos veículos, e conseqüentemente o aumento nos custo operacionais dos veículos. Pelotões também contribuem para o maior risco de acidentes devido a espera por uma situação segura de ultrapassagem, com essa demora os motoristas acabam muitas vezes forçando a ultrapassagem. Este trabalho aborda duas soluções para reduzir os pelotões, uma seria a duplicação e a outra seria a construção de faixas adicionais de ultrapassagens intermitentes ao longo da rodovia. A Figura 2 apresenta uma rodovia de pista simples.



Figura 2: Rodovia de Pista Simples (Agência Goiana de Transporte e Obras).

### 3.2 RODOVIA DE PISTA DUPLA

Rodovias de pista dupla são rodovias constituídas por duas pistas com duas faixas por pista, cada pista tem o tráfego em um único sentido, resultando em mais segurança para os usuários se comparado com rodovias de pista simples. No caso de pistas duplas, elas podem ser contíguas (paralelas) ou independentes. Na travessia de perímetro urbano, as estradas podem ter 4 faixas ou mais, sendo as duas externas destinadas ao tráfego local ou ao acesso a estrada (DNIT, 2010, p. 38).

Por possuir pistas separadas (por canteiro central ou meio rígido) para cada sentido de tráfego, as rodovias duplicadas acabam tornando-se mais seguras em relação as rodovias de pista simples, pois está divisão reduz drasticamente as chances de colisões frontais entre os veículos. Outro benefício está no número maior de faixas de rolamento, que, em relação as rodovias de pista simples, representa um aumento na capacidade de suportar um maior volume de tráfego sem que ocorra a formação de pelotões.

Pelos dois motivos mencionados no parágrafo acima, as rodovias duplicadas tornam-se a primeira escolha para solucionar os problemas das rodovias de pista simples que encontram-se no limite de sua capacidade. Porém, segundo CNT (2016), as rodovias duplicadas representam 9,6% do total de rodovias federais, e as em duplicação 2%. Um dos motivos para a baixa parcela de rodovias duplicadas é o alto custo da duplicação. Essa baixa parcela é devido à falta de verba do governo para realizar as obras de duplicações. Um aumento no número de rodovias duplicadas iria representar uma diminuição no tempo de viagem e redução do número de acidentes, que iria representar benefícios econômicos para o governo, e iria poupar milhares de vidas.

A Figura 3 é um exemplo de rodovia de pista dupla com divisão central *New Jersey*, já a Figura 4 é um exemplo de rodovia de pista dupla que utiliza canteiro como divisão central.



Figura 3: Rodovia duplicada com mureta central (Portal Estradas).



Figura 4: Rodovia de pista dupla com canteiro central (Governo de São Paulo).

### 3.3 FAIXA ADICIONAL DE ULTRAPASSAGEM

Tentar ultrapassar em uma rodovia de pista simples pode ser perigoso. Uma maneira de aumentar a segurança seria a construção de faixas adicionais de ultrapassagens intermitentes (terceira faixa ou faixa adicional de ultrapassagem) ao longo da rodovia. Rodovias com terceira faixa são mais seguras, pois os veículos utilizam pistas do mesmo sentido de tráfego para realizar as ultrapassagens, não tendo assim, a necessidade de utilizar a pista com fluxo de contrário. As terceiras faixas possuem diversas configurações, um dos objetivos deste trabalho é analisar algumas dessas configurações.

Faixas de ultrapassagem são faixas auxiliares acrescentadas a vários trechos de uma rodovia de duas faixas e dois sentidos de tráfego, para oferecer a frequência desejada de zonas de ultrapassagem ou para eliminar a interferência de veículos lentos pesados, ou as duas coisas. São usadas em terreno plano ou ondulado, quando restrições a ultrapassagens são criadas por distâncias de visibilidade limitadas ou grandes volumes de tráfego. A falta de trechos frequentes com distância de visibilidade adequada para ultrapassagem, com elevados volumes de tráfego, especialmente com a significativa participação de grandes veículos de carga (CVC), resulta em demoras e redução da segurança (DNIT, 2010, p. 94).

O DNIT (2010, p. 94) ainda afirma:

A determinação dos pelotões de tráfego (tráfego com intervalos entre veículos de 5 segundos ou menos) pode ajudar na identificação dos locais próprios para incluir as faixas de ultrapassagem. A identificação da necessidade dessas faixas deve considerar trechos extensos de, pelo menos, 10 km.

Em algumas rodovias de pista simples as faixas adicionais de ultrapassagem são construídas intermitentemente ou em intervalos para cada direção de viagem. Em outras rodovias a terceira faixa alternam continuamente entre as duas direções de tráfego. Faixas adicionais também podem ser construídas nas duas direções no mesmo local, resultando em uma seção curta de pista dupla, com oportunidade de passagem nas duas direções (HCM, 2000, p. 12-15).

A Figura 5 representa uma rodovia de uma pista com três faixas, onde uma faixa intercala o seu sentido de tráfego, ora beneficiando um sentido ora beneficiando o outro sentido. Já nas Figuras 6 e 7 a rodovia possui uma pista com duas faixas, onde são construídas faixas adicionais de ultrapassagem intermitentes ao longo da rodovia.

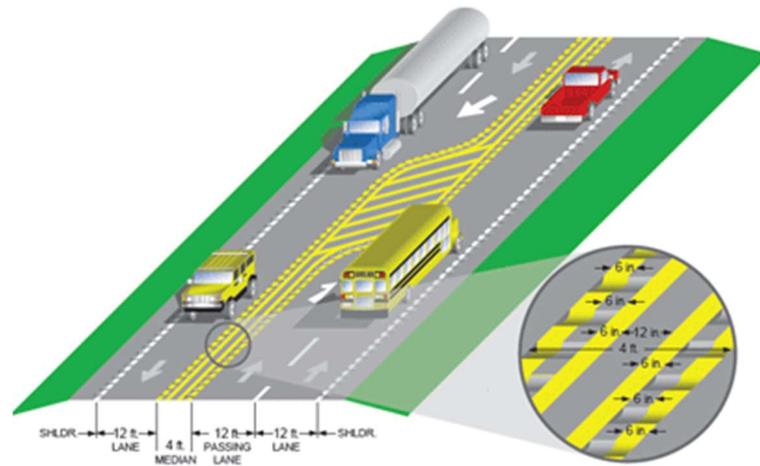


Figura 5: Exemplo de faixa adicional de ultrapassagem (Missouri Department of Transportation).

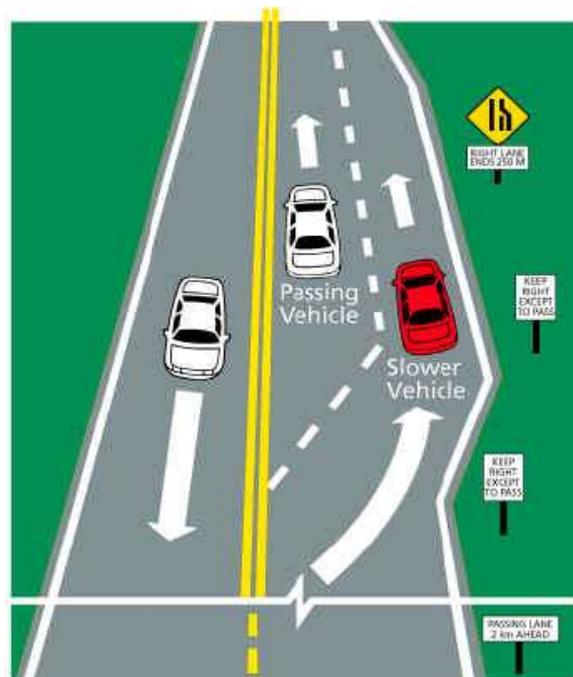


Figura 6: Faixa adicional de ultrapassagem (Alberta Transportation).

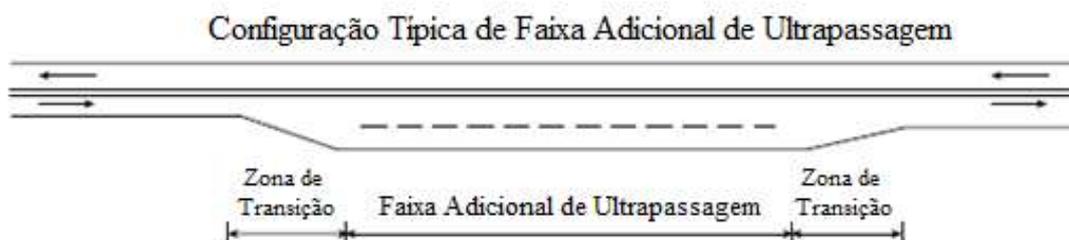


Figura 7: Configuração típica de faixa de ultrapassagem (HCM 2000, adaptado).

Além de garantir maior segurança nas ultrapassagens, a faixa adicional contribui para a diminuição do tempo de viagem, pois adiciona mais pontos de ultrapassagem à rodovia. A faixa adicional também é utilizada para que veículos lentos possam dar passagem a veículos com maior velocidade. Sendo assim, é esperado uma diminuição dos pelotões em horários de pico.

Conforme DNER (1999), a terceira faixa consiste em uma faixa auxiliar acrescida lateralmente à pista do lado direito, e tem o objetivo de dar fluência de operação mediante obras de relativo baixo custo que adiem investimentos de grande vulto.

Uma faixa de ultrapassagem é uma faixa adicionada, em uma direção de viagem, a uma rodovia de pista simples para aumentar a oportunidade de ultrapassagem (HCM, 2000, p. 12-15).

### 3.4 CUSTOS RODOVIÁRIOS

Os custos relacionados aos projetos rodoviários devem ser estimados a partir de estudos técnicos dos projetos, entretanto, quando não houverem tais estudos, é possível utilizar valores de projetos semelhantes, esta seção apresenta os custos obtidos através do relatório gerencial do DNIT, do ano de 2016. Os custos de projetos rodoviários analisados neste trabalho serão divididos em:

- Custo de implementação;
- Custo de conservação e manutenção;
- Custo operacional da rodovia;

Vale ressaltar que os custos com infraestrutura rodoviária devem ser considerados ao longo da vida útil do projeto. Nos itens a seguir são demonstrados os custos rodoviários.

### 3.4.1 Custos de Implementação

Os custos de implementação são os custos referentes a infraestrutura necessária para a construção da rodovia ou das melhorias. Esses custos são estimados ao longo do tempo de construção, e não necessariamente são uniformes, isto é devido ao fato que alguns serviços realizados em determinadas fases de construção possuem diferentes valores, podendo ser mais caros ou mais baratos que os demais.

Sobre os custos de construção Pedrozo (2001) afirma: “os gastos do poder público com a implementação da rodovia. Inclui custos de terraplenagem, pavimentação, drenagem, obras de arte correntes, sinalização, pontes, túneis, etc. necessários para implantação de novas rodovias e melhorias (duplicações, terceira faixa, etc.) em vias existentes (PEDROZO, 2001, p.16).”.

Entretanto, como mencionado nas limitações deste trabalho, serão considerados os custos médios por quilometro, como demonstrado no Quadro 1.

OBRA / SERVIÇO	INTERVALO		MÉDIA R\$ / Km
	Lim.Inferior	Lim.Superior	
<b>CONSTRUÇÃO</b>			
IMPLANTAÇÃO/ PAVIMENTAÇÃO (P.Simples) Faixa 3,8m e Acost. 2,5m	2.344.326,62	a 3.971.804,67	3.158.000,00
IMPLANTAÇÃO/ PAVIMENTAÇÃO (P.Simples) Faixa 3,8m e Acost. 1,0m (até Classe III)	1.767.852,86	a 2.565.104,72	2.166.000,00
ADEQUAÇÃO DE CAPACIDADE	CONSTRUÇÃO DE TERCEIRA FAIXA E RESTAURAÇÃO DA PISTA EXISTENTE		2.410.000,00
	DUPLICAÇÃO C/ CONSTR. DE PISTA NOVA (2 Faixas)+RESTAURAÇÃO DE P.EXISTENTE+CANT.CENTRAL		7.570.000,00

Quadro 1: Custo de construção da faixa adicional de ultrapassagem e custo de duplicação (DNIT, 2016).

### 3.4.2 Custos de Conservação e Manutenção

O custo de conservação, segundo DNIT (2006), trata-se do custo das intervenções rotineiras destinadas a manter a rodovia dentro de adequadas condições técnicas e operacionais ao longo do período de análise (em geral fixado de 10 a 20 anos).

OBRA / SERVIÇO	INTERVALO		MÉDIA R\$ / Km
	Lim.Inferior	Lim.Superior	
<b>CONSERVAÇÃO</b>			Km/ano
CONSERVAÇÃO ROTINEIRA PISTA SIMPLES	21.049,49 a	81.298,41	51.200,00
CONSERVAÇÃO ROTINEIRA PISTA DUPLA	36.620,64 a	150.634,29	93.600,00
CONSERVAÇÃO ROD. NÃO PAVIMENTADA	52.475,82 a	113.697,42	83.100,00

Quadro 2: Custo de conservação para rodovias de pista simples e pista dupla (DNIT, 2016).

Já o custo de manutenção é definido como: “*é o custo do conjunto de intervenções, de caráter periódico, efetivado ao final de cada ciclo de vida útil da rodovia, para fornecer suporte estrutural, compatível com a estrutura existente e o tráfego esperado, e tornar a rodovia apta a cumprir novo ciclo de vida (DNIT, 2006, p. 38)*”. O Quadro 3 demonstra os custos de manutenção, que é dividido em restauração e reconstrução.

OBRA / SERVIÇO	INTERVALO		MÉDIA R\$ / Km	
	Lim.Inferior	Lim.Superior		
<b>MANUTENÇÃO</b>				
RESTAURAÇÃO	558.031,87 a	1.730.087,40	1.144.000,00	
RECONSTRUÇÃO	1.781.266,96 a	2.857.366,89	2.319.000,00	
PROGRAMAS	RESTAURAÇÃO COM MELHORAMENTOS	478.986,67 a	2.034.883,50	1.257.000,00
	CREMA 1ª ETAPA (previsão)	121.955,39 a	494.467,87	308.000,00
	CREMA 2ª ETAPA (previsão)	356.029,71 a	894.800,38	625.000,00

Quadro 3: Custos de manutenção (DNIT, 2016).

Os pavimentos rodoviários são projetados para durar, em boas condições, toda a sua vida útil. Havendo necessidade de uma ação de restauração, como, por exemplo, um recapeamento, considera-se exaurida a via útil do pavimento associada à do revestimento que, na verdade, é o definidor das condições de trafegabilidade (PEDROZO, 2001, p. 78).

### 3.4.3 Custos Operacionais

São os custos resultantes da operação da rodovia, tem o intuito de garantir o conforto e segurança dos usuários, alguns exemplos desses custos são: gasto com patrulhamento, sinalização, iluminação, serviço de atendimento de emergência, etc.

Operação rodoviária é o conjunto de atividades de atendimento, fiscalização e informação aos usuários das Rodovias Federais, bem como o gerenciamento dessas e outras atividades também relacionadas com segurança, conforto e a fluidez do tráfego (DNIT, 2007, p. 8).

