

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Felipe Hernandez Cava

**Análise da influência da pressão de enchimento dos pneus e da condição de aderência entre camadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis**

Versão Corrigida

São Paulo

2021

Felipe Hernandez Cava

**Análise da influência da pressão de enchimento dos pneus e da condição de aderência entre camadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis**

Versão Corrigida

Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PTR/EPUSP) como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

Área de Concentração: Infraestrutura de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Carlos Yukio Suzuki

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Assinatura do autor: \_\_\_\_\_

Assinatura do orientador: \_\_\_\_\_

### Catlogação-na-publicação

Cava, Felipe Hernandes

Análise da influência da pressão de enchimento dos pneus e da condição de aderência entre camadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis / F. H. Cava -- versão corr. -- São Paulo, 2021.

261 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis 2.Tráfego Rodoviário  
3.Pressão de Enchimento dos Pneus 4.Condição de Aderência entre camadas  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

## FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: **Felipe Hernandes Cava**

Título da Dissertação: “Análise da Influência da pressão de enchimento dos pneus e da condição de aderência entre camadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis”.

Data da Defesa: 15/07/2021

**Comissão de Avaliação:**

**Resultado:**

**Prof. Dr. Carlos Yukio Suzuki** (Orientador)

Escola Politécnica da USP

---

**Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará

---

**Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior**

Escola de Engenharia de São Carlos da USP

---

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:

**Prof. Dr. Flavio Guilherme Vaz de Almeida Filho**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

**Prof. Dr. José Tadeu Balbo**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha esposa, Laís, meus pais, João e Eliane, minha irmã, Caroline, e meus avós, Paulo, Maliza, Toninha e Germano (In Memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por ter me sustentado até esse momento, permitindo concluir uma etapa muito importante da minha vida.

À minha esposa, **Laís Cava**, por ser uma incentivadora dos meus estudos e por seu suporte. Agradeço por compartilhar comigo este momento, por seu amor e por ajudar nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, **João e Eliane Cava**, e minha irmã, **Caroline Cava**, por todo auxílio e incentivo nesse período. Agradeço meu pai, **João Cava**, pela contribuição na coleta de dados da pesquisa de campo, e por estar sempre disposto a ajudar nas pesquisas. Agradeço minha mãe, **Eliane Cava**, por ser minha primeira professora e por incentivar meus estudos.

Aos meus avós maternos, **Paulo e Maliza**, e paternos, **Toninha e Germano** (In Memoriam), por todo o suporte e pelo amor que sempre foi muito evidente. Agradeço ao meu avô Paulo, por ser um grande estudioso e fonte de inspiração.

Ao Dr. **Carlos Yukio Suzuki**, por sua orientação, direcionamento e participação neste trabalho. Agradeço o conhecimento compartilhado, pelo incentivo e pelas conversas que tivemos ao longo deste período. Com certeza aprendi e espero continuar aprendendo muito com o senhor.

Ao Dr. **José Leomar Fernandes Jr**, pelas sugestões no exame de qualificação. Agradeço pelas aulas na Escola de Engenharia de São Carlos e por ser fonte de inspiração, onde tive o primeiro contato com o tema estudado neste trabalho.

Ao Dr. **Felipe Issa Kabbach**, pelas sugestões no exame de qualificação e inspiração.

Ao Dr. **Kurt André Pereira Amann**, pela contribuição no Capítulo 5 deste trabalho.

À concessionária **Arteris**, em especial ao **André Supp, Josué, Marcelo, Maurício** e demais funcionários da rodovia Regis Bittencourt, que viabilizaram e auxiliaram na coleta de dados desta pesquisa.

A todos os professores da **Escola Politécnica da USP** e da **Escola de Engenharia de São Carlos** que muito contribuíram com minha formação nas diversas disciplinas

cursadas, Dra. **Liedi Bernucci**, Dr. **Carlos Suzuki**, Dr. **José Tadeu Balbo**, Dr. **Iuri Bessa**, Dr. **José Leomar Fernandes Jr**, Dr. **Adalberto Faxina**. Agradeço também Dra. **Kamilla Vasconcelos** e Dra. **Rosângela Motta** que, embora o pouco contato por conta da pandemia do Covid-19, foram muito receptivas no PTR.

À **CAPES** pela bolsa de estudos fornecida nesse período, a qual permitiu dedicação total à pesquisa.

Agradeço a todos os colegas de departamento que conheci nesse período, mesmo com o pouco contato devido à pandemia do Covid-19. Em especial, ao amigo **Rafael Marques Alves** com quem cursei algumas disciplinas.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes (PTR), que sempre foram muito atenciosos.

Ao meu amigo e Professor, Mestre **Creso de Franco Peixoto**, pelo incentivo de iniciar o mestrado e por ser um dos responsáveis por eu gostar tanto da área de Infraestrutura de Transportes.

Ao meu amigo e professor, Mestre **Fernando César Ribeiro**, que muito contribuiu com minha formação durante a graduação, por ter acreditado no meu potencial e por ser um grande amigo.

Aos engenheiros **Bruno Rocha**, **Caio Jardim**, **João Bonugli** e **Edson Oliveira**, grandes e verdadeiros amigos que Deus me deu.

*“Sim, grandes coisas fez o Senhor por nós,  
e por isso estamos alegres.”*

*Salmos 126:3*

*“Só fazemos melhor aquilo que  
repetidamente insistimos em melhorar. A  
busca da excelência não deve ser um  
objetivo, e sim um hábito.”*

*Aristóteles*



## RESUMO

CAVA, F. H. *Análise da influência da pressão de enchimento dos pneus e da condição de aderência das camadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis*. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2021.

Os métodos de dimensionamento de pavimentos vigentes no Brasil consideram que o pavimento é solicitado por pneus com pressão de enchimento de 80psi e que as camadas são perfeitamente aderidas. Esta dissertação tem como objetivo analisar a influência da pressão de enchimento dos pneus e da condição de aderência na interface das camadas no dimensionamento estrutural dos pavimentos flexíveis. A pesquisa de campo realizada na rodovia Regis Bittencourt (BR 116/SP) mostrou que as maiores frequências da distribuição estatística ocorrem para pressões de enchimento dos pneus de 120 a 125psi. Além disso, 98,64% da amostra solicita a estrutura do pavimento em um nível de tensão e deformação superior ao que ela foi dimensionada, o que reduz a vida útil do pavimento e eleva os custos de manutenção ao longo do período de projeto. Os dados de campo permitem a conclusão de que a pressão de enchimento dos pneus independe do eixo analisado, com exceção dos eixos simples de rodas simples que apresentam uma distribuição maior de pressões de pneus com 130psi ou mais. As análises elástico-lineares, apresentadas no Capítulo 4 deste trabalho, mostraram que a redução de vida útil proporcionada pela pressão de enchimento dos pneus depende principalmente da espessura de revestimento asfáltico. Ou seja, a pressão de pneus mais frequente obtida em campo apresenta potencial de reduzir a vida útil do pavimento em 80%, 55% e 35% para espessuras de 50mm, 100mm e 150mm, respectivamente. Por meio do estudo do consumo de fadiga realizado no Capítulo 5, este trabalho mostrou que seria prudente a consideração de pressões de pneus entre 120 e 130psi para dimensionamento de pavimentos. Além disso, as espessuras mínimas de revestimento asfáltico utilizadas em projetos de pavimentação necessitam de atualizações devido a evolução tecnológica da indústria automotiva. O Capítulo 6 deste trabalho mostrou que a pressão de enchimento dos pneus e a condição de aderência entre camadas elevam os fatores de equivalência de carga, o que por sua vez aumentam o número de repetições do eixo rodoviário padrão utilizados no dimensionamento de pavimentos. Como consequência, o número de repetições do eixo rodoviário padrão, previsto no Brasil pelo critério da USACE, pode estar abaixo do real para critérios de projeto.

**Palavras-Chave:** Dimensionamento de pavimentos flexíveis. Tráfego rodoviário. Pressão de enchimento dos Pneus. Condição de aderência entre camadas.

## ABSTRACT

CAVA, F. H. *Analysis of the influence of tire pressure and interlayer bonding condition in the flexible pavement design*. Thesis (Master of Science in Transportation Engineering) – Polytechnic School of the University of São Paulo. São Paulo, 2021.

Pavement design methods in Brazil consider that the pavement is requested by tires with pressure of 80psi and that the pavement layers are perfectly bonded. This thesis aims to analyse the influence of tire inflation pressure and interlayer bonding condition in the flexible pavement design. The field survey realized in Regis Bittencourt Highway (BR 116/SP) showed that the highest frequencies of the statistical distribution occur for tire pressures varying from 120 to 125psi. In addition, 98,64% of the sample requests the pavement structure at a level of stress and strains higher than that which it was designed, which reduces the pavement life and increases maintenance costs throughout the project period. The field data allows the conclusion that the tire pressure is independent of the analysed axle, except for single axles with single tires that present a larger distribution of tire pressure of 130psi or more. The elastic-linear analysis, presented in Chapter 4 of this work, showed that the reduction in pavement life provided by the tire pressure depends mainly on the asphalt layer thickness. In other words, the most frequent tire pressure obtained in the field has the potential to reduce pavement life by 80%, 55%, 35% for thicknesses of 50mm, 100mm and 150mm, respectively. Through the fatigue consumption study performed in Chapter 5, this work showed that it would be prudent to consider tire pressures between 120 and 130psi for pavement design. In addition, the minimum asphalt layer thicknesses used in paving projects need to be updated due to the technological evolution of the automotive industry. Chapter 6 of this work showed that the tire pressure and the layer bonding condition increases the load equivalence factors, which expand the number of equivalent standard axle in pavement design. Therefore, the equivalent axle load, predicted in Brazil by USACE, may be below the actual for design criteria.

**Keywords:** Flexible pavement design. Road traffic. Tire pressure. Interlayer bonding condition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carga pontual aplicada no maciço no modelo de Boussinesq.....	24
Figura 2 - Carga distribuída em área circular no semiespaço homogêneo pela extensão da teoria de Boussinesq. ....	25
Figura 3 - Sistema de camadas proposto por Burmister .....	26
Figura 4 - Tipos de eixo em circulação no Brasil.....	30
Figura 5 – (a) Construção de pneus diagonais; (b) Construção de pneus radiais.....	33
Figura 6 - Sistema SIM para determinação da pressão de contato.....	37
Figura 7 - Distribuição de tensões verticais na área de contato pneu-pavimento. (a) n-shape; (b) m-shape. ....	39
Figura 8 - Variação da forma de distribuição de tensões verticais em função da sobrecarga e mantendo a pressão de enchimento dos pneus constante .....	40
Figura 9 - Método simplificado para pressões não-uniformes.....	41
Figura 10 - Correção do fator de equivalência de carga em função da pressão de contato .....	45
Figura 11 - Consideração de múltiplos eixos em análise mecânica .....	47
Figura 12 - (a) Manômetro digital; (b) Aferição da pressão de enchimento nos pneus de um ESRD .....	56
Figura 13 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ESRS.....	57
Figura 14 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ESRD .....	58
Figura 15 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ETD .....	59
Figura 16 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ETT.....	59
Figura 17 - Distribuição de pressões de pneus com toda a amostra.....	60
Figura 18 – (a) Curva de distribuição normal em comparação com a amostra de campo; (b) Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov da amostra.....	61
Figura 19 – Distribuição acumulada de campo e de Gumbel;.....	62
Figura 20 - Distribuição das diferenças de pressões em um mesmo semieixo .....	63
Figura 21 - Curva de distribuição assimétrica considerando todos os dados da amostra .....	63
Figura 22 - Distribuição dos perfis de pneus na amostra .....	66
Figura 23 - Eixo tandem duplo com diferença na banda de rodagem.....	66
Figura 24 - Distribuição das fabricantes de pneus na amostra.....	67
Figura 25 - Pressão de enchimento dos pneus média por marca de pneu .....	67
Figura 26 – Dispersão da carga por eixo em função da pressão de enchimento média de pneus no eixo .....	69
Figura 27 - Distribuição das pressões de pneus em campo. (a) Brasil; (b) Egito .....	71
Figura 28 - Deflexões na Estrutura 1 para as 3 condições de aderência .....	76
Figura 29 - Tensão de tração para diferentes espessuras (Aderência plena).....	78
Figura 30 - Tensão de tração para diferentes espessuras (Aderência parcial) .....	80
Figura 31 - Tensão de tração para diferentes espessuras (Sem aderência).....	81
Figura 32 - Deformação horizontal no revestimento em função da pressão de Enchimento dos Pneus (Aderência plena) .....	86
Figura 33 - Deformação horizontal no revestimento em função da pressão de Enchimento dos Pneus (Aderência parcial).....	87

Figura 34 - Deformação horizontal no revestimento em função da pressão de Enchimento dos Pneus (Sem aderência) .....	87
Figura 35 - Vida de Fadiga em função da pressão de enchimento dos pneus para camadas em aderência plena .....	88
Figura 36 - Vida de fadiga em função da pressão de enchimento dos pneus para camadas em aderência parcial.....	89
Figura 37 - Vida de fadiga em função da pressão de enchimento dos pneus para camadas sem aderência .....	90
Figura 38 - Vida de fadiga no revestimento para Conjunto 2 .....	92
Figura 39 - Vida de fadiga no revestimento para Conjunto 3 .....	92
Figura 40 - Vida de fadiga no revestimento para Conjunto 4 .....	93
Figura 41 - Redução de vida útil pelo critério de deformação permanente em aderência plena.....	99
Figura 42 - Variação da vida útil pelo critério de deformação permanente em função da pressão de enchimento para aderência plena.....	100
Figura 43 - Variação da vida útil pelo critério de deformação permanente em função da pressão de enchimento para aderência parcial.....	101
Figura 44 - Variação da vida útil pelo critério de deformação permanente em função da pressão de enchimento para condição sem aderência .....	101
Figura 45 - Distribuição de pressões de pneu por nível considerada na análise pela Hipótese de Miner .....	110
Figura 46 - Variação do consumo de fadiga médio em função da espessura do revestimento asfáltico.....	115
Figura 47 - Fator de correção da espessura do revestimento asfáltico .....	117
Figura 48 - Regressão do coeficiente de correção da espessura .....	118
Figura 49 - Geometria dos Eixos (a) ESRS; (b) ESRD; (c) ETD; (d) ETT .....	122
Figura 50 - Variação do FEC do ESRD em função da condição de aderência no critério de fadiga (100kN) .....	135
Figura 51 - Variação dos FEC pelo critério de fadiga em função da pressão de pneus no ESRD (100kN).....	136
Figura 52 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da pressão de pneus em pressão uniforme e não-uniforme (Estrutura A) – ESRD 80kN .....	140
Figura 53 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da pressão de pneus em pressão uniforme e não-uniforme (Estrutura B) – ESRD 80kN .....	140
Figura 54 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da condição de aderência (Estrutura A) – ESRD com 80kN e pressão de pneus de 120psi.....	142
Figura 55 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da condição de aderência (Estrutura B) – ESRD com 80kN e pressão de pneus de 120psi.....	142
Figura 56 - Fator de Equivalência de carga para o critério de deformação permanente para o ESRD com 80kN e na estrutura A em aderência plena .....	143
Figura 57 - Fator de Equivalência de carga para o critério de deformação permanente para o ESRD com 80kN e na estrutura B em aderência plena .....	143

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de carga por eixo estabelecido pelo CONTRAN.....	31
Tabela 2 - Área de contato em função da área circular para diversas pressões.....	36
Tabela 3 - Resumo dos dados de pressão de enchimento de pneus obtidos em campo .....	64
Tabela 4 - Resumo dos dados de carga obtidos em campo .....	69
Tabela 5 - Conjunto 1 .....	72
Tabela 6 - Conjunto 2.....	73
Tabela 7 - Conjunto 3.....	73
Tabela 8 - Conjunto 4.....	73
Tabela 9 - Pressões de Enchimento consideradas na Análise.....	74
Tabela 10 - Aumento relativo de tensões de tração para camadas em aderência plena .....	78
Tabela 11 - Aumento relativo de tensões de tração para camadas em aderência parcial.....	79
Tabela 12 - Aumento relativo de tensões de tração para camadas sem aderência ..	81
Tabela 13 - Aumento relativo de tensões para o Conjunto 2 em aderência plena ....	82
Tabela 14 - Aumento relativo de tensões para o conjunto 2 em aderência parcial ...	82
Tabela 15 - Aumento relativo de tensões para o conjunto 2 sem aderência .....	83
Tabela 16 - Aumento relativo de tensões para o Conjunto 3 em aderência plena ....	83
Tabela 17 - Aumento relativo de tensões para Conjunto 3 em aderência parcial .....	83
Tabela 18 - Aumento relativo de tensões para o Conjunto 3 sem aderência .....	84
Tabela 19 - Aumento relativo de tensões na fibra inferior do revestimento para o Conjunto 4 em aderência plena.....	84
Tabela 20 - Aumento relativo de tensões na fibra inferior do revestimento para Conjunto 4 em aderência parcial.....	85
Tabela 21 - Aumento relativo de tensões na fibra inferior do revestimento para Conjunto 4 sem aderência.....	85
Tabela 22 – Tensões verticais no topo do subleito com aderência plena na interface revestimento e base .....	94
Tabela 23 - Tensões verticais no topo do subleito com aderência parcial na interface revestimento e base .....	94
Tabela 24 - Tensões verticais no topo do subleito sem aderência na interface revestimento e base .....	95
Tabela 25 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 2 em aderência plena .....	95
Tabela 26 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 2 em aderência parcial.....	96
Tabela 27 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 2 sem aderência ..	96
Tabela 28 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 3 em aderência plena .....	96
Tabela 29 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 3 em aderência parcial.....	97
Tabela 30 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 3 sem aderência ..	97

Tabela 31 - Variação relativa da tensão de compressão para o conjunto 4 em aderência plena.....	97
Tabela 32 - Variação da tensão para o conjunto 4 em aderência parcial.....	98
Tabela 33 - Variação relativa da tensão de compressão para o conjunto 4 sem aderência.....	98
Tabela 34 - Regressão para deflexão na superfície do Pavimento .....	102
Tabela 35 - Valores-p para regressão da deflexão na superfície .....	103
Tabela 36 - Regressão para Deformação Horizontal .....	104
Tabela 37 - Valores-p para regressão da deformação horizontal.....	105
Tabela 38 - Regressão para Deformação vertical de compressão no topo do subleito .....	106
Tabela 39 - Valores-p para regressão da Deformação vertical de compressão no topo do subleito .....	106
Tabela 40 - Número de repetição admissível para Estrutura 1 por pressão de enchimento de pneus .....	111
Tabela 41 - Aplicação da análise de dano cumulativo de fadiga para pressão de enchimento de pneus de 80psi.....	112
Tabela 42 - Consumo de Fadiga para estruturas com espessura de 50 milímetros.....	113
Tabela 43 - Consumo de Fadiga para estruturas com Espessura de 100 milímetros .....	114
Tabela 44 - Consumo de Fadiga para estruturas com espessura de 150 milímetros .....	114
Tabela 45 - Parâmetros analisados para correção da espessura .....	116
Tabela 46 - Exemplo da correção da espessura .....	119
Tabela 47 - Estruturas para análise do FEC .....	121
Tabela 48 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ESRS) .....	125
Tabela 49 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ESRD) .....	125
Tabela 50 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ETD).....	127
Tabela 51 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ETT) .....	128
Tabela 52 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ESRS. ....	129
Tabela 53 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ESRD. ....	130
Tabela 54 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ETD.....	131
Tabela 55 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ETT. ....	132
Tabela 56 – Comparação dos FECs para o ESRD em função da aderência .....	133
Tabela 57 - Resumo dos FECs em função da pressão de pneus e aderência na estrutura A.....	134
Tabela 58 - Distribuição de pressões não-uniforme "n-shape".....	137
Tabela 59 - Fatores de equivalência de carga para pressão não-uniforme na Estrutura A .....	139
Tabela 60 - Fatores de equivalência de carga para pressão não-uniforme na Estrutura B .....	139

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AASHO - American Association of State Highway Officials

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

AET – Autorização Especial de Trânsito

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ELSYM5 – Elastic Layered System

ESRS – Eixo Simples de Rodas Simples

ESRD – Eixo Simples de Rodas Duplas

ETD – Eixo Tandem Duplo

ETT – Eixo Tandem Triplo

FEC – Fator de Equivalência de Carga

GAMES - General Analysis of Multi-layered Elastic Systems

INVIAS – Instituto Nacional de Vias

MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

MEPADS – Mechanistic Empirical Pavement Design Software

MEPDG – Mechanistic Empirical Pavement Design Guide

PWD Malaysia – Malaysia Public Works Department

PBTC – Peso Bruto Total Combinado

SCT – Secretaria de Comunicaciones y Transportes

SIM – Stress in Motion

TSCE – Teoria do Sistema de Camadas Elásticas

USACE – United States Army Corps of Engineers

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
1.1	OBJETIVOS	20
1.2	MÉTODO DA PESQUISA	20
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>24</b>
2.1	ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM PAVIMENTOS	24
2.2	CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO	28
2.3	CARACTERÍSTICAS DOS PNEUS DE VEÍCULOS COMERCIAIS	31
2.4	PRESSÃO DE ENCHIMENTO DOS PNEUS	34
2.5	DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO PNEU-PAVIMENTO	35
2.6	FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA	42
2.7	CONDIÇÃO DE ADERÊNCIA NA INTERFACE DAS CAMADAS	47
2.8	PRESSÃO DE ENCHIMENTO DE PNEUS EM MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS	50
2.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	53
<b>3</b>	<b>PESQUISA DE CAMPO</b>	<b>55</b>
3.1	MÉTODO DE COLETA DOS DADOS	55
3.2	DADOS COLETADOS	56
3.3	RESULTADOS	57
3.3.1	Pressão de enchimento dos pneus	57
3.3.2	Sistema de calibração dos pneus	64
3.3.3	Dimensões dos pneus	65
3.3.4	Carga por eixo	68
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	69
<b>4</b>	<b>ANÁLISE ESTRUTURAL</b>	<b>72</b>
4.1	ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS	72
4.2	CARREGAMENTO E PRESSÕES DE ENCHIMENTO	73
4.3	SOFTWARE E CONDIÇÃO DE ADERÊNCIA	74
4.4	RESPOSTAS ESTRUTURAIS	75
4.5	RESULTADOS	76
4.5.1	Deflexões na superfície	76
4.5.2	Tensão horizontal de tração na fibra inferior do revestimento	77
4.5.3	Deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento	85



4.5.4	Tensão vertical de compressão no topo do subleito.....	93
4.5.5	Deformação vertical de compressão no topo do subleito .....	98
4.6	REGRESSÕES .....	102
4.6.1	Deflexão na superfície do pavimento.....	102
4.6.2	Deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento.....	103
4.6.3	Deformação vertical de compressão no topo do subleito .....	105
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	107
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DA HIPÓTESE DE MINER NA PRESSÃO DE ENCHIMENTO DOS PNEUS .....</b>	<b>109</b>
5.1	A HIPÓTESE DE MINER .....	109
5.2	MÉTODO DE ANÁLISE .....	110
5.3	RESULTADOS.....	112
5.4	CORREÇÃO DA ESPESSURA EM FUNÇÃO DA PRESSÃO DE PNEUS.....	116
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	119
<b>6</b>	<b>INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA NO CÁLCULO DOS FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA .....</b>	<b>121</b>
6.1	METODO DE ANÁLISE .....	121
6.2	FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA .....	123
6.3	RESULTADOS.....	124
6.3.1	Estrutura A.....	124
6.3.2	Estrutura B.....	128
6.3.3	Aderência .....	132
6.3.4	Distribuição não-uniforme das pressões de contato pneu-pavimento ..	136
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	144
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>146</b>
7.1	PESQUISA DE CAMPO.....	146
7.2	RESPOSTAS ESTRUTURAIS.....	147
7.3	ANÁLISE COM A HIPÓTESE DE MINER.....	149
7.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	150
7.5	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	151
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>.....</b>	<b>182</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>.....</b>	<b>203</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>.....</b>	<b>260</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As pistas experimentais da American Association of State Highway Official (atual American Association of State Highway and Transportation Official), monitoradas de outubro de 1958 até setembro de 1960, foram muito importantes para o desenvolvimento da pavimentação rodoviária. As pesquisas foram motivadas pela necessidade de entender qual era o efeito do tráfego no desempenho dos pavimentos, levando em consideração a carga por eixo e o tipo de eixo do veículo (FERNANDES JR, 1994). O monitoramento e as análises realizadas permitiram estabelecer conceitos importantes para o dimensionamento de pavimentos, como os fatores de equivalência de carga e o eixo rodoviário padrão de 8,2 toneladas e com pressão de enchimento dos pneus de 560kPa (80psi)

Os pneus de fabricação diagonal, utilizados na época das pistas experimentais da AASHO, começaram a ser substituídos na década de 70 pelos pneus radiais, os quais possuem capacidade de suportar cargas maiores, menor consumo de combustível e menor desgaste dos pneus (FERNANDES JR, 1994). Segundo Elliott, Selvam e Mun (1991), os pneus radiais representavam menos de 20% dos utilizados em caminhões em 1979; contudo, esse número mudou para 80% após 9 anos. Segundo Fernandes Jr (1994), o tipo de pneu está associado a uma pressão de enchimento suportada e como a carga é distribuída no contato pneu-pavimento.

O aumento da pressão de enchimento dos pneus resulta em uma diminuição da área de aplicação da carga, o que por sua vez aumenta os esforços atuantes principalmente na fibra inferior do revestimento asfáltico. Além disso, o aumento da pressão de inflação dos pneus resulta no acréscimo de rigidez e, conseqüentemente, nos esforços dinâmicos transmitidos ao pavimento (FERNANDES JR, 1994).

De acordo com Arshad et al. (2018), a sobrecarga utilizada em veículos é o fator principal de deterioração dos pavimentos e, como consequência, a maioria dos operadores de veículos comerciais aumentam, além do especificado pelo fabricante, as pressões de enchimento dos pneus com objetivo de prolongar a vida útil dos pneus. Ainda de acordo com os autores, a PWD Malaysia (2013) publicou um manual de dimensionamento de pavimentos rodoviários baseado em análise mecanicista, o qual requer a determinação da pressão de enchimento dos pneus de veículos pesados como um dos parâmetros de dimensionamento.

Segundo Brown (1988), com o aumento da pressão de enchimento dos pneus de caminhões, os fatores de equivalência de carga utilizados em métodos de dimensionamento de pavimentos podem sofrer alterações e os métodos de dosagem de misturas asfálticas tradicionais podem estar obsoletos. Contudo, muitos países continuam utilizando as informações obtidas nas pistas experimentais da AASHO sem levar em consideração os efeitos da variação de pressão de enchimento dos pneus resultantes do avanço da tecnologia.

A AUSTRROADS (2017) estabelece em seu manual de dimensionamento de pavimentos que as pressões de pneus dos veículos pesados devem ser consideradas entre 750kPa (107psi) e 800kPa (114psi), com base em pesquisas realizadas na Tasmânia por Chowdhury e Rallings (1994). Contudo, os autores mostraram que as pressões de enchimento dos pneus no estado da Tasmânia variam de 500kPa (71psi) a 1200kPa (171psi), o que pode ocasionar em um dano ao pavimento superior àquele considerado no dimensionamento da estrutura.

No Brasil, o método de dimensionamento de pavimentos em vigor foi desenvolvido por Souza (1979) e está descrito em DNIT (2006a). Este método considera o número de repetições de um eixo rodoviário padrão, abreviado como Número N, composto por um eixo simples de rodas duplas de 8,2 toneladas e pressão de enchimento dos pneus de 560kPa (80psi). Além disso, são utilizados os fatores de carga da United States Army Corps of Engineers (USACE) e conceitos obtidos nas pistas experimentais da AASHO. Ou seja, após 60 anos das pistas experimentais da AASHO, muitos dos parâmetros obtidos naquela época para um tráfego específico, e muito diferente do atual, continuam em utilização em projetos de pavimentação.

O avanço da tecnologia dos pneus possibilitou o aumento da pressão de enchimento, o que não está definido em projetos de pavimentos brasileiros. Franco (2007) propõem um novo método de dimensionamento de pavimentos para o Brasil, o qual está em análise pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) com o nome de Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). Contudo, embora o MeDiNa possua melhorias em sua forma de dimensionamento de pavimentos, pois considera o efeito da fadiga no revestimento, ele ainda admite pressões de enchimento dos pneus da ordem de 560kPa (80psi) para o eixo simples de rodas duplas utilizado para calibração das equações de desempenho. Além disso, o método continua considerando os fatores de equivalência de carga da USACE.

## 1.1 OBJETIVOS

A presente pesquisa visa analisar de forma detalhada a influência da pressão de enchimento dos pneus de veículos comerciais e da condição de aderência entre camadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis rodoviários.

Os **objetivos específicos** são: **1.** Verificar a influência da pressão de pneus e da condição de aderência nas respostas estruturais (tensão vertical, deformação vertical, tensão horizontal, deformação horizontal e deflexão na superfície) utilizadas em métodos de dimensionamento de pavimentos; **2.** Verificar a distribuição da pressão de enchimento dos pneus em uma rodovia de alto volume de tráfego e estudar sua influência na fadiga dos pavimentos; **3.** Propor uma forma de consideração da pressão de enchimento dos pneus ou nova pressão de referência para dimensionamento de pavimentos; **4.** Analisar outros fatores relacionados com a pressão de pneus e que podem influenciar no dimensionamento dos pavimentos.

## 1.2 MÉTODO DA PESQUISA

Este trabalho apresenta uma pesquisa bibliográfica sobre os principais fundamentos para cálculo das tensões e deformações em pavimentos, as características do tráfego e dos pneus de veículos rodoviários. A pesquisa conta com referências nacionais e internacionais a respeito do tema proposto. Além disso, a revisão bibliográfica contém um resumo de como a pressão de enchimento dos pneus é considerada em cerca de 14 métodos de dimensionamento de pavimentos.

Foram realizadas análises elástico-lineares de estruturas de pavimentos quando submetidos a diferentes pressões de enchimento dos pneus e mantendo a carga por roda constante. As análises foram realizadas no *software* mePADS – *Mechanistic Pavement Analysis and Design Software* – o qual utiliza o método das diferenças finitas para cálculo das tensões, deformações e deflexões críticas na estrutura do pavimento, além de permitir a variação de aderência entre camadas. Foram estudados 4 conjuntos de pavimentos flexíveis com a solicitação de um eixo rodoviário padrão, o eixo simples de rodas duplas com 80kN, em 7 pressões de enchimento variando de 560kPa (80psi) até 980kPa (140psi). Em cada conjunto foram modificados os parâmetros elásticos e as espessuras de uma camada em específico, mantendo constantes os parâmetros elásticos das outras camadas. Além disso, as

estruturas foram analisadas em três condições de aderência, sendo a aderência plena, aderência parcial e sem aderência na interface entre o revestimento asfáltico e a base.

Foi realizada uma pesquisa de campo para verificar a distribuição das pressões de enchimento dos pneus em uma rodovia brasileira de alto volume de tráfego. A pesquisa foi realizada na balança 1 no quilômetro 296 da Rodovia Regis Bittencourt (BR 116/SP), sob concessão da Arteris. Foram coletados os dados da pressão de enchimento de pneus de 100 veículos, totalizando 1860 pneus, e a carga por eixo de 54 veículos. Além disso, foram coletados dados sobre o uso de sistema de calibração automática dos pneus, fabricante e a dimensão dos pneus em toda a amostra.

As respostas estruturais e dados obtidos são apresentados em forma de gráficos e tabelas para avaliação dos resultados e foram elaborados com auxílio do *software* Microsoft Excel®. Foram utilizadas regressões para obter as respostas estruturais em função dos parâmetros elásticos das camadas e da pressão de enchimento dos pneus.

Após a realização da pesquisa de campo e da análise computacional em diversas estruturas de pavimentos, foi realizada uma análise de consumo de fadiga utilizando a hipótese de Miner para avaliar qual é a pressão de enchimento dos pneus que consegue representar a distribuição de campo. A análise conjunta permitiu encontrar qual é a pressão de enchimento dos pneus que consegue representar o dano acumulado de fadiga de 100%. Além disso, foi realizada uma análise para correção da espessura, sendo a correção função da espessura analisada com a pressão de enchimento dos pneus padrão.

Ao fim, foi analisada como a pressão de enchimento dos pneus, a forma de distribuição das pressões e a condição de aderência influenciam nos cálculos dos fatores de equivalência de carga empírico-mecanísticos.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Para alcançar os objetivos mencionados anteriormente, esse trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

- **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**, apresentando os objetivos, metodologia e a estrutura do trabalho.

- **CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**, este capítulo apresenta os principais estudos nacionais e internacionais realizados sobre o tema proposto. São apresentados os métodos de análise de tensões e deformações em estruturas de pavimentos, os parâmetros dos veículos, o avanço da tecnologia dos pneus que permitiu um aumento da pressão de inflação e uma análise de como a pressão de enchimento dos pneus é considerada em métodos de dimensionamento de pavimentos de outros países.
- **CAPÍTULO 3 – PESQUISA DE CAMPO**, este capítulo apresenta uma pesquisa realizada na rodovia Regis Bittencourt (BR116/SP) administrada pela Arteris, onde foram coletados dados de 1860 pneus. A análise permite identificar a variação da pressão de inflação de pneus em campo.
- **CAPÍTULO 4 – ANÁLISE ESTRUTURAL**, este capítulo apresenta uma análise de 4 conjuntos de estruturas de pavimentos com solicitação de 7 níveis de pressões de enchimento dos pneus. Esta análise permite a análise da influência do aumento da pressão dos pneus em cada resposta estrutural para diferentes parâmetros elásticos das camadas dos pavimentos.
- **CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DA HIPÓTESE DE MINER NAS PRESSÕES DE ENCHIMENTO DOS PNEUS**, este capítulo apresenta uma análise do consumo de fadiga utilizando os dados obtidos em campo e as estruturas da análise computacional, o qual permite indicar e analisar a pressão de pneus ideal para dimensionamento de pavimentos.
- **Capítulo 6 - INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA NO CÁLCULO DO FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA**, este capítulo apresenta uma análise da influência da pressão de pneus, forma de distribuição da pressão e condição da aderência no cálculo dos fatores de equivalência de carga.
- **CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO**, este capítulo apresenta as principais conclusões obtidas neste trabalho.
- **CAPÍTULO 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**, este capítulo apresenta as referências utilizadas no desenvolvimento do trabalho.
- **ANEXO A**, este anexo contém as respostas estruturais obtidas para todas as análises.

