

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

Geraldo Almeida Ferreira Junior

**REDUÇÃO DE VIDA ÚTIL DE UM PAVIMENTO
CONSIDERANDO O ESPECTRO DE CARGAS NUM
CENÁRIO DE TRÁFEGO COM EXCESSO DE PESO**

Porto Alegre

2016

GERALDO ALMEIDA FERREIRA JUNIOR

**REDUÇÃO DE VIDA ÚTIL DE UM PAVIMENTO
CONSIDERANDO O ESPECTRO DE CARGAS NUM
CENÁRIO DE TRÁFEGO COM EXCESSO DE CARGA**

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

Orientador: Washington Peres Núñez

Porto Alegre

2016

CIP - Catalogação na Publicação

ALMEIDA FERREIRA JUNIOR, GERALDO
REDUÇÃO DE VIDA ÚTIL DE UM PAVIMENTO CONSIDERANDO
O ESPECTRO DE CARGAS NUM CENÁRIO DE TRÁFEGO COM
EXCESSO DE PESO / GERALDO ALMEIDA FERREIRA JUNIOR. --
2016.
88 f.

Orientador: Washington Peres Núñez.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,
BR-RS, 2016.

1. dimensionamento. 2. pavimentos flexíveis. 3.
espectro de cargas. 4. excesso de peso. 5. vida de
fadiga. I. Peres Núñez, Washington, orient. II.
Título.

GERALDO ALMEIDA FERREIRA JUNIOR

**REDUÇÃO DE VIDA ÚTIL DE UM PAVIMENTO CONSIDERANDO O
ESPECTRO DE CARGAS NUM CENÁRIO DE TRÁFEGO COM
EXCESSO DE CARGA**

Este trabalho de diplomação foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de engenheiro civil e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Washington Peres Núñez
Dr. pelo PPGEC/UFRGS
Orientador

Prof. Joao Ricardo Masuero
Dr. pelo PPGEC/UFRGS
Coordenador

Aprovado em: 01/12/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Washington Peres Núñez - Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti - DSc. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Lélío Antônio Teixeira Brito - PhD pela University of Nottingham

O que é pior que chegar?

Percorremos o caminho
Levados pela expectativa
Almejando o destino
Observando cada milímetro
Cada ser vivo (ou morto) na estrada
Admirando as nuvens
Sentindo a poeira levantar
Aos nossos passos sob a terra fofa
Cansamos os pés
(Desistir jamais)
Vertemos suor
Queimamos a pele ao sol
Perdemos o fôlego
Paramos para repor as energias
(Já estamos quase lá)
Esticamos as costas
Apoiamo-nos nas árvores
Pela fraqueza de nossas pernas
Que não convence o espírito ávido
Do absurdo da empreitada...

Chegamos!
(O que se faz depois de chegar?)

É hora de voltar.

Diego Mileli

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Washington Núñez, por aceitar me orientar nesse trabalho, por suas correções certeiras e apresentação de materiais valiosos.

Aos meus amigos da ANTT, pelo enorme apoio ao longo dessa jornada. Em especial aos amigos Leonardo de Moura Nitzke e Luis Wanderley de Souza, pelo auxílio na revisão desse trabalho, aos amigos Ismael Dimer da Rocha e Luiz Ney da Rocha Cardoso pela disposição em flexibilizar meus horários para permitir meus estudos, e também aos amigos Eduardo Constante Bergmann e Guilherme de Carvalho Bastani, pelo material técnico disponibilizado para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Sandra e Geraldo por me abrirem muitas portas, e me mostrarem os mais diversos caminhos pelos quais eu poderia seguir.

À minha irmã Thais Alayde, pelo amor que sempre renova nossos laços e minhas energias.

À minha filha emprestada Giovanna Alayde, por me permitir fazer parte da sua história e por me inspirar a ser alguém melhor.

À família Zaleski Trindade por todo apoio e confiança nesse pouco tempo em que nos conhecemos.

Aos engenheiros da família Löw, que renovaram em mim a inspiração para a Engenharia.

Aos meus amigos Fernando Borges e Franciele Cardoso pelo incentivo e importância que sempre deram aos meus estudos.

Aos meus amigos queridos da natação, por me inspirarem com seu perfeccionismo em tudo que fazem.

À minha amada Cássia Daniele por sua paciência, companheirismo e auxílio técnico ao longo de todo esse trabalho.

RESUMO

No dimensionamento de pavimentos através dos métodos mecanístico-empíricos, os esforços transmitidos às camadas do pavimento pelo tráfego comercial constituem as principais solicitações consideradas. Nesse contexto, a variabilidade do volume de tráfego nas rodovias e da quantidade de carga transportada nos veículos comerciais eleva o nível de incerteza quanto à durabilidade da estrutura projetada. A fiscalização do excesso de peso, quando ocorre de forma eficaz, contribui para redução dessa incerteza no dimensionamento de pavimentos, na medida em que faz cumprir os limites legais de carga transportada pelos veículos comerciais.

Este trabalho teve como objetivo estimar o consumo de vida útil de um pavimento flexível determinado pelo tráfego comercial, no período de setembro de 2013 a agosto de 2016, em dois trechos da BR 290 – Freeway.

A partir do levantamento de dados de aferição de carga de dois postos de pesagem veicular - PPVs instalados na Freeway, obteve-se uma distribuição amostral de frequência de eixos por intervalos de carga. Essa distribuição amostral foi aplicada a todo o tráfego comercial da rodovia, aferido nos postos de pedágio, obtendo-se histogramas de eixos por valor de carga para o tráfego contabilizado nos dois trechos considerados, km 65 norte e km 110 norte. A partir dos valores de carga máxima dos intervalos adotados nos histogramas, calcularam-se com o auxílio do software Everstress as deformações de tração máximas no plano mais inferior da camada asfáltica. Essas deformações foram usadas na estimativa da vida de fadiga através do modelo de Salomão Pinto. Através da vida de fadiga, que fornece o número admissível de eixos, e do quantitativo de eixos que circularam na rodovia no período, estimou-se, por espectro de cargas, o consumo de vida útil do pavimento para os dois trechos da Freeway.

O consumo de vida útil para os dois trechos resultou em 66% para o trecho norte do km 110, em Eldorado do Sul, e em 70% para o trecho norte do km 65, em Gravataí.

A adoção de critérios para o dimensionamento de pavimentos deve levar em consideração a distribuição de carga por eixo verificada na rodovia, incluindo os eixos carregados acima dos limites legais e também aqueles carregados com carga abaixo dos limites. Só assim as solicitações do tráfego estarão compatíveis com a realidade e o período determinado para o projeto será atendido.

Palavras Chave: dimensionamento, pavimentos flexíveis, espectro de cargas, excesso de peso, vida de fadiga.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa	5
Figura 2 – Tipos de eixo.....	8
Figura 3 – Exemplo de histograma.....	14
Figura 4 - Estado de tensões nos carregamentos	19
Figura 5 – Histogramas ESRS Eldorado do Sul	45
Figura 6 – Análise de excessos da amostra de Eldorado do Sul.....	48
Figura 7 - Análise de excessos da amostra de Gravataí.....	48
Figura 8 – Simulação da redução de vida de fadiga com aumento das tolerâncias	51
Figura 9 – Danos acumulados para simulações com SISPAV e MEPDG.....	52
Figura 10 – Danos previstos para trafego cujos eixos apresentam cargas iguais aos limites máximos legais x limites legais + 10% tolerância x limites legais + 12,5% tolerância x dano calculado para tráfego efetivo considerando histogramas	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites legais para PBT.....	7
Tabela 2 – Limites legais para eixos.....	7
Tabela 3 – Classes e silhuetas de veículos comerciais	9
Tabela 4 – Histórico de tolerâncias legais	13
Tabela 5 – Coeficientes de Poisson	22
Tabela 6 – Valores estimados de Módulo de Elasticidade através e retroanálise das deflexões em campo, conforme a execução das camadas no trecho monitorado II	26
Tabela 7 – Volume diário classificado	28
Tabela 8 – Categorias veiculares do contrato de concessão	29
Tabela 9 – Fator de distribuição de faixas	30
Tabela 10 – Relatório de pesagens	32
Tabela 11 - Entradas do Everstress 5.0.....	34
Tabela 12 – Coordenadas dos pontos de avaliação do Everstress 5.0	35
Tabela 13 – Cargas por roda consideradas nas simulações de diferentes tolerâncias de carga.....	36
Tabela 14 – Cargas por roda para simulações do tráfego efetivo considerando as frequências de eixos por carga dos histogramas	38
Tabela 15 – Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – Setembro/2013 a dezembro/2013.....	41
Tabela 16 - Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do Sul – Setembro/2013 a dezembro/2013	41
Tabela 17 - Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – 2014	43
Tabela 18 - Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do Sul – 2014.....	43
Tabela 19 - Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – 2015	43
Tabela 20 - Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do Sul– 2015	43
Tabela 21 - Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – Janeiro/2016 a Agosto/2016	44
Tabela 22- Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do sul – Janeiro/2016 a Agosto/2016.....	44
Tabela 23 - Total de eixos por tipo – Gravataí – Setembro/2013 a Agosto/2016.....	44
Tabela 24 - Total de eixos por tipo – Eldorado do Sul – Setembro/2013 a Agosto/2016.....	44
Tabela 25 – Cargas médias do tráfego por tipo de eixo.....	46
Tabela 26 – Porcentagem do tráfego fiscalizado	47
Tabela 27 – Aplicação das frequências das amostras no tráfego efetivo	49
Tabela 28 – Dano para cada valor de carga por eixo.....	54
Tabela 29 – Dano acumulado para o período da pesquisa	56
Tabela 30 – Danos para cada eixo considerando o tráfego com cargas iguais aos limites máximos legais	57

LISTA DE SIGLAS

CONCEPA: Concessionária da Rodovia Porto Alegre Osório

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

PBT: Peso bruto total

PPV: Posto de pesagem veicular

ANTT: Agencia Nacional de Transportes Terrestres

CAP: Cimento asfáltico de petróleo

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

CONTRAN: Conselho Nacional de Transito

ESRD: Eixo Simples de Rodas Duplas

ESRS: Eixo Simples de Rodas Simples

ETD: Eixo Tandem Duplo

ETT: Eixo Tandem Triplo

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia

WIM: Weigh-in-Motion

PER: Programa de exploração da rodovia

PRF: Polícia Rodoviária Federal

SAMDM: South African Mechanistic Design Method

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VMD: Volume Médio Diário

GLOSSÁRIO

Classes de veículos: Determinadas em regulamento do DNIT, estão detalhadas neste trabalho no item 3.1.2.

Categorias de veículo: Determinadas pelo contrato de concessão, estão detalhadas no item 4.1.1, tabela 8.

Carga: Considera-se nesse trabalho, carga igual a massa. Com unidade dada em quilogramas (kg) ou toneladas (t).

Distribuição amostral: Frequências (%) de eixos em relação ao tráfego amostral para cada valor de carga (t).

Tipos de eixo: O trabalho considera apenas 4 tipos de eixo, sendo eles ESRS, ESRD, ETD e ETT. Eles estão descritos no item 3.1.2.

Tráfego: Tráfego de veículos comerciais.

Tráfego efetivo: Tráfego de veículos comerciais que circulam na Freeway, segundo contagem automática realizada pela concessionária da via nos postos de pedágio. No estudo de tráfego realizado contabilizou-se o número de eixos de cada tipo, conforme descrito na seção 4.3.1. Foi considerado apenas o tráfego unidirecional da rodovia.

Tráfego amostral: Tráfego de veículos comerciais que foram aferidos nos PPVs. No estudo do tráfego amostral, foram contabilizados o número de eixos de cada tipo e a frequência com que os eixos se enquadravam em determinadas faixas de peso. Esse estudo está descrito na seção 4.3.2. Os dados obtidos nos PPVs referem-se ao tráfego unidirecional da rodovia.

Posto de pesagem veicular de estrutura fixa: Conforme definido pela Deliberação 009 (ANTT, 2014, item 3, “b”):

“[...]normalmente possuem edifícios para a execução e apoio as atividades de fiscalização, pátio para a execução das medidas administrativas previstas em lei, balança seletiva e balança fixa. Sua operação se dá, na grande maioria dos casos, de forma ininterrupta (24 horas, 7 dias por semana).”

Posto de pesagem veicular de estrutura precária: Conforme definido pela Deliberação 009 (ANTT, 2014, item 3, “b”):

“[...]também conhecidos como móveis. Normalmente seus equipamentos são instalados em veículos e para a sua operação é necessária a colocação das placas de pesagem nos fossos das placas de concreto das bases móveis (locais pré-determinados, em que o órgão metrológico efetua a certificação de aferição do equipamento para aquele ponto). Por não prover as condições operacionais mínimas dos postos fixos, adotou-se o termo precário para defini-los. Sua operação se dá, normalmente, em horários e dias pré-determinados, não configurando uma operação ininterrupta. Não possui balança seletiva, nem pátio para a execução das medidas administrativas previstas em lei.”

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	DIRETRIZES DA PESQUISA	3
2.1	QUESTÃO DE PESQUISA	3
2.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	3
2.2.1	Objetivo Geral	3
2.2.2	Objetivos Específicos	3
2.3	DELIMITAÇÕES	4
2.4	LIMITAÇÕES	4
2.5	DELINEAMENTO	5
3	REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1	CONTEXTO LEGAL	6
3.1.1	Limites de carga	7
3.1.2	Tipos de eixo e classes veiculares do DNIT	8
3.1.3	Histórico da legislação	9
3.2	ESPECTROS DE CARGAS	13
3.2.1	Histogramas de carga por eixo	14
3.2.2	Critério de falha	14
3.2.3	Aplicação da Lei de Miner	15
3.3	MÉTODO DE SALOMÃO PINTO NA ESTIMATIVA DE VIDA DE FADIGA	16
3.3.1	Fadiga de camadas asfálticas	18
3.4	MÓDULO DE RESILIÊNCIA	18
4	MÉTODO	21
4.1	SOFTWARE EVERSTRESS	21
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO	24
4.3	ESTUDOS DE TRÁFEGO	27
4.3.1	Quantitativo de eixos no tráfego efetivo segregados por tipo	27
4.3.2	Obtenção da frequência de eixos por valor de carga no tráfego amostral (distribuição amostral) e construção de histogramas de carga por eixo	31
4.3.2.1	<i>Obtenção dos valores de frequência(%)</i>	31
4.3.2.2	<i>Obtenção dos valores de carga (t)</i>	32

4.3.3	Aplicação da distribuição amostral no tráfego efetivo	33
4.4	UTILIZAÇÃO DO EVERSTRESS 5.0 NO CÁLCULO DAS DEFORMAÇÕES	33
4.5	INFLUÊNCIA DAS TOLERÂNCIAS LEGAIS PARA CARGAS TRANSMITIDAS POR EIXOS NA REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO.....	35
4.6	CÁLCULO DO DANO POR ESPECTRO DE CARGAS PARA ESTIMAR A REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL	37
4.6.1	Dano utilizando distribuição amostral aplicada ao tráfego efetivo	37
4.6.2	Dano por eixos carregados com a carga máxima legal admitindo diferentes tolerâncias ...	39
5	RESULTADOS	41
5.1	QUANTITATIVO DE EIXOS, SEGREGADOS POR TIPO, NO TRÁFEGO EFETIVO	41
5.2	DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL E HISTOGRAMAS DE CARGA POR EIXO	44
5.3	INFLUÊNCIA DAS TOLERÂNCIAS LEGAIS PARA CARGAS TRANSMITIDAS POR EIXOS NA REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO.....	50
5.4	DANO UTILIZANDO DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DOS HISTOGRAMAS APLICADA AO TRÁFEGO EFETIVO	51
5.5	DANO UTILIZANDO AS CARGAS MÁXIMAS LEGAIS COM DIFERENTES TOLERÂNCIAS	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICE A – Histogramas de carga por frequência	64
	APÊNDICE B – Distribuição amostral aplicada ao tráfego efetivo	69

1 INTRODUÇÃO

No dimensionamento de pavimentos através dos métodos mecanístico-empíricos, os esforços transmitidos às camadas do pavimento pelo tráfego comercial constituem as principais solicitações consideradas. Nesse contexto, a variabilidade do volume de tráfego nas rodovias e da quantidade de carga transportada nos veículos comerciais eleva o nível de incerteza quanto à durabilidade da estrutura projetada. Para Ceratti e Núñez (2006, p.3):

[...] o nível de incerteza ao dimensionar-se um pavimento é muito maior dos que cercam os dimensionamentos de outras estruturas de engenharia civil, como edifícios, barragens, pontes, etc. De fato, é muito difícil prever com acurácia as solicitações geradas pelo tráfego comercial atraído pela execução do novo pavimento. Estima-se uma taxa de crescimento para o tráfego comercial, que dependerá de vários fatores, dentre os quais destaca-se o crescimento econômico da região e do país.

A fiscalização do excesso de peso, quando ocorre de forma eficaz, contribui para redução dessa incerteza no dimensionamento de pavimentos, na medida em que faz cumprir os limites legais de carga transportada pelos veículos comerciais. Entretanto, evidencia-se a ausência de uma estratégia consolidada para fiscalização de excesso peso nas esferas governamentais que atualmente são responsáveis pelo tratamento desse assunto.

Na esfera legislativa, o que se vê ao longo dos anos é um abrandamento das normas que regulamentam o excesso de cargas. Isso pode ser corroborado ao acompanharmos a evolução histórica das tolerâncias legais que são adicionadas aos limites de carga inicialmente definidos. A tolerância para autuação, que em 1985 foi definida em 5% pela lei federal nº 7.408 (BRASIL, 1985), em 2016 alcançou o valor de 10%, após a promulgação da lei federal 13.103 (BRASIL, 2016).

Ainda na esfera legislativa, a delegação da responsabilidade de fiscalizar o excesso de peso a órgãos que não possuem competência legal suficiente para tal atividade, indica negligência do

Estado no tratamento do assunto. Um exemplo disso é a delegação da fiscalização de excesso de cargas à Agência Nacional de Transportes Terrestres. Essa competência se limitava à aplicação do art. 21 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL,1997), não dando competência à ANTT de autuar veículos que não adentram os postos de pesagem, matéria contida no art. 209 do CTB (BRASIL,1997). Essa limitação só foi corrigida com o art. 8º da resolução Contran 547 (BRASIL, 2015).

Na esfera executiva, verifica-se a falta de investimento na estruturação de novos postos de fiscalização, e na manutenção dos postos já existentes, além da falta de rigor com os horários de funcionamento, como também foi verificado por Bock (2016). Isso fica evidenciado nesse trabalho através dos baixos percentuais de veículos fiscalizados nos Postos de Pesagem Veicular – PPVs em relação ao tráfego efetivo da rodovia, chegando a um percentual de apenas 7,2%, conforme tabela 26.

O autor atribui esse modelo de gestão ao conflito de interesses inerente ao transporte de cargas por rodovias. De um lado temos a necessidade econômica de baratear o escoamento da produção pelo modal rodoviário, o que significa transportar quantidades maiores de carga por veículo, e por outro lado temos a necessidade de reduzir o custo de manutenção das rodovias nacionais, o que significa restringir as cargas transmitidas ao pavimento. Portanto, “[...]é preciso considerar que no custo global para a economia do país, a redução na vida útil do pavimento pode ser compensada por uma significativa redução no custo do transporte.” (CERATTI e NÚÑEZ, 2006, p. 3).

A proposta deste trabalho é consolidar dados existentes, mas dispostos desordenadamente nos relatórios de pesagem dos PPVs, utilizando-os para caracterizar o tráfego em relação à carga transportada por eixo, incluindo no estudo as cargas que ultrapassam os limites legais e as que estão inferiores a eles. Objetiva-se com isso destacar a relevância da manutenção de uma estrutura eficiente para fiscalização de excesso de cargas, e da implementação de projetos de pavimentação compatíveis com o cenário existente.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes da pesquisa estão subdivididas e desenvolvidas nos itens a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Qual o efeito do tráfego efetivo, considerando os veículos comerciais transitando dentro dos limites legais de carga e também aqueles com excesso de carga, na redução da vida útil do pavimento, nos trechos rodoviários da BR 290/RS - Freeway, de Osório/RS a Porto Alegre/RS e entroncamento da BR 116/RS até a entrada da cidade de Guaíba/RS, que correspondem atualmente aos trechos da pista norte concedidos à Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S.A. – Concepa.

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.2.1 Objetivo Geral

Estimar, para uma estrutura de pavimento flexível, considerando-a instalada em dois trechos da Freeway, o consumo de sua vida útil determinado pelo tráfego comercial no período de setembro de 2013 a agosto de 2016.

2.2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar o tráfego efetivo da rodovia, quantificando-o por tipo de eixos;
- b) Determinar a frequência de eixos por valor de carga no eixo em um tráfego amostral, considerando apenas os veículos comerciais aferidos nos PPVs, e aplicar essa distribuição ao tráfego efetivo;
- c) Estimar a redução percentual da vida útil do pavimento provocada pela ampliação das tolerâncias legais;
- d) Comparar a estimativa de dano provocado pelo tráfego efetivo com o dano provocado por um tráfego cujos eixos admitem-se estarem carregados com a carga máxima legal.

2.3 DELIMITAÇÕES

O projeto delimita-se a estimar a redução na vida útil de um perfil conhecido de pavimento da rodovia Freeway, considerando sua aplicação em dois trechos da rodovia. Esse perfil de pavimento é constituinte de um dos trechos do projeto Rede Temática de Asfalto, localizado entre o km 5+500m e o km 5+000m da terceira faixa da pista sul. Os dados de tráfego efetivo serão coletados nos postos de pedágio de Gravataí, km 77 e Eldorado do Sul, km 110, e os dados de tráfego amostral serão coletados nos postos de pesagem veicular instalados no km 65 (Gravataí) e 110 (Eldorado do Sul), todos localizados na pista norte da rodovia, ou seja, para a análise do tráfego só será considerado o tráfego unidirecional da rodovia. A redução da vida útil será avaliada para cada um dos dois trechos separadamente. O período da coleta de dados estende-se de setembro de 2013 a agosto de 2016.

2.4 LIMITAÇÕES

Correspondem às limitações da pesquisa:

- a) os postos de pesagem veicular instalados na rodovia são classificados como de estrutura precária pela Agência Nacional de Transportes Terrestres, conforme definição apresentada no glossário deste trabalho. Sendo assim os dados de excesso de carga levantados correspondem apenas a uma parcela do excesso de carga circulante;
- b) apenas a fadiga foi considerada como modo de falha na avaliação da vida do pavimento;
- c) a estrutura do pavimento analisado não representa a totalidade da rodovia, que é composta por outros perfis de pavimento com subleitos apresentando diferentes características estruturais.

2.5 DELINEAMENTO

A pesquisa é composta pelas seguintes etapas: revisão bibliográfica, métodos, resultados e considerações finais (Figura 1). Compõem a revisão da literatura as leituras que possibilitaram a fundamentação teórica do trabalho e acompanharam todo o desenvolvimento dele. A etapa dos métodos inclui o levantamento de dados e sua utilização nos modelos. A etapa dos resultados incluiu, além da sua apresentação, uma comparação com resultados obtidos em estudos semelhantes. Ao final foram feitas considerações a respeito do trabalho e sugestões para trabalhos posteriores.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(Fonte: elaborado pelo autor)

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONTEXTO LEGAL

No âmbito do excesso de carga, cabe aos órgãos e entidades executivos rodoviários da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, conforme inciso VIII do art. 21 da Lei nº 9.503 – Código de Trânsito Brasileiro - CTB (BRASIL, 1997): “fiscalizar, autuar, aplicar as penalidades e medidas administrativas cabíveis, relativas a infrações por excesso de carga, dimensões e lotação dos veículos, bem como notificar e arrecadar as multas que aplicar”. Ainda segundo o CTB, Art. 99 (BRASIL, 1997), a fiscalização do excesso de carga pode ser realizada de duas formas: através da verificação do documento fiscal e utilizando-se de equipamento de pesagem.

