

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO NOS
CUSTOS DO USUÁRIO.**

ARTHUR PEDROSA VIANNA

ORIENTADOR: FÁBIO ZANCHETTA

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2020

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO NOS
CUSTOS DO USUÁRIO.**

ARTHUR PEDROSA VIANNA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

**FÁBIO ZANCHETTA, Eng ° Civil, Dr. (USP)
(ORIENTADOR)**

**RAFAEL CERQUEIRA SILVA, Eng ° Civil, Dr. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DAN IMBROISI BRANT TEIXEIRA, Eng ° Civil, Analista de planejamento Urbano e Infraestrutura (DER-DF)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 07 de DEZEMBRO de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

VIANNA, ARTHUR PEDROSA

Influência Da Condição Do Pavimento Nos Custos Do Usuário [Distrito Federal] 2020.

xii, 79 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 1990)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Análise de influência

2. Custos ao Usuário

3. HDM-4

4. Sistema de Gerência de Pavimentos

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIANNA, A.P (2019). Influência Da Condição Do Pavimento Nos Custos Do Usuário. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-001/90, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 79 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Arthur Pedrosa Vianna

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Influência Da Condição Do Pavimento Nos Custos Do Usuário.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2020

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Arthur Pedrosa Vianna

SQS 308 Bloco A apto 109

70355-010 – Brasília/DF – Brasil.

Dedico este trabalho à minha família que sempre me apoiou e me incentivou a realizar meus objetivos.

INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO NOS CUSTOS DO USUÁRIO.

RESUMO

Rodovias possuem um papel essencial na economia de um país, seja para o transporte de insumos básicos, seja para o abastecimento de alimento das cidades, ou até mesmo para o deslocamento da população. Portanto, é fácil perceber a necessidade de uma infraestrutura viária que possibilite a utilização desse modo com o mínimo de impedimentos ou gargalos possíveis. Os usuários das vias sofrem diretamente as consequências de pavimentos com deficiências, seja pelo aumento da duração dos deslocamentos, riscos de acidentes e/ou gastos com manutenções dos veículos. Todas essas problemáticas podem ser convertidas em custos que serão incididos aos condutores. Neste projeto final foi analisada a influência da condição dos pavimentos nos custos refletidos aos usuários das rodovias do Brasil utilizando-se dados coletados pelas pesquisas anuais da Confederação Nacional do Transportes (CNT) que foram convertidos em valores de índice de irregularidade internacional (IRI). Com o auxílio do *software Highway Design and Maintenance-4* foram calculados os custos aos usuários para cada região do Brasil, bem como para o país ao longo de um período de análise de dez anos devido as variações da condição dos pavimentos observadas nas pesquisas da CNT. Os valores obtidos demonstraram a relação de dependência do custo aos usuários com a condição dos pavimentos.

Palavras-Chave: Análise de influência; Custos ao Usuário; HDM-4; Sistema de Gerência de Pavimentos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
1.2	Justificativa.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Sistemas de gerência de pavimentos.....	19
2.2	Indicadores para avaliação da condição do pavimento.....	21
2.2.1	Índice de irregularidade internacional (IRI).....	23
2.2.2	Índice de condição do pavimento (PCI).....	24
2.3	Análise econômica e benefícios de um SGP.....	24
3	MATERIAS E MÉTODOS.....	29
3.1	Pesquisa CNT de rodovias.....	29
3.1.1	Condição da superfície dos pavimentos – CNT.....	30
3.1.2	Velocidade devido ao pavimento – CNT.....	32
3.1.3	Pavimento do acostamento - CNT.....	33
3.2	<i>Highway Design And Maintenance</i> - 4.....	38
3.2.1	HDM4 – <i>Road User Cost Model</i>	43
3.3	Relação entre PCI, IRI e pontuação CNT.....	44
4	RESULTADOS.....	46
4.1	Resultados de custos ao usuário devido à variação do IRI.....	46
4.1.1	Região Norte.....	46
4.1.2	Região Nordeste.....	50
4.1.3	Região Sudeste.....	53
4.1.4	Região Sul.....	56
4.1.5	Região Centro-Oeste.....	59
4.1.6	Brasil.....	62
5	CONCLUSÕES.....	67

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
----------------------------------	----

APÊNDICE A – VALORES SUGERIDOS PELO HDM-4 - RUC PARA CÁLCULO DO CUSTO AO USUÁRIO	72
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Condição dos Pavimentos do Brasil 2019. Fonte: (CNT 2019).....	14
Figura 2 - Ciclo do sistema de gerência de pavimentos de uma malha viária. Fonte: (Autor)	15
Figura 3 - Evolução do investimento federal em infraestrutura de transportes no Brasil. Fonte: (CNT 2018).	17
Figura 4 - Curva de custos por qualidade do pavimento. Fonte: (Autor).....	18
Figura 5 - Estado geral dos pavimentos das rodovias de 2005 a 2019. Fonte (Autor).....	21
Figura 6 - Escala de conversão de pontuação para categoria de ICP. Fonte: (Shahin, 1994, Adaptado).	24
Figura 7 - Variação do índice de serventia pelo intervalo de tempo para manutenção. Fonte: (Haas, Hudson e Zaniewski 1994).....	25
Figura 8 - Variação de custo de manutenção pelo Índice de serventia. Fonte: (F. Júnior, ODA e L.F 2003).	26
Figura 9 - Custo total por ano de cada política. Fonte: (Picado, et al. 2004).	26
Figura 10 - Evolução da condição do pavimento para o seguimento 454 sob as políticas I, II e III. Fonte: (Picado, et al. 2004).....	27
Figura 11 - Resultados encontrados na pesquisa sobre condição de pavimentos para os quatro cenários. Fonte: (Zofka, Pailiukaite e Mechowski 2014).....	27
Figura 12 - Distribuição de alocação de recursos para manutenções ao longo dos anos. Fonte: (Zofka, Pailiukaite e Mechowski 2014).	28
Figura 13 - Valor presente líquido dos custos totais (custo do usuário, agências gestoras e M&R) associados a cada cenário. Fonte: (Zofka, Pailiukaite e Mechowski 2014).....	28
Figura 14 - Grupo de variáveis de coleta de dados para pesquisa CNT de rodovias. Fonte: Adaptado (CNT 2019).	30
Figura 15 - Distribuição da condição do pavimento no Brasil no período de 2010 a 2019. Fonte: (Autor)	35

Figura 16 - Modelo de relações entre Custos de Construção, Manutenção e Uso. Fonte: (Watanatada, et al, 1987, Adaptado).	40
Figura 17 - Modelo de previsão da irregularidade longitudinal para o HDM – 4, Fonte: (Morosiuk, Riley, & Toole, 2006).	42
Figura 18 - Relação entra custo de operação de diferentes veículos com a condição do pavimento, Fonte: (Morosiuk, Riley, & Toole, 2006).	43
Figura 19 - Esquema de simplificação do PCI. Fonte: (Autor)	44
Figura 20 - Relação entre IRI, PCI e Método CNT. Fonte: (Autor)	45
Figura 21 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Norte Fonte: (Autor)	46
Figura 22 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Norte Fonte: (Autor)	48
Figura 23 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Norte Fonte: (Autor)	49
Figura 24 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Nordeste Fonte: (Autor)	50
Figura 25 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Nordeste Fonte: (Autor)	51
Figura 26 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Nordeste Fonte: (Autor)	52
Figura 27 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Sudeste Fonte: (Autor)	53
Figura 28 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Sudeste Fonte: (Autor)	54
Figura 29 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Sudeste Fonte: (Autor)	55
Figura 30 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Sul Fonte: (Autor)	56

Figura 31 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Sul Fonte: (Autor)	57
Figura 32 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Sul Fonte: (Autor).....	58
Figura 33 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Centro-Oeste Fonte: (Autor).....	59
Figura 34 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Centro-Oeste Fonte: (Autor).....	60
Figura 35 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Centro-Oeste Fonte: (Autor).....	61
Figura 36 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos no Brasil Fonte: (Autor)	62
Figura 37 - Gráfico de Custo do usuário por ano no Brasil Fonte: (Autor)	63
Figura 38 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo no Brasil Fonte: (Autor)	64
Figura 39 - Gráfico de custo ao usuário por km por região Fonte: (Autor)	65
Figura 40 - Custo médio ao usuário por quilômetro ao longo de dez anos Fonte: (Autor).....	65
Figura 41 - Porcentagem de rodovias concedidas por região no ano de 2019 Fonte: (DNITa 2019).....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais métodos na literatura para avaliação de aspectos de desempenho de um pavimento	22
Tabela 2 - Categorias de condição da superfície de pavimentos, Fonte: (CNT, 2019).....	31
Tabela 3 - Categorias de velocidade devido ao pavimento, Fonte: (CNT, 2019).	33
Tabela 4 - Categorias de pavimentos do acostamento, Fonte: (CNT, 2019).....	33
Tabela 5 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2010. (CNT, 2010).....	35
Tabela 6 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2011. (CNT, 2011).....	36
Tabela 7 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2012. (CNT, 2012).....	36
Tabela 8 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2013. (CNT, 2013).....	36
Tabela 9 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2014. (CNT, 2014).....	36
Tabela 10 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2015. (CNT, 2015).....	37
Tabela 11 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2016. (CNT, 2016).....	37
Tabela 12 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2017. (CNT, 2017).....	37
Tabela 13 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2018. (CNT, 2018).....	37
Tabela 14 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2019. (CNT, 2019).....	38
Tabela 15 – Tabela de custos ao usuário obtidos para a Região Norte Fonte: (Autor).....	47
Tabela 16 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Nordeste Fonte: (Autor).....	51
Tabela 17 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Sudeste Fonte:(Autor).....	54
Tabela 18 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Sul Fonte: (Autor).....	57

Tabela 19 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Centro-Oeste Fonte: (Autor)..	60
Tabela 20 - Tabela de custos ao usuário obtidos para o Brasil Fonte: (Autor)	63
Tabela 21 - Tabela de custos unitários adotados. Fonte: (Autor).....	72
Tabela 22 - Características básicas da frota de veículos adotada. Fonte: (Autor).....	72
Tabela 23 - Mais características básicas da frota de veículos adotada. Fonte: (Autor).....	73
Tabela 24 - Parâmetros da força aerodinâmica adotados. Fonte: (Autor).....	73
Tabela 25 - Parâmetros da força de resistência ao rolamento adotados. Fonte: (Autor).....	74
Tabela 26 - Parâmetros de potência da frota adotados. Fonte: (Autor).....	74
Tabela 27 - Parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor).....	75
Tabela 28 - Mais parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor).....	75
Tabela 29 - Mais parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor).....	76
Tabela 30 - Mais parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor).....	76
Tabela 31 - Parâmetros de velocidade adotados. Fonte: (Autor)	77
Tabela 32 - Parâmetros de combustível adotados. Fonte: (Autor)	77
Tabela 33 - Mais parâmetros de combustível adotados. Fonte: (Autor)	78
Tabela 34 - Parâmetros de aceleração sonora adotados. Fonte: (Autor)	78
Tabela 35 - Parâmetros de características de pneus adotados. Fonte: (Autor)	79
Tabela 36 - Volume diário médio anual de tráfego adotado Fonte: (Autor)	79
Tabela 37 - Volume diário médio anual de tráfego adotado continuação Fonte: (Autor).....	79

LISTA DE SÍMBOLOS

AASHO – *American Association of State Highway Official.*

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento.

BIRD – Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento.

CNT – Confederação Nacional do Transporte.

EUA – Estados Unidos da América

FHWA – *Federal Highway Administration.*

FWD – *Falling Weight Deflectometer.*

GEITOP – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes.

HDM – *Highway Design and Maintenance.*

IGG – Índice de Gravidade Global.

IRI – *International Roughness Index.*

M&R – Manutenção e Reabilitação.

PCI – *Pavement Condition Index.*

SAD – Sistema de Apoio a Decisão.

SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos.

TRB – *Transportation Research Board.*

UNDP – *United Nations Development Programme.*

VOC – *Vehicle Operating Cost.*

WSDOT – *Washington Department of Transportation.*

WSPMS – *Washington State Pavement Management System.*

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de Conclusão de Curso trata de um estudo de sobre a condição dos pavimentos do Brasil, a fim de verificar a relação existente entre pavimentos em más condições e os custos refletidos aos usuários das vias. Serão apresentados os conceitos de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos – SGP, o qual busca a otimização de recursos concomitantemente à devida conservação das rodovias sob gestão.

Diariamente são realizadas decisões de gerenciamento em agências rodoviárias. O objetivo de um SGP é melhorar a eficiência desse processo de tomada de decisão, ampliando a visão, bem como proporcionando *feedbacks* das consequências destas decisões para a organização, garantindo a consistência das deliberações assumidas em diferentes níveis e setores. (Haas, Hudson, & Zaniewski, 1994).

Um SGP engloba etapas desde a obtenção de dados de inventário da malha viária, projeto, construção, avaliação da condição atual, indicação das atividades de manutenção e reabilitação – M&R, estimativa de custos, simulação de cenários para a análise econômica e escolha da opção mais eficiente, com vistas a manter as vias na melhor condição ao menor custo.

A gerência de pavimentos pode ser dividida em nível de rede e nível de projeto. Em nível de rede, as informações são gerenciais, estratégicas. Em nível de projeto são definidos projetos específicos para cada segmento de pista.

A economia de um país depende diretamente da sua capacidade de escoar produtos, distribuir serviços e bens e da locomoção de sua população. No Brasil, apesar de o modo rodoviário ser predominante em nossa matriz de transportes, ainda convivemos diariamente com uma infraestrutura deficiente, com defeitos funcionais e estruturais, tais como buracos, desgastes, e sinalização deficiente, decorrentes da falta de manutenções periódicas e adequadas, orçamento limitado e pavimentos com falhas construtivas e de projeto.

A pesquisa anual de rodovias, realizada pela Confederação Nacional de Transportes – CNT, verificou que em 2019 uma porcentagem alta de rodovias possuía algum tipo de deficiência no pavimento. Na Figura 1 verifica-se que do total de rodovias avaliadas, 52,4% possuem algum tipo de deficiência (35,0% encontram-se em estado Regular; 13,7%, Ruim; e 3,7%, Péssimo) nos pavimentos. (CNT, 2019).



Figura 1 - Condição dos Pavimentos do Brasil 2019. Fonte: (CNT, 2019).

Apesar do Brasil possuir o título de oitava economia mundial, por se tratar de um país com dimensões continentais, os gastos públicos com manutenções possuem cifras elevadas e, portanto, não é economicamente viável se basear apenas nas necessidades momentâneas das rodovias. É necessário traçar um plano de ação que priorize as situações mais críticas, informe qual a solução com melhor benefício e menor custo, quando deve ser implementada essa solução, e que seja passível retornar *feedbacks* acerca das intervenções executadas. Esse plano de ação é justamente o resultado esperado de um sistema de gerência de pavimentos.

A gerência de pavimentos é um processo complexo que necessita de um elevado nível de sincronia entre suas etapas constituintes, a fim de obter resultados significativos ao final da atividade, para que haja, primeiramente, uma linha clara de tomadas de decisões baseadas em análises e estudos; e, segundo, para que não se desperdice o investimento previamente realizado. Portanto, para se iniciar o processo de gerência de uma malha viária, é necessário em primeiro lugar entender que qualquer infraestrutura é um ativo e, logo, a malha viária também o é, em função de seu valor econômico agregado e geração de renda para seu detentor. Porém, da mesma maneira que podem gerar renda, os ativos também são capazes de gerar prejuízos caso entrem em processo de desvalorização de maneira mais acelerada do que os resultados positivos gerados por esse ativo. No caso de pavimentos, a desvalorização se dará na medida em que ocorre a deterioração deste, seja por diminuição de sua serventia sob os aspectos funcionais, estruturais ou de segurança.

A gerência de pavimentos, quando bem implementada, proporciona a melhora na condição dos pavimentos e, simultaneamente, redução nos custos de manutenção. Foca-se em manter o desempenho das rodovias, a um custo relativamente baixo, em vez de permitir a deterioração dos pavimentos ao ponto de gerar demandas de grandes reabilitações ou reconstruções (MAPC, 1986).

Em termos mais gerais, um Sistema de Gerência de Pavimentos pode ser visto como um processo de planejamento e execução de manutenções em uma malha viária bem definido e transparente, com o objetivo de minimizar o orçamento necessário e ao mesmo tempo maximizar a vida útil do pavimento e a segurança dos usuários (Zofka, Pailiukaite, & Mechowski, 2014).

É nesse cenário que se verifica a importância da infraestrutura viária para o desenvolvimento econômico do país. Sendo assim, um SGP é um sistema de apoio à decisão - SAD aos administradores públicos responsáveis pela implantação e controle de qualidade de vias pavimentadas.

Em um país como o Brasil, onde os recursos disponíveis são limitados e frequentemente inferiores às reais necessidades, é imprescindível que se aloque o capital de maneira estratégica e, nesse sentido, um SGP é uma alternativa para a otimização dos investimentos e garantia da qualidade das vias públicas (Zanchetta, 2017).

Na Figura 2 é apresentado um esquema do ciclo de um Sistema de Gerência de Pavimentos:

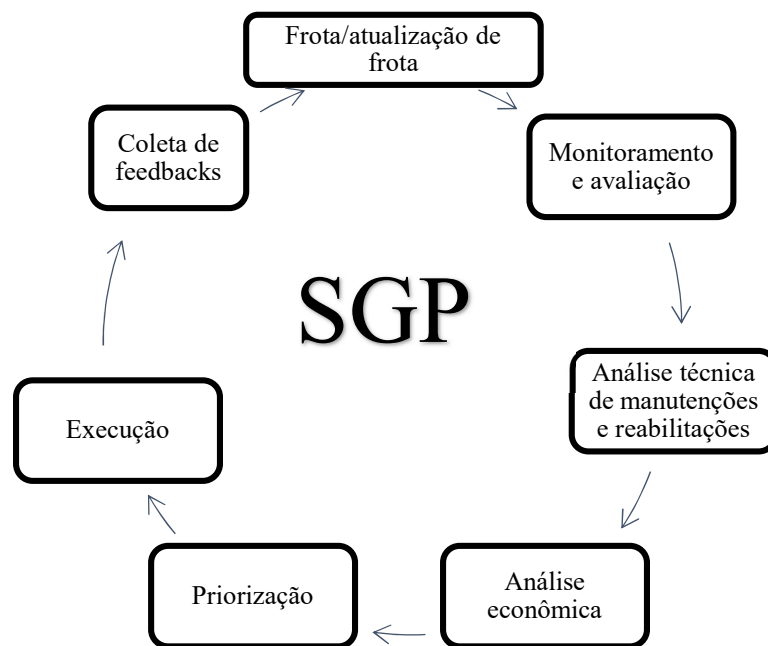


Figura 2 - Ciclo do sistema de gerência de pavimentos de uma malha viária. Fonte: (Autor)

Um SGP possui o propósito de gerenciar os pavimentos, buscando identificar as deficiências atuais e futuras de uma malha viária, auxiliando em tomadas de decisões e previsões orçamentárias, além de aumentar a vida útil do pavimento e evitar que a estrutura chegue a um estado crítico que gere apenas malefícios tanto aos usuários quanto aos órgãos públicos.

Na primeira etapa deste Trabalho de Conclusão de Curso foram analisadas as rodovias avaliadas pela Confederação Nacional de Transportes - CNT, a fim de averiguar economicamente o reflexo das condições dos pavimentos encontrados país afora e o custo resultante ao usuário. Já a segunda etapa foi de análise de dados utilizando como ferramenta o *software* de SGP *Highway Delevopment and Managment* (HDM) 4. É necessário entender a importância da análise econômica para verificar possíveis inconsistências técnicas e desperdícios de capital que poderiam ser investidos de maneira mais eficiente, mas também, como é o caso do trabalho em questão, servir de *feedback* sobre a situação às quais os gestores das vias estão expondo os condutores.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho visa realizar uma análise do custo aos usuários devido às condições dos pavimentos no Brasil utilizando o *software* HDM4.

1.1.2 Objetivos específicos

A fim de atingir o objetivo geral, são previstos para a realização deste trabalho:

- Análise de dados das condições dos pavimentos por regiões do Brasil;
- Comparação de custos do usuário e de operação de veículos nas diferentes regiões do Brasil ao longo de um período de 10 anos.

1.2 Justificativa

Países desenvolvidos já utilizam o SGP há décadas. Os Estados Unidos, por exemplo, deram início a esse processo na década de 60 e seguem como principais influenciadores nesse ramo do conhecimento. O principal objetivo, como é característico do país símbolo do capitalismo, é gastar o menos possível, porém mantendo uma qualidade aceitável das vias para seus usuários.

O principal ponto é a otimização econômica e técnica das intervenções a serem executadas nas rodovias. Nesse contexto, deve-se priorizar manutenções preventivas a manutenções corretivas e reforços estruturais, pois os últimos são consideravelmente mais onerosos que tratamentos preventivos. Outro ponto positivo para ações preventivas é a sua capacidade de prolongamento

da vida útil dos pavimentos, pois suas possíveis deficiências são sanadas antes mesmo de se manifestarem.

Já no Brasil, tem-se por cultura a preferência por ações corretivas, e a manutenção dos pavimentos segue fortemente essa filosofia, seja por falta de planejamento adequado, seja por falta de recursos, ou por falta de interesse político ou, ainda, por limitação técnica e falta de motivação dos funcionários da administração pública. Essa preferência acaba por gerar elevados custos aos órgãos administrativos e emprega recursos que poderiam ser utilizados para outros fins.

No Brasil, é de conhecimento comum o fato dos recursos disponíveis para os setores funcionais da administração pública serem limitados e sofrerem interferências políticas quando de sua destinação. O setor de transportes não é exceção e, ao longo dos últimos dez anos, o investimento federal em infraestrutura de transportes para custear suas carências apenas diminuiu. Fica evidenciado no gráfico da Figura 3 a falta de alocação de recursos para o setor de transportes.

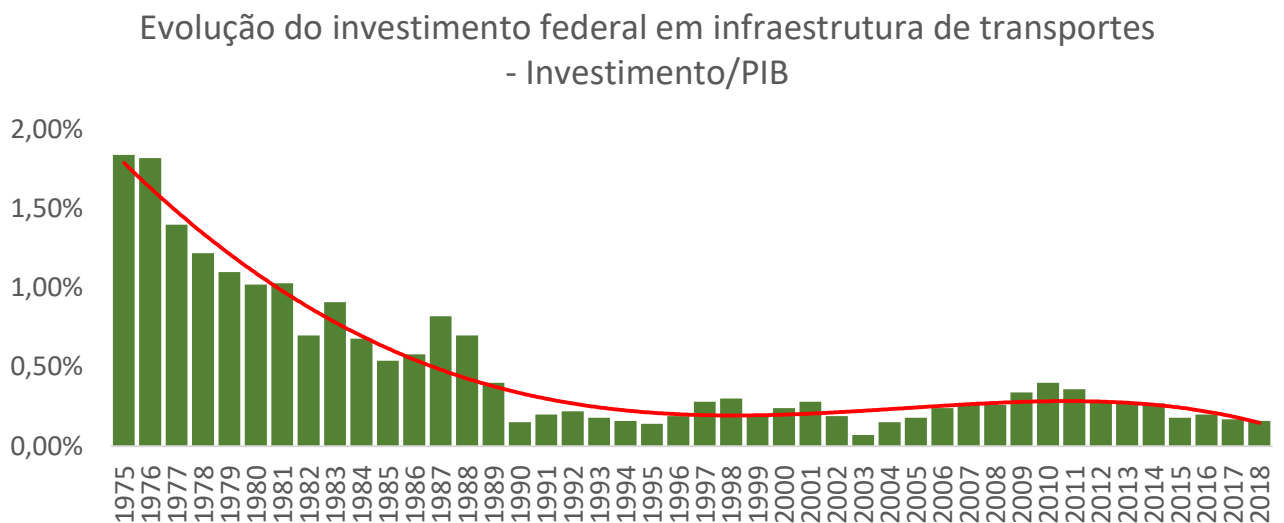


Figura 3 - Evolução do investimento federal em infraestrutura de transportes no Brasil. Fonte: (CNT, 2018).

Devido a essa limitação de recursos, este trabalho busca evidenciar o SGP como uma ferramenta que otimiza sua alocação a partir das alternativas de manutenções e reabilitações mais adequadas para determinada circunstância, com base em critérios técnicos, e tendo em mente as restrições orçamentárias enfrentadas pela União.