## 3.5 BENEFÍCIOS

Os benefícios de projetos de transporte são baseados na redução dos custos obtidos em decorrência da melhoria ou implantação de um novo projeto. São definidos os custos de uma alternativa de “não fazer nada”, ou seja, os custos de manter a situação atual, sem melhorias ou novo projeto, após são definidos os custos da alternativa proposta, e assim, os benefícios são calculados a partir da diferença entre os custos de “não fazer nada” e o custo da alternativa proposta.

Essas melhorias podem ser definidas como *“É o conjunto de melhoramentos introduzidos em uma rodovia existente, em área urbana ou rural, ou em segmento em travessia urbana, compreendendo melhorias, tais como: alterações de características geométricas do traçado em planta e/ou perfil e em seção transversal ou alargamento de plataforma e de acostamentos ou duplicação de pista, construção e/ou ampliação de vias laterais, implantação de faixas adicionais, construção ou modificação ou remanejamento de interseções e acessos, incorporação ou modificação ou reforço de obras de arte especiais e até passarelas para travessia de pedestres e melhorias de drenagem (DNIT 2007, p.5).”*. Ainda segundo o DNIT (2007) o objetivo dessas melhorias são de suprimir pontos críticos da rodovia existente, aumentar a fluidez e a segurança de tráfego de veículos e de pedestres.

O benefício mais direto de uma melhoria ou da construção de uma nova rodovia, e frequentemente o mais importante e de mais fácil mensuração em termos monetários, é a redução do custo com o transporte (ADLER, 1978).

Ainda segundo Adler (1978), este benefício primeiramente afeta os usuários das rodovias, entretanto, com o tempo, irá impactar também nos preços dos produtos que são transportados por essas rodovias. Sendo assim os benefícios com a redução do custo operacional dos veículos impactam em toda a economia do país. Segundo DNIT (2006) os benefícios são:

- Benefícios aos usuários decorrentes de reduções nos custos de transporte, nos custos operacionais dos veículos, no tempo de viagem e no número de acidentes. Estes benefícios são aplicáveis ao tráfego normal, ao tráfego desviado e ao tráfego gerado;
- Benefícios expressos em termos do desenvolvimento socioeconômico da região servida pela rodovia.

### **3.5.1 Redução do Tempo de Viagem**

Com o aumento da velocidade média operacional decorrente da implementação da melhoria proposta, o tempo de viagem dos usuários irá diminuir. Sendo assim, a ideia deste benefício é que, os usuários da rodovia, tendo economia no tempo de viagem, podem empregar este tempo economizado em outras atividades, como por exemplo, no trabalho ou lazer. Segundo o World Bank (2005), a economia com o tempo de viagem é o maior benefício decorrente dos investimentos em infraestrutura de transporte, e pode chegar a 80% dos benefícios totais.

O método de avaliação da redução do tempo de viagem utilizado neste trabalho será baseada na velocidade média dos veículos que utilizam as rodovias, pois rodovias de pista simples que apresentam elevados VMD acabam apresentando a formação de pelotões em horários de pico, e, veículos em pelotões acabam trafegando com velocidade média reduzida se comparado com a velocidade de fluxo livre da rodovia, esta diminuição na velocidade acaba aumentando o tempo de viagem.

Para estimar a economia de tempo da alternativa proposta, é necessário comparar a velocidade média da alternativa com a velocidade média da situação atual da rodovia, sem a implementação da melhoria. Resumidamente, a análise de economia de tempo de viagem possui os seguintes passos:

1. É determinado a velocidade média da alternativa, em função da velocidade de fluxo livre e da taxa de fluxo equivalente,

2. É determinado a velocidade média da situação sem a melhoria proposta, em função da velocidade de fluxo livre e da taxa de fluxo equivalente,
3. É estimado a economia de tempo através da diferença entre as velocidades,
4. O tempo economizado é então monetizado e considerado um benefício da alternativa.

As velocidades utilizadas são as velocidades médias no horário de pico pois considera-se, neste trabalho, que fora desse horário não ocorra a formação de pelotões, e os veículos podem trafegar em velocidade de fluxo livre. As velocidades são estimadas em função do VMD das alternativas, através da taxa de fluxo equivalente.

Para que a redução do tempo de viagem possa ser valorada, é necessário estimar um valor para o tempo. A valoração do tempo pode ser determinada de diversas maneiras, existem diversos estudos que tentam sistematizar a valoração do tempo, entretanto, o estudo da valoração do tempo economizado em viagens é um estudo complexo, que envolve diversos fatores. Por este motivo, este trabalho, não irá abordar os métodos de cálculo para determinar o valor do tempo. Pires (2010) atribui o valor do tempo, para viagens na Região Metropolitana de Porto Alegre, sendo igual a R\$ 5,56/hora, sendo este valor utilizado para monetizar o benefício com a redução do tempo de viagem.

### **3.5.2 Redução dos Custos Operacionais dos Veículos**

A redução do custo de operação dos veículos considerado neste trabalho será a redução relacionada ao gasto de combustível. Outros custos são referentes a diminuição das distâncias dos trajetos, porém, este trabalho não considera que as alternativas propostas irão reduzir as distâncias. Como o consumo de combustível está relacionado com a velocidade do veículo, este será o único custo considerado neste trabalho.

É esperado que a implantação das alternativas contribua pra um aumento na velocidade operacional dos veículos que utilizem a rodovia, e como visto na Figura 8, este aumento na velocidade representaria uma diminuição dos custos operacionais dos automóveis.

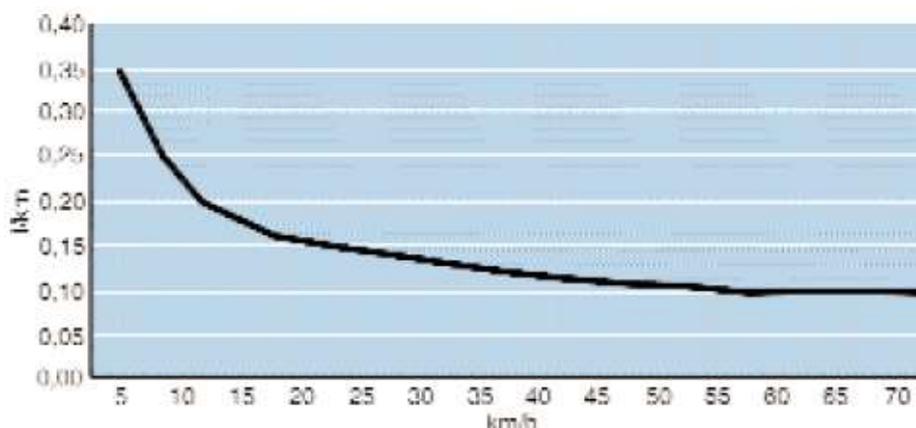


Figura 8: Consumo de gasolina em função da velocidade do automóvel (ANTP, 1999).

O consumo de gasolina pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$C = 0,09543 + \frac{1,26643}{v} - 0,00029 * V \quad \text{Fórmula (1)}$$

Onde:

C é o consumo de gasolina em L/km

V é a velocidade do veículo em km/h

### 3.5.3 Redução do Número de Acidentes

A busca por alternativas que reduzam os acidentes é extremamente importante, não só pelo lado econômico, mas sim pelo lado social, uma vez que inúmeras vidas podem ser salvas através de melhorias implementadas nas rodovias. Conforme com o IPEA (2015), em 2014, nas rodovias federais, ocorreram 169.163 acidentes, sendo que 8.227 pessoas perderam a vida e 100 mil pessoas ficaram feridas.

Destaca-se o acidente com colisão frontal, entre dois veículos, como o acidente mais mortífero em rodovias de pista simples. Poucos pontos de ultrapassagem, e o volume de tráfego na direção oposto, e claro, a imprudência dos motoristas são as principais causas desses acidentes. O Quadro 5 apresenta os custos por gravidade de acidente, esses custos são referentes a março de 2016.

<b>CUSTOS DE ACIDENTES RODOVIÁRIOS</b>			
	<b>C/ MORTOS</b>	<b>C/ FERIDOS</b>	<b>SEM VITIMAS</b>
Custo unitário por nível de gravidade =>	732.907,88	177.511,78	12.100,05

Quadro 4: Custo de acidentes por tipo de gravidade (DNIT, 2016).

Conforme IPEA (2015), os custos dos acidentes são:

- Associados as pessoas (Despesas hospitalares; atendimento; tratamento de lesões; remoção de vítimas; e perda de produção);
- Associados aos veículos (Remoção de veículos; danos aos veículos; e perda de carga.);
- Danos aos veículos (Atendimento e processos e danos à propriedade pública e à privada).

Tanto a duplicação como a construção da terceira faixa irão contribuir para a redução de acidentes, principalmente os acidentes por colisões frontais, uma vez que as duas melhorias proporcionarão que as manobras de ultrapassagem sejam realizadas com maior segurança que em rodovias de pista simples.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE MÉDIA OPERACIONAL

Este trabalho assume que haverá redução na velocidade somente em horários de pico. Sendo assim, assume-se que, em horário comercial, a velocidade operacional será a velocidade de fluxo livre da rodovia. A velocidade de fluxo livre é a velocidade pela qual os veículos trafegam sem serem afetados pela presença de outros de veículos, sendo afetados somente pela geometria da rodovia. Já para o horário de pico é esperado uma redução na velocidade operacional média, nesta seção será abordado o método de cálculo para determinar a velocidade operacional média de cada alternativa. Os métodos de cálculo para a determinação das velocidades médias operacionais em horário de pico, descritos nas próximas seções, foram retirados do *Highway Capacity Manual* de 2010, contudo, no HCM 2010, a velocidade é dada em milhas por hora, por este motivo foi necessário a adaptação das fórmula para que o resultado fosse dado em

quilômetros por hora. Também teve a necessidade de converter alguns valores tabelados, que eram dados em milhas por hora.

A velocidade média operacional em horário de pico ainda depende de um Volume Horário de Projeto (VHP). O VHP é o volume horário, em veículos por hora, previsto durante o horário de pico, este volume é determinante na velocidade operacional da rodovia durante o horário de pico. Sobre o valor para o VHP, o DNER (1999, p. 33) afirma:

O valor de 8,5% do VMD, tem sido adotado como representativo para rodovias rurais em que não se dispões de informações mais precisas do comportamento do tráfego.

O HCM 2010 ainda utiliza uma taxa de fluxo equivalente pra determinação das velocidades operacionais, está taxa, além de considerar o efeito do greide e o tipo de motorista que utiliza a rodovia (somente para rodovias com 4 ou mais faixas), converte o VHP em carros de passeio por hora (cp/h).

### 3.6.1 Rodovia de Pista Simples

A capacidade de rodovias de pista simples, segundo o HCM 2010, em uma direção de tráfego, em condições padrões, é de 1700 cp/h, com um limite de 3200 cp/h nas duas direções. Quando o fluxo de uma direção atingir 1700 cp/h, o fluxo na direção oposta é limitado a 1500 cp/h. O HCM 2010 divide as rodovias de pista simples em três classes, são elas:

- Classe I: Motoristas esperam trafegar a velocidades relativamente altas. Servem como rota de ligação entre cidades, conexão primária entre polos geradores de viagens.
- Classe II: Motoristas não esperam necessariamente trafegar a altas velocidade. Rodovias utilizadas para acessar rodovias de Classe I.
- Classe III: São rodovias que atendem áreas moderadamente desenvolvidas. Podem ser porções de rodovias de Classe I ou Classe II, que passem por pequenas cidades ou áreas recreacionais.

A velocidade operacional de uma rodovia de pista simples, segundo o HCM 2010, é determinada através da seguinte fórmula:

$$V_{op} = V_{fl} - 0,012416 * (qv_d + qv_o) - f_{NP} \quad \text{Fórmula (2)}$$

Onde:

$V_{op}$  – velocidade média operacional na direção de análise (km/h)

$V_{fl}$  – velocidade de fluxo livre (km/h)

$qv_b$  – taxa de fluxo equivalente na direção de análise (cp/h)

$qv_o$  – taxa de fluxo equivalente na direção à de análise oposta (cp/h)

$f_{NP}$  – fator de ajuste para porcentagem de trechos com ultrapassagem proibida

A velocidade de fluxo livre é influenciada pela largura das faixas da rodovia e pelo número de pontos de acesso por quilometro da rodovia. É determinada através da fórmula presente no HCM 2010:

$$V_{fl} = V_{fb} - f_{LS} - f_A \quad \text{Fórmula (3)}$$

Onde:

$V_{fl}$  – velocidade de fluxo livre (km/h)

$V_{fb}$  – velocidade de fluxo livre básica (km/h)

$f_{LS}$  – fator de ajuste em função da largura das faixas de tráfego e dos acostamentos (km/h)

$f_A$  – fator de ajuste para número de pontos de acesso à rodovia (km/h)

A taxa de fluxo equivalente considera o efeito do greide e de veículos pesados no fluxo da rodovia, e converte o fluxo de veículos por hora pra um fluxo de equivalente em carros de passeio por hora, conforme o HCM 2010, a taxa de fluxo é calculada através da fórmula:

$$qv_i = \frac{q_i}{FHP * fv_G * fv_{HV}} \quad \text{Fórmula (4)}$$

Onde:

$qv_i$  – taxa de fluxo equivalente (cp/h)

$i$  – “d” (direção de análise) ou “o” (direção oposto)

$q_i$  – volume de tráfego para direção  $i$  (veic/h)

$FHP$  – fator hora pico

$f v_G$  – fator de ajuste do fluxo em função do greide

$f v_{HV}$  – fator de ajuste do fluxo devido a presença de veículos pesados

Fator devido a presença de veículos pesados trafegando na rodovia, determinado através da seguinte fórmula, também conforme o HCM 2010:

$$f v_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T + 1) + P_R(E_R + 1)} \quad \text{Fórmula (5)}$$

Onde:

$f v_{HV}$  – fator de ajuste do fluxo devido a presença de veículos pesados

$P_T$  – porcentagem de caminhões e ônibus no tráfego (expresso em decimais)

$E_T$  – equivalente veicular para caminhões e ônibus

$P_R$  – porcentagem de veículos recreacionais no tráfego (expresso em decimais)

$E_R$  – equivalente veicular para veículos recreacionais

### 3.6.2 Rodovia com Faixa Adicional de Ultrapassagem

Segundo o HCM 2010, faixas adicionais de ultrapassagem, aumentam a performance operacional. Dentro da faixa adicional de ultrapassagem a velocidade média operacional geralmente tem um aumento entre 8% e 11% em relação ao trecho anterior à terceira faixa. Entretanto, ao sair da terceira faixa, a velocidade reduz gradualmente até a velocidade operacional da rodovia de pista simples. Para o efeito do aumento na velocidade ser contínuo, é necessário a construção de faixas adicionais intermitentes ao longo da rodovia. A Figura 9 apresenta a variação da velocidade em trechos de rodovias com terceira faixa.