A metodologia de fiscalização através do documento fiscal sofreu algumas alterações regulamentares ao longo dos anos. Inicialmente só era autorizada a sua fiscalização em rodovias em que não estivesse instalado algum equipamento de pesagem e não previa qualquer tolerância para excessos verificados (BRASIL, Resolução Contran nº 104, 1999, art. 4). Posteriormente, foi admitida uma tolerância de 5% nessa forma de fiscalização, baseando-se no argumento de variação dos equipamentos de pesagem (BRASIL, Resolução Contran nº 114, 2000, art. 1). Atualmente, permite-se a fiscalização do excesso de carga por documento fiscal em qualquer tempo ou local, não sendo admitida qualquer tolerância para os valores declarados (BRASIL, Resolução Contran nº 258, 2007, art. 11). Na segunda forma de fiscalização, um equipamento de pesagem é utilizado na aferição do PBT do veículo e da carga transmitida por cada eixo. Os valores aferidos pelo equipamento de pesagem são comparados com os limites estabelecidos em lei. Caso esses limites sejam excedidos, admitidos percentuais de tolerância, fica determinado o enquadramento na infração de trânsito e, ou, aplicação de medida administrativa (Brasil. Lei nº 9.503, 1997, Art. 231, V).

Para a medida administrativa, conforme Manual de Procedimentos de Fiscalização em Postos de Pesagem Veicular (ANTT, 2014, p. 54) estão previstas duas medidas:

“O remanejamento consiste na realocação da carga exercida sob os eixos, ou seja, os pontos de contato do veículo com o pavimento, de modo que os excessos por eixo sejam eliminados, observado o disposto no art. 9º da Resolução nº 258/2007/CONTRAN. O transbordo consiste na retirada da carga de um veículo que exceda o limite de PBT, PBTC ou CMT para outro.”

3.1.1 Limites de carga

Os limites de carga para PBT ou PBTC e por eixo estão relacionados nas tabelas abaixo conforme estabelecidos na Resolução Contran nº 210, art. 2º (2006).

Tabela 1 – Limites legais para PBT

Item	Tipo de configuração	L - comprimento total (m)	PBT ou PBTC (t)
a	Veículo não articulado	-	29
b	Veículos com reboque ou semi-reboque, exceto caminhões	-	39,5
c	Veículos articulados com duas unidades, caminhão-trator e semi-reboque	$L < 16$	45
d	Veículos articulados com duas unidades, caminhão-trator e semi-reboque com eixos em tandem triplo	$L > 16$	48,5
e	Veículos articulados com duas unidades, caminhão-trator e semi-reboque com eixos distanciados	$L \geq 16$	53
f	Veículos com duas unidades, caminhão e reboque	$L < 17,50$	45
g	Veículos articulados com duas unidades, caminhão e reboque	$L \geq 17,50$	57
h	Veículos articulados com mais de duas unidades	$L < 17,50$	45
i	Veículos com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora	$17,50 \leq L \leq 19,80$	57
j	Veículos com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora	$19,80 < L \leq 30$	57
k	Veículos com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora	$25 \leq L \leq 30$	74

(Fonte: ANTT, 2014)

Tabela 2 – Limites legais para eixos

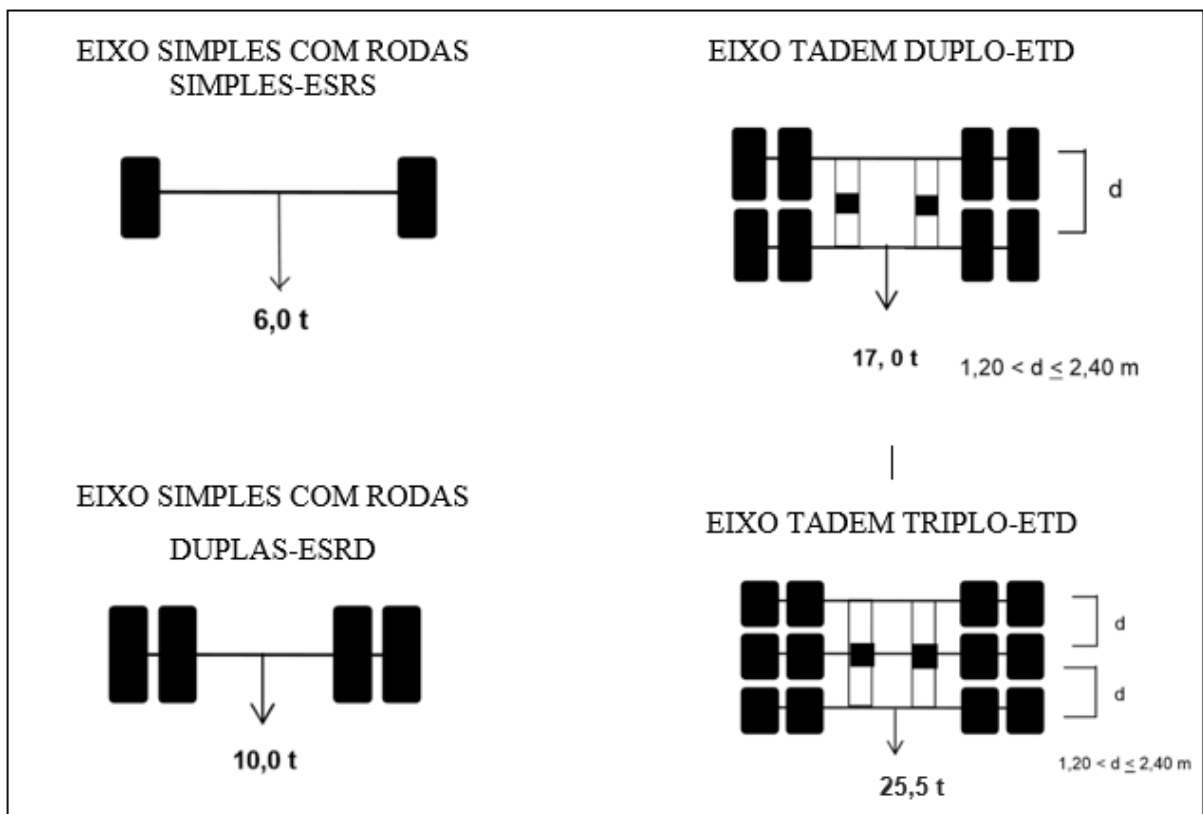
Item	Tipo de configuração	Configuração de Eixos	D – distância entre eixos (m)	Peso máximo (t)
A	Eixo isolado de 2 pneumáticos		-	6
B	Eixo isolado de 4 pneumáticos		-	10
C	Conjunto de 2 eixos direcionais com 2 pneumáticos cada		$D \geq 1,20$	12
D	Conjunto de 2 eixos em tandem		$1,20 < D \leq 2,40$	17
E	Conjunto de 2 eixos não em tandem		$1,20 < D \leq 2,40$	15
F	Conjunto de 3 eixos em tandem		$1,20 < D \leq 2,40$	25,5
G	Conjunto de dois eixos, sendo um dotado de 4 pneumáticos e outro de 2 pneumáticos interligados por suspensão especial		$D \leq 1,20$	9
H	Conjunto de dois eixos, sendo um dotado de 4 pneumáticos e outro de 2 pneumáticos interligados por suspensão especial		$1,20 < D \leq 2,40$	13,5

(Fonte: ANTT, 2014)

3.1.2 Tipos de eixo e classes veiculares do DNIT

Os tipos de eixo com ocorrência mais frequente, e que serão escopo deste trabalho, estão definidos como A, B, D, F na tabela 2 e representados esquematicamente abaixo com seu respectivo limite legal, sem tolerância.

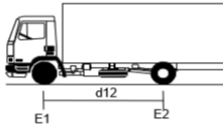
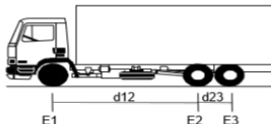
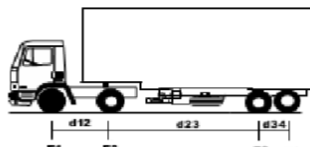
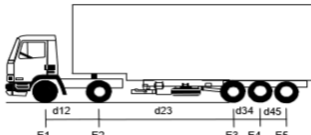
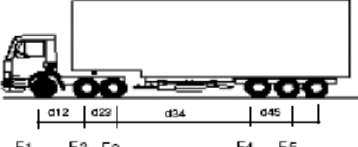
Figura 2 – Tipos de eixo



(Fonte: Adaptado de DNIT, 2009)

O DNIT em sua publicação “Quadro de Fabricantes de Veículos” apresenta uma tabela com modelos de todos os veículos existentes, onde também padroniza uma nomenclatura para cada classe de veículo e define seu limite de PBT (DNIT, 2009, p. 14). As silhuetas que serão alvo de discussão neste trabalho estão disponibilizadas na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Classes e silhuetas de veículos comerciais

SILHUETA	GRUPO/Nº EIXOS	PBT (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2/2	16	CAMINHÃO E1 = eixo simples rodas simples; carga máxima 6,0 ton E2= eixo simples rodas duplas; carga máxima 10 ton d12 > 3,50 m	2C
	2/3	23	CAMINHÃO TRUCADO E1 = eixo simples rodas simples; carga máxima 6,0 ton E2E3 = conjunto de eixos tandem duplo; carga máxima 17 ton d12 > 2,40 m 1,20 m < d23 <= 2,40 m	3C
	3/4	33	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples rodas simples; carga máxima 6,0 ton E2 = eixo simples rodas duplas; carga máxima 10 ton E3E4 = conjunto de eixos tandem duplo; carga máxima 17 ton d12, d23 > 2,40 m 1,20 m < d34 <= 2,40 m	2S2
	3/5	41,5	CAMINHÃO TRATOR + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples rodas simples; carga máxima 6,0 ton E2= eixo simples rodas duplas; carga máxima 10 ton E3E4E5 = conjunto de eixos tandem triplo; carga máxima 25,5 ton d12, d23 > 2,40 m 1,20 m < d34, d45 < 2,40 m	2S3
	3/6	45	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE E1 = eixo simples rodas simples; carga máxima 6,0 ton E2E3 = conjunto de eixos tandem duplo; carga máxima 17 ton E4E5E6 = conjunto de eixos tandem triplo; carga máxima 25,5 ton d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 < 2,40 m	3S3

(Fonte: Adaptado de DNIT, 2009)

3.1.3 Histórico da legislação

Os percentuais de tolerância admitidos para os valores de carga aferida têm sido sucessivamente alterados, sendo objeto de inúmeras regulamentações pelo Conselho Nacional de Trânsito. Essas tolerâncias influenciam no comportamento dos pavimentos à medida em que representam, assim como o excesso de carga ilegal, um acréscimo ao valor da carga de projeto determinada para os eixos que transitam sobre a rodovia.

A seguir será apresentado um breve histórico dessas alterações:

A tolerância na aferição da pesagem de veículos comerciais foi inicialmente determinada pela Lei nº 7.408 (BRASIL, 1985, art. 1): “Fica permitida a tolerância máxima de 5% (cinco por cento) sobre os limites de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículos à superfície das vias públicas.”. Posteriormente, a Resolução 102 (CONTRAN, 1999, art. 1) alterou a norma: “Fica permitida a tolerância máxima de 7,5% (sete vírgula cinco por cento) sobre os limites de peso bruto transmitido por eixo de veículos à superfície das vias públicas.”

No mesmo ano a Resolução Contran 104 (1999) mantém as tolerâncias de 7,5% para excesso em eixo da RES 102/99, e tolerância de 5% para excesso em PBT da Lei 7.408/85. Entretanto, isenta de multa o excesso em eixo em qualquer situação, apenas exigindo o remanejo e, ou, transbordo no caso de excesso em eixo ou PBT/PBTC acima das respectivas tolerâncias. Essa medida foi justificada através Resolução 104 (CONTRAN, 1999, art. 1):

“Enquanto não estiverem concluídos os estudos e pesquisas que orientaram a atualização dos limites de peso por eixo, bem como não for fixada a metodologia de aferição de peso de veículos, serão adotados os critérios de Peso Bruto Total - PBT e Peso Bruto Total Combinado – PBTC para aferição do peso para aplicação de multa isentando-se de multa os excessos de peso verificados nos eixos isolados ou conjuntos de eixos. ”

Apenas com a Resolução Contran 258 (2007) foram reestabelecidas as multas para excesso de carga em eixo. Estabeleceu-se também que os limites de tolerância para excesso em PBT/PBTC e eixo seriam de 5%, atribuídos à incerteza do equipamento, conforme legislação metrológica. Mas o transbordo ou remanejo só seria obrigatório para casos de excesso de carga em eixo acima do limite estabelecido adicionado dos 5% de tolerância. Entretanto, respeitados os outros dispositivos da Resolução Contran 258 (2007), a tolerância para excesso em eixo foi mantida em caráter temporário, por força de resolução, em 7,5% até o ano de 2014. Tendo sido sucessivamente prorrogada por força das resoluções:

- a) Resolução nº 301/2008/CONTRAN
- b) Resolução nº 328/2009/CONTRAN
- c) Resolução nº 337/2009/CONTRAN

- d) Resolução nº 353/2010/CONTRAN
- e) Resolução nº 365/2010/CONTRAN
- f) Resolução nº 403/2012/CONTRAN
- g) Resolução nº 430/2013/CONTRAN
- h) Resolução nº 467/2013/CONTRAN

O que demonstra a significância desse parâmetro para os interesses dos diversos setores da sociedade envolvidos no transporte de cargas e na conservação da vida útil do pavimento das rodovias.

Apenas em 2014 os valores de tolerância da Resolução Contran 258(2007) são alterados e oficializados por tempo indeterminado. A Resolução 489 (CONTRAN, 2014, art. 1), altera o art. 5º da Resolução Contran 258(2007), que passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 5º Na fiscalização de peso dos veículos por balança rodoviária serão admitidas as seguintes tolerâncias:
I – 5% (cinco por cento) sobre os limites de pesos regulamentares para o peso bruto total (PBT), peso bruto total combinado (PBTC) e Capacidade Máxima de Tração (CMT);
II – 7,5% (sete vírgula cinco por cento) sobre os limites de pesos regulamentares por eixo para aqueles veículos que excederem os limites estabelecidos no inciso I;
III - 10% (dez por cento) sobre os limites de pesos regulamentares por eixo para aqueles veículos que não excederem os limites estabelecidos no inciso I.
Parágrafo único. No carregamento dos veículos, a tolerância máxima prevista neste artigo não pode ser incorporada aos limites de peso previstos em regulamentação fixada pelo CONTRAN.”

Além disso, a Resolução Contran 489 (2014) amplia a tolerância para remanejo e transbordo de veículos para excessos em eixo acima de 12,5% do limite legal. Essa ampliação representa um aumento significativo da solicitação de cargas a que é submetida a estrutura do pavimento. Ainda em 2014, os limites de carga em eixo para veículos de característica rodoviária do transporte de passageiros também são amplificados pela Resolução 502 (CONTRAN, 2014, art. 1), que inclui o seguinte artigo na Resolução Contran 210(2006):

“Art. 2-A Os veículos de característica rodoviária para transporte coletivo de passageiros, fabricados a partir de 01 de janeiro de 2012, terão os seguintes limites máximos de peso bruto total (PBT) e peso bruto transmitido por eixo nas superfícies das vias públicas:

I. Peso bruto por eixo:

- a) Eixo simples dotado de 2 (dois) pneumáticos = 7t;
- b) Eixo simples dotado de 4 (quatro) pneumáticos = 11t;
- c) Eixo duplo dotado de 6 (seis) pneumáticos = 14,5t;
- d) Eixo duplo dotado de 8 (oito) pneumáticos = 18t;
- e) Dois eixos direcionais, com distância entre eixos de no mínimo 1,20 metros, dotados de 2 (dois) pneumáticos cada = 13t.

II. Peso bruto total (PBT) = somatório dos limites individuais dos eixos descritos no inciso I.”

O que representa novo acréscimo de cargas nas solicitações do pavimento.

Finalmente, em 2015, como forma de negociação após uma greve com o setor dos transportadores de cargas é promulgada a Lei nº 13.103 (de 2 de março de 2015) que altera a tolerância para excesso de carga por eixo para 10%, independentemente do PBT aferido. Tal medida é acompanhada pela Resolução Contran 526(2016), que novamente altera a Resolução Contran 258(2006) no mesmo aspecto.

A história se repete e as decisões políticas sobrepõem o conhecimento técnico. Assim como as Resoluções 102/99 e 104/99 aumentaram a tolerância para a sobrecarga em eixo dos veículos e dificultaram a fiscalização de excesso de carga, a Lei nº 13.103/2015 surge em um contexto político conturbado, com nova paralização da categoria de transportadores rodoviários de cargas, e novamente essas tolerâncias são flexibilizadas.

Albano (2005, p.41) já havia discorrido sobre a nocividade dessas ações:

As Resoluções 102/99 e 104/99 do CONTRAN são nocivas à integridade dos pavimentos. A tolerância de 7,5% de excesso de cargas por eixo decorreu de negociações entre Governo e caminhoneiros, após uma paralização nacional em julho de 1999. Não se tem conhecimento de estudos técnicos que embasem essa decisão. Investigações executadas no LASTRAN da UFRGS, relativas ao aumento do número N devido ao acréscimo de tolerância de carga por eixo, indicam que há uma redução de 10 a 15% na vida útil dos pavimentos.

A Tabela abaixo resume essas alterações sucessivas nas tolerâncias e procedimentos:

Tabela 4 – Histórico de tolerâncias legais

INSTRUMENTO LEGAL	EXCESSO PBT				EXCESSO EM EIXO			
	TOLERÂNCIA REMANEJO/ TRANSBORDO	REMANEJO/ TRANSBORDO	TOLERÂNCIA INFRAÇÃO	MULTA	TOLERÂNCIA REMANEJO/ TRANSBORDO	REMANEJO/ TRANSBORDO	TOLERÂNCIA INFRAÇÃO	MULTA
Lei nº 7.408/1985	-	-	5,0%	SIM	-	-	5,0%	SIM
RES. CONTRAN 102/1999	5,0%	SIM	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 104/1999	5,0%	SIM	5,0%	SIM	7,5%	SIM	ISENTO	ISENTO
RES. CONTRAN 258/2007	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	5,0%	SIM	5,0%	SIM
RES. CONTRAN 301/2008	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 328/2009	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 337/2009	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 353/2010	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 365/2010	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 403/2012	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 430/2013	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 467/2013	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	7,5%	SIM	7,5%	SIM
RES. CONTRAN 489/2014	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	12,5%	SIM	7,5% ou 10% ¹	SIM
Lei nº 13.103/2015 e RES. CONTRAN 526/2016	ISENTO	ISENTO	5,0%	SIM	12,5%	SIM	10,0%	SIM

1) 7,5% caso haja excesso em PBT e eixo simultaneamente; 10% caso haja apenas excesso em eixo.

(Fonte: Elaborado pelo autor)

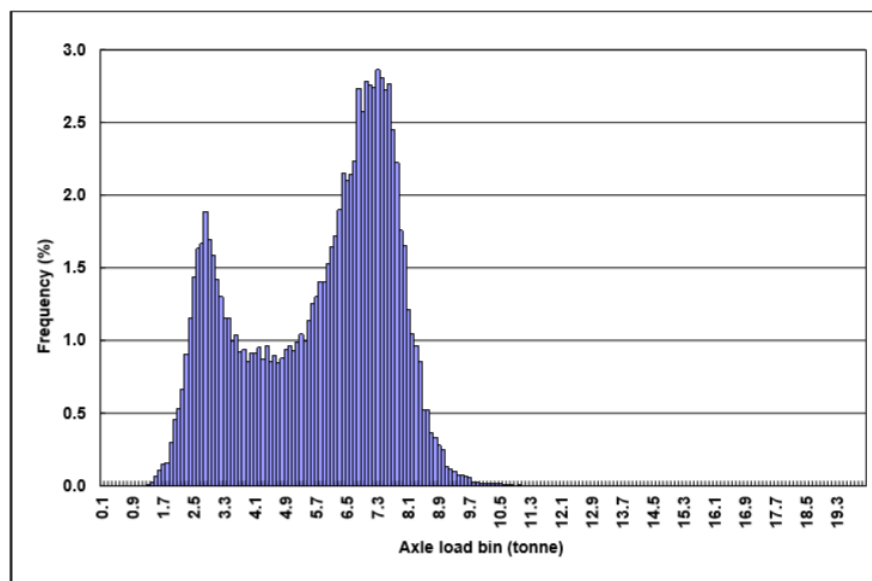
3.2 ESPECTROS DE CARGAS

Os métodos para dimensionamento de pavimento atuais estão se distanciando daqueles que envolvem o emprego dos fatores de equivalência de carga, sendo essencialmente empíricos e dando lugar às análises que envolvem os histogramas de carga por eixo. A forma mais simples de aplicação desse método inclui a utilização da Lei de Miner juntamente com algum critério de falha. (SAPEM, 2014, p. 32)

3.2.1 Histogramas de carga por eixo

Os histogramas de carga são gráficos de frequências de aplicações de uma determinada carga na estrutura do pavimento. Eles são utilizados para tratar o grande volume de dados que se obtém da pesagem de veículos nas rodovias, limitando as cargas por eixo a uma quantidade limitada de valores. (SAPEM, 2014, p. 29). Um exemplo de um histograma é fornecido no South African Pavement Engineering Manual (2014) e está recortado abaixo:

Figura 3 – Exemplo de histograma



(Fonte: SAPEM, 2014)

3.2.2 Critério de falha

Pretende-se neste trabalho avaliar apenas a vida de fadiga do pavimento, sendo esta tomada como critério de falha crítico e determinante da vida útil do pavimento. Isso será feito porque o conceito do consumo de resistência da metodologia do espectro de cargas é predominantemente aplicado à fadiga, conforme Ceratti e Núñez (2006, p. 37). Além disso, PINTO e PREUSSLER (2001) defendem que a fadiga é o principal defeito dos pavimentos flexíveis brasileiros. A função de transferência, ou modelo de estimativa para a vida de fadiga

a ser utilizado neste trabalho será o Método de Salomão Pinto, escopo do próximo item desse trabalho.