- **ANEXO B**, este anexo contém todos os dados coletados na pesquisa realizada na rodovia Regis Bittencourt.
- **ANEXO C**, este anexo contém as análises do consumo de fadiga para diferentes níveis de pressão de enchimento dos pneus.
- **ANEXO D**, apresenta as análises realizadas e as correções de espessura que foram obtidas para manter a magnitude de deformação na estrutura.

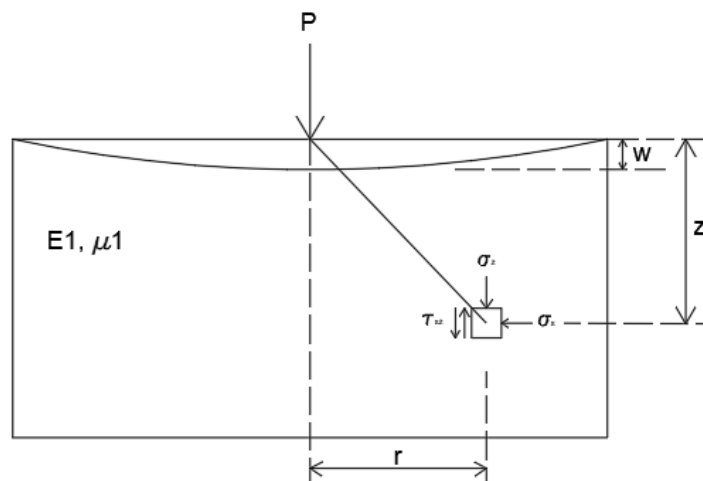
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão dos principais conceitos para o cálculo de tensões e deformações em pavimentos, as características do tráfego rodoviário, da pressão de enchimento dos pneus e como ela é considerada em métodos de dimensionamento de pavimentos. Além disso, este capítulo aborda a forma de distribuição de pressão na área de contato pneu-pavimento e conceitos para cálculo dos fatores de equivalência de carga.

### 2.1 ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM PAVIMENTOS

A primeira teoria que possibilitou o estudo da mecânica dos pavimentos foi desenvolvida por Joseph Boussinesq (1842-1929) no final do século XIX, a qual permitia o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos em um meio elástico em função da profundidade de análise ( $z$ ) e da distância radial ( $r$ ). As equações propostas por Boussinesq consideravam a aplicação de uma carga pontual ( $P$ ) em um meio semi-infinito, homogêneo, elástico e isotrópico com base na lei de Hooke generalizada, conforme Figura 1. Por considerar uma carga pontual, inicialmente as equações de Boussinesq não seriam válidas para uso em pavimentação. Contudo, as equações foram estendidas para uma carga uniformemente distribuída ( $p$ ) sobre área circular de raio  $a$ , conforme Figura 2. (BALBO, 2007).

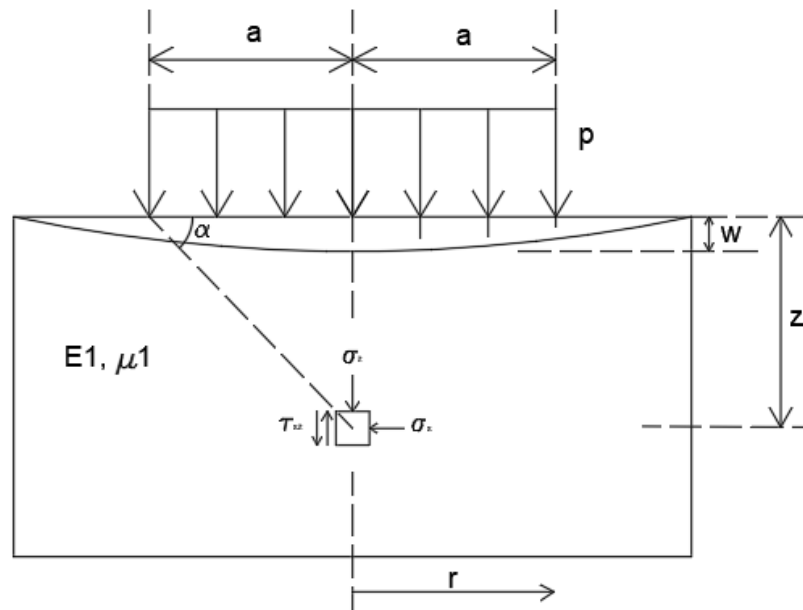
Figura 1 - Carga pontual aplicada no maciço no modelo de Boussinesq



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020. Baseado em Balbo, 2007.



Figura 2 - Carga distribuída em área circular no semiespaço homogêneo pela extensão da teoria de Boussinesq.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020. Baseado em Balbo, 2007.

A teoria proposta por Boussinesq foi utilizada pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (USACE) para extrapolações das curvas empíricas de dimensionamento de pavimentos, obtidas pelo departamento de estradas da Califórnia, para as cargas de aeronaves. Após a Segunda Guerra Mundial, a USACE formulou um método de dimensionamento de pavimentos com base em uma carga de roda simples equivalente (TURNBULL E AHLVIN, 1957), o qual leva em consideração a deflexão resultante do carregamento real em comparação com a deflexão do carregamento equivalente.

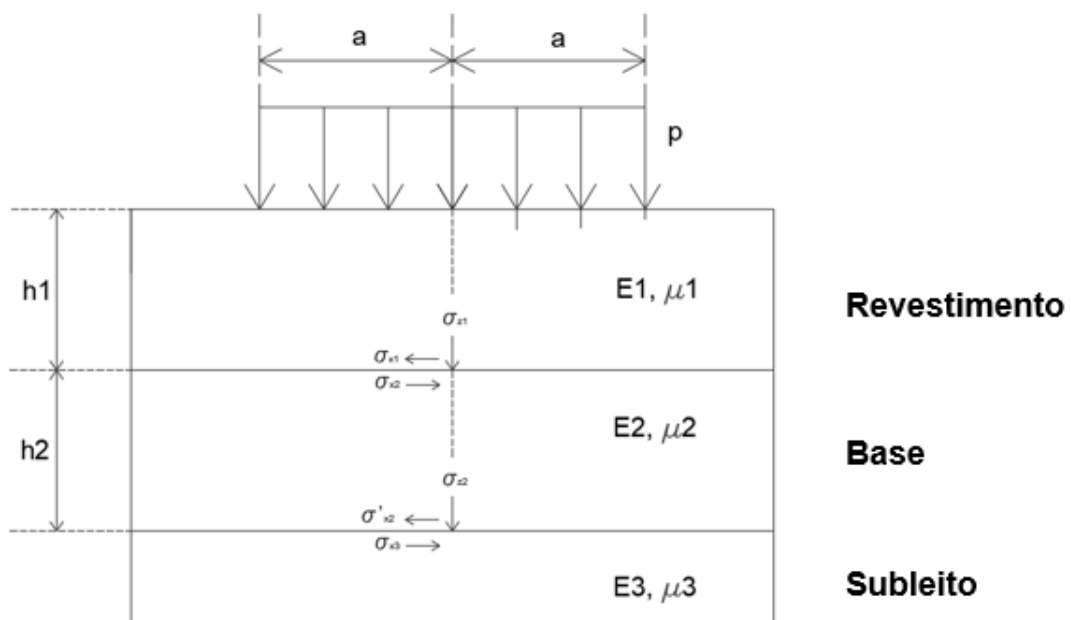
Segundo Medina e Motta (2015), as deflexões medidas em campo diferem das calculadas pela solução de Boussinesq. Isso ocorre pois o pavimento é uma estrutura constituída por camadas com diferentes módulos de resiliência, algo que não é considerado nas equações de Boussinesq.

Donald Burmister (1895-1981) foi o responsável por desenvolver um modelo matemático que permite considerar o pavimento como um sistema de camadas, sendo chamada de teoria do sistema de camadas elásticas (TSCE). A teoria considera que os materiais das camadas são elásticos, homogêneos e isotrópicos de forma que a lei de Hooke generalizada seja válida, que as camadas não possuem peso, são infinitas transversalmente e finitas na profundidade, com exceção do subleito que é tratado

como infinito em ambas as direções; as interfaces podem ou não apresentar atrito e na superfície só há tensões normais na área de carregamento (MEDINA e MOTTA, 2015).

A teoria do sistema de camadas elásticas foi publicada inicialmente para um sistema de duas camadas, sendo o revestimento e o subleito (BURMISTER, 1943), e posteriormente para um sistema de três camadas, possibilitando a análise com revestimento, base e subleito (BURMISTER, 1945). A Figura 3 ilustra o sistema de múltiplas camadas e os esforços solicitantes.

Figura 3 - Sistema de camadas proposto por Burmister



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. Baseado em MEDINA e MOTTA, 2015.

Na década de 50 e 60 diversos autores utilizaram a teoria de Burmister para criação de ábacos que facilitassem o cálculo de tensões, deflexões e deformações no pavimento, conforme descrito por Medina e Motta (2015). Contudo, com o avanço da tecnologia, hoje os cálculos podem ser realizados por meio de análises computacionais.

Para pavimentos flexíveis, as respostas estruturais são calculadas em qualquer ponto do maciço utilizando a teoria do sistema de camadas elásticas, ampliada pelo método das diferenças finitas para cinco ou mais camadas, em *softwares* como ELSYM5, MEPADS, CIRCLY e AEMC, ou por meio do método dos elementos finitos

(MEF) nos *softwares* ABAQUS, ANSYS e FEPAVE2, por exemplo. Os *softwares* citados são utilizados em diversos países nos métodos de dimensionamento de pavimentos empírico-mecanísticos, como o CIRCLY que é utilizado na Austrália no método de dimensionamento de pavimentos da AUSTRROADS (2017).

O *software* Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), desenvolvido por Franco (2007), por exemplo, permite a consideração de 2 condições de aderência na interface das camadas, sendo aderência plena ou sem aderência, e análise de comportamento elástico linear e não linear.

O *Mechanistic Empirical Pavement Design Software and General Analysis of Multi-layered Elastic Systems* (mePADS GAMES) foi desenvolvido na África do Sul e permite a variação do coeficiente de escorregamento entre 0 (aderência plena) e 1 (sem aderência), podendo considerar valores intermediários de aderência na interface das camadas (MAINA, DENNEMAN E DE BEER, 2008). Por permitir valores intermediários do coeficiente de aderência, o mePADS GAMES será utilizado nas análises desenvolvidas neste trabalho.

Em métodos empírico-mecanísticos de dimensionamento de pavimentos, as equações de fadiga que relacionam o número de repetições de carga e as solicitações do pavimento são determinadas em laboratório. Segundo Franco (2007), estas equações de fadiga necessitam de um fator de calibração entre campo e laboratório, o que caracteriza o empirismo no método. Após a calibração das equações de fadiga, as respostas estruturais obtidas no *software* são inseridas nesses modelos para determinar o número de repetições admissível do eixo solicitante.

No Brasil ainda é utilizado um método de dimensionamento semiempírico elaborado por Souza (1979), que tem como base os estudos de Turnbull, Foster e Alvin (1962) e conceitos obtidos nas pistas experimentais da AASHO. Franco (2007) desenvolveu um *software* e método de dimensionamento de pavimentos que está sob análise do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para sua implementação com o nome de Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa). O método está em período de calibração campo-laboratório e deve ser oficializado em breve.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO

O transporte rodoviário é composto por veículos de diferentes tamanhos, separados em categorias. O manual de estudos de tráfego do DNIT (2006) separa os veículos em 5 classes, sendo veículos leves, caminhões e ônibus convencionais, caminhões e ônibus longos, semirreboques e reboques, os quais apresentam conjuntos de eixos distintos em função do peso bruto total combinado (PBTC). O manual de projeto geométrico de travessias urbanas do DNIT (2010) separa os veículos em 9 classes:

- VP – Veículos leves com características semelhantes aos de automóveis, como minivans, vans, utilitários, pick-ups e outros.
- CO – Veículos comerciais rígidos de menores dimensões, não articulados. Nessa classe estão os ônibus convencionais e os caminhões de 2 eixos e 4 a 6 rodas.
- O – Veículos comerciais rígidos de maiores dimensões, não articulados. Nessa classe estão os ônibus urbanos longos e caminhões com 3 eixos.
- OR – Ônibus de longo percurso e de turismo. O comprimento é o máximo permitido para veículos não articulados e se aproxima do limite máximo legal admissível para ônibus não articulados que possuam 3º eixo de apoio direcional.
- CA – Veículos de carga articulado, compostos por uma unidade tratora (2 ou 3 eixos) tracionando um semirreboque de 3 eixos.
- BT7 – Veículos de carga articulados, composto por uma unidade tratora (3 eixos) tracionando 2 semirreboques de 2 eixos com comprimento total de 19,80 metros.
- CG – Veículos especiais para transporte de automóveis, vans, ônibus, caminhões similares, composto por uma unidade tratora (2 eixos) tracionando um semirreboque de 2 eixos.
- BT9 – Veículos de carga articulados, composto por uma unidade tratora (3 eixos) tracionando 2 semirreboques de 3 eixos com comprimento total de 25 metros.
- BTL – Veículos de carga articulados, composto por uma unidade tratora (3 eixos) tracionando por 2 semirreboques de 3 eixos com comprimento total de 30 metros.

Segundo Fernandes Jr (1994), a carga bruta total combinada não está diretamente relacionada com o dano de um pavimento, de forma que os veículos

longos não são necessariamente os mais danosos ao pavimento. O dano ao pavimento é causado pela carga por eixo e, dessa forma, veículos que distribuem melhor a carga entre os eixos são menos danosos ao pavimento, mesmo que apresentem PBTC maior.

O DNIT (2006) indica que o peso bruto total máximo dos veículos combinados longos é de 45 toneladas, contudo, algumas classes de veículos especiais podem ultrapassar esse limite desde que possuam uma autorização especial de trânsito (AET). Os eixos rodoviários são classificados em função do conjunto de eixos, tipo de rodagem e tipo de suspensão. A Figura 4 ilustra os principais eixos em circulação no Brasil, classificados em eixos simples de rodagem simples ou dupla; eixos duplos de rodagem simples, dupla ou mista; eixo tandem de rodas duplas ou rodas extralargas; eixo tandem triplo de rodas duplas ou rodas extralargas. A Tabela 1 apresenta os valores estabelecidos pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) para os limites de carga em função dos eixos e tipo de rodagem.

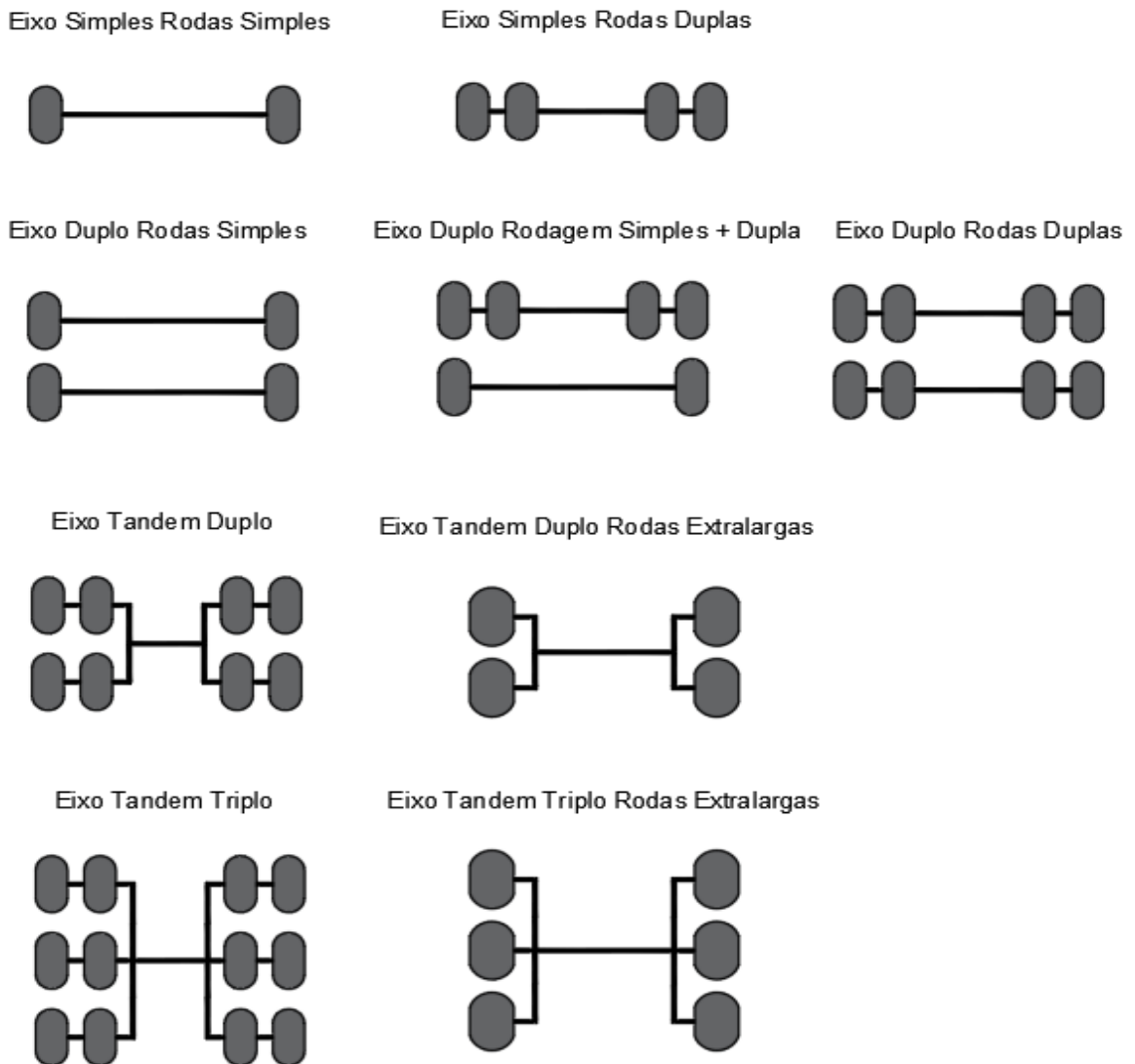
De acordo com a resolução nº 62/98 do CONTRAN, as rodagens extralargas de medida 385/65R22.5 são consideradas como eixos com rodagem dupla, e são permitidas apenas para reboques e semirreboques. Segundo Wang e Anderson (1981) os eixos tandem duplo apresentam configuração fixa e, com isso, distribuem a carga de forma igualitária. Contudo, os eixos tandem triplo possuem dois eixos fixos e um eixo que pode ficar suspenso, sendo geralmente modificações de um eixo tandem duplo com um eixo extra na frente ou atrás do eixo tandem. Dessa forma, a distribuição de carga em um eixo tandem triplo pode variar muito (WANG e ANDERSON, 1981).

Segundo Gillespie et al. (1992), a sobrecarga que resulta da má distribuição de carga em eixos tandem afeta o desempenho dos pavimentos, principalmente quanto à fadiga dos revestimentos asfálticos, devido a relação exponencial entre carga e fadiga. Controlar apenas a carga do conjunto de eixo, sem levar em consideração a distribuição desta entre os eixos, pode ser um problema para o desempenho dos pavimentos e resultará em defeitos de forma prematura na estrutura (FERNANDES JR, 1994).

Como observado na Tabela 1, os eixos com suspensão tandem apresentam diferenças na distância entre eixos e, segundo Fernandes Jr (1994), os espaçamentos menores entre eixos são menos danosos do que espaçamentos maiores, embora nos métodos de dimensionamento de pavimentos todos os eixos tandem sejam tratados

da mesma forma. Segundo Gillespie et al. (1992), dependendo da velocidade do veículo pode ocorrer uma superposição de efeitos na resposta estrutural dos pavimentos, e isso ocorre devido ao espaçamento entre eixos tandem e do tempo de recuperação elástica.

Figura 4 - Tipos de eixo em circulação no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. Baseado no CONTRAN (Resoluções nº 12/98, nº 62/98, nº 184/05 e nº 210/2006)

Tabela 1 - Limites de carga por eixo estabelecido pelo CONTRAN

Conjunto de Eixos	Rodagem	Distância entre eixos (m)	Carga (kgf)	Carga + Tolerância 10% (kgf)
Isolados	Simple	-	6000	6600
Isolados	Duplo	-	10000	11000
Duplo	Simple	-	12000	13200
Duplo (Tandem)	Duplo	>1,20 e até 2,40	17000	18700
Duplo (Não tandem)	Duplo	>1,20 e até 2,40	15000	16500
Duplo (Especial)	Simple + Duplo	1,20	9000	9680
Duplo (Especial)	Simple + Duplo	>1,20 e até 2,40	13500	14520
Duplo	Extralargo	>1,20 e até 2,40	17000	18280
Tripla (Tandem)	Dupla	>1,20 e até 2,40	25500	27420
Tripla	Extralargo	>1,20 e até 2,40	25500	27420

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020. Baseado no CONTRAN (Resoluções nº 12/98, 184/05, nº 62/98, nº 210/2006)

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DOS PNEUS DE VEÍCULOS COMERCIAIS

Segundo Fernandes Jr (1994), os pneus são responsáveis por transmitir a carga dos eixos para o pavimento por meio do contato pneu-pavimento, e devem garantir o conforto ao rolamento e a segurança do tráfego.

Os pneus são fabricados com uma combinação de borracha e fibras de aço, no qual a borracha utilizada é composta por polímeros viscoelásticos e formam a banda de rodagem, os ombros e as paredes laterais do pneu (STEYN e ILSE, 2015). Segundo Wong (2001), o elemento estrutural mais importante do pneu é a sua carcaça, a qual é composta por um conjunto de camadas e cintas flexíveis de alto módulo de elasticidade envoltos em uma matriz de borracha com módulo de elasticidade reduzido. As cintas são fabricadas com tecidos naturais, sintéticos ou metálicos e ancorados em torno do talão do pneu.

Segundo Wong (2001), a forma de fabricação da carcaça do pneu é importante para definição das características e do comportamento do pneu ao rolamento. A direção das cintas do pneu é definida por ângulos chamados de *crown angle*, o qual é o ângulo entre a posição da cinta e a linha central da circunferência do pneu. Quando o *crown angle* é reduzido, o pneu apresenta um bom comportamento nas curvas. Por outro lado, se o ângulo for alto, o pneu apresenta mais conforto ao rolamento.

Inicialmente, os pneus eram construídos no formato diagonal, chamado também de convencional.

Segundo Wong (2001), os pneus diagonais apresentam duas ou mais telas com cintas em camadas de direções opostas. Quando este pneu é solicitado por uma força lateral, a banda de rodagem é afetada pela flexão dos flancos e provoca uma deformação na superfície de contato pneu-pavimento, o que é uma das principais causas do desgaste dos pneus e da alta resistência ao rolamento.

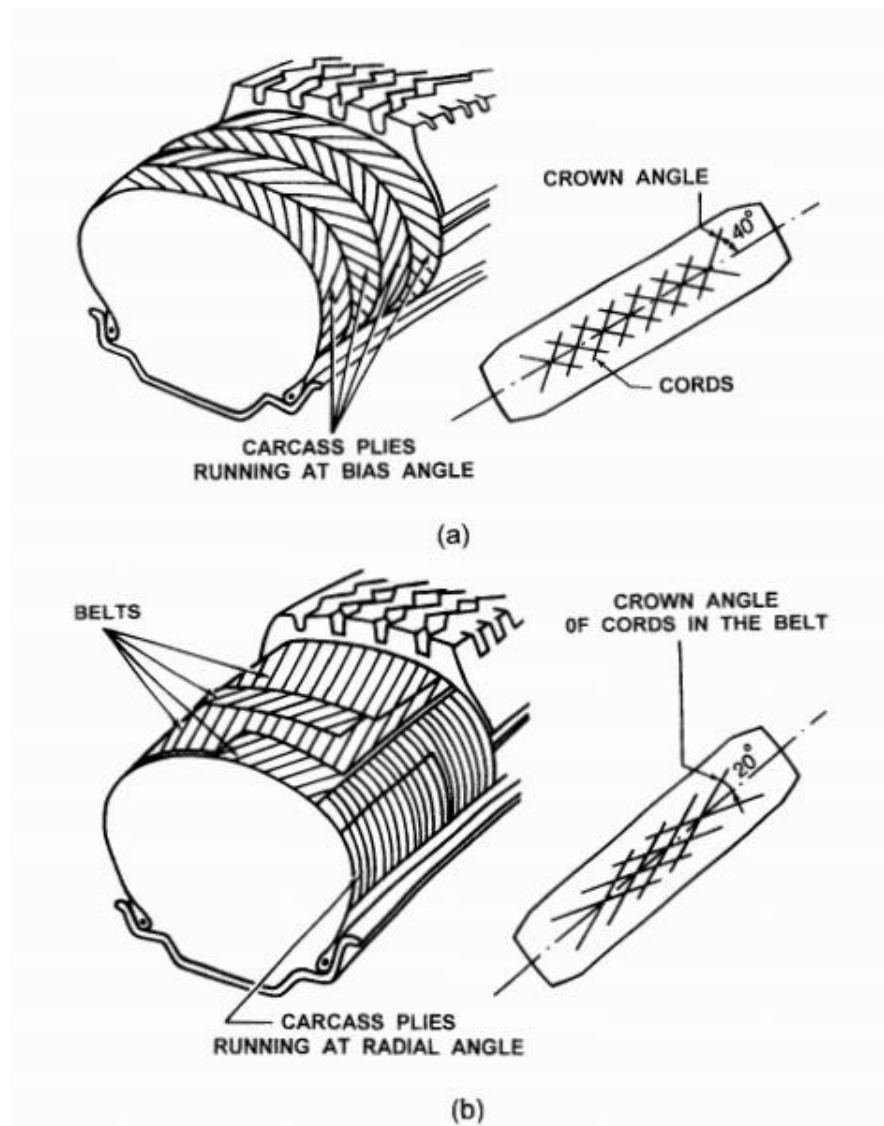
Com o avanço da tecnologia, os métodos de fabricação de pneus foram modificados e surgiram os pneus radiais, os quais apresentam cordões paralelos entre os talões dos pneus. Segundo Wong (2001), os pneus radiais foram introduzidos no mercado pela Michelin em 1948 e hoje são predominantes nos veículos de carga e de passageiros. Na área da banda de rodagem dos pneus radiais, são colocadas cintas com elevado módulo de elasticidade. Dessa forma, quando os pneus radiais são solicitados por uma força lateral, apenas os flancos sofrem flexão e a banda de rodagem se mantém estável.

Segundo Fernandes Jr (1994), os pneus diagonais começaram a ser substituídos pelos pneus radiais na década de 70, pois estes apresentam menor consumo de combustível e menor desgaste. Segundo Wong (2001), a vida útil de pneus radiais pode ser 2 vezes maior do que pneus diagonais e a pressão de contato é mais uniforme. A Figura 5 ilustra a diferença de construção entre pneus diagonais (a) e radiais (b).

A nomenclatura utilizada para descrição dos pneus é praticada internacionalmente, na qual o primeiro número indica a largura dos pneus em milímetros, o segundo número indica a porcentagem da largura que corresponde à altura da lateral do pneu, a letra indica o tipo de construção, sendo R para radiais, e o último número indica o diâmetro interno do pneu em polegadas. Por exemplo, um pneu com nomenclatura de 295/80 R22.5 corresponde a um pneu de 295 milímetros de largura, 236 milímetros de altura (80% da largura) com construção radial e diâmetro interno de 22,5 polegadas. Em alguns casos a altura do pneu não é especificada e a largura é fornecida também em polegadas, como ocorre em um pneu 12R22.5, por exemplo. Existem também pneus chamados de extralargos, os quais apresentam largura superior a 356 milímetros.



Figura 5 – (a) Construção de pneus diagonais; (b) Construção de pneus radiais



Fonte: WONG, 2001.

Segundo a resolução 62/98 do CONTRAN, os pneus extralargos podem ocupar o lugar apenas de rodas duplas de eixos tandem de reboques ou semirreboques, seguindo a mesma carga máxima por eixo. Elliott, Selvam e Mun (1991) compararam o desempenho dos pneus extralargos com as rodas duplas de eixos tandem e observaram que estes apresentam maior facilidade de manutenção, menor custo, economia de combustível devido a menor resistência ao rolamento e menor desgaste. Contudo, os autores observaram ainda que os pneus extralargos são mais propensos a estourar, sendo então identificados como menos duráveis.

Segundo Sebaaly (1992), foi realizada uma pesquisa pela *Pennsylvania State University Pavement Durability Facility* com patrocínio da *Goodyear Tire & Rubber*

*Company* com objetivo de investigar os efeitos da pressão de enchimento de pneus, tipo de pneus e carregamento por eixo nas respostas de pavimentos flexíveis. Os pesquisadores observaram que pneus extralargos resultam em deformações de tração maiores na fibra inferior de revestimentos asfálticos.

Segundo Gillespie et al. (1992), os pneus extralargos, quando comparado com as rodas duplas de eixos tandem, são de 4 a 7 vezes mais danosos aos pavimentos em consideração as trincas de fadiga, e de 1,5 a 2 vezes mais danosos em consideração à deformação permanente na trilha de roda. Além disso, os autores relatam que o eixo simples dianteiro, carregado com 55kN, pode ser mais danoso que os eixos simples de rodas duplas carregados com 90kN. Segundo Fernandes Jr (1994) os pneus extralargos deveriam ser utilizados em eixos dianteiros com mais de 50kN e menos de 70kN, seguindo o exemplo do que é utilizado nos Estados Unidos da América.

## **2.4 PRESSÃO DE ENCHIMENTO DOS PNEUS**

A pressão de enchimento está relacionada com a forma com que a carga de um pneu é distribuída no contato com o pavimento. Durante as pesquisas das pistas experimentais da AASHO (atual AASHTO), que ocorreram na década de 50, as pressões de enchimento dos pneus variavam de 517kPa a 552kPa (75 a 80psi), típicas de pneus diagonais (FERNANDES JR. 1994).

Desde a década de 70 os pneus radiais começaram a substituir os diagonais, devido as vantagens como melhoria no consumo de combustível, menor desgaste e outros. O Montana Department of Highways (1984) realizou uma pesquisa com 2365 pneus de caminhões, o qual mostrou que 81% dos pneus eram de construção radial e com pressão de inflação média de 735kPa (105psi), sendo que apenas 11% dos veículos apresentavam pressão de pneus maiores do que 770kPa (110psi).

Pesquisa publicada pelo *Illinois Department of Highways* (1986) mostrou uma pressão média de 679kPa (97 psi), sendo que a máxima pressão de pneus obtida em campo foi de 910kPa (130psi) e a mínima de 364kPa (52 psi). Middleton, Roberts e Chira-Chavala (1986) realizaram uma pesquisa de campo no estado do Texas para identificar o aumento da pressão de enchimento dos pneus de caminhões. Os autores investigaram 1486 caminhões e observaram diferenças significativas entre as

pressões dos pneus radiais e diagonais. Para veículos de transporte de madeira serrada, por exemplo, os autores observaram para pneus diagonais uma pressão de inflação média de 574kPa (82psi) e para pneus radiais uma pressão de inflação média de 700kPa (100psi).

DeCabooter (1988) realizou uma pesquisa com 6780 pneus em Wisconsin e observou que, já naquela época, as pressões de pneus excediam as pressões utilizadas nas pistas experimentais da AASHO em até 210kPa (30psi). Além disso, o estudo realizado em Wisconsin mostrou que 12% da amostra apresentava pneus com pressão de inflação de 10psi acima do recomendado pelo fabricante.

No Brasil, Albano (1998) realizou uma pesquisa de campo no posto de pesagem da rodovia RS/240, em uma amostra de 1815 pneus, e obteve uma pressão de enchimento dos pneus média, para eixos traseiros, de 756kPa (108psi). Arshad et al. (2018) investigaram mais de 2300 pneus em rodovias da Malásia, os autores observaram pressões de enchimento dos pneus maiores do que 840kPa (120psi).

Segundo Fernandes Jr (1994), com o aumento da pressão ocorre a diminuição da área de aplicação da carga, o que por sua vez aumenta os esforços atuantes principalmente na fibra inferior do revestimento asfáltico. O aumento da pressão de enchimento dos pneus proporciona algumas vantagens, como a redução do desgaste dos pneus e a possibilidade de transportar cargas maiores. Como observado por Arshad et al. (2018), alguns operadores aumentam a pressão de enchimento para compensar o acréscimo de cargas, o que reflete em danos excessivos aos pavimentos.

## **2.5 DISTRIBUIÇÃO DA PRESSÃO DE CONTATO PNEU-PAVIMENTO**

Os modelos matemáticos apresentados no capítulo 2.1, como Burmister (1943), consideram a carga como sendo distribuída em uma área uniforme e circular na qual a pressão de contato é igual a pressão de enchimento dos pneus. Contudo, na realidade a pressão de contato entre pneu-pavimento depende da carga por eixo, da pressão de enchimento dos pneus, do estado de conservação dos pneus, da velocidade e do atrito pneu-pavimento (AL-QADI E WANG, 2009; HANSEN et al., 1989).

Segundo Tielking e Roberts (1987), os pneus suportam o carregamento do eixo por meio da impressão de uma área de contato entre o talão do pneu e a superfície do pavimento. Os autores declaram que a mudança da carga por eixo tem pouca influência na variação da pressão de enchimento, contudo, a mudança da carga por eixo ou pressão de enchimento tem grande influência no contato pneu-pavimento e a área de impressão de contato é alterada significativamente. Segundo Haas e Papagiannakis (1986), a pressão de enchimento dos pneus e a pressão de contato afetam principalmente as respostas estruturais próximas da superfície, e dessa forma, implicam em trincas por fadiga precoces em revestimentos asfálticos.