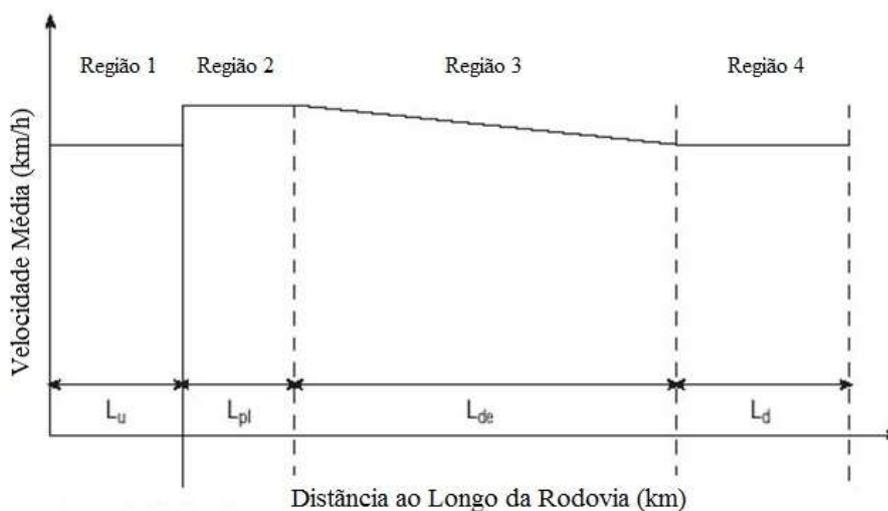


Figura 9: Variação da velocidade em trechos com faixa adicional de ultrapassagem (HCM 2010, adaptado).

A Região 1 tem a velocidade igual a uma rodovia de pista simples sem a presença da terceira faixa. A Região 2 é a região da faixa adicional de ultrapassagem. Já a Região 3 é a zona de influência da faixa adicional de ultrapassagem, zona na qual a velocidade operacional decresce. Na Região 4 a influência na velocidade termina e os usuários voltam a trafegar em velocidade igual a Região 1.

Como visto na figura acima, cada região possui um comprimento específico, sendo o comprimento da Região 2 e 3 tabelados, e variam conforme o fluxo presente na rodovia, e da Região 1 e 4 definidos em projeto. A extensão  $L_{pl}$  é a extensão da faixa de ultrapassagem e é tabelado da seguinte forma pelo HCM 2010:

L <sub>pl</sub> - Terceira Faixa	
Taxa de Fluxo na Direção de Análise (veic/h)	Comprimento Ideal Faixa de Ultrapassagem (km)
≤ 100	≤ 0,80
> 100 ≤ 400	> 0,80 ≤ 1,20
> 400 ≤ 700	> 1,20 ≤ 1,60
≥ 700	≤ 3,20

Quadro 5 Valores ideais para o comprimento da faixa adicional de ultrapassagem, adaptado para quilômetros (HCM 2010, adaptado).

Já o valor de  $L_{de}$  é único, sendo igual a 1,7 mi (2,7 km), segundo o HCM 2010.

Para calcular a velocidade na terceira faixa, primeiramente é calculada a velocidade operacional utilizando o método para rodovias de pista simples. Depois é utilizado a fórmula abaixo, conforme o HCM 2010, para cálculo da velocidade operacional na faixa adicional de ultrapassagem.

$$V_{pl} = \frac{V_d * L_t}{L_u + L_d + \left(\frac{L_{pl}}{f_{pl}}\right) + \left(\frac{2 * L_{de}}{1 + f_{pl}}\right)} \quad \text{Fórmula (6)}$$

Onde:

$V_{pl}$  – velocidade média operacional na faixa adicional de ultrapassagem (km/h)

$V_d$  – velocidade média operacional na rodovia em trechos sem faixa adicional de ultrapassagem (km/h)

$L_u$  – comprimento antes da faixa adicional de ultrapassagem (km)

$L_{pl}$  – comprimento da faixa adicional de ultrapassagem (km)

$L_{de}$  – comprimento de influência da faixa adicional de ultrapassagem (km)

$L_d$  – comprimento após a influência da faixa adicional de ultrapassagem (km)

$L_t$  – comprimento total (km)

$f_{pl}$  – fator de ajuste para o impacto da faixa adicional de ultrapassagem

### 3.6.3 Rodovia de Pista Dupla

Rodovias de pista dupla (duas faixas por sentido de tráfego) é um caso específico de rodovias com múltiplas faixas de tráfego. Sobre rodovias com múltiplas faixas de tráfego, o HCM 2010 (2010, p. 14-1) afirma:

Rodovias com múltiplas faixas geralmente possuem de quatro a seis faixas (nas duas direções de tráfego) e limites de velocidade entre 40 e 55 mi/h. Em alguns estados, o limite pode ser de 60 ou 65 mi/h nas rodovias com múltiplas faixas. Essas rodovias podem ter divisões centrais de vários tipos, dentre eles, divididas apenas por uma linha

central dividindo os dois fluxos de tráfego, ou pode haver uma faixa central para conversões.

O HCM 2010 ainda afirma que o volume de tráfego de uma rodovia com múltiplas faixas pode variar de 15.000 a 40.000 veic/dia.

A velocidade média é calculada através das fórmulas presentes no Quadro 6, retiradas do HCM 2010. Assim como, para as rodovias de pista simples, o cálculo da velocidade média operacional para rodovias duplicadas necessita a determinação de uma taxa de fluxo equivalente. O cálculo da velocidade média operacional para rodovias duplicadas é dividido em dois casos, o primeiro caso é utilizado quando a taxa de fluxo equivalente for menor ou igual a 1400 cp/h/faixa, e o segundo para quando a taxa de fluxo equivalente for maior que 1400 cp/h/faixa. O segundo caso ainda é dividido conforme a velocidade de fluxo livre da rodovia.

$q_b \leq 1400 \text{ cp/h/faixa}$	$V_{op} = V_{fl}$
$q_b > 1400 \text{ cp/h/faixa}$	
• $V_{fl} = 100 \text{ km/h}$	$V_{op} = 100 - \left[ 8,00 * \left( \frac{q_b - 1400}{800} \right)^{1,31} \right]$
• $V_{fl} = 90 \text{ km/h}$	$V_{op} = 90 - \left[ 6,05 * \left( \frac{q_b - 1400}{700} \right)^{1,31} \right]$
• $V_{fl} = 80 \text{ km/h}$	$V_{op} = 80 - \left[ 5,58 * \left( \frac{q_b - 1400}{600} \right)^{1,31} \right]$
• $V_{fl} = 70 \text{ km/h}$	$V_{op} = 70 - \left[ 4,45 * \left( \frac{q_b - 1400}{500} \right)^{1,31} \right]$

Quadro 6: Cálculo da velocidade operacional em rodovias de pista dupla (HCM 2010, adaptado).

Velocidade de fluxo livre é determinada pela fórmula presente no HCM 2010:

$$V_{fl} = V_{flb} - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad \text{Fórmula (7)}$$

Onde:

$V_{flb}$  – velocidade de fluxo livre básica (km/h)

$f_{LW}$  – fator de ajuste para largura das faixas (km/h)

$f_{LC}$  – fator de ajuste para a lateral da rodovia (km/h)

$f_M$  – fator de ajuste para a divisão entre as direções de fluxo (km/h)

$f_A$  – fator de ajuste para número de pontos de acesso à rodovia (km/h)

O cálculo da taxa de fluxo equivalente é feito conforme a fórmula presente no HCM 2010:

$$q_p = \frac{q}{FHP * N * f_{HV} * f_P} \quad \text{Fórmula (8)}$$

$q_p$  – taxa de fluxo equivalente (cp/h/faixa)

$q$  – volume de tráfego para direção (veic/h)

$FHP$  – fator hora pico

$N$  – número de faixas

$f_{HV}$  – fator de ajuste do fluxo devido a presença de veículos pesados

$f_P$  – fator de ajuste para tipos de motoristas

O fator de ajuste para veículos pesados utilizada fórmula a seguir, também do HCM 2010:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T + 1) + P_R(E_R + 1)} \quad \text{Fórmula (9)}$$

$f_{HV}$  – fator de ajuste do fluxo devido a presença de veículos pesados

$P_T$  – porcentagem de caminhões e ônibus no tráfego (expresso em decimais)

$E_T$  – equivalente veicular para caminhões e ônibus

$P_R$  – porcentagem de veículos recreacionais no tráfego (expresso em decimais)

$E_R$  – equivalente veicular para veículos recreacionais

### 3.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Basicamente, uma avaliação econômica consiste na monetização e comparação dos custos e benefícios de um projeto. A análise econômica de projetos no setor de transporte é extremamente importante, pois esses projetos possuem uma vida útil elevada e envolvem uma alta quantia monetária. Além disso, podem impactar diretamente na vida dos usuários, por exemplo, a duplicação de uma rodovia pode significar uma diminuição considerável no tempo de viagem e no número de acidentes.

Denomina-se Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica - Ambiental de Rodovias o conjunto de estudos desenvolvidos para avaliação dos benefícios sociais e econômicos decorrentes dos investimentos em implantação de novas rodovias ou melhoramentos de rodovias já existentes. A avaliação apura se os benefícios estimados superam os custos com os projetos e execução das obras previstas (DNIT, 2006, p. 31).

Dalbem *et al.* (2010) afirma que o foco de uma avaliação econômica é definir se o projeto gera benefícios líquidos para a sociedade, entendidos como os benefícios incrementais causados pelo projeto. Já uma análise financeira busca avaliar se o projeto é autossustentável financeiramente.

A avaliação econômica envolve a análise do valor líquido dos projetos e políticas. No setor de transportes, os projetos são valorizados em termos de patrimônio líquido, a diferença entre o valor de seus benefícios e seus custos, ambos mensurados tanto quanto possível em termos de unidades monetárias. Esta declaração simples leva a muitas questões: avaliação por quem, para quem, de que perspectiva, em que fase. Uma das características das decisões de transporte é que eles tipicamente impactam em muitas partes - operadores de transporte, usuários de transportes individuais, moradores locais e empresas, proprietários de terras e imóveis, Contribuintes nacionais e locais (WORLD BANK, 2005, p. 1).

Sobre o desenvolvimento de metodologias de avaliação econômica Dalbem *et al.* (2010, p. 88) afirma:

Metodologias de avaliação econômica foram inicialmente desenvolvidas nos países da Europa e nos Estados Unidos na década de 1960, seguindo a tendência de um maior acompanhamento e questionamento por parte da sociedade quanto à melhor forma de investir recursos escassos. Atualmente já existem algumas práticas consolidadas nesses países, embora ainda continue grande o desafio de transformar os potenciais benefícios econômicos de um projeto em valores tangíveis. No Brasil, embora já existam algumas normas e diretrizes que levam em consideração esses efeitos em projetos de transporte, não há ainda uma cultura consolidada nesse sentido, tampouco um conjunto de práticas definidas para o uso da avaliação econômica como ferramenta de decisão de investimentos públicos.

Avaliar economicamente um projeto rodoviário é extremamente importante, pois o custo de construção por quilometro de rodovia geralmente atinge a casa dos milhões de reais, e impacta no cotidiano de milhares de pessoas, sendo assim é crucial a utilização de estudos de avaliação econômica para a tomada de decisão, para que recursos públicos não sejam investidos sem que ocorra o retorno esperado.

No setor de transportes as decisões frequentemente tratam com grandes somas de recursos, com projetos de vida útil de 20 anos e que influenciam diretamente na qualidade de vida das pessoas. Estes aspectos fazem com que a tomada de decisão no setor de transportes seja especialmente importante, devendo o processo de decisão ser cuidadosamente estudado (MOREIRA, 2000, p. 1).

Um dos objetivos da avaliação econômica de projetos de transporte é auxiliar a tomada de decisão das autoridades governamentais. Com o resultado da análise econômica em mãos, cabe aos gestores públicos decidirem quais alternativas, dentre as avaliadas no estudo econômico, de investimento melhor se encaixam na situação econômica e objetivos do governo.

Na União Europeia, a avaliação é geralmente vista como uma ferramenta para auxiliar o processo de planejamento dos sistemas de transporte: a avaliação fornece informações relevantes aos tomadores de decisão, mas a avaliação na verdade não faz "decisões". Os tipos de decisão apoiados pela avaliação incluem: priorizar projetos dentro de um programa; escolhendo entre soluções alternativas para um problema comum; decidir se os projetos representam ou não um bom valor social para o dinheiro; e escolher o momento ideal para realizar um investimento (BRISTOW; NELLTHORP, 2000, p. 2).

O objetivo básico da avaliação econômica de um projeto é medir seus custos e benefícios econômicos do ponto de vista do país como um todo, para determinar se os benefícios líquidos são, pelo menos, tão grandes quanto os que podem ser obtidos de outras oportunidades de investimento marginais (ADLER, 1978, p. 4).

### 3.8 MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA

Há na literatura inúmeros métodos para análise econômica de projetos, esta seção tem o objetivo de abordar os métodos da análise custo-benefício (ACB) e custo-efetividade (ACE). A ACB é baseada na monetização e comparação dos custos e benefícios do projeto, avalia através de indicadores econômicos se os benefícios superam os custos. Já a ACE avalia quais projetos alcançam melhor os objetivos propostos com o menor custo, mas sem a monetização dos benefícios. A ACB é uma análise quantitativa, enquanto a ACE é uma análise qualitativa, por este motivo a ACE acaba sendo subjetiva. As duas análises podem ser utilizadas em separado, ou como complemento uma da outra, vale destacar que essas duas análises podem ser utilizadas em diversos tipos de projetos, não somente em projetos de transportes.

A seleção de um projeto, entre uma gama de projetos possíveis, é realizada através da comparação entre suas viabilidades. Essa operação exige a operacionalização de regras para que o ordenamento do projeto seja feito de acordo com critérios que satisfaça as preferências dos vários agentes. Contudo, cada agente - empresários, acionistas, órgãos e instituições de

financiamento, governo e meio acadêmico - tem sua forma de fazer essa priorização. Nesse sentido, procura-se fazer uma pequena demonstração dos possíveis métodos para que a seleção de projetos ocorra de maneira ótima (LANG, 2007, p. 75-76).

Destaca-se que os dois métodos (custo-benefício e custo-efetividade) são bastante úteis, uma vez que servem como guia para auxiliar na tarefa da escolha entre opções ou para determinar o custo e/ou benéfico de certas opções, políticas ou econômicas e, ainda, para justificar a escolha do investimento para toda a sociedade. Deve-se salientar, também, que tanto a análise custo-benefício, quanto a análise custo-efetividade necessitam de tipos específicos de dados quantitativos para construir o molde de avaliação. Sendo assim, as estruturas das análises de custo-benefício e custo-efetividade são mais rígidas nas escolhas de variáveis, tendo menos subjetividade na seleção (MIYAKUBURO, 2014, p. 31).

### **3.8.1 Análise de Custo-Benefício**

A ACB é realizada através da elaboração de um fluxo de caixa que considera todos os custos e benefícios do projeto, este fluxo de caixa tem de respeitar a vida útil do projeto, para o setor rodoviários geralmente utiliza-se período de projeto de 20 anos.