3.2.3 Aplicação da Lei de Miner

A Lei de Miner simula o carregamento complexo que acontece na rodovia ao longo da vida do pavimento. Ela considera o número de carregamentos de cada tipo de eixo que circulará sobre o pavimento, levando em consideração suas respectivas cargas, para calcular o consumo da vida estimada com a modelagem mecanístico-empírica. Esse consumo da vida útil estimada é denominado de Dano (D) e é calculado da seguinte forma, segundo Ceratti e Núñez (2006, p. 49):

$$D = \frac{n_{previsto\ EIXO\ 1}}{N_{adm\ EIXO\ 1}} + \frac{n_{previsto\ EIXO\ 2}}{N_{adm\ EIXO\ 2}} + \dots + \frac{n_{previsto\ EIXO\ n}}{N_{adm\ EIXO\ n}} \quad (\text{Fórmula 1})$$

Sendo:

D = Dano ao pavimento;

$n_{previsto\ EIXO\ 1}$ = Número de carregamentos do eixo tipo 1, obtido pelo estudo de tráfego;

$n_{previsto\ EIXO\ 2}$ = Número de carregamentos do eixo tipo 2, obtido pelo estudo de tráfego;

$n_{previsto\ EIXO\ n}$ = Número de carregamentos dos demais eixos, obtido pelo estudo de tráfego;

$N_{adm\ EIXO\ 1}$ = Número admissível de aplicações do eixo tipo 1. Calculado para cada valor de carga transmitida ao pavimento;

$N_{adm\ EIXO\ 2}$ = Número admissível de aplicações do eixo tipo 2. Calculado para cada valor de carga transmitida ao pavimento;

$N_{adm\ EIXO\ n}$ = Número admissível de aplicações dos demais eixos;

O número admissível de aplicações de cada eixo tipo corresponde à vida de fadiga do pavimento.

Cada termo da equação acima fornece uma proporção de dano causado por um carregamento de um determinado tipo de eixo. O somatório dessas proporções fornece a proporção de consumo da vida do pavimento. Quando essa proporção alcançar ou ultrapassar 1 ou 100%, a vida útil do pavimento chegou ao fim. (SAPEM, 2014, p. 33)

3.3 MÉTODO DE SALOMÃO PINTO NA ESTIMATIVA DE VIDA DE FADIGA

O método de Salomão Pinto é utilizada para se estimar a vida de fadiga da camada asfáltica, através do dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos, os quais permitem considerar as respostas de cada camada constituinte do pavimento, em razão de um carregamento qualquer. Essas respostas são dadas em função de três fatores, os quais constituem normalmente os fatores de dependência do modelo:

- a) tensões;
- b) deformações;
- c) deslocamentos.

O modelo aplica essas respostas nas equações denominadas constitutivas, desenvolvidas por meio de ensaios em laboratório, para a obtenção da vida de fadiga da camada asfáltica avaliada. (PINTO e PREUSSLER, 2001).

O método assume o pavimento como um sistema de camadas múltiplas com comportamento elástico linear. Essa aproximação determina uma das características empíricas do método, pois, segundo PINTO (2006, p. 165):

[...]A maior justificativa para a aplicação da Teoria da Elasticidade é o fato de não se dispor ainda de melhor alternativa e, também, porque ela apresenta uma avaliação satisfatória das tensões atuantes no solo, pelo que se depreende da análise de comportamento de obras.

A partir de ensaios com concreto asfáltico realizados à tensão controlada, obtiveram-se características mecânicas de diferentes Cimentos Asfálticos de Petróleo - CAPs e a correlação

estatística para os diferentes ensaios. Essa experiência possibilitou o estabelecimento da seguinte correlação, válida para diferentes ligantes produzidos no país (PINTO e PREUSSLER, 2001):

$$N = 1,21 \times 10^{-8} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_i}\right)^{2,66} \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

N = Vida de fadiga dada pelo modelo;

ε_i = Deformação horizontal na fibra mais inferior da camada asfáltica.

Essa modelagem foi desenvolvida com base em ensaios em laboratório, sendo, portanto necessário de um fator de calibração laboratório-campo. Esse fator depende da estrutura do pavimento, do percentual admissível de área trincada, do histórico de carregamentos aplicado ao pavimento, do tipo do ensaio aplicado e parâmetros considerados (PINTO e PREUSSLER, 2001). Esse fator é dado pela seguinte equação:

$$N_c = f_o \times N_{lab} \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

N_c = Vida de fadiga para a situação de campo;

f_o = fator de calibração laboratório-campo;

N_{lab} = vida de fadiga determinada em laboratório;

Segundo PINTO e PREUSSLER (2001), para efeitos práticos, pode-se dizer que para uma análise estrutural em termos de deformações específicas de tração calculadas na fibra inferior da camada asfáltica e considerando uma área de trincamento admissível de 20%, toma-se $f_o = 10^5$.

3.3.1 Fadiga de camadas asfálticas

As camadas asfálticas se comportam como meios contínuos e dessa forma são capazes de resistir a tensões de tração e compressão. Os carregamentos que ocorrem no pavimento submetem-no predominantemente a tensões de flexo-tração na direção horizontal e a tensões de compressão na direção vertical. Por se tratar de flexo-tração, as maiores solicitações de tração ocorrem nas fibras mais inferiores da camada solicitada e isso faz com que as fissuras ocasionadas pela fadiga iniciem na fibra mais inferior propagando-se até a superfície da camada asfáltica (Núñez, 2016).

Segundo Mattos (2014, p.81), “O processo de trincamento de fadiga pode ser dividido em três fases distintas: formação das microfissuras, propagação da trinca e ruptura”. A quantificação dessas trincas por unidade de área da camada asfáltica caracteriza o fim da vida do pavimento, sendo que essa quantificação limite é definida em função da categoria da rodovia. Para a Freeway, o PER atualizado (Brasil, 2015, p. 49) define as áreas máximas admissíveis, conforme a classe do trincamento:

- a) Frequência de ocorrência de trincas classe 3: $FC-3 < 15\%$;
- b) Frequência de ocorrência de trincas classe 2: $FC-2 < 25\%$;
- c) Percentagem de área trincada com trincas classes 2 e 3: $TR < 20\%$;

Para esse estudo considerou-se o valor máximo admissível de 20%, que também é compatível com o Método de Salomão Pinto descrito na seção anterior.

São pré-requisitos para a modelagem do perfil do pavimento o conhecimento de valores coerentes do Módulo de Resiliência e do Coeficiente de Poisson das camadas admitidas.

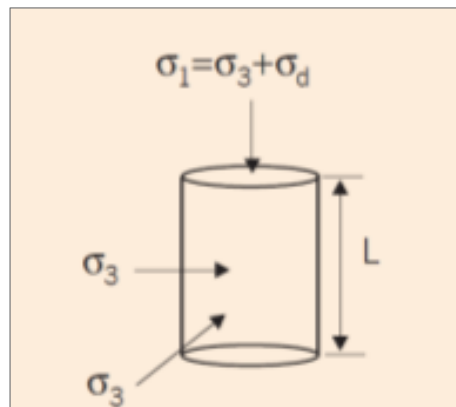
3.4 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

O Módulo de Resiliência - MR é o termo análogo ao Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young. Ele é aplicado aos materiais de pavimentação, diferindo do Módulo de Young por não ser calculado estaticamente. O conceito de resiliência pode ser definido como “energia

armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações” (Hveem, 1955 apud Bernucci et al.,2008, p. 291).

A Figura abaixo ilustra as tensões aplicadas nos carregamentos correspondentes a passagem de roda e também ao corpo de prova ensaiado pela norma:

Figura 4 - Estado de tensões nos carregamentos



(Fonte: Bernucci et al., 2008, p. 348)

Sendo:

σ_3 = tensão principal menor ou tensão de confinamento;

σ_1 = tensão principal maior;

σ_d = tensão desvio aplicada repetidamente no eixo axial.

Conforme a Norma DNIT 134/2010, o Módulo de Resiliência consiste na “[...] relação entre a tensão-desvio (σ_d) aplicada repetidamente em uma amostra de solo e a correspondente deformação específica vertical recuperável ou resiliente (ϵ_r).”

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (\text{fórmula 4})$$

Sendo:

σ_d : Tensão desvio, que é aplicada pelo pistão do equipamento na área do topo do corpo de prova;

ϵ_r : Deformação resiliente do corpo;

MR: Módulo de Resiliência do solo.

O Módulo de Resiliência comporta-se de maneira distinta para diferentes tipos de materiais. Para os materiais granulares, ele aumenta exponencialmente com o aumento da tensão de confinamento do material (simulada pelo ar comprimido aplicado ao corpo de prova ensaiado) e reduz na medida em que aumenta o teor de saturação do material, o que é mais perceptível em materiais granulares bem graduados, pois têm mais vazios e atingem mais rapidamente a saturação. Já para os materiais coesivos, ele é afetado principalmente pelo estado de tensões a que está submetido o material: aumentando o valor da tensão desvio (σ_d) ou o grau de saturação, o MR reduz exponencialmente. Em relação às misturas asfálticas, o MR depende fortemente da temperatura, elevando-se à medida em que a temperatura diminui (Núñez, 2016). Além disso, varia conforme o tipo de mistura, faixa granulométrica, tipo de ligante asfáltico utilizado, propriedades volumétricas, energia de compactação, etc (Bernucci et al., 2008, p. 301).

4 MÉTODO

4.1 SOFTWARE EVERSTRESS

Como facilitador da solução matemática, será utilizado o software de dimensionamento de pavimentos Everstress 5.0. Ele foi produzido pelo Washington State Department of Transportation a partir do software WESLEA, por sua vez desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers – USACE. Os dados fornecidos abaixo foram retirados do Everseries Users Guide (2005), do qual foi feita uma tradução livre.

O software pode determinar tensões, deformações e deslocamentos de um sistema composto por camadas que obedecem a um regime elástico de deformações, estado submetidos a carregamentos circulares superficiais, como os carregamentos transmitidos pelas rodas dos veículos comerciais. O programa analisa até 5 camadas, 20 carregamentos e 50 pontos de avaliação de respostas.

Os dados de entrada do software são os seguintes:

- a) Título do Estudo;
- b) Número de camadas que constituem o pavimento (1 a 5);
- c) Unidades utilizadas (Métrico ou Americano);
- d) Detalhamento das camadas:
 - I. Número da camada (1 a 5 sequencialmente);
 - II. Identificação do tipo da camada sendo:
 - i. 0 – Meio Contínuo ou camada asfáltica;
 - ii. 1 – Meio não contínuo e material granular, cujo o MR é dado pela equação:

$$E = \text{Multiplicador} \times \left(\frac{\sigma_{\theta}}{p_{atm}} \right)^{\text{expoente}} \quad (\text{fórmula 5})$$

Sendo:

E = Módulo de Resiliência do material;

Multiplicador = coeficiente K1;

Expoente = coeficiente K2;

σ_{θ} = tensão de confinamento;

p_{atm} = pressão atmosférica.

- iii. 2 – Meio não contínuo e material coesivo, cujo o MR é dado pela equação:

$$E = \text{Multiplicador} \times \left(\frac{\sigma_d}{p_{atm}} \right)^{\text{expoente}} \quad (\text{fórmula 6})$$

Sendo:

E = Módulo de Resiliência do material;

Multiplicador = coeficiente K3;

Expoente = coeficiente K4;

σ_d = tensão desvio;

p_{atm} = pressão atmosférica;

- III. Caracterização da interface de contato entre camadas:
- i. 0 – Sem adesão entre camadas;
 - ii. 1 – Adesão total entre camadas;
 - iii. 2 – 1000 – Adesão parcial entre camadas (Varia com MR e ν);
- IV. Coeficiente de Poisson (ν);

Tabela 5 – Coeficientes de Poisson

Material	ν (Poisson)
Concreto Asfáltico	0,3
Material Granular	0,35
Material Coesivo	0,40
Material Cimentado	0,16 - 0,22

(Fonte: Núñez, 2016)

- V. Espessura da camada (cm ou polegadas);
 - VI. Módulo de Resiliência (MPa ou ksi);
 - VII. Multiplicador (Coeficiente): apenas para o caso de o meio ser não contínuo
 - i. K1 – materiais granulares;
 - ii. K3 – materiais coesivos;
 - VIII. Expoente (Coeficiente): apenas para o caso de o meio ser não contínuo
 - i. K2 – materiais granulares;
 - ii. K3 – materiais coesivos;
 - IX. Iterações máximas: em caso de meios não contínuos, iterações serão usadas para a estimativa do MR dessas camadas. Um número de 5 é o usual;
 - X. Tolerância para o MR: em caso de meios não contínuos, especificar a tolerância para a comparação entre o MR fornecido na entrada dos dados e o MR calculado conforme ilustrado acima, que irá determinar o fim das iterações;
- e) Caracterização dos Carregamento:
- I. Número de carregamentos: Até o máximo de 20, dependendo do tipo do eixo avaliado;
 - II. Número de pontos dos quais serão obtidas as respostas de tensão, deformação e deslocamento. Limitado a 50 pontos. Para cada par cartesiano (x,y) escolhido é possível obter respostas em 5 pontos de cota do perfil avaliado (coordenada z), sendo possível repetir mesmo par (x,y) e escolher outros 5 pontos de cota.
 - III. Coordenadas de (x,y,z) de cada ponto escolhido;
 - IV. Magnitude dos carregamentos (N ou lb);
 - V. Pressão de contato do carregamento: equivalente à pressão dos pneus (KPa ou psi);
 - VI. Raio da área carregada: varia em função do carregamento e pressão de contato conforme a seguinte equação:

$$R = \sqrt{\frac{Carga_{roda}}{Pressão_{pneu} \times \pi}} \quad (\text{fórmula 7})$$

Será obtido automaticamente após o preenchimento dos itens “V” e “IV”.

- f) Peso específico dos materiais constituintes das camadas informadas (KN/m^3 ou lbs/ft^3);

O software realiza uma verificação iterativa do Módulo de Resiliência para as camadas de solo granular e coesivo. Essa iteração se baseia na fórmula 7 para solos granulares, e na fórmula 8 para solos coesivos (Everseries Users Guide, 2005, p. 1).

Primeiramente realiza-se a análise da teoria elástica no pavimento, a partir dos dados de entrada do usuário. Os resultados obtidos são lançados nas equações acima, obtendo-se resultados para os módulos de resiliência. A seguir é feita uma comparação com os dados dos MR informados inicialmente e os dados obtidos. Caso sejam diferentes, os novos módulos de resiliência são usados para desenvolver os cálculos iniciais e, novamente, outros resultados são obtidos e lançados nas equações, comparando-se os dados de módulo de resiliência. Esse processo iterativo é repetido até a igualdade dos MR (Everseries Users Guide, 2005, p. 1).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PAVIMENTO

A seção tipo considerada para o levantamento mecanístico-empírico foi retirada de um dos trechos monitorados pelo programa Rede Temática de Asfalto; este programa tem o intuito de desenvolver um modelo mecanístico-empírico para dimensionamento de pavimentos, considerando as particularidades dos solos, clima e comportamento dos materiais empregados nos pavimentos dimensionados ao longo de todo território nacional. A Freeway participou do programa disponibilizando 2 trechos para monitoramento desde a sua execução e ao longo dos anos de utilização. Esse monitoramento foi tema da tese de doutorado do engenheiro João Rodrigo Guerreiro Mattos (2014), que acompanhou a evolução da capacidade estrutural e condição funcional desses trechos durante 3 anos.

A escolha de um desses trechos para aplicação deste estudo deve-se ao profundo conhecimento que se tem das propriedades dos materiais que constituem cada camada do

pavimento, isso porque o acompanhamento da execução do pavimento incluiu, durante cada etapa, aferições de deflexões e deformações permanentes, além de avaliações funcionais do pavimento após sua liberação ao tráfego (Mattos, 2014, p.7).

As estruturas dos pavimentos dos trechos monitorados pela Rede Temática do Asfalto são compatíveis com as empregadas ao longo de toda a Freeway na execução da ampliação das faixas de rolamento, diferenciando-se entre si pela execução da camada de reforço de subleito. Em um deles ela é executada em areia e no outro em rocha. (Mattos, 2014, p.104).

Optou-se neste estudo pelo trecho que apresenta maior competência estrutural, dada pela execução de reforço de subleito com rocha. Essa opção foi feita pelo fato de que em ambos os trechos o subleito apresenta módulo de resiliência muito baixo quando comparado aos trechos em que os postos de pesagem veicular estão instalados. Para compensar essa baixa capacidade estrutural do subleito, optou-se pelo perfil de pavimento mais competente estruturalmente.

A estrutura escolhida corresponde ao trecho II do Programa Rede Temática do Asfalto, estando localizado entre o km 5+500m e o km 5+000m da terceira faixa da pista sul. Ele consiste de 4 camadas executadas sobre o subleito local. Sendo elas: uma camada de reforço do subleito, constituída de rocha basáltica (pedra de mão) proveniente da lagoa próxima ao trecho; uma sub-base de macadame seco; uma base de brita graduada; e um revestimento asfáltico composto de cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero, o FLEXPAVE 60/85.

É importante ressaltar que os cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero foram desenvolvidos após a elaboração do Método de Salomão Pinto, não sendo utilizados nos ensaios de laboratório que deram origem ao modelo de determinação da vida de fadiga. A utilização desse revestimento asfáltico nesse trabalho serve apenas como base de aplicação para a método de consumo da vida de fadiga utilizando-se do espectro de cargas da rodovia.

A seguir estão relacionadas as camadas com suas espessuras:

- a) revestimento – CBUQ FLEXPAVE 60/85: 8cm;
- b) base – Brita graduada: 15cm;
- c) sub-base – Macadame Seco: 30cm;
- d) reforço de subleito – Rocha basáltica: 60cm;
- e) subleito local.

Para a avaliação mecanístico-empírica, são necessários dados confiáveis do Módulo de Resiliência dos materiais integrantes do pavimento em loco, ou seja, considerando as condições de execução e o grau de compactação de cada uma das camadas. Esses dados foram obtidos através de simulações computacionais iterativas utilizando-se do software Everstress 5.0. Como dados de entrada do software, utilizaram-se as deflexões medidas após a execução de cada camada do pavimento (Mattos, 2014, p.181).

As tabelas abaixo contêm os valores de módulo de resiliência das camadas constituintes do perfil de pavimento escolhido, utilizados nas simulações no Everstress 5.0 para a modelagem deste trabalho.

Tabela 6 – Valores estimados de Módulo de Elasticidade através e retroanálise das deflexões em campo, conforme a execução das camadas no trecho monitorado II

Camada/Material	Módulo de Elasticidade (em MPa) com base na camada executada			
	Areia	Macadame	Brita Grad.	CBUQ
Revestimento/CA	-	-	-	5000
Base/BG	-	-	220	250
Sub-base/MS	-	250	260	280
Reforço/Rocha	300	300	300	300
Subleito	30	40	40	50

(Fonte: Mattos, 2014)

4.3 ESTUDOS DE TRÁFEGO

Os dados de tráfego utilizados no desenvolvimento do trabalho foram obtidos de duas fontes: dos Relatórios Técnicos Operacionais Físicos Financeiros – RETOFF que a concessionária entrega mensalmente à ANTT, e dos relatórios de aferição de carga de veículos comerciais emitidos nos dois PPVs instalados na pista norte da Freeway. A obtenção e tratamento dos dados dessas duas fontes estão detalhados a seguir.

4.3.1 Quantitativo de eixos no tráfego efetivo segregados por tipo

O objetivo dessa etapa é quantificar, para cada tipo de eixo, seu respectivo volume de tráfego durante o período da pesquisa.

Os dados de tráfego que integram o RETOFF são disponibilizados em uma planilha intitulada de Volume Horário Classificado. Essa planilha apresenta o Volume Médio Diário – VMD de veículos que passam pelo pedágio. Os dados são coletados de hora em hora ao longo das 24h de um dia. O somatório dos veículos nessas 24 colunas representa o VDM mensal.

Abaixo está representada um recorte da planilha de Volume Horário Classificado coletado na praça de pedágio do km 77, no mês de setembro de 2013.

Tabela 7 – Volume diário classificado

HORA	00:00 - 01:00 VMD - SET		01:00 - 02:00 VMD - SET			22:00 - 23:00 VMD - SET		23:00 - 24:00 VMD - SET		TOTAL	
	Norte	Sul	Norte	Sul		Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
1 - Automóvel, caminhonete, furgão	177	203	104	105		339	488	242	353	16.144	15.590
2 - Caminhão leve, ônibus caminhão trator e furgão	13	9	10	7		12	13	11	16	845	837
3 - Automóvel com semi-reboque e caminhoneta com semi-reboque	1	1	1	1		2	2	1	2	68	66
4 - Caminhão, caminhão trator, caminhão trator com semi-reboque e ônibus	14	16	11	9		20	21	20	20	897	888
5 - Automóvel com reboque e caminhoneta com reboque	0	0	0	0	***	0	0	0	0	11	10
6 - Caminhão com reboque, caminhão trator com semi-reboque	4	7	4	3		7	6	6	8	266	273
7 - Caminhão com reboque, caminhão trator com semi-reboque	11	9	8	7		14	16	12	17	486	465
8 - Caminhão com reboque, caminhão trator com semi-reboque	12	13	9	8		21	21	19	16	650	664
9 - Motocicletas, motonetas e bicicletas a motor	7	6	4	2		5	16	3	8	459	457
Outros	3	4	2	2		5	6	3	4	243	239
Total	241	268	152	143		424	590	318	445	20.071	19.490

(Fonte: Concepa, 2013)

Esses VMDs são coletados automaticamente por equipamento de identificação veicular instalado nas praças de pedágio. Além dessa contagem, a partir da verificação automática da distância entre eixos, é realizada a identificação do tipo do veículo (Vittorello, 2008, p.81). Os veículos identificados são enquadrados nas categorias dispostas conforme o quadro abaixo, definido no Contrato de Concessão da rodovia (Brasil, 1997, p.16).

Tabela 8 – Categorias veiculares do contrato de concessão

Categoria	Tipo de Veículos	Nº de Eixos	Rodagem (*)	Multiplicador da Tarifa
1	automóvel, caminhonete e furgão	2	simples	1,00
2	caminhão leve, ônibus, caminhão trator e furgão	2	dupla	2,00
3	automóvel com semi-reboque e caminhonete com semi-reboque	3	simples	3,00
4	caminhão, caminhão-tractor, caminhão-tractor com semi-reboque e ônibus	3	dupla	3,00
5	automóvel com reboque e caminhonete com reboque	4	simples	4,00
6	caminhão com reboque e caminhão-tractor com semi-reboque	4	simples	4,00
7	caminhão com reboque e caminhão-tractor com semi-reboque	5	dupla	5,00
8	caminhão com reboque e caminhão-tractor com semi-reboque	6	dupla	6,00
9	motocicletas, motonetas e bicicletas a motor	2	simples	0,50

(Fonte: Brasil, 1997)

O quantitativo veicular por categoria possibilitou a contagem de eixos pela identificação da composição de cada tipo de veículo, interessando para a pesquisa apenas os veículos comerciais enquadrados nas categorias 2, 4, 6, 7 e 8. Os veículos comerciais das categorias definidas em contrato foram enquadrados nas seguintes classes do DNIT: 2C, 3C, 2S2, 2S3 e 3S3, conforme também adotou Mattos (2014, p.203). Essas classes são também as mais representativas do tráfego, conforme verificou Bock (2016, p. 171). Elas estão representadas esquematicamente na tabela 3.

Dessa forma, o somatório de eixos é realizado seguindo as composições abaixo:

- a) Categoria 2 – classe 2C: 1 eixo simples com rodas simples + 1 eixo simples com rodas duplas;
- b) Categoria 4 – classe 3C: 1 eixo simples com rodas simples + 1 eixo tandem duplo;
- c) Categoria 6 – classe 2S2: 1 eixo simples com rodas simples + 1 eixo simples com rodas duplas + 1 eixo tandem duplo;
- d) Categoria 7 – classe 2S3: 1 eixo simples com rodas simples + 1 eixo simples com rodas duplas + 1 eixo tandem triplo;

- e) Categoria 8 – classe 3S3: 1 eixo simples com rodas simples + 1 eixo tandem duplo + 1 eixo tandem triplo.