Hansen et al. (1989) desenvolveram um modelo estatístico para previsão da área de contato de pneus diagonais e radiais em função da carga por eixo e da pressão de enchimento. O modelo apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,94, e está expresso na Equação 2.1. Dessa forma, a área experimental (AE) é função da área circular (AC), em polegada quadrada.

$$AE = 0,289 + 1,063 \cdot AC - 0,002 \cdot AC^2 \quad (2.1)$$

A Tabela 2 apresenta os valores da área experimental utilizando a Equação 2.1 de Hansen et al. (1989) em função das pressões de enchimento dos pneus e da área circular. A área de contato experimental é maior que a área circular, por este modelo, apenas em pressões de enchimento superiores a 910kPa (130psi) quando mantida a carga por roda.

Tabela 2 - Área de contato em função da área circular para diversas pressões.

<b>Carga (lbf)</b>	<b>Pressão (psi)</b>	<b>AC (in<sup>2</sup>)</b>	<b>AE (in<sup>2</sup>)</b>
4400	70	62,86	59,20
4400	80	55,00	52,70
4400	90	48,89	47,48
4400	100	44,00	43,19
4400	110	40,00	39,61
4400	120	36,67	36,58
4400	130	33,85	33,98
4400	140	31,43	31,72

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020, baseado no modelo de HANSEN et al., 1989.

Segundo Tielking e Roberts (1987), o contato vertical entre pneu-pavimento não é uniforme devido a rigidez à flexão da estrutura do pneu. Hansen et al. (1989) relatam que os pneus radiais tendem a apresentar uma área de contato mais uniforme em comparação aos pneus diagonais, a qual se manifesta devido as laterais de pneus radiais serem menos rígidas do que a dos pneus diagonais.

De Beer, Fisher e Kannemeyer (2004), De Beer e Fisher (2002) e De Beer, Fisher e Jooste (1997) realizaram pesquisas a respeito da pressão de contato dos pneus utilizando um sistema de medição em movimento – *Stress in Motion (SIM)*, na qual a Figura 6 ilustra as células de carga que medem cargas verticais, laterais e longitudinais durante a passagem do pneu. As pesquisas em vários tipos de carregamentos permitiram observar que a área de contato é mais retangular quando a pressão de enchimento é baixa, e mais circular quando a pressão de enchimento é alta.

Figura 6 - Sistema SIM para determinação da pressão de contato



Fonte: BEER, FISHER e KANNEMEYER, 2004

Segundo Steyn e Ilse (2015), análises com o sistema SIM indicam que a distribuição da tensão de contato depende da carga transportada no eixo e da pressão de enchimento dos pneus. Os autores relatam que quando o pneu está

sobrecarregado, ou com pressão de inflação abaixo do recomendado pelo fabricante, a tensão de contato vertical aumenta nas laterais do pneu. Contudo, um pneu com cargas baixas ou com pressão de enchimento elevada apresenta uma pressão de contato maior na parte central do pneu.

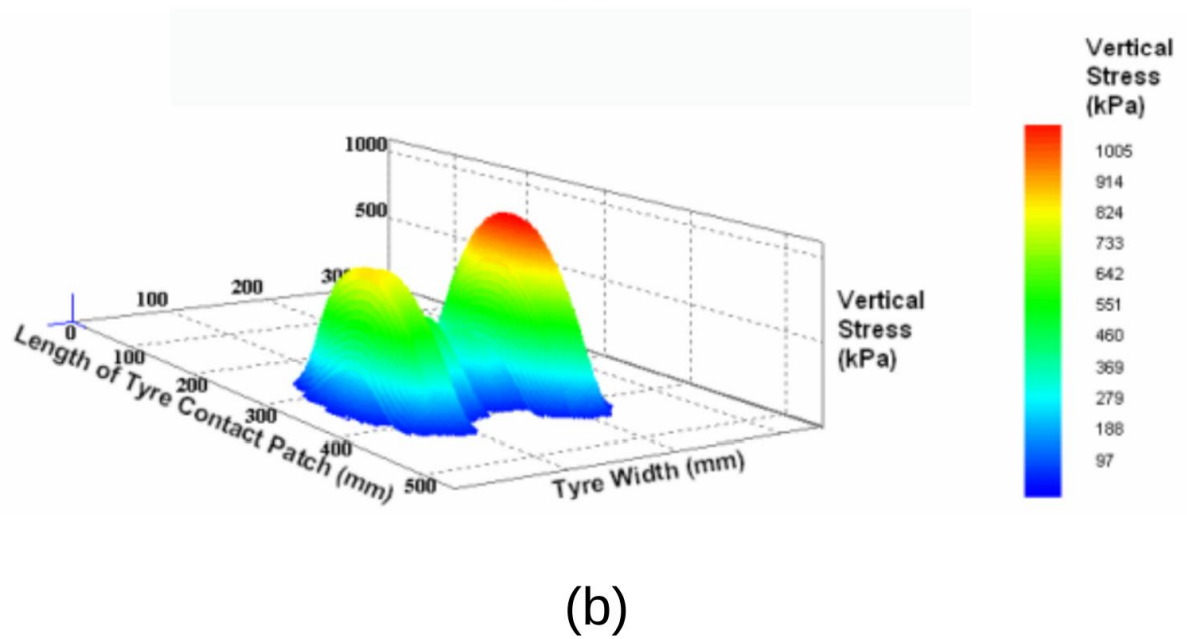
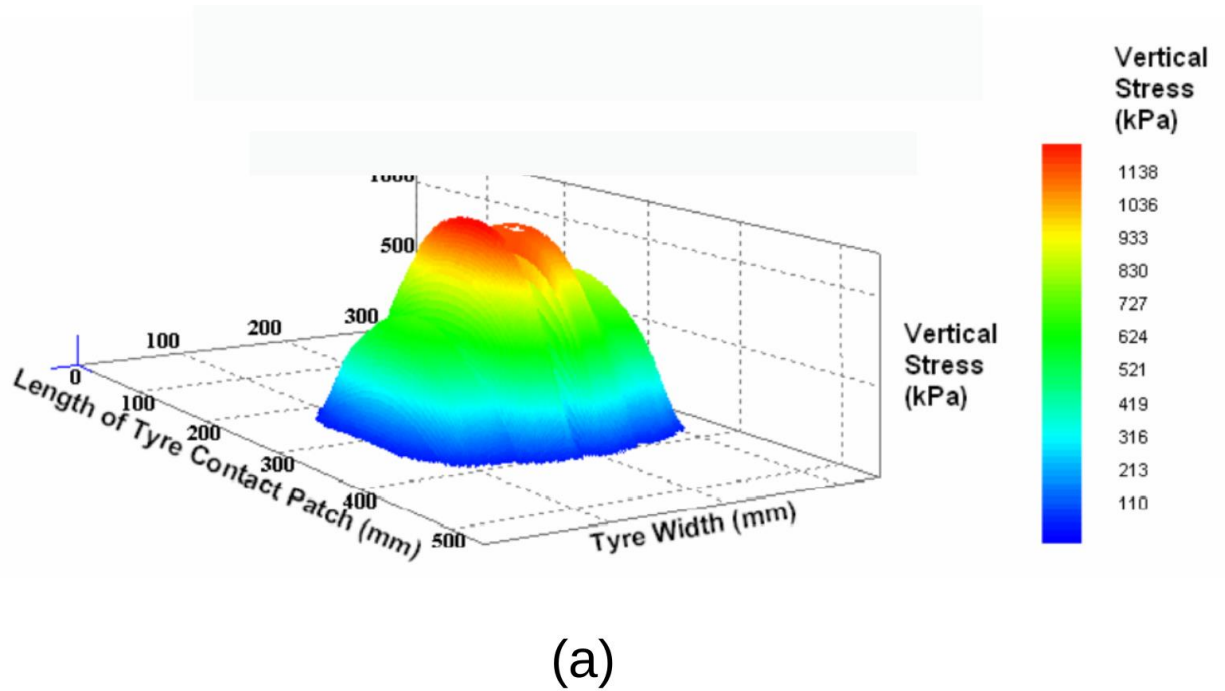
Segundo Muniandy et al. (2014), a área de contato real entre o pneu e o pavimento é significativamente influenciada pela banda de rodagem do pneu, pela carga transportada e pela pressão de enchimento dos pneus. Os autores relatam que 51% das variações obtidas na área de contato ocorrem devido a carga transportada, 37% devido a banda de rodagem dos pneus e 9% devido à pressão de enchimento dos pneus.

Segundo Huang (2004), a pressão de contato é maior do que a pressão de enchimento dos pneus quando esta é baixa, pois as laterais do pneu estão em compressão. Dessa forma, a soma das forças verticais devido a parede lateral do pneu e pressão de pneus devem ser iguais a força devido à pressão de contato. Contudo, a pressão de contato é menor para pressões de enchimento de pneus altas, pois as laterais do pneu estão em tração.

Segundo Pezo et al. (1989), Hansen et al. (1989) e Marshek et al. (1985), os pneus diagonais com altas cargas por eixo possuem pressões de contato maiores nas extremidades dos pneus. Para pneus radiais, a pressão de contato é maior na região central do pneu e, ao aumentar a carga por eixo, mas mantendo a pressão de enchimento dos pneus constante, ocorre um acréscimo de pressão nas laterais do pneu, com tendência de manter uma pressão constante na área de contato.

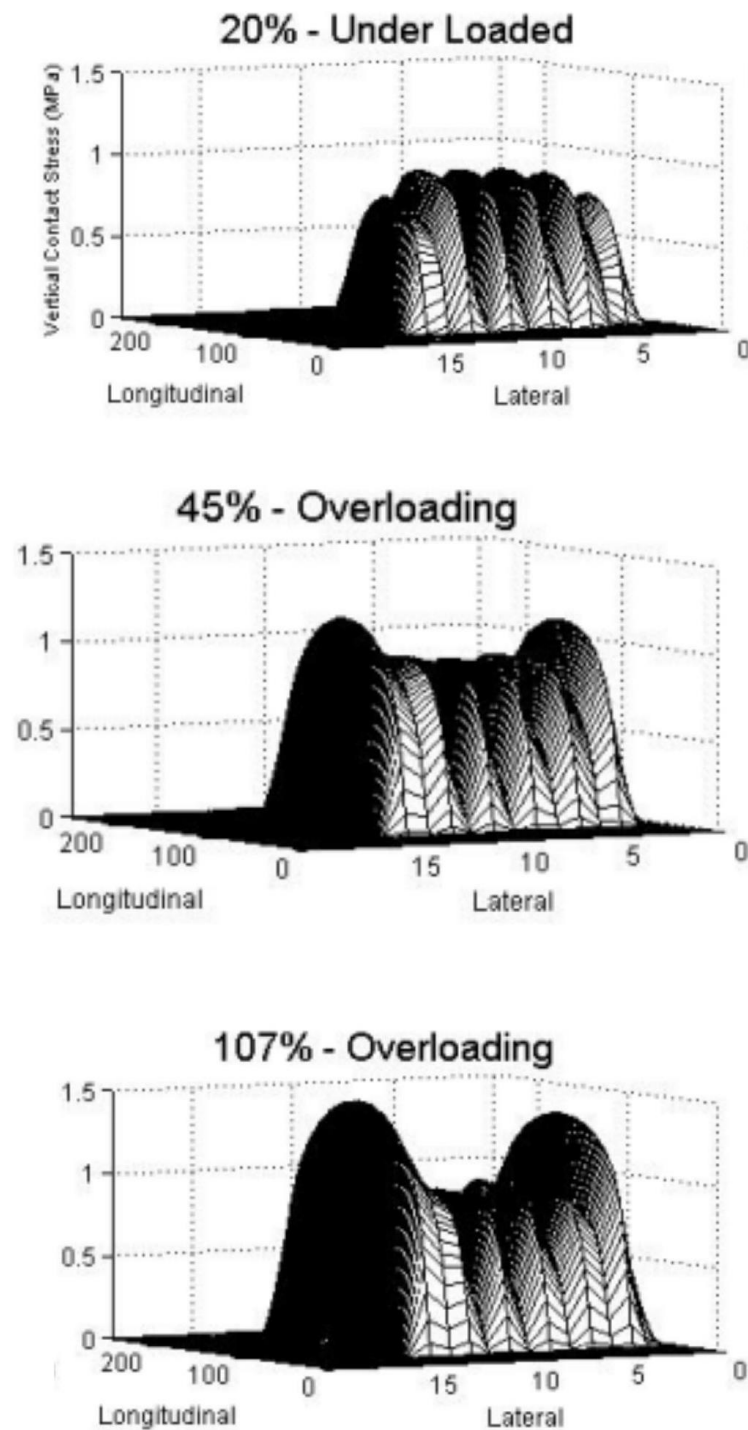
Segundo De Beer (2006) e De Beer et al. (1997; 1999; 2002 e 2004), para dimensionamento de pavimentos é importante levar em consideração a forma de distribuição de pressões na área de contato. Os autores citados mencionam que quando o pneu apresenta a pressão de enchimento e carga recomendada pelo fabricante, as pressões são maiores no centro do pneu e menores nas bordas (n-shape). Por outro lado, quando a pressão ou carga por eixo está fora do recomendado pelo fabricante, as pressões são maiores na borda do pneu (m-shape). A Figura 7 ilustra as duas formas de distribuição de pressões na área de carregamento. A Figura 8 ilustra a mudança da forma de distribuição de pressões em função do carregamento e mantendo a pressão de pneus constante.

Figura 7 - Distribuição de tensões verticais na área de contato pneu-pavimento. (a) n-shape; (b) m-shape.



Fonte: DE BEER et al., 2004.

Figura 8 - Variação da forma de distribuição de tensões verticais em função da sobrecarga e mantendo a pressão de enchimento dos pneus constante



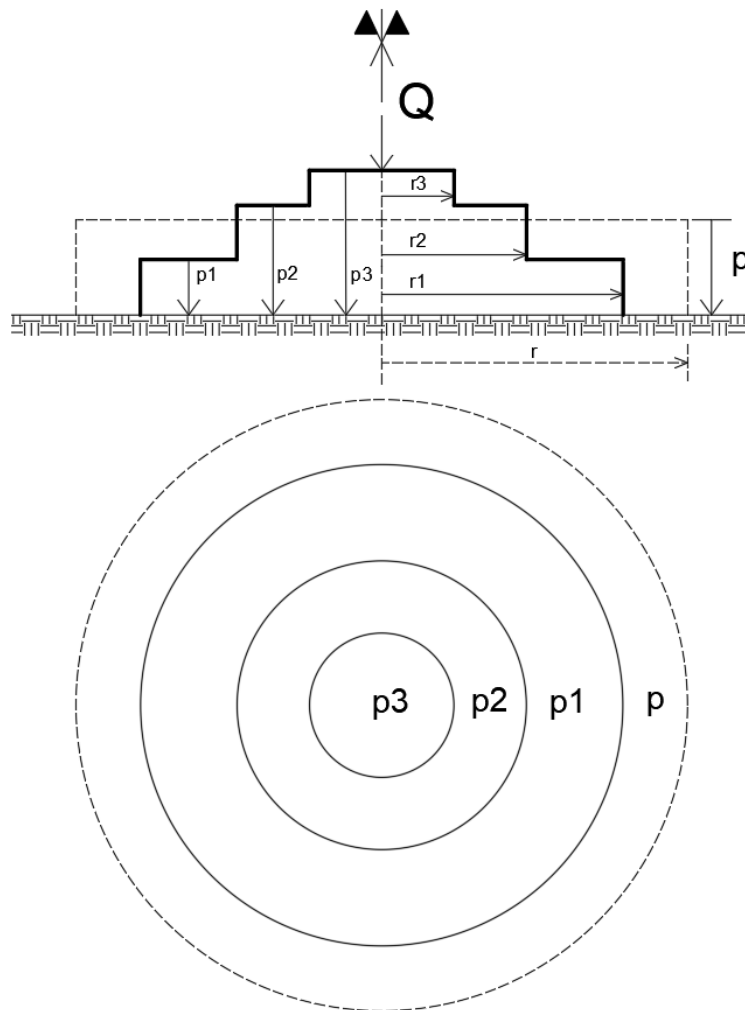
Fonte: DE BEER et al., 2004.

Segundo Fernandes Jr (1994), a análise de tensões e deformações na estrutura do pavimento considerando uma distribuição não-uniforme da pressão de contato pneu-pavimento, resulta em um acréscimo nos fatores de equivalência de carga.



Segundo De Beer (2006), as soluções baseadas em modelos elásticos lineares são mais sensíveis a forma de aplicação de carga e a direção de tensões do que outros parâmetros relacionados ao campo. Fernandes Jr (1994) e De Beer (2006), utilizam um método simplificado para levar em consideração a forma da distribuição de pressões em análises de camadas elásticas. O método simplificado considera cilindros concêntricos com diferentes níveis de pressão de pneus em cada anel, sendo as distâncias radiais ajustadas para que a somatória de forças aplicadas por cada anel seja igual a carga considerada no pneu ( $Q$ ). A Figura 9 ilustra a distribuição “n-shape” considerada no Capítulo 6 desse trabalho.

Figura 9 - Método simplificado para pressões não-uniformes



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021. Baseado em Fernandes Jr, 1994.

Huhtala e Pihlajamaki (1990) estudaram a forma de distribuição de pressões em pneus lisos. Os autores mencionam que as pressões no centro de pneus radiais são 20% maiores do que as pressões de enchimento em 980kPa (140psi), 35% maiores do que as pressões de enchimento em 735kPa (105psi) e 60% maiores do que as pressões de enchimento em 490kPa (70psi). Embora o estudo tenha sido realizado para pneus lisos, Huhtala e Pihlajamaki (1990) indicam que o comportamento de pneus sulcados é semelhante ao observado em pneus lisos.

Segundo Huang (2004), como os veículos pesados tendem a apresentar pressões de enchimento de pneus altas, a pressão de contato como sendo igual a pressão de inflação dos pneus é considerada uma abordagem segura.

Vale, Pais e Pereira (2011) modelaram por meio do método dos elementos finitos pneus com sulcos com pressão uniforme, pneus com sulcos com distribuição de pressões não-uniformes e pneus sem sulcos com pressão uniforme. Os autores observaram que os pneus com sulcos possuem resultados semelhantes para a análise da estrutura, independente do modo de distribuição de pressões, e pneus sem sulcos com pressão uniforme resultam em tensões relativamente maiores. Segundo Fernandes Jr (1994), a forma de distribuição de pressões dos pneus diagonais e radiais resultam em respostas estruturais semelhantes no pavimento. Contudo, o autor menciona que em comparação com pressões de pneus uniformes, a distribuição não-uniforme resulta em deformações maiores na estrutura do pavimento.

## **2.6 FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA**

Segundo Fernandes Jr (1994), o fator de equivalência de carga consiste no número de repetições de uma solicitação qualquer capaz de produzir uma deterioração de mesma intensidade que a produzida pela solicitação padrão. O fator de equivalência de carga é o conceito mais utilizado nos métodos de dimensionamento de pavimentos (HUDSON e HAAS, 1990).

No Brasil, o cálculo do número N é realizado utilizando fatores de equivalência de carga do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE), conforme descrito em DNIT (2006). Segundo Fernandes Jr (1994), os fatores de equivalência de carga da USACE consideram como critério de dano a máxima deflexão no topo do subleito, com objetivo de prevenir ocorrências de deformações permanentes nas trilhas de rodas. Além disso, consideram válidas as hipóteses de

Boussinesq para o cálculo de deflexões, ou seja, o pavimento é assumido como um meio elástico, homogêneo, isotrópico e que a pressão de contato é uniformemente distribuída. Os fatores de equivalência de carga da USACE (DNIT, 2006a) são calculados de forma simplificada em função da carga por eixo ( $p$ ) em toneladas conforme as Equações 2.2 a 2.7.

ESRS e ESRD	0-8	$FEC_{USACE} = 2,0782 \cdot 10^{-4} \cdot p^{4,0175}$	(2.2)
	$\geq 8$	$FEC_{USACE} = 1,8320 \cdot 10^{-6} \cdot p^{6,2542}$	(2.3)
ETD	0-11	$FEC_{USACE} = 1,5920 \cdot 10^{-4} \cdot p^{3,472}$	(2.4)
	$\geq 11$	$FEC_{USACE} = 1,5280 \cdot 10^{-6} \cdot p^{5,484}$	(2.5)
ETT	0-18	$FEC_{USACE} = 8,0359 \cdot 10^{-5} \cdot p^{3,3549}$	(2.6)
	$\geq 18$	$FEC_{USACE} = 1,3229 \cdot 10^{-7} \cdot p^{5,5789}$	(2.7)

O método de dimensionamento da AASHTO (1993) considera os fatores de equivalência de carga obtidos nas pistas experimentais da AASHO (atual AASHTO), os quais levam em consideração a redução de serventia do pavimento em função do número de ciclos de carga. Os fatores de equivalência de carga da AASHTO (1993) podem ser calculados em função da carga por eixo ( $Q$ ) em kN, conforme as Equações 2.8 a 2.10.

$$\text{ESRS, ESRD} \quad FEC_{AASHTO} = \left(\frac{Q}{80}\right)^{3,998} \quad (2.8)$$

$$\text{ETD} \quad FEC_{AASHTO} = \left(\frac{Q}{154}\right)^{4,052} \quad (2.9)$$

$$\text{ETT} \quad FEC_{AASHTO} = \left(\frac{Q}{222}\right)^{3,987} \quad (2.10)$$

O método de dimensionamento de pavimentos utilizado na Austrália, descrito pela AUSTROADS (2017), consiste em um método empírico-mecanístico para cálculo do consumo de fadiga pela hipótese de Miner (1945). Contudo, os fatores de equivalência de carga são utilizados no método australiano para dimensionamento de pavimentos com revestimento asfáltico delgado. O modelo do fator de equivalência de carga considera uma relação de quarta potência, conforme Equações 2.11 a 2.14.

$$\text{ESRS} \quad FEC_{AUSTRoads} = \left(\frac{Q}{53}\right)^4 \quad (2.11)$$

$$\text{ESRD} \quad FEC_{AUSTRoads} = \left(\frac{Q}{80}\right)^4 \quad (2.12)$$

$$\text{ETD} \quad FEC_{AUSTRoads} = \left(\frac{Q}{135}\right)^4 \quad (2.13)$$

$$\text{ETT} \quad FEC_{AUSTRoads} = \left(\frac{Q}{182}\right)^4 \quad (2.14)$$

Os fatores de equivalência de carga descritos foram obtidos de forma empírica, ou seja, são válidos para situações específicas de tráfego, espessura de camadas, módulos de resiliência de camadas etc. Segundo Fernandes Jr (1994), com a evolução tecnológica dos veículos, muitas das hipóteses utilizadas para cálculo dos fatores de equivalência de carga clássicos não são mais válidas, como a pressão de enchimento. Além disso, o autor relata que a pressão de enchimento dos pneus eleva os fatores de equivalência de carga. Segundo a *Asphalt Institute* (2008), os fatores de equivalência de carga devem ser corrigidos em função das pressões de enchimento dos pneus típicas de uma rodovia analisada.

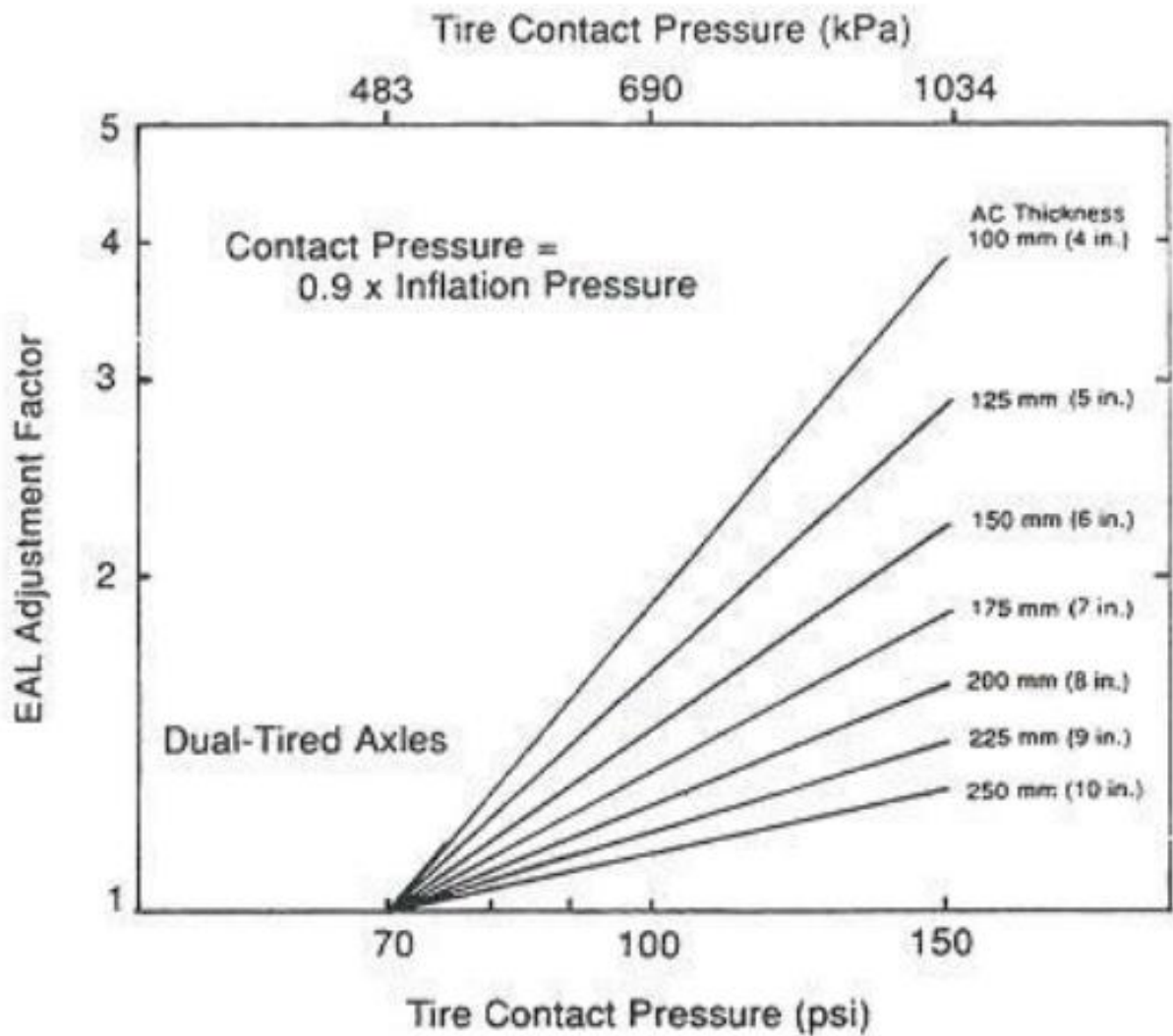
A Figura 10 ilustra o fator de correção proposto pela *Asphalt Institute* (2008), o qual é função da pressão de contato pneu-pavimento e da espessura do revestimento asfáltico. O manual MS-1 da *Asphalt Institute* (2008) é utilizado como referência no *Manual de Carreteras do Ministério de Transportes y Comunicaciones do Peru* (2013). O método em questão requer a análise da distribuição de pressões de enchimento dos pneus em campo, sendo a pressão de contato pneu-pavimento assumida como 90% da pressão de enchimento dos pneus.

Os métodos de dimensionamentos de pavimentos da AASHTO (2008), AUSTRoads (2017), FAA (2021) e outros, levam em consideração as diferentes configurações do tráfego e características específicas da estrutura do pavimento. O dimensionamento de pavimentos é função do consumo de fadiga da estrutura, dado pela relação entre o número de repetições admissível e o número de repetições solicitante.

O consumo de fadiga consiste na análise de dano contínuo linear, proposto por Miner (1945), o qual assume que um determinado nível de tensão é linearmente proporcional à relação entre o número de ciclos reais ( $n_i$ ) e o número de ciclos admissíveis ( $N_i$ ) para levar um material à ruptura (CERVO, 2004). Dessa forma, um

eixo com carga específica resulta em um certo nível de dano para a estrutura do pavimento, consumindo parte de sua resistência à fadiga conforme Equação 2.15. A somatória do dano gerado por diferentes eixos levará então à ruptura do material se consumir toda sua resistência à fadiga, conforme Equação 2.16.

Figura 10 - Correção do fator de equivalência de carga em função da pressão de contato



Fonte: Asphalt Institute, 2008.

$$CF = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (2.15)$$

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_n}{N_n} \leq 1 \quad (2.16)$$

O número de repetições admissível ( $N_i$ ) é função da estrutura e das características tecnológicas dos veículos rodoviários, como a forma da área de contato e a pressão de enchimento dos pneus. O conceito utilizado nos métodos da AASHTO (2008), FAA (2021), AUSTRROADS (2017) consiste em um fator de equivalência de carga empírico-mecanístico, o qual está associado ao tipo de solicitação e o tipo de estrutura. Segundo Fernandes Jr (1994), além da hipótese de Miner, os fatores de equivalência de carga empírico-mecanísticos requerem o conhecimento de um modelo de previsão de desempenho do pavimento.

Os modelos de desempenho de pavimentos possuem relação com uma das respostas estruturais ( $\rho$ ), verificando o número de repetições admissíveis na estrutura, conforme Equação 2.17. Com isso, o fator de equivalência de carga empírico-mecanístico pode ser obtido pelo quociente do número de repetições do eixo padrão e número de repetições de um eixo qualquer com características “i” e carga “j”, conforme Equação 2.18. O FEC pode ser apresentado também pelo quociente da resposta estrutural do eixo qualquer e do eixo padrão elevado ao coeficiente b, conforme Equação 2.19. O coeficiente b está diretamente relacionado com a forma de deterioração considerada, ao tipo de ensaio e estrutura.

$$N = a \cdot \left(\frac{1}{\rho}\right)^b \quad (2.17)$$

$$FEC = \frac{Np}{Nij} \quad (2.18)$$

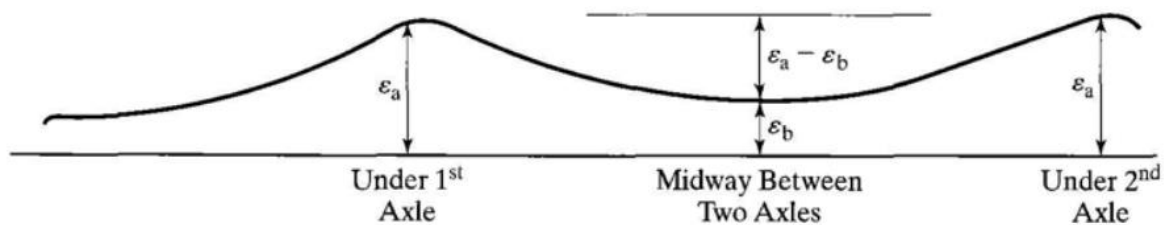
$$FEC = \left(\frac{\rho_{ij}}{\rho_p}\right)^b \quad (2.19)$$

Segundo Ali e Tayabji (1998), o tráfego é caracterizado nas análises mecánísticas pelo número de passagens de cada eixo ou combinações de eixos. Segundo Kawa, Zhang e Hudson (1998), diversos métodos foram desenvolvidos com base mecánística para estimar a vida útil dos pavimentos por intermédio dos fatores

de equivalência de carga. Papagiannakis et al. (1991) descrevem alguns métodos para estimar os fatores de equivalência de carga in situ e com base mecânica.

Segundo Huang (2004), no eixo tandem duplo, o primeiro dano deve ser considerado como a deformação causada pela passagem do primeiro eixo ( $\epsilon_a$ ). O segundo dano, por sua vez, deve ser considerado como a diferença entre a deformação do primeiro eixo ( $\epsilon_a$ ) e a deformação entre a passagem dos dois eixos ( $\epsilon_b$ ), conforme Figura 11. A dano total causado pelo eixo tandem duplo será a soma dos danos unitários de cada eixo. O mesmo ocorre para os eixos tandem triplo, considerando a recuperação estrutural entre as passagens dos eixos de um mesmo grupo. Os autores descrevem ainda que caso o dano entre as passagens do eixo seja de sinal oposto ao primeiro (compressão para tração ou vice-versa), deve-se considerar a total recuperação, ou seja, que a deformação entre eixos é nula. ALI e TAYABJI (1998) consideram essa hipótese para que o dano de um eixo tandem, por exemplo, não seja maior que 2 vezes o dano de um eixo isolado.

Figura 11 - Consideração de múltiplos eixos em análise mecânica



Fonte: Huang, 2004.

## 2.7 CONDIÇÃO DE ADERÊNCIA NA INTERFACE DAS CAMADAS

A maioria dos métodos de dimensionamento de pavimentos assumem que as camadas são perfeitamente aderidas, o que confere um comportamento monolítico para a estrutura. O DER-SP (2005) e DNIT (2006) indicam que a pintura de ligação e a imprimção asfáltica tem como objetivo promover aderência na interface de duas camadas asfálticas e entre base e camada asfáltica, respectivamente.

Hakim (2002), Raab e Partl (2004), Hariyadi (2007), Sutanto (2009), e outros autores têm reportado defeitos em pavimentos como consequência da condição de aderência da interface de camadas.

Segundo White (2015), a condição de aderência da interface de camadas é influenciada por fatores como temperatura, condição da interface, taxa de imprimação e cura, qualidade dos materiais, textura, carregamento, sujeira e outros.

Segundo Raab e Partl (2009), o tráfego rodoviário implica em um efeito positivo para a aderência das camadas de pavimentos que foram bem projetados e construídos. Contudo, para casos de reabilitação de pavimentos ou pavimentos antigos, o aumento da condição de aderência não pode ser esperado, principalmente se a camada de revestimento estiver muito danificada. Além disso, rodovias com alto volume de tráfego pesado podem sofrer uma redução da aderência nas camadas inferiores do pavimento.