Como o SGP engloba todo o ciclo de vida de um pavimento, é possível prever quais os impactos causados por deficiências no seu dimensionamento ou pelas escolhas de manutenções ao longo

de sua vida. Portanto, um SGP é capaz de informar quais as alternativas com melhor custo-benefício, quando e onde devem ser aplicadas, gerando assim economias significativas aos cofres públicos, assim como proporcionando melhor controle de despesas futuras.

Os custos provenientes da qualidade dos pavimentos refletidos aos usuários e ao governo seguem uma tendência inversa uma em relação a outra: para gerar menos custos aos usuários, o governo deve desembolsar mais dinheiro para manutenções ou dimensionamentos melhores, ao passo que, para permitir ao governo poupar gastos, é necessário que os custos imputados aos usuários das rodovias aumentem, portanto, é necessário encontrar um ponto de equilíbrio no qual o custo total seja o menor. Essa relação é mostrada na Figura 4.

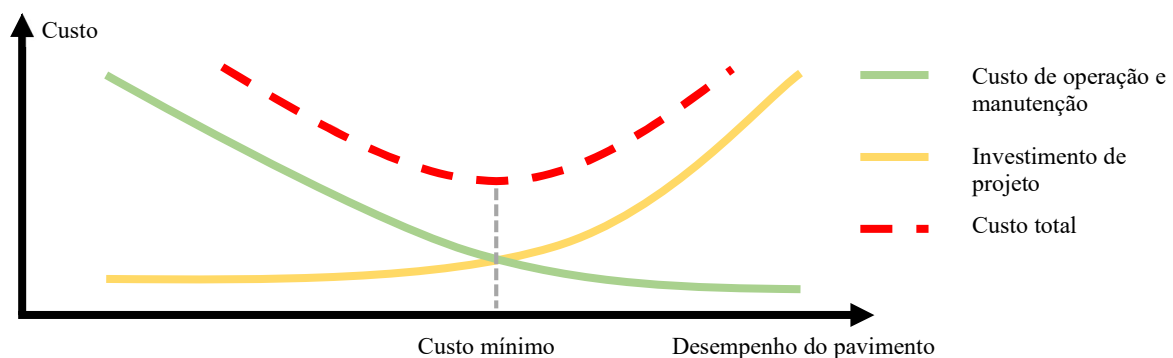


Figura 4 - Curva de custos por qualidade do pavimento. Fonte: (Autor)

Dessa forma, faz-se necessário implantar um sistema que busque o equilíbrio sadio entre as duas partes para que a harmonia possa ser estabelecida e nenhuma das partes se sinta lesada. Deve-se, portanto, analisar qual o desenvolvimento histórico dos custos ao usuário pelo país, e assim comparar com a evolução histórica de investimentos no setor de transportes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As cargas de tráfego, as condições climáticas e a idade das vias são fatores causadores de redução da capacidade de servir e atender corretamente aos usuários dos pavimentos. Portanto tornam-se necessárias atividades de conservação dos pavimentos a fim de que se mantenha a qualidade esperada. O problema surge quando são agregados limitadores econômicos às tomadas de decisão, dificultando a priorização da alocação dos recursos.

Apresenta-se um breve histórico de sistemas de gerência de pavimentos e algumas vantagens de sua implementação. Também são apresentados indicadores que evidenciam a situação de um pavimento no momento de sua avaliação e, por fim, estudos que comprovam que o planejamento para conservações proporciona redução de custo total no médio e longo prazo.

2.1 Sistemas de gerência de pavimentos

Nas décadas de 1950 e 1960, ocorreu o *AASHO (American Association of State Highway Official) Road Test*, um estudo realizado nos EUA, mais precisamente em Ottawa, Illinois, que teve por objetivo pesquisar o comportamento das estruturas de pavimentos rígidos e flexíveis sob a ação de carregamentos oriundos de veículos que trafegaram sobre pistas experimentais durante aproximadamente 2 anos. Com a observação da deterioração sofrida pelos pavimentos ao longo de dois anos de testes, surgiu a preocupação em conservar e gerir os pavimentos, com base nos conceitos recém desenvolvidos de serventia e desempenho, conceitos estes que seriam fundamentais para os SGP nas décadas seguintes.

De acordo com Amekudzi e Attoh-Okine (1997), apesar dos avanços obtidos após o *AASHO Road Test*, os esforços envidados para a implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos, encontraram determinada resistência, mesmo com diversos estudos posteriores realizados sobre o tema de gerência de pavimentos.

Nos Estados Unidos, durante a década de 1970 e 1980, houve uma certa dificuldade para implantação de sistemas de gerência de pavimentos devido principalmente a desafios institucionais relacionados a pessoas e procedimentos (Amekudzi & Attoh-Okine, 1997).

Para Hudson, Waheed & Haas (1997), a prática histórica da agência que tenha interesse em adotar um SGP é um delimitador do estilo e da organização da gerência a ser implantada. Os organismos gestores, não percebem os benefícios gerados por manutenções programadas, avaliações de aspectos do desempenho de rodovias e outras questões fundamentais para um efetivo SGP.

Nos EUA o *FHWA (Federal Highway Administration)*, uma divisão do departamento de transportes do país, é a entidade que rege os requisitos mínimos e promove inovações acerca do assunto. Como nos Estados Unidos os estados podem receber recursos federais apenas após a demonstração de uma implantação de um SGP, o *FHWA*, em parceria com a *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)* e o *Transportation Research Board (TRB)*, promoveram uma sequência de cursos de capacitação sobre SGP's com o objetivo de treinar engenheiros de agências estaduais e federal (Nostrad, 1992).

O Departamento de Transporte do Estado de Washington (WSDOT) nos Estados Unidos é um excelente exemplo de como um Sistema de Gerência de Pavimentos é capaz de trazer melhorias na malha rodoviária. Desde que se iniciou o processo de aplicação do *Washington State Pavement Management System (WSPMS)*, a porção de pavimentos na condição considerada ótima aumentou de 50% em 1970 para 93,5% em 2005 (PIERCE 2008).

O Brasil possui uma cultura de conservação focada principalmente em atividades corretivas e reforços estruturais, sem que haja qualquer análise de viabilidade e impactos a médio e longo prazo que essas decisões trarão, tanto para as agências cuidadoras das rodovias quanto para os usuários.

No Brasil, as intervenções de manutenção dos pavimentos se reduzem a operações corretivas como tapa-buracos e recapeamentos, carecendo de planejamento sobre os impactos a longo prazo dessas medidas, que em sua maioria servem para reparar problemas imediatos e não devem ser alternativas técnicas quando o nível de severidade e a extensão do defeito é alto (ZANCHETTA, 2017).

De acordo com a pesquisa anual da CNT, foi constatado que desde 2005, ano no qual a extensão de quilômetros avaliados passou a ter menor variação de ano a ano, até 2019, a porcentagem de pavimentos fora da faixa de condição ótimo variou, entre subidas e descidas, de 68% a 87,9% de acordo com a Figura 5. Fica evidenciado então que apesar de todos os esforços de órgãos públicos para alcançar uma melhoria na condição global dos pavimentos, os resultados são pouco expressivos quando comparados aos avanços de um SGP bem executado como o do estado de Washington citado previamente.

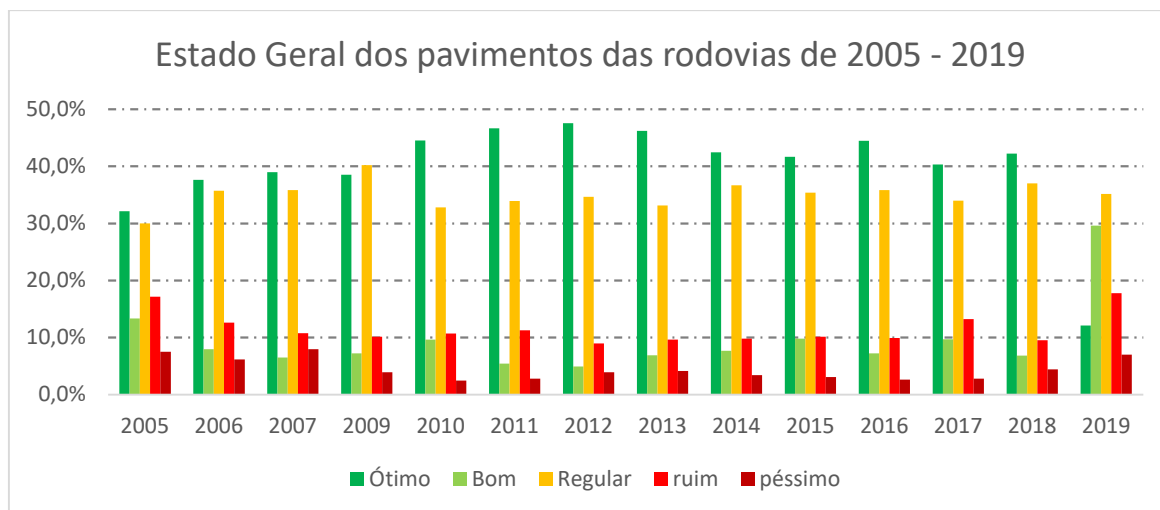


Figura 5 - Estado geral dos pavimentos das rodovias de 2005 a 2019. Fonte (Autor)

O desafio maior de um SGP é seguir um plano de ação. Diante de um conjunto de obstáculos como condições políticas, crises econômicas, procedimentos burocráticos e indisponibilidade de tecnologias, os gestores tendem a perder o foco dos investimentos, passando a priorizar os pavimentos em estado crítico ou os que lhes tragam maiores benefícios pessoais.

Deficiências na execução das obras, dificuldades gerenciais e o baixo nível de investimento público fazem com que as intervenções identificadas como necessárias ocorram apenas quando a situação da rodovia já está crítica (CNT, 2016)

2.2 Indicadores para avaliação da condição do pavimento

Segundo Haas, Husdon e Zaniewski (1994), é imprescindível para um SGP o acompanhamento periódico do estado dos pavimentos da malha a ser gerenciada. Ressaltam ainda a necessidade de uma coleta de dados que seja representativa para cada nível de gerência do sistema.

Levando em conta essa coleta de dados, como preceitos fundamentais para um efetivo desenvolvimento de SGP, existe a disponibilidade de profissionais capacitados para que as informações coletadas sejam menos propícias a erros e que se tenha corpo técnico capacitado para a criação e implementação de índices de avaliação que atendam às características, restrições e necessidades dos critérios de engenharia do projeto e rede a ser gerida.

Para tornar possível a previsão da degradação, a evolução de defeitos, os procedimentos de manutenção, a quantificação de materiais e serviços e a estimativa de consumos, faz-se necessário avaliar um conjunto de indicadores que preencham essa necessidade. Ao longo dos anos, várias organizações dedicadas ao estudo de gerenciamento de pavimentos desenvolveram

parâmetros que permitem indicar o desempenho estrutural, funcional e segurança dos pavimentos. A condição de um pavimento em cada um destes aspectos é descrita a seguir:

- Desempenho estrutural: capacidade de um pavimento manter sua integridade estrutural, sem manifestações excessivas ou significativas de falhas.
- Desempenho funcional: capacidade do pavimento de satisfazer a função a qual foi projetado, mantendo uma superfície de rolamento com qualidade adequada.
- Desempenho da segurança: capacidade do pavimento de minimizar os riscos aos seus usuários. Envolve aspectos de sinalização, atrito pneu-pavimento, demanda do usuário.

A Tabela 1 a seguir apresenta os principais métodos encontrados na literatura para a avaliação de cada um dos aspectos de desempenho de um pavimento.

Tabela 1 - Principais métodos na literatura para avaliação de aspectos de desempenho de um pavimento

ASPECTO AVALIADO	MÉTODO	DESCRIÇÃO
Estrutural	Viga Benkelman	Realiza medições de deflectometria a partir de uma viga estática.
	FWD	Tem como objetivo a caracterização da bacia de deflexão de um pavimento
Funcional	ART	Método utilizado para avaliação das deformações permanentes nas trilhas de roda.
	ICP	Índice que relaciona o tipo, quantidade e severidade dos defeitos encontrados para determinado pavimento.
	IRI	Índice que avalia as variações longitudinais de uma via relacionando assim ao conforto do usuário.
	IGG	Identifica defeitos na superfície do pavimento, analisando apenas sua severidade.
	Escala Visual	Comparação entre pontos de escala por meio de fotografias e a condição real dos pavimentos.
Segurança	Mu-Meter	Método utilizado para avaliar pavimentos para aeroportos.
	Mancha de Areia	Avalia a condição da macrotextura de um pavimento.
	Pêndulo Britânico	Avalia a condição da microtextura de um pavimento.

Alguns dos métodos citados utilizam-se de avaliações subjetivas para mensuração do estado de deterioração de um pavimento. Para tal, fazem uso do conceito de serventia. A serventia de um pavimento é a capacidade que este possui de desempenhar seu papel funcional, dar conforto ao rolamento e segurança com altos volumes e velocidades de tráfego de automóveis e caminhões, sendo medida através do Índice de Serventia – IS – em uma escala que varia de 1, para pavimentos em péssimas condições, até 5, para pavimentos em excelentes condições. Uma vez que se definiu a serventia, naturalmente surge a ideia de desempenho, o qual seria a variação da serventia ao longo do tempo.

A seguir são apresentados dois índices amplamente utilizados e que serão fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

2.2.1 Índice de irregularidade internacional (IRI)

A qualidade de rolamento de um pavimento está diretamente relacionada com o conforto e segurança do usuário, sendo que o principal fator que influencia neste quesito é a irregularidade longitudinal. O Índice de Irregularidade Internacional (IRI), *International Roughness Index* em inglês, é um índice que busca medir as variações no perfil longitudinal do pavimento.

Define-se a irregularidade longitudinal como o conjunto de desvios da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via. É uma grandeza física que melhor se correlaciona com o custo operacional dos veículos, a velocidade de percurso, a economia das viagens o conforto e a segurança. (DNER, 1998).

Sua aferição é por meio de equipamento de medição de perfil (perfilógrafo inercial) que registra simultaneamente os parâmetros de deslocamento longitudinal, altura do equipamento em relação ao pavimento e aceleração vertical do equipamento para então o algoritmo de processamento de dados converter a medida da aceleração vertical a uma referência inercial que define a altura instantânea do acelerômetro (do equipamento) e o chão abaixo dele. Esta altura é medida com o sensor sem contato como o conversor a laser (Silva, Silva, Vianna, Júnior, & Costa, 2017). O IRI é um valor numérico que resume as qualidades de rugosidade que afetam a resposta do veículo.

2.2.2 Índice de condição do pavimento (PCI)

Desenvolvido pela *U.S Army Corps of Engineers*, o Índice de Condição de Pavimentos, ou PCI – *Pavement Condition Index* em inglês, é também um indicador da condição dos pavimentos e amplamente utilizado nos Estados Unidos. Por esse índice, o grau de degradação dos pavimentos é uma função de três variáveis: tipos de defeitos, severidade dos defeitos e extensão dos defeitos, sendo a severidade e extensão subdivididos em três níveis: baixo, médio, alto.

O PCI é um indicador numérico, que varia de 0, para pavimentos em estado de falha estrutural, até 100, para pavimentos em condições perfeitas. O cálculo do PCI é baseado no resultado de uma avaliação visual das vias no qual os tipos de defeitos, severidade e quantidades são identificados. O PCI foi desenvolvido para ser um indicador da integridade estrutural e funcional de um pavimento e as informações coletados nas avaliações promovem um melhor entendimento das causas dos defeitos encontrados e se foram consequências do tráfego ou do clima (Shahin, 2005).

A análise é feita através de dedução de pontuações, com o valor inicial igual a 100, de acordo com os tipos de defeitos e seus níveis de severidade e extensão. Ao final da etapa de deduções, uma escala converte a pontuação final da rodovia em uma das cinco categorias possíveis de classificação do PCI. Na Figura 6 é apresentada a escala citada.

100 - 86	Ótimo
85 - 71	Bom
70 - 56	Regular
55 - 41	Ruim
40 - 26	Muito Ruim
25 - 11	Crítico
10 - 0	Falha

Figura 6 - Escala de conversão de pontuação para categoria de ICP. Fonte: (Shahin, 1994, Adaptado).

2.3 Análise econômica e benefícios de um SGP

Para Shahin (1994), implementar um sistema de gerência de pavimentos é a solução ideal para a conservação de uma malha viária, pois é capaz de prever o comportamento de um pavimento,

os custos necessários para manter a rede em condições mínimas aceitáveis, identificar as intervenções que melhor se adequem e priorizar as ações, tudo isso otimizando os gastos de recursos.

O cenário ideal seria a execução de manutenções preventivas antes que a condição do pavimento se tornasse crítica, por possibilitar primeiramente um aumento na vida útil do pavimento e pelo fato de que, dada a boa estrutura do pavimento, as manutenções seriam menos onerosas quando comparadas às de pavimentos com necessidades de intervenções de reabilitação.

A depender do dimensionamento do pavimento e das manutenções nele executadas, o comportamento típico de sua condição inicia-se com uma leve deterioração após sua construção. Esse período é caracterizado como a etapa em que o pavimento está realizando devidamente seu papel funcional. Porém, após determinado tempo, encontra-se um ponto de transição exacerbado de taxa de deterioração do pavimento, no qual observa-se uma rápida perda de desempenho da estrutura. Como mencionado anteriormente, intervenções na primeira etapa do ciclo de vida de um pavimento são menos custosas. Essa relação e o comportamento típico de um pavimento ao longo do tempo pode ser verificado na Figura 7 abaixo:

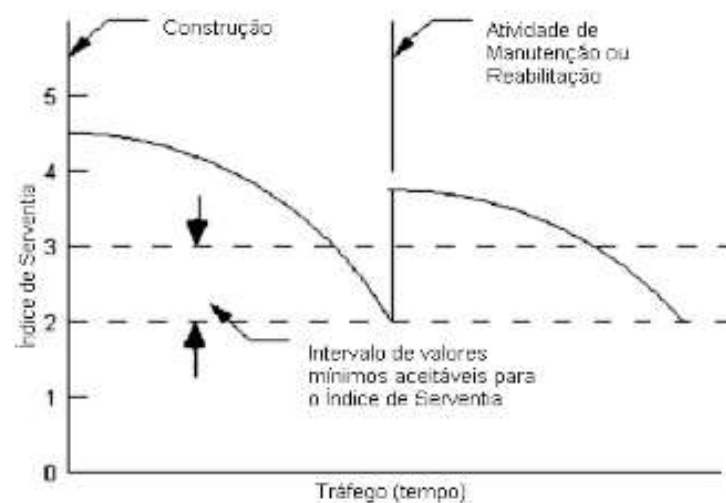


Figura 7 - Variação do índice de serventia pelo intervalo de tempo para manutenção. Fonte: (Haas, Hudson, & Zaniewski, 1994)

O uso inadequado de recursos, a falta de dados do inventário e a falta de equipes adequadamente preparadas deve ser combatido pela aplicação de um SGP, pois como visto na Figura 8, o desembolso necessário para manutenções de conservação e reabilitação tardia é mais elevado quando comparado à aplicação de atividades de M&R no tempo ideal (Zanchetta, 2005) além do aumento da velocidade de degradação da condição do pavimento, o que torna o adiamento dos reparos ainda mais crítico conforme pode ser evidenciado na Figura 8.

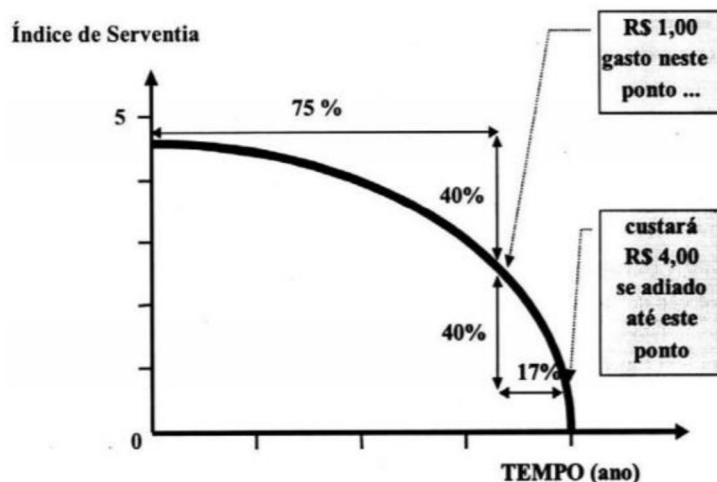


Figura 8 - Variação de custo de manutenção pelo Índice de serventia. Fonte: (F. Júnior, ODA, & L.F, 2003).

Picado (2004) realizou um estudo de caso com uma parcela da malha rodoviária de Lisboa (Portugal), composta por 1244 seguimentos totalizando 161 km, com o propósito de avaliar os resultados encontrados para análises com diferentes estratégias de conservação dos pavimentos em questão. Foram consideradas três estratégias de M&R: apenas corretiva (*Policy I*), otimização dos custos de órgãos controladores das rodovias (*Policy II*) e otimização de custos totais, custos dos órgãos controladores, custos ao usuário e condição mínima aceitável para os pavimentos (*Policy III*).

Observou-se por meio das Figura 9 e Figura 10, após a simulação, que a estratégia de otimização dos custos totais gerou, ao final do período de análise de 20 anos, o menor custo total acumulado, seguido da estratégia de otimização dos custos aos órgãos controladores. Verificou-se também que a estratégia que buscava otimizar os custos totais obteve na média a menor variação do índice de serventia para o período em questão.

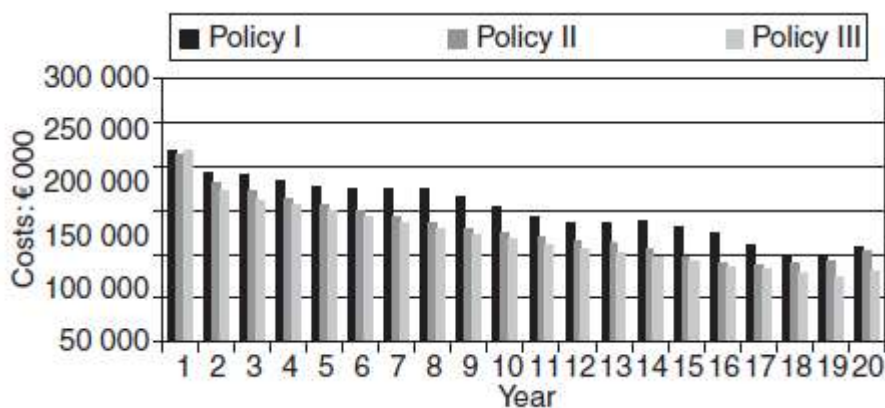


Figura 9 - Custo total por ano de cada política. Fonte: (Picado, et al., 2004).

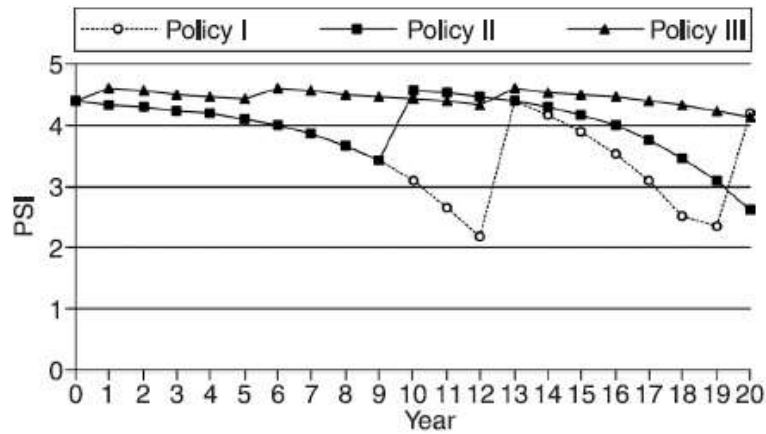


Figura 10 - Evolução da condição do pavimento para o seguimento 454 sob as políticas I, II e III. Fonte: (Picado, et al., 2004).