O número de eixos previsto por tipo representa a soma do tráfego que circula em todas as faixas da rodovia. Para a utilização desses dados no cálculo do dano e consequente redução de vida útil, foi necessário se pensar na parcela desses eixos que circula por cada faixa de rolamento da rodovia, já que se trata de uma rodovia de três faixas de rolamento, em sua maior parte.

A publicação da AASHTO(1993, p. II-9) apresenta um fator de distribuição de faixas. Trata-se de uma taxa de distribuição de veículos por faixa de rolamento, quando a rodovia é composta de duas ou mais faixas por sentido. Os valores devem ser aplicados ao volume de tráfego de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 9 – Fator de distribuição de faixas

NÚMERO DE FAIXAS DE ROLAMENTO POR SENTIDO	PORCENTAGEM DO TRÁFEGO PARA PROJETO
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

(Fonte: AASHTO, 1993)

Considerando as três faixas de rolamento presentes, optou-se pelo valor médio de 70% para aplicação no projeto. Os dados foram inicialmente segregados por ano e por praça de pedágio, para melhor análise dos volumes de tráfego anuais; e o número de eixos previsto foi usado nas etapas posteriores de determinação da distribuição amostral, e cálculo do dano por espectro de cargas.

4.3.2 Obtenção da frequência de eixos por valor de carga no tráfego amostral (distribuição amostral) e construção de histogramas de carga por eixo

O objetivo dessa etapa é coletar dados para a elaboração de histogramas de carga por eixo, que fornecem o número de eixos com carga aferida (eixo y) para cada valor de carga no eixo (eixo x).

A partir dos relatórios extraídos do software dos postos de pesagem veicular foi possível verificar em detalhes cada pesagem realizada, obtendo-se as aferições de PBT e carga por eixo.

Para cada PPV foi realizado um levantamento de distribuição amostral do tráfego. Além disso, os dados foram separados por ano e para cada tipo de eixo obteve-se um histograma. Utilizou-se o software Excel na geração dos histogramas.

4.3.2.1 Obtenção dos valores de frequência(%)

O software do equipamento de pesagem dos PPVs, a partir da distância entre eixos, enquadra o veículo em uma das classes definidas pelo DNIT. A partir dessa classificação, define os limites de carga para cada eixo e verifica se existe excesso. Através da exportação desses dados para Excel, foi possível identificar o tipo de eixo (ESRS, ESRD, ETD, ETT) através dos limites definidos pelo software, não sendo necessário verificar a classe DNIT de cada veículo pesado. Abaixo está representado um recorte da planilha editada do relatório de pesagens extraído do PPV Eldorado do Sul/RS.

Tabela 10 – Relatório de pesagens

Posto de pesagem	Nr. Pesagem	PBT	PBT Limite	Classe	Data-Hora	PLACA	Velocidade	GR1Peso	GR1Limite	GR2Peso	GR2Limite
BR290_KM110	xxxxxx	24270	45150	3C2	set-13	-	4	6450	6000	10790	17000
BR290_KM110	xxxxxx	10480	24150	3C	set-13	-	2	4090	6000	6390	17000
BR290_KM110	xxxxxx	41150	43575	2S3	set-13	-	2	5230	6000	10400	10000
BR290_KM110	xxxxxx	14470	16800	2C	set-13	-	4	3240	6000	11230	10000
BR290_KM110	xxxxxx	22480	24150	3C	set-13	-	4	5440	6000	17040	17000
BR290_KM110	xxxxxx	20760	24150	3C	set-13	-	3	6330	6000	14430	17000
BR290_KM110	xxxxxx	52330	55650	3I3	set-13	-	3	6160	6000	15180	17000
BR290_KM110	xxxxxx	14570	16800	2CB	set-13	-	6	5870	6000	8700	10000
BR290_KM110	xxxxxx	14740	24150	3C	set-13	-	4	5710	6000	9030	17000
BR290_KM110	xxxxxx	34300	52500	3I1	set-13	-	3	4870	6000	11270	17000
BR290_KM110	xxxxxx	8500	16800	2CB	set-13	-	3	3630	6000	4870	10000
BR290_KM110	xxxxxx	10250	16800	2CC	set-13	-	4	3380	6000	6870	10000
BR290_KM110	xxxxxx	9980	12600	2C	set-13	-	5	2570	6000	7410	10000
BR290_KM110	xxxxxx	29200	43575	2S3	set-13	-	4	6130	6000	7590	10000
BR290_KM110	xxxxxx	19810	34650	2S2	set-13	-	3	4780	6000	7670	10000
BR290_KM110	xxxxxx	14610	16800	2CB	set-13	-	5	6040	6000	8570	10000
BR290_KM110	xxxxxx	7460	11550	2CB	set-13	-	4	2730	6000	4730	10000

(Fonte: elaborado pelo autor)

Com identificação e segregação de cada tipo de eixo com seu respectivo valor de pesagem, foi possível contabilizar o número de pesagens para cada valor do eixo x do histograma, que corresponde a uma medida de carga. Obteve-se então uma distribuição estatística para cada valor de carga considerado, essa distribuição foi denominada de frequência, pois ela denota a frequência de ocorrências de eixos por cada valor de carga e foi representada como valor do eixo y.

4.3.2.2 Obtenção dos valores de carga (t)

As medidas de carga foram escalonadas a partir do valor de 1t, com incremento de 1 tonelada a cada unidade do eixo x do histograma. Esse escalonamento somente foi alterado nos valores de limite legal de cada eixo, sendo que a partir do limite legal foi considerado um incremento de 10%, considerando a tolerância atual para autuação, e 12,5%, considerando a tolerância atual para remanejo ou transbordo. Após o valor do limite legal + 12,5%, retomou-se o incremento de 1 tonelada até alcançar-se o valor final do eixo x, definido como o valor de pesagem máximo obtido naquele ano para aquele tipo de eixo.

As pesagens não se limitam apenas a valores inteiros. Os valores não inteiros foram enquadrados em valores inteiros logo acima. Essa medida é a favor da segurança e permite enquadrar todos os valores de pesagem.

4.3.3 Aplicação da distribuição amostral no tráfego efetivo

Na construção dos histogramas de carga por eixo obtiveram-se os valores de frequência de eixos por valor de carga. Essas frequências, obtidas percentualmente, foram aplicadas ao tráfego efetivo para obtenção dos volumes reais de tráfego para cada valor de carga por eixo, já que a pesagem não é realizada em 100% dos veículos comerciais circulantes.

Para verificar a parcela do tráfego efetivo que foi fiscalizada no posto de pesagem veicular de Eldorado do Sul, tomou-se o tráfego medido no pedágio do km 110 como tráfego efetivo de veículos comerciais, que deveria ter sido aferido no PPV de Eldorado do Sul. Essa medida é verossímil, já que esse PPV também se encontra no km 110 e entre sua pista de saída e o pedágio não há rotas de saída ou entrada na rodovia. Para o posto de pesagem veicular de Gravataí Norte, localizado no km 65, tomou-se o tráfego medido no pedágio do km 77 como efetivo. Nesse caso o quantitativo de veículos constitui uma aproximação, já que existem pontos de entrada e saída de veículos entre essas localidades.

A amostra de aferições no PPV possibilitou qualificar o tráfego real em função da carga transportada por eixo durante o período da pesquisa. Dessa forma, gerou-se uma distribuição amostral para cada ano avaliado e o tráfego de cada PPV foi avaliado separadamente. Isso foi feito porque o tráfego e a taxa de carregamento dos veículos são influenciados por questões econômicas e sazonais.

4.4 UTILIZAÇÃO DO EVERSTRESS 5.0 NO CÁLCULO DAS DEFORMAÇÕES

O software Everstress 5.0 foi utilizado para cálculo das deformações para cada uma das simulações realizadas. Os dados de entrada relativos às características geométricas do pavimento, bem como de suas propriedades elásticas foram retirados da seção 4.2 Caracterização do Pavimento e estão tabelados abaixo.

Tabela 11 - Entradas do Everstress 5.0

CAMADAS	COEFICIENTE DE POISSON	ESPESSURA DA CAMADA [cm]	MÓDULO DE RESILIÊNCIA [MPa]
1	0,30	8	5000
2	0,35	15	250
3	0,35	30	280
4	0,35	60	300
5	0,40	subleito	50

(Fonte: Elaborado pelo autor)

Em relação à identificação das camadas, consideraram-se as camadas como meios contínuos, assumindo um Módulo de Resiliência não variável ao longo de cada camada. Essa aproximação foi necessária porque os dados de Módulo de Resiliência disponibilizados por Mattos (2014) e utilizados por ele foram assim fornecidos. Logo, ao campo “Layer ID” foi atribuído o valor de 0.

A adesão entre as camadas foi considerada máxima. Dessa forma, ao campo “Interface Contact” foi atribuído o valor de 1. Em relação à pressão de inflação de pneus, foi utilizado o padrão de 80 psi (560 kPa).

A partir do valor do carregamento, dado em N, e da pressão de inflação dos pneus, dada em kPa, o software calcula automaticamente o raio de aplicação da carga. A fórmula 9 estabelece o método de cálculo.

No plano horizontal, as coordenadas x e y dos pontos de análise variam para cada tipo de eixo de acordo com o posicionamento das rodas do conjunto. No plano vertical, para a avaliação deste estudo, só interessa a deformação horizontal do plano mais inferior da camada asfáltica, já que nesse ponto as deformações elásticas por flexo-tração, que são críticas para fadiga, são máximas. Por isso a cota do ponto de avaliação (coordenada z) permanece igual a 7,999 cm, pois a camada asfáltica possui 8 cm de espessura.

Em relação às coordenadas dos centros das rodas de cada semieixo com rodas duplas, elas estão afastadas entre si em 30 cm. Para o caso de eixos em tandem, a distância mínima considerada entre eixos, conforme a Tabela 3, é de 1,20m.

A tabela abaixo enumera todas as coordenadas de avaliação para cada tipo de eixo.

Tabela 12 – Coordenadas dos pontos de avaliação do Everstress 5.0

COORDENADAS DOS PONTOS DE AVALIAÇÃO									
ESRS									
	1								
X	0,0								
Y	0,0								
Z	7,9								
ESRD									
	1	2	3						
X	0,0	30,0	15,0						
Y	0,0	0,0	0,0						
Z	7,9	7,9	7,9						
ETD									
	1	2	3	4	5	6	7		
X	0,0	30,0	0,0	30,0	15,0	15,0	15,0		
Y	0,0	0,0	120,0	120,0	0,0	60,0	120,0		
Z	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9		
ETT									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	0,0	30,0	0,0	30,0	0,0	30,0	15,0	15,0	15,0
Y	0,0	0,0	120,0	120,0	240,0	240,0	0,0	60,0	120,0
Z	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9

(Fonte: elaborado pelo autor)

Os valores de carga por roda utilizados nos carregamentos variam por cada tipo de eixo e para valor de carga padronizada nos histogramas. Eles foram descritos nas próximas etapas do trabalho.

4.5 INFLUÊNCIA DAS TOLERÂNCIAS LEGAIS PARA CARGAS TRANSMITIDAS POR EIXOS NA REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

A primeira simulação realizada no trabalho teve como objetivo a determinação da redução da vida útil provocada por cada incremento histórico no valor da tolerância legal em relação a um contexto sem utilização da tolerância. Comparou-se nessa etapa o número de eixos

admissíveis durante a vida de fadiga do pavimento. Partindo de um contexto de tráfego sem tolerância legal, comparou-se a este, outros cenários onde as tolerâncias variam de 5%, 10% e 12,5%.

Para viabilizar a comparação, utilizou-se na análise mecânica apenas os limites máximos legais para cada tipo de eixo, somando a eles em cada cenário as tolerâncias admitidas. O objetivo da etapa é comparar percentualmente a redução da vida de fadiga em relação à situação sem tolerância. A vida de fadiga foi calculada segundo o modelo de PINTO e PREUSSLER (2001), que utiliza deformações horizontais no plano mais inferior da camada asfáltica. Essas deformações foram obtidas através de simulações no software Everstress 5.0 para cada eixo, com os seguintes valores de carregamento.

Tabela 13 – Cargas por roda consideradas nas simulações de diferentes tolerâncias de carga

TIPO DO EIXO	TOLERÂNCIA	CARGA MÁXIMA LEGAL (t)	CARGA POR RODA (N)
ESRS	0,0%	6,000	30.000
	5,0%	6,300	31.500
	10,0%	6,600	33.000
	12,5%	6,750	33.750
ESRD	0,0%	10,000	25.000
	5,0%	10,500	26.250
	10,0%	11,000	27.500
	12,5%	11,250	28.125
ETD	0,0%	17,000	21.250
	5,0%	17,850	22.313
	10,0%	18,700	23.375
	12,5%	19,125	23.906
ETT	0,0%	25,500	21.250
	5,0%	26,775	22.313
	10,0%	28,050	23.375
	12,5%	28,688	23.906

(Fonte: elaborado pelo autor)

4.6 CÁLCULO DO DANO POR ESPECTRO DE CARGAS PARA ESTIMAR A REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL

Conforme inserido no capítulo de revisão bibliográfica, o espectro de cargas é uma metodologia de se calcular o dano provocado em um pavimento por uma composição de diferentes carregamentos. Para cada valor de carregamento, é determinado o número admissível de repetições de aplicação dessa carga, calculado através do modelo de vida de fadiga adotado. Conhecendo, através do estudo de tráfego a frequência de aplicação de carga por cada tipo de eixo, tem-se o dano provocado por cada um deles. O somatório desse dano fornece o consumo da vida de fadiga provocada pelo tráfego efetivo analisado naquele período.

4.6.1 Dano utilizando distribuição amostral aplicada ao tráfego efetivo

Os histogramas de carga por eixo construídos nas etapas iniciais do trabalho permitiram o conhecimento do número de eixos circulantes que se enquadram em cada valor de carga padronizada nos histogramas. Para cada carga, calculou-se a deformação provocada na estrutura do pavimento. Abaixo estão dispostos os valores utilizados nas simulações do Everstress 5.0.

Tabela 14 – Cargas por roda para simulações do tráfego efetivo considerando as frequências de eixos por carga dos histogramas

ESRS		ESRD		ETD		ETT	
CARGA EIXO [t]	CARGA POR RODA [N]	CARGA EIXO [t]	CARGA POR RODA [N]	CARGA EIXO [t]	CARGA POR RODA [N]	CARGA EIXO [t]	CARGA POR RODA [N]
1	5.000	1	2.500	1	1.250	1	833
2	10.000	2	5.000	2	2.500	2	1.667
3	15.000	3	7.500	3	3.750	3	2.500
4	20.000	4	10.000	4	5.000	4	3.333
5	25.000	5	12.500	5	6.250	5	4.167
6	30.000	6	15.000	6	7.500	6	5.000
6,6	33.000	7	17.500	7	8.750	7	5.833
6,75	33.750	8	20.000	8	10.000	8	6.667
7	35.000	9	22.500	9	11.250	9	7.500
8	40.000	10	25.000	10	12.500	10	8.333
9	45.000	11	27.500	11	13.750	11	9.167
10	50.000	11,25	28.125	12	15.000	12	10.000
11	55.000	12	30.000	13	16.250	13	10.833
12	60.000	13	32.500	14	17.500	14	11.667
13	65.000	14	35.000	15	18.750	15	12.500
14	70.000	15	37.500	16	20.000	16	13.333
15	75.000	16	40.000	17	21.250	17	14.167
16	80.000	17	42.500	18,7	23.375	18	15.000
17	85.000	18	45.000	19,125	23.906	19	15.833
18	90.000	19	47.500	20	25.000	20	16.667
19	95.000	20	50.000	21	26.250	21	17.500
20	100.000	21	52.500	22	27.500	22	18.333
21	105.000	22	55.000	23	28.750	23	19.167
22	110.000	23	57.500	24	30.000	24	20.000
23	115.000	24	60.000	25	31.250	25	20.833
24	120.000	25	62.500	26	32.500	25,500	21.250
25	125.000	26	65.000	27	33.750	28,050	23.375
26	130.000	27	67.500	28	35.000	28,687	23.906
27	135.000	28	70.000	29	36.250	29	24.167
28	140.000	29	72.500	30	37.500	30	25.000
29	145.000	30	75.000	31	38.750	31	25.833
30	150.000	35	87.500	32	40.000	32	26.667
				33	41.250	33	27.500
				34	42.500	34	28.333
				35	43.750	35	29.167
				36	45.000	36	30.000
				37	46.250	37	30.833
				38	47.500	38	31.667
				39	48.750	39	32.500
				40	50.000	40	33.333
				41	51.250	41	34.167
				42	52.500	42	35.000
				43	53.750	43	35.833
				44	55.000	44	36.667
				45	56.250	45	37.500
				50	62.500	46	38.333
						47	39.167
						48	40.000
						49	40.833
						50	41.667
						55	45.833

(Fonte: elaborado pelo autor)

As deformações obtidas nas simulações possibilitaram a estimativa das vidas de fadiga através do modelo de PINTO e PREUSSLER (2001). Para cada um dos valores da tabela 14 obteve-se uma deformação e uma vida de fadiga respectiva. Estimou-se posteriormente o

dano, através da utilização da fórmula 1, sendo que cada parcela do numerador corresponde à incidência de eixos para cada valor de carga, considerando cada tipo de eixo nos 36 meses do estudo. Os denominadores correspondem ao respectivo número admissível de eixos.

A fórmula 1 é aplicada da seguinte forma:

$$D = \frac{n_{previsto\ ESRS\ (1t)}}{N_{adm\ ESRS\ (1t)}} + \frac{n_{previsto\ ESRD\ (1t)}}{N_{adm\ ESRD\ (1t)}} + \frac{n_{previsto\ ETD\ (1t)}}{N_{adm\ ETD\ (1t)}} + \frac{n_{previsto\ ETT\ (1t)}}{N_{adm\ ETT\ (1t)}} + \dots$$

$n_{previsto\ EIXO\ 1}$ = Número de carregamentos do ESRS com 1 t, obtido pelo estudo de tráfego;

$n_{previsto\ EIXO\ 2}$ = Número de carregamentos do ESRD com 1 t, obtido pelo estudo de tráfego;

$n_{previsto\ EIXO\ n}$ = Número de carregamentos dos demais eixos, obtidos pelo estudo de tráfego;

$N_{adm\ EIXO\ 1}$ = Vida do pavimento dada pela análise mecanístico-empírica quando submetido a um carregamento de 1 t do ESRS;

$N_{adm\ EIXO\ 2}$ = Vida do pavimento dada pela análise mecanístico-empírica quando submetido a um carregamento de 1t do ESRD;

$N_{adm\ EIXO\ n}$ = Vida do pavimento dada pela análise mecanístico-empírica quando submetido a todos os carregamentos dos demais eixos;

4.6.2 Dano por eixos carregados com a carga máxima legal admitindo diferentes tolerâncias

Esse capítulo destinou-se a comparar o dano obtido considerando os seguintes cenários:

- a) Dano obtido conforme o método da seção 4.6.1;
- b) Dano obtido, considerando todos os eixos que trafegaram durante o período, supondo cada tipo de eixo com sua carga máxima legal;

- c) Dano obtido, considerando todos os eixos que trafegaram durante o período, supondo cada tipo de eixo com sua carga máxima legal mais tolerância de 10%;
- d) Dano obtido, considerando todos os eixos que trafegaram durante o período, supondo cada tipo de eixo com sua carga máxima legal mais tolerância de 12,5%.

O cálculo do dano em todos os casos foi feito através do método de espectro de cargas, porém foram usados apenas as cargas máximas admitidas pela legislação para cada tipo de eixo, com tolerâncias variando em 0%, 10% e 12,5%.

5 RESULTADOS

Aplicando os métodos descritos no capítulo anterior obtiveram-se os resultados que serão apresentados neste capítulo. Além disso, procurou-se, ao longo do capítulo, comparar os resultados obtidos com outros trabalhos já realizados na mesma área, de forma a comparar os valores encontrados.

5.1 QUANTITATIVO DE EIXOS, SEGREGADOS POR TIPO, NO TRÁFEGO EFETIVO

O quantitativo de eixos para o tráfego efetivo está apresentado a cada ano e separado por praça de pedágio, sendo considerado o tráfego unidirecional (Pista Norte) em ambas as praças. Os somatórios na coluna “TOTAL ANUAL” levam em consideração apenas os veículos comerciais, que estão apresentados em negrito na tabela.

Os dados para todo o período estão consolidados nas últimas planilhas apresentadas nessa seção.