Chun et al. (2015), analisaram a influência da variação da condição de aderência entre camadas mediante métodos computacionais por elementos finitos e em pistas de teste. Os autores tiveram uma boa correlação entre os dados de campo e as análises desenvolvidas, mostrando a importância da condição de aderência para o desempenho dos pavimentos.

Hariyadi, Aurum e Subagio (2013), indicam que a condição de aderência apresenta grande influência nas respostas estruturais do pavimento. Os autores mencionam que a consideração de uma aderência plena no dimensionamento de pavimentos flexíveis não é apropriada e pode levar a estrutura à falha. Hariyadi e Utami (2015) relatam que muitas vezes o dimensionamento de pavimentos é realizado assumindo uma condição de aderência plena, mas que na realidade a interface apresenta uma aderência variando entre totalmente aderido e não aderido.

Segundo Guo, Wang e Zhong (2016), a maioria dos métodos de dimensionamento assumem a condição de aderência da interface como totalmente aderida ou não aderida. Contudo, a qualidade do material de imprimação influencia nesse parâmetro, podendo observar variações na condição de aderência. Os autores observaram que a bacia de deflexões possui boa correlação com a condição de aderência das interfaces, podendo ser utilizada para análise deste parâmetro.

Segundo Zulkifili e Sutanto (2018) a interface entre camadas é representada por uma camada delgada, na qual as tensões de cisalhamento na interface causam um deslocamento horizontal proporcional, conforme a lei Constitutiva de Goodman. A



Equação 2.20 apresenta a lei constitutiva de Goodman, na qual  $K_s$  é o módulo de reação do cisalhamento horizontal na interface,  $\Delta U$  é o deslocamento horizontal e  $\tau$  é a tensão de cisalhamento na interface.

$$\tau = K_s \cdot \Delta U \quad (2.20)$$

Ainda segundo Zulkifili e Sutanto (2018), em *softwares* de análise mecânica, a aderência entre camadas do pavimento é dada pelo conceito de elasticidade de cisalhamento horizontal (AK), conforme Equação 2.21, o qual é definido como o inverso do módulo de reação do cisalhamento horizontal na interface ( $K_s$ ). O parâmetro AK pode ser convertido no coeficiente de escorregamento, conforme Equação 2.22, o qual varia de 0 para uma aderência plena a 1 para uma interface sem aderência. O coeficiente de escorregamento é função do parâmetro AK, do coeficiente de poisson ( $\mu$ ), do módulo de elasticidade (E) e do raio de aplicação da carga (a). Os autores mencionam que o pior desempenho da estrutura do pavimento é observado quando ocorre uma falha na aderência entre as camadas de revestimento e base, com redução de até 98% da vida útil.

$$AK = \frac{\text{Deslocamento Horizontal relativo da camada (m)}}{\text{Tensões de cisalhamento na interface (N/m}^2\text{)}} \quad (2.21)$$

$$\alpha = \frac{AK}{AK + \frac{1 + \mu}{E} \cdot a} \quad (2.22)$$

Segundo Santos (2018), a condição de aderência na interface das camadas possui maior influência na durabilidade do pavimento quanto à fadiga de camadas asfálticas e camadas cimentadas. O autor relata a importância de considerar o efeito da condição aderência no dimensionamento de pavimentos e em etapas de manutenção.

Segundo Yang et al. (2020), uma interface sem aderência pode reduzir em até 80% a vida útil da estrutura, sendo comum a redução de aproximadamente 40%. Os autores relatam ainda que o aumento de solicitações do tráfego resulta em uma redução da condição de aderência.

Como a condição de aderência possui grande influência na vida útil das estruturas de pavimentos flexíveis, conforme observado pelos autores citados, este trabalho também analisará a influência deste parâmetro nas respostas estruturais em conjunto com a pressão de enchimento dos pneus.

## **2.8 PRESSÃO DE ENCHIMENTO DE PNEUS EM MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS**

Muitos dos métodos de dimensionamento de pavimentos utilizam como referência as pistas experimentais da AASHO e seus respectivos fatores de equivalência de carga. Estes fatores de equivalência de carga, contudo, são referentes a uma época em que os pneus apresentavam construção diagonal e, por consequência, pressões de enchimento de pneus menores do que aqueles que são encontrados hoje nas rodovias.

No Egito, Motaleb (2007) realizou uma investigação de campo em rodovias e aferiu a pressão de inflação em 1618 pneus. Dessa forma o autor observou pressões de enchimento de pneus variando de 650kPa (93psi) a 987kPa (141psi), com média de 847kPa (121psi) e desvio padrão de 93,45kPa (13,35psi). Motaleb (2007) relata que os fatores de equivalência de carga, devido ao aumento da pressão de enchimento dos pneus, podem ser 2 vezes maiores que os fatores das pistas experimentais da AASHO para eixos simples de rodas duplas e até 3 vezes maiores para eixos tandem. O autor recomenda para análises mecânicas no Egito a pressão de enchimento dos pneus de 910kPa (130psi).

Na Austrália, Chowdhury e Rallings (1994) realizaram pesquisas no estado da Tasmânia e relataram pressões de enchimento de pneus variando de 500 (71psi) a 1200kPa (171psi). Os autores inspecionaram 1021 pneus e observaram as maiores frequências entre 103 (725kPa) e 107psi (750kPa). No método de dimensionamento oficial da AUSTROADS (2017) é utilizado como referência a pesquisa de CHOWDHURY e RALLINGS (1994) para recomendar o uso de pressões de enchimento de 107psi (750kPa) a 114psi (800kPa) em análises mecânicas e dimensionamentos.

Na África do Sul, o método de dimensionamento oficial da *South African National Roads Agency* (2013) utiliza como referência a pesquisa de Theyse (2011), onde o autor recomenda uma pressão de enchimento de pneus de 650kPa (93psi).

Contudo, o manual da *South African National Roads Agency (2013)* indica que o valor de 750kPa (107psi) é o mais utilizado para análises mecánísticas na África do Sul.

Na Europa, o *French Pavement Design Manual* e o método utilizado na Espanha consideram o eixo rodoviário padrão como o eixo simples de rodas duplas com uma carga de 130kN e uma pressão de contato pneu pavimento de 662kPa (94psi). No *English Pavement Design Method* é considerado o eixo rodoviário padrão como um eixo simples de rodas simples com 40kN por roda e pressão de contato dos pneus de 560kPa (80psi) (PEREIRA e PAIS, 2017).

Nos Estados Unidos da América, o *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG)* foi desenvolvido pela *American Association for State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2008)* em conjunto com a *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)* e a *Federal Highway Administration (FHWA)*. A AASHTO (2018) indica em seu manual de dimensionamento de pavimentos que a pressão de enchimento de pneus de 840kPa (120psi) foi utilizada para calibração das equações de desempenho e, por conta disso, sugere que seja utilizado também esta pressão em análises e dimensionamentos de pavimentos. Contudo, o método indica que caso a pressão de pneus seja conhecida, então esta deve ser utilizada no dimensionamento da estrutura.

Embora o MEPDG seja um método oficial desenvolvido nos EUA, alguns estados americanos não adotam este método para dimensionamento de pavimentos. Na Florida, por exemplo, o *Flexible Pavement Design Manual* da *Florida Department of Transportation (FDOT, 2018)* utiliza o método da AASHTO (1993). Neste método é utilizado o conceito de número estrutural e a queda de serventia do pavimento como critério de dimensionamento de pavimentos. Dessa forma, intrinsecamente o método da Florida utiliza as pressões de enchimento de pneus que foram definidas nas pistas experimentais da AASHO. O FDOT (2018) indica que o MEPDG não foi incorporado na última atualização do manual devido as modificações que serão realizadas nas equações de desempenho do método da AASHTO (2008).

Segundo Alves (2016), o método utilizado em Portugal para dimensionamento de pavimentos consiste em um modelo empírico-mecanístico semelhante da metodologia proposta pela SHELL (1978) e com algumas diretrizes do manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária de Portugal (JAE, 1995), como o período de projeto e as estruturas propostas para pré-dimensionamento. Segundo

Alves (2016) a pressão de enchimento dos pneus considerada para análise mecânica é de 689kPa (98psi).

No Canada, o *Pavement Design and Rehabilitation Manual* do *Ontario Ministry of Transportation* (2013) indica métodos empíricos e empírico-mecanísticos que são utilizados em Ontario. Um dos métodos empíricos tem como base observações de seções de pavimentos que foram construídas em Ontario na década de 40. As observações e ensaios realizados nessas estruturas permitiram estabelecer critérios empíricos para dimensionamento. Outro método empírico utilizado é o método da AASHTO (1993), o qual utiliza como critério de dimensionamento a redução da serventia do pavimento. Segundo o *Ontario Ministry of Transportation* (2013), o método de dimensionamento empírico-mecanístico da AASHTO (2008) está em um processo de calibração para as condições de Ontario. Embora o manual de dimensionamento de Ontario não mencione a pressão de enchimento de pneus que será utilizada nas análises e na calibração, por utilizar o MEPDG é provável o uso e recomendação de pressão de pneus na ordem de 840kPa (120psi).

Na Colômbia, o método proposto pelo Instituto nacional de vias da Colômbia (INVIAS, 1998) foi elaborado com base no método da AASHTO (1993), ou seja, leva em consideração o eixo rodoviário padrão e os fatores de equivalência de carga com base na redução de serventia do pavimento. O manual da INVIAS (1998) apresenta também diferentes estruturas de pavimentos em função do clima como alternativa de dimensionamento.

No México, a Direção Geral de Serviços Técnicos da Secretaria de Comunicações e Transportes da República Mexicana (SCT, 2011) indica estruturas de pavimentos flexíveis com base no método do Instituto de Engenharia da Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM), e estruturas de pavimentos rígidos com base no método da AASHTO (1993). No método mexicano, o tráfego é convertido em passagens de um eixo rodoviário padrão e, segundo Corro, Magallanes e Prado (1981) e SCT (2011), com pressão de enchimento dos pneus de 570kPa (81psi).

No Peru, o método de dimensionamento de pavimentos descrito no *Manual de Carreteras* do *Ministerio de Transportes y Comunicaciones do Peru* (2013) leva em consideração o eixo rodoviário padrão com base no método da AASHTO (1993). Contudo, o método peruano considera no cálculo do número de repetições do eixo rodoviário padrão um fator de correção em função da espessura do revestimento e da

pressão de enchimento considerada no dimensionamento, o qual foi proposto pela *Asphalt Institute* (2008).

No Brasil, o método descrito no manual de dimensionamentos do DNIT (2006) foi desenvolvido por Souza (1979) com base no método de dimensionamento de pavimentos proposto por Turnbull, Foster e Alvin (1962). O método considera o fator de equivalência de carga da USACE, no qual o dano total é avaliado em relação as deflexões no topo do subleito. O método descrito pelo DNIT (2006) não informa qual é a pressão de enchimento dos pneus, contudo, por tratar-se de um método de dimensionamento proposto inicialmente na década de 60, a pressão de enchimento dos pneus pode ser considerada de 490kPa (70psi) a 560kPa (80psi). No estado de São Paulo, o método de dimensionamento do DER SP (2006) sugere que a verificação mecânica da estrutura do pavimento seja realizada com a aplicação de quatro pontos de carga de 20kN e com pressão de contato pneu-pavimento de 560kPa (80psi).

Ainda no Brasil, o método proposto por Franco (2007), e que está em processo de calibração pelo DNIT com o nome de MeDiNa – Método de dimensionamento Nacional –, consiste em um método empírico-mecânico que leva em consideração tanto a deformação de compressão no topo do subleito, como também as trincas de fadiga que resultam da deformação horizontal na fibra inferior do revestimento. Segundo Franco e Motta (2020), o eixo rodoviário padrão é o eixo utilizado em análises e dimensionamentos de estruturas de pavimentos no Brasil. Os autores indicam que a calibração dos modelos de fadiga do método MeDiNa se baseiam na comparação da evolução da área trincada com o número estimado de repetições do eixo rodoviário padrão, com 80kN de carga e 560kPa (80psi) de pressão de enchimento dos pneus.

## **2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO**

Conforme observado no capítulo 2.8 desse trabalho, muitos países ainda utilizam o método da AASHTO (1993) como critério de dimensionamento de pavimentos, o que reflete ainda no uso do eixo rodoviário padrão de 8,2 toneladas e aproximadamente 560kPa (80psi) de pressão de enchimento de pneus.

Dentre os métodos apresentados de dimensionamento de pavimentos, muitos sequer citam qual é a pressão de contato pneu-pavimento que deve ser considerada

para uma análise mais aprofundada, o que dificulta uma análise mecânica para verificação da capacidade estrutural do pavimento. Além disso, alguns métodos continuam sugerindo a verificação mecânica com a pressão de enchimento característica de pneus diagonais, que apresentam pressões de inflação menores do que pneus radiais.

Contudo, no MEPDG (AASHTO, 2008) as equações de desempenho para dimensionamento de pavimentos foram calibradas com pressões de enchimento dos pneus de 840kPa (120psi). Motaleb (2007) realizou investigações de campo no Egito para verificar a distribuição das pressões de enchimento dos pneus e, com isso, sugere para o dimensionamento de pavimentos naquele país a pressão de pneus de 910kPa (130psi). Motaleb (2007) relata que um método de considerar a pressão de enchimento dos pneus em dimensionamentos é necessário devido a influência deste parâmetro do veículo na estrutura.

Ou seja, alguns pesquisadores e órgãos responsáveis têm adaptado seus métodos de dimensionamento, empregando pressões de enchimento dos pneus condizentes com aquelas observadas em campo em seus países. É recomendável que os métodos de dimensionamento adotados no país considerem nas equações de desempenho a calibração e o dimensionamento de pavimentos também em função da pressão de enchimento dos pneus.

Com isso, nos capítulos subsequentes são realizadas análises da influência da pressão de enchimento dos pneus em diversas estruturas de pavimentos e verificado, com base na distribuição de pressões de enchimento de pneus em rodovias do Brasil, um método de consideração deste parâmetro em dimensionamentos.

### **3 PESQUISA DE CAMPO**

A análise de campo apresentada neste capítulo tem como objetivo verificar a efetiva distribuição das pressões de pneus que são utilizadas atualmente nos diferentes tipos de eixos de veículos comerciais. Por meio dos dados coletados, é possível verificar se as pressões consideradas em análises mecanicistas, e no dimensionamento de pavimentos no Brasil, condizem com a realidade.

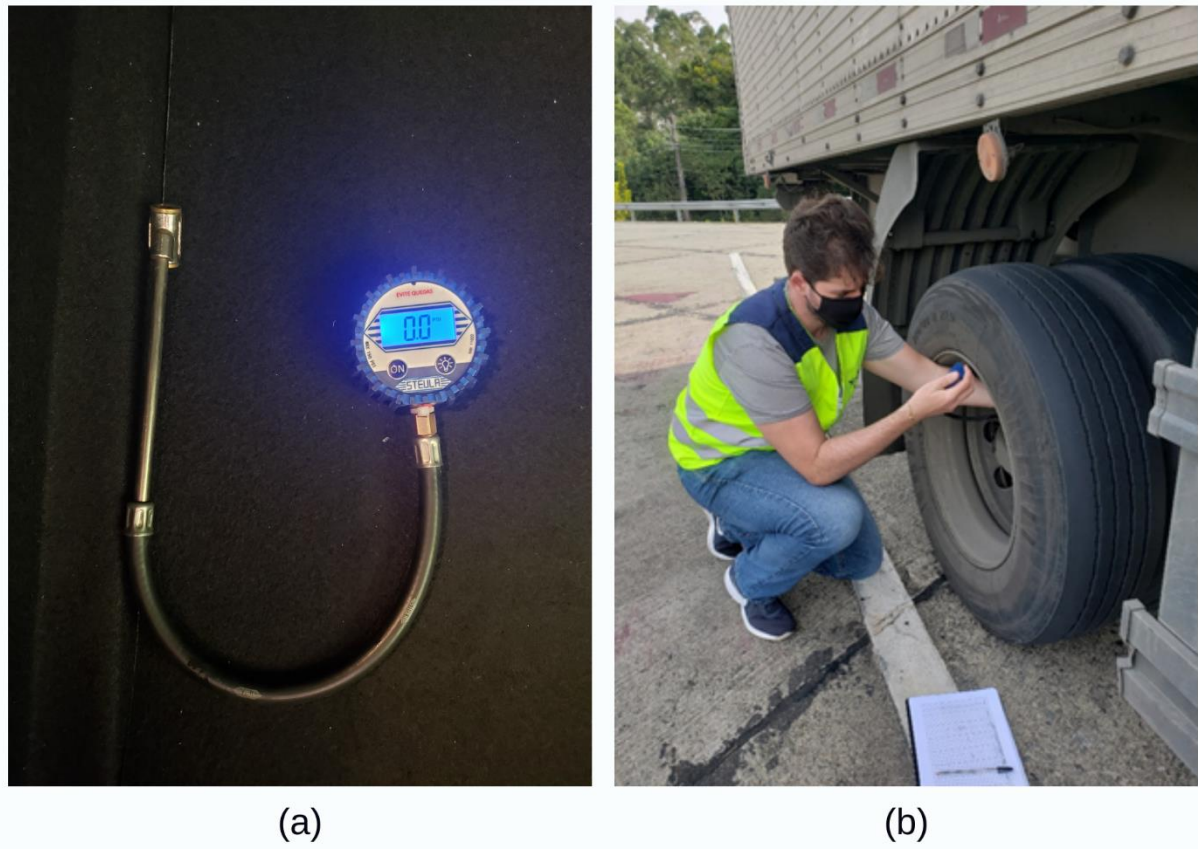
#### **3.1 MÉTODO DE COLETA DOS DADOS**

A pesquisa de campo foi realizada no posto de pesagem do quilômetro 296 da Rodovia Regis Bittencourt (BR116/SP), sentido Curitiba, administrada pela concessionária Arteris e que faz ligação entre os estados de São Paulo e Paraná. Os dados foram coletados nos dias 25 e 29 de junho de 2020 e nos dias 3 e 10 de julho de 2020, com auxílio dos funcionários da concessionária responsável.

A pressão de enchimento dos pneus foi aferida com a utilização de um manômetro digital da marca STEULA modelo MS27 DIG 2 para veículos pesados, o qual consiste em um modelo profissional certificado pelo INMETRO com capacidade de aferir pressões de 0 a 150psi, precisão nominal de 0,1psi e erro máximo de 2psi, conforme Figura 12a. O manômetro consiste em um painel digital acoplado em uma mangueira com bico, o qual é colocado na válvula do pneu e pressionado para acionar a medição. Dessa forma, a pressão exercida na mangueira é apresentada no painel digital, conforme Figura 12b.

Durante o período de coleta dos dados, a fiscalização na balança estava temporariamente suspensa devido à pandemia do Covid-19. Contudo, foi possível conduzir os caminhões para o pátio da área de pesagem e aferir a pressão de todos os pneus com a permissão do motorista. Os veículos eram encaminhados para a balança por meio do sistema convencional de pesagem e, dessa forma, era sinalizado ao motorista para a entrada no pátio onde ocorria a aferição da pressão de enchimento em todos os pneus dos veículos. A coleta de dados ocorreu em uma amostra de 100 veículos.

Figura 12 - (a) Manômetro digital; (b) Aferição da pressão de enchimento nos pneus de um ESRD



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 3.2 DADOS COLETADOS

Durante os dias da pesquisa de campo, foram coletados os dados de pressão de enchimento dos pneus por tipo de eixo, existência ou não de sistema automático de calibração e equalização da pressão de enchimento, dimensão dos pneus, marca do pneu e a carga por eixo em parte da amostra analisada, conforme ANEXO B.

Da amostra de 100 veículos, foi possível aferir a pressão de enchimento em 1551 pneus de um total de 1860, sendo que 309 pneus apresentaram problemas na válvula. Os dados da marca, dimensão dos pneus e a existência ou não de um sistema para manter a pressão de enchimento foram coletados nos 1860 pneus. A carga por eixo foi medida em 54 veículos, totalizando 168 eixos e realizada pela balança do posto de pesagem.



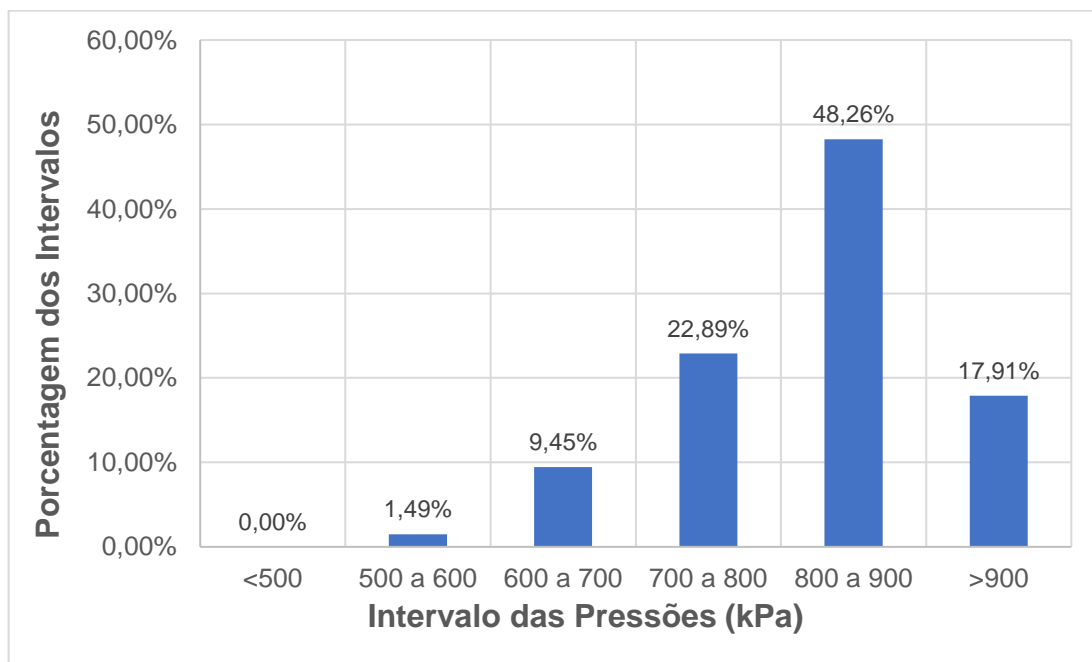
### 3.3 RESULTADOS

Os resultados estão divididos em 4 categorias que foram analisadas na pesquisa de campo, a saber: pressão de enchimento dos pneus, sistema de calibração dos pneus, dimensões do pneu e carga por eixo.

#### 3.3.1 Pressão de enchimento dos pneus

Dentre os 100 veículos da amostra, a pressão de inflação foi computada em 1551 pneus e, com isso, foi possível estudar a variação da pressão por eixo analisado. Em eixos simples de rodas simples (ESRS), direcional ou não, foram aferidos 201 pneus de um total de 208 pneus, no qual a pressão mínima obtida foi de 554,40kPa (80,2psi) e a pressão máxima foi de 1005,90kPa (143,70psi). A média das pressões aferidas foi de 823,17kPa (117psi) e o desvio padrão do ESRS é de 92,07kPa (13,35psi). Os dados foram separados em intervalos com incrementos de 100kPa (14psi), no qual observa-se que 48,26% das pressões aferidas variam de 800kPa (114psi) a 900kPa (128psi). A Figura 13 ilustra a distribuição das pressões de enchimento dos pneus por intervalo no eixo ESRS.

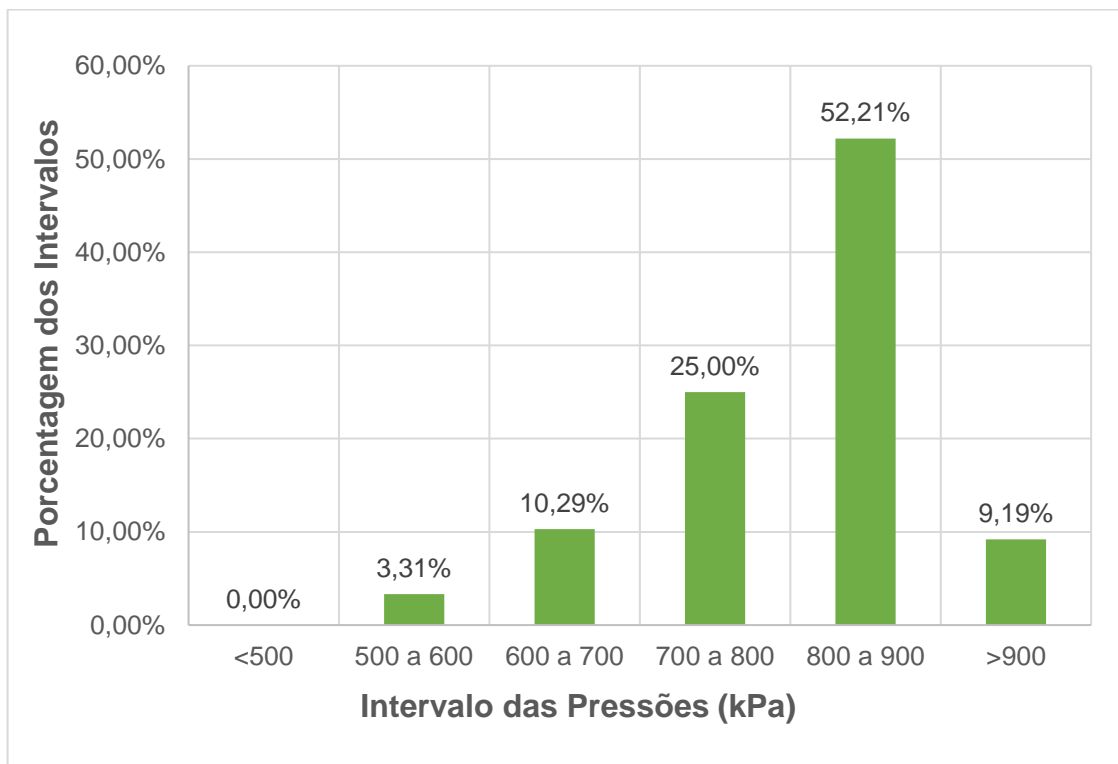
Figura 13 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ESRS



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Para os eixos simples de rodas duplas (ESRD), a pressão de enchimento foi aferida em 272 pneus de um total de 344 pneus. A pressão mínima e máxima verificada em campo foi de 555,10 (78,30psi) e 940,80kPa (140,80psi), respectivamente. A média das pressões aferidas foi de 806,45kPa (115,43psi) e o desvio padrão para o eixo simples de rodas duplas é de 86,29 kPa (12,35psi). Mediante a separação das pressões por intervalos, observa-se que a pressão de 560kPa (80psi) estabelecida no eixo rodoviário padrão está no intervalo de 3,31% da amostra, conforme Figura 14, e o intervalo crítico ocorre de 800kPa (114psi) a 900 kPa (128psi) com 52,21% dos dados.

Figura 14 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ESRD

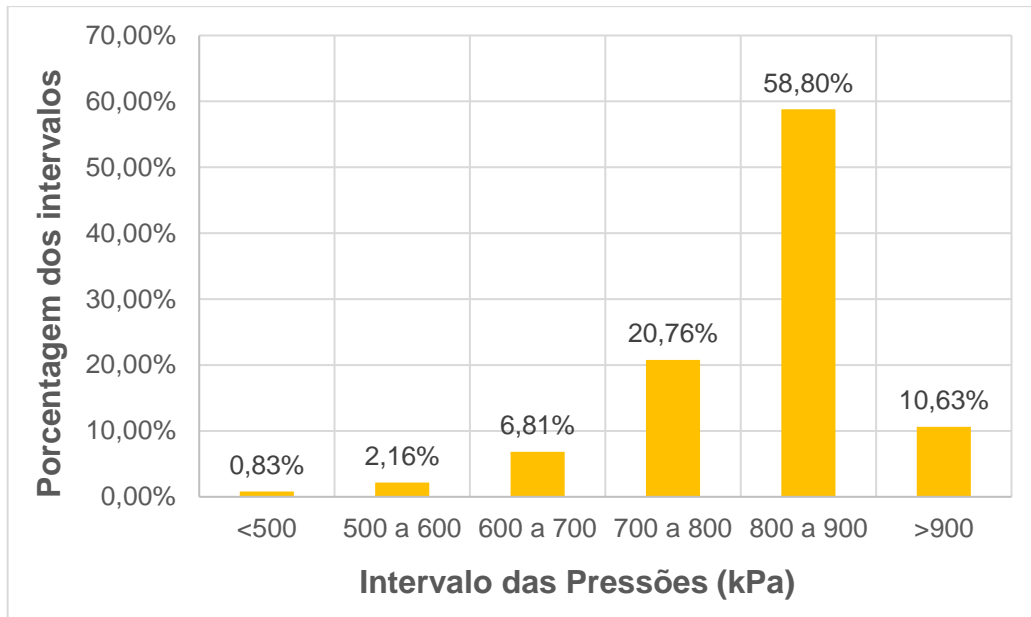


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Para eixos tandem duplo (ETD), a pressão de enchimento foi aferida em 602 pneus de um total de 720 pneus. No eixo tandem duplo, a pressão mínima e máxima verificada em campo foi de 354,90kPa (50,70psi) e 1050,00kPa (150psi), respectivamente. A média das pressões aferidas foi de 817,35kPa (116,76psi) e o desvio padrão no eixo tandem é de 89,42kPa (12,77psi). A Figura 15 ilustra a distribuição das pressões em intervalos no eixo tandem duplo. Nos eixos tandem triplo (ETT), a pressão de enchimento foi aferida em 476 pneus de um total de 586 pneus.

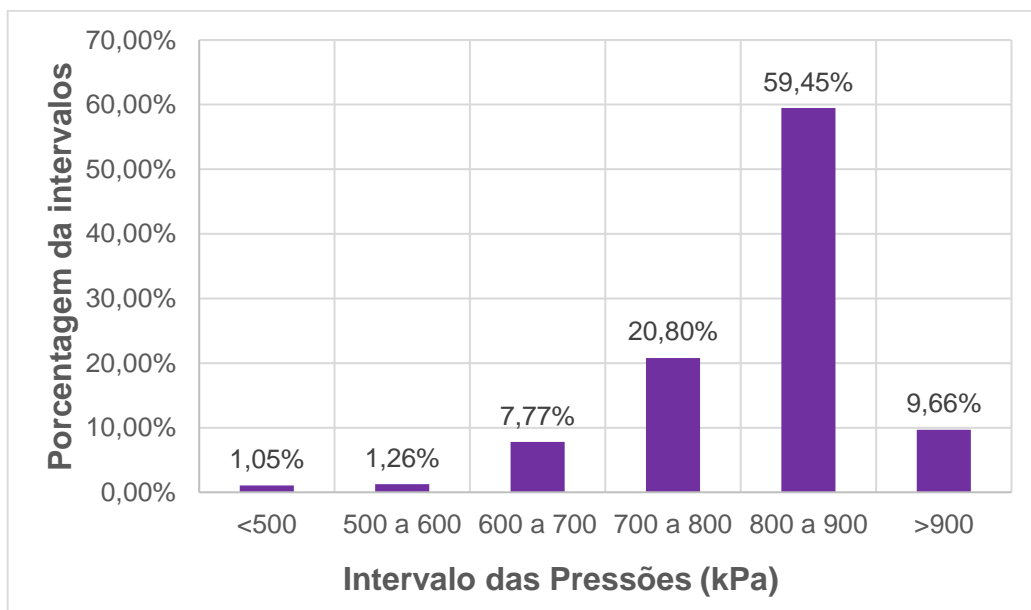
A pressão mínima e máxima verificada em campo foi de 259,70kPa (37,10psi) e 1009,40kPa (144,20psi), respectivamente, a média das pressões computadas foi de 813,19kPa (116,57psi) e o desvio padrão para o eixo tandem triplo é de 88,26kPa (12,55psi). A Figura 16 ilustra a distribuição da pressão de enchimento por intervalo.

Figura 15 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ETD



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

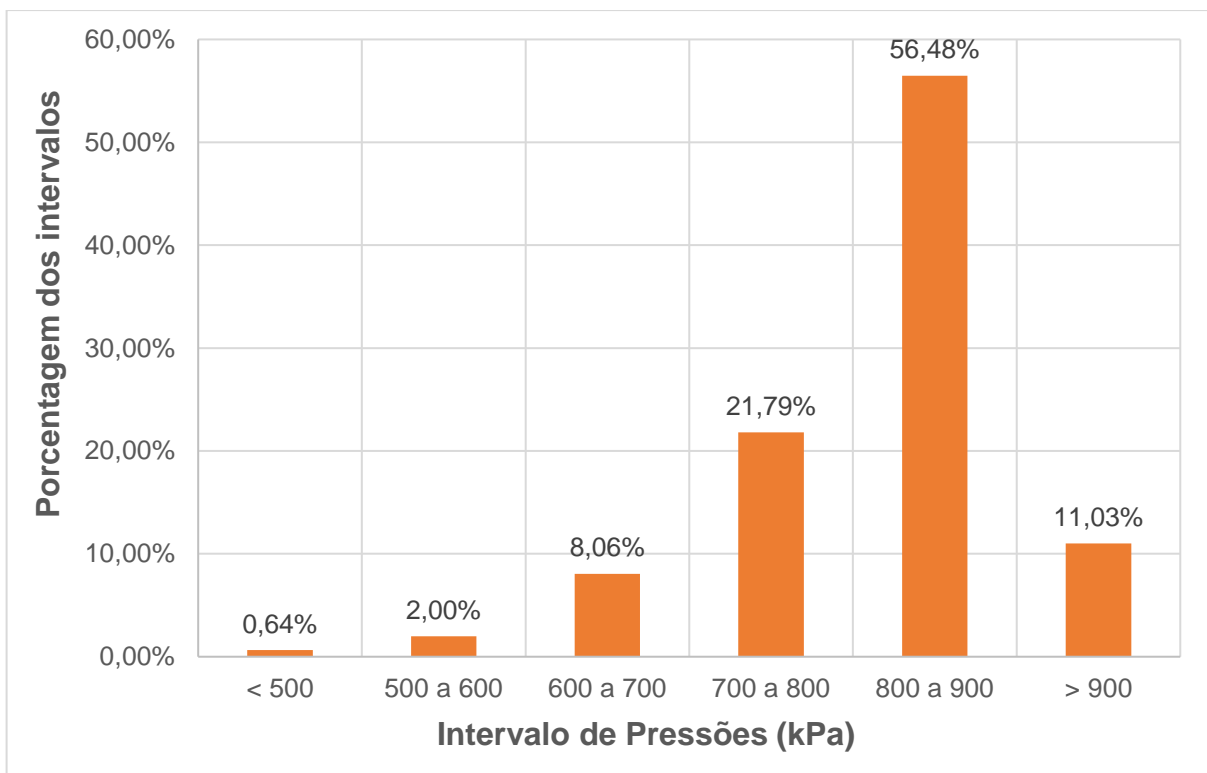
Figura 16 - Distribuição da pressão de pneus por intervalo no ETT



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Como se observa nas distribuições de pressões de enchimento dos pneus, em todos os eixos a distribuição mais frequente ocorre no intervalo das pressões de pneus de 800kPa (114psi) a 900 kPa (128psi). Dessa forma, para análise da pressão de enchimento dos pneus não há necessidade de uma separação por eixo do veículo. O valor médio de pressão de enchimento dos pneus utilizando toda a amostra é de 814,92kPa (116,42psi) e o desvio padrão é de 88,93kPa (12,70psi). A Figura 17 ilustra a distribuição de pressões de pneus com toda a amostra.