Um dos métodos mais comuns de avaliação econômica é a análise custo-benefício (ACB), e as principais características desta abordagem podem ser resumidas da seguinte forma. Ambos os custos e benefícios potenciais de um projeto são estimados em um conjunto de impactos, e são convertidos em termos monetários multiplicando unidades de impacto por preços por unidade. O cálculo da diferença entre a soma dos benefícios monetizados e a soma dos custos monetizados gera o benefício global ou líquido do projeto. Muitas vezes isso é relatado em termos de um valor presente líquido descontado, mas outros valores também podem ser utilizados (GRANT-MULLER, *et al.*, 2001, p. 238-239).

Idealmente, a ACB deve incluir todos os impactos do investimento, não importando quão pequeno seja o impacto. No entanto, definir um amplo escopo para a ACB resultará em uma ampla coleta e análise de dados que poderá tornar-se caro em termos de custo, e também em termos de tempo necessário para realização da coleta, ambos os casos afetarão a capacidade de entregar o projeto no prazo determinado. Dado que o objetivo da ACB é, em primeiro lugar, avaliar se um projeto é economicamente benéfico e, em segundo lugar, ajudar na escolha entre alternativas, o escopo da ACB é, na prática, muitas vezes reduzido, excluindo impactos menores

ou insignificantes, desde que a exclusão desses impactos não prejudique a avaliação (WORLD BANK, 2005, p. 6).

Os benefícios podem ser divididos em dois, como afirmam DNER (1999):

- Benefícios diretos: resultantes de investimentos que impliquem em minimização dos custos de transporte, considerando a redução dos custos operacionais dos veículos, e ainda do tempo de viagem, custos de manutenção e número de acidentes. Os benefícios se aplicam aos tráfegos normal, desviado e gerado;
- Benefícios indiretos: decorrentes do desenvolvimento social e econômico da região em face dos investimentos rodoviários realizados. Os benefícios indiretos se expressam em termos do crescimento líquido da produção local, da valorização real das propriedades localizadas na área de influência da rodovia, da maior arrecadação fiscal, e sobretudo da evolução social, da renda e da redistribuição adequada da população domiciliada na região.

Uma desvantagem desta análise é a dificuldade de monetização de alguns benefícios, como por exemplo os benefícios decorrentes do desenvolvimento social das áreas afetadas pela implantação do projeto analisado. Sobre a dificuldade de monetização dos benefícios Adler (1978, p. 27) afirma:

Primeiro, alguns benefícios, mesmo que diretos - como o aumento do conforto resultante da melhoria de uma estrada, ou o tempo economizado quando uma ponte substitui um serviço de balsa - são difíceis de expressar em termos monetários, uma vez que geralmente não há no mercado preços para indicar o que as pessoas estão dispostas a pagar por esses benefícios. Segundo, os benefícios sob a forma de redução de custos com o transporte têm um amplo alcance e envolve um grande número de pessoas durante um longo período de tempo; isso aumenta a dificuldade de prever e traçar os impactos econômicos gerados pelos benefícios. Terceiro, muitos benefícios resultantes da melhoria no setor de transporte são indiretos, como a estimulação da economia; para que estes benefícios se materializem, investimentos em campos que não sejam o transporte são muitas vezes necessários, mas nem sempre são realizados.

Apesar da dificuldade de monetização dos benefícios sociais nos projetos da área de transportes, a ACB é um dos métodos de avaliação mais difundidos na bibliografia e mais utilizado na

prática de avaliação de projetos, tanto rodoviários quanto de outros setores da economia. Este trabalho irá abordar alguns indicadores de viabilidade econômica utilizados na ACB, serão eles:

- Valor Presente Líquido (VPL);
- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Relação Benefício Custo (B/C).

Vale ressaltar que esses indicadores, assim como a ACB, só consideram benefícios e custos que podem ser monetizados.

### **3.8.2 Análise de Custo-Efetividade**

A ACE é indicada quando há muita dificuldade ou impossibilidade de monetizar os benefícios decorrentes do projeto, ela geralmente é utilizada por políticos, administradores e avaliadores. Segundo o World Bank (2005), a ACE é uma ferramenta muito útil para ranquear as alternativas propostas, este ranking serve para analisar qual alternativa é mais efetiva. Ela considera o custo total de investimento necessário para alcançar determinado benefício.

A análise de custo-benefício é o método preferido para demonstrar a justificativa econômica dos investimentos no setor de transportes. Tal abordagem, no entanto, depende da capacidade de medir custos e benefícios em termos monetários, o que torna problemático para projetos em que a maioria dos benefícios não podem ser facilmente monetizados. Tal projeto poderia ser uma estrada rural de baixo volume. Em tais situações, deve considerar-se o uso de medidas derivadas de técnicas de custo-efetividade ou análise multicritério como base para a decisão de investir ou não (WORLD BANK, 2005, p. 1).

A análise busca comparar as várias alternativas disponíveis a fim de obter-se o efeito desejado, mesmo que ocorram em diferentes intensidades. Desta maneira, é possível identificar a opção que assegure a obtenção do resultado desejado aos menores custos, mesmo que a comparação entre as várias alternativas não seja perfeita (KRAEMER, 2002, p. 104).

A ACE também pode ser empregada para comparar diferentes projetos de infraestrutura que abordam o mesmo problema de maneira diferente. Assim sendo, o custo-efetividade de um projeto de infraestrutura pode ser expresso: por unidade de um padrão conseguido por unidade monetária gasta; por unidade do padrão conseguido em diferentes programas com iguais custos;

pelo custo por unidade desse indicador conseguido; ou ainda pelo custo de programas que atingem um mesmo padrão desse indicador analisado (LANG, 2007, p. 102).

Segundo a World Health Organization (2003), os resultados da ACE devem inicialmente serem apresentados em uma única tabela como o primeiro passo da análise de políticas. Posteriormente, a decisão seria feita sobre o ponto de corte apropriado para classificar as intervenções como muito eficaz, muito ineficaz em termos de custos, e mais alguma classificação intermediária. Entretanto o World Bank (2005, p. 3) afirma:

Análise custo-efetividade compara o custo das intervenções com os impactos pretendidos. A análise custo-efetividade é amplamente utilizada para avaliar investimentos no setor social, no entanto, raramente é utilizada no setor de transporte.

Quando os objetivos finais do projeto não forem facilmente quantificáveis, resta a análise qualitativa. No entanto, restringir a avaliação econômica a dados qualitativos pode aumentar muito a subjetividade, a ponto de afetar a transparência e a imparcialidade da análise (DALBEM *et al.* 2010, p. 93).

Segundo Branco (2008), uma outra desvantagem da ACE é que não é possível dizer se os benefícios totais de uma alternativa escolhida excedem os seus custos, o que só poderia ser compreendido através de uma análise ACB. Branco (2008, p. 31) ainda menciona uma limitação da ACE:

A ACE permite indicar onde a alocação de recursos será mais efetiva. No entanto, a aplicação dos seus resultados, isso é, a implementação da política por ela definida como a mais efetiva, é uma decisão política, relacionada a implementação das medidas. Essa decisão é considerada política pois a implementação das medidas pode afetar outros agentes que não são considerados na análise.

A ACE, diferente da ACB, possui uma bibliografia extremamente escassa, e é muito pouco utilizada na prática. No Brasil ela é utilizada em sua maioria para projetos ambientais e na área da saúde, sendo praticamente inexistente na área transportes.

### 3.9 INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Os indicadores de viabilidade econômica podem ser vistos como ferramentas quantitativas, que medem a performance econômica do projeto, indicando o quão atrativo um investimento pode

ser. Do ponto de vista dos investimentos privados, procura-se o projeto com o maior retorno financeiro possível, ou seja, uma maximização dos benefícios, já do ponto de vista de investimento públicos, não é necessário que o projeto busque a maximização dos benefícios, uma vez que projetos implementados pelos governos possuem muitos benefícios indiretos, que muitas vezes acabam não sendo monetizados. Sendo assim se os investimentos públicos possuírem o mínimo de retorno possível eles podem ser aceitos.

As ferramentas de análise econômica podem nos ajudar a responder várias questões sobre os impactos do projeto na entidade que executa o projeto, na sociedade, nas entidades fiscais e em diversas partes interessadas, e sobre os riscos e a sustentabilidade do projeto (WORLD BANK, 1998, p. 3).

World Bank (1998) afirma que os indicadores podem ajudar particularmente em:

- Decidir se o setor privado ou público deve realizar o projeto;
- Estimar o impacto fiscal do projeto;
- Determinar se os meios de recuperação de custos são eficientes e equitativos; e
- Avaliar o potencial impacto ambiental do projeto e a contribuição para a redução da pobreza.

Considerando os indicadores este trabalho irá abordar, um projeto será viável se:

- VPL maior que 0;
- TIR maior que a taxa de desconto;
- B/C for maior que 1.

Como será visto na próxima sessão deste trabalho, que irá tratar das fórmulas de cálculo desses indicadores, esses indicadores necessitam de uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA é a taxa de retorno mínima aceitável para a realização de um investimento, resumidamente é a taxa mínima que um investidor espera de retorno do seu investimento. Para fins de aceitação do projeto, a TIR tem que ser maior que a TMA.

Os critérios do VPL e da TIR baseiam-se em fluxos de caixa descontados a uma determinada taxa. Esta taxa é denominada de TMA, ou seja, o retorno mínimo exigido para o projeto de investimento. Assim, quando a TIR de um projeto for superior a TMA, o projeto poderia ser aceito, pois, além de superar os custos do projeto de investimento e pagar o custo de capital, um possível remanescente da taxa adicionaria valor à firma (SCHROEDER *et al.*, 2005, 184).

Ainda segundo Schoeder *et al.* (2005), a TMA é uma taxa que pode ser definida de acordo com a política de cada investidor, vale ressaltar que escolha da TMA é de extrema importância nos projetos de investimento, tendo que ser definida com extrema cautela.

O Banco Mundial recomenda em seus projetos um custo de oportunidade de capital de 12% a.a., remuneração esperada para os recursos do banco. A justificativa para o uso de uma taxa de desconto tão alta para a valoração econômica é que dada a escassez de recursos para investimento, faz-se necessário priorizar os projetos que oferecem maior rentabilidade (DALBEM, 2010, p. 103).

### **3.9.1 Valor Presente Líquido (VPL)**

O valor presente líquido (VPL), é um indicador financeiro e é considerado um método simples, muito conhecido e utilizado por diversos gestores responsáveis por tomadas de decisões na análise econômica de projetos. O método do VPL traz para o presente os custos e benefícios futuros totais do projeto, considerando que o valor presente do dinheiro é diferente do valor futuro, utilizando uma taxa de desconto (está taxa de desconto é a TMA, que foi mencionada anteriormente) apropriada para o projeto em questão.

O valor presente líquido é um bom coeficiente para a determinação do mérito do projeto, uma vez que ele representa, em valores atuais, o total dos recursos que permanecem em mãos da empresa ao final de toda a sua vida útil. Em outras palavras, o VPL representa o retorno líquido atualizado pelo projeto (BUARQUE, 1984, p. 148).

O indicador do valor presente líquido (VPL) é um critério mais rigoroso e isento de falhas técnicas. Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizados à taxa ou taxas adequadas de desconto. O projeto será viável se apresentar um VPL positivo e, na escolha entre projetos alternativos, a preferência recai sobre aquele com maior VPL positivo (CONTADOR, 1997, p. 47 – 48).

Para projetos cujos benefícios são mensuráveis em termos monetários, o critério apropriado para julgar se o projeto é aceitável é o valor presente líquido do projeto. Para ser aceitável economicamente, um projeto financiado por banco deve atender a duas condições: (a) o valor presente líquido esperado do projeto não deve ser negativo e (b) o valor presente líquido

esperado do projeto deve ser maior ou igual ao valor presente líquido esperado de alternativas de projetos mutuamente aceitáveis (WORLD BANK, 1998, p. 113).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad \text{Fórmula (10)}$$

Onde:

$VPL$  é o valor presente líquido

$B_t$  é o benefício no ano  $t$

$C_t$  é o custo no ano  $t$

$r$  é a taxa de desconto

$t$  é o período

$n$  é o total de anos do horizonte de projeto

Uma das maneiras de comparar várias alternativas de projeto e fazer a comparação entre o somatório das receitas e despesas (ou benefícios e custos). Para que seja possível o somatório é necessário que os valores sejam levados para uma mesma data, o que é feito considerando o regime de juros compostos. É importante, para isso, a escolha de uma taxa de juros  $r$  (SENNÁ, 2014, p. 181).

Corresponde a soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizados a uma taxa de desconto adequada. Assim, um projeto é considerado viável se tiver um VPL positivo e sua hierarquização se dá de acordo com o maior VPL (LANG, 2007, p. 76).

### 3.9.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é uma medida relativa, expressa em percentual, resumidamente pode-se dizer que ela representa quanto rende um investimento. Assim como o VPL, a TIR é muito utilizada na avaliação de investimento e possui fácil interpretação do seu resultado. Ela é muito utilizada na comparação entre diferentes alternativas de projetos, quanto maior a TIR de um investimento mais retorno tem este investimento em relação as demais alternativas.

A taxa interna de retorno (TIR) representa a taxa de desconto (taxa de juros) que iguala, num único momento, os fluxos de entrada com os de saída de caixa. Em outras palavras, é a taxa de juros que produz um VPL igual a zero (NETO, 1992, p. 4).

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+TIR)^t} \quad \text{Fórmula (11)}$$

Onde:

$TIR$  é a taxa interna de retorno

$B_t$  é o benefício no ano  $t$

$C_t$  é o custo no ano  $t$

$t$  é o período

$n$  é o total de anos do horizonte de projeto

Sobre a aceitação e rejeição da TIR, Neto (1992, p. 4) afirma:

A aceitação ou rejeição do investimento com base neste método é definida pela comparação que se faz entre a TIR encontrada e a taxa de atratividade exigida pela empresa. Se a TIR exceder a taxa mínima de atratividade o investimento é classificado como economicamente atraente. Caso contrário, há recomendação técnica de rejeição.

Sobre a comparação entre diferentes alternativas de projeto Senna (2014, p. 182) afirma. “*para a comparação entre diferentes alternativas de projetos deve ser escolhida a que apresentar a maior TIR*”.

Contador (1997) comenta sobre a grande vantagem da TIR, ele afirma que a grande vantagem da TIR é que ela não necessita de informações externas ao projeto, sendo assim, é somente necessário conhecer o perfil do projeto e alguma ideia de magnitude da taxa de juros. Entretanto Contador (1997) afirma também que a TIR possui algumas desvantagens, uma delas é que a TIR considerada uma taxa de desconto constante ao longo do tempo, entretanto, isto é difícil de ocorrer na vida real.

### 3.9.3 Relação Benefício-Custo (B/C)

Assim como o VPL e a TIR, a relação B/C é de fácil interpretação e consequentemente muito utilização na avaliação de projetos. Resumidamente ela é calculada dividindo os benefícios futuros pelos custos futuros, descontados de uma taxa de desconto. Tanto os benefícios quanto os custos devem ser expressos em valores presentes.

O método baseado na razão Benefício Custo (B/C) segue a mesma lógica do método do VPL, ou seja, a comparação dos fluxos de caixa na data zero, só que do quociente entre receitas (benefícios) e despesas (custos), sendo não mais considerados o saldo, conforme considerado no método do VPL (SENNA, 2014, 181).