Tabela 15 – Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – Setembro/2013 a dezembro/2013

PRAÇA - KM-77 - GRAVATAÍ (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	2.121.752	-	-	-	-
2	109.895	109.895	109.895	0	0
3	10.386	-	-	-	-
4	113.179	113.179	0	113.179	0
5	1.430	-	-	-	-
6	32.441	32.441	32.441	32.441	0
7	57.563	57.563	57.563	0	57.563
8	78.147	78.147	0	78.147	78.147
9	66.504	-	-	-	-
Outros	29.768	-	-	-	-
Total	391.225	391.225	199.899	223.767	135.710

(Fonte: próprio autor)

Tabela 16 - Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do Sul – Setembro/2013 a dezembro/2013

PRAÇA - KM-110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	1.032.286	-	-	-	-
2	107.824	107.824	107.824	0	0
3	5.797	-	-	-	-
4	81.727	81.727	0	113.179	0
5	1.140	-	-	-	-
6	20.473	20.473	20.473	20.473	0
7	58.666	58.666	58.666	0	58.666
8	78.882	78.882	0	78.882	78.882
9	33.586	-	-	-	-
Outros	20.186	-	-	-	-
Total	347.572	347.572	186.963	212.534	137.548

(Fonte: próprio autor)

Tabela 17 - Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – 2014

PRAÇA - KM-77 - GRAVATAÍ (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	6.710.005	-	-	-	-
2	327.014	327.014	327.014	0	0
3	44.928	-	-	-	-
4	315.571	315.571	0	315.571	0
5	4.414	-	-	-	-
6	85.112	85.112	85.112	85.112	0
7	162.074	162.074	162.074	0	162.074
8	240.305	240.305	0	240.305	240.305
9	185.773	-	-	-	-
Outros	93.077	-	-	-	-
Total	1.130.076	1.130.076	574.200	640.988	402.379

(Fonte: próprio autor)

Tabela 18 - Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do Sul – 2014

PRAÇA - KM-110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	3.336.758	-	-	-	-
2	336.874	336.874	336.874	0	0
3	27.229	-	-	-	-
4	249.454	249.454	0	315.571	0
5	3.879	-	-	-	-
6	50.107	50.107	50.107	50.107	0
7	154.518	154.518	154.518	0	154.518
8	260.997	260.997	0	260.997	260.997
9	92.679	-	-	-	-
Outros	73.565	-	-	-	-
Total	1.051.949	1.051.949	541.498	626.674	415.514

(Fonte: próprio autor)

Tabela 19 - Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – 2015

PRAÇA - KM-77 - GRAVATAÍ (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	6.524.388	-	-	-	-
2	345.859	345.859	345.859	0	0
3	38.141	-	-	-	-
4	258.504	258.504	0	258.504	0
5	4.693	-	-	-	-
6	138.508	138.508	138.508	138.508	0
7	125.332	125.332	125.332	0	125.332
8	190.485	190.485	0	190.485	190.485
9	167.947	-	-	-	-
Outros	76.742	-	-	-	-
Total	1.058.687	1.058.687	609.698	587.497	315.817

(Fonte: próprio autor)

Tabela 20 - Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do Sul – 2015

PRAÇA - KM-110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	3.131.242	-	-	-	-
2	344.886	344.886	344.886	0	0
3	21.608	-	-	-	-
4	212.716	212.716	0	258.504	0
5	3.613	-	-	-	-
6	116.604	116.604	116.604	116.604	0
7	116.506	116.506	116.506	0	116.506
8	215.116	215.116	0	215.116	215.116
9	82.088	-	-	-	-
Outros	57.273	-	-	-	-
Total	1.005.829	1.005.829	577.997	590.224	331.623

(Fonte: próprio autor)

Tabela 21 - Qtde. de eixos por tipo – Gravataí – Janeiro/2016 a Agosto/2016

PRAÇA - KM-77 - GRAVATAÍ (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	4.263.989	-	-	-	-
2	222.855	222.855	222.855	0	0
3	21.503	-	-	-	-
4	146.569	146.569	0	146.569	0
5	3.394	-	-	-	-
6	99.632	99.632	99.632	99.632	0
7	69.695	69.695	69.695	0	69.695
8	113.195	113.195	0	113.195	113.195
9	102.375	-	-	-	-
Outros	48.640	-	-	-	-
Total	651.946	651.946	392.181	359.396	182.890

(Fonte: próprio autor)

Tabela 22- Qtde. de eixos por tipo – Eldorado do sul – Janeiro/2016 a Agosto/2016

PRAÇA - KM-110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	1.892.819	-	-	-	-
2	210.719	210.719	210.719	0	0
3	12.107	-	-	-	-
4	121.703	121.703	0	146.569	0
5	2.232	-	-	-	-
6	90.495	90.495	90.495	90.495	0
7	66.691	66.691	66.691	0	66.691
8	124.354	124.354	0	124.354	124.354
9	45.297	-	-	-	-
Outros	31.712	-	-	-	-
Total	613.963	613.963	367.905	361.418	191.045

(Fonte: próprio autor)

Tabela 23 - Total de eixos por tipo – Gravataí – Setembro/2013 a Agosto/2016

PRAÇA - KM-77 - GRAVATAÍ (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	19.620.134	-	-	0	0
2	1.005.623	1.005.623	1.005.623	0	0
3	114.958	-	-	0	0
4	833.822	833.822	-	833.822	0
5	13.931	-	-	0	0
6	355.692	355.692	355.692	355.692	0
7	414.663	414.663	414.663	0	414.663
8	622.133	622.133	-	622.133	622.133
9	522.598	-	-	0	0
Outros	248.226	-	-	0	0
Total	3.231.934	3.231.934	1.775.979	1.811.648	1.036.796

(Fonte: próprio autor)

Tabela 24 - Total de eixos por tipo – Eldorado do Sul – Setembro/2013 a Agosto/2016

PRAÇA - KM-110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)					
Categoria	TOTAL ANUAL	TOTAL ANUAL POR TIPO DE EIXO			
		ESRS	ESRD	ETD	ETT
1	9.393.105	0	0	0	0
2	1.000.304	1.000.304	1.000.304	0	0
3	66.741	0	0	0	0
4	665.601	665.601	0	833.822	0
5	10.864	0	0	0	0
6	277.678	277.678	277.678	277.678	0
7	396.381	396.381	396.381	0	396.381
8	679.349	679.349	0	679.349	679.349
9	253.650	0	0	0	0
Outros	182.736	0	0	0	0
Total	3.019.313	3.019.313	1.674.363	1.790.850	1.075.730

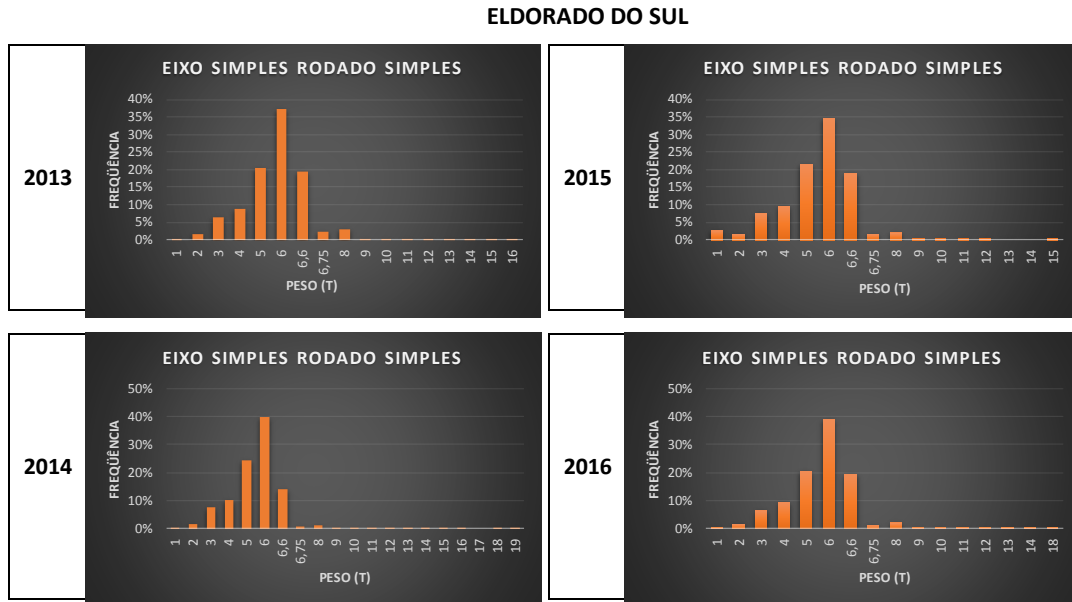
(Fonte: próprio autor)

5.2 DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL E HISTOGRAMAS DE CARGA POR EIXO

O South African Pavement Engineering Manual indica que o levantamento de dados é normalmente realizado em períodos de tempo específicos, normalmente de três meses. (SAPEM, 2014, p. 33)

O levantamento de dados realizado para os 36 meses possibilitou uma comparação entre as amostras através da análise dos histogramas, exemplificados abaixo e apresentados em sua totalidade no anexo deste trabalho. Verificam-se visualmente distribuições semelhantes para amostras do mesmo tipo de eixo.

Figura 5 – Histogramas ESRS Eldorado do Sul



(Fonte: elaborado pelo autor)

Com o objetivo de se comparar as amostras calculou-se os valores de média de carga para cada tipo de eixo e desvio padrão para cada uma delas, conforme disposto na tabela abaixo. A média foi calculada de forma ponderada, considerando todos os eixos do tráfego efetivo, sem aplicação do fator de distribuição de faixas. Como os dados estão agrupados em intervalos de carga, utilizou-se a carga média de cada intervalo.

Tabela 25 – Cargas médias do tráfego por tipo de eixo

ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)					
ESRS					
Ano da amostra	2013	2014	2015	2016	MÉDIA
Média (kg)	5.112	4.913	4.899	5.058	4.961
Desvio Padrão	52	30	31	39	
ESRD					
Média (kg)	7.473	7.256	6.700	7.060	7.045
Desvio Padrão	92	55	55	67	
ETD					
Média (kg)	12.291	12.374	12.494	12.291	12.387
Desvio Padrão	115	67	69	88	
ETT					
Média (kg)	22.317	21.964	22.042	21.745	21.994
Desvio Padrão	207	119	133	175	

GRAVATAÍ (PISTA NORTE)					
ESRS					
Ano da amostra	2013	2014	2015	2016	MÉDIA
Média (kg)	5.197	5.022	4.956	5.004	5.018
Desvio Padrão	82	49	51	64	
ESRD					
Média (kg)	7.128	6.925	7.019	6.947	6.985
Desvio Padrão	65	39	38	47	
ETD					
Média (kg)	12.891	13.018	13.713	13.234	13.271
Desvio Padrão	110	65	66	86	
ETT					
Média (kg)	21.273	21.114	21.832	21.726	21.461
Desvio Padrão	229	133	150	197	

(Fonte: elaborado pelo autor)

Observa-se primeiramente que as amostras apresentaram resultados pouco variáveis quanto a valores de média e desvio padrão. Os valores baixos de desvio padrão indicam uma amostra com elementos próximos da média e isso denota certa uniformidade no carregamento dos veículos.

Os valores de média de carga por eixo foram comparados com os valores obtidos por Bock (2016, p. 260), que realizou um monitoramento através de um sistema de WIN (Pesagem em movimento) ao longo de todo ano de 2014, aferindo mensalmente um mínimo de 53% do tráfego comercial até um máximo mensal de 90% do tráfego total da rodovia nesse período, obtendo os seguintes valores de carga média por eixo:

ESRS: 4.220 kg

ESRD: 7.401 kg

ETD: 14.974 kg

ETT: 22.459 kg

Os valores se apresentaram próximos, apesar tamanho da amostra retirada dos PPV representar apenas 7,2% do tráfego efetivo dos trechos considerados, conforme demonstrado na tabela abaixo.

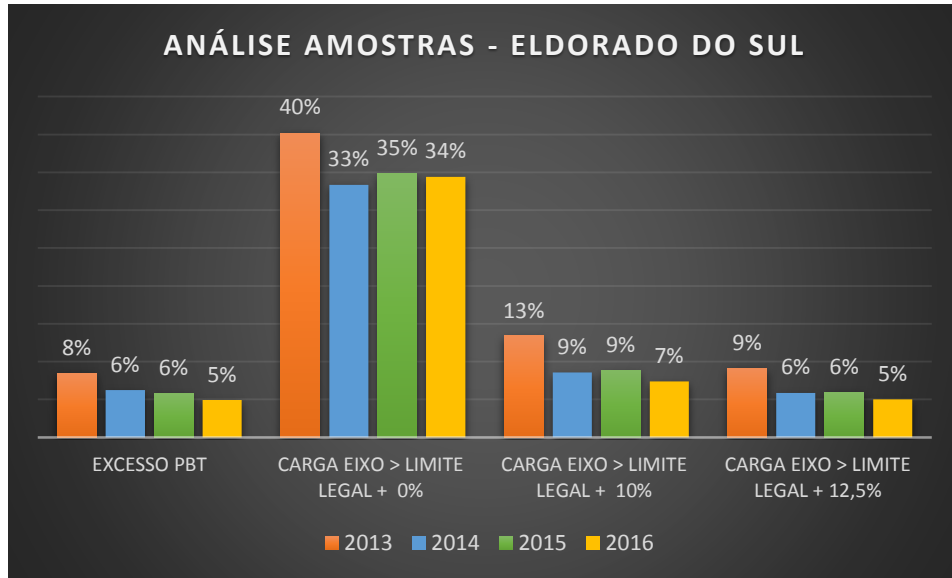
Tabela 26 – Porcentagem do tráfego fiscalizado

PPV	TIPO DE EIXO	TRÁFEGO EFETIVO					PORCENTAGEM DO TRÁFEGO FISCALIZADO				
		2013	2014	2015	2016	TOTAL	2013	2014	2015	2016	TOTAL
ELDORADO DO SUL	ESRS	347.572	1.051.949	1.005.829	613.963	3.019.313	5,7%	10,4%	1,0%	8,6%	6,4%
	ESRD	186.963	541.498	577.997	367.905	1.674.363					
	ETD	212.534	626.674	590.224	361.418	1.790.850					
	ETT	137.548	415.514	331.623	191.045	1.075.730					
	subtotal	884.617	2.635.635	2.505.673	1.534.332	7.560.257					
GRAVATAÍ NORTE	ESRS	391.225	1.130.076	1.058.687	651.946	3.231.934	10,7%	6,1%	11,4%	3,8%	7,9%
	ESRD	199.899	574.200	609.698	392.181	1.775.979					
	ETD	223.767	640.988	587.497	359.396	1.811.648					
	ETT	135.710	402.379	315.817	182.890	1.036.796					
	subtotal	950.601	2.747.642	2.571.699	1.586.413	7.856.356					
TOTAL		1.835.218	5.383.277	5.077.372	3.120.745	15.416.612	8,3%	8,2%	6,3%	6,1%	7,2%

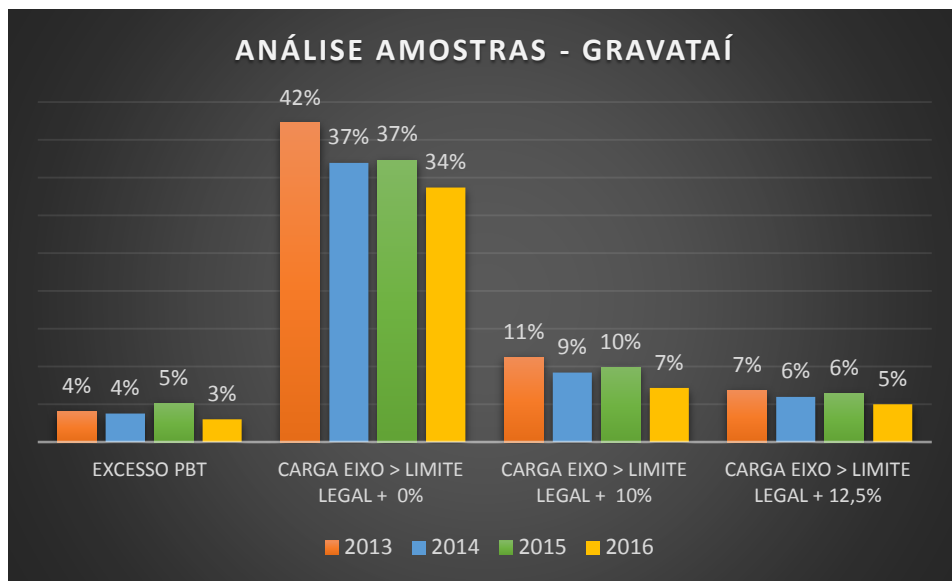
(Fonte: elaborado pelo autor)

No intuito de se avaliar ainda as amostras, efetuou-se uma comparação entre os percentuais de veículos considerando os seguintes parâmetros:

- a) Veículos com excesso em PBT;
- b) Veículos apresentando algum de seus eixos com carga maior que o limite básico legal, sem considerar tolerâncias (Por exemplo, veículos cujos ESRS apresentam carga superior a 6t);
- c) Veículos apresentando algum de seus eixos com carga maior que o limite básico legal acrescido de tolerância de 10% (Por exemplo, veículos cujos ESRS apresentam carga superior a 6,6 t);
- d) Veículos apresentando algum de seus eixos com carga maior que o limite básico legal acrescido de tolerância de 12,5% (Por exemplo, veículos cujos ESRS apresentam carga superior a 6,75 t);

Figura 6 – Análise de excessos da amostra de Eldorado do Sul

(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 7 - Análise de excessos da amostra de Gravataí

(Fonte: elaborado pelo autor)

Em um estudo efetuado por Núñez (2010, p.49), chegou-se a conclusão de que 14% dos veículos apresentavam carga por eixo superior ao limite, segundo dados de 2010 do Posto de Pesagem Veicular de Gravataí/Pista Norte. Considerou-se para o estudo o limite sendo o limite legal acrescido de tolerância de 7,5%, pois esse era o valor de tolerância admitido na época.

Com o aumento no valor de tolerância para autuação de 7,5% para 10%, verifica-se, no ano de 2013, pouca mudança nos percentuais de veículos acima do limite legal acrescido de tolerância, em relação ao estudo de Núñez (2010). Entretanto, esses percentuais vão se reduzindo sensivelmente nos anos seguintes.

Um dado relevante é a quantidade de veículos em que foi verificado algum eixo com carga acima do limite legal, sem tolerância. O percentual de aproximadamente 40% dos veículos pode indicar a prática dos transportadores de utilizar as tolerâncias legais como capacidade de carga de seus veículos. Contudo, a tolerância de 10% por eixo é atribuída à variação no funcionamento do equipamento de aferição de cargas.

As frequências das amostras aplicadas aos dados de tráfego efetivo, com fator de distribuição de faixas de 70% já aplicado ao números previstos de eixos, estão apresentadas em tabelas conforme exemplificado abaixo – demais tabelas estão apresentadas no anexo deste trabalho.

Tabela 27 – Aplicação das frequências das amostras no tráfego efetivo

BR 290 - KM 110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)								
EIXO SIMPLES COM RODAS SIMPLES - ESRS								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	243.300		736.364		704.081		429.774	
CARGA (kg)	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,183%	445	0,184%	1.356	2,700%	19.007	0,139%	599
2000	1,436%	3.493	1,581%	11.640	1,420%	9.996	1,651%	7.097
3000	6,447%	15.687	7,493%	55.176	7,378%	51.947	6,487%	27.879
4000	8,948%	21.771	10,162%	74.826	9,626%	67.773	9,464%	40.674
5000	20,595%	50.108	24,473%	180.213	21,553%	151.751	20,657%	88.780
6000	37,233%	90.588	39,899%	293.801	34,459%	242.619	38,782%	166.675
6600	19,488%	47.415	14,002%	103.106	18,810%	132.441	19,354%	83.179
6750	2,198%	5.347	0,661%	4.866	1,753%	12.343	1,289%	5.539
8000	3,007%	7.316	1,203%	8.857	2,000%	14.085	1,789%	7.687
9000	0,266%	648	0,115%	848	0,204%	1.439	0,121%	520
10000	0,063%	152	0,076%	558	0,043%	303	0,092%	396
11000	0,063%	152	0,061%	452	0,022%	151	0,082%	352
12000	0,026%	64	0,035%	254	0,022%	151	0,057%	247
13000	0,010%	25	0,033%	240	0,000%	0	0,016%	70
14000	0,016%	38	0,014%	106	0,000%	0	0,016%	70
15000	0,005%	13	0,004%	28	0,011%	76	0,000%	0
16000	0,016%	38	0,002%	14	0,000%	0	0,000%	0
17000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
18000	0,000%	0	0,002%	14	0,000%	0	0,002%	9
19000	0,000%	0	0,001%	7	0,000%	0	0,000%	0

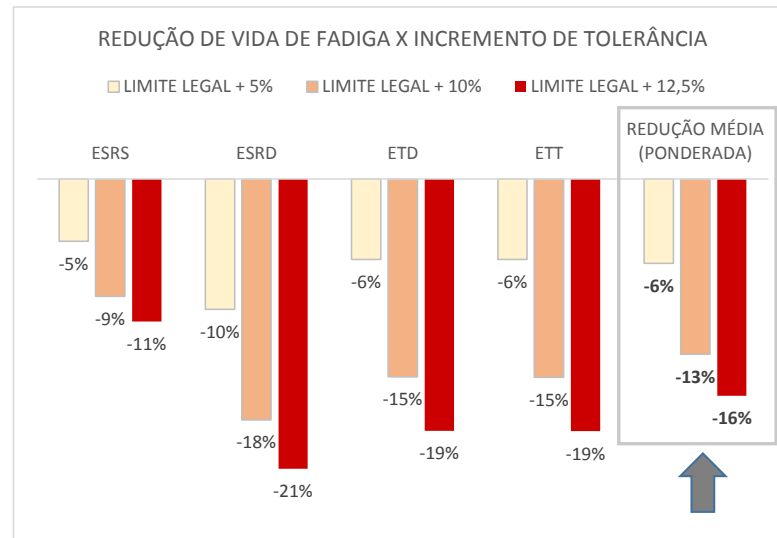
(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3 INFLUÊNCIA DAS TOLERÂNCIAS LEGAIS PARA CARGAS TRANSMITIDAS POR EIXOS NA REDUÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

Ao longo dos anos, conforme o capítulo do histórico da legislação, os limites de tolerância para aferições de carga por eixo variaram de 5% a 12,5% acima da capacidade do veículo. Atualmente, o limite de tolerância para autuação é de 10% (Brasil, 2015), podendo o transportador seguir viagem sem o remanejamento ou transbordo da carga se a carga aferida por eixo atingir até 12,5% acima do limite legal (Contran, 2014a). Essa parcela de tolerância, embora reconhecida como excesso de carga, continua a sobrecarregar a estrutura do pavimento.

A análise proposta nesta seção é simplificada, já que compara o número admissível de eixos considerando apenas a carga máxima legal em cada uma das situações simuladas, desconsiderando todas as variações de carga por eixo que o tráfego apresenta e que já foi explicitado neste trabalho. Essa simplificação toma como premissa a utilização, pelos transportadores, da carga máxima legal admitida para os eixos de seus veículos em qualquer deslocamento. Esse assunto será ainda tema de discussão nesse trabalho.

Fazendo uma média ponderada pelo número de eixos previstos para cada tipo, estima-se a redução média da vida de fadiga do pavimento com o incremento das tolerâncias conforme o gráfico abaixo:

Figura 8 – Simulação da redução de vida de fadiga com aumento das tolerâncias

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.4 DANO UTILIZANDO DISTRIBUIÇÃO AMOSTRAL DOS HISTOGRAMAS APLICADA AO TRÁFEGO EFETIVO

Para cada um dos carregamentos avaliados, obteve-se uma deformação horizontal crítica, que corresponde ao maior valor absoluto dentre as deformações fornecidas nos pontos de avaliação. Observou-se para todos os tipos de eixo com mais de um rodado por semieixo, que a coordenada xy da deformação crítica alterava-se à medida que a solicitação de carga era ampliada, migrando dos pontos externos, abaixo das rodas, para os pontos centrais, entre as rodas. Essa migração do ponto de deformação crítica ocorre sempre próximo ao limite legal de cada tipo de eixo. Esse fato pode ser observado nas tabelas de deformações coladas abaixo. Nos eixos com rodas duplas as deformações se repetem nas rodas externas e internas.

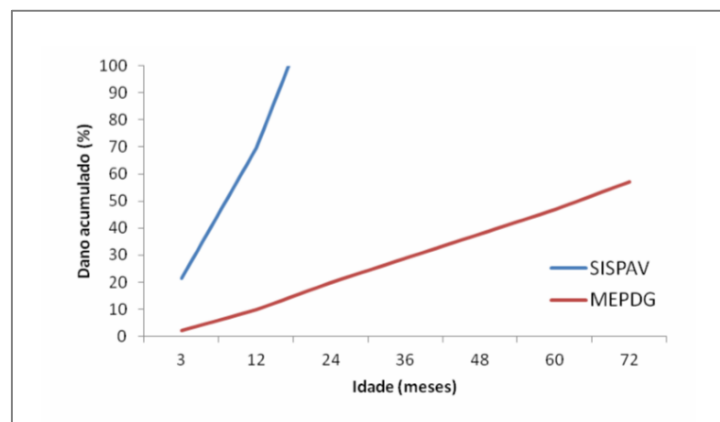
Após realizado o somatório dos danos, verificou-se um dano de 66% para o trecho relativo à Eldorado do Sul e 70% para o trecho relativo à Gravataí. Isso significa dizer que ao longo dos 36 meses de projeto, considerando o pavimento sendo carregado a partir de um estágio inicial,

com dano 0%, ele alcança um dano de aproximadamente 70%, tendo a maior parte de sua resistência consumida nesses 36 meses (3 anos).

Esse resultado apresenta-se verossímil quando o comparamos com outros estudos realizados sobre o mesmo tema. Segundo Núñez (2010, p.138), num estudo realizado considerando os excessos de carga na mesma rodovia, em 3 ou 4 anos após o início da operação, a camada asfáltica já apresentará forte trincamento por fadiga.