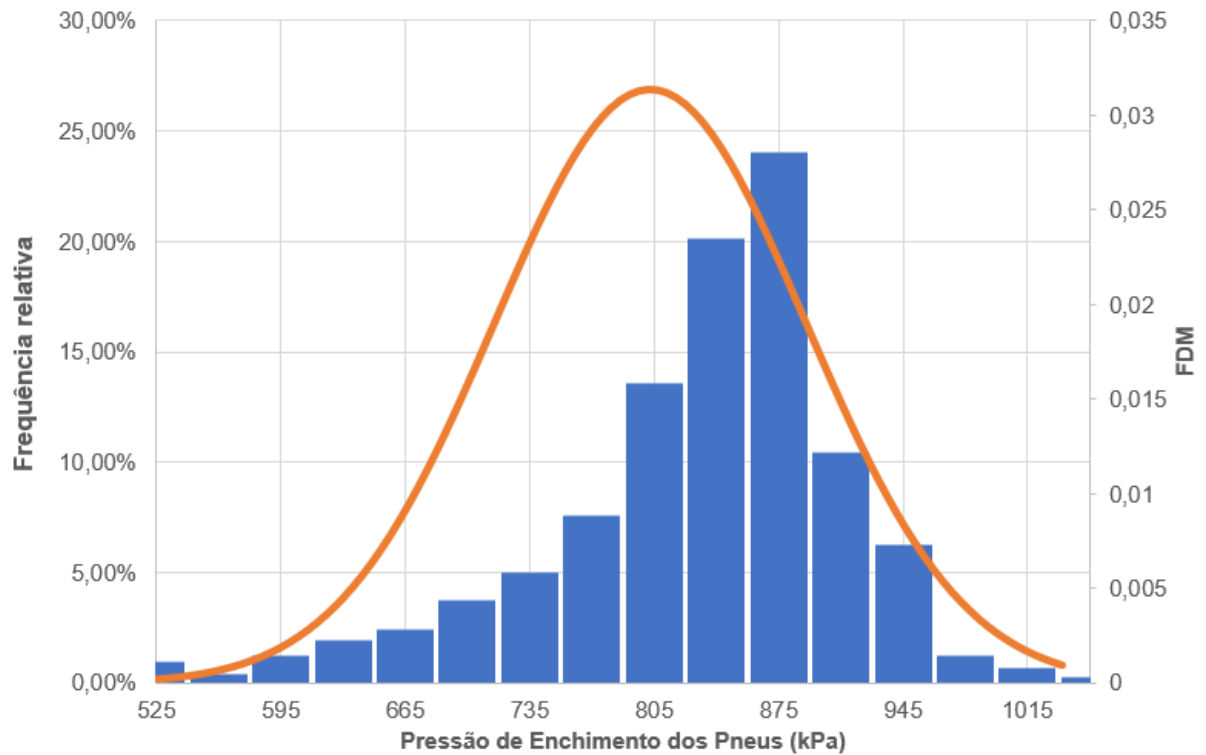
Figura 17 - Distribuição de pressões de pneus com toda a amostra



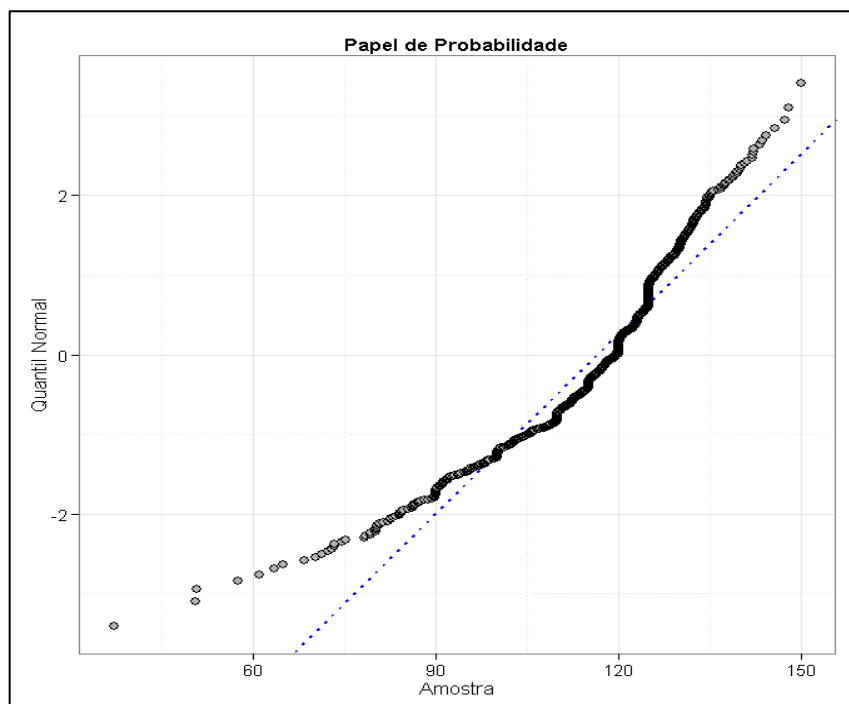
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Comparando com a curva de distribuição normal, observa-se que os dados de campo apresentam uma assimetria negativa. Além disso, a maior frequência relativa ocorre entre as pressões de pneus de 840kPa (120psi) e 875kPa (125psi) com 24,05% da amostra. A Figura 18a ilustra a curva normal de distribuição dos dados e o histograma obtido com os dados de campo, e a Figura 18b ilustra o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov da amostra.

Figura 18 – (a) Curva de distribuição normal em comparação com a amostra de campo; (b) Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov da amostra.



(a)



(b)

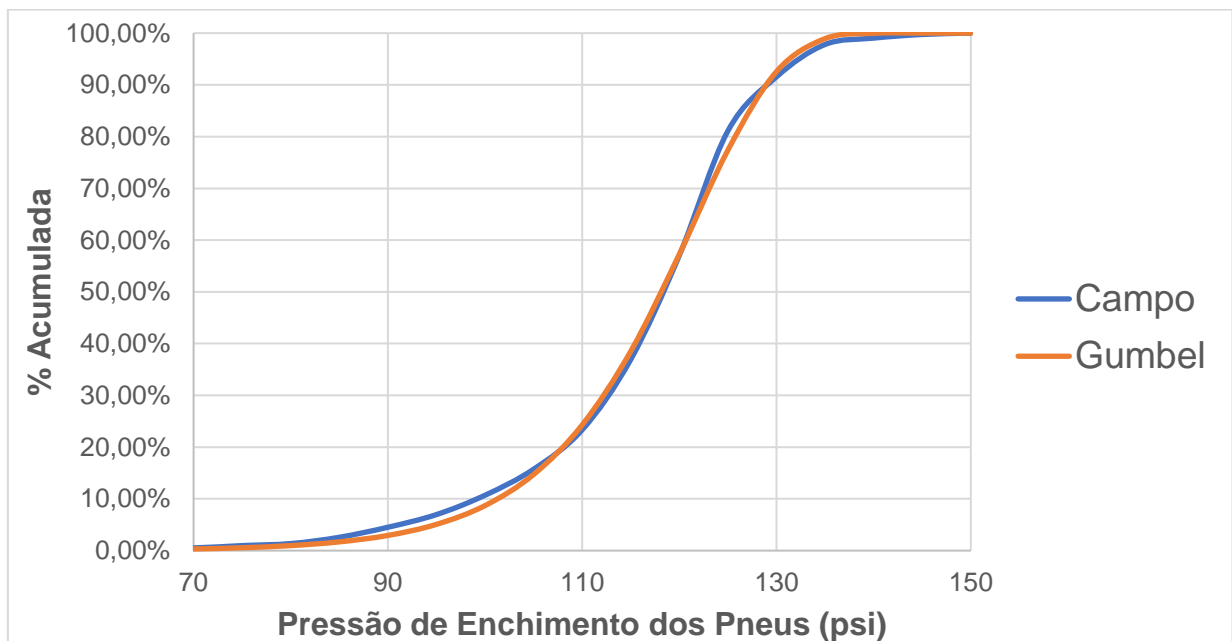
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

A equação de distribuição de frequências que se ajusta aos dados de pressão de enchimento dos pneus obtidos em campo é a distribuição de Gumbel dos mínimos extremos, conforme Equação 3.1. Os parâmetros de regressão foram obtidos com base no método dos mínimos quadrados, no qual se obteve um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,9991, conforme Equação 3.2. A Figura 19 ilustra a curva de porcentagens acumuladas dos dados de campo em comparação com a distribuição de Gumbel. Dessa forma, a pressão média geral da amostra não pode ser considerada satisfatória para representação dos dados e, com isso, seria necessária uma análise mais cuidadosa para definição da pressão de enchimento de pneus considerada em projeto.

$$F(x) = 1 - e^{-e^{\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)}} \quad (3.1)$$

$$F(x) = 1 - e^{-e^{\left(\frac{x-121,45}{8,95}\right)}} \quad (3.2)$$

Figura 19 – Distribuição acumulada de campo e de Gumbel

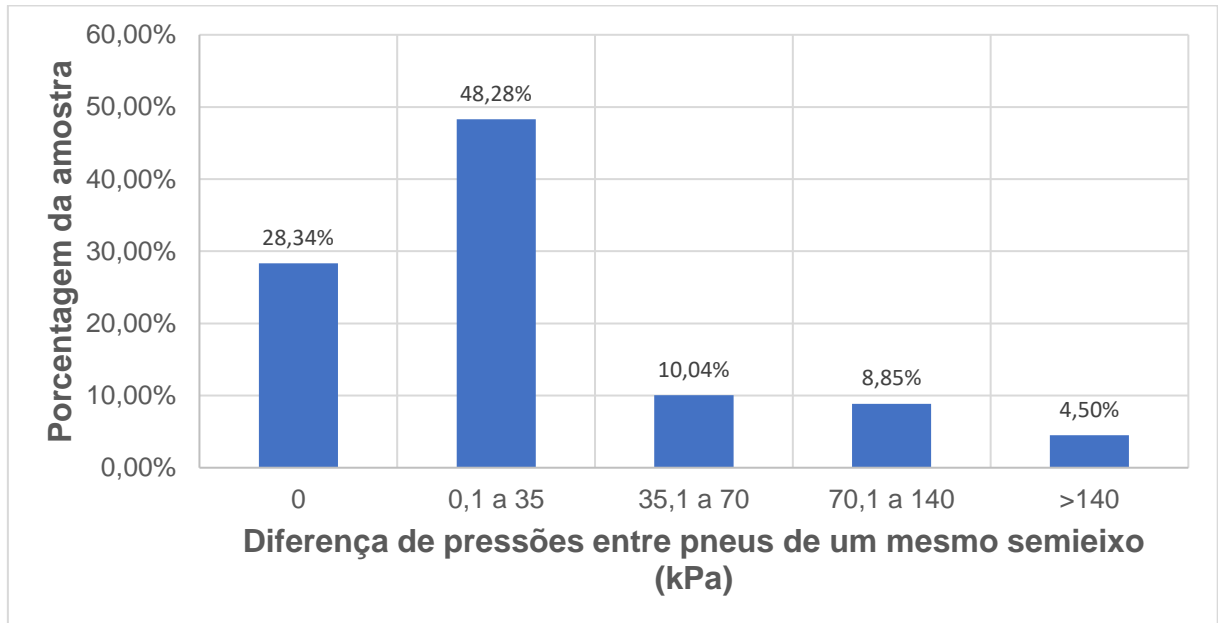


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Cerca de 72% dos pneus de um mesmo semieixo na amostra da rodovia Regis Bittencourt apresentam pneus com pressões de enchimento diferentes, conforme Figura 20. Ou seja, a análise computacional considerando a mesma pressão nos

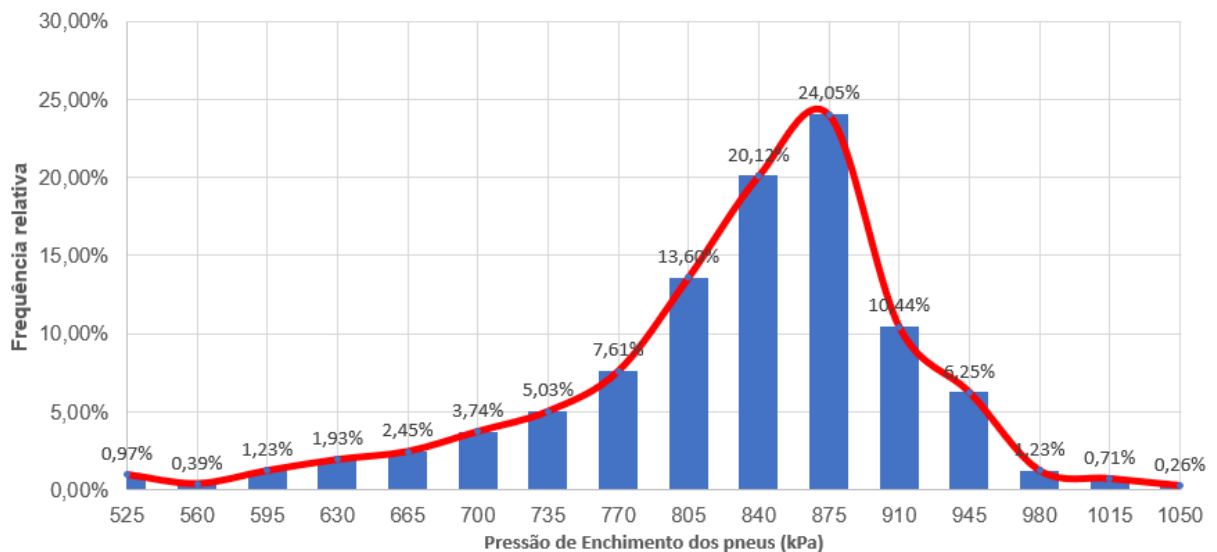
pneus não corresponde à realidade de campo, pois cada pneu distribui a carga em uma área de aplicação diferente. Além disso, a análise mecanicista considerando a pressão de um eixo rodoviário padrão de 560kPa (80psi) representa apenas 1,36% da amostra, conforme Figura 21.

Figura 20 - Distribuição das diferenças de pressões em um mesmo semieixo



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 21 - Curva de distribuição assimétrica considerando todos os dados da amostra



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados com a pressão de enchimento dos pneus máxima, média e mínima por tipo de eixo. Além disso, é apresentado o coeficiente de variação (CV) dos dados e o coeficiente de assimetria. O coeficiente de variação consiste no quociente entre o desvio padrão e a média dos dados obtidos, o qual expressa o quanto os dados variam em relação à média. Dessa forma, os dados obtidos em campo apresentam um CV variando em toda a amostra em 10,91%.

Para o coeficiente de assimetria de Pearson, observa-se uma assimetria negativa, ou seja, a moda e a mediana estão à direita da média da amostra e, com isso, ocorre uma concentração dos dados em valores mais altos do que a média. O coeficiente de assimetria de Pearson foi calculado pela Equação 3.3

$$\text{Coef. Assimetria de Pearson} = \frac{3 \cdot (\text{Média} - \text{Mediana})}{\text{Desvio Padrão}} \quad (3.3)$$

Tabela 3 - Resumo dos dados de pressão de enchimento de pneus obtidos em campo

Tipo de Eixo	Nº de Pneus com pressão aferida	Pressões de Enchimento aferidas (kPa)			Desvio Padrão (kPa)	Mediana (kPa)	CV (%)	Coef. de Assimetria de Pearson
		Mínima	Máxima	Media				
ESRS	201	554,40	1005,90	823,17	92,07	841,40	11,18%	-0,594
ESRD	282	555,10	940,80	806,45	86,29	823,90	10,70%	-0,607
ETD	602	354,90	1050,00	817,35	89,42	840,00	10,94%	-0,760
ETT	466	259,70	1009,40	813,19	88,26	835,45	10,85%	-0,757
<b>TOTAL</b>	1551	-	-	814,92	88,93	837,20	10,91%	-0,752

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 3.3.2 Sistema de calibração dos pneus

O sistema de calibração dos pneus chamado de rodocalibrador, ou rodoar, consiste em um painel de instrumentos na cabine dos veículos de carga e uma rede de mangueiras de ar. O painel de instrumentos informa a pressão de todos os pneus e faz o balanceamento para que ela se mantenha uniforme. Além disso, caso um dos



pneus tenha sido danificado e comece a esvaziar, o painel de instrumentos aciona um alarme de segurança.

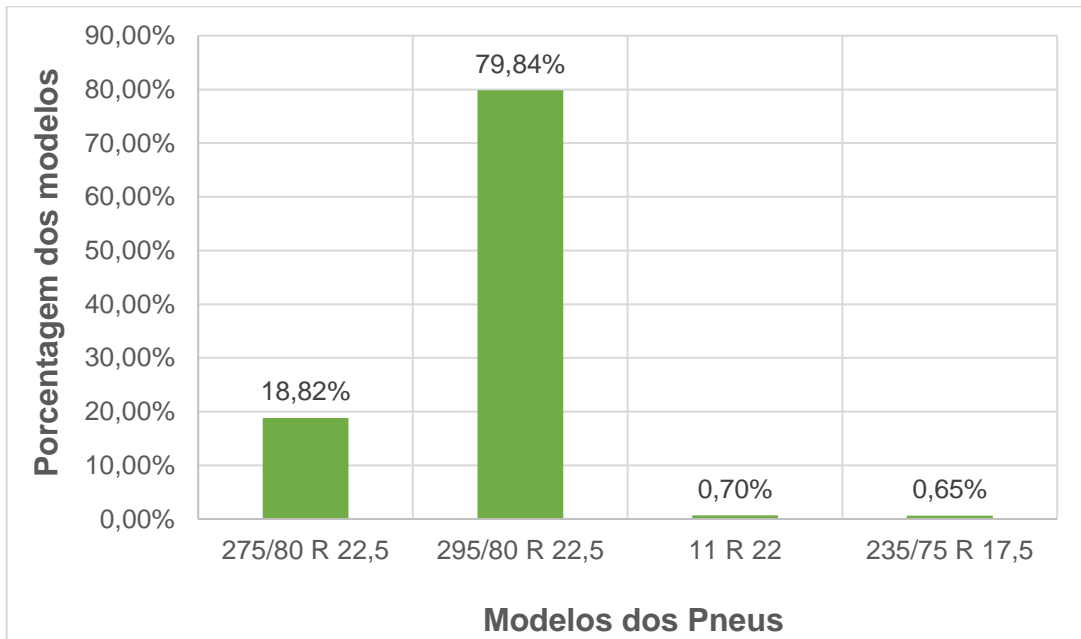
Foi verificado durante a pesquisa de campo se os veículos apresentavam este tipo de sistema para manutenção da pressão de enchimento dos pneus. Contudo, apenas 287 pneus apresentavam o sistema de calibração, o que equivale a 15,70% da amostra de pneus. Com relação ao número total de veículos analisados, apenas 17 veículos apresentavam o sistema de calibração automática dos pneus em pelo menos um eixo. A baixa adesão ao sistema de calibração automática da pressão de enchimentos dos pneus é consequência do elevado custo de manutenção do equipamento.

### **3.3.3 Dimensões dos pneus**

Na amostra coletada, os dados apresentam pequena variação quanto à dimensão dos pneus utilizados, embora estejam disponíveis no mercado diversos fabricantes. Cerca de 80% dos dados apresentam pneus com dimensões 295/80 R22.5, ou seja, 1485 pneus de um total de 1860. A segunda dimensão de pneu mais utilizado nos veículos da amostra é o 275/80R22.5, que representa 18,82% dos dados. Dentro da amostra existem também outros dois modelos, 11 R22 e 235/75 R17.5, que representam 0,7% e 0,65% dos dados, respectivamente. A Figura 22 ilustra a distribuição em porcentagem de cada dimensão de pneu encontrada na amostra.

Embora 79,84% da amostra apresente um mesmo perfil de pneu, cada fabricante possui um projeto da banda de rodagem e isso resulta em diferenças na profundidade de sulcos e na forma de aplicação de carga no contato pneu-pavimento. Além disso, a diferença da banda de rodagem pode influenciar no comportamento em dias chuvosos, embora não seja objeto de estudo desse trabalho. A Figura 23 ilustra um eixo tandem duplo (ETD) da amostra que apresenta as mesmas dimensões de pneus, porém com bandas de rodagem diferentes.

Figura 22 - Distribuição dos perfis de pneus na amostra



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 23 - Eixo tandem duplo com diferença na banda de rodagem

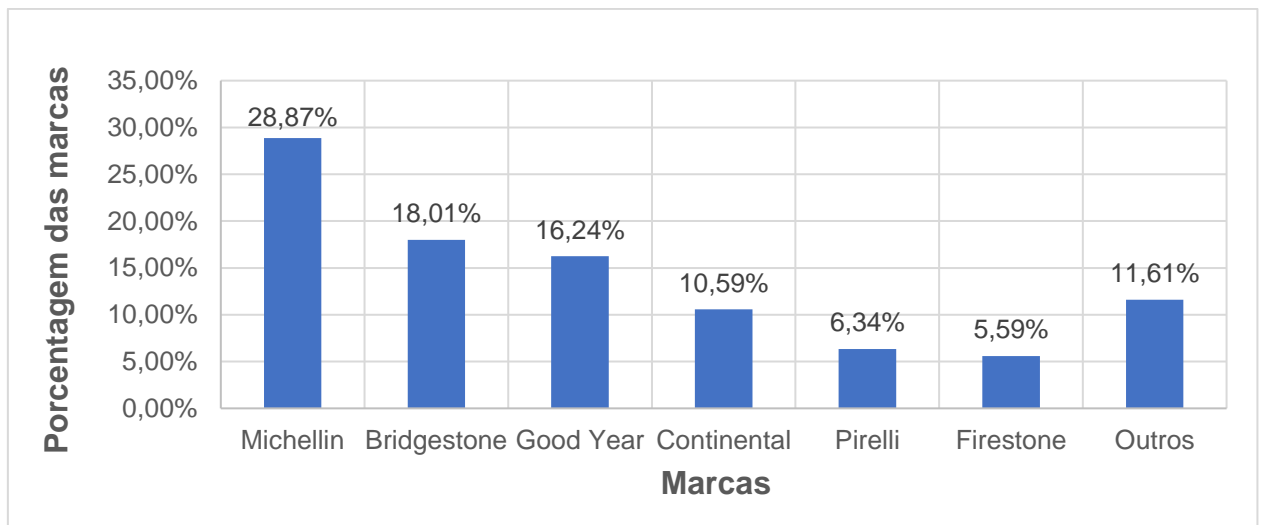


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Foram coletadas também as marcas dos pneus da amostra, conforme Figura 24. Dentre os pneus analisados, a marca Continental apresentou a maior pressão de

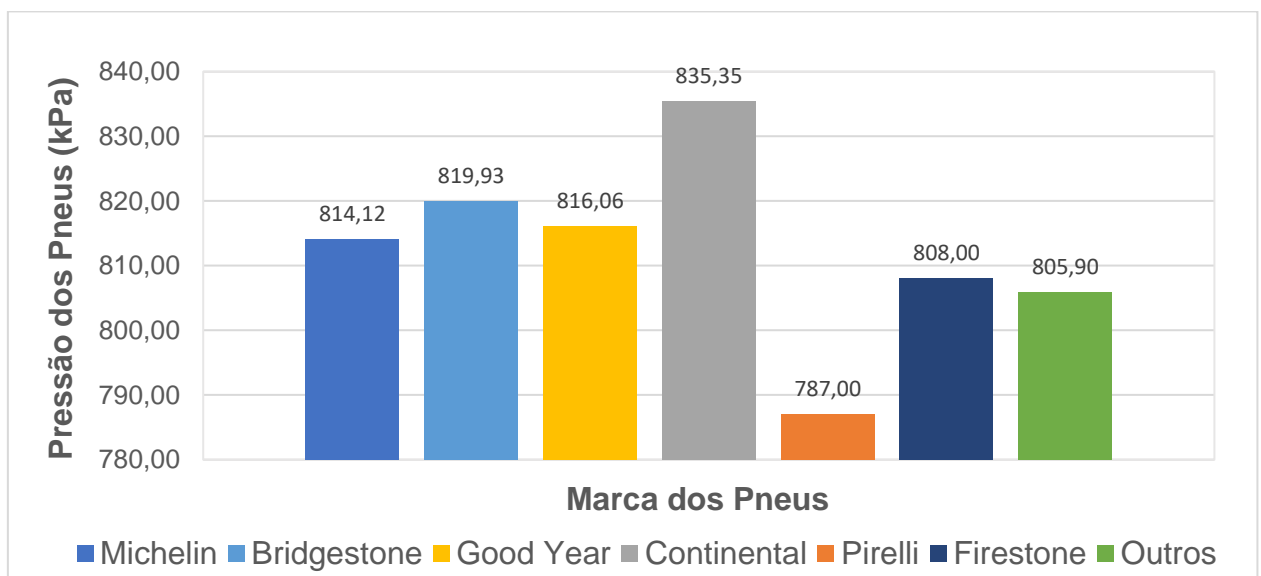
enchimento média, com valor de 835,35kPa (119,34psi). Em contrapartida, da amostra coletada, a Pirelli apresentou a menor pressão de enchimento de pneus média, com valor de 787,00kPa (112,43psi). Contudo, tanto a Pirelli quanto a Continental representam apenas 6,34% e 10,59% da amostra, respectivamente. As demais marcas analisadas apresentam pressão de enchimento média próximo da média global da amostra, conforme Figura 25.

Figura 24 - Distribuição das fabricantes de pneus na amostra



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 25 - Pressão de enchimento dos pneus média por marca de pneu



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 3.3.4 Carga por eixo

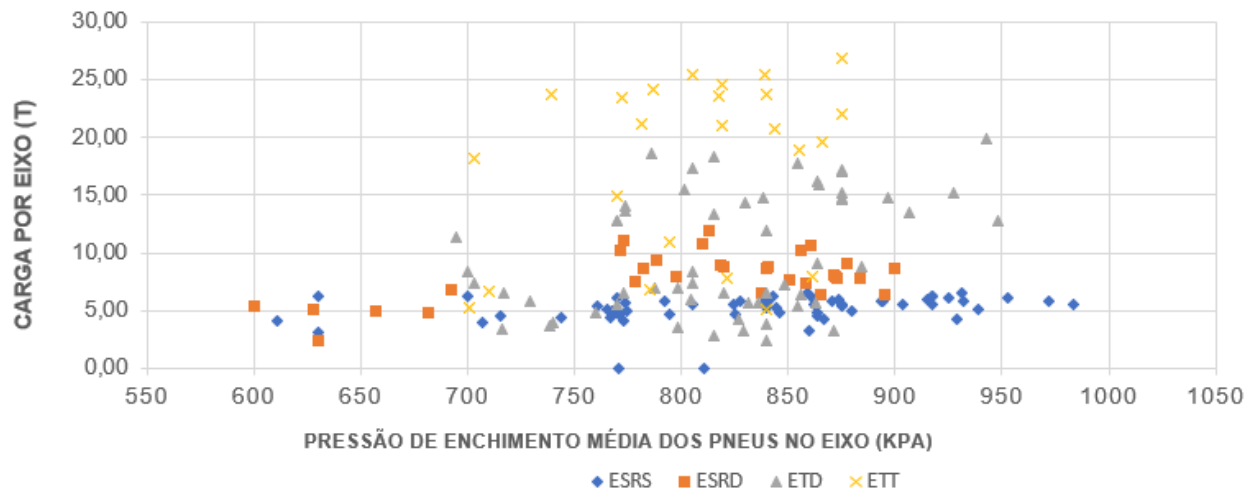
Em 54 veículos da amostra, foram coletadas também as cargas por eixo para analisar em conjunto com a pressão de enchimento dos pneus, sendo 55 eixos simples de rodas simples, 31 eixos simples de rodas duplas, 58 eixos tandem duplo e 24 eixos tandem triplo. Levando em consideração o limite de carga estabelecido pelo CONTRAN nas resoluções de número 12/98, 184/05 e 62/98, 20% dos eixos simples de rodas simples estavam acima do limite legal, sendo 2% com carga acima da tolerância de 7,5%.

Nos eixos simples de rodas duplas, 19% da amostra apresenta carga acima do limite, sendo 10% acima da tolerância. Nos eixos tandem duplo, 12% da amostra apresenta carga acima do limite legal e 5% acima da tolerância. Nos eixos tandem triplo, apenas 4% estavam acima do limite legal e nenhum eixo apresentou carga acima da tolerância.

A Figura 26 ilustra a dispersão das cargas por eixo em função da pressão de enchimento média. Dentre os eixos analisados, quando estes apresentavam pressão de enchimento dos pneus média inferior a 700kPa (100psi), ocorre a tendência de que estejam com pouca carga ou distantes do limite legal. O intervalo de 750kPa (107psi) a 900kPa (128psi) compreende 75,60% dos dados coletados e, nessa faixa de dados, ocorrem as maiores cargas por eixo, incluindo aquelas que estão acima da tolerância permitida pelo CONTRAN. Já as pressões de enchimento maiores que 900kPa (128psi) ocorrem principalmente em eixos dianteiros.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos dados de carga por eixo obtidos em campo, na qual os dados de eixo simples de rodas simples e eixos tandem triplo apresentam uma assimetria negativa, eixos tandem duplo apresentam uma assimetria positiva e os eixos simples de rodas duplas apresentam praticamente uma distribuição simétrica, com o coeficiente de assimetria próximo de zero.

Figura 26 – Dispersão da carga por eixo em função da pressão de enchimento média de pneus no eixo



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 4 - Resumo dos dados de carga obtidos em campo

Tipo de Eixo	Nº de eixos	Carga por eixo (tf)			Desvio Padrão	Carga máxima por pneu (tf)	Carga média por pneu (tf)	Coef. de Assimetria de Pearson
		Mínima	Máxima	Média				
ESRS	55	3,12	6,53	5,31	0,80	3,27	2,65	-0,727
ESRD	31	2,43	11,85	7,97	2,09	2,96	1,99	-0,019
ETD	58	2,41	19,85	9,91	5,13	2,48	1,24	0,896
ETT	24	5,10	26,83	5,10	7,49	2,24	0,43	-1,230
<b>TOTAL</b>	168	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os dados relacionados a pesquisa de campo realizada na rodovia Regis Bittencourt (BR116/SP), na balança 1 do km 296. Foram coletados dados em uma amostra de 100 veículos, totalizando 1860 pneus, e obtida a distribuição de frequências de pressão de enchimento dos pneus, dimensões do pneu, marca do pneu, presença do sistema de manutenção da pressão de pneus e a carga por eixo dos veículos. Todos os pneus analisados na pesquisa de campo eram de construção radial. Os dados foram analisados de forma estatística,

apresentando os coeficientes de assimetria da distribuição, média, desvio padrão, coeficiente de variação e os valores máximos e mínimos obtidos.

Por meio da distribuição de pressão de enchimento dos pneus, observou-se que as maiores frequências ocorrem em pressões de pneus de 840kPa (120psi) e 875kPa (125psi). Os eixos simples de rodas simples, em sua maioria eixos dianteiros, apresentam frequências maiores de pressão de pneus com 910kPa (130psi) ou mais elevada, cerca de 18%. Os demais tipos de eixos apresentam uma média 10% da amostra com pressões de pneus maiores que 910kPa (130psi).