Matematicamente, os sinais do fluxo de caixa são desconsiderados, caso contrário, seria inevitável que a relação benefício/custo resultasse em valores menores que zero (Contador, 1988).

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad \text{Fórmula (12)}$$

Onde:

$B/C$  é a relação custo benefício

$B_t$  é o benefício no ano  $t$

$C_t$  é o custo no ano  $t$

$r$  é a taxa de desconto

$t$  é o período

$n$  é o total de anos do horizonte de projeto

Para que o investimento seja considerado viável, é necessário que a relação B/C seja maior a 1. Se for igual a 1, o investidor receberá como retorno uma taxa igual a TMA. Se for menor que 1, há a indicação de que este investimento não é atrativo e deve-se buscar alternativas mais interessantes. Quando a relação B/C for maior que 1, é sinal que o investimento é mais rentável do que a TMA preestabelecida. Mais uma vez, é importante salientar que os benefícios e custos adotados para o cálculo da relação B/C são apenas aqueles mensuráveis monetariamente, o que

pode não ser suficientemente adequado do ponto de vista da sociedade ou do governo (SEHN, 2009).

## 4 ANÁLISE ECONÔMICA

### 4.1 ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE

Neste trabalho foram abordados dois métodos de análise econômica de projetos, sendo eles: ACB e ACE. Para realizar a análise econômica foi escolhido a ACB, pois todos os benefícios considerados neste trabalho podem ser monetizados, e a ACE é indicada para benefícios de difícil monetização ou que não podem ser monetizados. Além disso a ACB é um método mais objetivo que a ACE, facilitando assim a interpretação do dados. Outro ponto importante levado em consideração na definição do método a ser utilizado, é que a ACE, como mencionado anteriormente neste trabalho, utilizada dados qualitativos, o que pode tornar a análise muito subjetiva.

Para a realização da ACB foi considerado a hipótese nula (não implementar nenhuma melhoria) como base para determinação dos custos e benefícios das alternativas de melhorias, duplicar ou construir a terceira faixa. Foi considerado um horizonte de projeto de 20 anos, e uma TMA de 12% ao ano, como recomenda o Banco Mundial.

### 4.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO

Para possibilitar o cálculo das velocidades operacionais das alternativas, e conseqüentemente os seus benefícios, fez-se necessário a definição de alguns parâmetros. O quadro abaixo contém algum desses parâmetros adotados para a rodovia de pista simples e para a alternativa com faixa adicional de ultrapassagem:

<b>Parâmetros Adotados</b>
Classe IB
Rodovia rural
Terreno ondulado
5 acessos por km
Largura faixas $\geq 3,6m$
Largura acostamento $\geq 1,8m$
Porcentagem de zonas com ultrapassagem proibida igual a 60%
Velocidade básica de 80 km/h

Quadro 7: Parâmetros adotados para rodovia de pista simples e faixa adicional de ultrapassagem

Já para a rodovia duplicada foram adotados os seguintes:

Parâmetros Adotados
Classe IA
Rodovia rural
Terreno ondulado
5 acessos por km
Com divisão central
Largura faixas = 3,6m
Total de acostamento = 3,6m
Duas faixas por sentido de tráfego
Velocidade básica de 80 km/h

Quadro 8: Parâmetros adotados para a rodovia duplicada

A velocidade básica foi definida conforme a classe de projeto e tipo de relevo, utilizando como referência valores da tabela abaixo:

Classe de projeto	Velocidades diretrizes para projeto (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80 - 60	60 - 40	40 - 30

Quadro 9: Velocidade conforme tipo de relevo e classe de projeto (DNER, 1999)

#### 4.2.1 Fator Hora Pico (FHP)

Para o Fator Hora Pico foi usado o valor recomendado pelo HCM 2000, sendo este, para rodovias rurais, igual a 0,88.

### 4.2.2 Volume Médio Diário

Para o VMD foi suposto um aumento anual durante os 20 anos de projeto, e, como este trabalho utilizava configurações típicas, foi adotado a taxa de crescimento anual de 3% a.a., conforme indicação do DNER (1999).

Foram definidos dois VMDs iniciais para a realização da análise econômica, a escolha de dois VMDs tem a finalidade de averiguar a variação no valor dos benefícios, e conseqüentemente a da análise econômica, conforme mudanças no volume de tráfego da rodovia. Os VMDs escolhidos foram baseados no limite de tráfego para rodovias de pista simples de classe IB, conforme DNER (1999), que afirma que o limite é de 5500 veículos por dia. Sendo assim, foi escolhido um VMD inicial, para que, ao final dos 20 anos de projeto, o VMD da rodovia fosse igual a 5500, este VMD inicial é 3046. E o segundo valor para o VMD inicial foi o próprio limite de 5500 veículos dia. Para o VHP foi utilizado o valor recomendado pelo DNER (1999), sendo igual a 8,5%.

### 4.3 ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO DA FAIXA ADICIONAL DE ULTRAPASSAGEM

Como mencionado anteriormente neste trabalho, a configuração da faixa adicional possui diversas configurações, contudo, para este trabalho, foi adotada a configuração da Figura 10:

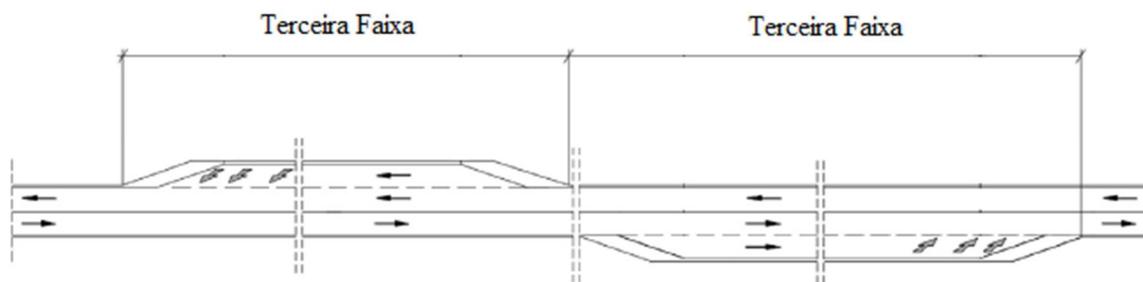


Figura 10: Configuração adotada para a faixa adicional de ultrapassagem (CAFISO, S. et al., 2017, adaptado)

Esta configuração foi escolhida com a intenção de maximizar o efeito no aumento na velocidade operacional proporcionado pela faixa adicional de ultrapassagem. Sendo assim, o trecho em

estudo terá faixas adicionais intercaladas, terminando a faixa adicional de ultrapassagem em um sentido, ela começará no sentido oposto, e vice-versa, durante todo o trecho.

As dimensões adotadas para a terceira faixa são as seguintes:

- $L_{pl} = 3,2$  km
- $L_{de} = 2,7$  km
- $L_d = 0$
- $L_u = 0$

Esta configuração também influencia no custo de implementação da alternativa, uma vez que esta resultará em 1 km de faixa adicional de ultrapassagem por quilômetro de rodovia construído. Uma configuração com uma distância maior entre as faixas reduziria o custo de implementação, entretanto, iria reduzir o efeito do aumento da velocidade operacional.

#### 4.4 CÁLCULO DOS CUSTOS DAS ALTERNATIVAS

Por motivos de simplificação não foram considerados os custos operacionais das melhorias, sendo assim, foram considerados apenas os custos de implementação, conservação e manutenção, sendo os de manutenção divididos em restauração e reconstrução.

Para a determinação dos custos de cada alternativa, foram descontados os custos de conservação e manutenção da alternativa nula, pois considera-se que, mesmo que nenhuma alternativa seja implementada, a rodovia terá obrigatoriamente custos de conservação e manutenção. O custo de implementação da alternativa nula é zero, pois considera-se que a rodovia de pista simples já esteja construída. O custo total de implementação foi considerado no ano inicial do projeto, em 2018.

Utilizando os quadros da seção 3.4, foram definidos os valores para os custos de implementação e conservação, por quilômetro de rodovia, os custos podem ser vistos nos quadros a seguir:

Tipo de Pista	Custos de Implementação por km
3ª Faixa	R\$ 2.410.000,00
Duplicação	R\$ 7.570.000,00

Quadro 10: Custo de implementação por km de rodovia

Tipo de Pista	Custo de Conservação por km
Pista Simples	R\$ 51.200,00
3ª Faixa	R\$ 72.400,00
Pista Dupla	R\$ 93.600,00

Quadro 11: Custo de conservação por km de rodovia

Tipo de Pista	Custo de Manutenção por km	
	Restauração	Reconstrução
Pista Simples	R\$ 1.144.000,00	R\$ 2.319.000,00
3ª Faixa	R\$ 1.716.000,00	R\$ 3.478.500,00
Pista Dupla	R\$ 2.288.000,00	R\$ 4.638.000,00

Quadro 12: Custo de manutenção por km de rodovia

Os custos de conservação foram considerados anuais, ou seja, todo ano deverá ocorrer ações de conservação. Já as ações de restaurações foram consideradas a cada 5 anos, e ações de reconstrução a cada 10 anos, no ano que houverem ações de reconstrução não ocorrerá ações de restauração. Sendo assim, em 20 anos serão realizadas duas ações de reconstrução, nos anos 2023 e 2033, e uma ação de reconstrução, no ano de 2028.

#### 4.4.1 Custos das Melhorias

Foi considerado um trecho de rodovia de 50 km para os cálculos dos custos, assim como para os cálculos dos benefícios. Com os custos por quilômetro de rodovia adotados na seção anterior, e para um trecho de rodovia com comprimento de 50 km, os custos totais anuais das alternativas são os seguintes:

Custo Total	
3ª Faixa	Duplicada
R\$ 121.560.000,00	R\$ 380.620.000,00
R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
R\$ 29.660.000,00	R\$ 59.320.000,00
R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
R\$ 59.035.000,00	R\$ 118.070.000,00
R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
R\$ 29.660.000,00	R\$ 59.320.000,00
R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00

Quadro 13: Custos totais por ano de cada alternativa

A partir do Quadro 13 constata-se que o custo de implementação é o mais significativo, sendo correspondente a 58,3% na duplicação, e 47,13% na construção da terceira faixa. No Apêndice B encontram-se os cálculos dos custos detalhadamente.

#### 4.5 CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS DAS ALTERNATIVAS

Os benefícios considerados foram dois: a redução no tempo de viagem e a redução no consumo de combustível. Ambos benefícios são decorrentes do aumento esperado na velocidade operacional dos veículos após a implementação das melhorias propostas. No Apêndice A deste trabalho encontram-se os cálculos detalhados das velocidades operacionais para as alternativas propostas.

Vale ressaltar que, inicialmente, este trabalho visava considerar os custos com a redução do número de acidentes após a implementação das melhorias, pois a redução dos acidentes não resulta somente em benefício financeiro, resulta também em um benefício social extremamente importante, a redução de mortes no trânsito. Entretanto a estimativa da redução no número de acidente demonstrou ser de extrema dificuldade, sendo preciso um estudo mais aprofundado do tema, por este motivo este benefício não foi considerado na avaliação econômica.

A determinação dos benefícios das melhorias propostas seguiu as seguintes etapas:

1. Cálculo da velocidade operacional em horário de pico para rodovia de pista simples;
2. Cálculo da velocidade operacional em horário de pico das melhorias propostas;
3. Cálculo do número de usuários beneficiados (por ano) com a redução do tempo de viagem;
4. Cálculo do número de veículos beneficiados (por ano) com a redução do consumo de combustível;
5. Cálculo do tempo economizado e da economia de combustível em decorrência do aumento da velocidade operacional de cada alternativa;
6. Valoração da redução do tempo de viagem e do consumo de combustível.

Para ser possível a valoração das horas foi preciso determinar o número de usuários beneficiados ao longo de cada ano, sendo assim, foi determinado um número médio de usuários por automóvel, ônibus e caminhão, como pode ser visto no quadro abaixo:

<b>Média de usuários por tipo de veículo</b>	
Automóvel	1,6
Caminhão	1
Ônibus	20

Quadro 14: Número médio de usuários por tipo de veículo (Santos, 2012)

Com o número de usuários por tipo de veículo, foi utilizado o quadro abaixo para calcular o número de cada tipo de veículo presente no VMD. Após isto foi calculado o número de usuários beneficiados por ano com a redução do tempo de viagem.

VMD (Traf.Misto)	Automóvel (%)	Ônibus (%)	Caminhão (%)
700	46	8	46
1.000	46	8	46
2.000	47	8	45
3.000	48	8	44
4.000	49	8	43
5.000	50	8	42
6.000	51	8	41
7.000	52	8	40
8.000	53	8	39
9.000	54	8	38
10.000	55	8	37
12.000	56	8	36
14.000	58	8	34
≥ 15.000	59	8	33

Quadro 15: Divisão percentual do VMD (DNER, 1999)

Para o valor do tempo foi usado o valor de R\$ 5,56/hora (Pires, 2010). Já para o consumo de combustível foi utilizado R\$ 4,246/L, valor retirado do site da ANP, valor este sendo a média para o estado do Rio Grande do Sul para a data de 26/11/2017.

O horário de pico, para este trabalho, foi definido entre às 7h e 9h. e das 17h às 19h, resultando em um total de 4 horas diárias de horário de pico. Já o número de dias por ano foi considerado o seguinte: Semana com 5 dias, mês com 4 semanas e 12 meses por ano, resultando num total de 240 dias por ano. Para fins de semana foi considerado que não há redução na velocidade operacional, assim como para o horário comercial entre as 9h e 17h, entre as 19h e 7h também não foi considerado que aja redução na velocidade operacional. As próximas seções tratam dos benefícios esperados na duplicação e construção da faixa adicional de ultrapassagem, e no Apêndice C, encontram-se detalhados os cálculos dos benefícios.

#### 4.5.1 Velocidade Média Operacional das Melhorias

Como mencionado anteriormente, os valores dos benefícios das melhorias são calculados a partir do aumento da velocidade média operacional, em horário de pico, que cada melhoria irá proporcionar. Com os métodos apresentados na seção 3.2 foram determinadas as velocidades médias operacionais de cada alternativa para cada VMD inicial:

Ano	VDM	Velocidade Média Operacional em Horário de Pico (km/h)		
		Pista Simples	Terceira Faixa	Duplicada
2018	3046	56	61	78
2019	3137	55	60	78
2020	3231	56	61	78
2021	3328	55	60	78
2022	3428	55	60	78
2023	3531	54	59	78
2024	3637	53	57	78
2025	3746	53	57	78
2026	3858	53	57	78
2027	3974	52	56	78
2028	4093	52	56	78
2029	4216	51	55	78
2030	4342	50	54	78
2031	4472	50	54	78
2032	4606	50	54	78
2033	4744	49	53	78
2034	4886	48	52	78
2035	5033	48	52	78
2036	5184	47	51	78
2037	5340	47	51	78
2038	5500	46	50	78

Quadro 16: Velocidades das melhorias propostas para VMD inicial de 3046

Ano	VDM	Velocidade Média Operacional em Horário de Pico (km/h)		
		Pista Simples	Terceira Faixa	Duplicada
2018	5500	46	50	78
2019	5665	46	50	78
2020	5835	45	49	78
2021	6010	44	48	78
2022	6190	44	48	78
2023	6376	43	47	78
2024	6567	42	46	78
2025	6764	42	46	78
2026	6967	41	44	78
2027	7176	40	43	78
2028	7391	40	43	78
2029	7613	39	42	78
2030	7841	38	41	78
2031	8076	37	40	78
2032	8318	37	40	78
2033	8568	36	39	78
2034	8825	35	38	78
2035	9090	34	37	78
2036	9363	33	36	78
2037	9644	32	35	78

Quadro 17: Velocidades das melhorias propostas para VMD inicial de 5500

#### 4.5.2 Benefícios das Melhorias

O HCM 2010 prevê que a velocidade média operacional tenha um aumento em rodovias de pista simples nos trechos que possuem terceira faixa. A Figura 9, p. 35, demonstra que a velocidade operacional, após ser elevada na Região 2, decresce linearmente na Região 3, até voltar ao valor anterior à faixa adicional de ultrapassagem (Região 4), sendo assim, para fins de simplificação, foi considerado, neste trabalho, que ela seja constante e igual a velocidade operacional dentro da região da terceira faixa. Para que o aumento na velocidade operacional na terceira faixa seja o maior possível, foi definido que o comprimento das Regiões 1 e 4 sejam iguais a zero.