Na tese desenvolvida por Mattos (2014), foram feitas simulações com os softwares SisPav e M-EPDG que analisam danos relacionados à fadiga do pavimento. É importante ressaltar que a versão do SISPAV utilizada por Mattos (2014) data de 2007. Nessa tese não foram utilizados dados do tráfego com excesso de cargas aferidas, sendo considerado todo o tráfego com a carga máxima legal nos seus eixos. Os dois trechos da Rede Temática do Asfalto foram alvo de estudo naquela tese. O resultado dessa simulação, apresentando o dano acumulado em função da idade do pavimento, foi disponibilizado graficamente abaixo:

Figura 9 – Danos acumulados para simulações com SISPAV e MEPDG



(Fonte: Mattos, 2014)

Observando os valores das simulações aos 36 meses, verificamos danos de aproximadamente 30% para a simulação com MEPDG e danos de mais de 100% para a simulação com SISPAV. Verifica-se, portanto, que os valores obtidos neste trabalho se encontram entre os valores das simulações acima (66 – 70%), apresentando um grau dano ainda mais severo que a estimativa realizada pelo MEPDG, a qual já era considerada muito elevada por Mattos

(2014). Isso indica a alta capacidade de desgaste do tráfego efetivo atual provocado ao pavimento.

As tabelas abaixo contêm os valores de deformação de projeto, sua localização no plano xy para cada avaliação do Everstress 5.0, e os valores utilizados no cálculo do dano para o período: eixos previstos e eixos admissíveis.

Tabela 28 – Dano para cada valor de carga por eixo

EIXO TIPO	RESULTADOS EVERSTRESS 5.0			DANO ACUMULADO PARA O PERÍODO (SET/2013 - AGO/2016)				
	CARGA (kg)	DEFORMAÇÃO MÁXIMA [µstrain]	COORDENADAS DEFORMAÇÃO MÁXIMA	NÚMERO ADMISSÍVEL DE EIXOS	TRÁFEGO DE PROJETO		DANO CALCULADO	
					ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ	ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ
ESRS	1000	84,16	(0,0)	8,4E+07	21.406	4.414	0,0256%	0,0053%
	2000	129,95	(0,0)	2,6E+07	32.226	48.814	0,1225%	0,1855%
	3000	160,19	(0,0)	1,5E+07	150.689	190.376	0,9991%	1,2623%
	4000	183,59	(0,0)	1,0E+07	205.043	211.398	1,9539%	2,0144%
	5000	202,00	(0,0)	8,1E+06	470.852	416.343	5,7854%	5,1157%
	6000	216,79	(0,0)	6,7E+06	793.684	830.237	11,7687%	12,3107%
	6600	224,30	(0,0)	6,2E+06	366.142	470.103	5,9439%	7,6316%
	6750	226,04	(0,0)	6,0E+06	28.096	36.825	0,4656%	0,6102%
	7000	228,84	(0,0)	5,8E+06	37.945	26.625	0,6497%	0,4559%
	8000	238,75	(0,0)	5,2E+06	3.454	19.378	0,0662%	0,3714%
	9000	246,95	(0,0)	4,8E+06	1.410	2.693	0,0296%	0,0565%
	10000	253,72	(0,0)	4,4E+06	1.108	1.030	0,0250%	0,0232%
	11000	259,32	(0,0)	4,2E+06	716	842	0,0171%	0,0201%
	12000	263,92	(0,0)	4,0E+06	336	846	0,0084%	0,0212%
	13000	267,67	(0,0)	3,8E+06	214	973	0,0056%	0,0253%
	14000	270,70	(0,0)	3,7E+06	117	738	0,0031%	0,0198%
	15000	273,09	(0,0)	3,6E+06	52	405	0,0014%	0,0111%
	16000	274,94	(0,0)	3,6E+06	0	96	0,0000%	0,0027%
	17000	276,30	(0,0)	3,5E+06	23	0	0,0006%	0,0000%
	18000	277,25	(0,0)	3,5E+06	7	14	0,0002%	0,0004%
	19000	277,83	(0,0)	3,5E+06	0	78	0,0000%	0,0022%
	20000	278,09	(0,0)	3,5E+06	0	64	0,0000%	0,0019%
	21000	278,06	(0,0)	3,5E+06	0	22	0,0000%	0,0006%
	22000	277,78	(0,0)	3,5E+06	0	22	0,0000%	0,0006%
	23000	277,27	(0,0)	3,5E+06	0	7	0,0000%	0,0002%
24000	276,57	(0,0)	3,5E+06	0	0	0,0000%	0,0000%	
25000	275,68	(0,0)	3,6E+06	0	7	0,0000%	0,0002%	
ESRD	1000	53,37	(0,0) = (30,0)	2,8E+08	17.586	4.714	0,0063%	0,0017%
	2000	91,24	(0,0) = (30,0)	6,7E+07	11.654	19.354	0,0173%	0,0287%
	3000	120,39	(0,0) = (30,0)	3,2E+07	59.149	95.338	0,1835%	0,2957%
	4000	144,06	(0,0) = (30,0)	2,0E+07	105.285	104.104	0,5264%	0,5205%
	5000	164,01	(0,0) = (30,0)	1,4E+07	136.677	120.642	0,9649%	0,8517%
	6000	181,27	(0,0) = (30,0)	1,1E+07	115.905	125.521	1,0677%	1,1563%
	7000	196,48	(0,0) = (30,0)	8,8E+06	107.334	128.788	1,2251%	1,4700%
	8000	210,08	(0,0) = (30,0)	7,3E+06	134.451	147.053	1,8337%	2,0055%
	9000	222,76	(15,0)	6,3E+06	123.793	132.263	1,9731%	2,1081%
	10000	242,36	(15,0)	5,0E+06	159.202	164.017	3,1756%	3,2717%
	11000	260,85	(15,0)	4,1E+06	138.989	142.371	3,3713%	3,4533%
	11250	265,29	(15,0)	3,9E+06	20.598	18.193	0,5226%	0,4615%
	12000	278,21	(15,0)	3,5E+06	26.847	25.932	0,7729%	0,7466%
	13000	294,46	(15,0)	3,0E+06	9.454	9.523	0,3165%	0,3189%
	14000	309,60	(15,0)	2,6E+06	3.267	3.136	0,1250%	0,1200%
	15000	323,67	(15,0)	2,3E+06	1.295	1.450	0,0557%	0,0624%
	16000	336,70	(15,0)	2,1E+06	398	542	0,0190%	0,0259%
	17000	348,72	(15,0)	1,9E+06	67	169	0,0035%	0,0089%
	18000	359,78	(15,0)	1,8E+06	19	45	0,0011%	0,0026%
	19000	369,94	(15,0)	1,6E+06	24	6	0,0015%	0,0004%
	20000	379,24	(15,0)	1,5E+06	0	25	0,0000%	0,0016%
	21000	387,75	(15,0)	1,4E+06	0	0	0,0000%	0,0000%
	22000	395,52	(15,0)	1,4E+06	0	0	0,0000%	0,0000%
	23000	402,59	(15,0)	1,3E+06	0	0	0,0000%	0,0000%
	24000	409,02	(15,0)	1,2E+06	0	0	0,0000%	0,0000%
25000	414,86	(15,0)	1,2E+06	0	0	0,0000%	0,0000%	
26000	420,15	(15,0)	1,2E+06	62	0	0,0053%	0,0000%	

EIXO TIPO	RESULTADOS EVERSTRESS 5.0			DANO ACUMULADO PARA O PERÍODO (SET/2013 - AGO/2016)				
	CARGA (kg)	DEFORMAÇÃO MÁXIMA [µstrain]	COORDENADAS DEFORMAÇÃO MÁXIMA	NÚMERO ADMISSÍVEL DE EIXOS	TRÁFEGO DE PROJETO ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ	DANO CALCULADO ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ
ETD	1000	29,14	(0,0) = (0,120)	1,4E+09	6	5	0,0000%	0,0000%
	2000	53,05	(0,0) = (0,120)	2,9E+08	212	89	0,0001%	0,0000%
	3000	73,22	(0,0) = (0,120)	1,2E+08	620	164	0,0005%	0,0001%
	4000	90,59	(0,0) = (0,120)	6,9E+07	4.318	810	0,0063%	0,0012%
	5000	105,85	(0,0) = (0,120)	4,5E+07	24.272	10.243	0,0535%	0,0226%
	6000	119,42	(0,0) = (0,120)	3,3E+07	93.073	45.832	0,2825%	0,1391%
	7000	131,64	(0,0) = (0,120)	2,5E+07	98.095	80.612	0,3859%	0,3171%
	8000	142,76	(0,0) = (0,120)	2,0E+07	70.010	72.839	0,3417%	0,3555%
	9000	152,96	(0,0) = (0,120)	1,7E+07	55.551	56.278	0,3257%	0,3300%
	10000	162,38	(0,0) = (0,120)	1,5E+07	46.192	51.722	0,3175%	0,3556%
	11000	171,14	(0,0) = (0,120)	1,3E+07	47.383	55.091	0,3746%	0,4355%
	12000	179,31	(0,0) = (0,120)	1,1E+07	66.666	64.696	0,5966%	0,5790%
	13000	186,98	(0,0) = (0,120)	1,0E+07	84.189	72.597	0,8423%	0,7263%
	14000	194,19	(0,0) = (0,120)	9,0E+06	91.931	82.873	1,0171%	0,9169%
	15000	201,01	(0,0) = (0,120)	8,2E+06	112.312	98.277	1,3621%	1,1919%
	16000	207,47	(0,0) = (0,120)	7,6E+06	158.177	154.874	2,0867%	2,0431%
	17000	213,60	(0,0) = (0,120)	7,0E+06	173.803	201.102	2,4775%	2,8666%
	18700	226,64	(15,0) = (15,120)	6,0E+06	106.601	184.305	1,7790%	3,0757%
	19125	230,74	(15,0) = (15,120)	5,7E+06	7.250	13.684	0,1269%	0,2395%
	20000	239,04	(15,0) = (15,120)	5,2E+06	5.834	13.392	0,1122%	0,2575%
	21000	248,25	(15,0) = (15,120)	4,7E+06	2.810	5.014	0,0598%	0,1066%
	22000	257,19	(15,0) = (15,120)	4,3E+06	1.311	1.939	0,0306%	0,0453%
	23000	265,84	(15,0) = (15,120)	3,9E+06	1.113	846	0,0284%	0,0216%
	24000	274,22	(15,0) = (15,120)	3,6E+06	869	474	0,0241%	0,0131%
	25000	282,31	(15,0) = (15,120)	3,3E+06	475	205	0,0142%	0,0061%
	26000	290,12	(15,0) = (15,120)	3,1E+06	156	100	0,0050%	0,0032%
	27000	297,66	(15,0) = (15,120)	2,9E+06	165	40	0,0057%	0,0014%
	28000	304,93	(15,0) = (15,120)	2,7E+06	53	40	0,0020%	0,0015%
	29000	311,93	(15,0) = (15,120)	2,6E+06	105	5	0,0041%	0,0002%
	30000	318,66	(15,0) = (15,120)	2,4E+06	34	0	0,0014%	0,0000%
	31000	325,13	(15,0) = (15,120)	2,3E+06	6	5	0,0003%	0,0002%

EIXO TIPO	RESULTADOS EVERSTRESS 5.0			DANO ACUMULADO PARA O PERÍODO (SET/2013 - AGO/2016)				
	CARGA (kg)	DEFORMAÇÃO MÁXIMA [μstrain]	COORDENADAS DEFORMAÇÃO MÁXIMA	NÚMERO ADMISSÍVEL DE EIXOS	TRÁFEGO DE PROJETO ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ	DANO CALCULADO ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ
ETT	1000	20,10	(0,0) = (0,240)	3,8E+09	0	0	0,0000%	0,0000%
	2000	37,64	(0,0) = (0,240)	7,1E+08	0	0	0,0000%	0,0000%
	3000	53,09	(0,0) = (0,240)	2,8E+08	0	0	0,0000%	0,0000%
	4000	66,89	(0,0) = (0,240)	1,5E+08	45	66	0,0000%	0,0000%
	5000	79,36	(0,0) = (0,240)	9,8E+07	62	102	0,0001%	0,0001%
	6000	90,68	(0,0) = (0,240)	6,9E+07	3.559	265	0,0052%	0,0004%
	7000	101,06	(0,0) = (0,240)	5,1E+07	9.920	4.524	0,0193%	0,0088%
	8000	110,65	(0,0) = (0,240)	4,0E+07	7.011	6.007	0,0174%	0,0149%
	9000	119,54	(0,0) = (0,240)	3,3E+07	7.170	5.292	0,0218%	0,0161%
	10000	127,83	(0,0) = (0,240)	2,7E+07	7.340	7.241	0,0267%	0,0263%
	11000	135,61	(0,0) = (0,240)	2,3E+07	7.282	9.290	0,0310%	0,0395%
	12000	142,93	(0,0) = (0,240)	2,0E+07	8.797	13.688	0,0431%	0,0670%
	13000	149,83	(0,0) = (0,240)	1,8E+07	9.894	16.683	0,0549%	0,0926%
	14000	156,38	(0,0) = (0,240)	1,6E+07	12.586	18.798	0,0783%	0,1169%
	15000	162,60	(0,0) = (0,240)	1,4E+07	13.052	21.829	0,0900%	0,1506%
	16000	168,51	(0,0) = (0,240)	1,3E+07	12.804	23.729	0,0971%	0,1800%
	17000	174,17	(0,0) = (0,240)	1,2E+07	13.431	22.701	0,1113%	0,1880%
	18000	179,57	(0,0) = (0,240)	1,1E+07	12.041	22.010	0,1082%	0,1977%
	19000	184,75	(0,0) = (0,240)	1,0E+07	16.147	23.149	0,1565%	0,2243%
	20000	189,72	(0,0) = (0,240)	9,6E+06	25.913	28.371	0,2695%	0,2950%
	21000	194,50	(0,0) = (0,240)	9,0E+06	49.145	38.798	0,5460%	0,4311%
	22000	199,09	(0,0) = (0,240)	8,5E+06	61.085	45.487	0,7221%	0,5377%
	23000	203,53	(0,0) = (0,240)	8,0E+06	72.080	55.780	0,9036%	0,6993%
	24000	207,81	(0,0) = (0,240)	7,5E+06	87.915	69.517	1,1648%	0,9211%
	25000	211,94	(0,0) = (0,240)	7,2E+06	105.344	92.027	1,4708%	1,2849%
	25500	213,95	(0,0) = (0,240)	7,0E+06	50.059	48.683	0,7167%	0,6970%
	28050	227,05	(15,0) = (15,240)	6,0E+06	141.217	137.103	2,3680%	2,2990%
	28687	231,16	(15,0) = (15,240)	5,7E+06	8.044	7.314	0,1415%	0,1286%
	29000	233,16	(15,0) = (15,240)	5,6E+06	2.549	1.893	0,0459%	0,0341%
	30000	239,47	(15,0) = (15,240)	5,2E+06	4.132	3.438	0,0798%	0,0664%
	31000	245,65	(15,0) = (15,240)	4,8E+06	2.008	1.162	0,0415%	0,0240%
	32000	251,72	(15,0) = (15,240)	4,5E+06	923	363	0,0204%	0,0080%
	33000	257,66	(15,0) = (15,240)	4,3E+06	580	197	0,0136%	0,0046%
	34000	263,47	(15,0) = (15,240)	4,0E+06	272	70	0,0068%	0,0017%
	35000	269,16	(15,0) = (15,240)	3,8E+06	133	82	0,0035%	0,0022%
	36000	274,72	(15,0) = (15,240)	3,6E+06	155	15	0,0043%	0,0004%
	37000	280,16	(15,0) = (15,240)	3,4E+06	35	49	0,0010%	0,0014%
	38000	285,48	(15,0) = (15,240)	3,2E+06	51	0	0,0016%	0,0000%
	39000	290,67	(15,0) = (15,240)	3,1E+06	26	22	0,0008%	0,0007%
	40000	295,74	(15,0) = (15,240)	3,0E+06	196	0	0,0067%	0,0000%
41000	300,69	(15,0) = (15,240)	2,8E+06	8	0	0,0003%	0,0000%	
42000	305,52	(15,0) = (15,240)	2,7E+06	0	0	0,0000%	0,0000%	
43000	310,23	(15,0) = (15,240)	2,6E+06	0	0	0,0000%	0,0000%	
44000	314,82	(15,0) = (15,240)	2,5E+06	0	13	0,0000%	0,0005%	

(Fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 29 – Dano acumulado para o período da pesquisa

DANO ACUMULADO PARA O PERÍODO (SET/2013 - AGO/2016)		
DANO ACUMULADO:	ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ
	66%	70%

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.5 DANO UTILIZANDO AS CARGAS MÁXIMAS LEGAIS COM DIFERENTES TOLERÂNCIAS

Em muitos estudos utilizados como referência bibliográfica desta pesquisa, tais como Mattos (2014) e Azambuja Engenharia e Geotecnia (2014), toma-se a carga máxima legal como a carga utilizada por toda a frota de veículos como referência para se estimar a vida de fadiga do pavimento. Essa metodologia é utilizada como ponto de partida para o dimensionamento de muitos pavimentos no cenário nacional. Espera-se com isso que o dano provocado pelo volume de tráfego que circula com carga acima da permitida pela lei seja compensado pelo tráfego que circula com carga abaixo do limite legal.

Os dados de entrada e respostas dessa simulação pode ser visto na tabela abaixo:

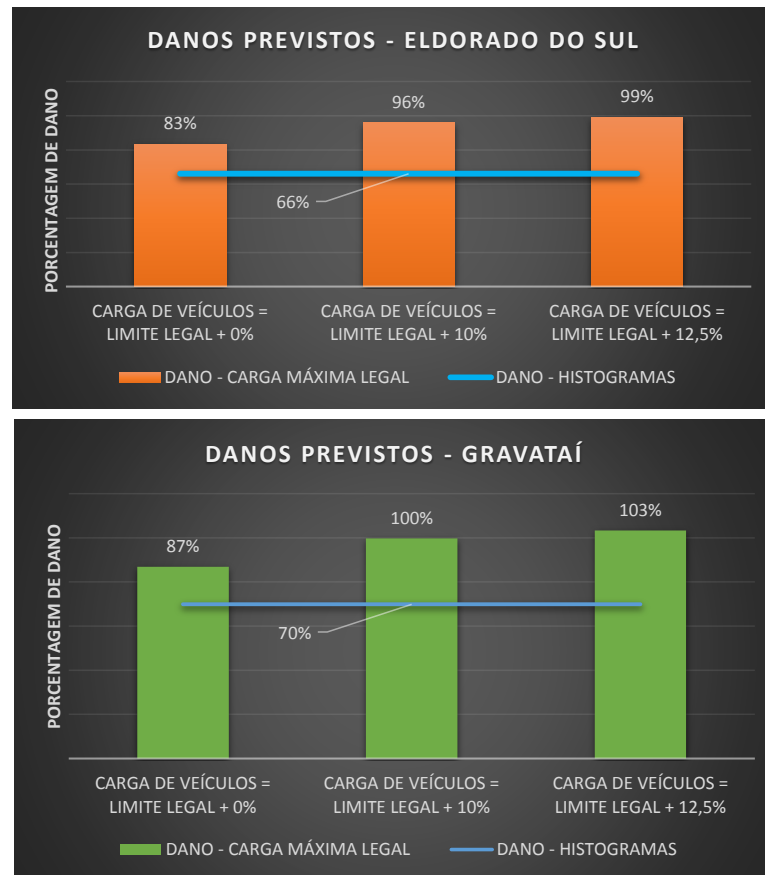
Tabela 30 – Danos para cada eixo considerando o tráfego com cargas iguais aos limites máximos legais

EIXO TIPO	RESULTADOS EVERSTRESS 5.0		DANO ACUMULADO PARA O PERÍODO (SET/2013 - AGO/2016)				
	CARGA (t)	DEFORMAÇÃO MÁXIMA [μ strain]	NÚMERO ADMISSÍVEL DE EIXOS	TRÁFEGO EFETIVO		DANO	
				ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ	ELDORADO DO SUL	GRAVATAÍ
ESRS	6	216,79	6,7E+06	2.113.519	2.262.354	31,3%	33,5%
	6 + 10%	224,30	6,2E+06			34,3%	36,7%
	6 + 12,5%	226,04	6,0E+06			35,0%	37,5%
ESRD	10	242,36	5,0E+06	1.172.054	1.243.185	23,4%	24,8%
	10 + 10%	260,85	4,1E+06			28,4%	30,2%
	10 + 12,5%	265,29	3,9E+06			29,7%	31,5%
ETD	17	213,60	7,0E+06	1.253.595	1.268.153	17,9%	18,1%
	17 + 10%	226,64	6,0E+06			20,9%	21,2%
	17 + 12,5%	230,75	5,7E+06			21,9%	22,2%
ETT	25,5	213,95	7,0E+06	753.011	725.757	10,8%	10,4%
	25,5 + 10%	227,05	6,0E+06			12,6%	12,2%
	25,5 + 12,5%	231,16	5,7E+06			13,2%	12,8%

(Fonte: elaborado pelo autor)

Os danos provocados para cada um dos cenários foram somados e comparados com os danos verificados no capítulo anterior, que considerava a distribuição de cargas na frota obtida nos histogramas. Essa comparação pode ser visualizada nos gráficos abaixo:

Figura 10 – Danos previstos para tráfego cujos eixos apresentam cargas iguais aos limites máximos legais x limites legais + 10% tolerância x limites legais + 12,5% tolerância x dano calculado para tráfego efetivo considerando histogramas



(Fonte: elaborado pelo autor)

Verifica-se através da comparação de danos, que a consideração de todos os eixos do tráfego com a carga igual à máxima legal, apesar de ser a favor da segurança, não representa fielmente a situação real do tráfego efetivo. É necessário dizer que para contextos em que o tráfego apresente uma frequência maior de veículos com excesso em eixo esse resultado deve apresentar-se de forma diferente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento do trabalho organizaram-se os dados obtidos dos postos de pesagem para caracterizar o tráfego quanto à carga transportada por veículo, incluindo no estudo as cargas que ultrapassam os limites legais e as que estão inferiores a eles. Essa informação possibilitou conhecer com verossimilhança a magnitude das solicitações a que está submetido o pavimento, objeto de estudo.

Notou-se que, mesmo com o baixo volume de dados obtidos dos postos de pesagem precários instalados na Freeway, foi possível obter uma amostragem representativa do tráfego, conhecendo o excesso de carga praticado pelos transportadores. A partir dessa qualificação do tráfego é possível desenvolver um planejamento quanto ao tempo de retorno do projeto pretendido, que indicará a vida útil do pavimento a partir das soluções estruturais adotadas para suportar o tráfego conhecido.

As metodologias atuais de dimensionamento de pavimento utilizadas no Brasil propõem o emprego de soluções empíricas que muitas vezes foram estimadas em condições diferenciadas de clima, de materiais empregados, de contexto econômico e de capacidade de fiscalização de excesso de cargas. Essas e outras variáveis contribuem para alterar as condições de contorno para o dimensionamento.

Aplicando a Lei de Miner ao espectro de cargas, permitiu-se chegar a um consumo de vida útil máximo do pavimento de 70% em três anos. Esse desgaste prematuro do pavimento resultará em desequilíbrios econômico financeiros em contratos de concessão ou em órgãos públicos responsáveis pela manutenção de infraestrutura rodoviária.