Zofka, Pailiukaite e Mechowski (2014) conduziram um experimento no qual avaliou os custos relacionados com a conservação de uma malha viária, baseado em quatro cenários alvos durante um período de 20 anos de análise. Para o primeiro cenário não foram executadas manutenções (*Do Nothing Scenario*), para o segundo tinha-se como alvo um valor de PCI acima de 60 (*PCI > 60 Scenario*), para o terceiro um valor de PCI acima de 70 (*PCI > 70 Scenario*) e, por fim, para o quarto, um PCI acima de 80 (*PCI > 80*). A Figura 11 demonstra os resultados obtidos pela pesquisa sobre a condição dos pavimentos.

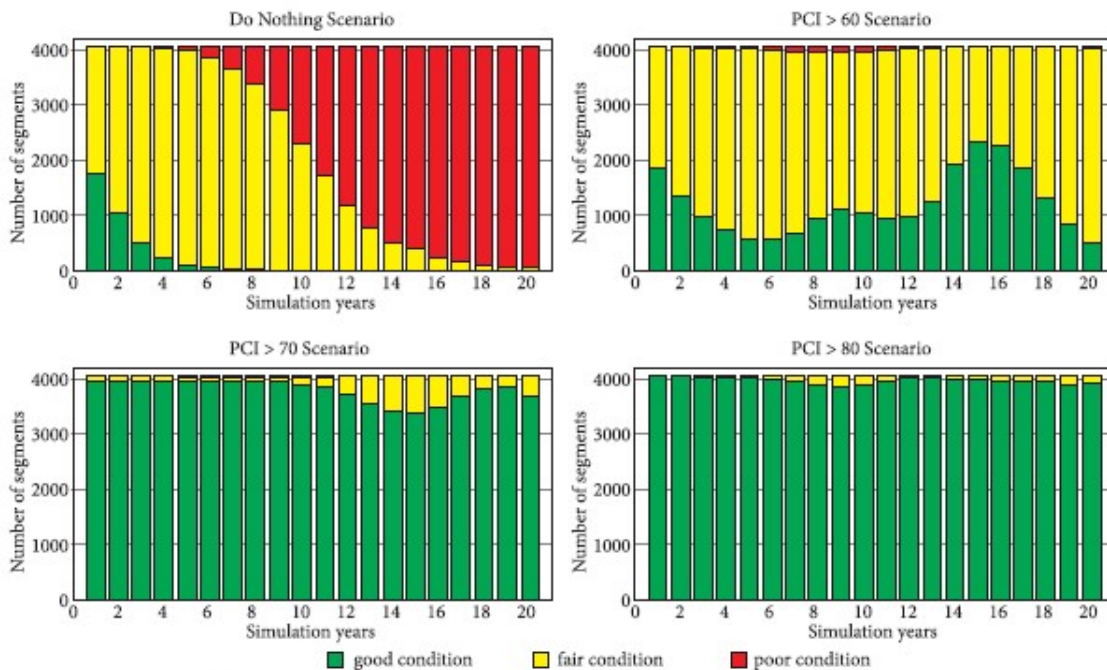


Figura 11 - Resultados encontrados na pesquisa sobre condição de pavimentos para os quatro cenários. Fonte: (Zofka, Pailiukaite, & Mechowski, 2014).

Posteriormente foi feita uma análise econômica dos custos gerados para cada cenário, bem como sua distribuição ao longo do período analisado. Foram encontrados os resultados expostos na Figura 13 para valor presente líquido dos custos de manutenção ao final do período de análise e na Figura 12 está representada a alocação anual de recursos para cada um dos cenários de manutenção propostos.

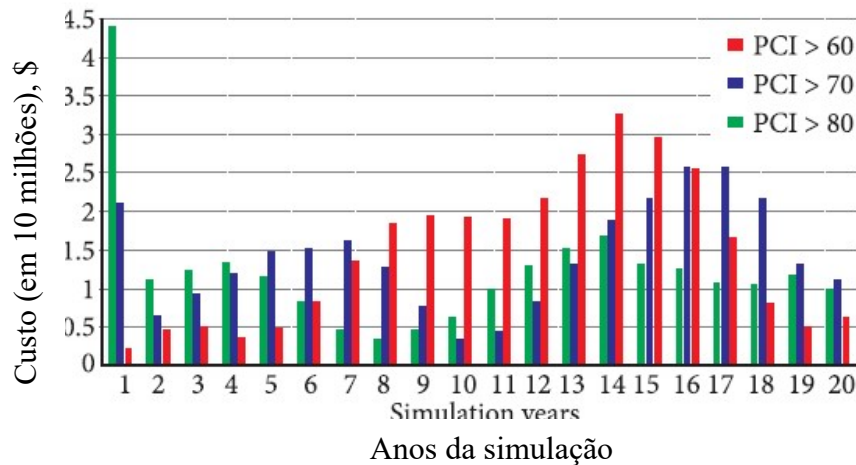


Figura 12 - Distribuição de alocação de recursos para manutenções ao longo dos anos. Fonte: (Zofka, Pailiukaite, & Mechowski, 2014).

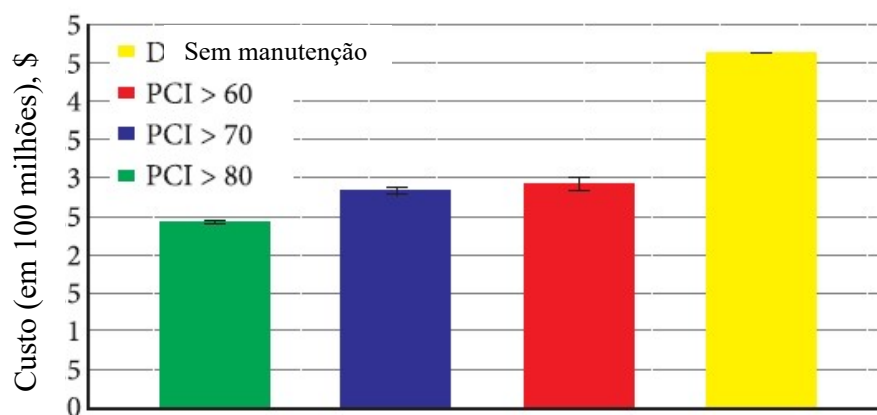


Figura 13 - Valor presente líquido dos custos totais (custo do usuário, agências gestoras e M&R) associados a cada cenário. Fonte: (Zofka, Pailiukaite, & Mechowski, 2014).

O Cenário *Do Nothing* demonstra a importância de manutenções rotineiras na malha, pois ao final de 20 anos todos os seguimentos analisados encontraram-se em más condições e o custo associado à reabilitação da malha após o período ultrapassou os outros cenários, sendo aproximadamente o dobro dos custos gerados pelo cenário *PCI > 80*. Apesar do elevado investimento inicial, o Cenário *PCI > 80* traz enormes benefícios a condição da malha como um todo e possui o menor valor presente líquido para os custos totais que levam em conta M&R,

custos ao usuário e custos as agências gestoras da malha (Zofka, Pailiukaite, & Mechowski, 2014).

3 MATERIAS E MÉTODOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso faz parte de estudos do grupo de pesquisa em conservação de rodovias, como parte de edital universal do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Uma vez com os dados provenientes de avaliações em campo acerca do estado funcional e estrutural da malha viária, pode-se analisar seu reflexo para o usuário.

3.1 Pesquisa CNT de rodovias

As condições para que motoristas conduzam seus veículos de maneira segura, econômica e confortável dependem das características da via associadas aos defeitos na sua superfície, à sua geometria e às sinalizações horizontal e vertical. Os graus de conforto e segurança de um sistema rodoviário são diretamente influenciados por fatores comportamentais de motoristas, condições climáticas, características das rodovias e especificidades dos veículos. A pesquisa CNT busca avaliar um dos componentes que influenciam a segurança de um sistema viário: as características das rodovias (CNT, 2019).

Desde o ano 2000, a Confederação Nacional de Transportes realiza anualmente uma extensa coleta de informações das rodovias brasileiras para análise e avaliação de três características: condição dos pavimentos, sinalizações e geometria das vias. Na Figura 14 são explicitados os elementos avaliados em cada característica.

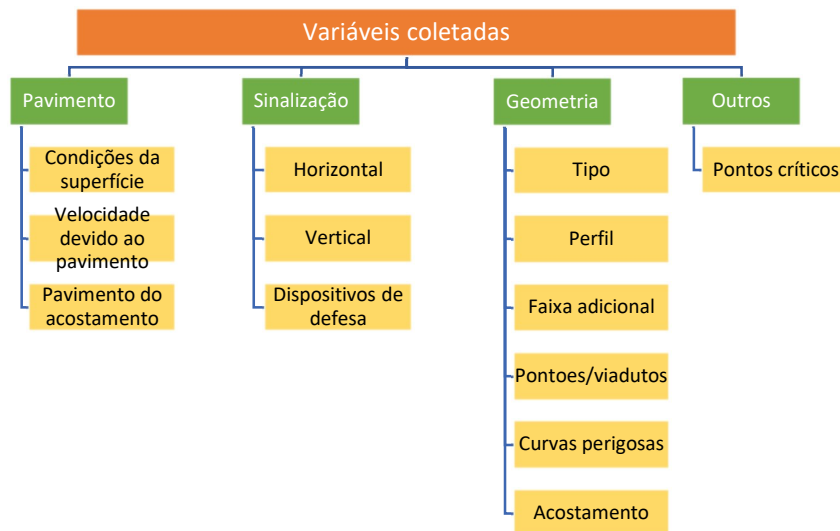


Figura 14 - Grupo de variáveis de coleta de dados para pesquisa CNT de rodovias. Fonte: Adaptado (CNT, 2019).

Após a etapa de coleta de dados, parte-se para sua análise. Nessa etapa, todas as informações coletadas anteriormente são submetidas ao Modelo CNT de Classificação de Rodovias. Este modelo atua basicamente comparando as observações das condições reais de campo com uma unidade padrão (ou ideal) de pesquisa que refletiria nas melhores condições em relação a todos os itens avaliados na pesquisa. Para a comparação, faz-se uso de coeficientes de parença, utilizados em análises de agrupamento, para medir semelhanças ou inconsistências entre dois resultados (CNT, 2019).

Para a mensuração dos resultados em campo, cada um dos itens avaliados em cada característica das vias recebe um valor conforme a categoria na qual foi classificada, sendo valores maiores representativos de vias mais seguras, confortáveis e que geram menos custos aos usuários. As pontuações, quando somadas, possuem valor máximo de 100, sendo a característica avaliada em condição ótima, e mínimo de 0, para condição muito ruim.

O Trabalho de Conclusão de Curso em questão utilizará apenas os dados coletados para a característica de condição dos pavimentos. A seguir são apresentados os critérios para avaliação de cada um dos elementos dessa característica conforme as diretrizes da Pesquisa de Rodovias CNT.

3.1.1 Condição da superfície dos pavimentos – CNT

O estado de conservação da superfície dos pavimentos é talvez o elemento mais perceptível ao usuário a respeito do nível de degradação das vias, uma vez que os defeitos ou irregularidades

na superfície diminuem a durabilidade dos automóveis e afetam o conforto bem como a segurança ao rolamento. Para a CNT, a avaliação da condição da superfície dos pavimentos engloba tanto a conservação da superfície de rolamento quanto o conforto e segurança do usuário na via.

Para simplificar o processo de coleta de dados quanto à condição da superfície, é possível classificar a superfície de um pavimento em cinco categorias evidenciadas pela Tabela 2

Tabela 2 - Categorias de condição da superfície de pavimentos, Fonte: (CNT, 2019).

SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO	DEFINIÇÃO	PONTUAÇÃO
Perfeito	Nesse caso, o pavimento apresenta ótima condição (sem ocorrência de defeitos) e existe perfeita regularidade na camada de revestimento.	33,34
Desgastado	O pavimento apresenta sinais de desgaste, com efeito de desagregação progressiva do agregado da massa asfáltica e aspereza superficial no revestimento e/ou observa-se a presença de corrugação e/ou exsudação. Nessa classificação do pavimento, percebe-se a perda do masticado nos agregados (falta de interação do agregado com o ligante asfáltico, ou a mesma coisa que falta de adesividade), porém não há buracos. Também pode haver, isoladamente, fissuras e trincas transversais ou longitudinais. A exsudação caracteriza-se pelo excesso de ligante na mistura asfáltica, tornando a superfície do revestimento mais lisa, com manchas escurecidas, propiciando a perda de aderência entre o pneu e o pavimento. As corrugações são deformações transversais ao eixo da pista, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda de alguns centímetros ou dezenas de centímetros.	24,98
Trinca em malha/remendos	Observa-se a presença de trincas em malha e/ou remendos mal executados. As trincas em malha são interligadas e subdivididas em trincas dos tipos “bloco” e “couro de jacaré”. As trincas em bloco são decorrentes da alternância diária de temperatura. Normalmente não é um defeito associado à carga, embora esta possa aumentar sua severidade. Já as trincas do tipo “couro de jacaré” consistem em trincamentos por fadiga e ocorrem em áreas sujeitas à carga repetida de tráfego, subdimensionamento da estrutura ou de uma das camadas do pavimento e quando o pavimento está sinalizando o final de sua vida útil. O remendo está relacionado a um defeito por apontar um local de fragilidade na superfície do pavimento. Caracteriza-se pelo preenchimento de buracos ou de qualquer outra cavidade ou depressão com massa asfáltica. Nesse caso, estão incluídos apenas os remendos mal executados (sem a devida remoção da camada anterior do revestimento e correto preenchimento e nivelamento), que geram trepidação no veículo.	16,65

SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO	DEFINIÇÃO	PONTUAÇÃO
Afundamento, ondulação ou buraco	<p>O pavimento pode apresentar defeitos como afundamento, ondulação e buraco em conjunto ou isoladamente. Os afundamentos são deformações permanentes no revestimento asfáltico ou em suas camadas subjacentes. Podem ser afundamentos locais ou trilhas de roda. Os afundamentos são depressões ocasionadas pelo tráfego intenso de veículos, além da combinação do excesso de carga de veículos pesados e a elevada temperatura em regiões mais quentes. Pode ocorrer também o escorregamento da massa asfáltica ao longo da borda desse pavimento. As ondulações são deformações transversais ao eixo da pista, diferenciadas da corrugação pelo comprimento de onda, que é da ordem de metros.</p> <p>Os buracos são cavidades no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes. Na pesquisa, os buracos são classificados nesta categoria quando encontrados em pequena quantidade, mas de maneira contínua e predominante.</p>	8,32
Destruído	<p>O pavimento apresenta elevada quantidade de buracos ou ruína total da superfície de rolamento. Nesse caso, a condição da superfície do pavimento obriga os veículos a trafegarem em baixa ou baixíssima velocidade. Estão também incluídos nessa categoria os pavimentos fresados, ou seja, aqueles que, em fase de restauração, têm todo o seu revestimento removido ou estão somente com a camada de imprimação, mas estão abertos ao tráfego de veículos.</p>	0

3.1.2 Velocidade devido ao pavimento – CNT

Esta avaliação considera a velocidade desenvolvida pelos veículos em função dos defeitos e irregularidades presentes ou não na superfície dos pavimentos. Em uma via classificada como com condição de superfície perfeita ou desgastada, os veículos serão capazes de desenvolver a velocidade de projeto sem dificuldades. Por outro lado, quando vias apresentam muitas inconformidades, o reflexo dos condutores será de redução da velocidade a fim de se evitar acidentes, avarias ou desgaste nos veículos.

Cabe informar que, para essa avaliação, outros fatores que também geram uma necessidade de redução da velocidade além da condição da superfície de rolamento, tais como congestionamentos, densidades elevadas de veículos e geometria da via, não são considerados na análise da variável velocidade devido ao pavimento.

A velocidade devido ao pavimento pode ser classificada, conforme as consequências que a via causa, nas três categorias expostas na

Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Categorias de velocidade devido ao pavimento, Fonte: (CNT, 2019).

VELOCIDADE DEVIDO AO PAVIMENTO	DEFINIÇÃO	PONTUAÇÃO
Não obriga a redução de velocidade	Relaciona-se à condição da superfície do pavimento que permite um deslocamento contínuo na velocidade regulamentada da via.	33,33
Obriga a redução de velocidade	É decorrente de casos em que o pavimento apresenta um estado de conservação deficiente, com afundamentos, ondulações e/ou buracos, que obrigam à redução da velocidade do veículo. Também pode ocorrer quando existe uma sequência de remendos mal executados, corrugação acentuada e pavimentos fresados.	16,67
Baixíssima velocidade	Nesses casos, o pavimento está destruído ou em péssimo estado de conservação, comprometendo significativamente a fluidez do tráfego e obrigando os veículos a trafegarem em baixíssima velocidade.	0

3.1.3 Pavimento do acostamento - CNT

Para a avaliação do pavimento dos acostamentos de rodovias, os pesquisadores são treinados para inspecionar visualmente as inconformidades, tais como presença de mato, buracos e desnível elevado entre pista de rolamento e acostamento. Esse elemento da característica de condição dos pavimentos não é presente em todas as vias, portanto sua avaliação apenas é realizada mediante sua presença.

O pavimento do acostamento é avaliado levando-se em consideração as categorias listadas Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Categorias de pavimentos do acostamento, Fonte: (CNT, 2019).

PAVIMENTO DO ACOSTAMENTO	DEFINIÇÃO	PONTUAÇÃO
Pavimentado perfeito	O acostamento é pavimentado perfeito quando houver o revestimento asfáltico em toda a seção do acostamento. Nesse caso, a superfície do acostamento não deve possuir a predominância de defeitos graves, tal como buracos. Contudo, admite-se a presença de defeitos do tipo desgaste, trincas (transversal, longitudinal e em malha), remendos e/ou desagregação.	33,33

PAVIMENTO DO ACOSTAMENTO	DEFINIÇÃO	PONTUAÇÃO
Não pavimentado perfeito	O acostamento não apresenta nenhum tipo de tratamento de pavimentação, encontra-se em leito natural ou é constituído por materiais com características semelhantes às dos empregados nas camadas de base ou sub-base. Nesse caso, apresenta regularidade em toda a seção e não possui predominância de defeitos graves, como buracos e/ou a presença de mato.	22,23
Más condições	O acostamento pode ser pavimentado ou não. Em sua superfície, são verificados buracos, afundamentos, ondulações, presença de mato ou desníveis acentuados entre a faixa de rolamento e o acostamento. Possui traçado regular e ainda mantém as condições de uso, apesar da redução no nível de segurança.	11,12
Destruído	O acostamento pode ser pavimentado ou não. Em sua superfície, são verificados buracos, afundamentos, ondulações, presença de mato ou desníveis acentuados entre a faixa de rolamento e o acostamento. Possui traçado regular e ainda mantém as condições de uso, apesar da redução no nível de segurança.	0

Este trabalho fará uso dos resultados obtidos pelas pesquisas de rodovias da CNT no período de 2010 a 2019 sobre as condições dos pavimentos brasileiros para extração de dados necessários para o cálculo dos valores refletidos aos utilizadores das rodovias.

A partir dos dados coletados pela pesquisa foi possível traçar o gráfico de barras acumuladas na Figura 15 a seguir que representa a distribuição da condição do pavimento no Brasil ao longo do período analisado.

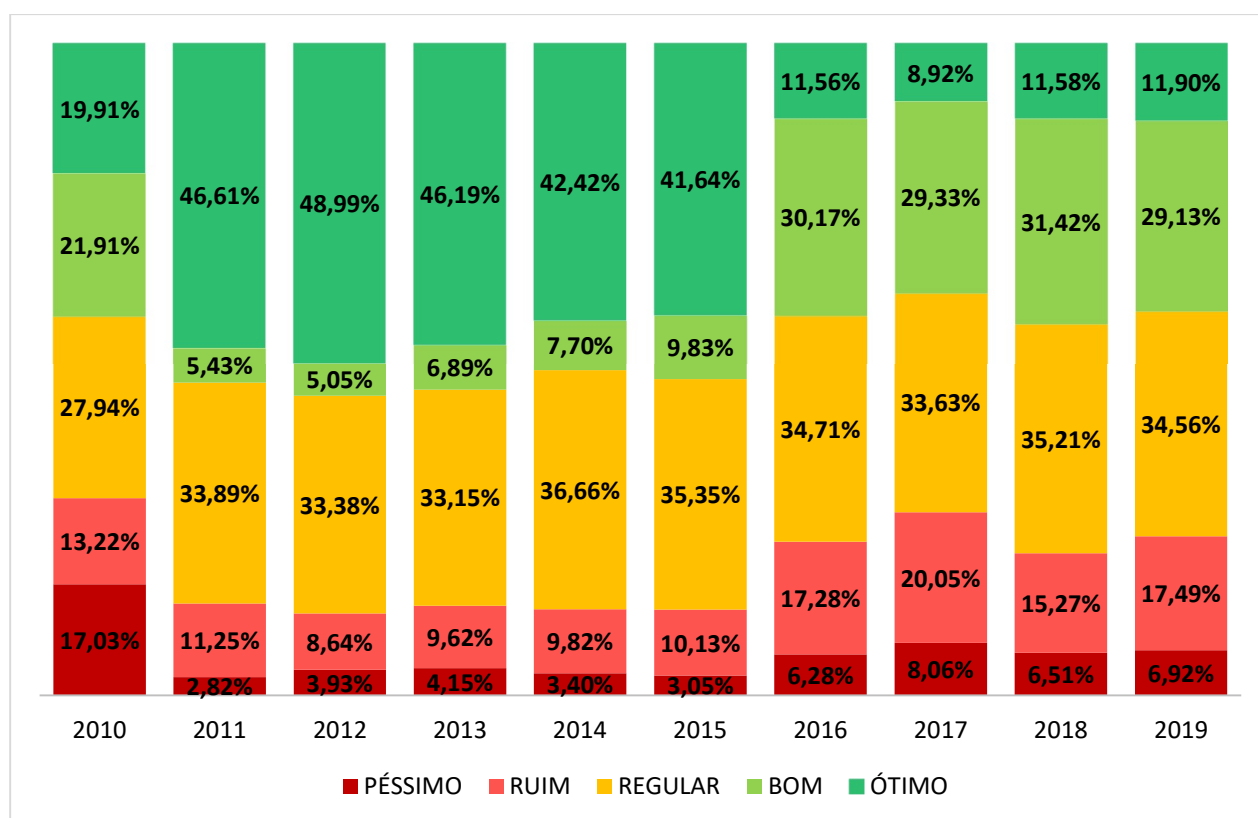


Figura 15 - Distribuição da condição do pavimento no Brasil no período de 2010 a 2019. Fonte: (Autor)

Os dados provenientes da CNT utilizados neste trabalho estão contidos nas Tabelas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 a seguir, os valores estão em percentuais que futuramente serão convertidos em Km para utilização nos cálculos efetuados.