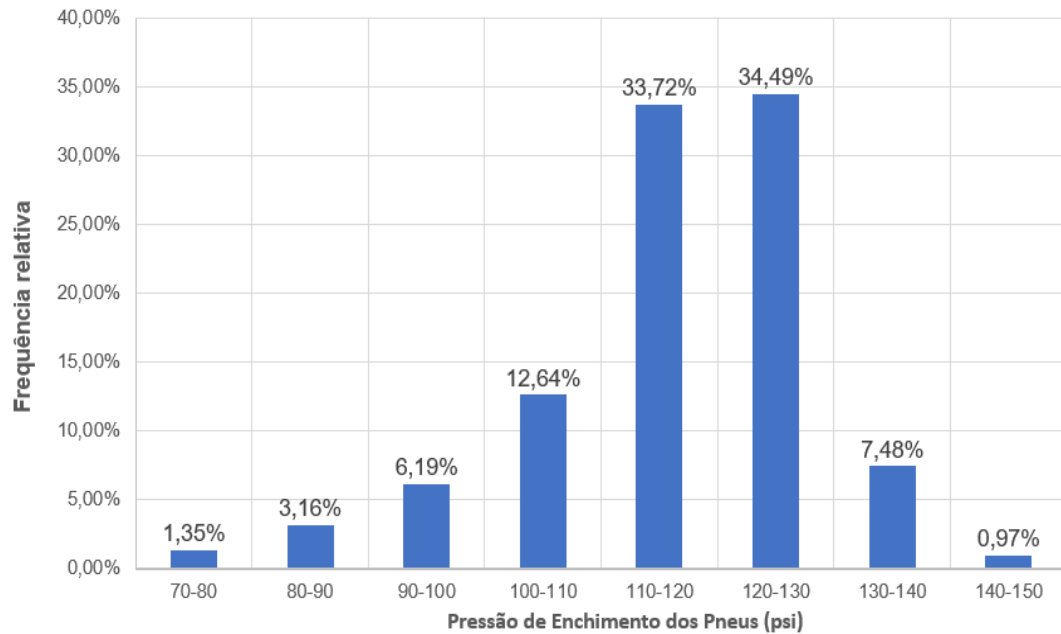
Observou-se que 98,64% da amostra de campo solicita a estrutura do pavimento em níveis de tensão e deformação maiores do que as consideradas no dimensionamento da estrutura. O acréscimo de deformações de tração, proveniente do aumento da pressão de enchimento dos pneus, pode consumir a resistência à fadiga da estrutura e será abordado nos próximos capítulos deste trabalho.

Embora 80% da amostra apresente a dimensão 295/80R22.5, os pneus analisados possuem diferentes projetos de banda de rodagem. A diferença na banda de rodagem pode modificar a forma de distribuição da carga e, além disso, mudar o comportamento do pneu em dias de chuvas, devido a diferença de profundidade dos sulcos. O acréscimo de pressão de pneus pode também influenciar no coeficiente de atrito pneu-pavimento, embora não seja objeto de estudo deste trabalho.

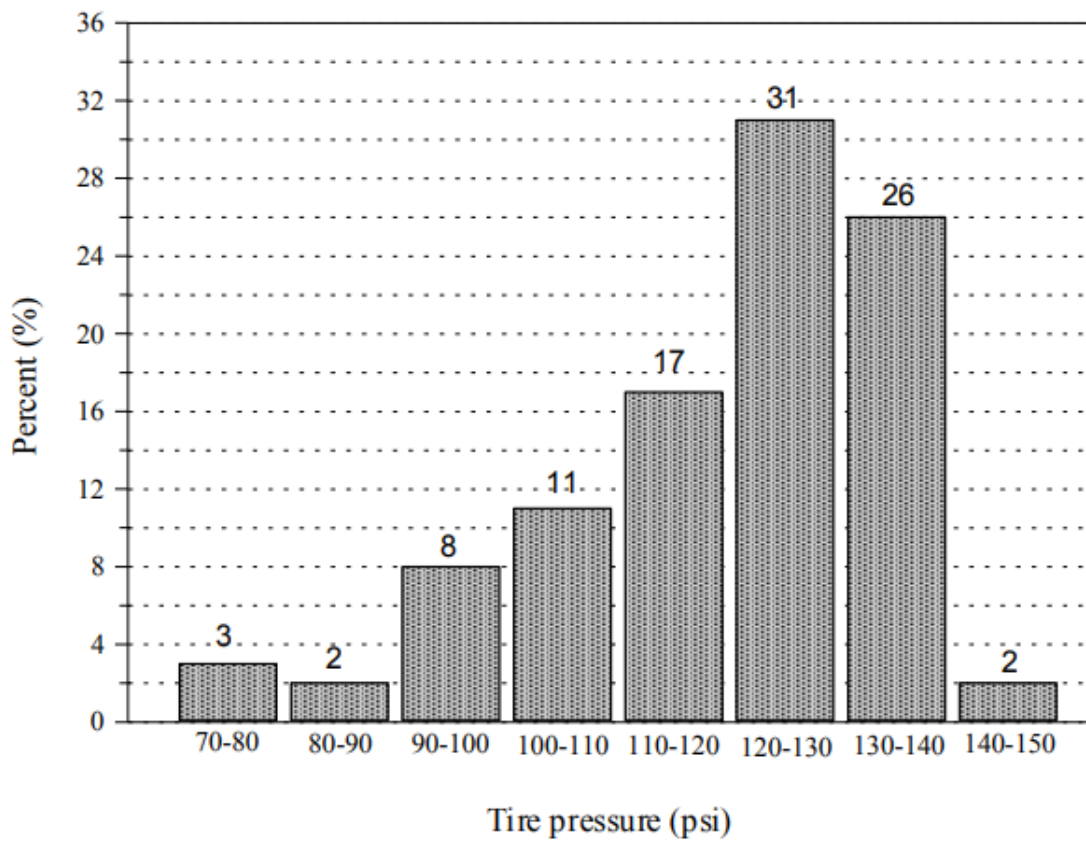
Dentre os 1860 pneus analisados, apenas 15% da amostra apresenta o sistema de calibração automática. Dessa forma, os pneus sofrem variação da pressão de enchimento ao longo do percurso e em função do desgaste apresentado. Em um mesmo eixo, foram observadas diferentes pressões de pneus e com variação de até 20psi em um mesmo conjunto de eixo.

A amostra de 1860 pneus deste trabalho foi considerada como suficiente para a análise desenvolvida, sendo representativa para rodovias de alto volume de tráfego no Brasil. Além disso, observou-se que a distribuição de frequências de pressão de enchimento dos pneus obtida neste trabalho é semelhante à obtida por Motaleb (2007), ainda que no Egito sejam observadas frequências maiores para o intervalo de 910kPa (130psi) a 980kPa (140psi). A Figura 27 ilustra a comparação das distribuições de pressões de enchimento dos pneus obtidas no Brasil (a) e no Egito (b).

Figura 27 - Distribuição das pressões de pneus em campo. (a) Brasil; (b) Egito



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020. Baseado em MOTALEB, 2007.

## 4 ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise apresentada neste capítulo tem como objetivo verificar como a variação da pressão de contato pneu-pavimento, assumida por simplificação em análises computacionais e no dimensionamento dos pavimentos como igual à pressão de enchimento dos pneus, interfere nas respostas estruturais do pavimento. Além disso, as estruturas serão analisadas em diferentes condições de aderência na interface do revestimento asfáltico com a base.

### 4.1 ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

Como forma de avaliar a variação da pressão de enchimento dos pneus na resposta estrutural dos pavimentos rodoviários, foram definidos quatro conjuntos de estruturas e analisados em sete níveis de pressão de enchimento dos pneus. Os conjuntos são compostos por estruturas de pavimentos flexíveis, com revestimento asfáltico e duas camadas granulares sobre o subleito. A sensibilidade de cada parâmetro da camada foi analisada quanto à influência da pressão de enchimento dos pneus e da aderência das camadas.

No primeiro conjunto, foram analisadas espessuras de revestimento asfáltica variando de 50 a 150mm e módulos de resiliência (MR) de 3000 a 4000MPa. A espessura e o MR das outras camadas foram mantidos constantes, conforme Tabela 5. Nos Conjuntos 2 a 4, as espessuras e os módulos de resiliência foram modificados nas camadas de base, sub-base e subleito, respectivamente. A Tabela 6 a 8 apresentam as estruturas analisadas nos conjuntos 2 a 4, respectivamente.

Tabela 5 - Conjunto 1

Camada	Espessura (mm)	MR (MPa)	Coef. Poisson
Revestimento	50/100/150	3000/3500/4000	0,30
Base	150	300	0,40
Sub-base	150	150	0,42
Subleito	∞	50	0,45

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Tabela 6 - Conjunto 2

<b>Camada</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Coef. Poisson</b>
Revestimento	100	3500	0,30
Base	150/200	300/400/500	0,40
Sub-base	150	150	0,42
Subleito	∞	50	0,45

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 7 - Conjunto 3

<b>Camada</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Coef. Poisson</b>
Revestimento	100	3500	0,30
Base	200	400	0,40
Sub-base	150/200	150/250/350	0,42
Subleito	∞	50	0,45

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 8 - Conjunto 4

<b>Camada</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Coef. Poisson</b>
Revestimento	100	3500	0,30
Base	200	400	0,40
Sub-base	200	250	0,42
Subleito	∞	50/70/100	0,45

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

## 4.2 CARREGAMENTO E PRESSÕES DE ENCHIMENTO

Diversos autores mencionados no Capítulo 2 relatam sobre as pressões de enchimento utilizadas em pneus radiais. Na pesquisa de campo desenvolvida neste trabalho, as maiores frequências ocorrem em pressões de enchimento dos pneus de 120 e 125psi. Dessa forma, as estruturas mencionadas nas Tabelas 5 a 8 foram analisadas em função de um eixo simples de rodas duplas (ESRD), com o centro dos pneumáticos espaçados em 340mm, e pressões de enchimento de pneus variando de 560kPa (80psi) a 980kPa (140psi), conforme Tabela 9.

O eixo simples de rodas duplas foi escolhido pois é o eixo rodoviário padrão assumido em diversos projetos nacionais e internacionais. A carga máxima permitida neste eixo varia em cada país, sendo neste trabalho considerada a carga constante

de 20kN por roda ou 8,2tf no eixo. A pressão de contato pneu-pavimento foi assumida como sendo circular e uniformemente distribuída no *software* mePADS.

Tabela 9 - Pressões de Enchimento consideradas na Análise

Pressão (kPa)	Pressão (psi)	Carregamento (kN)
560	80	20
630	90	20
700	100	20
770	110	20
840	120	20
910	130	20
980	140	20

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 4.3 SOFTWARE E CONDIÇÃO DE ADERÊNCIA

As análises foram realizadas por meio do *software* mePADS GAMES, o qual utiliza a teoria do sistema de camadas elásticas expandida para múltiplas camadas pelo método de diferenças finitas. No mePADS GAMES (MAINA, DENNEMAN e DE BEER, 2008), a pressão de contato é assumida como circular, uniformemente distribuída e igual a pressão de enchimento dos pneus, e a análise é elástico linear. O carregamento foi modelado no *software* por meio da representação do semieixo do eixo simples de rodas duplas, com carga e pressões de enchimento dos pneus conforme Capítulo 4.2. Além disso, as estruturas foram modeladas considerando três condições de aderência na interface entre o revestimento e a base granular, a saber: aderência plena, aderência parcial e sem aderência.

Inicialmente as estruturas foram analisadas considerando a aderência plena na interface entre o revestimento asfáltico e a camada de base, ou seja, com coeficiente de escorregamento igual a zero, em que a camada não apresenta deslocamento relativo e a força de atrito na interface é máxima. Contudo, a estrutura dificilmente estará em situações extremas de aderência e, dessa forma, como alternativa para tentar representar a situação de campo, foi assumida também uma aderência parcial e sem aderência na interface entre a camada de revestimento e base por meio do coeficiente de escorregamento igual a 0,5 e 0,99, respectivamente.

#### 4.4 RESPOSTAS ESTRUTURAIS

Os 4 conjuntos apresentados, que resultaram em 21 estruturas, foram analisados em 7 pressões de enchimento diferentes e em 3 situações de aderência, ou seja, um total de 441 análises. Por meio das simulações computacionais, foram determinadas 5 respostas estruturais máximas na estrutura do pavimento: a deflexão máxima na superfície do pavimento ( $Do$ ), tensão horizontal de tração na fibra inferior do revestimento ( $\sigma_{ht}$ ), deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento ( $\varepsilon_h$ ), tensão vertical de compressão no topo do subleito ( $\sigma_{vc}$ ) e a deformação vertical de compressão no topo do subleito ( $\varepsilon_v$ ).

As respostas estruturais foram também utilizadas para avaliar o número de repetições do eixo padrão em modelos de desempenho à fadiga do revestimento asfáltico e à deformação permanente. Para análise do número de repetições de carga pelo critério de fadiga do revestimento asfáltico ( $N_f$ ), foi considerado o modelo proposto pela SHELL (1978), conforme Equação 4.1. Este modelo leva em consideração a deformação horizontal máxima na fibra inferior do revestimento ( $\varepsilon_h$ ), e os parâmetros de dosagem, como o módulo de resiliência (MR) e o teor de ligante em volume da mistura asfáltica ( $V_b$ ). Para os cálculos apresentados nessa dissertação, foi considerado o teor de ligante em massa como igual a 5%, que reflete em um teor de ligante em volume de aproximadamente 11%.

$$N_f = \left[ \frac{6918 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{MR^{0,36} \cdot \varepsilon_h} \right]^5 \quad (4.1)$$

Para análise do número de repetições de carga pelo critério de deformação permanente na estrutura, foi considerado o modelo utilizado pela AUSTROADS (2017) no *Guide to pavement technology part 2: Pavement Structural Design*, conforme Equação 4.2. Este modelo leva em consideração apenas a deformação vertical de compressão no topo do subleito ( $\varepsilon_v$ )

$$N = \left( \frac{9150}{\varepsilon_v} \right)^7 \quad (4.2)$$

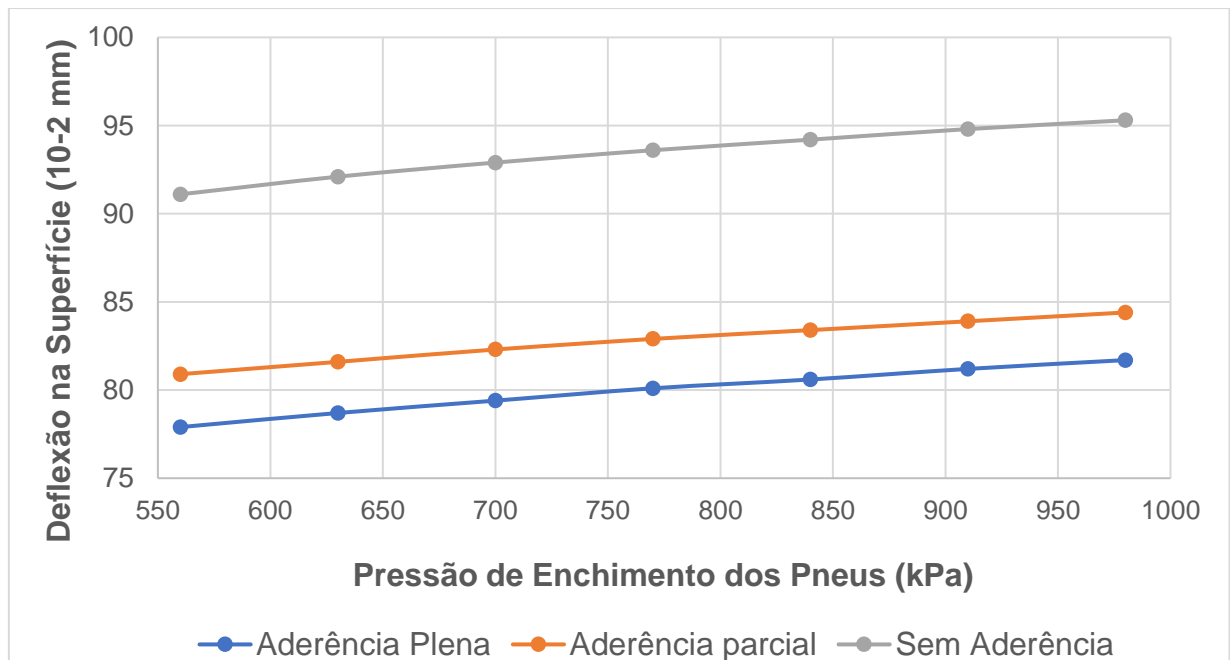
## 4.5 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados para cada resposta estrutural mencionada no Capítulo 4.4. Os dados são discutidos em função da influência da condição de aderência e da pressão de enchimento dos pneus.

### 4.5.1 Deflexões na superfície

As deflexões na superfície do pavimento aumentam com o acréscimo de pressão nos pneus dos veículos comerciais. Contudo, a variação da deflexão entre as pressões mínimas e máximas analisadas é, em média, inferior a 5%. Quanto menor a espessura total do pavimento, maiores são as deflexões obtidas por meio das análises mecanísticas. Dessa forma, a Estrutura 1 pode ser considerada a estrutura mais crítica quanto às deflexões. A Figura 28 ilustra a deflexão da Estrutura 1 em função da variação da pressão de pneus nas 3 condições de aderência analisadas.

Figura 28 - Deflexões na Estrutura 1 para as 3 condições de aderência



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Com a perda de aderência na interface entre revestimento asfáltico e base, as deflexões na superfície aumentam. Embora a condição de aderência plena presente

as menores deflexões, esta resulta no maior acréscimo de deflexões em função da pressão de enchimento dos pneus. Os demais conjuntos analisados apresentam um comportamento semelhante quanto ao acréscimo de deflexões com o aumento da pressão de enchimento dos pneus.

Os resultados obtidos por meio das análises de deflexões em diferentes estruturas mostram que utilização de pneus diagonais para ensaios de Viga Benkelman não é imprescindível, uma vez que os acréscimos de deflexão em função das pressões de enchimento dos pneus são inferiores a 5%. Além disso, conforme estudado por Fernandes Jr (1994), embora pneus diagonais e radiais apresentem diferentes formas de distribuição das pressões na área de contato, ocorre uma normalização dos resultados.

#### **4.5.2 Tensão horizontal de tração na fibra inferior do revestimento**

Por meio da análise computacional, para a condição de aderência plena na interface das camadas, o aumento do módulo de resiliência da camada de revestimento asfáltico aumenta a tensão horizontal de tração na fibra inferior do revestimento. Contudo, com o aumento do MR ocorre a redução da influência da pressão de enchimento dos pneus nesta resposta estrutural, embora este valor seja pouco expressivo para os valores estudados. Para a espessura de revestimento asfáltico de 50mm e MR de 3000MPa, ocorre um aumento relativo de 65,44% no valor de tensão de tração entre a pressão de 560kPa, considerada como padrão, e a pressão máxima de 980kPa. A variação do MR para 3500MPa e 4000MPa reduz essa influência para 60,11% e 56,06%, respectivamente.

Para a espessura de 100mm, a variação do módulo de resiliência de 3000MPa para 4000MPa reduz a influência da pressão de enchimento dos pneus em 3% para a máxima pressão de pneus analisada. Para a espessura de 150mm, a variação no mesmo intervalo corresponde a uma redução de 1,36% nas tensões de tração. Ou seja, com o aumento da espessura ocorre a redução da influência do módulo de resiliência em função da pressão de enchimento dos pneus.

Quanto à espessura das camadas, para as estruturas que apresentam revestimento de 50mm, a tensão de tração na fibra inferior do revestimento aumenta significativamente com o acréscimo de pressão de enchimento dos pneus. Contudo,

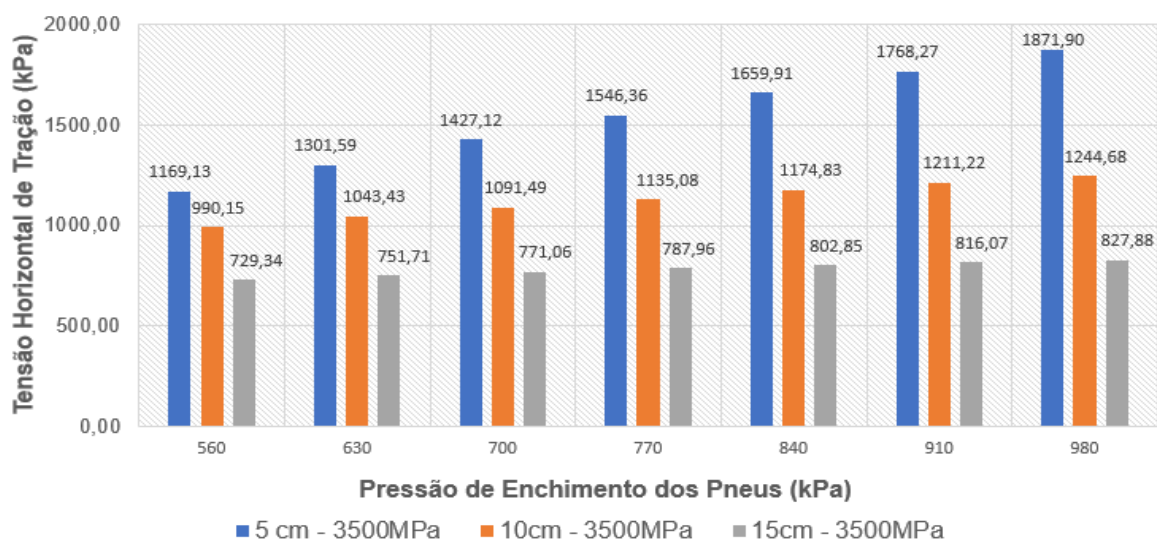
o aumento da espessura da camada de revestimento asfáltico possui elevada capacidade de reduzir as tensões de tração na fibra inferior do revestimento. Além disso, resulta em uma queda expressiva da sensibilidade desta resposta estrutural quanto à variação da pressão de enchimento dos pneus. Para um módulo de resiliência de 3500MPa, a camada asfáltica com espessura de 50mm apresenta um acréscimo de tensões de tração de 60,11%, entre a mínima e a máxima pressão analisada. Para as espessuras de 100mm e 150mm, com mesmo módulo de resiliência, o acréscimo de tensões é de 25,71% e 13,51%, respectivamente, conforme Tabela 10 e Figura 29.

Tabela 10 - Aumento relativo de tensões de tração para camadas em aderência plena

Pressão de Enchimento (kPa)	Módulo de Resiliência de 3500MPa		
	50mm	100mm	150mm
560	0%	0%	0%
630	11,33%	5,38%	3,07%
700	22,07%	10,24%	5,72%
770	32,27%	14,64%	8,04%
840	41,98%	18,65%	10,08%
910	51,25%	22,33%	11,89%
980	60,11%	25,71%	13,51%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 29 - Tensão de tração para diferentes espessuras (Aderência plena)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Dessa forma, a rigidez da camada de revestimento asfáltico proporciona a redução da influência da pressão de enchimento dos pneus no acréscimo de tensões de tração. Quanto mais rígida for a camada, pelo aumento da espessura ou do módulo de resiliência, menor será a variação das tensões de tração entre a mínima e a máxima pressão de pneus analisada.

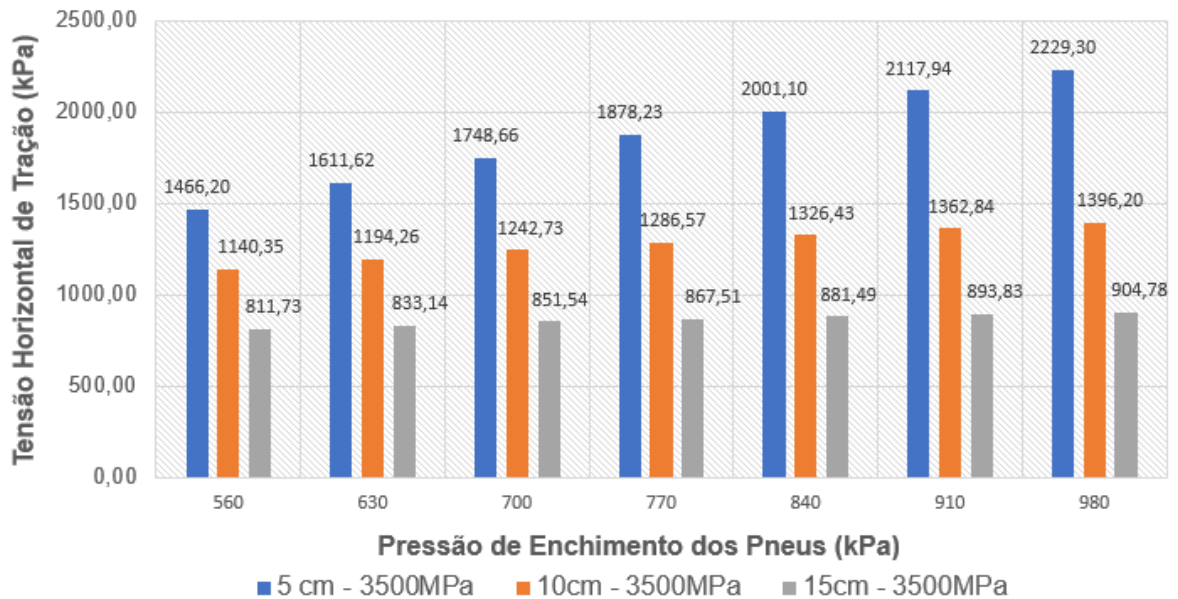
Para o caso da condição de aderência parcial, as camadas não trabalham como uma estrutura monolítica e resultam em um acréscimo das tensões de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico. Assim como ocorre na condição de interface aderida, em aderência parcial as tensões também aumentam com o acréscimo da pressão de enchimento dos pneus. A Tabela 11 apresenta o aumento relativo de tensões de tração para diferentes espessuras com módulo de resiliência de 3500MPa, e a Figura 30 as tensões de tração para diferentes espessuras em condição de aderência parcial.

Tabela 11 - Aumento relativo de tensões de tração para camadas em aderência parcial

<b>Pressão de Enchimento (kPa)</b>	<b>Módulo de Resiliência de 3500MPa</b>		
	<b>50mm</b>	<b>100mm</b>	<b>150mm</b>
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	9,92%	4,73%	2,64%
700	19,26%	8,98%	4,90%
770	28,10%	12,82%	6,87%
840	36,48%	16,32%	8,59%
910	44,45%	19,51%	10,11%
980	52,05%	22,44%	11,46%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 30 - Tensão de tração para diferentes espessuras (Aderência parcial)



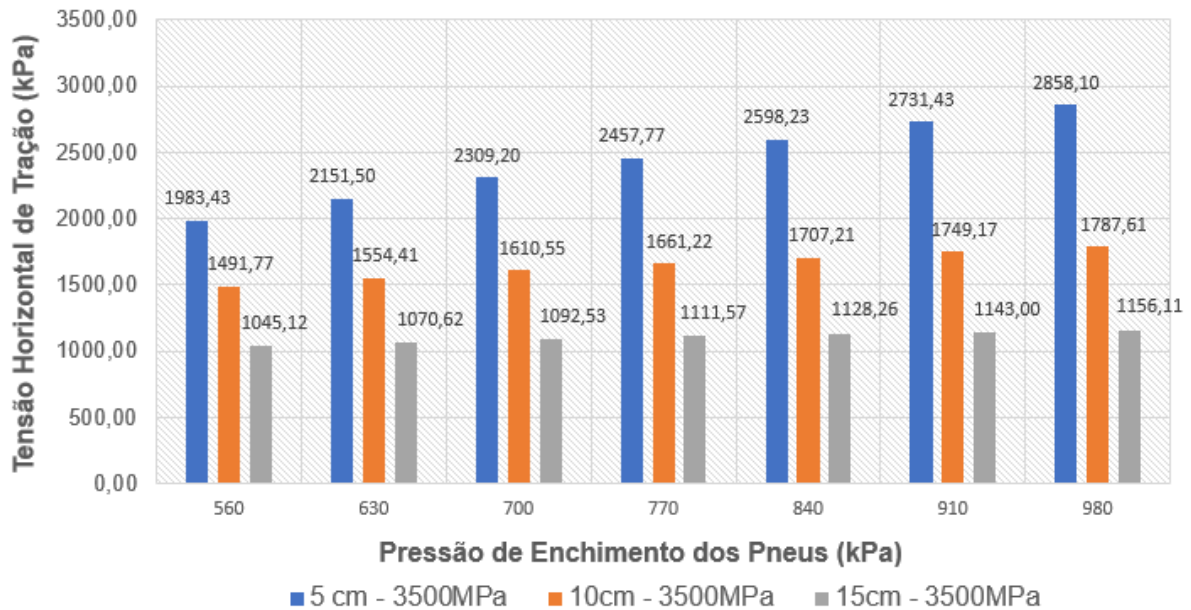
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Para a situação sem aderência na interface do revestimento com a base, as tensões de tração na fibra inferior do revestimento aumentam significativamente. De forma que, mesmo para camadas asfálticas com espessuras de 15cm, a menor tensão de tração observada foi de 1045,12kPa, conforme Figura 31. A Tabela 12 apresenta o aumento relativo das tensões para diferentes níveis de pressão de enchimento dos pneus.

Com a redução de aderência na interface entre revestimento e base, ocorre a redução da influência da pressão de enchimento dos pneus no aumento das tensões de tração na fibra inferior do revestimento, embora os valores de tensão de tração observados sejam maiores. Para espessura de revestimento asfáltico de 50mm, por exemplo, o acréscimo de tensões de tração é de 60,11% em aderência plena, 52,05% em aderência parcial e 44,10% para condição sem aderência na interface entre revestimento e base.



Figura 31 - Tensão de tração para diferentes espessuras (Sem aderência)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 12 - Aumento relativo de tensões de tração para camadas sem aderência

Pressão de Enchimento (kPa)	Módulo de Resiliência de 3500MPa		
	50mm	100mm	150mm
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	8,47%	4,20%	2,44%
700	16,42%	7,96%	4,54%
770	23,92%	11,36%	6,36%
840	31,00%	14,44%	7,96%
910	37,71%	17,25%	9,37%
980	44,10%	19,83%	10,62%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Para o conjunto 2 e conjunto 3, nos quais ocorrem as mudanças nos parâmetros da base e sub-base, respectivamente, tanto o aumento do módulo de resiliência quanto da espessura resultam em menores tensões de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico. Contudo, o acréscimo de rigidez das camadas granulares contribui para o aumento da influência da pressão de enchimento dos pneus nas estruturas analisadas. Para a estrutura do conjunto 2, por exemplo, com 15cm de base e módulo de resiliência de 300MPa, ocorre aumento de 25,71% das

tensões de tração na fibra inferior do revestimento entre a mínima e máxima pressão analisada.

Ao aumentar a base para 20cm e o módulo de resiliência para 500MPa, o aumento das tensões de tração na fibra inferior do revestimento é de 32,14% para o mesmo intervalo em aderência plena. As Tabelas 13 a 15 apresentam o aumento relativo de tensões de tração para aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente, do conjunto 2. As Tabelas 16 a 18 apresentam o aumento relativo das tensões de tração para aderência plena, aderência parcial e sem aderência, respectivamente, do conjunto 3.

Tabela 13 - Aumento relativo de tensões para o Conjunto 2 em aderência plena

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	300MPa	400MPa	500MPa	300MPa	400MPa	500MPa
560	0%	0%	0%	0,00%	0,00%	0,00%
630	5,38%	5,74%	6,09%	5,69%	6,18%	6,66%
700	10,24%	10,94%	11,60%	10,82%	11,77%	12,70%
770	14,64%	15,66%	16,63%	15,47%	16,86%	18,20%
840	18,65%	19,97%	21,23%	19,72%	21,51%	23,24%
910	22,33%	23,93%	25,45%	23,61%	25,77%	27,87%
980	25,71%	27,57%	29,34%	27,18%	29,70%	32,14%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 14 - Aumento relativo de tensões para o conjunto 2 em aderência parcial

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	300MPa	400MPa	500MPa	300MPa	400MPa	500MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	4,73%	4,92%	5,10%	5,03%	5,34%	5,64%
700	8,98%	9,35%	9,70%	9,56%	10,16%	10,72%
770	12,82%	13,37%	13,87%	13,65%	14,53%	15,34%
840	16,32%	17,02%	17,66%	17,38%	18,50%	19,55%
910	19,51%	20,36%	21,14%	20,79%	22,14%	23,41%
980	22,44%	23,42%	24,33%	23,91%	25,48%	26,94%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 15 - Aumento relativo de tensões para o conjunto 2 sem aderência

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	300MPa	400MPa	500MPa	300MPa	400MPa	500MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	4,20%	4,24%	4,27%	4,44%	4,55%	4,65%
700	7,96%	8,04%	8,10%	8,43%	8,65%	8,83%
770	11,36%	11,48%	11,56%	12,03%	12,35%	12,62%
840	14,44%	14,60%	14,71%	15,30%	15,72%	16,06%
910	17,25%	17,45%	17,59%	18,29%	18,79%	19,22%
980	19,83%	20,06%	20,22%	21,02%	21,62%	22,11%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 16 - Aumento relativo de tensões para o Conjunto 3 em aderência plena

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	150MPa	250MPa	350MPa	150MPa	250MPa	350MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	6,18%	6,45%	6,65%	6,26%	6,57%	6,80%
700	11,77%	12,29%	12,67%	11,93%	12,52%	12,95%
770	16,86%	17,60%	18,15%	17,08%	17,93%	18,55%
840	21,51%	22,45%	23,16%	21,79%	22,88%	23,67%
910	25,77%	26,91%	27,75%	26,11%	27,42%	28,37%
980	29,70%	31,01%	31,99%	30,09%	31,60%	32,71%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 17 - Aumento relativo de tensões para Conjunto 3 em aderência parcial

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	150MPa	250MPa	350MPa	150MPa	250MPa	350MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	5,34%	5,63%	5,85%	5,44%	5,78%	6,03%
700	10,16%	10,72%	11,13%	10,34%	11,00%	11,47%
770	14,53%	15,32%	15,91%	14,78%	15,73%	16,41%
840	18,50%	19,52%	20,28%	18,83%	20,04%	20,91%
910	22,14%	23,36%	24,26%	22,53%	23,98%	25,02%
980	25,48%	26,89%	27,93%	25,93%	27,59%	28,79%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 18 - Aumento relativo de tensões para o Conjunto 3 sem aderência

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	150MPa	250MPa	350MPa	150MPa	250MPa	350MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	4,55%	4,81%	5,00%	4,67%	4,98%	5,21%
700	8,65%	9,14%	9,50%	8,86%	9,47%	9,90%
770	12,35%	13,06%	13,57%	12,66%	13,54%	14,15%
840	15,72%	16,63%	17,28%	16,11%	17,23%	18,03%
910	18,79%	19,89%	20,67%	19,26%	20,62%	21,57%
980	21,62%	22,88%	23,78%	22,16%	23,72%	24,82%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Para o conjunto 4, o aumento do módulo de resiliência reduz as tensões de tração na fibra inferior do revestimento. Contudo, assim como ocorre nas camadas granulares, o acréscimo de rigidez do subleito, por meio do módulo de resiliência, aumenta a influência da pressão de enchimento dos pneus nas tensões de tração na fibra inferior do revestimento, embora com pequena variação nos casos estudados. As Tabelas 19 a 21 apresentam o aumento relativo das tensões de tração na fibra inferior do revestimento para aderência plena, aderência parcial e sem aderência, respectivamente.