Como sugestão para trabalhos posteriores, indica-se a realização do estudo do espectro de cargas em postos de pesagem veicular com estrutura fixa, que apresentem estrutura e funcionamento tais quais definidas no glossário deste trabalho. A estrutura desses postos possibilita a fiscalização da maior parte do tráfego comercial.

Além disso, sugere-se a utilização de modelos mais contemporâneos de estimativa da vida de fadiga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **Guide for design of pavements structures**. Washington, D.C.1993

ÁFRICA DO SUL. The South African National Roads Agency Soc Ltd. **South African Pavement Engineering Manual**. África do Sul, 2014. Disponível em: <http://www.nra.co.za/live/content.php?Session_ID=9cb4eb06d6d23f5153c1d5e79ce4a1ba&Category_ID=148>. Acesso em 10 jun. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Manual de Procedimentos: Fiscalização em postos de pesagem veicular**. Brasília, DF, 2014

ALBANO, J. F. **Efeitos dos Excessos de Carga Sobre a Durabilidade de Pavimentos**. 2005. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AZAMBUJA ENGENHARIA E GEOTECNIA. **Projeto Executivo para implantação da 4ª faixa na BR-290/RS – FREEWAY**. Porto Alegre, RS, 2014.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.

BOCK, A. L. **Pesagem em movimento de cargas atuantes em rodovias e seu impacto no desempenho de pavimentos da rede temática de asfalto**. 2016. 273 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BRASIL. Senado Federal. Secretaria de Informação Legislativa. **Lei n. 7.408**, de 25 de novembro de 1985. Permite a tolerância de 5% (cinco por cento) na pesagem de carga em veículos de transporte. Brasília, DF, 1985. Disponível em: <http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaNormas.action?numero=7408&tipo_norma=LEI&ata=19851125&link=s>. Acesso em: 09 jun. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 9.503**, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm>. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 10.233**, de 05 de junho de 2001. Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10233.htm>. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 10.561**, de 13 de novembro de 2002. Altera as Leis nos 10.209, de 23 de março de 2001, e 10.233, de 5 de junho de 2001, e dá outras providências. Brasília, DF, 2002. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10561.htm >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 13.103**, de 2 de março de 2015. Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista; altera a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e as Leis nos 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro, e 11.442, de 5 de janeiro de 2007 (empresas e transportadores autônomos de carga), para disciplinar a jornada de trabalho e o tempo de direção do motorista profissional; altera a Lei no 7.408, de 25 de novembro de 1985; revoga dispositivos da Lei no 12.619, de 30 de abril de 2012; e dá outras providências. Brasília, DF, 2015. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13103.htm >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto n. 99.704**, de 20 de novembro de 1990. Dispõe sobre a execução no Brasil do Acordo sobre Transporte Internacional Terrestre, entre o Brasil, a Argentina, a Bolívia, o Chile, o Paraguai, o Peru e o Uruguai. Brasília, DF, 1990. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D99704.htm >. Acesso em: 09 jun. 2016.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Procuradoria Geral. **Contrato de concessão de obra pública, entre a União, por intermédio do Departamento Nacional De Estradas De Rodagem - DNER e a Concessionária da Rodovia Porto Alegre S.A. – Concepa**. Brasília, DF, 1997.

_____. Ministério dos Transportes. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Programa de exploração da rodovia**, de 23 de outubro de 2015. Per Rodovia Br-290/RS. Disponível em: < <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/9319/CONCEPA.html> >. Acesso em: 11 nov. 2016.

CERATTI, J. A.; NÚÑEZ, W. P. In: LABORATÓRIO DE PAVIMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (Org.). **Estudo sobre efeitos de configuração e magnitude de cargas de eixo na vida de pavimentos**. Porto Alegre, 2006.

CONCEPA. **Relatório Técnico Operacional Físico Financeiro – Retoff**. Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S.A. Porto Alegre, RS, setembro de 2013 a agosto de 2016.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Resolução n. 12**, de 06 de fevereiro de 1998. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitam por vias terrestres. Brasília, DF, 1998. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 62**, de 21 de maio de 1998. Estabelece o uso de pneus extralargos e define seus limites de peso de acordo com o Parágrafo único do art. 100 do Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, DF, 1998. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 102**, de 31 de agosto de 1999. Dispõe sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos. Brasília, DF, 1999. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 104**, de 21 de dezembro de 1999. Dispõe sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos. Brasília, DF, 1999. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 114**, de 05 de maio de 2000. Acrescentar Parágrafo único ao art. 4o da Resolução no 104/99-CONTRAN. Brasília, DF, 2000. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 210**, de 13 de novembro de 2006. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. Brasília, DF, 2006. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 258**, de 30 de novembro de 2007. Regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 318**, de 05 de junho de 2009. Estabelece limites de pesos e dimensões para circulação de veículos de transporte de carga e de transporte coletivo de passageiros em viagem internacional pelo território nacional. Brasília, DF, 2009. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 301**, de 18 de dezembro de 2008. Dispõe sobre a tolerância máxima de 7,5% (sete e meio por cento) de peso bruto, transferidos por eixo ao pavimento das vias públicas para efeitos da aplicação da Resolução CONTRAN nº 258/2007. Brasília, DF, 2008. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 328**, de 14 de agosto de 2009. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN nº 258/2007, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2009. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 337**, de 17 de dezembro de 2009. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN nº 258/2007, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2009. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 353**, de 24 de junho de 2010. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN nº 258/2007, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 365**, de 24 de novembro de 2010. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN n° 258/2007, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 403**, de 26 de abril de 2012. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN n° 258/2007, com redação dada pela Resolução n° 365/2010, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 430**, de 23 de janeiro de 2013. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN n° 258/2007, com redação dada pelas Resoluções n° 365/2010 e 403/2012, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2013. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 467**, de 11 de dezembro de 2013. Altera o prazo previsto no artigo 17 da Resolução CONTRAN n° 258/2007, com redação dada pelas Resoluções n° 365/2010 e 403/2012, que regulamenta os artigos 231, X e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2013. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 489**, de 05 de junho de 2014. Altera os artigos 5° e 9° da Resolução n° 258, de 30 de novembro de 2007, do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, que regulamenta os artigos 231 e 323 do Código de Trânsito Brasileiro, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2014. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 502**, de 23 de setembro de 2014. Acrescenta o Art. 2-A à Resolução n° 210, de 13 de novembro de 2006, do Conselho Nacional de Trânsito –CONTRAN, que estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitam por vias terrestres e dá outras providências. Brasília, DF, 2014. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 503**, de 23 de setembro de 2014. Acrescenta o artigo 17A na Resolução n° 258, de 30 de novembro de 2007, do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, que regulamenta os artigos 231 e 323 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB, fixa metodologia de aferição de peso de veículos, estabelece percentuais de tolerância e dá outras providências. Brasília, DF, 2014. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 526**, de 26 de abril de 2015. Referenda a Deliberação n° 142 de 17 de abril de 2015 que dispõe sobre a alteração da Resolução CONTRAN n° 211, de 13 de novembro de 2006, e da Resolução CONTRAN n° 258, de 30 de novembro de 2007 e revoga

a Resolução CONTRAN nº 489 de 05 de junho de 2014. Brasília, DF, 2015. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

_____. **Resolução n. 547**, de 19 de agosto de 2015. Dispõe sobre a padronização do procedimento administrativo para identificação do infrator responsável pela infração de excesso peso e dimensões de veículos e dá outras providências. Brasília, DF, 2015. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 24 nov. 2016.

_____. **Resolução n. 577**, de 24 de fevereiro de 2016. Altera a Resolução CONTRAN nº 210, de 13 de novembro de 2006, que estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres. Brasília, DF, 2016. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 jun. 2016.

FRANCO, M. L. de O. **Estudo do efeito de intervenções sobre o comportamento de pavimentos de um grupo de rodovias do estado do Paraná**. 2004. 184 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MATTOS, J. R. G. **Monitoramento e análise do desempenho de pavimentos flexíveis da ampliação da rodovia BR-290/RS: A implantação do Projeto Rede Temática de Asfalto no Rio Grande do Sul**. 2014. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

NÚÑEZ, W. P. **Notas de Aula - ENG01012 – Pavimentação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2016.

NÚÑEZ et al. **Relatório Final de Pesquisa – Análise dos efeitos de excessos de cargas e de alterações na composição de misturas asfálticas no desempenho de pavimentos flexíveis típicos da região sul do país**. Porto Alegre/RS. Abril de 2010. 143p

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviárias: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 1ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Copiarte, 2001.

PIRES, M. B. **Pavimentos Flexíveis Brasileiros: Análise do desempenho sob excesso de cargas**. 2014. 107 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

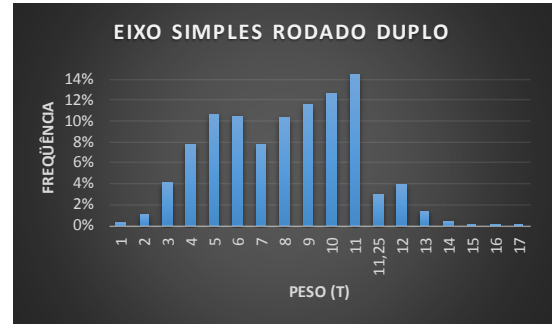
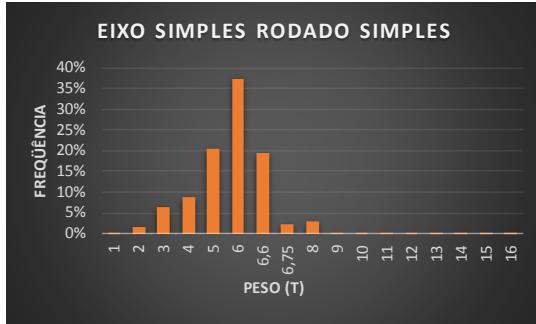
VICTORINO, D. R. **Análise de desempenho de um pavimento flexível da rodovia BR-290/RS solicitado por um simulador de tráfego móvel**. 2008. 176 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

VITORELLO, T. **Análise de desempenho de estrutura de pavimento flexível da rodovia BR-290/RS no trecho Osório - Porto Alegre**. 2008. 155 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

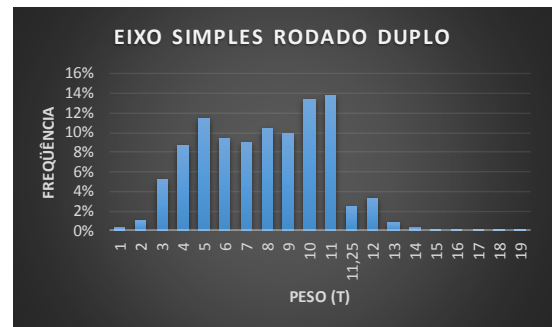
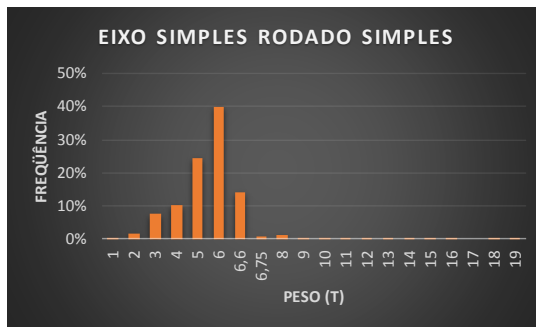
APÊNDICE A – Histogramas de carga por frequência

ELDORADO DO SUL

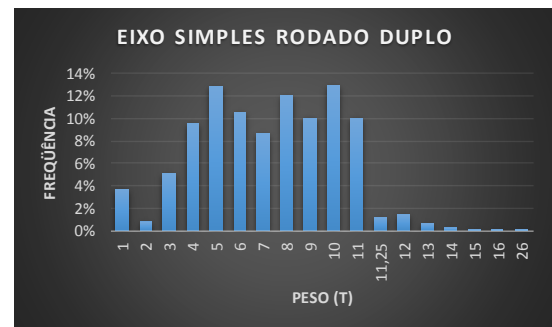
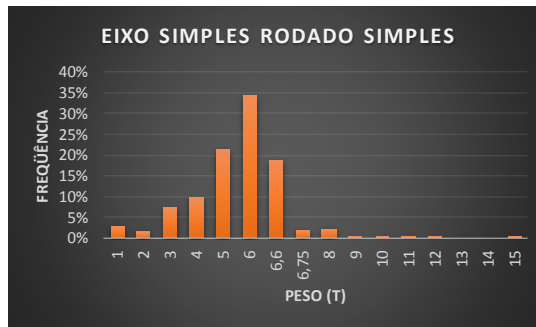
2
0
1
3



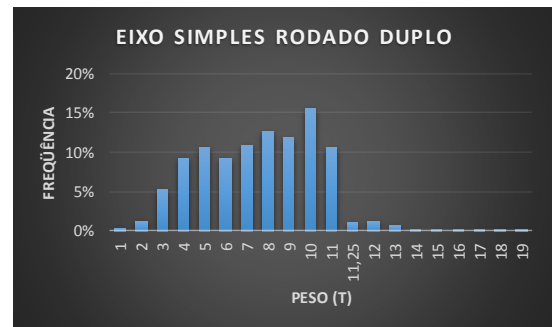
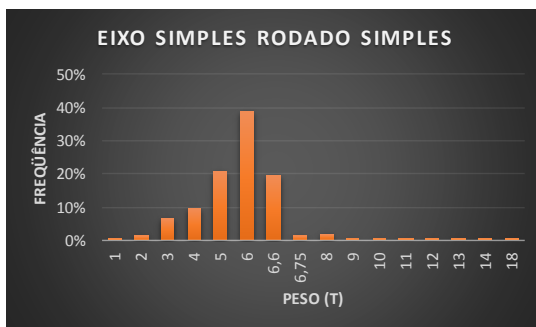
2
0
1
4



2
0
1
5

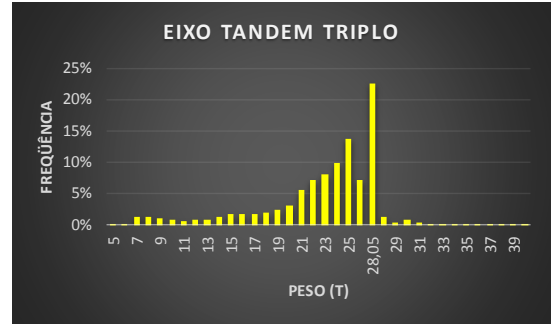


2
0
1
6

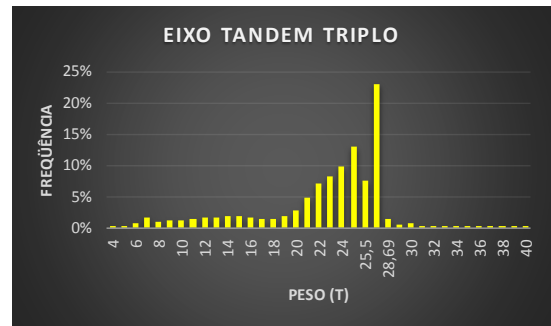
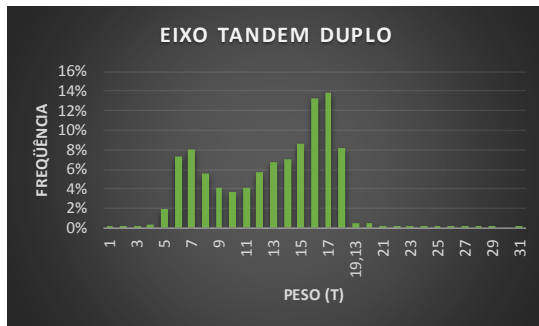


ELDORADO DO SUL

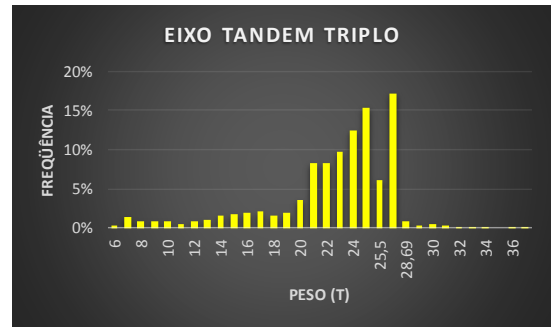
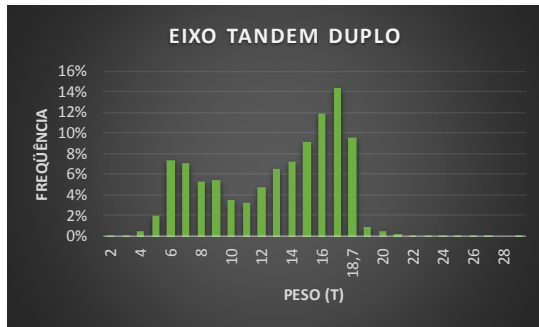
2
0
1
3



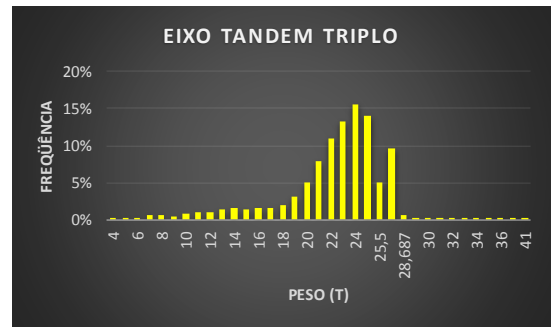
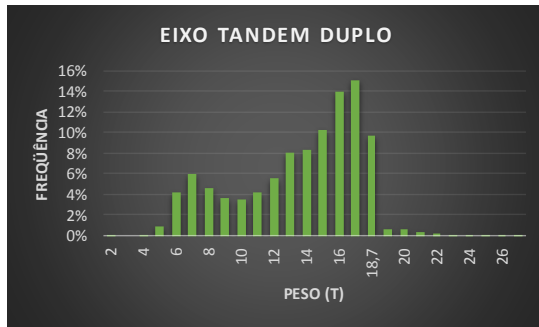
2
0
1
4



2
0
1
5

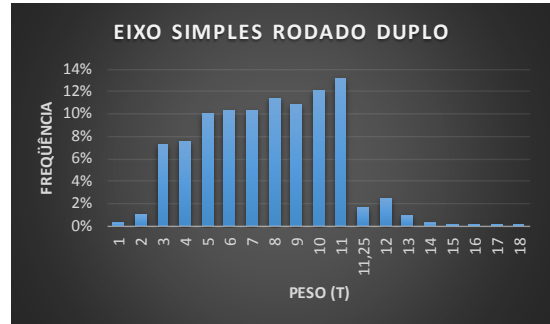
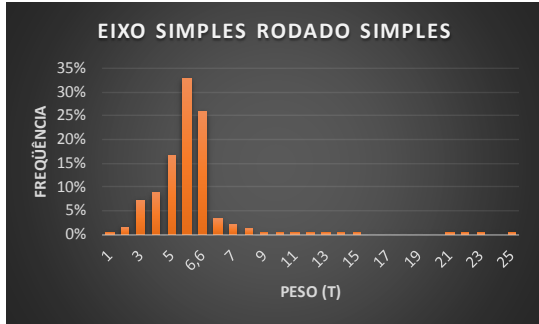


2
0
1
6

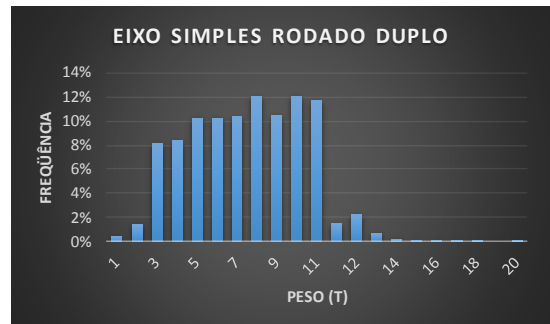
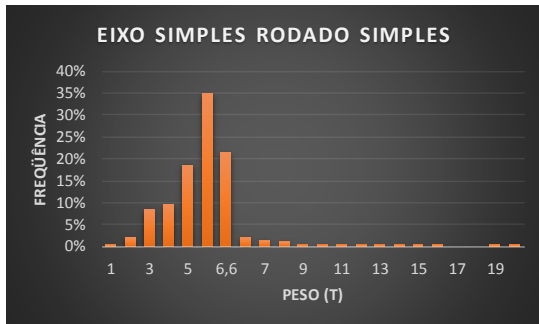


GRAVATAÍ

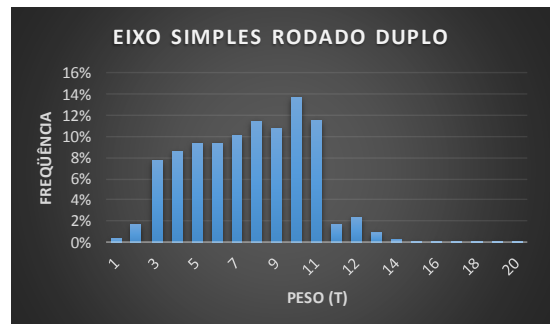
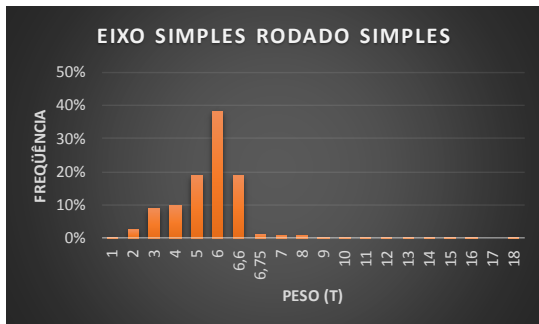
2
0
1
3



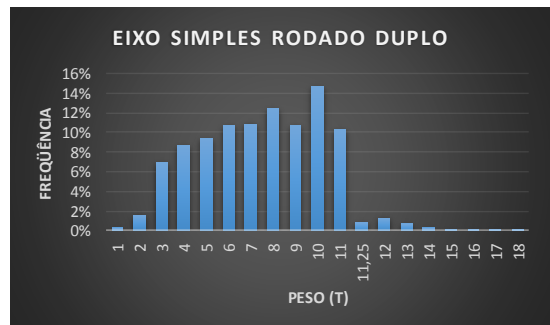
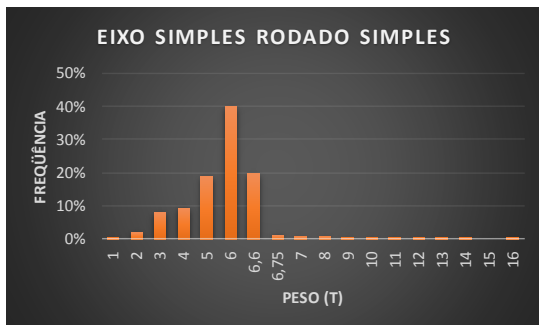
2
0
1
4