Tabela 5 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2010. (CNT, 2010)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (km)
2010	Brasil	19,91%	21,91%	27,94%	13,22%	17,02%	100%	90.945
	Norte	4,40%	12,65%	25,77%	16,83%	40,35%	100%	9.301
	Nordeste	15,45%	17,61%	27,60%	15,84%	23,50%	100%	25.644
	Sudeste	30,57%	26,77%	24,29%	10,00%	8,37%	100%	26.166
	Sul	25,07%	28,55%	28,37%	9,48%	8,53%	100%	16.166
	Centro-Oeste	12,31%	19,15%	36,53%	16,40%	15,62%	100%	13.668

Tabela 6 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2011. (CNT, 2011)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (km)
2011	Brasil	46,61%	5,43%	33,89%	11,25%	2,82%	100%	92.747
	Norte	19,74%	2,28%	44,17%	24,50%	9,32%	100%	9.799
	Nordeste	44,89%	5,09%	36,29%	8,99%	4,74%	100%	25.820
	Sudeste	53,25%	6,38%	30,69%	9,34%	0,34%	100%	26.778
	Sul	58,25%	5,91%	27,60%	7,66%	0,58%	100%	16.199
	Centro-Oeste	42,51%	5,89%	35,63%	13,90%	2,08%	100%	14.151

Tabela 7 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2012. (CNT, 2012)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2012	Brasil	48,99%	5,05%	33,38%	8,64%	3,93%	100%	95.707
	Norte	19,05%	2,89%	50,25%	14,54%	13,28%	100%	10.393
	Nordeste	48,82%	5,00%	33,88%	7,18%	5,13%	100%	26.739
	Sudeste	55,81%	5,59%	28,13%	8,52%	1,95%	100%	27.187
	Sul	60,54%	5,65%	26,95%	6,31%	0,56%	100%	16.842
	Centro-Oeste	44,60%	5,00%	37,65%	10,06%	2,69%	100%	14.546

Tabela 8 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2013. (CNT, 2013)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2013	Brasil	46,19%	6,89%	33,15%	9,62%	4,15%	100%	96.714
	Norte	22,22%	5,66%	46,04%	16,72%	9,35%	100%	10.895
	Nordeste	45,33%	7,90%	31,86%	10,34%	4,56%	100%	26.957
	Sudeste	53,98%	6,24%	27,76%	7,97%	4,05%	100%	27.165
	Sul	55,44%	8,06%	28,10%	6,77%	1,63%	100%	17.020
	Centro-Oeste	40,42%	5,81%	41,75%	9,37%	2,65%	100%	14.677

Tabela 9 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2014. (CNT, 2014)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2014	Brasil	42,42%	7,70%	36,66%	9,82%	3,40%	100%	98.475
	Norte	24,80%	6,57%	43,85%	16,43%	8,35%	100%	10.958
	Nordeste	44,11%	6,10%	36,35%	8,31%	5,13%	100%	27.303
	Sudeste	53,12%	6,10%	30,40%	8,99%	1,39%	100%	28.182
	Sul	38,40%	14,68%	33,72%	11,49%	1,71%	100%	17.287
	Centro-Oeste	36,67%	6,36%	47,32%	7,32%	2,33%	100%	14.745

Tabela 10 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2015. (CNT, 2015)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2015	Brasil	41,64%	9,83%	35,35%	10,13%	3,05%	100%	100.763
	Norte	23,43%	10,40%	45,44%	11,29%	9,44%	100%	11.661
	Nordeste	48,42%	5,98%	35,24%	7,13%	3,23%	100%	27.555
	Sudeste	49,63%	10,46%	28,91%	10,34%	0,65%	100%	28.461
	Sul	33,75%	15,01%	34,35%	13,62%	3,25%	100%	17.829
	Centro-Oeste	37,65%	9,11%	41,00%	10,15%	2,08%	100%	15.257

Tabela 11 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2016. (CNT, 2016)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2016	Brasil	11,56%	30,17%	34,71%	17,28%	6,28%	100%	103.259
	Norte	3,70%	19,75%	39,34%	22,02%	15,19%	100%	12.327
	Nordeste	3,74%	33,20%	33,59%	19,99%	9,49%	100%	27.898
	Sudeste	25,96%	29,50%	27,56%	14,50%	2,48%	100%	28.843
	Sul	8,47%	32,18%	40,13%	15,58%	3,64%	100%	18.080
	Centro-Oeste	8,81%	31,87%	39,82%	15,82%	3,67%	100%	16.111

Tabela 12 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2017. (CNT, 2017)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2017	Brasil	8,92%	29,33%	33,63%	20,05%	8,06%	100%	105.814
	Norte	4,34%	34,17%	30,62%	19,68%	11,19%	100%	12.863
	Nordeste	0,68%	18,22%	37,23%	26,75%	17,12%	100%	28.780
	Sudeste	20,23%	28,31%	28,56%	18,39%	4,51%	100%	29.378
	Sul	6,98%	31,33%	39,28%	18,81%	3,60%	100%	18.403
	Centro-Oeste	5,36%	29,16%	38,88%	19,81%	6,80%	100%	16.390

Tabela 13 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2018. (CNT, 2018)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2018	Brasil	11,58%	31,42%	35,21%	15,27%	6,51%	100%	107.161
	Norte	2,03%	20,38%	43,74%	19,87%	14,01%	100%	13.329
	Nordeste	5,81%	35,87%	33,84%	14,47%	10,01%	100%	28.754
	Sudeste	26,16%	28,67%	29,80%	12,98%	2,39%	100%	29.504
	Sul	7,35%	36,47%	36,39%	15,42%	4,37%	100%	18.419
	Centro-Oeste	8,16%	31,86%	38,94%	16,81%	4,23%	100%	17.155

Tabela 14 - Percentual de distribuição das classificações no ano de 2019. (CNT, 2019)

Ano	Região	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	Total	Extensão (Km)
2019	Brasil	11,90%	29,13%	34,56%	17,49%	6,92%	100%	108.863
	Norte	1,69%	21,63%	42,86%	22,15%	11,67%	100%	13.426
	Nordeste	8,50%	32,25%	32,42%	15,74%	11,09%	100%	28.855
	Sudeste	25,64%	26,89%	27,62%	16,65%	3,19%	100%	30.233
	Sul	8,42%	32,55%	37,00%	18,76%	3,27%	100%	18.476
	Centro-Oeste	5,38%	29,99%	41,03%	16,91%	6,69%	100%	17.874

3.2 Highway Design And Maintenance - 4

A grande quantidade de fatores presentes nos processos de construção e manutenção de uma malha viária são um verdadeiro desafio para os gestores rodoviários. Além do fator quantidade, outro desafio é a grande sensibilidade entre as decisões tomadas e o impacto no custo de operação dos veículos e, conseqüentemente, no transporte de mercadorias e pessoas. Assim, fez-se necessário o desenvolvimento de um *software* que fosse capaz de englobar todas essas dificuldades em termos que possibilitem resultados efetivos para um SGP, conhecido como *Highway Design and Maintenance* - HDM.

O *software* em questão necessitou de diversos estudos a fim de se desenvolver modelos de previsão para as mais variadas variáveis que devem ser consideradas para uma detalhada análise técnica, econômica e ambiental. Em 1975, o Brasil, em parceria com a *United Nations Development Programme* (UNDP), participou ativamente deste processo. A Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT) ficou encarregada de realizar estudos para melhor entender os custos e as relações entre a construção, a conservação e a utilização de rodovias. Os resultados do estudo foram publicados em 1981 e serviram de dados base para as previsões do HDM III a respeito da capacidade de desenvolvimento de velocidade pelos usuários, o desgaste dos pneus dos veículos e os custos com manutenções em automóveis. (Watanatada, et al., 1987)

Trata-se de um sistema que, além de ter o Brasil como berço de grande parte das pesquisas realizadas para seu desenvolvimento - principalmente na parte de formulação de equações de custos operacionais de veículos e de modelos de previsão do desempenho de pavimentos, é internacionalmente recomendado por entidades de financiamento, como o BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) e BIRD (Banco Internacional para Reconstrução e

Desenvolvimento), devido aos resultados satisfatórios encontrados pelos responsáveis pela administração das rodovias do país (DNIT, 2011).

A tarefa básica é prever o custo de ciclo de vida total da malha, que engloba construção, manutenção e custo do usuário, em função do dimensionamento das vias, procedimentos de manutenção e outras possíveis considerações. Para que se tenha uma ferramenta aplicável, é necessário também saber quais as relações de causa e efeito de diferentes condições (terreno, clima, tráfego, economia) no custo do ciclo de vida da malha (Watanatada, et al., 1987).

A base de cálculo do programa consiste em adicionar três diferentes centros de custo por um período especificado, com seus respectivos valores presentes, onde os valores são determinados prevendo-se as quantidades físicas de consumo de recursos para então serem multiplicados pelos preços unitários respectivos. Os três centros de custo e suas variáveis definidas pelo *software* são:

- Custo de Construção: depende do tipo de terreno; solo utilizado; incidências pluviométricas; dimensionamento do traçado da via; dimensionamento do pavimento e preços unitários (insumos e serviços).
- Custo de Manutenção: depende da taxa de deterioração da via; procedimentos de conservação; preços unitários (insumos e serviços).
- Custo do Usuário: depende do dimensionamento do traçado da via; condições de superfície da via; velocidade do veículo; frota de veículos; preços unitários (insumos e serviços).

O HDM é usado para comparar estimativas de custos e avaliar economicamente diferentes alternativas de gestão, incluindo diferentes estratégias de período de execução de serviços, tanto para o projeto de uma rodovia tanto para uma vasta malha rodoviária. Uma conceituação básica do processo de cálculo do *software* é mostrada na Figura 16:

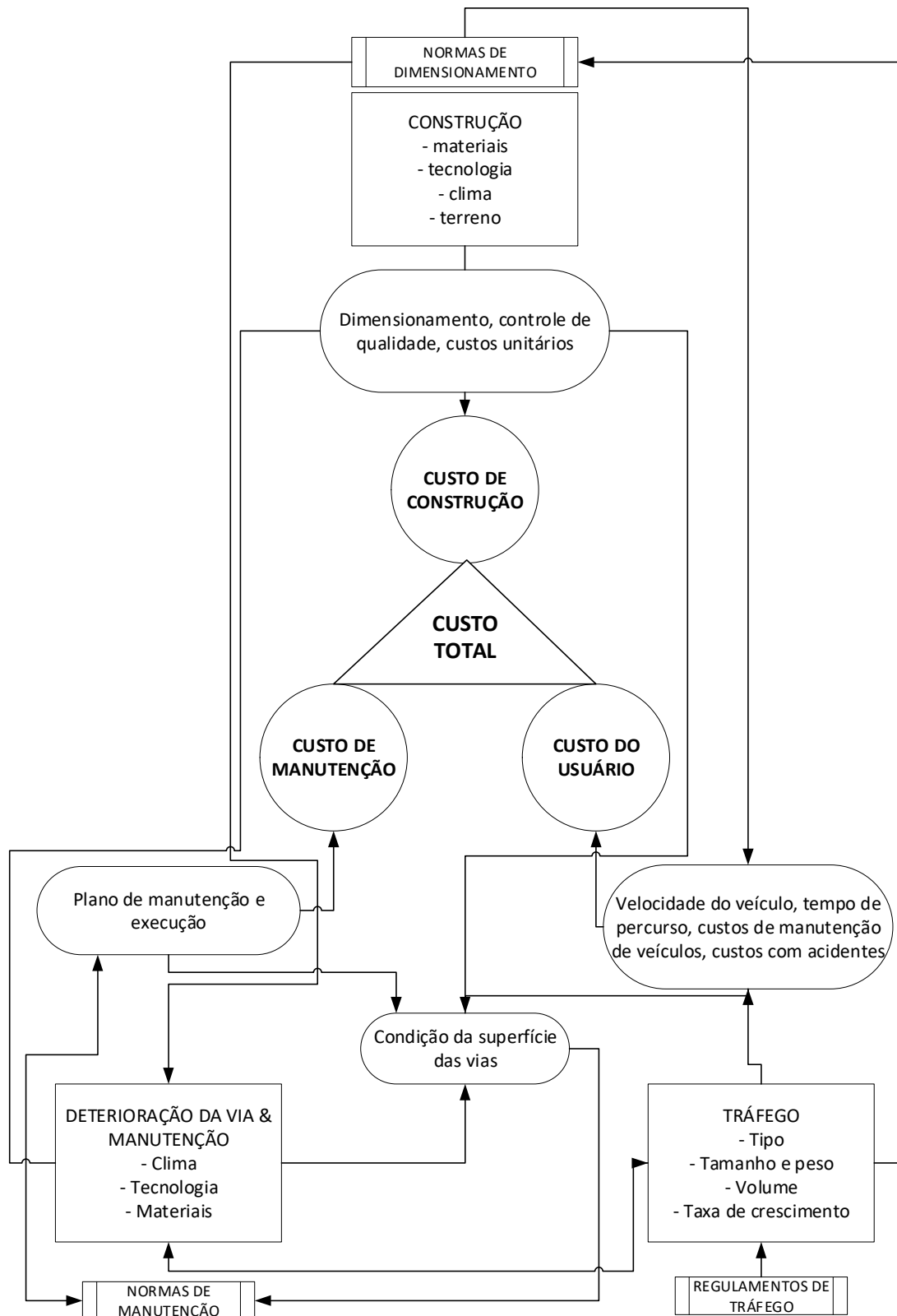


Figura 16 - Modelo de relações entre Custos de Construção, Manutenção e Uso. Fonte: (Watanatada, et al, 1987, Adaptado).

O HDM é capaz de estimar o custo total de uma grande quantidade de cenários, ano por ano, sendo possível comparar a taxa interna de retorno ou valor presente líquido entre os cenários.

O *software* também é capaz de encontrar a estratégia de manutenção que minimize o custo de ciclo de vida ou que maximize o valor presente líquido de um sistema rodoviária inteiro dentro de um orçamento limitado para determinado período. Ainda sobre a capacidade do HDM, pode-se adicionar a análise da sensibilidade dos resultados a mudanças em variáveis chave, como preços unitários, taxas de crescimento de tráfego, taxas de desconto e o valor do tempo do usuário.

O processamento do HDM é dado em três etapas. A primeira consiste em alimentar o modelo e sequente avaliação dos dados inseridos para localização de possíveis erros numéricos ou de formato e inconsistências. A segunda etapa é a fase de simulação do fluxo de tráfego e das variações nas vias desde sua construção passando por ciclos anuais de uso, deterioração e manutenção. A última etapa engloba, por sua vez, análise econômica e comparações de alternativas de soluções de construção e manutenção, gerando relatórios que evidenciam as diferenças entre os custos financeiros e econômicos de pares de alternativas, bem como comparações em termos dos seus valores presentes líquidos com distintas taxas de desconto, taxa interna de retorno e benefícios do primeiro ano (Watanatada, et al., 1987).

Uma vez construídos, os pavimentos de rodovias se deterioram como consequência de vários fatores, sendo os principais o carregamento do tráfego, exposição ao meio ambiente e um sistema de drenagem ineficiente. A taxa de degradação do pavimento é diretamente afetada pelas políticas de manutenção para reparo de defeitos na superfície do pavimento, como fissuras, desgastes, panelas, etc., ou para preservar a integridade estrutural do pavimento, de maneira a permitir que a via suporte o tráfego para a qual foi projetada. Na Figura 17 é ilustrado a previsão do desempenho de um pavimento representado pelo Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI), índice este escolhido pelo HDM para representar as condições do pavimento.

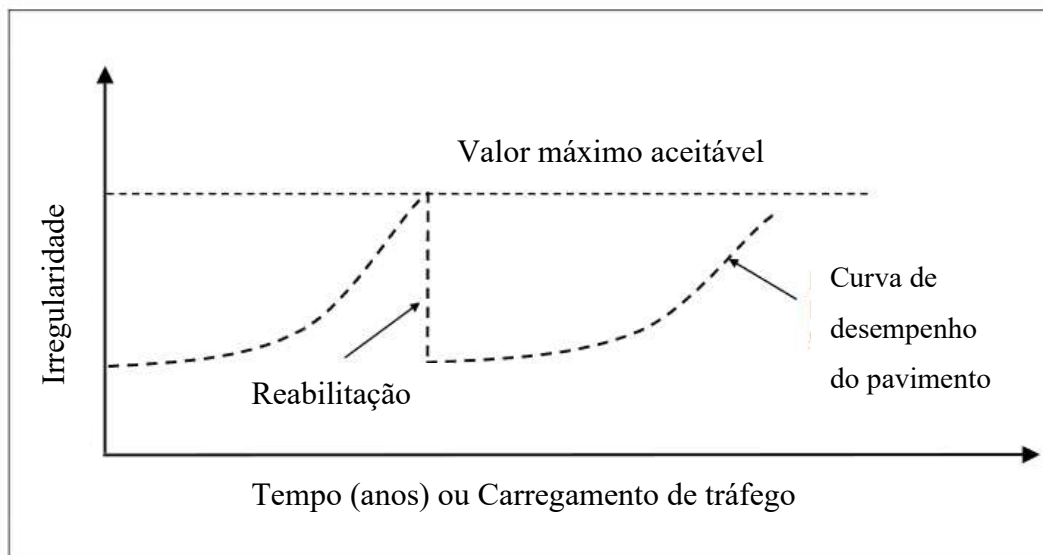


Figura 17 - Modelo de previsão da irregularidade longitudinal para o HDM – 4, Fonte: (Morosiuk, Riley, & Toole, 2006).

O impacto da condição da via, bem como seus critérios de dimensionamento, a seus usuários é mensurado em termos do custo do usuário, e outros efeitos sociais e ambientais. O custo refletido ao usuário é composto por:

- **Custo de operação da frota:** abrange o consumo de combustível, pneus, óleo, peças de reposição; depreciação e utilização da frota, etc.
- **Custo do tempo de deslocamento:** abrange tanto passageiros quanto cargas.
- **Custo de acidentes:** abrange fatalidades, ferimentos nos usuários, danos ao veículo, etc.

Os efeitos sociais e ambientais podem ser descritos pela emissão por veículo de gases nocivos ao meio ambiente, consumo de energia, ruído sonoro e outros. Apesar da enorme dificuldade de quantificação em termos monetários, estes podem ser incorporados à análise do HDM inserindo dados de quantificação encontrados por estudos realizados pelo usuário do *software*. Na Figura 18 apresentada a relação entre estado do pavimento (medido em termos do IRI) e nos custos de operação para diferentes tipos de veículos (Morosiuk, Riley, & Toole, 2006).

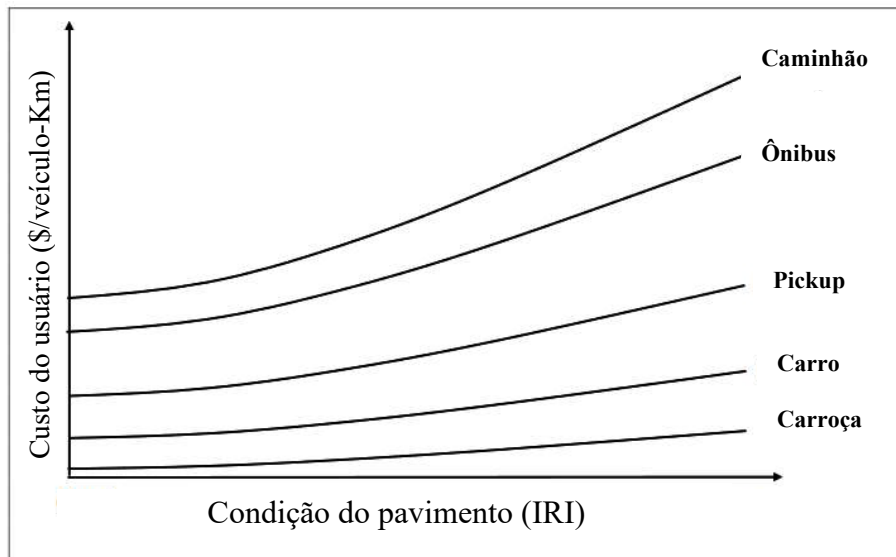


Figura 18 - Relação entre custo de operação de diferentes veículos com a condição do pavimento, Fonte: (Morosiuk, Riley, & Toole, 2006).

3.2.1 HDM4 – Road User Cost Model

O HDM-4 Road User Costs Model (HDM-4 RUC) é um modelo baseado em Excel, desenvolvido pelo HDM Global, projetado para calcular, para diferentes tipos de veículos e condições de estradas, velocidades do veículo, consumo de combustível, custos operacionais do veículo, custos do tempo do passageiro, emissão e custos de acidentes, sendo em outras palavras uma versão simplificada do HDM-4 disponibilizado gratuitamente pelo Banco Mundial para apoiar o monitoramento, planejamento, programação e avaliação econômica de obras de estradas e rodovias.


Apesar de ser um modelo simplificado do software, ainda é um modelo extremamente poderoso para calcular os custos unitários do usuário das estradas, realizar análises de sensibilidade, calcular os custos do usuário de determinada malha viária e realizar uma avaliação econômica simplificada de um projeto de estrada. Portanto, neste projeto faremos uso deste modelo para a análise da influência da condição do pavimento nos custos de operação do usuário.

Para o estudo em questão, como o objetivo é observar a influência da condição do pavimento no custo do usuário apenas o parâmetro de Irregularidade Longitudinal, representado pelo IRI no HDM-4, irá sofrer alterações de acordo com as condições do pavimento dos dados coletados, *ceteris paribus*, ou seja, mantido todo o restante constante. No apêndice A encontra-se as tabelas de dados sugeridos pelo HDM4 – RUC que serão utilizados como parâmetros fixos nos cálculos efetuados.

3.3 Relação entre PCI, IRI e pontuação CNT

O método de pontuação utilizado pela CNT para a mensuração dos resultados observados em campo possui grande similaridade com o método do PCI. Pela evidente semelhança entre os dois métodos, será considerado que os valores encontrados para o método da CNT refletem valores correspondentes para o método do PCI, apenas por realizar uma pequena adaptação a esse método.

A adaptação consiste em diminuir a quantidade de categorias presentes na escala de conversão do PCI, de sete para cinco: ótimo, bom, regular, ruim, péssimo. Essa alteração é necessária visto que os dados extraídos das pesquisas da CNT possuem apenas cinco categorias para o índice. A simplificação do modelo pode ser visualizada na Figura 19 a seguir.



100 - 86	Ótimo	100 - 86	Ótimo
85 - 71	Bom	85 - 71	Bom
70 - 56	Regular	70 - 56	Regular
55 - 41	Ruim	55 - 26	Ruim
40 - 26	Muito Ruim		
25 - 11	Crítico	25 - 0	Péssimo
10 - 0	Falha		

Figura 19 - Esquema de simplificação do PCI. Fonte: (Autor)

Como supracitado, o IRI é o índice que o HDM utiliza para as avaliações dos danos causados pela condição do pavimento em análise. Por outro lado, a CNT utiliza seu próprio método para suas avaliações nas rodovias federais. Assim, faz-se necessário uma relação entre os dois indicadores para que seja possível a alimentação dos dados ao *software*.

Considerou-se que o IRI para o estudo em questão estaria dentro do intervalo de 0 a 10, uma vez que irregularidades na ordem de 10 m/km já evidenciam uma rodovia extremamente deteriorada e, portanto, pontuações mais elevadas não iriam interferir significativamente na classificação do estado do pavimento.

Por fim, dividiu-se o intervalo pré-estabelecido para o IRI em cinco faixas que então foram relacionadas com as cinco categorias do PCI de acordo com os estudos realizados por Hasibuan & Surbakti, no qual os autores relacionaram os dois indicadores encontrando uma relação consideravelmente forte. Uma vez que admitimos anteriormente a semelhança entre o método CNT e o PCI, foi possível criar a relação entre os dois indicadores conforme Figura 20

IRI (m/Km)	PCI		IRI (m/Km)	Método CNT
$0 \leq \text{IRI} < 2$	Ótimo		$0 \leq \text{IRI} < 2$	Ótimo
$2 \leq \text{IRI} < 4$	Bom		$2 \leq \text{IRI} < 4$	Bom
$4 \leq \text{IRI} < 6$	Regular	→	$4 \leq \text{IRI} < 6$	Regular
$6 \leq \text{IRI} < 8$	Ruim		$6 \leq \text{IRI} < 8$	Ruim
$8 \leq \text{IRI} \leq 10$	Péssimo		$8 \leq \text{IRI} \leq 10$	Péssimo

Figura 20 - Relação entre IRI, PCI e Método CNT. Fonte: (Autor)

4 RESULTADOS

Com base nos dados coletados pelas pesquisas anuais da CNT, seus resultados foram convertidos em valores numéricos que representassem o IRI médio de cada uma das regiões do Brasil por meio da relação evidenciada na Figura 20. Foram realizadas simulações ano a ano, entre 2010 e 2019, utilizando o *software* utilizando o HMD4 – *Road User Cost Model*.

Foram obtidos resultados de Custos ao Usuário por ano em cada uma das cinco regiões do Brasil. Vale informar que como o intuito do estudo é identificar o reflexo da condição do pavimento nos custos aos usuários e como as extensões de rodovias pesquisadas pela CNT ao longo dos anos não foram constantes, para fins de uma possível análise comparativa ano a ano apresentou-se além do custo ao usuário, custos ao usuário por quilômetro.

4.1 Resultados de custos ao usuário devido à variação do IRI

A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos cálculos computacionais executados pelo HDM4 – RUC para as cinco regiões, bem como para o Brasil, sendo eles: Custo ao usuário por ano em reais e o Custo por Km por ano em reais.

4.1.1 Região Norte

Na Figura 21 apresenta-se a distribuição dos pavimentos das rodovias da região Norte nas faixas de classificação com os dados extraídos das pesquisas anuais da CNT de 2010 a 2019.