Com o aumento da velocidade média operacional em horários de pico, há a economia de tempo e de combustível, a valoração desses dois benefícios são vistas nos Quadros 18 e 19.

Ano	VMD	Total de Benefícios	
		3ª Faixa	Duplicada
2018	3046	R\$ 458.484,93	R\$ 1.651.058,40
2019	3137	R\$ 486.487,07	R\$ 1.805.175,72
2020	3231	R\$ 486.807,95	R\$ 1.753.052,98
2021	3328	R\$ 515.639,48	R\$ 1.913.349,69
2022	3428	R\$ 530.215,68	R\$ 1.967.436,68
2023	3531	R\$ 563.754,83	R\$ 2.150.523,56
2024	3637	R\$ 485.915,78	R\$ 2.342.252,48
2025	3746	R\$ 500.068,68	R\$ 2.410.473,49
2026	3858	R\$ 515.793,96	R\$ 2.486.273,87
2027	3974	R\$ 548.423,61	R\$ 2.705.810,07
2028	4093	R\$ 564.649,39	R\$ 2.785.864,73
2029	4216	R\$ 599.804,35	R\$ 3.023.298,98
2030	4342	R\$ 638.884,02	R\$ 3.284.027,42
2031	4472	R\$ 657.929,41	R\$ 3.381.925,60
2032	4606	R\$ 679.635,98	R\$ 3.493.229,44
2033	4744	R\$ 722.640,52	R\$ 3.781.325,95
2034	4886	R\$ 770.300,22	R\$ 4.096.784,03
2035	5033	R\$ 794.430,28	R\$ 4.225.117,91
2036	5184	R\$ 848.061,65	R\$ 4.577.086,88
2037	5340	R\$ 873.061,39	R\$ 4.712.013,30
2038	5500	R\$ 934.576,64	R\$ 5.110.445,55

Quadro 18: Benefícios das melhorias propostas para VMD inicial de 3046

Ano	VMD	Total de Benefícios	
		3ª Faixa	Duplicada
2018	5500	R\$ 934.576,64	R\$ 5.110.445,55
2019	5665	R\$ 962.534,34	R\$ 5.263.323,53
2020	5835	R\$ 1.028.114,15	R\$ 5.688.080,89
2021	6010	R\$ 1.100.527,55	R\$ 6.151.558,88
2022	6190	R\$ 1.132.832,44	R\$ 6.332.131,88
2023	6376	R\$ 1.214.081,19	R\$ 6.846.773,95
2024	6567	R\$ 1.303.273,57	R\$ 7.404.467,44
2025	6764	R\$ 1.342.978,89	R\$ 7.630.050,82
2026	6967	R\$ 1.103.144,88	R\$ 8.239.193,22
2027	7176	R\$ 1.186.916,79	R\$ 8.902.889,06
2028	7391	R\$ 1.221.940,59	R\$ 9.165.597,41
2029	7613	R\$ 1.318.087,21	R\$ 9.914.939,36
2030	7841	R\$ 1.420.398,79	R\$ 10.701.828,40
2031	8076	R\$ 1.533.749,93	R\$ 11.559.230,10
2032	8318	R\$ 1.580.701,98	R\$ 11.913.087,75
2033	8568	R\$ 1.711.262,74	R\$ 12.882.426,02
2034	8825	R\$ 1.853.668,47	R\$ 13.921.487,20
2035	9090	R\$ 2.012.015,15	R\$ 15.054.795,62
2036	9363	R\$ 2.185.645,55	R\$ 16.271.378,21
2037	9644	R\$ 2.382.934,80	R\$ 17.624.442,53
2038	9933	R\$ 2.596.891,55	R\$ 19.056.894,55

Quadro 19: Benefícios das melhorias propostas para VMD inicial de 5500

#### 4.6 CÁLCULO DOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS

Para o cálculo dos indicadores socioeconômicos é necessário a construção de um fluxo de caixa de cada melhoria proposta. O fluxo de caixa para os VMDs escolhidos podem ser visto nos próximos quadros.

Ano	VMD	Fluxo de Caixa	
		3ª Faixa	Dupla
2018	3046	R\$ 122.018.484,93	R\$ 382.271.058,40
2019	3137	-R\$ 573.512,93	-R\$ 314.824,28
2020	3231	-R\$ 573.192,05	-R\$ 366.947,02
2021	3328	-R\$ 544.360,52	-R\$ 206.650,31
2022	3428	-R\$ 529.784,32	-R\$ 152.563,32
2023	3531	-R\$ 29.096.245,17	-R\$ 57.169.476,44
2024	3637	-R\$ 574.084,22	R\$ 222.252,48
2025	3746	-R\$ 559.931,32	R\$ 290.473,49
2026	3858	-R\$ 544.206,04	R\$ 366.273,87
2027	3974	-R\$ 511.576,39	R\$ 585.810,07
2028	4093	-R\$ 58.470.350,61	-R\$ 115.284.135,27
2029	4216	-R\$ 460.195,65	R\$ 903.298,98
2030	4342	-R\$ 421.115,98	R\$ 1.164.027,42
2031	4472	-R\$ 402.070,59	R\$ 1.261.925,60
2032	4606	-R\$ 380.364,02	R\$ 1.373.229,44
2033	4744	-R\$ 28.937.359,48	-R\$ 55.538.674,05
2034	4886	-R\$ 289.699,78	R\$ 1.976.784,03
2035	5033	-R\$ 265.569,72	R\$ 2.105.117,91
2036	5184	-R\$ 211.938,35	R\$ 2.457.086,88
2037	5340	-R\$ 186.938,61	R\$ 2.592.013,30
2038	5500	-R\$ 125.423,36	R\$ 2.990.445,55

Quadro 20: Fluxo de caixa das alternativas para VMD inicial de 3046

Ano	VMD	Fluxo de Caixa	
		3ª Faixa	Dupla
2018	5500	R\$ 122.494.576,64	R\$ 385.730.445,55
2019	5665	-R\$ 97.465,66	R\$ 3.143.323,53
2020	5835	-R\$ 31.885,85	R\$ 3.568.080,89
2021	6010	R\$ 40.527,55	R\$ 4.031.558,88
2022	6190	R\$ 72.832,44	R\$ 4.212.131,88
2023	6376	-R\$ 28.445.918,81	-R\$ 52.473.226,05
2024	6567	R\$ 243.273,57	R\$ 5.284.467,44
2025	6764	R\$ 282.978,89	R\$ 5.510.050,82
2026	6967	R\$ 43.144,88	R\$ 6.119.193,22
2027	7176	R\$ 126.916,79	R\$ 6.782.889,06
2028	7391	-R\$ 57.813.059,41	-R\$ 108.904.402,59
2029	7613	R\$ 258.087,21	R\$ 7.794.939,36
2030	7841	R\$ 360.398,79	R\$ 8.581.828,40
2031	8076	R\$ 473.749,93	R\$ 9.439.230,10
2032	8318	R\$ 520.701,98	R\$ 9.793.087,75
2033	8568	-R\$ 27.948.737,26	-R\$ 46.437.573,98
2034	8825	R\$ 793.668,47	R\$ 11.801.487,20
2035	9090	R\$ 952.015,15	R\$ 12.934.795,62
2036	9363	R\$ 1.125.645,55	R\$ 14.151.378,21
2037	9644	R\$ 1.322.934,80	R\$ 15.504.442,53
2038	9933	R\$ 1.536.891,55	R\$ 16.936.894,55

Quadro 21: Fluxo de caixa das alternativas para VMD inicial de 5500

#### 4.6.1 VPL

Como demonstra o Quadro 22, o VPL é negativo para as duas melhorias, com ambos os VMDs. Sendo assim, a escolha deverá ser a hipótese nula, ou seja, não fazer nada e manter a rodovia como rodovia de pista simples.

Ano	VMD	VPL	
		3ª Faixa	Dupla
2018	3046	-R\$ 121.101.515,07	-R\$ 378.968.941,60
2019	3137	-R\$ 512.065,11	-R\$ 281.093,11
2020	3231	-R\$ 456.945,19	-R\$ 292.527,92
2021	3328	-R\$ 387.465,07	-R\$ 147.089,61
2022	3428	-R\$ 336.687,51	-R\$ 96.956,75
2023	3531	-R\$ 16.509.990,91	-R\$ 32.439.496,26
2024	3637	-R\$ 290.848,93	R\$ 112.600,02
2025	3746	-R\$ 253.284,49	R\$ 131.395,45
2026	3858	-R\$ 219.795,69	R\$ 147.931,87
2027	3974	-R\$ 184.479,58	R\$ 211.248,98
2028	4093	-R\$ 18.825.888,03	-R\$ 37.118.406,16
2029	4216	-R\$ 132.295,25	R\$ 259.676,87
2030	4342	-R\$ 108.089,98	R\$ 298.776,85
2031	4472	-R\$ 92.144,20	R\$ 289.200,78
2032	4606	-R\$ 77.830,01	R\$ 280.989,95
2033	4744	-R\$ 5.286.747,39	-R\$ 10.146.708,10
2034	4886	-R\$ 47.256,31	R\$ 322.456,30
2035	5033	-R\$ 38.678,73	R\$ 306.598,51
2036	5184	-R\$ 27.560,38	R\$ 319.518,57
2037	5340	-R\$ 21.704,84	R\$ 300.950,31
2038	5500	-R\$ 13.002,23	R\$ 310.009,82
<b>Σ VPL</b>		<b>-R\$ 164.924.274,92</b>	<b>-R\$ 456.199.865,23</b>

Quadro 22: VPL do fluxo de caixa para VMD inicial de 3046

Ano	VMD	VPL	
		3ª Faixa	Dupla
2018	5500	-R\$ 120.625.423,36	-R\$ 375.509.554,45
2019	5665	-R\$ 87.022,91	R\$ 2.806.538,87
2020	5835	-R\$ 25.419,21	R\$ 2.844.452,24
2021	6010	R\$ 28.846,71	R\$ 2.869.583,98
2022	6190	R\$ 46.286,33	R\$ 2.676.885,96
2023	6376	-R\$ 16.140.978,27	-R\$ 29.774.717,67
2024	6567	R\$ 123.249,96	R\$ 2.677.275,67
2025	6764	R\$ 128.005,28	R\$ 2.492.467,17
2026	6967	R\$ 17.425,49	R\$ 2.471.439,51
2027	7176	R\$ 45.767,47	R\$ 2.445.977,79
2028	7391	-R\$ 18.614.257,86	-R\$ 35.064.302,98
2029	7613	R\$ 74.193,90	R\$ 2.240.858,80
2030	7841	R\$ 92.505,39	R\$ 2.202.741,60
2031	8076	R\$ 108.571,26	R\$ 2.163.227,91
2032	8318	R\$ 106.545,94	R\$ 2.003.859,78
2033	8568	-R\$ 5.106.129,80	-R\$ 8.483.971,15
2034	8825	R\$ 129.464,52	R\$ 1.925.078,20
2035	9090	R\$ 138.655,62	R\$ 1.883.879,78
2036	9363	R\$ 146.378,49	R\$ 1.840.239,42
2037	9644	R\$ 153.601,70	R\$ 1.800.170,85
2038	9933	R\$ 159.324,58	R\$ 1.755.793,07
<b>Σ VPL</b>		<b>-R\$ 159.100.408,77</b>	<b>-R\$ 409.732.075,65</b>

Quadro 23: VPL do fluxo de caixa para VMD final de 5500

#### 4.6.2 TIR

A TIR da alternativa de implementação de terceira, com VMD inicial de 3046, não pode ser determinada, pois como visto no Quadro 20, o fluxo de caixa desta alternativa é negativo em todos os anos, pois a TIR seria taxa que zeraria o VPL. Já as outras alternativas resultaram numa TIR negativa, o que indica que a escolha correta seria a opção nula, não implementar nenhuma melhoria.

VMD Inicial	TIR Projeto	
	3ª Faixa	Dupla
3046	-	-37,23%
5500	-37,52%	-13,67%

Quadro 24: TIR das melhorias propostas

### 4.6.3 B/C

No quadro abaixo está a relação B/C, que, assim como o VPL e a TIR, indica que deve ser escolhida a alternativa nula.

VMD Inicial	B/C	
	3ª Faixa	Dupla
3046	0,028	0,043
5500	0,062	0,140

Quadro 25: Relação B/C

## 5 CONCLUSÕES

Como visto no capítulo anterior a decisão correta de projeto, considerando os indicadores sócios econômicos, seria escolher a opção nula, ou seja, não fazer nada. Isto deve-se ao fato de que os custos em obras de transporte são elevados, e só se justificam melhorais quando houver um elevado VMD. Todavia, vale ressaltar que alguns custos e benefícios não foram avaliados neste estudo, sendo eles: custo de operação e desapropriação, benefícios da redução dos acidentes e redução da emissão de gases poluentes, que está atrelado a economia de combustível. Outro ponto importante, é que, tanto uma obra de duplicação ou a construção de terceira faixa, podem proporcionar o desenvolvimento de uma região, sendo assim, ter mais benefícios que os previstos neste trabalho.

Vale salientar também que a adoção de uma taxa de crescimento sem um estudo mais detalhado sobre o crescimento econômico da região onde será realizada a análise, pode representar resultados que se distanciem da realidade. Considerando isto, e que não foram inclusos todos os custos e benefícios possíveis, assim como possíveis benefícios sociais, como o desenvolvimento de uma região, recomenda-se uma análise econômica completa e detalhada do problema, que englobe todos os aspectos que não foram considerados neste trabalho.

Por fim, este trabalho deve ser visto como um exemplo de roteiro para futuros estudos de viabilidade econômica de alternativas de melhorias rodoviárias, visto que ele aborda desde o cálculo das velocidades operacionais em horários de pico, quanto a valoração dos benefícios, e considerando também a escassez de estudos nessa área.