Tabela 19 - Aumento relativo de tensões na fibra inferior do revestimento para o Conjunto 4 em aderência plena

Pressão de Enchimento (kPa)	Módulo de Resiliência do Subleito		
	50MPa	70MPa	100MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	6,57%	6,59%	6,62%
700	12,52%	12,56%	12,61%
770	17,93%	17,99%	18,08%
840	22,88%	22,95%	23,04%
910	27,42%	27,50%	27,61%
980	31,60%	31,70%	31,82%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 20 - Aumento relativo de tensões na fibra inferior do revestimento para Conjunto 4 em aderência parcial

Pressão de Enchimento (kPa)	Módulo de Resiliência do Subleito		
	50MPa	70MPa	100MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	5,78%	5,84%	5,91%
700	11,00%	11,11%	11,24%
770	15,73%	15,88%	16,07%
840	20,04%	20,23%	20,47%
910	23,98%	24,21%	24,49%
980	27,59%	27,86%	28,18%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 21 - Aumento relativo de tensões na fibra inferior do revestimento para Conjunto 4 sem aderência

Pressão de Enchimento (kPa)	Módulo de Resiliência do Subleito		
	50MPa	70MPa	100MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	4,98%	5,16%	5,34%
700	9,47%	9,80%	10,15%
770	13,54%	14,01%	14,50%
840	17,23%	17,83%	18,47%
910	20,62%	21,33%	22,10%
980	23,72%	24,55%	25,43%

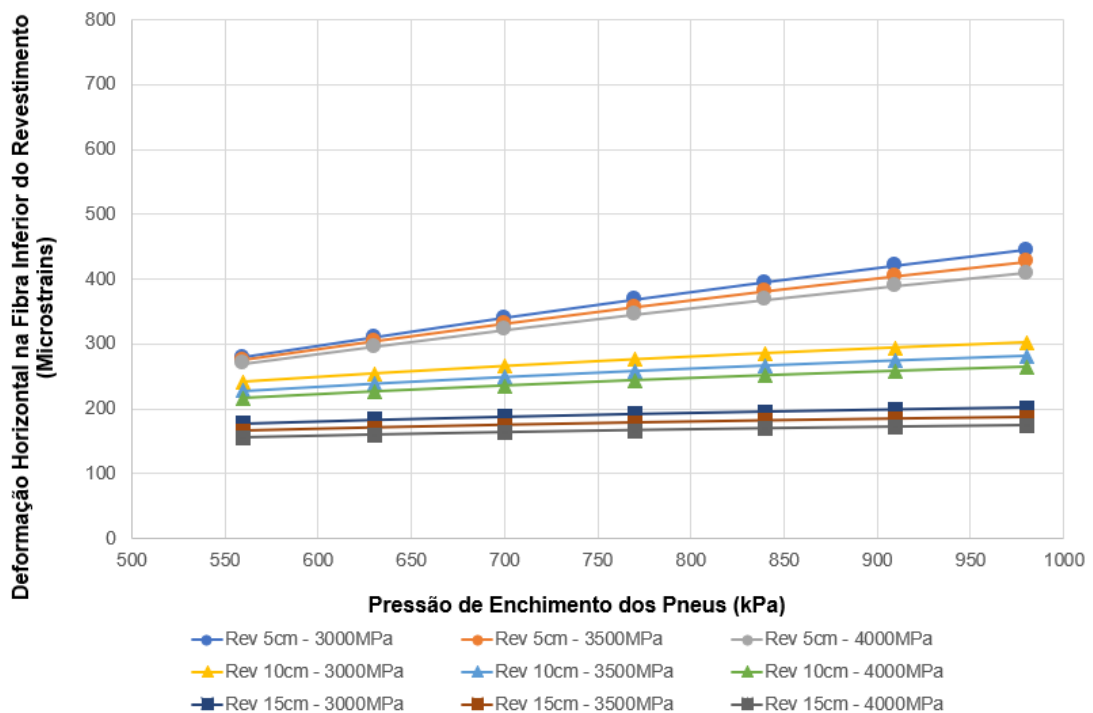
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 4.5.3 Deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento

Assim como ocorre nas tensões de tração, a deformação horizontal na fibra inferior do revestimento asfáltico é afetada de forma significativa pelo aumento da pressão de enchimento dos pneus, principalmente em estruturas com camadas asfálticas delgadas. À medida que a espessura de revestimento asfáltico aumenta, a influência da pressão de enchimento nesta resposta estrutural diminui.

A Figura 32 ilustra os resultados de deformação horizontal para as 3 espessuras e 3 módulos de resiliência analisados em aderência plena, na qual é possível notar que as inclinações das retas de cada análise diminuem com o aumento da espessura. A Figura 32 ilustra ainda que para espessuras delgadas, principalmente, os módulos de resiliência analisados em pressões de pneus baixas apresentam pouca influência.

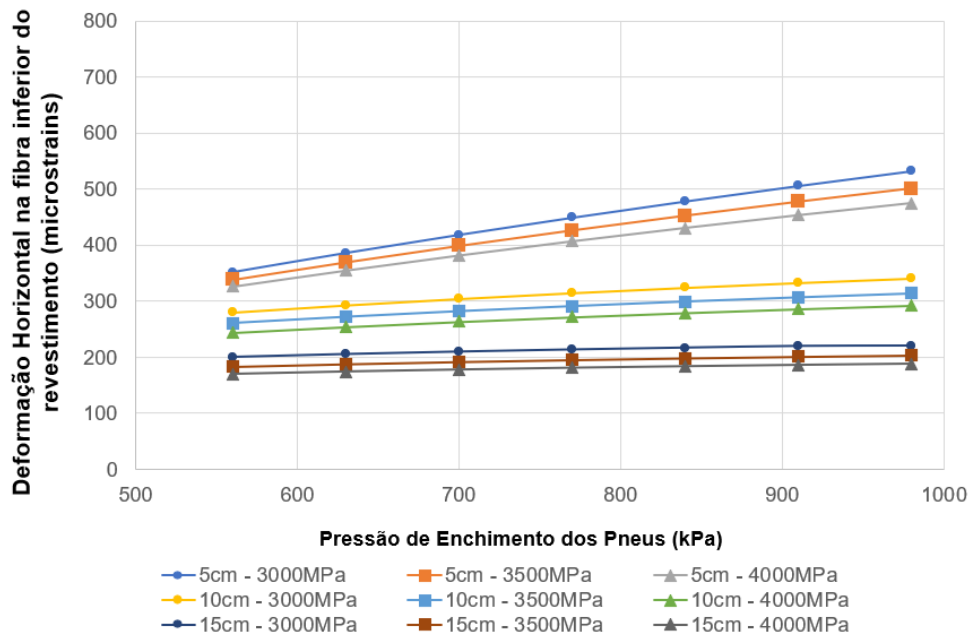
Figura 32 - Deformação horizontal no revestimento em função da pressão de Enchimento dos Pneus (Aderência plena)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

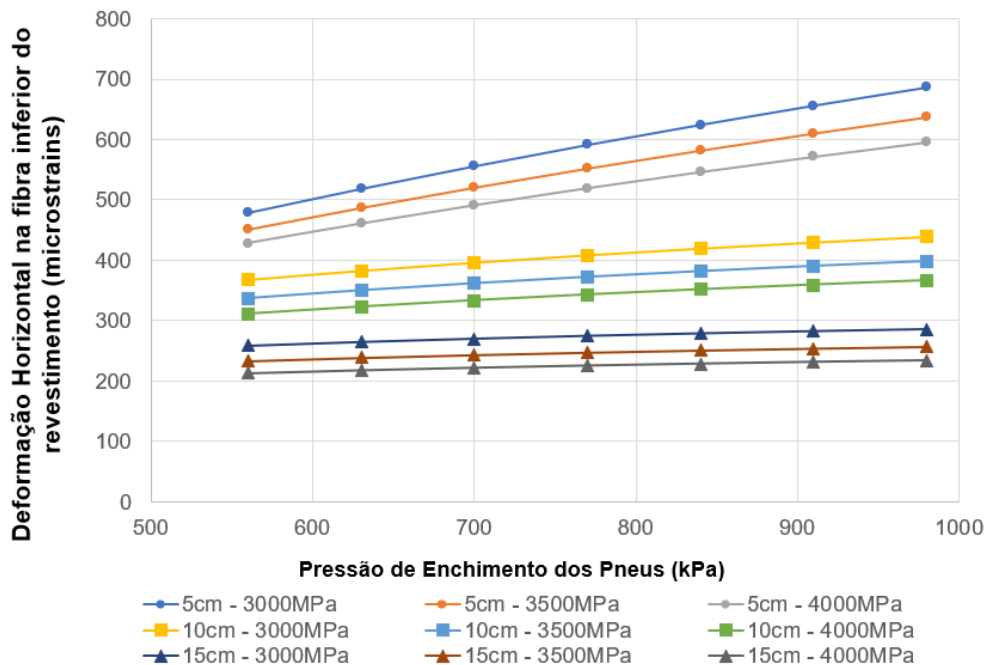
Para condição de aderência parcial e sem aderência, o comportamento da estrutura é semelhante, embora ocorra um acréscimo de deformações horizontais na fibra inferior do revestimento. Contudo, para espessuras delgadas, o módulo de resiliência influencia mais na redução de deformações horizontais do que em aderência plena, conforme Figura 33 e Figura 34, mesmo para pressões de pneus baixas.

Figura 33 - Deformação horizontal no revestimento em função da pressão de Enchimento dos Pneus (Aderência parcial)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 34 - Deformação horizontal no revestimento em função da pressão de Enchimento dos Pneus (Sem aderência)



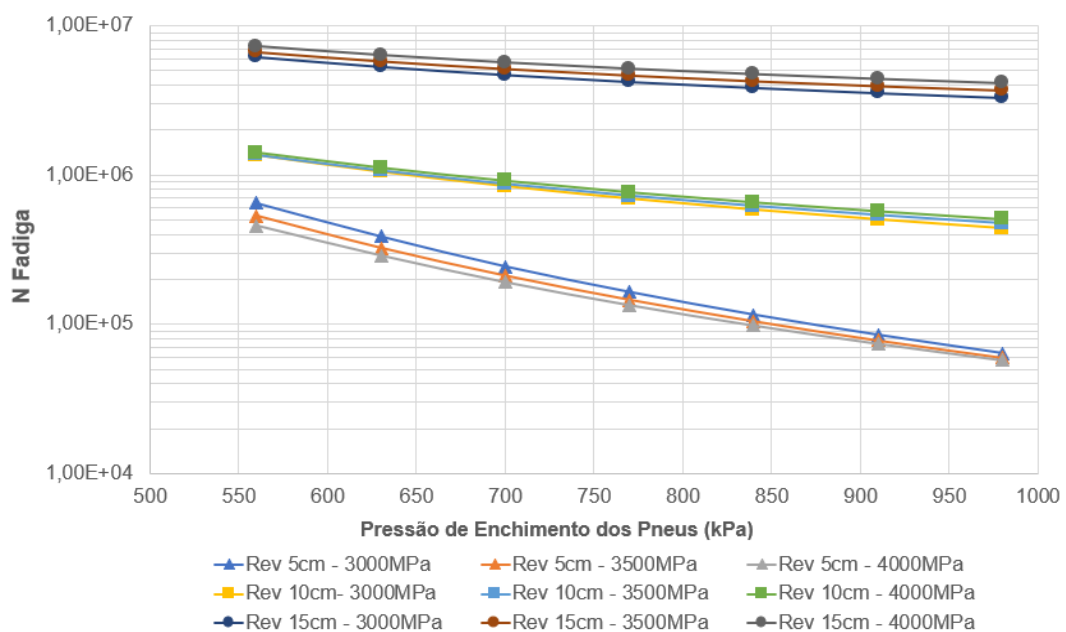
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Com base na Equação 4.1, o aumento da pressão de enchimento dos pneus diminui a vida útil das estruturas, como consequência do acréscimo de deformação

horizontal de tração. Dessa forma, em aderência plena, ocorre uma redução média de vida útil à fadiga de 88%, 65% e 45% para revestimentos asfálticos com 50, 100 e 150mm de espessura, respectivamente. Observou-se que para revestimentos asfálticos de 50mm em aderência plena, a variação do módulo de resiliência representa um acréscimo de 29,50% na vida útil da estrutura para pressões de 80psi. Contudo, quando analisado em pressões de 140psi, a mudança do módulo de resiliência resulta em um acréscimo de 9,90% na vida útil à fadiga. Ou seja, os revestimentos asfálticos com 50mm de espessura tendem a apresentar uma redução da influência do módulo de resiliência na vida à fadiga em pressões de pneus elevadas, conforme Figura 35.

Para camadas asfálticas com espessura intermediária, da ordem de 100mm de espessura, ocorre o oposto das estruturas delgadas e em pressões de enchimento dos pneus baixas o módulo de resiliência possui pouca influência na vida útil da estrutura. Dessa forma, até pressões de aproximadamente 700kPa, o módulo de resiliência resultou em um acréscimo máximo de 4,50% na vida útil à fadiga. Para camadas com revestimento asfáltico de 150mm, o módulo de resiliência apresenta maior influência para o aumento da vida útil da estrutura, embora resulte em uma diferença pequena para os valores analisados.

Figura 35 - Vida de Fadiga em função da pressão de enchimento dos pneus para aderência plena



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

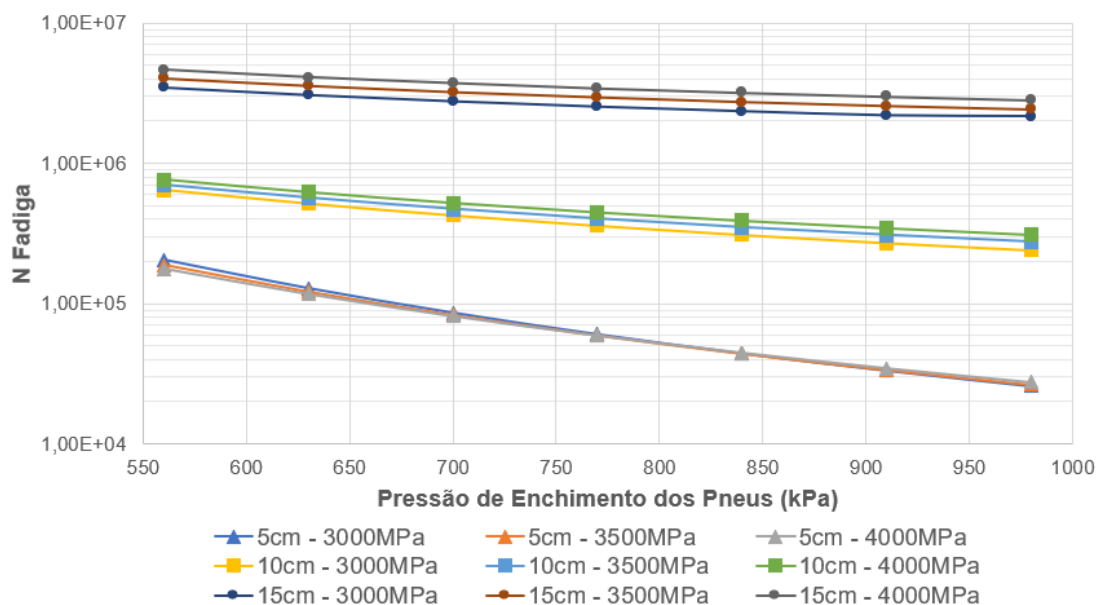


Em aderência parcial, ocorre uma redução média de vida útil à fadiga de 85%, 60% e 40% para revestimentos asfálticos com 50, 100 e 150mm de espessura, respectivamente. Observa-se que nessa condição de aderência a redução de vida útil à fadiga é menor do que em condição de aderência plena.

Para a condição de aderência parcial na interface do revestimento com a base, a estrutura com revestimento delgado em pressões superiores a 700kPa apresenta um comportamento independente do módulo de resiliência considerado. Ou seja, a mudança no módulo de resiliência apresentou variação máxima de 2,30% na vida útil à fadiga. Nessa condição, ocorre uma superposição das curvas de vida de fadiga na escala logarítmica, conforme Figura 36.

Para camadas de revestimento asfáltico com 100mm de espessura, o módulo de resiliência apresenta influência maior do que na condição de aderência plena e, além disso, não ocorre a tendência de um comportamento independente. Para camadas asfálticas de 150mm, o módulo de resiliência possui maior influência na vida à fadiga da estrutura, ou seja, o aumento da espessura da camada de revestimento asfáltico implica em maior influência do módulo de resiliência na vida à fadiga da estrutura analisada.

Figura 36 - Vida de fadiga em função da pressão de enchimento dos pneus para aderência parcial



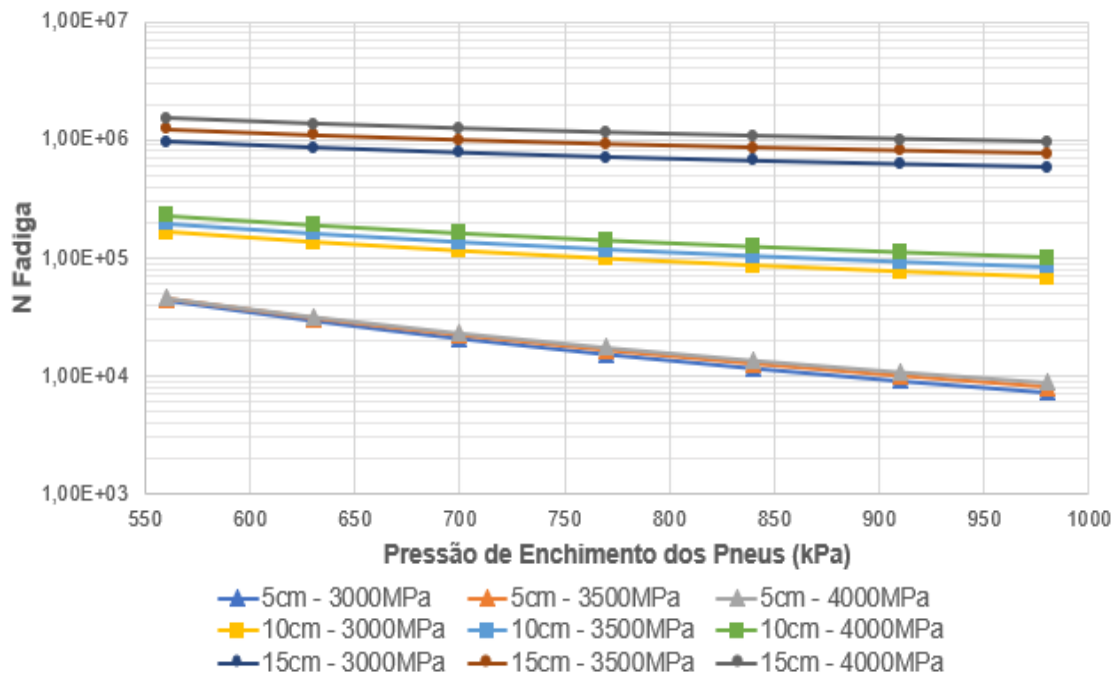
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Para a condição sem aderência, ocorre uma redução média de vida útil à fadiga de 82%, 57% e 38% para revestimentos asfálticos com 50, 100 e 150mm de espessura, respectivamente.

Nesta condição, as espessuras de 50mm solicitadas por pressões de pneus menores que 700kPa apresentam uma tendência de comportamento independente do módulo de resiliência da camada asfáltica na escala logarítmica. Com o aumento da pressão de pneus, o módulo de resiliência possui influência maior na redução de deformações horizontais de tração na fibra inferior do revestimento e, dessa forma, no aumento da vida útil. Para as demais espessuras analisadas sem aderência na interface, o módulo de resiliência possui influência maior do que nas condições de aderência parcial e aderência plena.

Ou seja, à medida que diminui a condição de aderência na interface, o módulo de resiliência contribui mais para a redução de deformações horizontais de tração na fibra inferior do revestimento, em função do aumento da pressão de enchimento dos pneus, conforme Figura 37.

Figura 37 - Vida de fadiga em função da pressão de enchimento dos pneus para condição sem aderência



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Observa-se, dessa forma, que a mudança de aderência entre camadas implica em redução relativa da influência da pressão de enchimento dos pneus. Entretanto, a condição de aderência eleva as deformações horizontais de tração e, conseqüentemente, reduz a vida útil do pavimento. Para as estruturas estudadas neste trabalho, a mudança da condição de aderência resultou em uma redução média de vida útil de 54% e 88% para condição de aderência parcial e sem aderência, respectivamente, em comparação com a aderência plena.

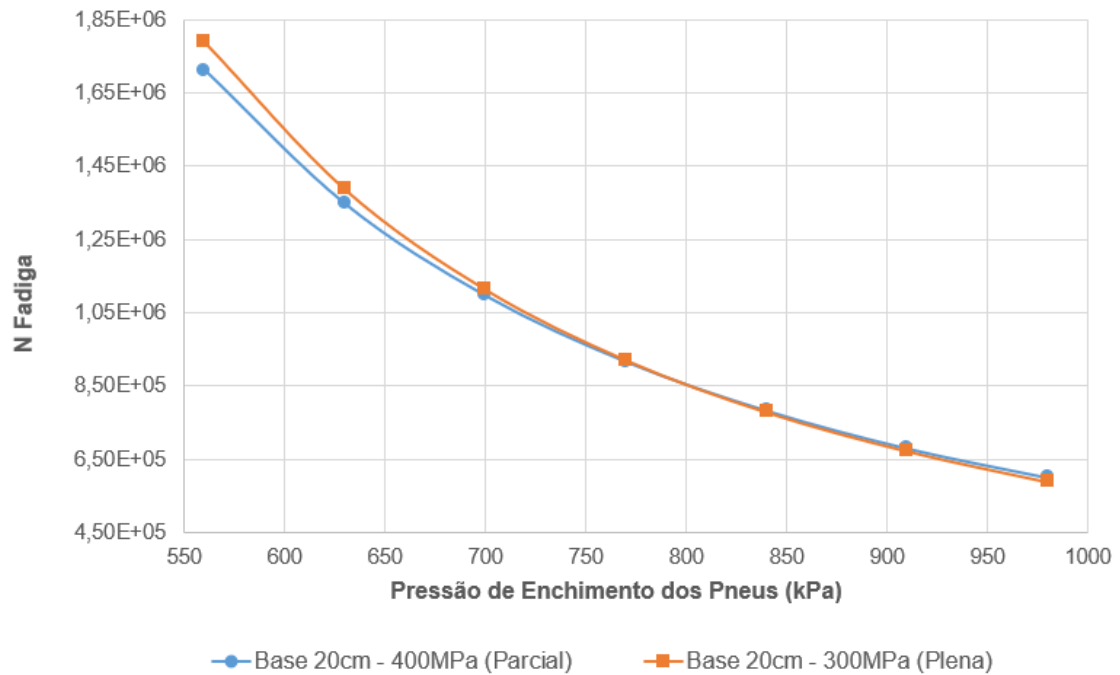
Nas estruturas do Conjunto 2, o aumento da rigidez da base resulta em redução das deformações na fibra inferior do revestimento e, por consequência, eleva a vida à fadiga da camada asfáltica em aderência plena. A mudança na condição de aderência na interface entre revestimento e base, diminui a transferência de carga entre as camadas e, dessa forma, ocorre a redução a vida útil da estrutura.

A Figura 38 ilustra o comportamento da camada de base com 20 centímetros de espessura e módulo de resiliência de 300MPa, em aderência plena, o qual apresenta um comportamento semelhante da camada de 20 centímetros de espessura e módulo de resiliência de 400MPa em aderência parcial. Nesta condição, ocorre uma superposição das curvas de desempenho quando a pressão de enchimento dos pneus é maior que 700kPa. A condição sem aderência resulta em um acréscimo significativo nas deformações de tração na fibra inferior do revestimento e, com isso, reduz a vida útil à fadiga da estrutura, de forma que, para esta condição analisada, não há superposição das curvas de desempenho nas estruturas analisadas.

No conjunto 3, as estruturas apresentam sensibilidade maior ao aumento da pressão de pneus em condição de aderência plena, embora em aderência parcial a vida à fadiga seja inferior. Com o aumento da pressão de enchimento dos pneus, ocorre a redução da influência da espessura e do módulo de resiliência da camada em melhorar a vida à fadiga em ambas as condições de aderência. Contudo, o módulo de resiliência da sub-base apresenta influência maior no aumento de vida à fadiga, tanto para pressões baixas quanto pressões elevadas.

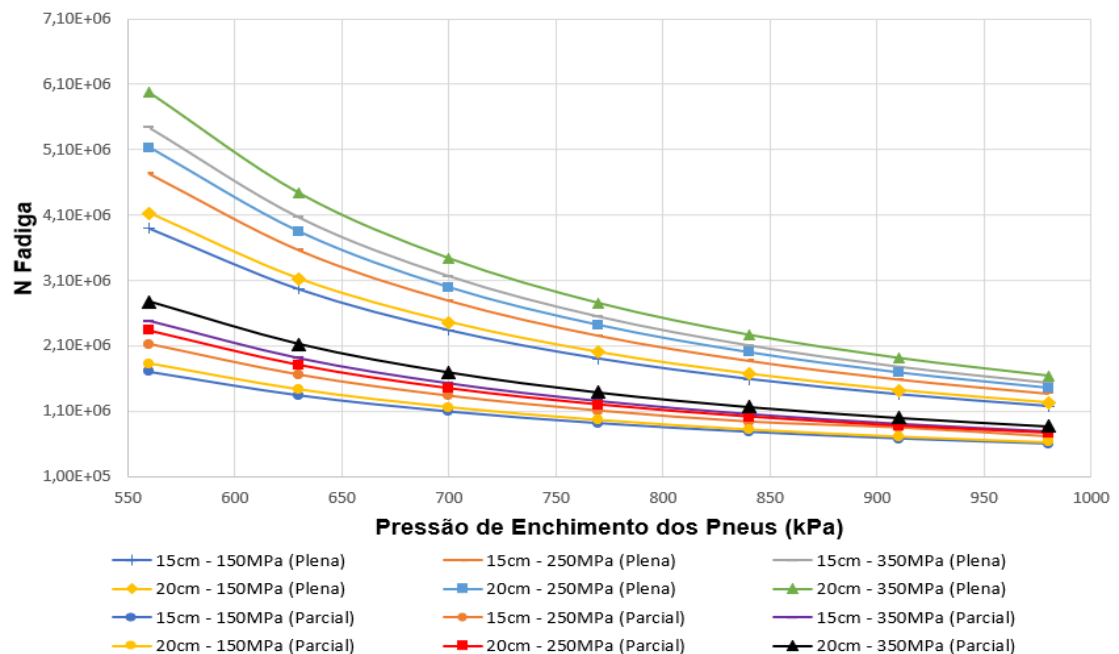
Assim como ocorre nos demais conjuntos, em condição sem aderência na interface das camadas, ocorre uma redução na vida útil das estruturas analisadas. A Figura 39 ilustra as curvas de desempenho para cada parâmetro analisado em aderência plena e parcial.

Figura 38 - Vida de fadiga no revestimento para Conjunto 2



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 39 - Vida de fadiga no revestimento para Conjunto 3

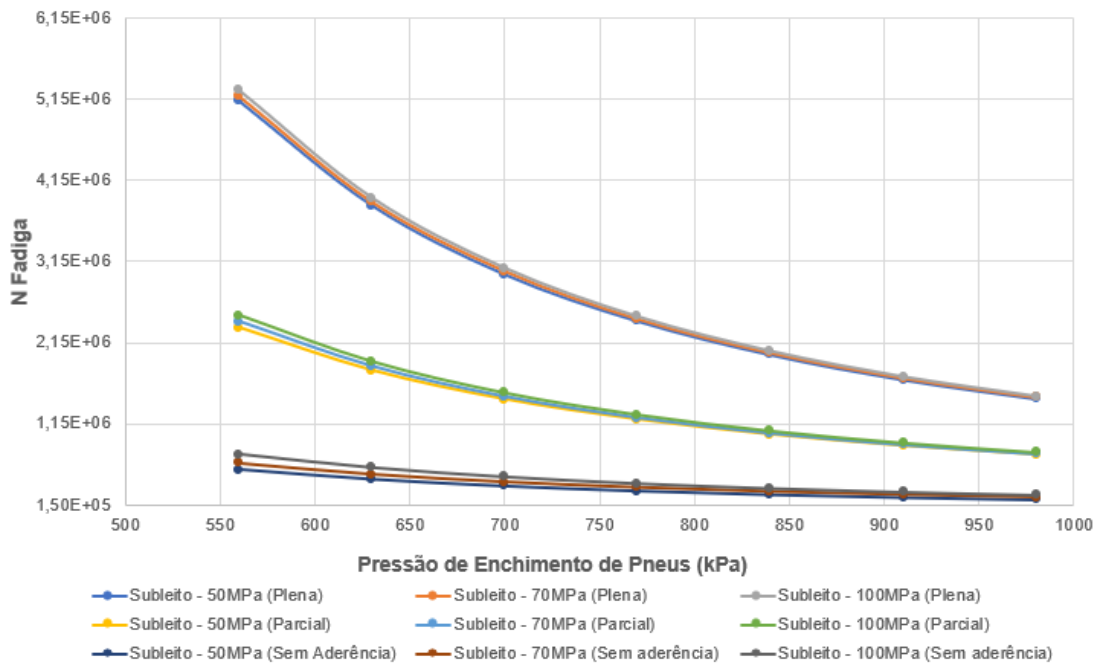


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Nas análises do conjunto 4, o aumento do módulo de resiliência do subleito possui pouca influência na redução de deformações na fibra inferior do revestimento e no aumento de vida à fadiga da estrutura, nas três condições de aderência

analisadas. Contudo, com a perda de aderência na interface do revestimento, embora a vida à fadiga da estrutura seja inferior, ocorre uma redução da influência da pressão de contato pneu-pavimento na redução de vida útil à fadiga, conforme observado na Figura 40.

Figura 40 - Vida de fadiga no revestimento para Conjunto 4



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

#### 4.5.4 Tensão vertical de compressão no topo do subleito

Em todos os conjuntos analisados em condição de aderência plena e sem aderência, o aumento da pressão de contato pneu-pavimento eleva as tensões de compressão no topo do subleito. Contudo, para a condição de aderência parcial, o aumento da pressão de contato resulta na redução da tensão vertical de compressão no topo do subleito. Entretanto, independente do conjunto analisado e da condição de aderência, a variação da tensão de compressão no topo do subleito é pequena em função da pressão de enchimento dos pneus. No conjunto 1, o aumento da espessura resulta em tensões de compressão menores no topo do subleito, independente da condição de aderência.

A redução de aderência na interface entre revestimento e base resulta em um acréscimo de tensões verticais no topo do subleito. Para a condição de aderência parcial, o acréscimo de tensões verticais, em comparação com a aderência plena, é de aproximadamente 10%. Contudo, para a condição sem aderência, o acréscimo de tensões verticais no topo do subleito é de aproximadamente 43%. Dessa forma, a situação sem aderência corresponde à condição mais crítica para a estrutura do pavimento. As Tabelas 22 a 24 apresentam as tensões verticais no topo do subleito para o conjunto 1 em aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente. Nas estruturas analisadas, o aumento da espessura do revestimento asfáltico de 5cm para 15cm reduz as tensões verticais do topo do subleito em aproximadamente 50%, independente da condição de aderência.

Tabela 22 – Tensões verticais no topo do subleito com aderência plena na interface revestimento e base

Pressão de Enchimento (kPa)	5cm	5cm	5cm	15cm	15cm	15cm
	(3000 MPa)	(3500MPa)	(4000MPa)	(3000MPa)	(3500MPa)	(4000MPa)
560	-44,27	-43,64	-43,11	-22,94	-22,02	-21,23
630	-44,41	-43,78	-43,21	-22,98	-22,07	-21,27
700	-44,53	-43,90	-43,36	-23,02	-22,10	-21,30
770	-44,62	-43,99	-43,45	-23,05	-22,13	-21,33
840	-44,70	-44,07	-43,53	-23,08	-22,15	-21,35
910	-44,76	-44,13	-43,59	-23,10	-22,17	-21,37
980	-44,82	-44,19	-43,65	-23,12	-22,19	-21,39

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 23 - Tensões verticais no topo do subleito com aderência parcial na interface revestimento e base

Pressão de Enchimento (kPa)	5cm	5cm	5cm	15cm	15cm	15cm
	(3000MPa)	(3500MPa)	(4000MPa)	(3000MPa)	(3500MPa)	(4000MPa)
560	-48,63	-48,02	-47,49	-25,35	-24,23	-23,27
630	-48,60	-47,99	-47,46	-25,30	-24,19	-23,23
700	-48,56	-47,95	-47,42	-25,25	-24,14	-23,19
770	-48,52	-47,91	-47,38	-25,20	-24,10	-23,15
840	-48,47	-47,87	-47,33	-25,16	-24,06	-23,12
910	-48,43	-47,82	-47,28	-25,12	-24,03	-23,09
980	-48,38	-47,77	-47,24	-25,09	-23,99	-23,05

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 24 - Tensões verticais no topo do subleito sem aderência na interface revestimento e base

Pressão de Enchimento (kPa)	5cm	5cm	5cm	15cm	15cm	15cm
	(3000 MPa)	(3500MPa)	(4000MPa)	(3000MPa)	(3500MPa)	(4000MPa)
560	-63,63	-63,03	-62,50	-35,34	-33,45	-31,83
630	-63,75	-63,20	-62,67	-35,39	-33,49	-31,87
700	-63,88	-63,33	-62,80	-35,42	-33,52	-31,89
770	-63,98	-63,43	-62,90	-35,44	-33,54	-31,91
840	-64,06	-63,51	-62,98	-35,45	-33,55	-31,91
910	-64,12	-63,57	-63,04	-35,46	-33,55	-31,92
980	-64,17	-63,62	-63,08	-35,46	-33,55	-31,92

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Nos demais conjuntos, e nas 3 condições de aderência, os valores de tensão vertical no topo do subleito sofrem variação média inferior a 1% em função da pressão de enchimento dos pneus. As Tabelas 25 a 27 apresentam as variações relativas de tensão de compressão no topo do subleito para o conjunto 2 em situação de aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente. As Tabelas 28 a 30 apresentam as variações relativas de tensão de compressão no topo do subleito para o conjunto 3 em situação de aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente. As Tabelas 31 a 33 apresentam as variações relativas de tensão de compressão no topo do subleito para o conjunto 4 em situação de aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente.