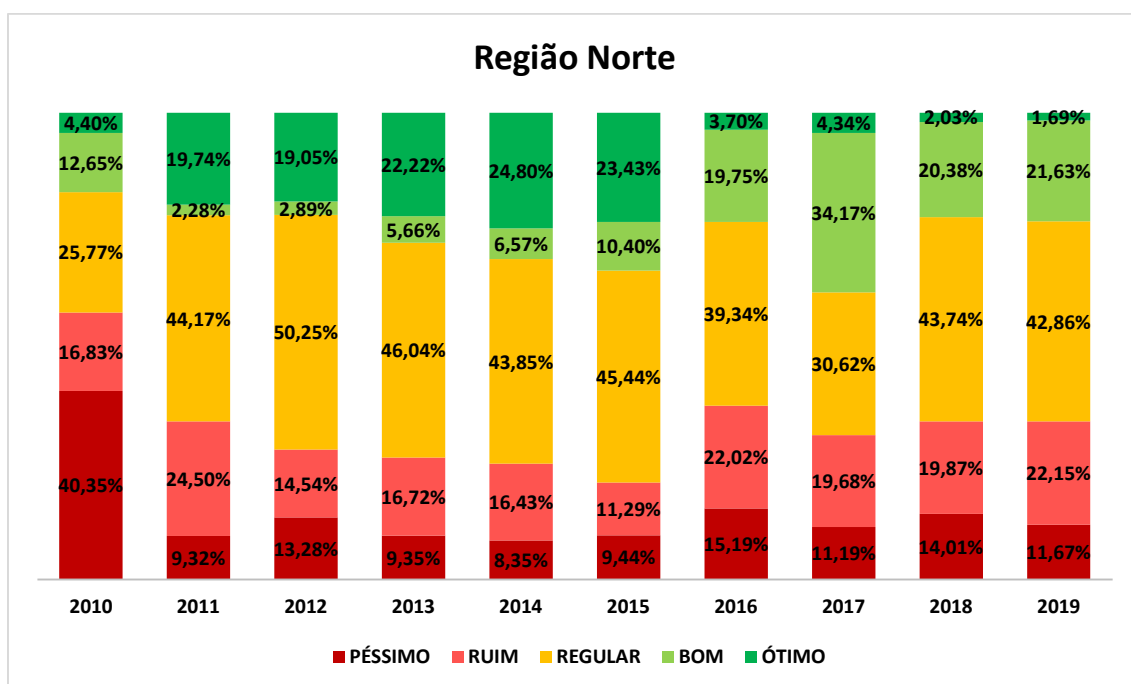


Figura 21 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Norte Fonte: (Autor)

Nota-se entre os anos 2010 e 2015 que houve melhora na condição geral dos pavimentos, com diminuição daqueles em condição péssima e ruim, e aumento dos em condição boa e ótima. A partir de 2016, percebe-se diminuição dos pavimentos em condição ótima culminando em uma redução de 21,74% no ano de 2019 em comparação com 2015. Simultaneamente, nota-se o aumento da porcentagem de pavimentos em condição péssima e ruim em 2016 e estabilidade até o final do período analisado.

Para o cálculo de custo refletido aos usuários multiplicou-se o percentual de cada faixa de condição do pavimento pela correspondente extensão do trecho avaliado a cada ano, encontrando-se, assim, a quilometragem correspondente para cada condição do pavimento. Para a região Norte os seguintes valores foram encontrados conforme a

Tabela 15 e a Figura 22:

Tabela 15 – Tabela de custos ao usuário obtidos para a Região Norte Fonte: (Autor)

Região Norte			
	Custo total aos usuários (R\$)	Extensão (km)	Custo por usuário por km (R\$/usuário.km)
2010	R\$ 847.753.101,64	9.301	R\$ 1,249
2011	R\$ 857.590.615,25	9.800	R\$ 1,199
2012	R\$ 908.958.028,50	10.393	R\$ 1,198
2013	R\$ 944.842.739,84	10.894	R\$ 1,188
2014	R\$ 946.418.932,29	10.958	R\$ 1,183
2015	R\$ 1.003.875.924,24	11.661	R\$ 1,179
2016	R\$ 1.086.128.346,08	12.327	R\$ 1,207
2017	R\$ 1.114.041.384,59	12.863	R\$ 1,186
2018	R\$ 1.172.447.657,04	13.333	R\$ 1,205
2019	R\$ 1.177.880.151,65	13.426	R\$ 1,202

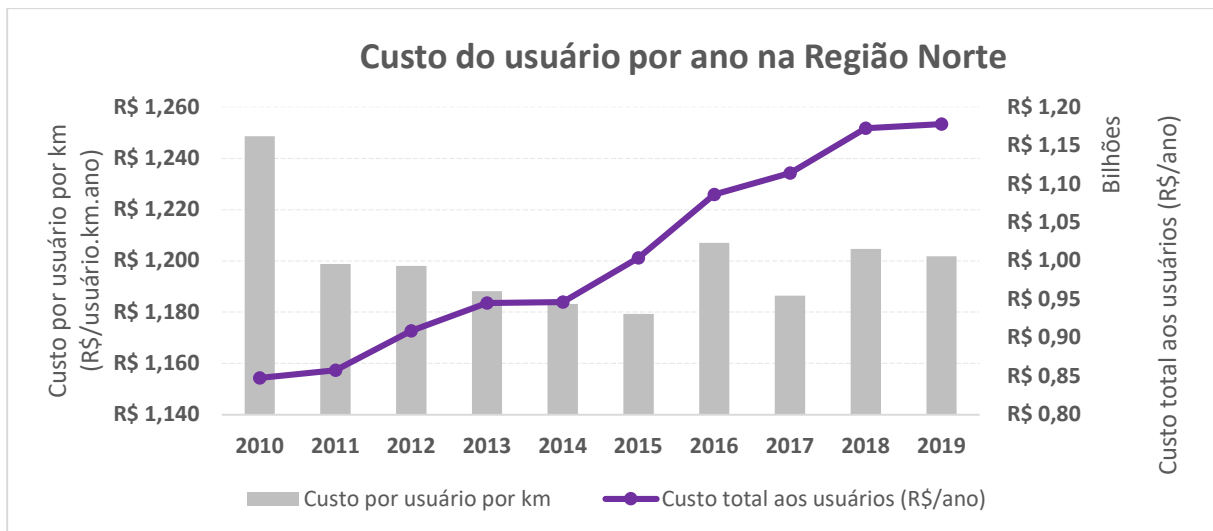


Figura 22 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Norte Fonte: (Autor)

Os resultados obtidos demonstram a relação entre o custo refletido aos usuários e a condição dos pavimentos estudados. É possível observar queda no custo por usuário por quilômetro entre os anos de 2010 e 2015 que acompanha a redução identificada no percentual de pavimentos em condições péssimas da região. Já 2016 nota-se aumento do custo e nos três últimos anos variações que seguem a distribuição observada na Figura 21. Já para a curva de custo total aos usuários verifica-se tendência de crescimento ao longo de todo o período analisado, fato explicado pelo aumento constante de quilômetros avaliados ao longo dos anos.

Na Figura 23 a seguir é mostrada a relação entre a melhora do pavimento das rodovias e o impacto no custo ao usuário. O custo diminui à medida que o percentual de pavimentos em ótimas e boas condições aumenta e o percentual de condições péssimas e ruins diminui. Nota-se também a tendência de imitação de comportamento da curva de custo com a curva de porcentagem de pavimentos em condições péssimas e ruins.

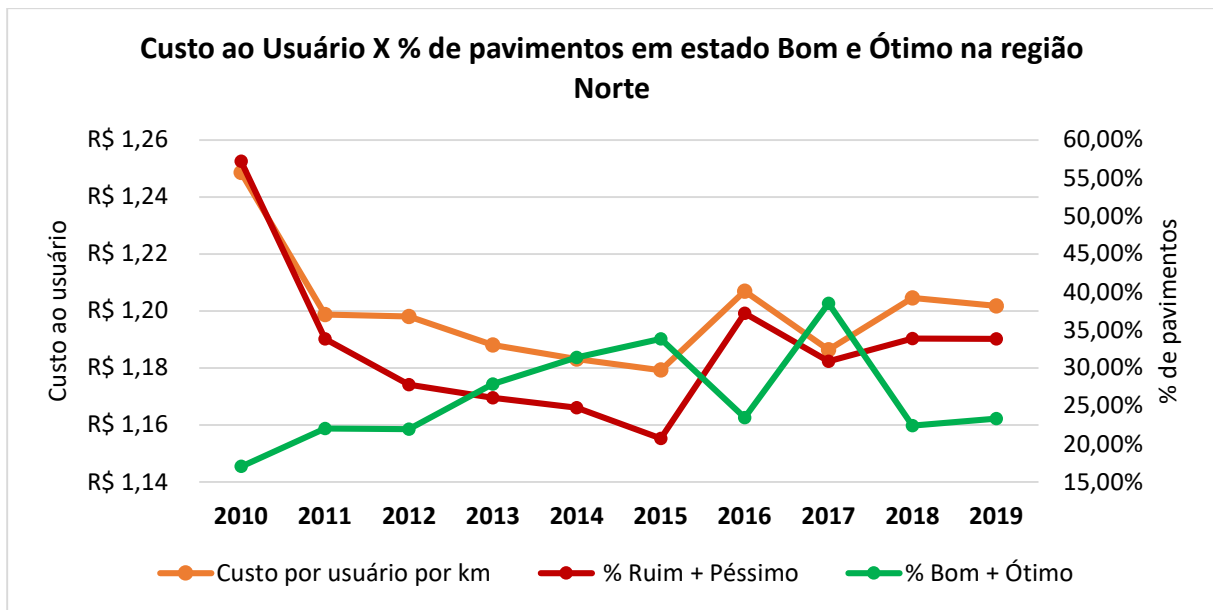


Figura 23 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Norte
 Fonte: (Autor)

4.1.2 Região Nordeste

Na Figura 24 apresenta-se a distribuição dos pavimentos das rodovias da região Nordeste nas faixas de classificação com os dados extraídos das pesquisas anuais da CNT de 2010 a 2019.

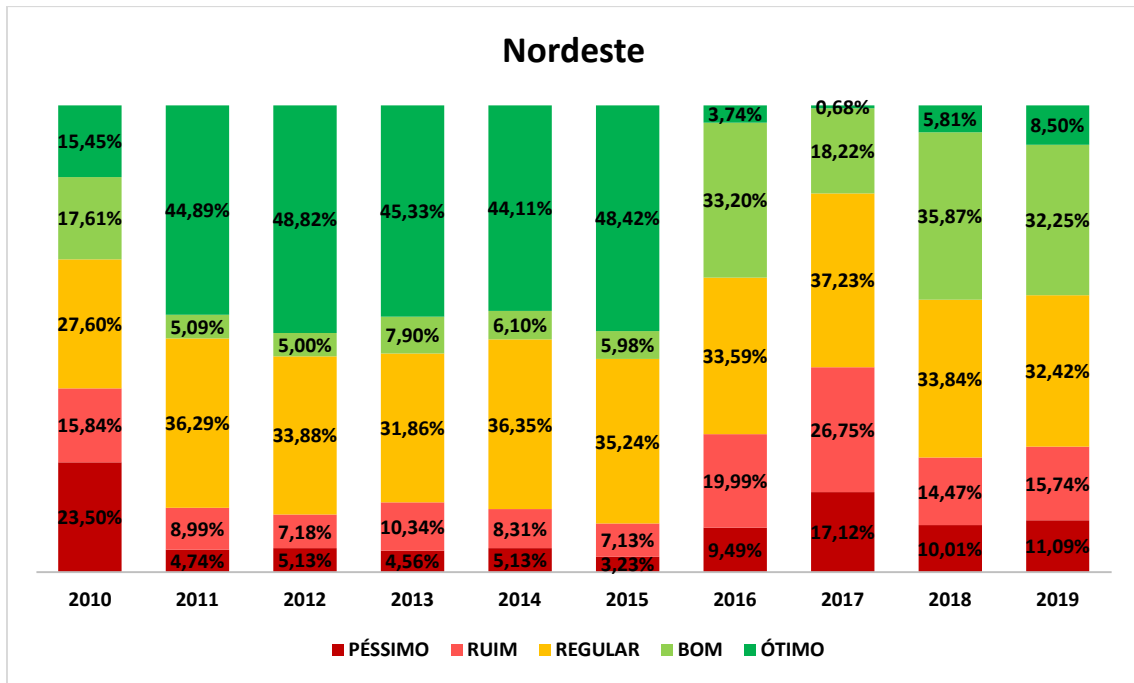


Figura 24 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Nordeste Fonte: (Autor)

Verificou-se entre os anos de 2010 e 2012 queda no percentual de pavimentos em condições ruins e péssimas enquanto as faixas de pavimentos em condições boas e ótimas teve seu percentual de representatividade aumentado em 20,76%. Posteriormente, nota-se estabilidade nas faixas de condição dos pavimentos da região entre os anos de 2012 e 2015, porém destaca-se a porcentagem de pavimentos em condições boas e ótimas sempre acima do 50%. Já em 2016 e 2017 observa-se piora no quesito de estado do pavimento com crescente nos valores das duas últimas faixas (ruim e péssimo) e diminuição na faixa ótima. Pela análise da Figura 24, pode-se observar que no período entre as avaliações de 2017 e 2018 houve investimentos nas atividades de M&R, pois nota-se melhora na condição geral das vias nesse período, com diminuição das vias em condição ruim e péssima, e aumento das vias em condição boa e ótima.

Para o cálculo de custo refletido aos usuários multiplicou-se o percentual de cada faixa de condição do pavimento pela correspondente extensão do trecho avaliado a cada ano, encontrando-se, assim, a quilometragem correspondente para cada condição do pavimento. Encontrou-se para a região nordeste os seguintes valores vistos na Tabela 16 e na Figura 25 a seguir:

Tabela 16 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Nordeste Fonte: (Autor)

Região Nordeste			
	Custo total aos usuários (R\$/ano)	Extensão (km)	Custo por usuário por km (R\$/usuário.km)
2010	R\$ 2.258.626.648,81	25.644	R\$ 1,207
2011	R\$ 2.175.824.507,40	25.820	R\$ 1,154
2012	R\$ 2.244.868.335,93	26.739	R\$ 1,150
2013	R\$ 2.267.368.090,98	26.954	R\$ 1,152
2014	R\$ 2.300.859.664,71	27.303	R\$ 1,154
2015	R\$ 2.306.351.223,71	27.555	R\$ 1,147
2016	R\$ 2.414.149.339,13	27.901	R\$ 1,185
2017	R\$ 2.558.015.799,31	28.780	R\$ 1,218
2018	R\$ 2.472.682.733,45	28.754	R\$ 1,178
2019	R\$ 2.487.890.794,45	28.855	R\$ 1,181

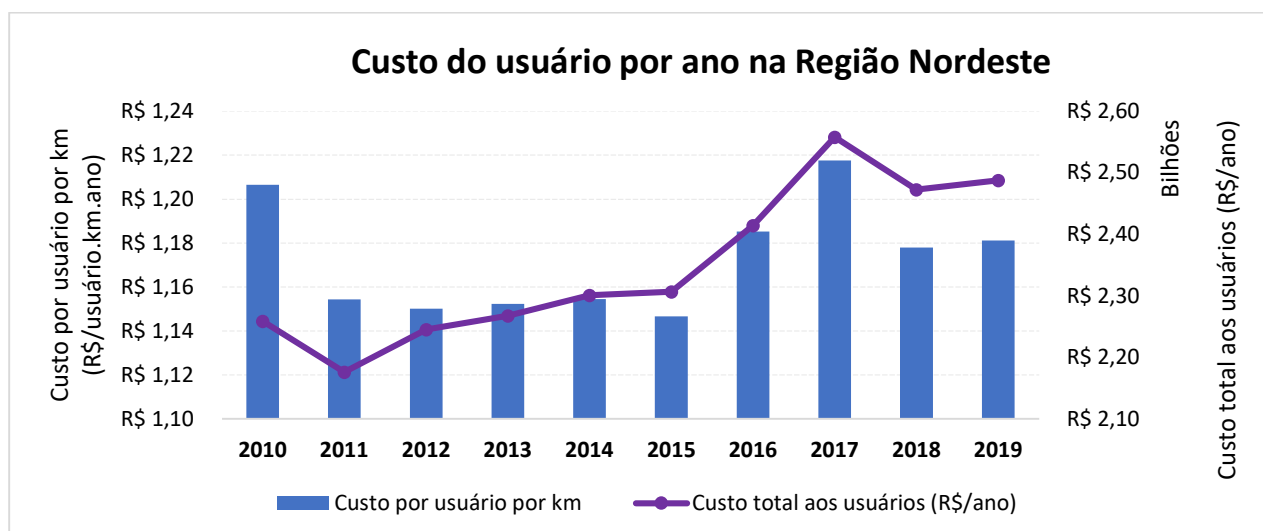


Figura 25 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Nordeste Fonte: (Autor)

Novamente os resultados obtidos demonstram a relação entre o custo aos usuários e a condição dos pavimentos estudados. É possível observar queda de -4,32% no custo por usuário por quilômetro entre os anos de 2010 e 2012 conforme a condição média dos pavimentos da região melhora como evidenciado na Figura 24 de distribuição da condição dos pavimentos. Já entre os anos de 2012 e 2015 nota-se estabilidade no custo, reflexo da estabilidade das faixas de condição dos pavimentos da região, porém vale evidenciar que o ano de 2015 apresentou menor custo por usuário por quilômetro para a região, uma vez que foi também o ano em que verificou-se tanto a menor porcentagem de pavimentos em condições ruins e péssimas quanto a maior porcentagem de pavimentos em condições boas e ótimas. Para os anos de 2016 e 2017 possivelmente boa parte das rodovias atingiu o ponto de troca de faixa para uma de condição

inferior, o que resultou na disparada de custo no período, mais uma vez acompanhando a tendência de alta das faixas péssimas e ruins e queda das faixas ótimas e boas. Por fim, verificase uma melhora na condição média dos pavimentos da região nos dois últimos anos da série conforme mostrada na Figura 25.

Para os custos totais aos usuários, diferentemente da região Norte, apesar de a extensão avaliada pela CNT ao longo dos anos de 2010 e 2019 ter sido sempre maior em comparação com o ano anterior, as melhorias na condição dos pavimentos entre os anos de 2010 e 2011 e 2017 e 2018 conseguiram reduzir o custo total.

Na Figura 26 a seguir observa-se a relação entre a melhora do pavimento das rodovias e o impacto no custo ao usuário. No período de 2010 a 2011 um aumento de 16,92 pontos percentuais nas faixas de condição ótima e boa e uma queda de 25,61 pontos percentuais nas faixas de condição ruim e péssima resultou em uma queda de 4,32 % no Custo por usuário. Percebe-se por meio da Figura 26 a dependência da curva do custo em relação a curva de pavimentos em condições ruins e péssimas, pois ambas possuem comportamento similar.

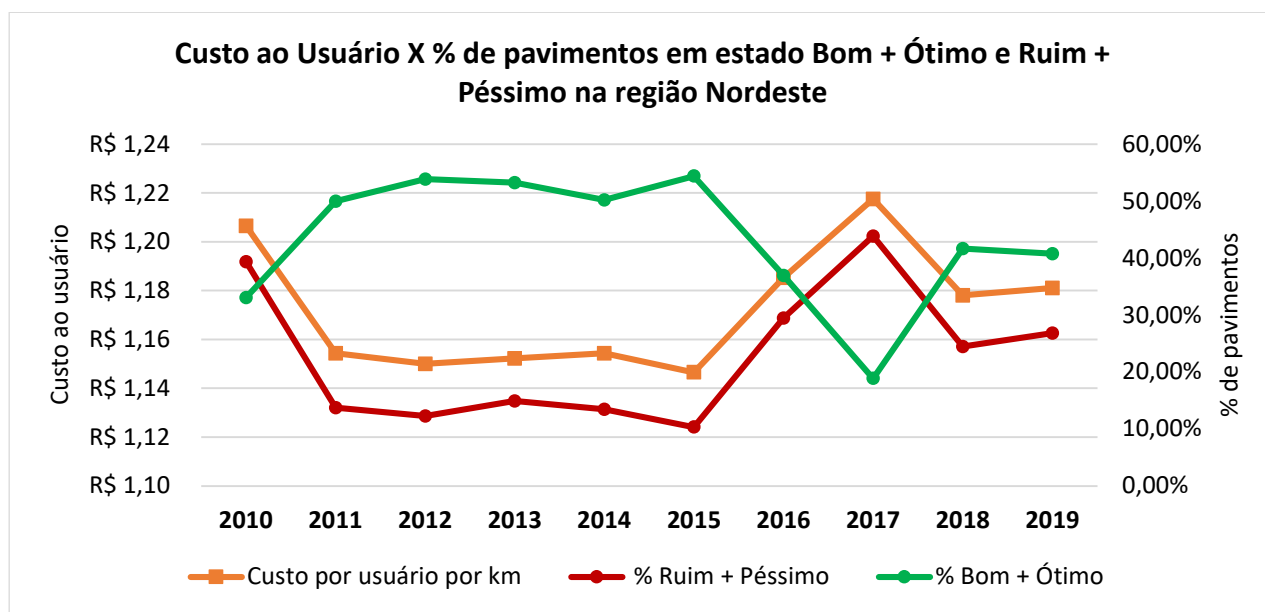


Figura 26 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Nordeste
Fonte: (Autor)

4.1.3 Região Sudeste

Na Figura 27 apresenta-se a distribuição dos pavimentos das rodovias da região Sudeste nas faixas de classificação com os dados extraídos das pesquisas anuais da CNT de 2010 a 2019.

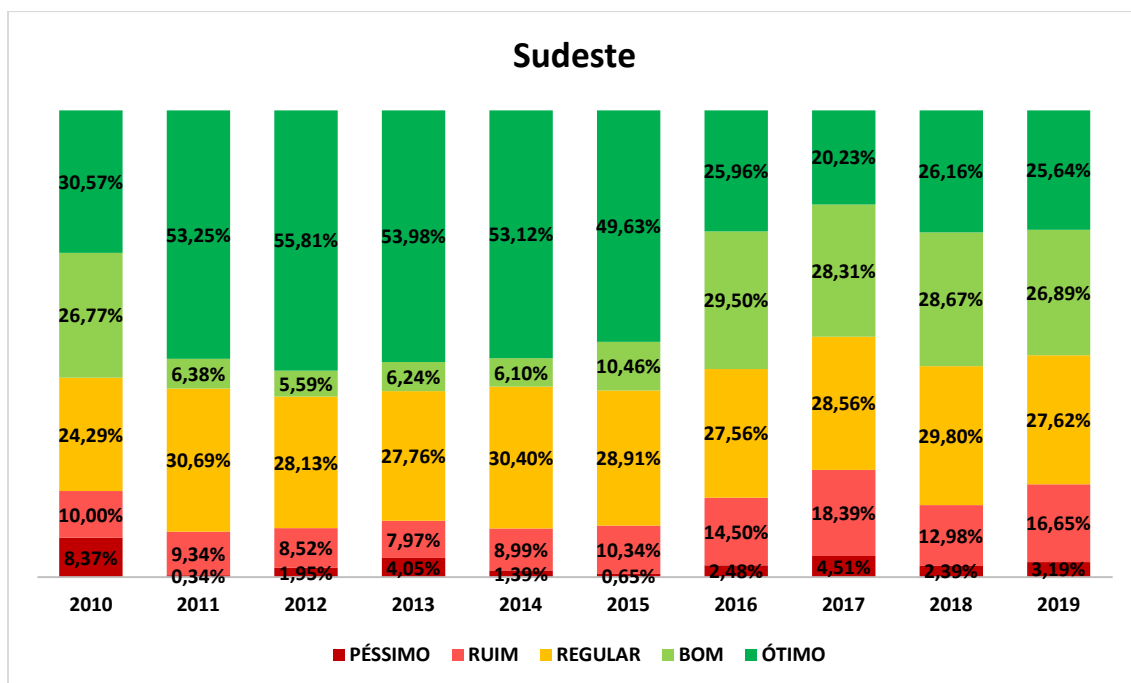


Figura 27 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Sudeste Fonte: (Autor)

Entre os anos de 2010 e 2012 nota-se aumento de pavimentos em condições ótimas da região, porém os pavimentos em condições ruins sofrem queda de 8,03% na sua expressividade entre 2010 e 2011, voltando a crescer em 2012. Verifica-se queda na porcentagem de pavimentos em condições péssimas e estabilidade na distribuição das demais faixas de condições dos pavimentos nos anos de 2013 a 2015. Já em 2016 e 2017 observa-se piora no estado do pavimento devido ao aumento da porcentagem das faixas de condição ruim e péssimo e redução das faixas bom e ótimo. Para os anos de 2018 e 2019 nota-se melhora na condição média dos pavimentos se comparado ao ano de 2017.