2
0
1
5

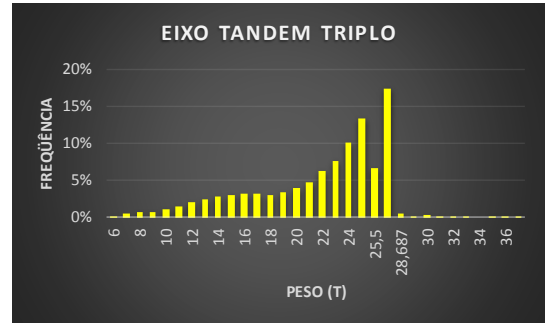
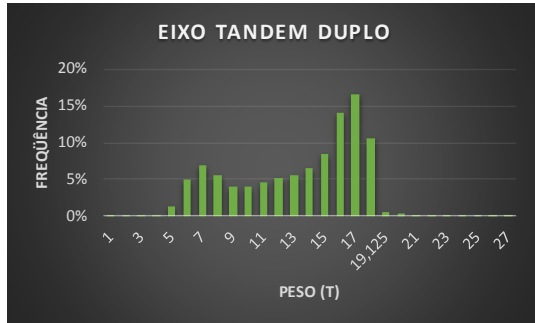


2
0
1
6

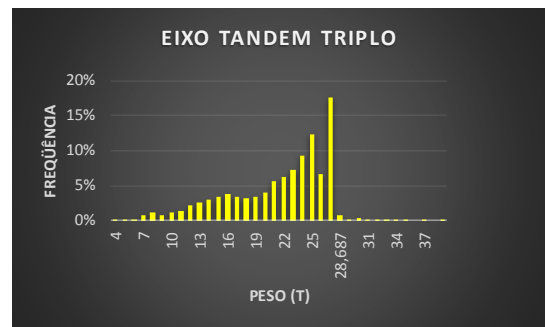
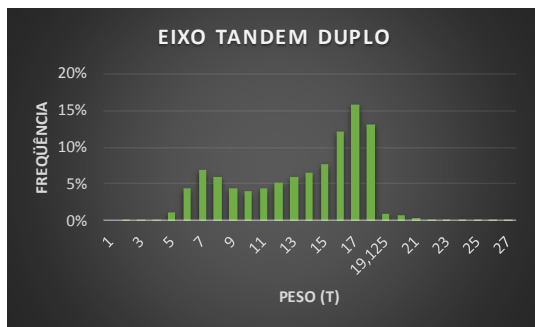


GRAVATAÍ

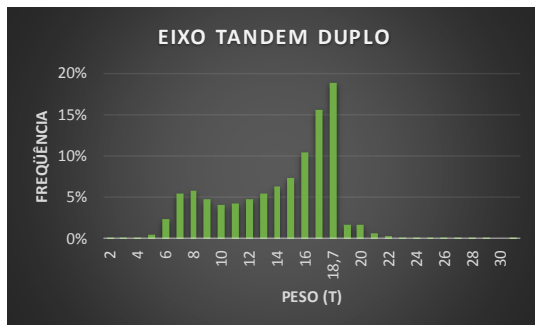
2
0
1
3



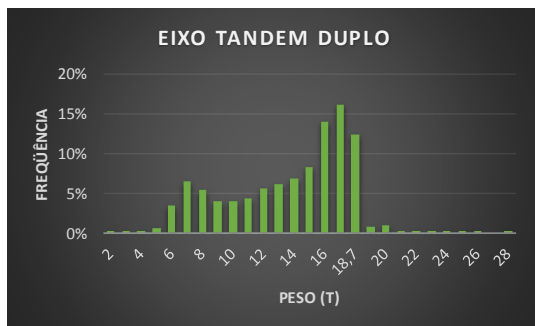
2
0
1
4



2
0
1
5



2
0
1
6



APÊNDICE B – Distribuição amostral aplicada ao tráfego efetivo

BR 290 - KM 110 - ELDORADO DO SUL (PISTA NORTE)

EIXO SIMPLES COM RODAS SIMPLES - ESRs								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	243.300		736.364		704.081		429.774	
CARGA (kg)	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,183%	445	0,184%	1.356	2,700%	19.007	0,139%	599
2000	1,436%	3.493	1,581%	11.640	1,420%	9.996	1,651%	7.097
3000	6,447%	15.687	7,493%	55.176	7,378%	51.947	6,487%	27.879
4000	8,948%	21.771	10,162%	74.826	9,626%	67.773	9,464%	40.674
5000	20,595%	50.108	24,473%	180.213	21,553%	151.751	20,657%	88.780
6000	37,233%	90.588	39,899%	293.801	34,459%	242.619	38,782%	166.675
6600	19,488%	47.415	14,002%	103.106	18,810%	132.441	19,354%	83.179
6750	2,198%	5.347	0,661%	4.866	1,753%	12.343	1,289%	5.539
8000	3,007%	7.316	1,203%	8.857	2,000%	14.085	1,789%	7.687
9000	0,266%	648	0,115%	848	0,204%	1.439	0,121%	520
10000	0,063%	152	0,076%	558	0,043%	303	0,092%	396
11000	0,063%	152	0,061%	452	0,022%	151	0,082%	352
12000	0,026%	64	0,035%	254	0,022%	151	0,057%	247
13000	0,010%	25	0,033%	240	0,000%	0	0,016%	70
14000	0,016%	38	0,014%	106	0,000%	0	0,016%	70
15000	0,005%	13	0,004%	28	0,011%	76	0,000%	0
16000	0,016%	38	0,002%	14	0,000%	0	0,000%	0
17000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
18000	0,000%	0	0,002%	14	0,000%	0	0,002%	9
19000	0,000%	0	0,001%	7	0,000%	0	0,000%	0

EIXO SIMPLES COM RODAS DUPLAS - ESRD								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	130.874		379.049		404.598		257.534	
CARGA (kg)	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,282%	370	0,355%	1.345	3,764%	15.229	0,249%	642
2000	1,070%	1.401	1,076%	4.078	0,747%	3.021	1,225%	3.154
3000	4,036%	5.282	5,275%	19.995	5,059%	20.470	5,204%	13.402
4000	7,811%	10.223	8,760%	33.206	9,494%	38.413	9,103%	23.443
5000	10,621%	13.900	11,458%	43.431	12,892%	52.162	10,555%	27.184
6000	10,502%	13.744	9,481%	35.939	10,546%	42.667	9,146%	23.554
7000	7,796%	10.203	9,007%	34.141	8,656%	35.022	10,860%	27.969
8000	10,353%	13.549	10,472%	39.693	12,069%	48.833	12,571%	32.375
9000	11,505%	15.057	9,812%	37.192	10,088%	40.817	11,931%	30.727
10000	12,664%	16.574	13,317%	50.479	12,938%	52.347	15,455%	39.801
11000	14,493%	18.967	13,769%	52.192	10,058%	40.694	10,537%	27.136
11250	3,047%	3.988	2,454%	9.301	1,158%	4.686	1,019%	2.623
12000	3,969%	5.194	3,337%	12.650	1,448%	5.857	1,222%	3.146
13000	1,315%	1.722	0,935%	3.543	0,655%	2.651	0,597%	1.538
14000	0,386%	506	0,321%	1.215	0,274%	1.110	0,169%	436
15000	0,052%	68	0,114%	432	0,122%	493	0,117%	301
16000	0,074%	97	0,044%	167	0,015%	62	0,028%	71
17000	0,022%	29	0,006%	22	0,000%	0	0,006%	16
18000	0,000%	0	0,003%	11	0,000%	0	0,003%	8
19000	0,000%	0	0,004%	16	0,000%	0	0,003%	8
20000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
22000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
24000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
26000	0,000%	0	0,000%	0	0,015%	62	0,000%	0

EIXO TANDEM DUPLO - ETD								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	148.774		438.672		413.157		252.993	
CARGA (kg)	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,000%	0	0,001%	6	0,000%	0	0,000%	0
2000	0,026%	38	0,010%	44	0,016%	65	0,026%	65
3000	0,043%	64	0,043%	191	0,062%	258	0,043%	108
4000	0,248%	369	0,301%	1.322	0,484%	2.000	0,248%	627
5000	1,855%	2.759	1,952%	8.561	1,999%	8.259	1,855%	4.692
6000	7,667%	11.406	7,267%	31.880	7,356%	30.391	7,667%	19.396
7000	8,299%	12.347	8,098%	35.522	7,075%	29.230	8,299%	20.996
8000	5,838%	8.685	5,568%	24.425	5,357%	22.132	5,838%	14.769
9000	3,735%	5.557	4,094%	17.961	5,466%	22.584	3,735%	9.449
10000	3,812%	5.671	3,744%	16.423	3,498%	14.454	3,812%	9.644
11000	4,000%	5.951	4,078%	17.891	3,248%	13.421	4,000%	10.120
12000	5,376%	7.998	5,758%	25.257	4,795%	19.809	5,376%	13.601
13000	6,949%	10.338	6,679%	29.299	6,528%	26.972	6,949%	17.580
14000	7,829%	11.648	6,991%	30.666	7,215%	29.811	7,829%	19.807
15000	9,171%	13.644	8,628%	37.848	9,105%	37.618	9,171%	23.202
16000	12,795%	19.035	13,190%	57.862	11,838%	48.910	12,795%	32.370
17000	13,350%	19.862	13,802%	60.544	14,431%	59.622	13,350%	33.776
18700	7,761%	11.546	8,235%	36.125	9,511%	39.296	7,761%	19.634
19125	0,410%	610	0,468%	2.053	0,859%	3.549	0,410%	1.038
20000	0,376%	559	0,485%	2.129	0,531%	2.194	0,376%	951
21000	0,171%	254	0,278%	1.220	0,219%	903	0,171%	432
22000	0,068%	102	0,133%	585	0,109%	452	0,068%	173
23000	0,085%	127	0,072%	318	0,109%	452	0,085%	216
24000	0,060%	89	0,055%	242	0,094%	387	0,060%	151
25000	0,026%	38	0,041%	178	0,047%	194	0,026%	65
26000	0,009%	13	0,013%	57	0,016%	65	0,009%	22
27000	0,017%	25	0,007%	32	0,016%	65	0,017%	43
28000	0,009%	13	0,004%	19	0,000%	0	0,009%	22
29000	0,009%	13	0,001%	6	0,016%	65	0,009%	22
30000	0,009%	13	0,000%	0	0,000%	0	0,009%	22
31000	0,000%	0	0,001%	6	0,000%	0	0,000%	0

EIXO TANDEM TRIPLO - ETT								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	96.284		290.860		232.136		133.732	
CARGA (kg)	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
2000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
3000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
4000	0,000%	0	0,010%	28	0,000%	0	0,012%	17
5000	0,017%	17	0,013%	37	0,000%	0	0,006%	8
6000	0,243%	234	0,804%	2.339	0,257%	597	0,291%	389
7000	1,233%	1.188	1,663%	4.837	1,322%	3.068	0,619%	828
8000	1,372%	1.321	0,964%	2.805	0,918%	2.130	0,563%	753
9000	1,112%	1.071	1,230%	3.579	0,808%	1.875	0,483%	646
10000	0,938%	903	1,182%	3.439	0,881%	2.045	0,712%	952
11000	0,747%	719	1,384%	4.026	0,551%	1.278	0,941%	1.259
12000	0,956%	920	1,580%	4.594	0,808%	1.875	1,053%	1.408
13000	0,886%	853	1,711%	4.977	0,991%	2.301	1,319%	1.764
14000	1,407%	1.355	1,820%	5.293	1,652%	3.835	1,573%	2.103
15000	1,807%	1.740	1,836%	5.340	1,799%	4.176	1,344%	1.797
16000	1,737%	1.673	1,644%	4.781	1,872%	4.346	1,498%	2.004
17000	1,755%	1.689	1,544%	4.492	2,203%	5.113	1,597%	2.136
18000	1,946%	1.873	1,397%	4.063	1,542%	3.579	1,888%	2.525
19000	2,554%	2.459	1,794%	5.219	1,872%	4.346	3,083%	4.123
20000	3,231%	3.111	2,707%	7.875	3,488%	8.096	5,108%	6.831
21000	5,646%	5.436	4,825%	14.035	8,260%	19.174	7,851%	10.499
22000	7,106%	6.842	7,087%	20.615	8,223%	19.089	10,872%	14.540
23000	8,131%	7.828	8,244%	23.979	9,655%	22.413	13,355%	17.860
24000	9,833%	9.468	9,897%	28.788	12,372%	28.719	15,658%	20.940
25000	13,707%	13.198	13,005%	37.828	15,345%	35.621	13,981%	18.696
25500	7,245%	6.975	7,667%	22.301	6,021%	13.976	5,089%	6.806
28050	22,689%	21.846	22,871%	66.522	17,181%	39.882	9,696%	12.967
28687	1,425%	1.372	1,362%	3.961	0,808%	1.875	0,625%	836
29000	0,417%	401	0,474%	1.379	0,220%	511	0,192%	257
30000	0,938%	903	0,657%	1.910	0,404%	937	0,285%	381
31000	0,469%	452	0,279%	811	0,257%	597	0,111%	149
32000	0,191%	184	0,170%	494	0,073%	170	0,056%	75
33000	0,087%	84	0,087%	252	0,073%	170	0,056%	75
34000	0,035%	33	0,038%	112	0,037%	85	0,031%	41
35000	0,017%	17	0,026%	75	0,000%	0	0,031%	41
36000	0,035%	33	0,010%	28	0,037%	85	0,006%	8
37000	0,017%	17	0,006%	19	0,000%	0	0,000%	0
38000	0,035%	33	0,003%	9	0,000%	0	0,006%	8
39000	0,017%	17	0,003%	9	0,000%	0	0,000%	0
40000	0,017%	17	0,003%	9	0,073%	170	0,000%	0
41000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,006%	8

BR 290 - KM 65 - GRAVATAÍ (PISTA NORTE)

EIXO SIMPLES RODADO SIMPLES - ESRS								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	273.858		791.053		741.081		456.362	
CARGA (kg)	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,107%	293	0,256%	2.022	0,219%	1.620	0,105%	479
2000	1,461%	4.002	2,061%	16.305	2,587%	19.171	2,046%	9.336
3000	7,278%	19.931	8,637%	68.322	8,733%	64.715	8,197%	37.408
4000	8,697%	23.817	9,490%	75.070	9,538%	70.686	9,165%	41.826
5000	16,614%	45.500	18,571%	146.908	18,765%	139.065	18,597%	84.870
6000	32,822%	89.886	34,886%	275.966	38,199%	283.089	39,726%	181.296
6600	25,975%	71.134	21,389%	169.201	18,880%	139.914	19,689%	89.854
6750	3,239%	8.870	1,957%	15.480	1,125%	8.341	0,906%	4.135
7000	2,227%	6.099	1,467%	11.604	0,769%	5.702	0,706%	3.221
8000	1,194%	3.269	0,938%	7.418	0,809%	5.992	0,591%	2.698
9000	0,174%	476	0,140%	1.108	0,120%	891	0,048%	218
10000	0,075%	205	0,037%	296	0,045%	332	0,043%	196
11000	0,037%	103	0,036%	283	0,044%	325	0,029%	131
12000	0,035%	95	0,023%	180	0,051%	375	0,043%	196
13000	0,032%	88	0,026%	206	0,053%	396	0,062%	283
14000	0,008%	22	0,037%	296	0,042%	311	0,024%	109
15000	0,003%	7	0,034%	270	0,017%	127	0,000%	0
16000	0,000%	0	0,005%	39	0,002%	14	0,010%	44
17000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
18000	0,000%	0	0,000%	0	0,002%	14	0,000%	0
19000	0,000%	0	0,002%	13	0,000%	0	0,014%	65
20000	0,000%	0	0,008%	64	0,000%	0	0,000%	0
21000	0,008%	22	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
22000	0,008%	22	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
23000	0,003%	7	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
24000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
25000	0,003%	7	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0

EIXO SIMPLES RODADO DUPLO - ESRD								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	139.929		401.940		426.789		274.527	
CARGA (kg)	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,311%	435	0,465%	1.867	0,387%	1.653	0,276%	758
2000	1,123%	1.572	1,443%	5.800	1,771%	7.561	1,611%	4.422
3000	7,249%	10.144	8,154%	32.772	7,784%	33.219	6,995%	19.203
4000	7,480%	10.466	8,316%	33.426	8,551%	36.496	8,638%	23.715
5000	10,038%	14.046	10,236%	41.141	9,323%	39.791	9,348%	25.664
6000	10,316%	14.436	10,261%	41.245	9,454%	40.350	10,742%	29.490
7000	10,292%	14.402	10,316%	41.463	10,117%	43.180	10,834%	29.743
8000	11,395%	15.945	11,980%	48.154	11,419%	48.734	12,465%	34.219
9000	10,862%	15.199	10,424%	41.899	10,702%	45.675	10,742%	29.490
10000	12,159%	17.014	12,011%	48.277	13,685%	58.407	14,687%	40.319
11000	13,169%	18.428	11,610%	46.666	11,514%	49.140	10,249%	28.137
11250	1,746%	2.443	1,469%	5.904	1,715%	7.319	0,920%	2.527
12000	2,473%	3.460	2,214%	8.899	2,313%	9.873	1,348%	3.700
13000	0,925%	1.295	0,689%	2.767	0,835%	3.565	0,690%	1.895
14000	0,271%	379	0,196%	787	0,284%	1.212	0,276%	758
15000	0,117%	164	0,149%	597	0,094%	400	0,105%	289
16000	0,061%	85	0,047%	190	0,029%	124	0,053%	144
17000	0,008%	11	0,014%	57	0,015%	65	0,013%	36
18000	0,004%	6	0,002%	9	0,003%	12	0,007%	18
19000	0,000%	0	0,000%	0	0,001%	6	0,000%	0
20000	0,000%	0	0,005%	19	0,001%	6	0,000%	0

EIXO TANDEM DUPLO - ETD								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	156.637		448.691		411.248		251.577	
CARGA (kg)	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQUÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,003%	5	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
2000	0,003%	5	0,011%	49	0,001%	5	0,012%	30
3000	0,007%	11	0,015%	68	0,013%	55	0,012%	30
4000	0,073%	115	0,076%	340	0,049%	203	0,061%	152
5000	1,306%	2.045	1,084%	4.862	0,456%	1.874	0,581%	1.462
6000	5,017%	7.858	4,423%	19.846	2,264%	9.310	3,505%	8.818
7000	6,958%	10.898	6,932%	31.103	5,415%	22.269	6,496%	16.341
8000	5,589%	8.755	5,889%	26.426	5,854%	24.074	5,400%	13.585
9000	4,119%	6.452	4,466%	20.040	4,769%	19.612	4,044%	10.173
10000	3,941%	6.174	4,122%	18.497	4,078%	16.771	4,086%	10.280
11000	4,615%	7.229	4,397%	19.729	4,178%	17.183	4,353%	10.950
12000	5,257%	8.235	5,189%	23.281	4,687%	19.275	5,527%	13.905
13000	5,634%	8.826	5,874%	26.358	5,357%	22.031	6,114%	15.382
14000	6,584%	10.313	6,612%	29.667	6,212%	25.546	6,895%	17.346
15000	8,392%	13.146	7,639%	34.277	7,267%	29.884	8,336%	20.971
16000	14,100%	22.086	12,203%	54.753	10,454%	42.992	13,929%	35.043
17000	16,533%	25.897	15,700%	70.446	15,641%	64.324	16,072%	40.435
18700	10,518%	16.476	13,168%	59.082	18,892%	77.695	12,343%	31.053
19125	0,520%	815	0,876%	3.930	1,703%	7.005	0,769%	1.934
20000	0,457%	716	0,798%	3.581	1,667%	6.856	0,890%	2.239
21000	0,213%	334	0,296%	1.330	0,611%	2.513	0,333%	838
22000	0,080%	126	0,119%	534	0,256%	1.051	0,091%	228
23000	0,031%	49	0,056%	252	0,092%	377	0,067%	168
24000	0,017%	27	0,028%	126	0,048%	198	0,048%	122
25000	0,014%	22	0,013%	58	0,019%	79	0,018%	46
26000	0,010%	16	0,009%	39	0,007%	30	0,006%	15
27000	0,003%	5	0,004%	19	0,004%	15	0,000%	0
28000	0,000%	0	0,000%	0	0,002%	10	0,012%	30
29000	0,000%	0	0,000%	0	0,001%	5	0,000%	0
30000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
31000	0,000%	0	0,000%	0	0,001%	5	0,000%	0

EIXO TANDEM DUPLO - ETT								
NÚMERO DE EIXOS PREVISTOS	2013 (set - dez)		2014		2015		2016 (jan - ago)	
	94.997		281.665		221.072		128.023	
CARGA (kg)	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO	FREQÜÊNCIA	VOLUME DE TRÁFEGO
1000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
2000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
3000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
4000	0,000%	0	0,005%	15	0,006%	13	0,029%	37
5000	0,000%	0	0,011%	30	0,024%	53	0,015%	19
6000	0,027%	25	0,032%	91	0,042%	92	0,044%	56
7000	0,572%	543	0,675%	1.901	0,593%	1.312	0,600%	768
8000	0,688%	654	1,048%	2.951	0,739%	1.634	0,600%	768
9000	0,822%	781	0,837%	2.358	0,695%	1.536	0,483%	618
10000	1,188%	1.129	1,085%	3.057	0,924%	2.043	0,790%	1.011
11000	1,528%	1.452	1,383%	3.894	1,276%	2.821	0,878%	1.124
12000	2,082%	1.978	2,203%	6.206	1,634%	3.612	1,478%	1.892
13000	2,466%	2.343	2,495%	7.028	2,155%	4.765	1,990%	2.547
14000	2,886%	2.742	2,927%	8.244	2,364%	5.226	2,019%	2.585
15000	2,967%	2.818	3,316%	9.340	2,790%	6.169	2,736%	3.503
16000	3,181%	3.022	3,759%	10.587	2,993%	6.617	2,736%	3.503
17000	3,279%	3.115	3,391%	9.553	2,996%	6.624	2,663%	3.409
18000	3,128%	2.971	3,116%	8.777	2,931%	6.479	2,955%	3.784
19000	3,494%	3.319	3,294%	9.279	3,163%	6.993	2,780%	3.559
20000	3,905%	3.710	3,894%	10.967	3,560%	7.869	4,550%	5.825
21000	4,790%	4.550	5,611%	15.804	4,615%	10.202	6,437%	8.241
22000	6,344%	6.027	6,162%	17.356	5,864%	12.964	7,140%	9.140
23000	7,604%	7.224	7,280%	20.505	7,393%	16.345	9,144%	11.707
24000	10,080%	9.575	9,354%	26.346	8,953%	19.792	10,783%	13.804
25000	13,395%	12.725	12,308%	34.666	12,125%	26.804	13,928%	17.831
25500	6,764%	6.426	6,702%	18.877	6,949%	15.363	6,262%	8.017
28050	17,523%	16.646	17,584%	49.528	22,163%	48.995	17,132%	21.933
28687	0,617%	586	0,761%	2.145	1,506%	3.328	0,980%	1.255
29000	0,179%	170	0,205%	578	0,450%	995	0,117%	150
30000	0,286%	272	0,362%	1.019	0,742%	1.641	0,395%	506
31000	0,125%	119	0,119%	335	0,185%	409	0,234%	300
32000	0,027%	25	0,032%	91	0,078%	171	0,059%	75
33000	0,009%	8	0,016%	46	0,048%	105	0,029%	37
34000	0,000%	0	0,011%	30	0,018%	40	0,000%	0
35000	0,027%	25	0,011%	30	0,012%	26	0,000%	0
36000	0,009%	8	0,000%	0	0,003%	7	0,000%	0
37000	0,009%	8	0,005%	15	0,003%	7	0,015%	19
38000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
39000	0,000%	0	0,005%	15	0,003%	7	0,000%	0
40000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
41000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
42000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
43000	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0	0,000%	0
44000	0,000%	0	0,000%	0	0,006%	13	0,000%	0