## 6 REFERÊNCIAS

ADLER, H. A. **Economic Appraisal of Transport Project: a manual with case studies.** The John Hopkins University Press, 1978.

ALBERTA TRANSPORTATION. **Changing Lanes.** Canada, Alberta. Disponível em: <<http://www.transportation.alberta.ca/2003.htm>>. Acesso em: junho de 2017.

ANP. **Sistema de Levantamentos de Preços – Gasolina.** Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Por\\_Estado\\_Municipio.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Estado_Municipio.asp)>. Acesso em: novembro de 2017.

ANTP (1999) **Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público. Revista dos Transportes Públicos - ANTP – 1999.** Disponível em: <[http://files-server.antp.org.br/\\_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf](http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/01/10/057A84C9-76D1-4BEC-9837-7E0B0AEAF5CE.pdf)>. Acesso em: junho de 2017.

BRANCO, M. C. **A Análise-Custo Efetividade: sua aplicação como auxílio para a definição de políticas de regulamentação do uso de agrotóxicos.** Dissertação de Mestrado. 91f. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

BRASIL. DENATRAN (2017) **Relatórios Estatísticos: Frota de Veículos – 2017.** Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/237-frota-veiculos>>. Acesso em: maio de 2017.

BRISTOW A. L., NELLTHORP J. **Transport Project Appraisal in the European Union.** University of Leeds, Leeds, UK, 2010.

BUARQUE, C. **Avaliação Econômica de Projetos.** 10ª reimpressão. Rio de Janeiro : Campus, 1984.

CAFISO, S. et al. **Investigating the influence of passing relief lane sections on safety and traffic performance.** Journal of Transport & Health (2017).

CNT (2015) **Pesquisa CNT de Rodovias 2015: Relatório Gerencial.** Brasília. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/PESQUISA\\_CNT2015\\_BAIXA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/PESQUISA_CNT2015_BAIXA.pdf)>. Acesso em: abril de 2017.

- CNT (2016) **Pesquisa CNT de Rodovias 2016: Relatório Gerencial**. Brasília. Disponível em:  
<[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf)>. Acesso em: abril de 2017.
- CONTADOR, C. R. **Projetos Sociais: avaliação e prática – 3ª ed.** São Paulo : Atlas, 1987.
- DALBEM, M. C., BRANDÃO. L. MACEDO SOARES, T. D. V. A. **Avaliação Econômica de Projetos de Transporte: melhores práticas e recomendações para o Brasil**. Fundação Getúlio Vargas. Revista de Administração Pública, 2010.
- DNER (1999) **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários**. Rio de Janeiro.
- DNIT (2005) **Manual de Conservação Rodoviária - 2 ed.** Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários**. Rio de Janeiro.
- DNIT (2007) **Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas. Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos**.
- DNIT (2008) **Manual de Custos de Infra-Estrutura de Transporte – Volume 1**.
- DNIT (2010) **Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias**. Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) **Manual de Implantação Básica de Rodovia. 3ª Edição**. Rio de Janeiro.
- DNIT (2016) **Custos Médios Gerenciais: Março de 2016, SICRO 2**. Brasília. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custo-medio-gerencial/ANEXOIXCUSTOMDIOGERENCIALMARO2016N11.pdf>>. Acesso em: abril de 2017.
- GRANT-MULLER, S. M., MACKIE, P., NELLTHORP, J. AND A. PEARMAN. **Economic appraisal of European transport projects: The State-of-the-Art**. Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds, UK, 2001.

IPEA (2015) **Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras Caracterização, Tendências e Custos para a Sociedade: Relatório de Pesquisa**. Brasília. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922\\_relatorio\\_acidentes\\_transito.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/150922_relatorio_acidentes_transito.pdf)>. Acesso em: abril de 2017.

KRAEMER, T. H. **Modelos Econômicos de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais - MECAIA**. 192f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LANG, A. E. **As Ferrovias no Brasil e Avaliação Econômica de Projetos: uma aplicação em projetos rodoviários**. 151f. Dissertação de Mestrado. Faculdade e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

MIYABUKURO, S. B. **Estudo da Análise de Custo-Efetividade no Planejamento de Políticas Público-Privadas de Longo Prazo Integrada à Análise de Custo-Benefício**. 78f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2014.

MISSOURI DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Driving on a Shared Four-Lane**. United States of America, Missouri. Disponível em: <<http://www.modot.org/Shared4-Lane/Shared4Lane.htm>>. Acesso em: junho de 2017.

MOREIRA, R. **Avaliação de Projetos de Transporte Utilizando Análise Benefício Custo e Método de Análise Hierárquica**. 136f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2000.

NETO, A. A. **Os Métodos Quantitativos de Análise de Investimentos**. FEA/USP, São Paulo, SP, 1992.

PEDROZO, L.G. **Custos da Infra-Estrutura Rodoviária: Análise e sistematização**. 183f. Dissertação de Mestrado, mestrado profissionalizante em engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

PIRES, R. F. **Avaliação Socioeconômica da Rodovia BR-448: Uma Abordagem Expedita Utilizando a Análise de Custo-Benefício**. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

PORTAL ESTRADAS. Brasil. Disponível em: < <http://estradas.com.br/>>. Brasil. Acesso em: junho de 2017.

SANTOS, C. C. **O Valor do Tempo em na Avaliação de Projetos de Transporte**. 78f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

SCHROEDER, J. T. et al. **O Custo de Capital Como Taxa Mínima de Atratividade na Avaliação de Projetos de Investimento**. Revista Gestão Industrial, 2005.

SEHN, D. **Avaliação Econômica de Projetos de Infraestrutura de Transportes: uma metodologia aplicada a tomada de decisão governamental**. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Sócio Econômico. Departamento de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

SENNA, L. A. S. **Economia e Planejamento dos Transportes – 1ªed**. Rio de Janeiro : Elsevier, 2014.

THE WORLD BANK (1998). **Handbook on Economic Analysis of Investment Operations**. Washington, DC.

THE WORLD BANK (2005). **A framework for the economic evaluation of transport project**. The World Bank. Transport Note No. TRN-5. Washington, DC. Disponível em: < <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1231943010251/trn-5EENote2.pdf>>. Acesso em: junho de 2017.

THE WORLD BANK (2005). **When and How to Use NPV, IRR and Modified IRR**. The World Bank. Transport Note No. TRN-6. Washington, DC. Dinponivel em:< <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1231943010251/trn-6EENote2.pdf>>. Acesso em: junho de 2017.

THE WORLD BANK (2005). **Where to Use Cost Effectiveness Techniques Rather Than Cost Benefit-Analysis**. The World Bank. Transport Note No. TRN-9. Washington, DC. Disponível em: < <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1231943010251/trn-9EENote2.pdf>>. Acesso em: junho de 20017.

THE WORLD BANK (2005). **Valuation of Time Savings**. The World Bank. Transport Note No. TRN-15. Washington, DC. Disponível em:

<<http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1231943010251/trn-15EENote2.pdf>>. Acesso em: junho de 20017.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual - 2000**.

Washington, DC, 2000.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual - 2010**.

Washington, DC, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2003). **Making choices in health: WHO guide to cost-effectiveness analysis**. Switzerland, Geneva.

## **APÊNDICE A – Cálculo das Velocidades Operacionais**

PISTA SIMPLES															
Ano	VDM	VHP (veic/h)	VHP fluxo direcional (veic/h)	Et	Er	% de Veículos Pesado	% de Veículos Leves	fhv	fg	q (cp/h)	q fluxo oposto (cp/h)	Vb (km/h)	Vfl (km/h)	fNP (km/h)	Vop pico (km/h)
2018	3046	259	130	2,6	1,1	0,52	0,48	0,258	0,69	1655	828	80	78	1,4	56
2019	3137	267	134	2,6	1,1	0,52	0,48	0,258	0,69	1706	853	80	78	1,4	55
2020	3231	275	138	2,5	1,1	0,52	0,48	0,261	0,71	1685	842	80	78	1,4	56
2021	3328	283	142	2,5	1,1	0,52	0,48	0,261	0,71	1734	867	80	78	1,4	55
2022	3428	291	146	2,5	1,1	0,52	0,48	0,261	0,71	1783	891	80	78	1,3	55
2023	3531	300	150	2,5	1,1	0,51	0,49	0,262	0,71	1831	916	80	78	1,3	54
2024	3637	309	155	2,5	1,1	0,51	0,49	0,262	0,71	1886	943	80	78	1,2	53
2025	3746	318	159	2,5	1,1	0,51	0,49	0,262	0,72	1914	957	80	78	1,2	53
2026	3858	328	164	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	1921	961	80	78	1,2	53
2027	3974	338	169	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	1980	990	80	78	1,1	52
2028	4093	348	174	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	2038	1019	80	78	1,1	52
2029	4216	358	179	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	2097	1049	80	78	1,1	51
2030	4342	369	185	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,74	2132	1066	80	78	1,1	50
2031	4472	380	190	2,3	1,1	0,51	0,49	0,269	0,75	2137	1069	80	78	1,1	50
2032	4606	392	196	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,75	2198	1099	80	78	1,1	50
2033	4744	403	202	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,75	2259	1130	80	78	1,1	49
2034	4886	415	208	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,75	2327	1163	80	78	1,1	48
2035	5033	428	214	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,77	2337	1169	80	78	1,1	48
2036	5184	441	221	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,77	2408	1204	80	78	1,1	47
2037	5340	454	227	2,2	1,1	0,50	0,50	0,274	0,77	2446	1223	80	78	1,1	47
2038	5500	468	234	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,77	2513	1257	80	78	1,1	46

PISTA SIMPLES															
Ano	VDM	VHP (veic/h)	VHP fluxo direcional (veic/h)	Et	Er	% de Veículos Pesado	% de Veículos Leves	flv	fg	q (cp/h)	q fluxo oposto (cp/h)	Vb (km/h)	Vfl (km/h)	fNP (km/h)	Vopíco (km/h)
2018	5500	468	234	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,77	2513	1257	80	78	1,1	46
2019	5665	482	241	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,79	2523	1262	80	78	1,1	46
2020	5835	496	248	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,79	2596	1298	80	78	1,0	45
2021	6010	511	256	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,79	2675	1337	80	78	1,0	44
2022	6190	526	263	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,81	2685	1343	80	78	1,0	44
2023	6376	542	271	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,81	2767	1384	80	78	1,0	43
2024	6567	558	279	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,81	2803	1401	80	78	1,0	42
2025	6764	575	288	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,83	2818	1409	80	78	1,0	42
2026	6967	592	296	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,83	2902	1451	80	78	0,9	41
2027	7176	610	305	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,83	2990	1495	80	78	0,9	40
2028	7391	628	314	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,85	3015	1507	80	78	0,9	40
2029	7613	647	324	2,1	1,1	0,47	0,53	0,280	0,85	3097	1549	80	78	0,8	39
2030	7841	666	333	2,1	1,1	0,47	0,53	0,280	0,85	3188	1594	80	78	0,8	38
2031	8076	686	343	2,1	1,1	0,47	0,53	0,280	0,87	3217	1609	80	78	0,8	37
2032	8318	707	354	2,0	1,1	0,47	0,53	0,284	0,87	3272	1636	80	78	0,8	37
2033	8568	728	364	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,88	3294	1647	80	78	0,8	36
2034	8825	750	375	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,88	3394	1697	80	78	0,8	35
2035	9090	773	387	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,88	3498	1749	80	78	0,8	34
2036	9363	796	398	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,90	3532	1766	80	78	0,8	33
2037	9644	820	410	2,0	1,1	0,45	0,55	0,285	0,90	3629	1814	80	78	0,8	32
2038	9933	844	422	2,0	1,1	0,45	0,55	0,285	0,91	3694	1847	80	78	0,8	31

TERCEIRA FAIXA																	
Ano	VDM	VHP (veic/h)	VHP fluxo direcional (veic/h)	Et	Er	% de Veículos Pesado	% de Veículos Leves	f <sub>lv</sub>	f <sub>g</sub>	q (cp/h)	q fluxo oposto (cp/h)	V <sub>b</sub> (km/h)	V <sub>l</sub> (km/h)	fNP (km/h)	V pista simples (km/h)	fator mult.	Vop pico (km/h)
2018	3046	259	130	2,6	1,1	0,52	0,48	0,258	0,69	1655	828	80	78	1,4	56	1,084	61
2019	3137	267	134	2,6	1,1	0,52	0,48	0,258	0,69	1706	853	80	78	1,4	55	1,084	60
2020	3231	275	138	2,5	1,1	0,52	0,48	0,261	0,71	1685	842	80	78	1,4	56	1,084	61
2021	3328	283	142	2,5	1,1	0,52	0,48	0,261	0,71	1734	867	80	78	1,4	55	1,084	60
2022	3428	291	146	2,5	1,1	0,52	0,48	0,261	0,71	1783	891	80	78	1,3	55	1,084	60
2023	3531	300	150	2,5	1,1	0,51	0,49	0,262	0,71	1831	916	80	78	1,3	54	1,084	59
2024	3637	309	155	2,5	1,1	0,51	0,49	0,262	0,71	1886	943	80	78	1,2	53	1,084	57
2025	3746	318	159	2,5	1,1	0,51	0,49	0,262	0,71	1941	971	80	78	1,2	53	1,084	57
2026	3858	328	164	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,72	1948	974	80	78	1,2	53	1,084	57
2027	3974	338	169	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	1980	990	80	78	1,1	52	1,084	56
2028	4093	348	174	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	2038	1019	80	78	1,1	52	1,084	56
2029	4216	358	179	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,73	2097	1049	80	78	1,1	51	1,084	55
2030	4342	369	185	2,4	1,1	0,51	0,49	0,266	0,74	2132	1066	80	78	1,1	50	1,084	54
2031	4472	380	190	2,3	1,1	0,51	0,49	0,269	0,75	2137	1069	80	78	1,1	50	1,084	54
2032	4606	392	196	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,75	2198	1099	80	78	1,1	50	1,084	54
2033	4744	403	202	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,75	2259	1130	80	78	1,1	49	1,084	53
2034	4886	415	208	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,75	2327	1163	80	78	1,1	48	1,084	52
2035	5033	428	214	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,77	2337	1169	80	78	1,1	48	1,084	52
2036	5184	441	221	2,3	1,1	0,50	0,50	0,270	0,77	2408	1204	80	78	1,1	47	1,084	51
2037	5340	454	227	2,2	1,1	0,50	0,50	0,274	0,77	2446	1223	80	78	1,1	47	1,084	51
2038	5500	468	234	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,77	2513	1257	80	78	1,1	46	1,084	50