Verifica-se na Figura 27 que dos dez anos avaliados, em nove os pavimentos em condições boas e ótimas representaram mais de 50% dos pavimentos da região, distribuição essa que reflete de maneira positiva no custo por km da região quando comparada as demais como será analisado mais à frente.

Para o cálculo de custo refletido aos usuários multiplicou-se o percentual de cada faixa de condição do pavimento pela correspondente extensão do trecho avaliado a cada ano,

encontrando-se, assim, a quilometragem correspondente para cada condição do pavimento. Para a região Sudeste os valores encontrados são vistos na Tabela 17 e na Figura 28:

Tabela 17 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Sudeste Fonte:(Autor)

Região Sudeste			
	Custo total aos usuários (R\$/ano)	Extensão (km)	Custo por usuário por km (R\$/usuário.km)
2010	R\$ 2.208.923.814,75	26.166	R\$ 1,156
2011	R\$ 2.225.894.564,23	26.778	R\$ 1,139
2012	R\$ 2.260.330.295,66	27.187	R\$ 1,139
2013	R\$ 2.266.713.525,11	27.165	R\$ 1,143
2014	R\$ 2.346.255.132,73	28.182	R\$ 1,140
2015	R\$ 2.368.130.683,72	28.458	R\$ 1,140
2016	R\$ 2.426.316.246,00	28.843	R\$ 1,152
2017	R\$ 2.497.907.451,88	29.378	R\$ 1,165
2018	R\$ 2.480.331.735,61	29.504	R\$ 1,152
2019	R\$ 2.554.310.284,94	30.230	R\$ 1,157

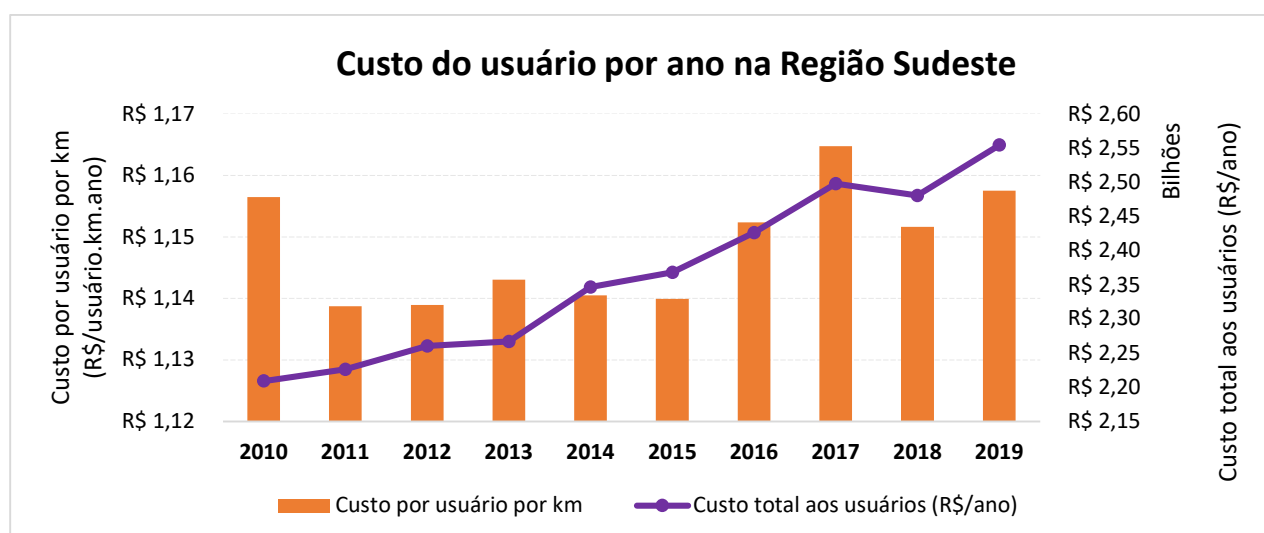


Figura 28 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Sudeste Fonte: (Autor)

Os resultados obtidos demonstram qual o reflexo de variações nas faixas ruim e péssimo no custo aos usuários. Novamente nota-se uma melhora no estado médio dos pavimentos estudados entre os anos de 2010 e 2011 que culminaram em uma redução de 1,53% no custo por usuário por quilômetro da região. Entre os anos de 2012 e 2013 verifica-se a tendência de aumento da faixa péssima na região refletindo no custo aos usuários. Novamente com a diminuição da porcentagem de pavimentos em condições péssimas observa-se nos anos de 2013 e 2014 redução do custo. Nos anos de 2016 e 2017 é possível notar o impacto que a faixa ótima causa no custo, pois apesar do somatório das duas faixas consideradas ideais representarem quase

50% dos pavimentos nos dois anos, verificou-se uma crescente acumulada de 2,17% no custo ao usuário. Por fim, verifica-se uma melhora na condição média dos pavimentos da região em 2018 e em 2019 uma leve elevação conforme mostrada na Figura 25 de distribuição das faixas de condição dos pavimentos, retornando, assim, o custo a valores similares ao primeiro ano da série estudada.

Nota-se que o custo total aos usuários ao longo dos dez anos de análise esteve em alta, isso se deve ao incremento ano a ano de pavimentos avaliados na região pela CNT.

Na Figura 29 verifica-se o comportamento do custo quando comparado a porcentagem de pavimentos nas faixas de condição dos pavimentos Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo. Nota-se a tendência de imitação da variação das duas piores (ruim e péssimo) faixas e tendência de contra comportamento para as duas melhores faixas (bom e ótimo).

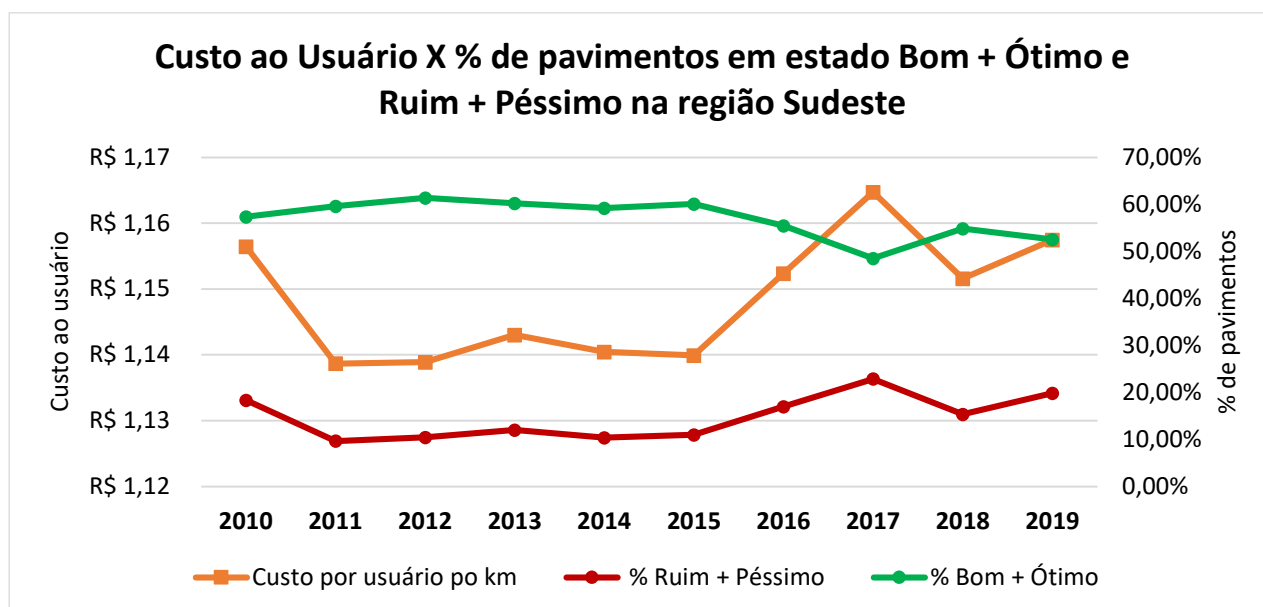


Figura 29 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Sudeste
Fonte: (Autor)

4.1.4 Região Sul

Na Figura 2730 apresenta-se a distribuição dos pavimentos das rodovias da região Sul nas faixas de classificação com os dados extraídos das pesquisas anuais da CNT de 2010 a 2019.

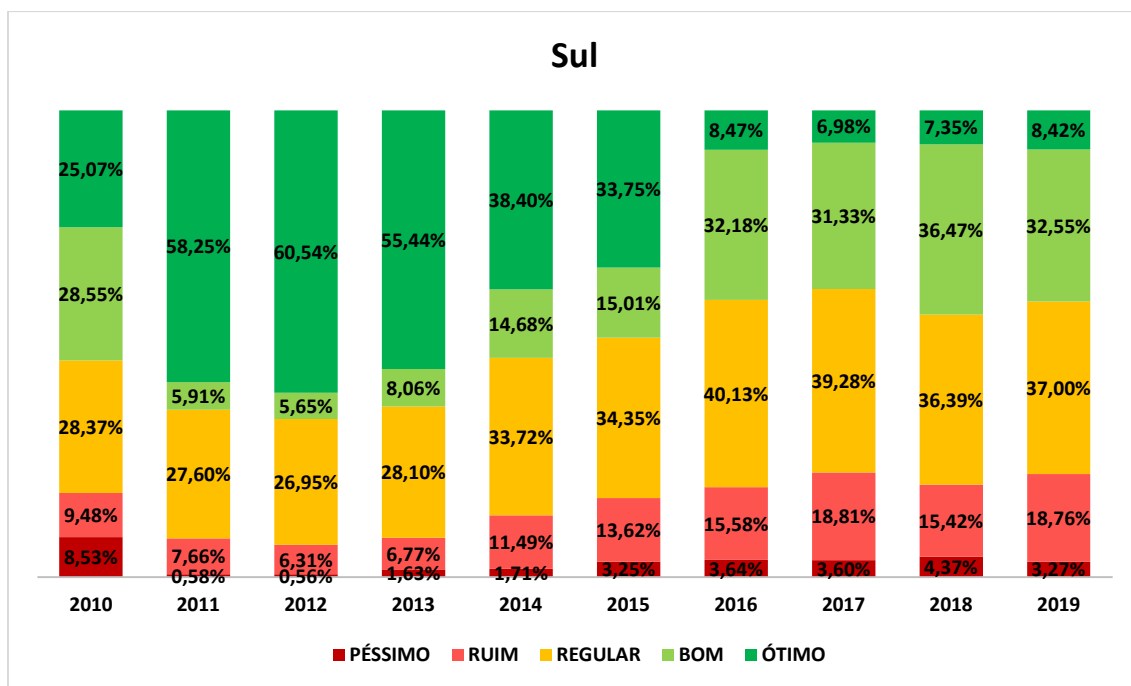


Figura 30 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Sul Fonte: (Autor)

Nota-se por meio da Figura 30 melhora na condição média dos pavimentos da região entre os anos de 2010 e 2012, devido ao aumento na porcentagem de pavimentos em condições boas e ótimas e redução na porcentagem de pavimentos em condições ruins e péssimas. porém, a partir de 2013 percebe-se uma tendência de piora gradativa da condição média dos pavimentos até o ano de 2017. Por fim nota-se estabilidade na distribuição da condição dos pavimentos da região Sul.

Para o cálculo de custo refletido aos usuários multiplicou-se o percentual de cada faixa de condição do pavimento pela correspondente extensão do trecho avaliado a cada ano, encontrando-se, assim, a quilometragem correspondente para cada condição do pavimento. Na Tabela 18 e na Figura 31 são vistos os valores encontrados para a região Sul:

Tabela 18 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Sul Fonte: (Autor)

Região Sul			
	Custo total aos usuários (R\$/ano)	Extensão (km)	Custo por usuário por km (R\$/usuário.km)
2010	R\$ 1.368.951.062,81	16.166	R\$ 1,160
2011	R\$ 1.340.455.678,20	16.199	R\$ 1,134
2012	R\$ 1.390.048.058,55	16.842	R\$ 1,131
2013	R\$ 1.410.753.035,95	17.020	R\$ 1,135
2014	R\$ 1.450.626.343,92	17.287	R\$ 1,150
2015	R\$ 1.506.317.286,61	17.825	R\$ 1,158
2016	R\$ 1.543.147.575,89	18.080	R\$ 1,169
2017	R\$ 1.576.570.308,24	18.403	R\$ 1,174
2018	R\$ 1.570.143.650,15	18.419	R\$ 1,168
2019	R\$ 1.578.882.502,70	18.476	R\$ 1,171

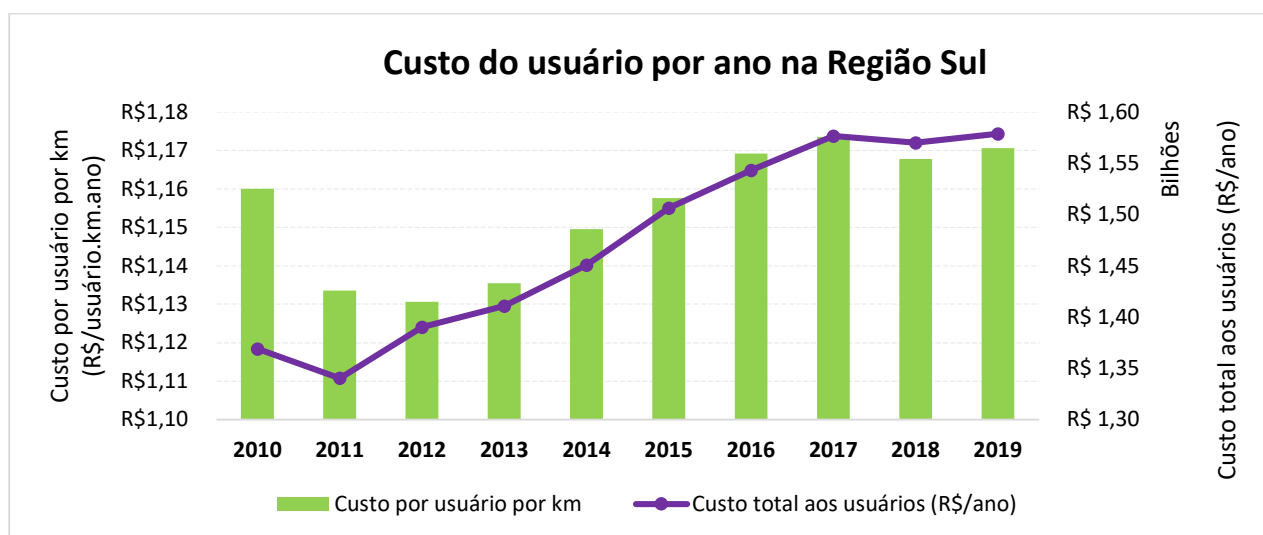


Figura 31 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Sul Fonte: (Autor)

Os resultados obtidos para a região foram os que mais retrataram a relação entre a condição dos pavimentos e o custo aos usuários. Na Figura 31 verifica-se queda de 2,28% no custo por usuário de 2010 para 2011 e de 0,26% de 2011 para 2012 conforme a faixa ótima da região aumenta. A partir de 2013, porém, é possível verificar a piora gradativa na condição média do pavimento, conforme evidenciado na figura de distribuição da condição dos pavimentos da região (Figura 30), e o consequente acompanhamento do custo por usuário por quilômetro. Em cinco anos, de 2013 a 2017 nota-se um acréscimo acumulado no custo por quilômetro de 3,74% superando o custo do ano de 2010. Por fim observa-se pouca variação no custo aos usuários nos últimos anos de estudo assim como nas porcentagens de condições dos pavimentos.

Para a região Sul, assim como a região Nordeste, apesar do aumento ano a ano de extensão de pavimentos avaliados pela CNT, nos anos de 2011 e 2018 o custo total aos usuários foi menor que o ano anterior (2010 e 2017, respectivamente). Para esses anos em questão, a melhora na condição dos pavimentos teve um efeito maior do que a variação de quilômetros avaliados, resultando assim em custos menores.

Na Figura 32 a seguir observa-se a relação entre a degradação do pavimento das rodovias e o impacto no custo ao usuário. Nota-se que para a região Sul a redução da distância entre as curvas de faixa ótima e boa e faixa péssima e ruim resulta no aumento de custo aos usuários da região.

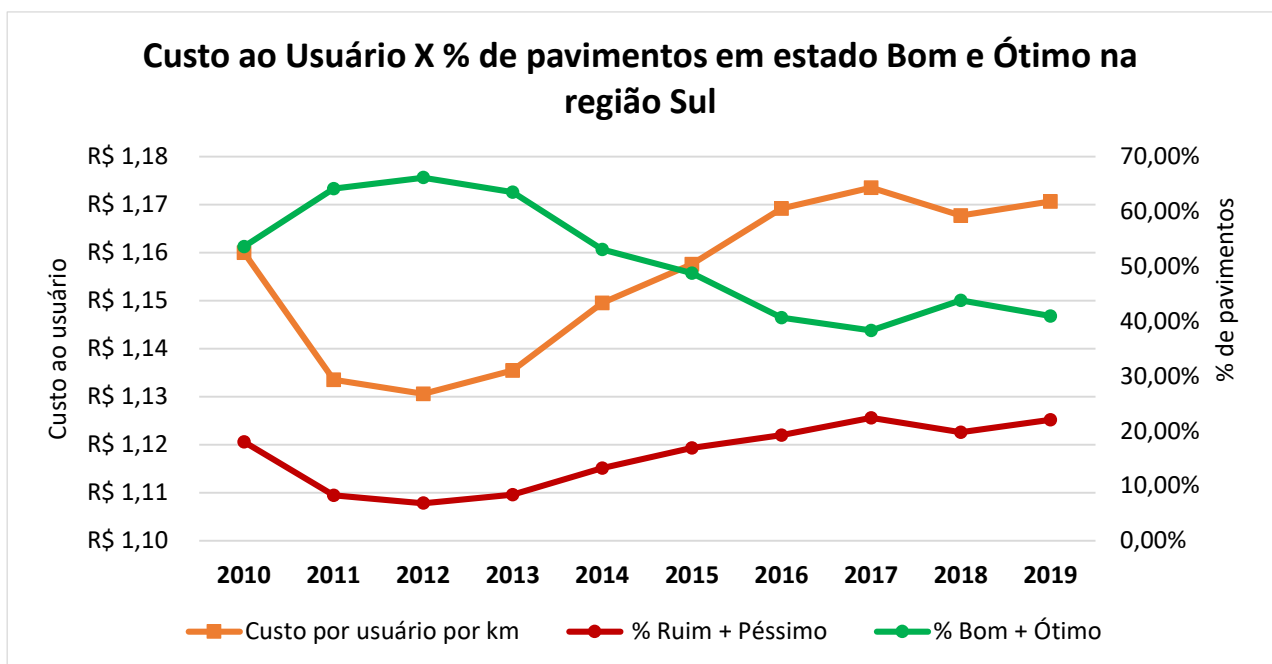


Figura 32 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Sul
Fonte: (Autor)

4.1.5 Região Centro-Oeste

Na Figura 2733 apresenta-se a distribuição dos pavimentos das rodovias da região Centro-Oeste nas faixas de classificação com os dados extraídos das pesquisas anuais da CNT de 2010 a 2019.

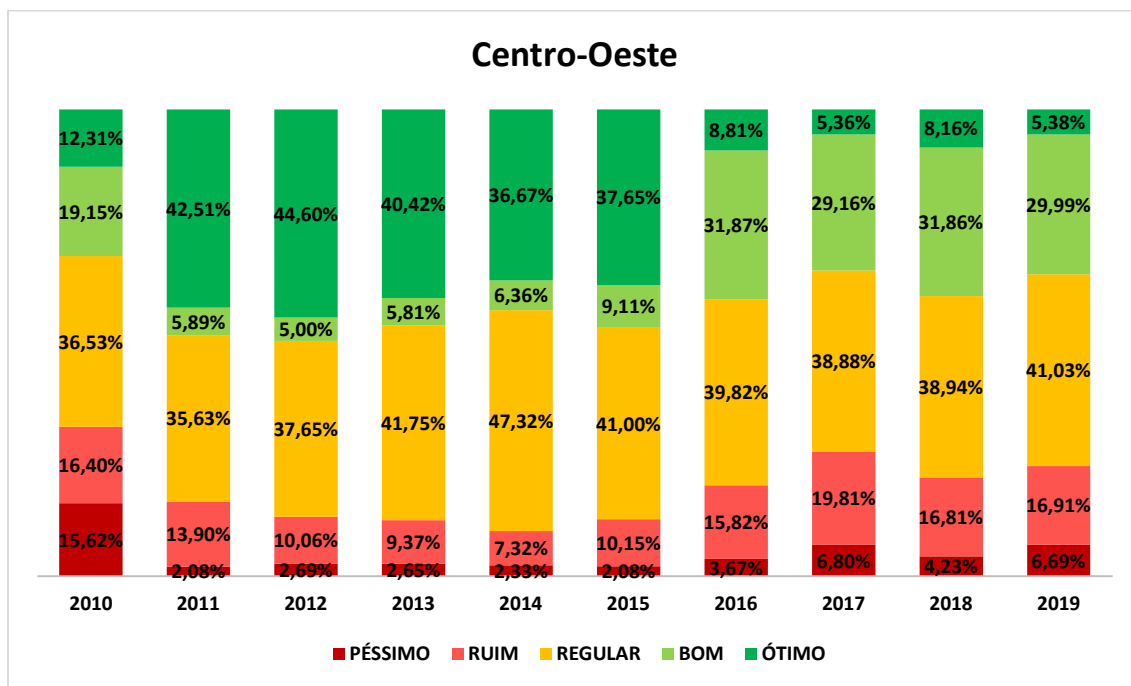


Figura 33 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos na região Centro-Oeste Fonte: (Autor)

Por meio da Figura 33 nota-se, entre os anos de 2010 e 2012, aumento de 18,14% no número de pavimentos em condições boas e ótimas e redução de 19,27% no número de pavimentos em condições ruins e péssimas da região. Já para os anos de 2013 e 2014 verifica-se redução no percentual de representatividade tanto das faixas de condição dos pavimentos ruins e péssimas quanto ótimas. A partir de 2015 observa-se redução da porcentagem dos pavimentos em condições ótimas e aumento dos pavimentos em condições ruins e péssimas. Nos dois últimos anos da série nota-se melhora na condição média dos pavimentos da região comparado ao ano de 2017, apesar de apresentar porcentagens da faixa ótima historicamente baixas.