TERCEIRA FAIXA																	
Ano	VDM	VHP (veic/h)	VHP fluxo direcional (veic/h)	Et	Er	% de Veículos Pesado	% de Veículos Leves	flv	fg	q (cp/h)	q fluxo oposto (cp/h)	Vb (km/h)	Vl (km/h)	INP (km/h)	Vpico (km/h)	fator mult.	Vop pico (km/h)
2018	5500	468	234	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,77	2513	1257	80	78	1,1	46	1,084	50
2019	5665	482	241	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,79	2523	1262	80	78	1,1	46	1,084	50
2020	5835	496	248	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,79	2596	1298	80	78	1,0	45	1,084	49
2021	6010	511	256	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,79	2675	1337	80	78	1,0	44	1,084	48
2022	6190	526	263	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,81	2685	1343	80	78	1,0	44	1,084	48
2023	6376	542	271	2,2	1,1	0,49	0,51	0,275	0,81	2767	1384	80	78	1,0	43	1,084	47
2024	6567	558	279	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,81	2803	1401	80	78	1,0	42	1,084	46
2025	6764	575	288	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,83	2818	1409	80	78	1,0	42	1,084	46
2026	6967	592	296	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,83	2902	1451	80	78	0,9	41	1,084	44
2027	7176	610	305	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,83	2990	1495	80	78	0,9	40	1,084	43
2028	7391	628	314	2,1	1,1	0,48	0,52	0,279	0,85	3015	1507	80	78	0,9	40	1,084	43
2029	7613	647	324	2,1	1,1	0,47	0,53	0,280	0,85	3097	1549	80	78	0,8	39	1,084	42
2030	7841	666	333	2,1	1,1	0,47	0,53	0,280	0,85	3188	1594	80	78	0,8	38	1,084	41
2031	8076	686	343	2,1	1,1	0,47	0,53	0,280	0,87	3217	1609	80	78	0,8	37	1,084	40
2032	8318	707	354	2,0	1,1	0,47	0,53	0,284	0,87	3272	1636	80	78	0,8	37	1,084	40
2033	8568	728	364	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,88	3294	1647	80	78	0,8	36	1,084	39
2034	8825	750	375	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,88	3394	1697	80	78	0,8	35	1,084	38
2035	9090	773	387	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,88	3498	1749	80	78	0,8	34	1,084	37
2036	9363	796	398	2,0	1,1	0,46	0,54	0,285	0,90	3532	1766	80	78	0,8	33	1,084	36
2037	9644	820	410	2,0	1,1	0,45	0,55	0,285	0,90	3629	1814	80	78	0,8	32	1,084	35
2038	9933	844	422	2,0	1,1	0,45	0,55	0,285	0,91	3694	1847	80	78	0,8	31	1,084	34

DUPLICAÇÃO								
Ano	VDM	VHP (veic/h)	% de Veículos Pesado	% de Veículos Leves	fhv	q (cp/h/fx)	Vfl (km/h)	Vop pico (km/h)
2018	3046	259	0,52	0,48	0,442	333	78	78
2019	3137	267	0,52	0,48	0,442	343	78	78
2020	3231	275	0,52	0,48	0,442	353	78	78
2021	3328	283	0,52	0,48	0,442	363	78	78
2022	3428	291	0,52	0,48	0,442	374	78	78
2023	3531	300	0,51	0,49	0,443	384	78	78
2024	3637	309	0,51	0,49	0,443	396	78	78
2025	3746	318	0,51	0,49	0,443	407	78	78
2026	3858	328	0,51	0,49	0,443	420	78	78
2027	3974	338	0,51	0,49	0,443	433	78	78
2028	4093	348	0,51	0,49	0,443	446	78	78
2029	4216	358	0,51	0,49	0,443	459	78	78
2030	4342	369	0,51	0,49	0,443	473	78	78
2031	4472	380	0,51	0,49	0,443	487	78	78
2032	4606	392	0,50	0,50	0,444	501	78	78
2033	4744	403	0,50	0,50	0,444	515	78	78
2034	4886	415	0,50	0,50	0,444	531	78	78
2035	5033	428	0,50	0,50	0,444	547	78	78
2036	5184	441	0,50	0,50	0,444	564	78	78
2037	5340	454	0,50	0,50	0,444	580	78	78
2038	5500	468	0,49	0,51	0,445	597	78	78

DUPLICAÇÃO								
Ano	VDM	VHP (veic/h)	% de Veículos Pesado	% de Veículos Leves	fhv	q (cp/h/fx)	Vfl (km/h)	Vop pico (km/h)
2018	5500	468	0,49	0,51	0,445	597	78	78
2019	5665	482	0,49	0,51	0,445	615	78	78
2020	5835	496	0,49	0,51	0,445	633	78	78
2021	6010	511	0,49	0,51	0,445	652	78	78
2022	6190	526	0,49	0,51	0,445	671	78	78
2023	6376	542	0,49	0,51	0,445	691	78	78
2024	6567	558	0,48	0,52	0,446	710	78	78
2025	6764	575	0,48	0,52	0,446	732	78	78
2026	6967	592	0,48	0,52	0,446	753	78	78
2027	7176	610	0,48	0,52	0,446	776	78	78
2028	7391	628	0,48	0,52	0,446	799	78	78
2029	7613	647	0,47	0,53	0,447	822	78	78
2030	7841	666	0,47	0,53	0,447	846	78	78
2031	8076	686	0,47	0,53	0,447	871	78	78
2032	8318	707	0,47	0,53	0,447	898	78	78
2033	8568	728	0,46	0,54	0,448	922	78	78
2034	8825	750	0,46	0,54	0,448	950	78	78
2035	9090	773	0,46	0,54	0,448	979	78	78
2036	9363	796	0,46	0,54	0,448	1009	78	78
2037	9644	820	0,45	0,55	0,449	1037	78	78
2038	9933	844	0,45	0,55	0,449	1067	78	78

## **APÊNDICE B – Cálculo dos custos**

Ano	Custos de Implementação		Custos de Conservação		Custos de Manutenção		Custo Total	
	3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla
2018	R\$ 120.500.000,00	R\$ 378.500.000,00	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 121.560.000,00	R\$ 380.620.000,00
2019	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2020	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2021	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2022	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2023	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	R\$ 28.600.000,00	R\$ 57.200.000,00	R\$ 29.660.000,00	R\$ 59.320.000,00
2024	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2025	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2026	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2027	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2028	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	R\$ 57.975.000,00	R\$ 115.950.000,00	R\$ 59.035.000,00	R\$ 118.070.000,00
2029	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2030	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2031	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2032	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2033	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	R\$ 28.600.000,00	R\$ 57.200.000,00	R\$ 29.660.000,00	R\$ 59.320.000,00
2034	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2035	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2036	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2037	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00
2038	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00	0	0	R\$ 1.060.000,00	R\$ 2.120.000,00

## **APÊNDICE C – Cálculo dos benefícios**

Ano	VMID	Usuários Beneficiados	Economia de Tempo Anual (h)		Valoração da Economia de Tempo		Veículos Beneficiados	Economia de Combustível (L)		Valoração da Economia de Combustível	
			3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla		3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla
2018	3046	698.182	51.096,46	175.824,22	R\$ 284.096,31	R\$ 977.582,67	248.640	41.071	158.614	R\$ 174.388,63	R\$ 673.475,73
2019	3137	719.747	54.526,29	192.939,17	R\$ 303.166,16	R\$ 1.072.741,80	256.320	43.175	172.500	R\$ 183.320,91	R\$ 732.433,92
2020	3231	741.312	54.252,93	186.685,71	R\$ 301.646,28	R\$ 1.037.972,57	264.000	43.608	168.413	R\$ 185.161,67	R\$ 715.080,41
2021	3328	762.877	57.793,71	204.500,83	R\$ 321.333,04	R\$ 1.137.024,60	271.680	45.762	182.837	R\$ 194.306,44	R\$ 776.325,09
2022	3428	784.442	59.427,42	210.281,66	R\$ 330.416,48	R\$ 1.169.166,00	279.360	47.056	188.005	R\$ 199.799,20	R\$ 798.270,67
2023	3531	810.432	63.593,22	230.892,31	R\$ 353.578,31	R\$ 1.283.761,23	288.000	49.500	204.136	R\$ 210.176,52	R\$ 866.762,33
2024	3637	834.745	55.262,83	252.402,33	R\$ 307.261,32	R\$ 1.403.356,98	296.640	42.076	221.125	R\$ 178.654,46	R\$ 938.895,50
2025	3746	859.058	56.872,43	259.753,87	R\$ 316.210,69	R\$ 1.444.231,52	305.280	43.301	227.565	R\$ 183.857,99	R\$ 966.241,97
2026	3838	886.072	58.660,84	267.922,11	R\$ 326.154,27	R\$ 1.489.646,93	314.880	44.663	234.721	R\$ 189.639,68	R\$ 996.626,94
2027	3974	913.086	62.711,95	292.655,77	R\$ 348.678,45	R\$ 1.627.166,08	324.480	47.043	254.038	R\$ 199.745,16	R\$ 1.078.643,99
2028	4093	940.101	64.567,38	301.314,42	R\$ 358.994,61	R\$ 1.675.308,19	334.080	48.435	261.554	R\$ 205.654,78	R\$ 1.110.556,53
2029	4216	967.115	68.956,51	328.206,45	R\$ 383.398,17	R\$ 1.824.827,85	343.680	50.967	282.259	R\$ 216.406,18	R\$ 1.198.471,13
2030	4342	996.831	73.839,33	357.836,77	R\$ 410.546,69	R\$ 1.989.572,44	354.240	53.777	304.865	R\$ 228.337,33	R\$ 1.294.454,99
2031	4472	1.026.547	76.040,52	368.504,05	R\$ 422.785,28	R\$ 2.048.882,53	364.800	55.380	313.953	R\$ 235.144,13	R\$ 1.333.043,08
2032	4606	1.061.222	78.609,04	380.951,49	R\$ 437.066,25	R\$ 2.118.090,27	376.320	57.129	323.867	R\$ 242.569,73	R\$ 1.375.139,17
2033	4744	1.091.002	84.020,18	413.907,09	R\$ 467.152,18	R\$ 2.301.323,42	386.880	60.172	348.564	R\$ 255.488,33	R\$ 1.480.002,53
2034	4886	1.123.488	90.023,08	450.115,38	R\$ 500.528,31	R\$ 2.502.641,54	398.400	63.536	375.446	R\$ 269.771,91	R\$ 1.594.142,49
2035	5033	1.158.682	92.843,11	464.215,54	R\$ 516.207,69	R\$ 2.581.038,43	410.880	65.926	387.207	R\$ 278.222,60	R\$ 1.644.079,48
2036	5184	1.193.875	99.614,10	504.775,30	R\$ 553.854,40	R\$ 2.806.550,67	423.360	69.290	416.989	R\$ 294.207,25	R\$ 1.770.536,22
2037	5340	1.229.069	102.550,60	519.655,47	R\$ 570.181,36	R\$ 2.889.284,41	435.840	71.333	429.281	R\$ 302.880,03	R\$ 1.822.728,89
2038	5500	1.269.665	110.405,65	566.182,83	R\$ 613.855,43	R\$ 3.147.976,54	449.280	75.535	462.192	R\$ 320.721,22	R\$ 1.962.469,00

Ano	VM/D	Usuários Beneficiários	Economia de Tempo Anual (h)		Valorização da Economia de Tempo		Veículos Beneficiários	Economia de Combustível (L)		Valorização da Economia de Combustível	
			3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla		3ª Faixa	Dupla	3ª Faixa	Dupla
2018	5500	1.269.665	110.406	566.183	R\$ 613.855,43	R\$ 3.147.976,54	449.280	75.535	462.192	R\$ 320.721,22	R\$ 1.962.469,00
2019	5665	1.307.647	113.708	583.120	R\$ 632.218,90	R\$ 3.242.148,19	462.720	77.794	476.019	R\$ 330.315,44	R\$ 2.021.175,34
2020	5835	1.345.629	122.053	632.561	R\$ 678.611,99	R\$ 3.517.037,16	476.160	82.313	511.315	R\$ 349.502,15	R\$ 2.171.043,73
2021	6010	1.386.323	131.281	686.698	R\$ 729.920,06	R\$ 3.818.043,41	490.560	87.284	549.580	R\$ 370.607,48	R\$ 2.333.515,46
2022	6190	1.427.017	135.134	706.856	R\$ 751.346,07	R\$ 3.930.117,91	504.960	89.846	565.712	R\$ 381.486,37	R\$ 2.402.013,96
2023	6376	1.470.424	145.514	767.216	R\$ 809.060,61	R\$ 4.265.720,19	520.320	95.389	607.879	R\$ 405.020,59	R\$ 2.581.053,76
2024	6567	1.517.046	157.044	833.542	R\$ 873.165,19	R\$ 4.634.492,18	535.680	101.297	652.373	R\$ 430.108,38	R\$ 2.769.975,27
2025	6764	1.563.264	161.829	858.936	R\$ 899.766,86	R\$ 4.775.685,63	552.000	104.383	672.248	R\$ 443.212,04	R\$ 2.854.365,19
2026	6967	1.609.482	133.826	931.064	R\$ 744.073,16	R\$ 5.176.714,15	568.320	84.567	721.262	R\$ 359.071,72	R\$ 3.062.479,07
2027	7176	1.658.419	144.630	1.009.935	R\$ 804.140,38	R\$ 5.615.236,64	585.600	90.150	774.294	R\$ 382.776,41	R\$ 3.287.652,42
2028	7391	1.707.356	148.897	1.039.736	R\$ 827.869,13	R\$ 5.780.932,30	602.880	92.810	797.142	R\$ 394.071,46	R\$ 3.384.665,11
2029	7613	1.762.739	161.423	1.129.961	R\$ 897.511,80	R\$ 6.282.582,59	621.120	99.052	855.477	R\$ 420.575,41	R\$ 3.632.356,77
2030	7841	1.814.503	174.695	1.224.361	R\$ 971.306,48	R\$ 6.807.447,15	639.360	105.768	917.188	R\$ 449.092,30	R\$ 3.894.381,25
2031	8076	1.868.993	189.425	1.327.594	R\$ 1.053.202,81	R\$ 7.381.421,42	658.560	113.176	983.940	R\$ 480.547,11	R\$ 4.177.808,68
2032	8318	1.926.208	195.224	1.368.235	R\$ 1.085.444,24	R\$ 7.607.386,97	678.720	116.641	1.014.060	R\$ 495.257,74	R\$ 4.305.700,79
2033	8568	1.987.614	212.352	1.486.463	R\$ 1.180.676,69	R\$ 8.264.736,85	698.880	124.961	1.087.539	R\$ 530.586,05	R\$ 4.617.689,18
2034	8825	2.047.680	230.941	1.612.642	R\$ 1.284.033,92	R\$ 8.966.288,18	720.000	134.158	1.167.028	R\$ 569.634,55	R\$ 4.955.199,02
2035	9090	2.110.475	251.646	1.750.771	R\$ 1.399.154,33	R\$ 9.734.287,41	742.080	144.338	1.253.064	R\$ 612.860,82	R\$ 5.320.508,22
2036	9363	2.173.271	274.403	1.899.712	R\$ 1.525.680,15	R\$ 10.562.401,01	764.160	155.432	1.344.554	R\$ 659.965,40	R\$ 5.708.977,20
2037	9644	2.243.520	300.471	2.067.346	R\$ 1.670.621,14	R\$ 11.494.444,62	787.200	167.761	1.443.711	R\$ 712.313,65	R\$ 6.129.997,92
2038	9933	2.309.184	328.631	2.244.244	R\$ 1.827.191,13	R\$ 12.477.997,58	810.240	181.277	1.549.434	R\$ 769.700,42	R\$ 6.578.896,97