Para o cálculo de custo refletido aos usuários multiplicou-se o percentual de cada faixa de condição do pavimento pela correspondente extensão do trecho avaliado a cada ano, encontrando-se, assim, a quilometragem correspondente para cada condição do pavimento. Encontrou-se para região Centro-Oeste os seguintes valores vistos na Tabela 19 e na Figura 34:

Tabela 19 - Tabela de custos ao usuário obtidos para a região Centro-Oeste Fonte: (Autor)

Região Centro-Oeste			
	Custo total aos usuários (R\$/ano)	Extensão (km)	Custo por usuário por km (R\$/usuário.km)
2010	R\$ 1.193.482.299,80	13.669	R\$ 1,196
2011	R\$ 1.193.501.009,51	14.152	R\$ 1,155
2012	R\$ 1.223.483.540,66	14.546	R\$ 1,152
2013	R\$ 1.237.399.413,25	14.677	R\$ 1,155
2014	R\$ 1.244.301.586,62	14.745	R\$ 1,156
2015	R\$ 1.285.641.132,28	15.255	R\$ 1,154
2016	R\$ 1.375.136.120,45	16.109	R\$ 1,169
2017	R\$ 1.415.189.940,87	16.392	R\$ 1,183
2018	R\$ 1.467.177.999,54	17.155	R\$ 1,172
2019	R\$ 1.539.305.271,91	17.874	R\$ 1,180

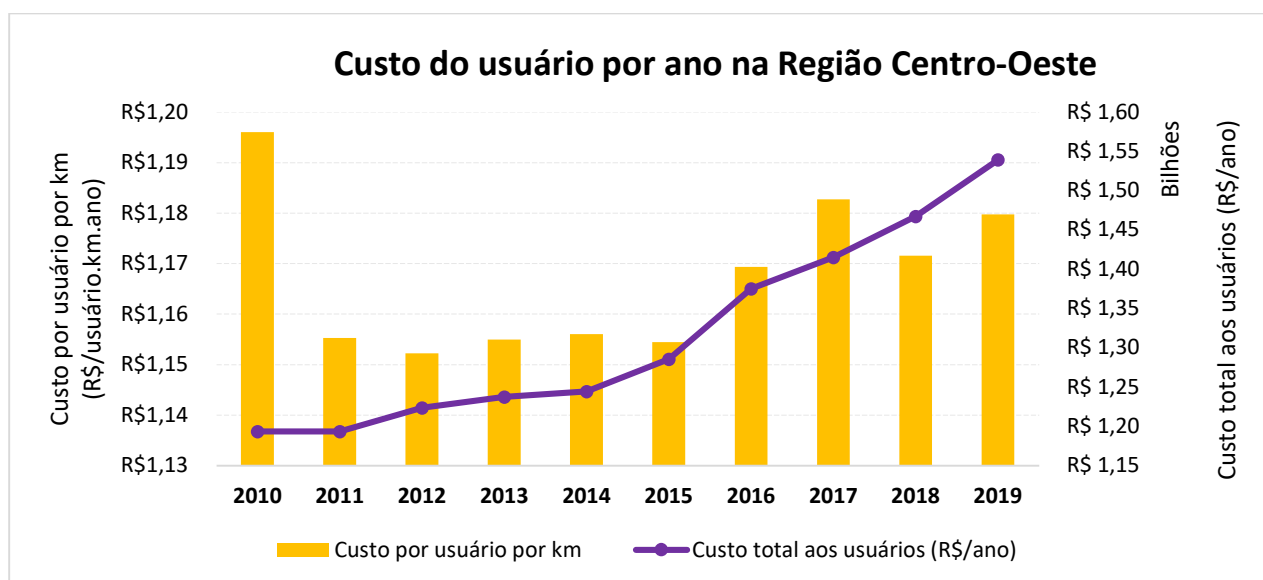


Figura 34 - Gráfico de Custo do usuário por ano na Região Centro-Oeste Fonte: (Autor)

Nota-se que os custos por usuário por quilômetro em cada ano analisado seguem o comportamento da faixa de condição ótima visto na Figura 33. Entre os anos de 2010 a 2012 verifica-se redução do custo por quilômetro. Para 2013 e 2014 anos no qual o número de pavimentos em condições ótimas reduziu, o custo aos usuários aumentou. No ano de 2015, nota-se aumento na faixa de condição ótima, o que acaba por reduzir o custo aos usuários no ano, apesar do aumento nas faixas de condição ruim e péssima. O custo aos usuários volta a crescer entre os anos de 2015 e 2017, atingindo um aumento acumulado de 2,43%. Já em 2018 o custo reduz em 0,94% para por fim, em 2019 voltar a crescer.

Para o custo total aos usuários da região, novamente verifica-se tendência de crescimento ao longo dos anos, e mais uma vez podendo este fato ser explicado pelo aumento ano a ano do número de quilômetros avaliados pela pesquisa CNT na região Centro-Oeste.

Na Figura 35 é apresentada a relação entre a condição do pavimento das rodovias e o impacto no custo aos usuários por quilômetro. Verifica-se o acompanhamento da curva do custo com a curva de porcentagem de pavimentos em condições ruins e péssimas e a tendência inversa da curva de pavimentos em condições boas e ótimas. Nota-se que para os anos de 2013 e 2014, apesar a porcentagem de pavimentos em condições ruins e péssimas ter diminuído, o custo ainda assim aumentou, isso se deveu a simultânea redução da porcentagem da faixa de condição ótima da região.

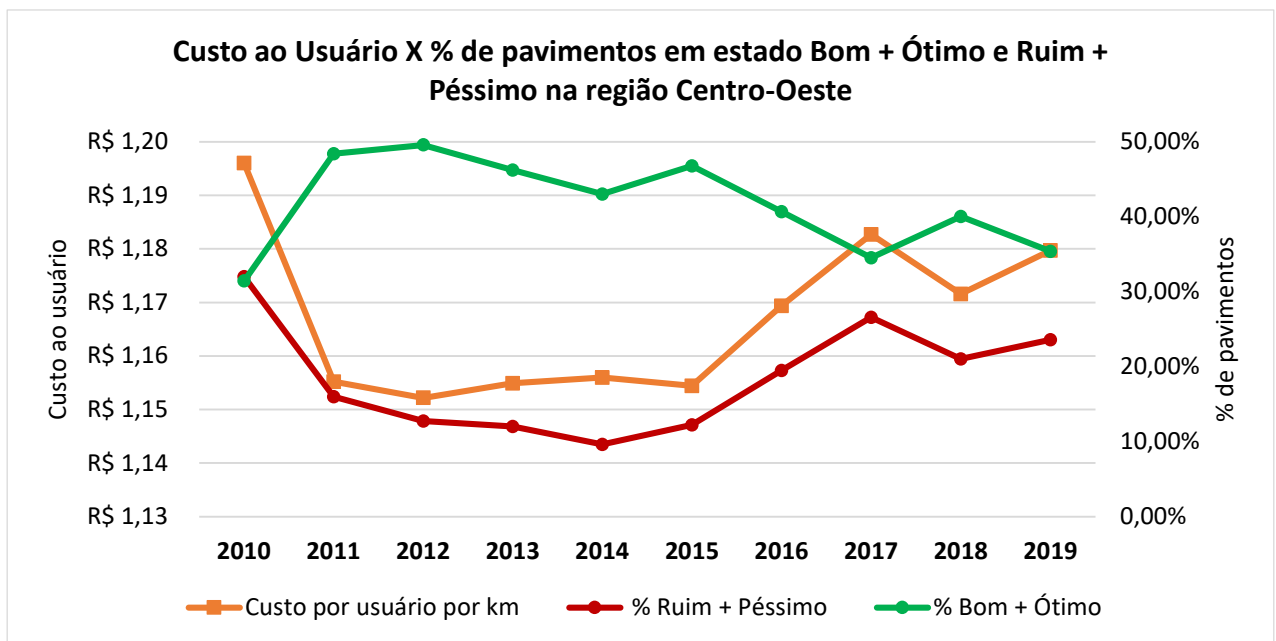


Figura 35 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo na região Centro-Oeste Fonte: (Autor)

4.1.6 Brasil

Na Figura 36 apresenta-se a distribuição dos pavimentos das rodovias do Brasil nas faixas de classificação com os dados extraídos das pesquisas anuais da CNT de 2010 a 2019.

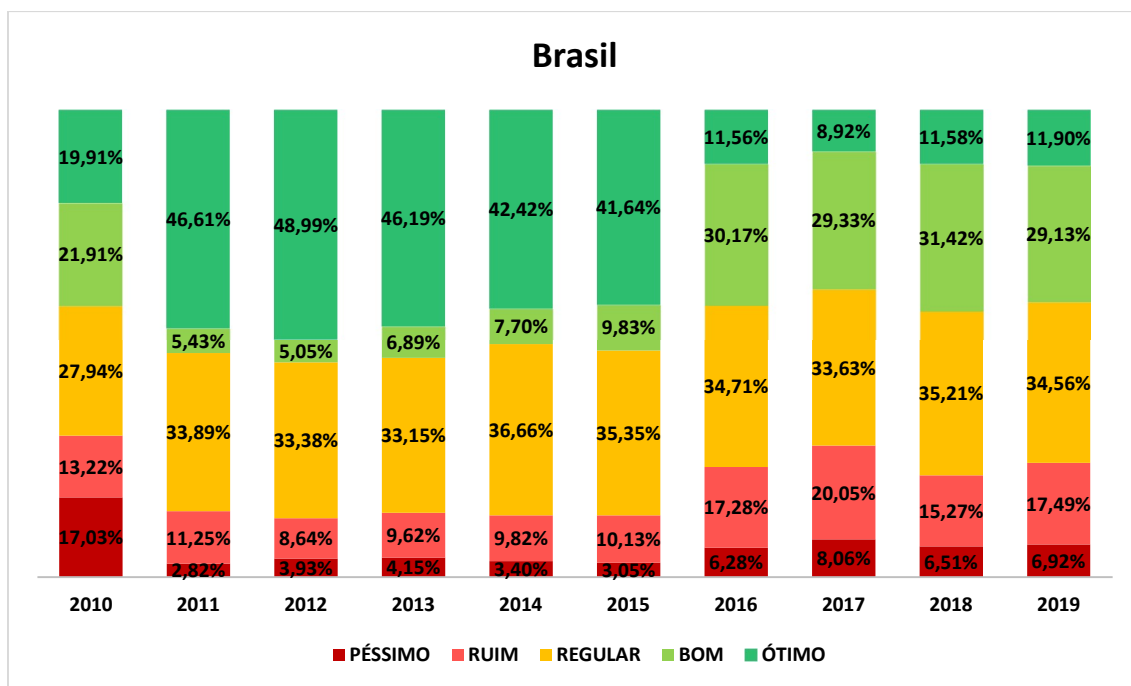


Figura 36 - Distribuição da condição dos pavimentos ao longo dos anos no Brasil Fonte: (Autor)

Nota-se para o Brasil que nos três primeiros anos da série analisada a condição média dos pavimentos melhorou, com a redução da faixa de condição dos pavimentos ruins e aumento da faixa dos pavimentos em condições ótimas. Já entre os anos de 2013 e 2017, verifica-se comportamento contrário aos primeiros três anos, com o aumento acumulado de 14,34% da porcentagem de pavimentos em condições ruins ou péssimas e redução acumulada de 15,46% da porcentagem de pavimentos em condições boas e ruins. Por fim, nos últimos dois anos avaliados nota-se melhora no quesito de condição dos pavimentos do país quando comparado ao ano de 2017.

O custo total aos usuários do país foi encontrado somando-se os resultados encontrados para cada uma das regiões do Brasil, já para o custo por quilômetro dividiu-se o custo total pela extensão pesquisada pela CNT correspondente a cada ano avaliado. A Figura 37 a e a Tabela 20 a seguir contém os resultados encontrados.

Tabela 20 - Tabela de custos ao usuário obtidos para o Brasil Fonte: (Autor)

Brasil			
	Custo total aos usuários (R\$/ano)	Extensão (km)	Custo por usuário por km (R\$/usuário.km)
2010	R\$ 7.877.736.927,81	90.946	R\$ 1,187
2011	R\$ 7.793.266.374,59	92.749	R\$ 1,151
2012	R\$ 8.027.688.259,30	95.707	R\$ 1,149
2013	R\$ 8.127.076.805,14	96.710	R\$ 1,151
2014	R\$ 8.288.461.660,28	98.475	R\$ 1,153
2015	R\$ 8.470.316.250,56	100.755	R\$ 1,152
2016	R\$ 8.844.877.627,55	103.260	R\$ 1,173
2017	R\$ 9.161.724.884,89	105.816	R\$ 1,186
2018	R\$ 9.162.783.775,79	107.165	R\$ 1,171
2019	R\$ 9.338.269.005,65	108.861	R\$ 1,175

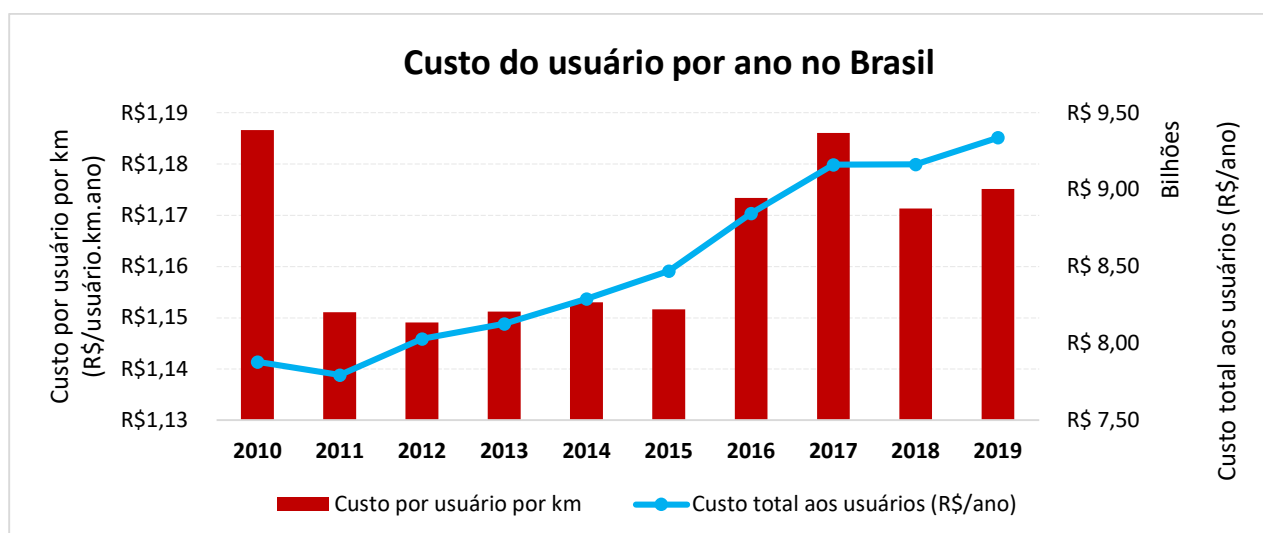


Figura 37 - Gráfico de Custo do usuário por ano no Brasil Fonte: (Autor)

Os resultados obtidos, mais uma vez, exemplificam a relação entre o custo aos usuários e a condição dos pavimentos estudados. Verifica-se que o custo por usuário por quilômetro de 2010 a 2012 sofreu redução devido ao aumento do número de pavimentos em condições ótimas e boas. Para 2013 e 2014, com a piora da condição média dos pavimentos do país conforme evidenciado na distribuição das faixas de condições dos pavimentos (Figura 36), o custo por usuário por quilômetro aumentou em 0,35%. Em 2015 o custo voltou a reduzir com o aumento da porcentagem de pavimentos em condições boas no Brasil. Nota-se que nos anos de 2016 e 2017 o custo entra em tendência de crescimento, acompanhando a piora dos pavimentos. Nos

anos de 2018 e 2019 observa-se o custo acompanhando a o comportamento da distribuição dos pavimentos em condições ruins e péssimas, com redução em 2018 e aumento em 2019.

Na Figura 38 verifica-se o comportamento que a curva de custo por usuário por quilômetro do Brasil comparada com as curvas de porcentagem de faixas de condição ótima + boa e ruim + péssima. Nota-se o comportamento similar da curva de custo com a curva de pavimentos em piores condições e comportamento inverso ao da curva de pavimentos em melhores condições, ou seja, à medida que as duas curvas de porcentagem de condição dos pavimentos se distanciam o custo tende a cair, o contrário também é verdade, à medida que a distância entre as duas curvas se estreita o custo tende a aumentar.

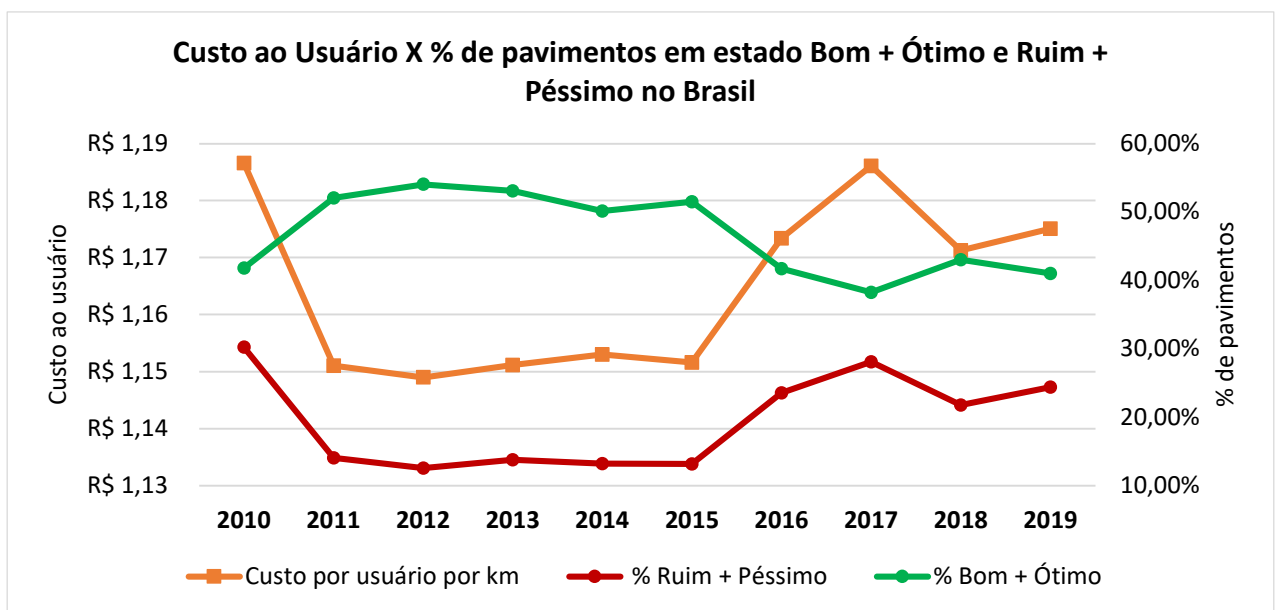


Figura 38 - Custo ao Usuário X % de pavimentos em estado Bom + Ótimo e Ruim + Péssimo no Brasil Fonte: (Autor)

Comparado os resultados das cinco regiões por meio da Figura 39 a seguir, é possível verificar que a região Norte teve o pior desempenho de custo por usuário por quilômetro em nove dos dez anos do estudo, já a região sudeste obteve o melhor desempenho neste quesito em sete dos dez anos.

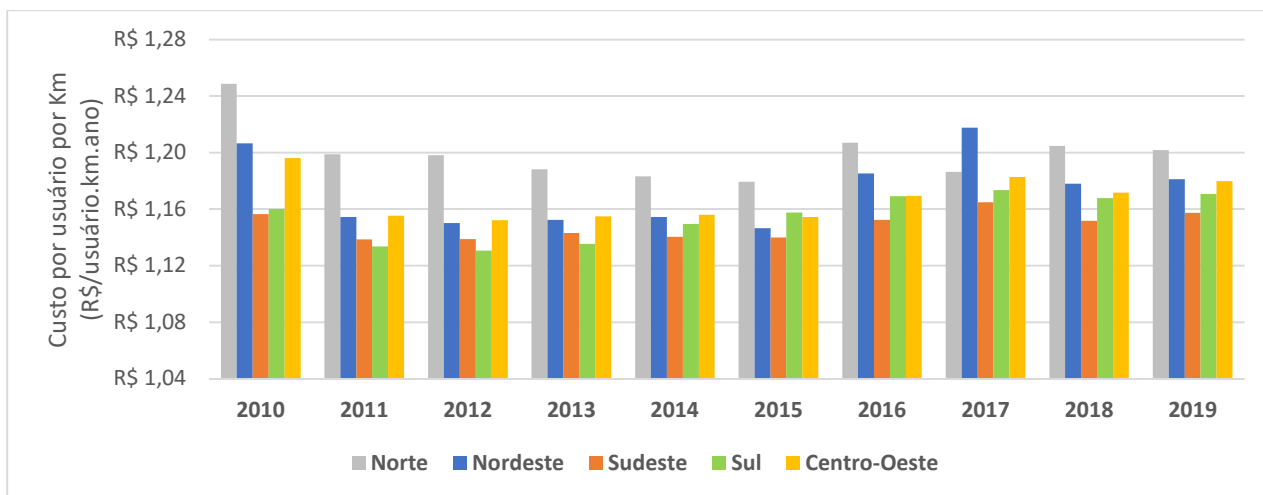


Figura 39 - Gráfico de custo ao usuário por km por região Fonte: (Autor)

Em termos de custo médio por usuário por quilômetro nos dez anos analisados verifica-se na Figura 40 que a região sudeste possuiu a menor média de R\$ 1,148 /usuário.km, enquanto a região norte possuiu a maior média de R\$ 1,200/usuário.km.

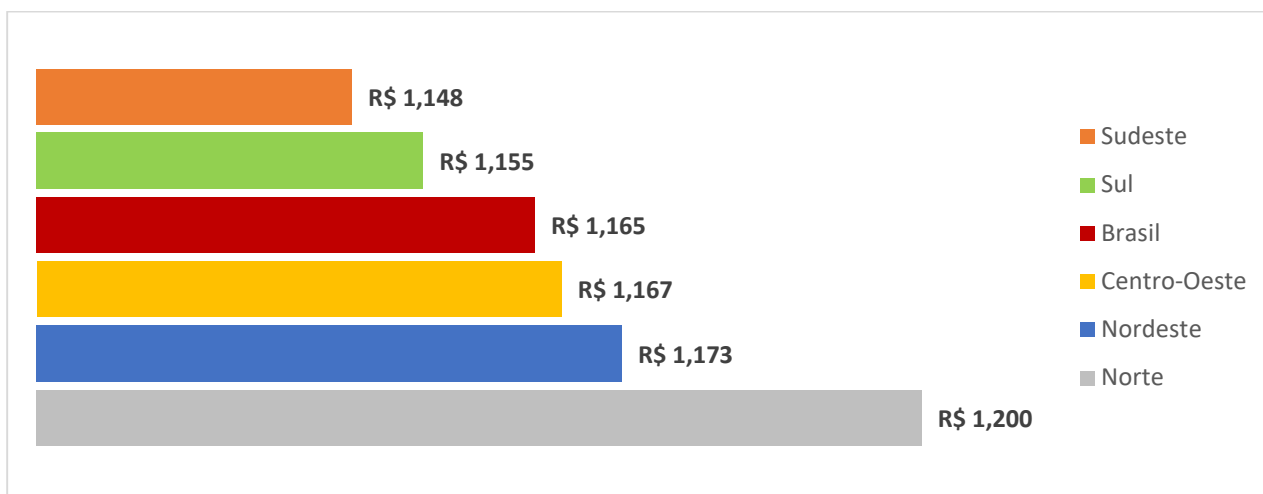


Figura 40 - Custo médio por usuário por quilômetro ao longo de dez anos Fonte: (Autor)

O fato de a região sudeste ser o polo econômico do país aliada a constatação de ser a região com maior porcentagem de quilômetros concedidos do Brasil conforme visto na Figura 41 explica o motivo pelo qual sua média de custo é a menor. A porcentagem alta de concessões reflete no custo aos usuários uma vez que existem imposições de qualidade mínima de pavimentos em rodovias concedidas que devem ser atendidas pelas concessionárias, portanto para atender a essas exigências, as extensões sobre administração de empresas privadas devem possuir a menor porcentagem possível de pavimentos nas faixas ruim, péssimo e regular. A mesma lógica pode ser aplicada para a região norte, que no ano de 2019 possuía zero por cento

de suas rodovias concedidas, explicando assim o baixo desempenho da região quando comparada ao restante das regiões do Brasil.

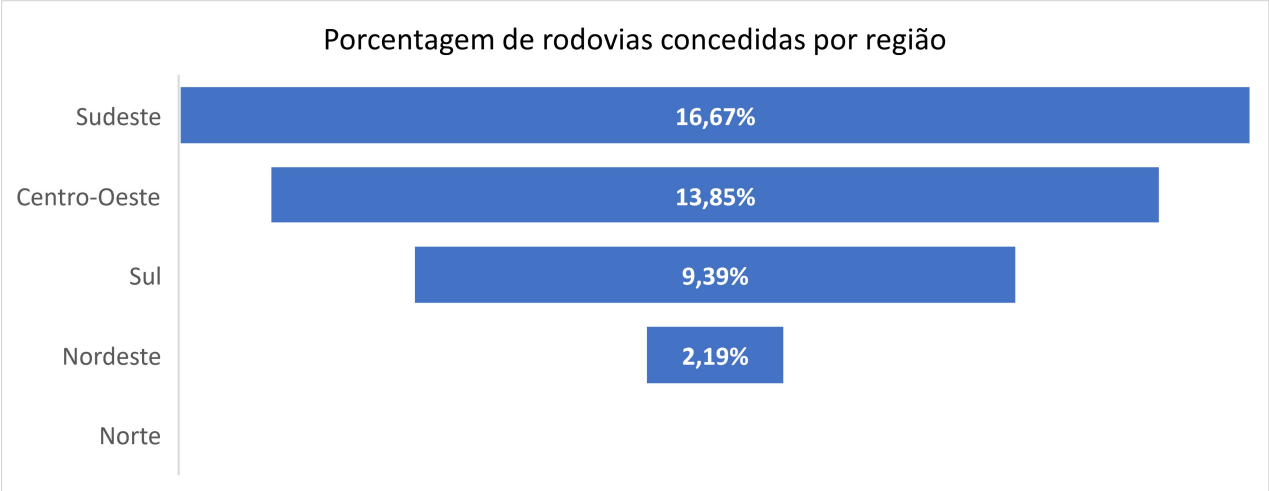


Figura 41 - Porcentagem de rodovias concedidas por região no ano de 2019 (DNIT, 2019a)

5 CONCLUSÕES

A condição da superfície dos pavimentos que constituem uma malha rodoviária influencia diretamente a segurança e o conforto de seus usuários, além dos custos refletidos a eles. Dada a predominância do modo rodoviário na matriz de transporte nacional, a conservação da sua infraestrutura deve ser uma ação prioritária com vistas à manutenção e recuperação dos pavimentos do Brasil.

A fim de verificar a sensibilidade da variável “custo ao usuário”, foi utilizado o indicador de condição funcional dos pavimentos *International Roughness Index* – IRI, traduzido como Índice de Irregularidade Longitudinal. Para essa análise foi adotada a modelagem matemática do software HDM-4, utilizado em todo o mundo, além de ser o software oficial do Banco Mundial para análise de empréstimos para melhoria na infraestrutura de transportes.

Conforme os resultados das pesquisas da CNT, quando consideramos apenas os pavimentos em condição péssima do Brasil, a extensão média de segmentos nessa condição mais que dobrou entre 2016 e 2019, quando comparado com o período entre 2011 e 2015. Para os mesmos períodos, a extensão média de pavimentos em condições ruins do país sofreu aumento de 77%. Evidencia-se, portanto, a recente tendência de piora na condição média dos pavimentos do Brasil.

Verificou-se que o comportamento do custo aos usuários possui influência da condição dos pavimentos. A melhora na irregularidade dos pavimentos resulta em diminuição do custo refletido aos usuários das rodovias. Por outro lado, a piora na irregularidade dos pavimentos resulta em aumento dos custos.

Os resultados encontrados neste trabalho, com base nos dados consolidados da CNT, aliados a utilização do *software* HDM-4, demonstraram a importância da conservação da infraestrutura rodoviária, em específico, da condição dos pavimentos. Para todas as regiões do Brasil foram verificadas reduções no custo por usuário por quilômetro à medida que a condição dos pavimentos melhorava e aumento do custo por usuário por quilômetro à medida que a condição dos pavimentos piorava. Para a Região Norte, observou-se redução de custo por usuário acumulado em 5,55% de 2010 a 2015 referente a um aumento acumulado da extensão de pavimentos em condições ótimas de 19,01% nesse período. Nas regiões Nordeste e Sudeste notou-se crescimento dos custos entre os anos de 2015 e 2017 de 6,20% e 2,18%, respectivamente, devido a degradação dos pavimentos das regiões atingindo os maiores valores de custos por usuário por quilômetro do período estudado. No período de 2012 a 2017 para a

região Sul é possível perceber a redução gradativa da extensão de pavimentos em condições ótimas e crescimento da porcentagem de pavimentos em condições ruins e péssimas, resultando no acréscimo de R\$ 0,043/usuário.km no custo aos usuários. Na região Centro-Oeste verificou-se redução do custo por usuário por quilômetro entre 2010 e 2012 de 3,7%, seguindo a redução da porcentagem de pavimentos em condições péssimas e aumento da de pavimentos em condições ótimas no período. A relação entre custo por usuário por quilômetro e a condição dos pavimentos vista nas regiões do Brasil, também foi verificada para o país. Entre 2010 e 2012 nota-se redução no custo por quilômetro do país devida à melhora na condição dos pavimentos.

Conclui-se que é importante a utilização de um Sistema de Gerência de Pavimentos para auxiliar o processo de manutenção da malha rodoviária, pois um SGP possui capacidade de ajudar a tomar decisões melhores dentro do tempo adequado de aplicação de atividades de M&R, com o planejamento e a execução das intervenções adequadas e na época correta, para que investimentos não sejam perdidos e os custos aos usuários sejam minimizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMEKUDZI, A. A., & ATTOH-OKINE. (1997). *Institutional Issues in Implementation of Pavement Management Systems by Local Agencies*. Washington, DC: Transportation Research Record 1524. TRB. National Research Council.
- CNT. (2010). *Pesquisa CNT de Rodovias 2010*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2011). *Pesquisa CNT de Rodovias 2011*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2012). *Pesquisa CNT de Rodovias 2012*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2013). *Pesquisa CNT de Rodovias 2013*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2014). *Pesquisa CNT de Rodovias 2014*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2015). *Pesquisa CNT de Rodovias 2015*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2016). *Pesquisa CNT de Rodovias 2016*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2016). *Rodovias em condições inadequadas comprometem o desenvolvimento do país. Economia em Foco*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2017). *Pesquisa CNT de Rodovias 2017*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2018). *Pesquisa CNT de Rodovias 2018*. Confederação Nacional de Transportes.
- CNT. (2019). *Pesquisa CNT de Rodovias 2019*. Confederação Nacional de Transportes.
- DNER. (1998). *Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica.
- DNIT. (2011). *Manual de Gerência de Pavimentos*. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.
- DNIT. (2019a). Acesso em Outubro de 2020, disponível em Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes - DNIT: www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/atlas-e-mapas/pnv-e-snv
- F. JÚNIOR, J., ODA, S., & L.F, Z. (2003). *Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos*. São Carlos, São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos.

- HAAS, R., HUDSON, R., & ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Malabar, Flórida: Krieger Publishing Company.
- HASIBUAN, R., & SURBAKTI, M. (2019). Study of Pavement Condition Index (PCI) relationship with International Roughness Index (IRI) on Flexible Pavement. Sumatra, Indonesia: University of Sumatera Utara.
- HUDSON, W., WAHEED, U., & HAAS, R. (1997). *Infrastructure Management: Integrating Design, Construction, Maintenance, Rehabilitation, and Renovation*. McGraw Hill.
- MAPC. (1986). *Pavement Management - A Manual for Communities*. Boston, MA: Metropolitan Area Planning Council, Department of Transportation.
- MOROSIUK, G., RILEY, M., & TOOLE, T. (2006). *HDM-4 Highway Development & Management - Applications Guide*. Fonte: PIARC: <http://piarc.rmto.ir/DocLib4/Volume1.pdf>
- NOSTRAD, D. (1992). The History of Pavement Management in the Federal Highway Administration. *Pavement Management Implementation*. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- PICADO, L., FERREIRA, A., CARVALHEIRA, C., SILVESTRE, S., QUADRADO, I., BATISTA SANTOS, B., & PAIS Antunes, A. (2004). Pavement Management System for Lisbon. *Municipal Engineer, Institution of Civil Engineers, Vol. 157*.
- SHAHIN, M. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. New York: Springer Science+Business Media.
- SILVA, R., SILVA, M., VIANNA, K., JÚNIOR, J., & COSTA, D. (Agosto de 2017). *Desenvolvimento de Sistema Medidor de Irregularidade Tipo Resposta para Medição de QI*.
- WATANATADA, T., HARRAL, C., PATERSON, W., DHARESHWAR, A., BHANDARI, A., & TSUNOKAWA, K. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model - Volume 1 - Description of the HDM III Model*. Baltimore, Maryland: The John Hopkins University Press.
- ZANCHETTA, F. (2005). Aquisição de Dados Sobre a Condição dos Pavimentos Visando a Implementação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos.

ZANCHETTA, F. (2017). Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Avaliação Econômica. *Tese de Doutorado*. Escola de Engenharia de São Carlos .

ZOFKA, J., PAILIUKAITE, V., & MECHOWSKI, M. (2014). Elements of a Pavement Managment System: Case Study. *The Baltic Journal of Road And Bridge Engineering*, Vol. 9.

APÊNDICE A – VALORES SUGERIDOS PELO HDM-4 - RUC PARA CÁLCULO DO CUSTO AO USUÁRIO

Tabela 21 - Tabela de custos unitários adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Custos unitários (R\$)				
	Veículo novo (R\$/veículo)	Pneu novo (R\$/pneu)	Combustível (R\$/litro)	Óleo lubrificante (R\$/litro)	Mão-de-obra manutenção (R\$/hora)
Motocicleta	13.000	104,00	3,64	13,52	5,20
Veículo de pequeno porte	52.000	260,00	3,64	13,52	13,00
Veículo de médio porte	52.000	234,00	1,56	12,48	13,52
Veículos de frete	72.800	390,00	1,56	12,48	13,52
Veículos com tração nas quatro rodas	104.000	520,00	3,64	13,52	13,00
Caminhões leves	135.200	884,00	1,35	12,48	13,52
Caminhões médios	218.400	1326,00	1,35	12,48	13,52
Caminhões pesados	312.000	1326,00	1,35	12,48	13,52
Veículos articulados	462.800	1664,00	1,35	12,48	13,52
Ônibus leve	104.000	1144,00	1,35	12,48	13,52
Ônibus médio	182.000	1144,00	1,35	12,48	13,52
Ônibus pesado	260.000	1144,00	1,35	12,48	13,52

Tabela 22 - Características básicas da frota de veículos adotada. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Características básicas da frota de veículos						
	km dirigidos anuais (km)	horas trabalhadas anuais (horas)	Vida útil (anos)	Uso particular (%)	Número de passageiros (#)	Viagens relacionadas a trabalho (%)	Peso bruto do veículo (t)
Motocicleta	15.000	400	10	100	1	75	0,2
Veículo de pequeno porte	25.000	600	10	100	2	75	1,0
Veículo de médio porte	18.000	500	10	100	2	75	1,2
Veículos de frete	35.000	1.100	9	0	1	75	2,0
Veículos com tração nas quatro rodas	35.000	800	10	0	1	75	2,0
Caminhões leves	50.000	1.300	9	0	0	0	6,0
Caminhões médios	50.000	1.800	10	0	0	0	12,0
Caminhões pesados	70.000	2.000	10	0	0	0	20,0
Veículos articulados	80.000	2.000	10	0	0	0	30,0
Ônibus leve	80.000	2.000	9	0	10	75	3,0
Ônibus médio	80.000	2.000	9	0	25	75	6,0
Ônibus pesado	80.000	2.000	9	0	40	75	11,0

Tabela 23 - Mais características básicas da frota de veículos adotada. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Vida	Físico		Pneus		
	Método de vida (0-Constante, 1-Otimizado)	Equivalente de passageiro carro (#)	Número de rodas (#)	Tipo Pneu (0-Radial-ply, 1 - Bias-ply)	Número médio remendos (#)	Custo reparo (%)
Motocicleta	1	0,50	2,00	1,00	1,30	15,00
Veículo de pequeno porte	0	1,00	4,00	0,00	1,30	15,00
Veículo de médio porte	0	1,00	4,00	0,00	1,30	15,00
Veículos de frete	1	1,00	4,00	0,00	1,30	15,00
Veículos com tração nas quatro rodas	1	1,00	4,00	1,00	1,30	15,00
Caminhões leves	1	1,30	4,00	1,00	1,30	15,00
Caminhões médios	1	1,40	6,00	1,00	1,30	15,00
Caminhões pesados	1	1,60	10,00	1,00	1,30	15,00
Veículos articulados	1	1,80	18,00	1,00	1,30	15,00
Ônibus leve	1	1,40	4,00	1,00	1,30	15,00
Ônibus médio	1	1,50	6,00	1,00	1,30	15,00
Ônibus pesado	1	1,60	10,00	1,00	1,30	15,00

Tabela 24 - Parâmetros da força aerodinâmica adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Forças aerodinâmicas		
	Área Frontal projetada (m2)	Coefficiente de arrasto aerodinâmico (#)	multiplicador do coeficiente de arrasto (#)
Motocicleta	0,80	0,70	1,10
Veículo de pequeno porte	1,80	0,40	1,10
Veículo de médio porte	1,90	0,42	1,10
Veículos de frete	2,00	0,50	1,11
Veículos com tração nas quatro rodas	2,80	0,50	1,11
Caminhões leves	4,00	0,55	1,13
Caminhões médios	5,00	0,60	1,13
Caminhões pesados	8,50	0,70	1,14
Veículos articulados	9,00	0,80	1,22
Ônibus leve	4,00	0,50	1,13
Ônibus médio	5,00	0,55	1,14
Ônibus pesado	6,50	0,65	1,14

Tabela 25 - Parâmetros da força de resistência ao rolamento adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Forças de resistência ao rolamento		
	CR_B_A0 (#)	CR_B_A1 (#)	CR_B_A2 (#)
Motocicleta	37,00	0,064	0,012
Veículo de pequeno porte	37,00	0,064	0,012
Veículo de médio porte	37,00	0,064	0,012
Veículos de frete	37,00	0,064	0,012
Veículos com tração nas quatro rodas	37,00	0,064	0,012
Caminhões leves	37,00	0,064	0,012
Caminhões médios	37,00	0,064	0,012
Caminhões pesados	37,00	0,064	0,012
Veículos articulados	37,00	0,064	0,012
Ônibus leve	37,00	0,064	0,012
Ônibus médio	37,00	0,064	0,012
Ônibus pesado	37,00	0,064	0,012

Tabela 26 - Parâmetros de potência da frota adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Potência						
	Potência de utilização (kW)	Não usado	Potência de frenagem (kW)	Não usado	Potência do motor (kW)	Não usado	Não usado
Motocicleta	12,00	1	5,00	1	15,00	1	1
Veículo de pequeno porte	26,00	1	20,00	1	60,00	1	1
Veículo de médio porte	33,00	1	20,00	1	70,00	1	1
Veículos de frete	40,00	1	25,00	1	60,00	1	1
Veículos com traço nas quatro rodas	45,00	1	25,00	1	60,00	1	1
Caminhões leves	50,00	1	45,00	1	75,00	1	1
Caminhões médios	87,00	1	70,00	1	100,00	1	1
Caminhões pesados	227,00	1	255,00	1	280,00	1	1
Veículos articulados	227,00	1	255,00	1	300,00	1	1
Ônibus leve	50,00	1	45,00	1	75,00	1	1
Ônibus médio	65,00	1	70,00	1	100,00	1	1
Ônibus pesado	120,00	1	120,00	1	130,00	1	1

Tabela 27 - Parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Parâmetros de velocidade desejada					
	Superfície betuminosa VDES2 (km/hora)	Superfície betuminosa VDES_A0 (#)	Superfície betuminosa VDES_A1 (#)	Superfície betuminosa VDES_A2 (#)	Superfície betuminosa CW1 (m)	Superfície betuminosa CW2 (m)
Motocicleta	144,00	0,00	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículo de pequeno porte	144,36	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículo de médio porte	125,28	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículos de frete	151,20	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículos com tração nas quatro rodas	141,12	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Caminhões leves	128,16	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Caminhões médios	105,48	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Caminhões pesados	88,56	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Veículos articulados	104,76	0,004	0,70	0,75	4,00	6,80
Ônibus leve	123,84	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80
Ônibus médio	141,84	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80
Ônibus pesado	89,28	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80

Tabela 28 - Mais parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Parâmetros de velocidade desejada					
	Superfície de concreto VDES2 (km/hora)	Superfície de concreto VDES_A0 (#)	Superfície de concreto VDES_A1 (#)	Superfície de concreto VDES_A2 (#)	Superfície de concreto CW1 (m)	Superfície de concreto CW2 (m)
Motocicleta	144,00	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículo de pequeno porte	144,36	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículo de médio porte	125,28	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículos de frete	151,20	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículos com tração nas quatro rodas	141,12	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Caminhões leves	128,16	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Caminhões médios	105,48	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Caminhões pesados	88,56	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Veículos articulados	104,76	0,004	0,70	0,75	4,00	6,80
Ônibus leve	123,84	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80
Ônibus médio	141,84	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80
Ônibus pesado	89,28	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80

Tabela 29 - Mais parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Parâmetros de velocidade desejada					
	Superfície não pavimentada VDES2 (km/hora)	Superfície não pavimentada VDES_A0 (#)	Superfície não pavimentada VDES_A1 (#)	Superfície não pavimentada VDES_A2 (#)	Superfície não pavimentada CW1 (m)	Superfície não pavimentada CW2 (m)
Motocicleta	144,00	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículo de pequeno porte	144,36	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículo de médio porte	125,28	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículos de frete	151,20	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Veículos com tração nas quatro rodas	141,12	0,002	2,90	0,75	4,00	6,80
Caminhões leves	128,16	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Caminhões médios	105,48	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Caminhões pesados	88,56	0,003	0,70	0,75	4,00	6,80
Veículos articulados	104,76	0,004	0,70	0,75	4,00	6,80
Ônibus leve	123,84	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80
Ônibus médio	141,84	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80
Ônibus pesado	89,28	0,003	0,60	0,75	4,00	6,80

Tabela 30 - Mais parâmetros de velocidade desejada adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Parâmetros de velocidade desejada		
	Parâmetro Vcurva VCURVE_A0 (#)	Parâmetro Vcurva VCURVE_A1 (#)	Parâmetro Vcurva VROUGH_A0 (#)
Motocicleta	3,90	0,34	1,15
Veículo de pequeno porte	3,90	0,34	1,15
Veículo de médio porte	3,90	0,34	1,15
Veículos de frete	3,90	0,34	1,15
Veículos com tração nas quatro rodas	3,90	0,34	1,15
Caminhões leves	4,80	0,29	1,15
Caminhões médios	4,80	0,29	1,15
Caminhões pesados	4,60	0,28	1,15
Veículos articulados	4,20	0,27	1,15
Ônibus leve	4,80	0,29	1,15
Ônibus médio	4,80	0,29	1,15
Ônibus pesado	4,60	0,28	1,15

Tabela 31 - Parâmetros de velocidade adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Parâmetros de velocidade					
	Velocidade máxima (mm/s)	coeficiente Weibull (#)	COV (#)	Resistência ao rolamento CGR_A0 (#)	Resistência ao rolamento CGR_A1 (#)	Resistência ao rolamento CGR_A2 (#)
Motocicleta	203,00	0,15	0,15	94,90	0,85	2,80
Veículo de pequeno porte	203,00	0,15	0,15	94,90	0,85	2,80
Veículo de médio porte	203,00	0,15	0,15	94,90	0,85	2,80
Veículos de frete	203,00	0,15	0,15	94,90	0,85	2,80
Veículos com tração nas quatro rodas	200,00	0,15	0,15	94,90	0,85	2,80
Caminhões leves	200,00	0,19	0,15	94,90	0,85	2,80
Caminhões médios	200,00	0,16	0,15	94,90	0,85	2,80
Caminhões pesados	180,00	0,11	0,15	94,90	0,85	2,80
Veículos articulados	160,00	0,11	0,15	94,90	0,85	2,80
Ônibus leve	200,00	0,19	0,15	94,90	0,85	2,80
Ônibus médio	200,00	0,19	0,15	94,90	0,85	2,80
Ônibus pesado	180,00	0,11	0,15	94,90	0,85	2,80

Tabela 32 - Parâmetros de combustível adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Combustível					
	Velocidade motor RPM_A0 (rpm)	Velocidade motor RPM_A1 (rpm/(m/s))	Velocidade motor RPM_A2 (rpm/(m/s))	Velocidade motor RPM_A3 (m/s)	Velocidade de motor ocioso RPM_IDLE (rpm)	Taxa de combustível ocioso IDLE_FUEL (ml/s)
Motocicleta	2790,00	94,00	2,83	31,00	800,00	0,12
Veículo de pequeno porte	2280,00	17,00	0,83	42,00	800,00	0,25
Veículo de médio porte	2280,00	17,00	0,83	42,00	800,00	0,36
Veículos de frete	2490,00	-30,40	2,25	34,00	800,00	0,48
Veículos com tração nas quatro rodas	2490,00	-30,40	2,25	34,00	800,00	0,48
Caminhões leves	1214,00	17,60	2,32	22,00	500,00	0,37
Caminhões médios	1214,00	17,60	2,32	22,00	500,00	0,37
Caminhões pesados	1167,00	-24,00	1,76	22,00	500,00	1,12
Veículos articulados	1167,00	-24,00	1,76	22,00	500,00	1,12
Ônibus leve	1214,00	17,60	2,32	22,00	500,00	0,37
Ônibus médio	1214,00	17,60	2,32	22,00	500,00	0,37
Ônibus pesado	1167,00	-24,00	1,76	22,00	500,00	1,12

Tabela 33 - Mais parâmetros de combustível adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Combustível				
	Eficiência básica de combustível ZETAB (ml/kW/s)	Decréscimo de eficiência EHP (#)	<i>Efficiency Drivetrain</i> EDT (#)	Acessórios e motor PACCS_A0 (#)	Acessórios e motor PCTPENG (%)
Motocicleta	0,067	0,25	0,95	0,20	80,00
Veículo de pequeno porte	0,067	0,25	0,90	0,20	80,00
Veículo de médio porte	0,067	0,25	0,90	0,20	80,00
Veículos de frete	0,067	0,25	0,90	0,20	80,00
Veículos com tração nas quatro rodas	0,057	0,10	0,90	0,20	80,00
Caminhões leves	0,057	0,10	0,86	0,20	80,00
Caminhões médios	0,057	0,10	0,86	0,20	80,00
Caminhões pesados	0,056	0,10	0,86	0,20	80,00
Veículos articulados	0,055	0,10	0,86	0,20	80,00
Ônibus leve	0,057	0,10	0,86	0,20	80,00
Ônibus médio	0,057	0,10	0,86	0,20	80,00
Ônibus pesado	0,057	0,10	0,86	0,20	80,00

Tabela 34 - Parâmetros de aceleração sonora adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Força de aceleração sonora				
	ZAMAXV (#)	FRIAMAX (#)	NMTAMAX (#)	RIAMAX (#)	AMAXRI (IRI)
Motocicleta	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Veículo de pequeno porte	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Veículo de médio porte	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Veículos de frete	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Veículos com tração nas quatro rodas	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Caminhões leves	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Caminhões médios	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Caminhões pesados	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Veículos articulados	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Ônibus leve	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Ônibus médio	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00
Ônibus pesado	0,75	0,20	0,40	0,30	20,00

Tabela 35 - Parâmetros de características de pneus adotados. Fonte: (Autor)

Descrição do veículo	Pneus				
	Diâmetro roda (m)	Constante temperatura C0TC (dm ³ /m)	Coefficiente desgaste CTCTE (dm ³)	Fator de efeito de congestionamento (#)	Volume de borracha (dm ³)
Motocicleta	0,55	0,00639	0,00050	0,10	0,35
Veículo de pequeno porte	0,60	0,02616	0,00204	0,10	1,40
Veículo de médio porte	0,60	0,02616	0,00204	0,10	1,40
Veículos de frete	0,70	0,02400	0,00187	0,10	1,60
Veículos com tração nas quatro rodas	0,70	0,02400	0,00187	0,10	1,60
Caminhões leves	0,80	0,02400	0,00187	0,10	1,60
Caminhões médios	1,05	0,02585	0,00201	0,10	6,00
Caminhões pesados	1,05	0,03529	0,00275	0,10	8,00
Veículos articulados	1,05	0,03988	0,00311	0,10	8,00
Ônibus leve	0,80	0,02173	0,00169	0,10	1,60
Ônibus médio	1,05	0,02663	0,00207	0,10	6,00
Ônibus pesado	1,05	0,03088	0,00241	0,10	8,00

Tabela 36 - Volume diário médio anual de tráfego adotado Fonte: (Autor)

Volume Diário Médio Anual de Tráfego (VDMA)					
Motocicleta	Veículo de pequeno porte	Veículo de médio porte	Veículo de frete	Veículos com tração nas quatro rodas	Caminhões leves
100	300	500	400	100	100

Tabela 37 - Volume diário médio anual de tráfego adotado continuação Fonte: (Autor)

Volume Diário Médio Anual de Tráfego (VDMA)					
Caminhões médios	Caminhões pesados	Veículos articulados	Ônibus leve	Ônibus médio	Ônibus pesado
120	60	40	160	80	40