Tabela 25 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 2 em aderência plena

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	300MPa	400MPa	500MPa	300MPa	400MPa	500MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	0,26%	0,25%	0,24%	0,24%	0,24%	0,23%
700	0,47%	0,45%	0,43%	0,44%	0,42%	0,41%
770	0,64%	0,61%	0,59%	0,60%	0,58%	0,56%
840	0,78%	0,75%	0,72%	0,73%	0,71%	0,69%
910	0,90%	0,86%	0,83%	0,85%	0,82%	0,79%
980	1,01%	0,96%	0,93%	0,95%	0,92%	0,88%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 26 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 2 em aderência parcial

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	300MPa	400MPa	500MPa	300MPa	400MPa	500MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	-0,17%	-0,19%	-0,21%	-0,17%	-0,22%	-0,24%
700	-0,35%	-0,37%	-0,40%	-0,34%	-0,41%	-0,43%
770	-0,49%	-0,56%	-0,60%	-0,52%	-0,59%	-0,63%
840	-0,67%	-0,71%	-0,80%	-0,69%	-0,78%	-0,79%
910	-0,81%	-0,90%	-0,96%	-0,83%	-0,93%	-0,99%
980	-0,96%	-1,05%	-1,12%	-0,96%	-1,08%	-1,15%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 27 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 2 sem aderência

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	300MPa	400MPa	500MPa	300MPa	400MPa	500MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	0,19%	0,17%	0,16%	0,17%	0,13%	0,13%
700	0,34%	0,30%	0,27%	0,30%	0,23%	0,21%
770	0,44%	0,39%	0,33%	0,37%	0,28%	0,24%
840	0,50%	0,46%	0,38%	0,42%	0,33%	0,27%
910	0,57%	0,48%	0,40%	0,47%	0,36%	0,29%
980	0,61%	0,50%	0,40%	0,49%	0,36%	0,27%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 28 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 3 em aderência plena

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	150MPa	250MPa	350MPa	150MPa	250MPa	350MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	0,24%	0,24%	0,24%	0,22%	0,23%	0,22%
700	0,42%	0,43%	0,44%	0,39%	0,40%	0,40%
770	0,58%	0,59%	0,60%	0,53%	0,55%	0,55%
840	0,71%	0,72%	0,73%	0,65%	0,67%	0,67%
910	0,82%	0,84%	0,84%	0,75%	0,78%	0,78%
980	0,92%	0,93%	0,94%	0,84%	0,87%	0,87%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Tabela 29 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 3 em aderência parcial

Pressão de Enchimento (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	150MPa	250MPa	350MPa	150MPa	250MPa	350MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	-0,22%	-0,20%	-0,17%	-0,21%	-0,18%	-0,19%
700	-0,41%	-0,39%	-0,37%	-0,38%	-0,36%	-0,34%
770	-0,59%	-0,55%	-0,54%	-0,59%	-0,54%	-0,53%
840	-0,78%	-0,71%	-0,70%	-0,76%	-0,68%	-0,67%
910	-0,93%	-0,87%	-0,83%	-0,93%	-0,86%	-0,82%
980	-1,08%	-1,02%	-0,99%	-1,05%	-1,00%	-0,91%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 30 - Variação da tensão de compressão para o conjunto 3 sem aderência

Pressão de Enchimento dos pneus (kPa)	15cm	15cm	15cm	20cm	20cm	20cm
	150MPa	250MPa	350MPa	150MPa	250MPa	350MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
630	0,13%	0,14%	0,14%	0,13%	0,10%	0,10%
700	0,23%	0,25%	0,23%	0,21%	0,19%	0,17%
770	0,28%	0,30%	0,29%	0,26%	0,22%	0,20%
840	0,33%	0,33%	0,32%	0,29%	0,26%	0,24%
910	0,36%	0,36%	0,32%	0,29%	0,26%	0,24%
980	0,36%	0,36%	0,35%	0,29%	0,26%	0,23%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 31 - Variação relativa da tensão de compressão para o conjunto 4 em aderência plena

Pressão de Enchimento dos pneus (kPa)	Módulo de Resiliência do Subleito		
	50MPa	70MPa	100MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	0,23%	0,24%	0,26%
700	0,40%	0,43%	0,46%
770	0,55%	0,59%	0,63%
840	0,67%	0,72%	0,77%
910	0,78%	0,83%	0,89%
980	0,87%	0,93%	0,99%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 32 - Variação da tensão para o conjunto 4 em aderência parcial

Pressão de Enchimento dos pneus (kPa)	Módulo de Resiliência do Subleito		
	50MPa	70MPa	100MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	-0,18%	-0,17%	-0,12%
700	-0,36%	-0,32%	-0,25%
770	-0,54%	-0,47%	-0,41%
840	-0,68%	-0,62%	-0,53%
910	-0,86%	-0,77%	-0,67%
980	-1,00%	-0,92%	-0,78%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 33 - Variação relativa da tensão de compressão para o conjunto 4 sem aderência

Pressão de Enchimento dos pneus (kPa)	Módulo de Resiliência do Subleito		
	50MPa	70MPa	100MPa
560	0,00%	0,00%	0,00%
630	0,10%	0,16%	0,21%
700	0,19%	0,27%	0,35%
770	0,22%	0,35%	0,46%
840	0,26%	0,41%	0,56%
910	0,26%	0,46%	0,63%
980	0,26%	0,46%	0,65%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

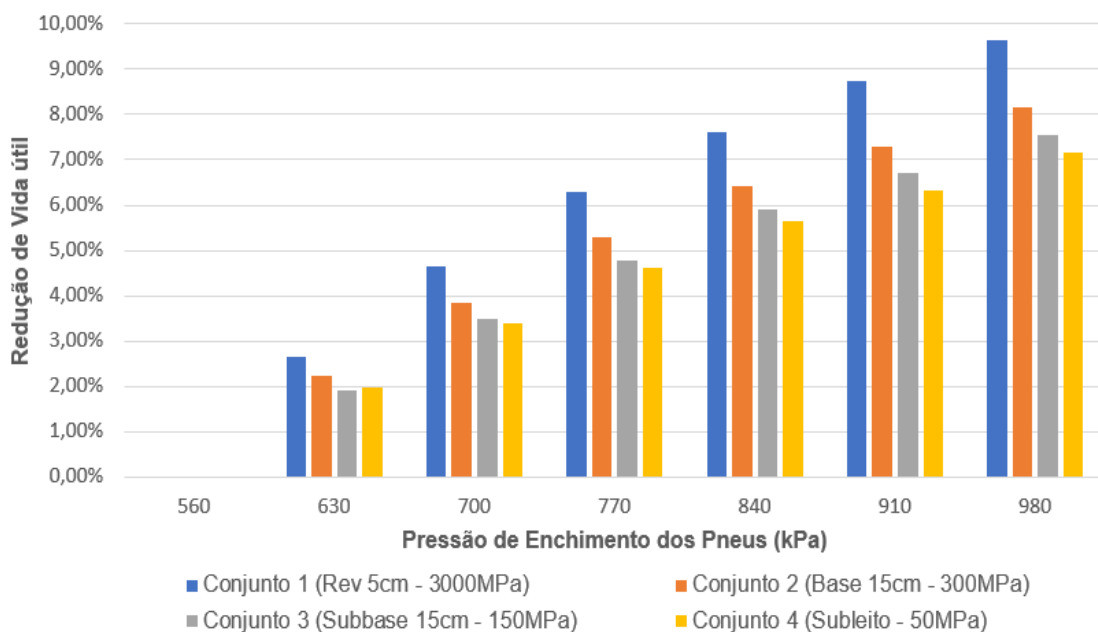
#### 4.5.5 Deformação vertical de compressão no topo do subleito

A maioria dos estudos de variação da pressão de enchimento de pneus indicam que a deformação vertical no topo do subleito sofre pequena variação quanto à área de carregamento. Segundo a FAA (2021), a pressão de enchimento dos pneus apresenta influência maior nas deformações horizontais de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico do que nas deformações verticais de compressão no topo do subleito.

De fato, nos conjuntos analisados em aderência plena, as deformações verticais no topo do subleito sofreram pouca variação com o aumento da pressão de enchimento de pneus. Nos conjuntos analisados em aderência plena, o caso mais

crítico ocorre nas estruturas que possuem espessuras e módulos de resiliência menores, conforme a Figura 41 que ilustra a redução relativa da vida útil em função da pressão de enchimento de pneus e estabelecendo 560kPa como padrão. Dentre os conjuntos estudados, o pior caso ocorre no conjunto 1, com redução de 9,65% da vida útil. Além disso, por apresentar a menor espessura, a estrutura do conjunto 1 com revestimento de 5cm e módulo de resiliência de 3000MPa é a que apresenta a menor vida útil.

Figura 41 - Redução de vida útil pelo critério de deformação permanente em aderência plena



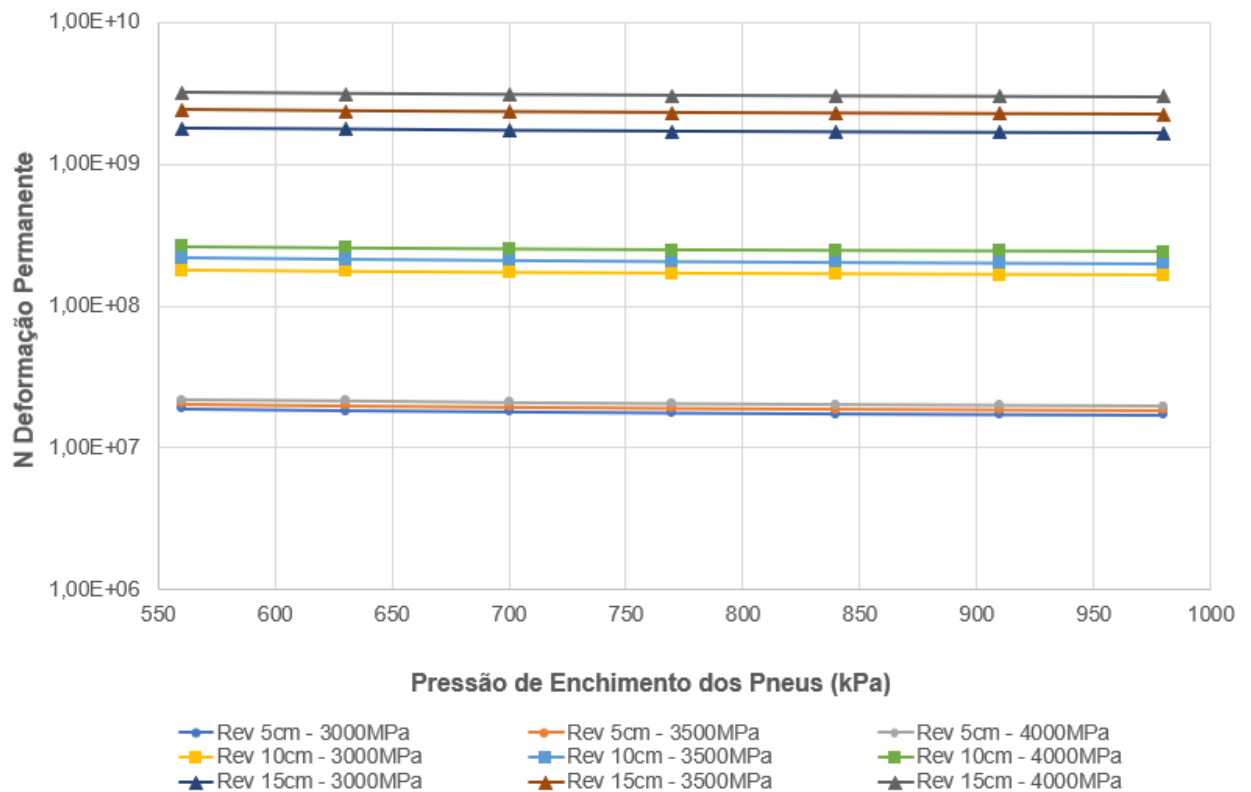
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Contudo, para esta estrutura na condição de aderência parcial, as deformações verticais no topo do subleito aumentam até a pressão de inflação de 770kPa e diminuem para as demais pressões de enchimento dos pneus. Dessa forma, a deformação vertical no topo do subleito é igual nas pressões de enchimento dos pneus de 560kPa (80psi) e 910kPa (130psi) no conjunto 1. Para a condição sem aderência na interface entre base e revestimento asfáltico, o aumento da pressão de enchimento dos pneus resulta em um pequeno acréscimo de deformações na estrutura e, conseqüentemente, na redução de vida útil da estrutura em todos os conjuntos analisados.

Embora ocorra essa variação de comportamento da estrutura em função da pressão de enchimento dos pneus, para diferentes condições de aderência, a variação

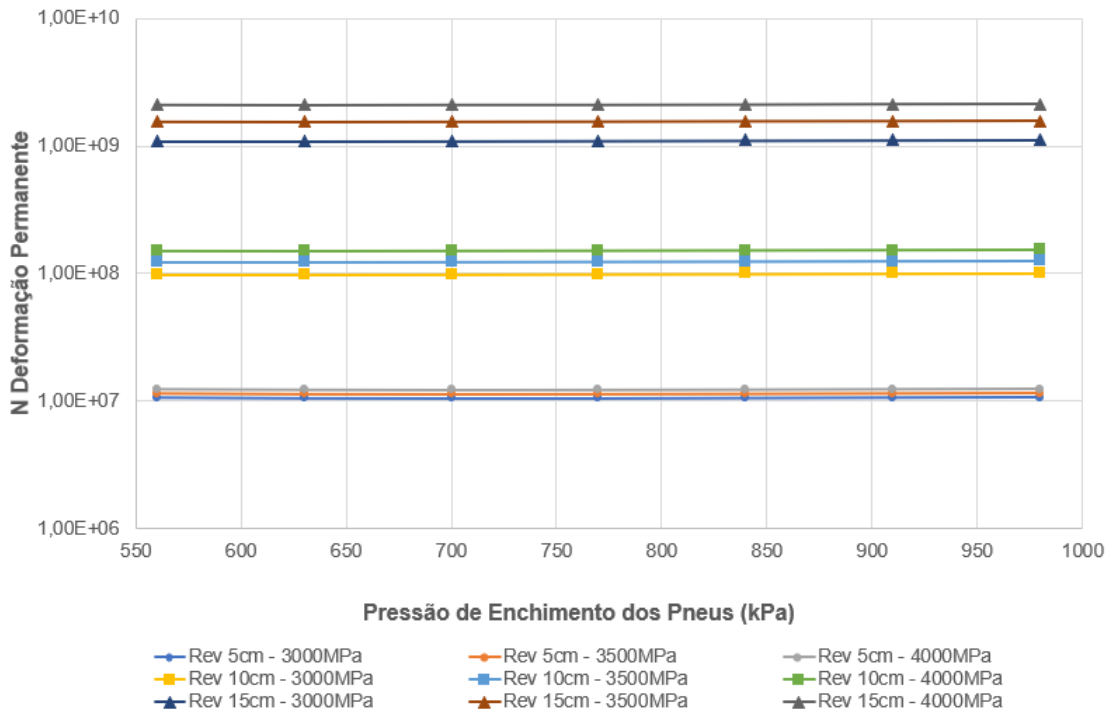
de deformação vertical no topo do subleito é na prática considerado como desprezível. Por meio da Equação 4.2 e das análises realizadas, observa-se que o aumento da espessura do pavimento resulta em uma maior contribuição do módulo de resiliência das camadas asfálticas para aumentar a vida útil da estrutura, nas 3 condições de aderência analisadas. Entretanto, a variação de vida útil das estruturas, com o aumento da pressão de enchimento dos pneus, pode ser considerada desprezível, conforme ilustrado nas Figuras 42 a 44.

Figura 42 - Variação da vida útil pelo critério de deformação permanente em função da pressão de enchimento para aderência plena



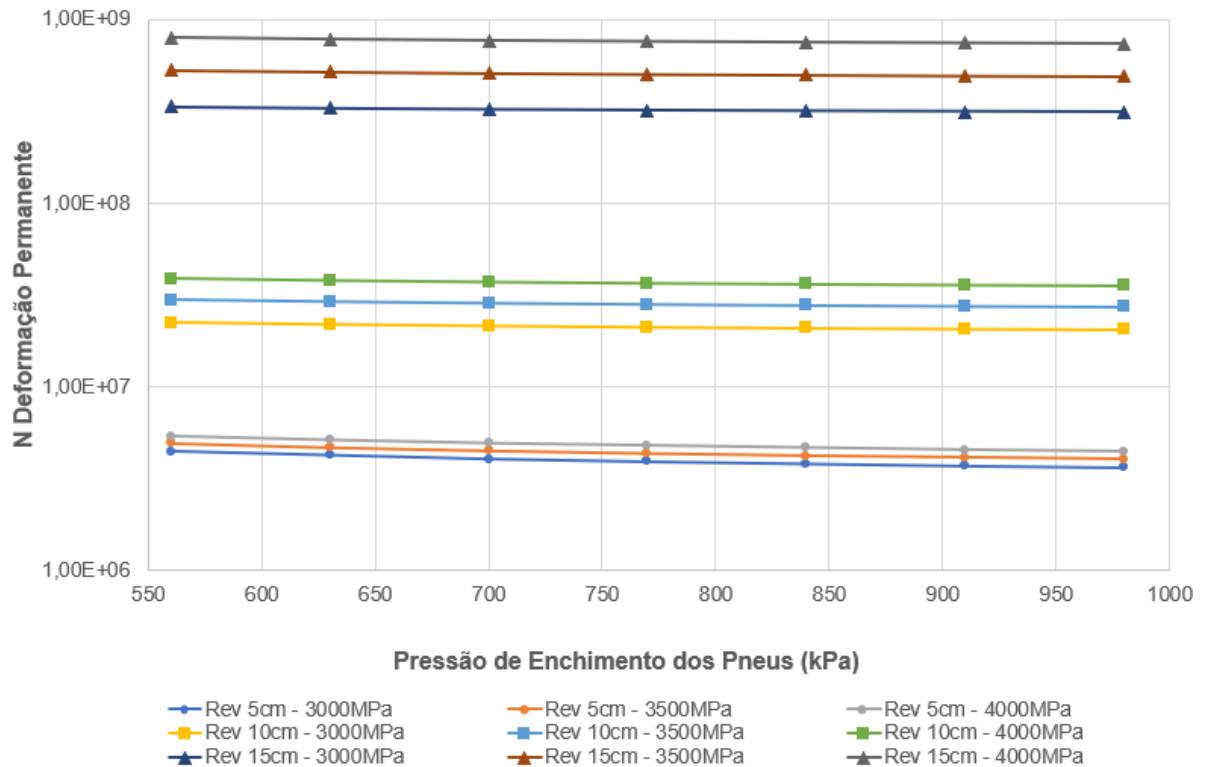
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 43 - Variação da vida útil pelo critério de deformação permanente em função da pressão de enchimento para aderência parcial



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Figura 44 - Variação da vida útil pelo critério de deformação permanente em função da pressão de enchimento para condição sem aderência



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

## 4.6 REGRESSÕES

As regressões múltiplas foram realizadas com o auxílio do *software* Microsoft Excel®, o qual utiliza o método dos erros mínimos quadrados. As regressões foram realizadas para deformação horizontal na fibra inferior do revestimento ( $\epsilon_{ht}$ ), deformação vertical de compressão ( $\epsilon_{vc}$ ) e deflexão na superfície ( $Do$ ) em função da pressão de enchimento dos pneus ( $p$ ), espessura do revestimento ( $h_{revest}$ ), módulo de resiliência do revestimento ( $MR_{revest}$ ), espessura da base ( $h_{base}$ ), módulo de resiliência da base ( $MR_{base}$ ), espessura da sub-base ( $h_{sub-base}$ ), módulo de resiliência da sub-base ( $MR_{sub-base}$ ) e módulo de resiliência do subleito ( $MR_{subleito}$ ) para as três condições de aderência estudadas. As regressões foram obtidas considerando o módulo de resiliência e pressão de enchimento dos pneus na unidade MPa, e a espessura das camadas do pavimento em milímetros.

### 4.6.1 Deflexão na superfície do pavimento

A Tabela 34 apresenta os coeficientes das regressões múltiplas realizadas para deflexão na superfície do pavimento. As equações empregadas para deflexões na superfície são potenciais e apresentam um  $R^2$  de 0,99 para as três as condições de aderência. As Equações 4.3 a 4.5 apresentam as regressões de deflexão para aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente.

Tabela 34 - Regressão para deflexão na superfície do Pavimento

Equação – $Do = f(p, MR_{revest}, h_{revest}, MR_{base}, h_{base}, MR_{sub-base}, h_{sub-base}, MR_{subleito})$			
$Do = a \cdot p^b \cdot MR_{revest}^c \cdot h_{revest}^d \cdot MR_{base}^e \cdot h_{base}^f \cdot MR_{subbase}^g \cdot h_{subbase}^h \cdot MR_{subleito}^i$			
Coeficientes	Aderência Plena	Aderência parcial	Sem Aderência
a	2039,478	2249,783	2025,561
b	0,055	0,043	0,044
c	-0,143	-0,150	-0,164
d	-0,382	-0,393	-0,378
e	-0,132	-0,124	-0,048
f	-0,208	-0,205	-0,167
g	-0,125	-0,127	-0,126
h	-0,141	-0,145	-0,168
i	-0,523	-0,523	-0,580
R <sup>2</sup> Ajustado	0,996	0,995	0,991

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

$$Do (plena) = 2039,478 \cdot p^{0,055} \cdot MR_{revest}^{-0,143} \cdot h_{revest}^{-0,382} \cdot MR_{base}^{-0,132} \cdot h_{base}^{-0,208} \cdot MR_{Subbase}^{-0,125} \cdot h_{subbase}^{-0,141} \cdot MR_{Subleito}^{-0,523} \quad (4.3)$$

$$Do (parcial) = 2249,783 \cdot p^{0,043} \cdot MR_{revest}^{-0,150} \cdot h_{revest}^{-0,393} \cdot MR_{base}^{-0,124} \cdot h_{base}^{-0,205} \cdot MR_{Subbase}^{-0,127} \cdot h_{subbase}^{-0,145} \cdot MR_{Subleito}^{-0,523} \quad (4.4)$$

$$Do (SA) = 2025,561 \cdot p^{0,044} \cdot MR_{revest}^{-0,164} \cdot h_{revest}^{-0,378} \cdot MR_{base}^{-0,048} \cdot h_{base}^{-0,167} \cdot MR_{Subbase}^{-0,126} \cdot h_{subbase}^{-0,168} \cdot MR_{Subleito}^{-0,580} \quad (4.5)$$

A Tabela 35 apresenta os valores-p para os parâmetros da regressão de deflexão na superfície do pavimento. Para as três condições de aderência, os valores-p são menores que 0,05.

Tabela 35 - Valores-p para regressão da deflexão na superfície

<i>Parâmetro</i>	<i>valor-P</i>		
	<i>Aderência Plena</i>	<i>Aderência Parcial</i>	<i>Sem Aderência</i>
Interseção	1,5816E-104	1,4039E-101	4,6706E-84
Pressão	4,7673E-18	1,34774E-11	1,0052E-07
MR revest	8,7902E-20	2,22836E-19	1,5708E-14
H revest	1,4452E-136	1,7937E-134	9,0292E-115
MR base	3,5679E-38	7,62228E-33	9,5367E-06
H base	1,0568E-39	2,90317E-36	2,1935E-19
MR Sub-base	2,1463E-55	4,54129E-53	6,0313E-39
H sub-base	3,5368E-22	3,10099E-21	2,5516E-17
MR Subleito	2,5316E-108	1,2855E-104	1,1836E-93

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

#### 4.6.2 Deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento

A Tabela 36 apresenta os coeficientes da regressão múltipla potencial realizada para a deformação horizontal nas três condições de aderência. A regressão potencial resultou em um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,95 para aderência plena e 0,96 para aderência parcial e sem aderência. As Equações 4.6 a 4.8 apresentam as

regressões para deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico para condição de aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente.

Tabela 36 - Regressão para Deformação Horizontal

Equação: $\varepsilon_{ht} = f(p, MR_{\text{revest}}, h_{\text{revest}}, MR_{\text{base}}, h_{\text{base}}, MR_{\text{sub-base}}, h_{\text{sub-base}}, MR_{\text{subleito}})$			
$\varepsilon_{ht} = a \cdot p^b \cdot (MR_R)^c \cdot (h_R)^d \cdot (MR_{\text{base}})^e \cdot (h_{\text{base}})^f \cdot (MR_{\text{SB}})^g \cdot (h_{\text{SB}})^h \cdot (MR_{\text{SL}})^i$			
Coeficientes	Aderência Plena	Aderência parcial	Sem Aderência
a	1,840E+06	4,280E+06	9,760E+06
b	0,447	0,394	0,351
c	-0,375	-0,468	-0,575
d	-0,596	-0,680	-0,701
e	-0,381	-0,269	-0,062
f	-0,054	-0,073	-0,106
g	-0,069	-0,079	-0,112
h	-0,040	-0,050	-0,099
i	-0,006	-0,014	-0,074
R <sup>2</sup>	0,950	0,961	0,964

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

$$\varepsilon_{ht} (\text{plena}) = 1,840 \cdot 10^6 \cdot p^{0,447} \cdot MR_{\text{revest}}^{-0,375} \cdot h_{\text{revest}}^{-0,596} \cdot MR_{\text{base}}^{-0,381} \cdot h_{\text{base}}^{-0,054} \cdot MR_{\text{Subbase}}^{-0,069} \cdot h_{\text{subbase}}^{-0,040} \cdot MR_{\text{Subleito}}^{-0,006} \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{ht} (\text{parcial}) = 4,280 \cdot 10^6 \cdot p^{0,394} \cdot MR_{\text{revest}}^{-0,468} \cdot h_{\text{revest}}^{-0,68} \cdot MR_{\text{base}}^{-0,269} \cdot h_{\text{base}}^{-0,073} \cdot MR_{\text{Subbase}}^{-0,079} \cdot h_{\text{subbase}}^{-0,050} \cdot MR_{\text{Subleito}}^{-0,014} \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_{ht} (\text{SA}) = 9,760 \cdot 10^6 \cdot p^{0,351} \cdot MR_{\text{revest}}^{-0,575} \cdot h_{\text{revest}}^{-0,701} \cdot MR_{\text{base}}^{-0,062} \cdot h_{\text{base}}^{-0,106} \cdot MR_{\text{Subbase}}^{-0,112} \cdot h_{\text{subbase}}^{-0,099} \cdot MR_{\text{Subleito}}^{-0,074} \quad (4.8)$$

Por meio da regressão é possível analisar os valores-p do estudo estatístico. O valor-p é a probabilidade de observar um valor maior ou igual ao encontrado para aquele dado parâmetro, sendo que este varia de 0 a 1. Em muitos estudos estatísticos o valor-p de referência é limitado em até 0,05, sendo que quanto menor o valor-p maior é a influência do parâmetro na regressão.

A Tabela 37 apresenta os valores-p individuais para cada parâmetro da regressão múltipla realizada. Para aderência plena, os parâmetros de espessura da base, espessura da sub-base e módulo do resiliência do subleito apresentam valor-p elevado, o que indica pouca influência destes parâmetros na regressão. Com a



redução da aderência na interface entre revestimento e base, ocorre uma influência maior destes parâmetros na regressão. Para a condição sem aderência, por exemplo, todos os parâmetros da regressão apresentam valor-p inferior a 0,05.

Tabela 37 - Valores-p para regressão da deformação horizontal

<i>Parâmetro</i>	<i>valor-P</i>		
	<i>Aderência Plena</i>	<i>Aderência Parcial</i>	<i>Sem Aderência</i>
Interseção	1,5971E-60	4,820E-67	7,7953E-72
Pressão de Pneus	4,6204E-41	1,706E-38	2,8838E-35
MR revest	4,9317E-10	2,050E-15	1,1473E-21
H revest	2,1107E-79	1,307E-90	1,8467E-94
MR base	2,5636E-24	1,726E-16	0,0270
H base	0,2457	0,0931	0,0128
MR Sub-base	0,0007	3,9150E-05	6,3898E-09
H sub-base	0,4266	0,2925	0,0320
MR Subleito	0,8391	0,6334	0,0117

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

#### 4.6.3 Deformação vertical de compressão no topo do subleito

A Tabela 38 apresenta os coeficientes das regressões múltiplas realizadas para deformação vertical no topo do subleito. As regressões potenciais para deformações verticais de compressão no topo do subleito resultaram em um  $R^2$  mínimo de 0,954. As Equações 4.9 a 4.11 apresentam as regressões realizadas para condição de aderência plena, parcial e sem aderência, respectivamente.

A Tabela 39 apresenta os valores-p para os parâmetros da regressão de deformação vertical no topo do subleito. Conforme analisado no Capítulo 4.5, a pressão de enchimento dos pneus possui pouca influência nos valores de deformação vertical no topo do subleito nas 3 condições de aderência analisadas, o que é evidenciado no valor-p superior a 0,05 para este parâmetro.

Tabela 38 - Regressão para Deformação vertical de compressão no topo do subleito

**Equação:  $\epsilon_{vc} = f(p, MR_{revest}, h_{revest}, MR_{base}, h_{base}, MR_{sub-base}, h_{sub-base}, MR_{subleito})$**

$$\epsilon_{vc} = a \cdot p^b \cdot (MR_R)^c \cdot (h_R)^d \cdot (MR_{base})^e \cdot (h_{base})^f \cdot (MR_{SB})^g \cdot (h_{SB})^h \cdot (MR_{SL})^i$$

<b>Coefficientes</b>	<b>Aderência Plena</b>	<b>Aderência parcial</b>	<b>Sem Aderência</b>
a	9,380E7	8,944E7	3,249E7
b	0,020	-0,006	0,022
c	-0,183	-0,197	-0,262
d	-0,606	-0,618	-0,587
e	-0,142	-0,114	0,074
f	-0,432	-0,398	-0,246
g	-0,180	-0,187	-0,207
h	-0,432	-0,432	-0,414
i	-0,434	-0,437	-0,500
R <sup>2</sup>	0,987	0,983	0,954

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

$$\epsilon_{vc} (plena) = 9,380 \cdot 10^7 \cdot p^{0,020} \cdot MR_{revest}^{-0,183} \cdot h_{revest}^{-0,6061} \cdot MR_{base}^{-0,142} \cdot h_{base}^{-0,432} \cdot MR_{Subbase}^{-0,180} \cdot h_{subbase}^{-0,432} \cdot MR_{Subleito}^{-0,434} \quad (4.9)$$

$$\epsilon_{vc} (parcial) = 8,944 \cdot 10^7 \cdot p^{-0,006} \cdot MR_{revest}^{-0,197} \cdot h_{revest}^{-0,618} \cdot MR_{base}^{-0,114} \cdot h_{base}^{-0,398} \cdot MR_{Subbase}^{-0,187} \cdot h_{subbase}^{-0,432} \cdot MR_{Subleito}^{-0,437} \quad (4.10)$$

$$\epsilon_{vc} (SA) = 3,249 \cdot 10^7 \cdot p^{0,022} \cdot MR_{revest}^{-0,262} \cdot h_{revest}^{-0,587} \cdot MR_{base}^{-0,074} \cdot h_{base}^{-0,246} \cdot MR_{Subbase}^{-0,207} \cdot h_{subbase}^{-0,414} \cdot MR_{Subleito}^{-0,500} \quad (4.11)$$

Tabela 39 - Valores-p para regressão da Deformação vertical de compressão no topo do subleito

<b>Parâmetro</b>	<b>valor-P</b>		
	<b>Aderência Plena</b>	<b>Aderência Parcial</b>	<b>Sem Aderência</b>
Interseção	2,1733E-98	3,4948E-92	1,5883E-65
Pressão de Pneus	1,6761E-01	7,0650E-01	3,7353E-01
MR revest	1,0854E-06	2,0220E-06	3,2550E-05
H revest	9,6091E-106	8,6694E-101	8,4692E-74
MR base	2,5368E-11	6,1891E-07	2,7299E-02
H base	1,7391E-29	3,4782E-23	3,1762E-06
MR Sub-base	2,2547E-28	4,8001E-26	8,8728E-17
H sub-base	1,6419E-26	4,0144E-23	6,9922E-12
MR Subleito	3,1809E-45	9,2279E-41	4,0459E-29

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

## 4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram realizadas análises mecânicas em 4 conjuntos diferentes de estruturas de pavimentos flexíveis. As estruturas foram analisadas quanto à solicitação de um eixo simples de rodas duplas, com carga de 80kN no eixo, e com pressão de enchimento dos pneus variando de 80psi a 140psi, com acréscimos de 10psi. Além disso, a interface entre o revestimento asfáltico e base foi analisada com aderência plena, aderência parcial e sem aderência, com o uso do *software* MePADS GAMES.

As análises realizadas mostraram que cada resposta estrutural do pavimento apresenta um comportamento diferente em função da pressão de enchimento dos pneus. As deformações e tensões de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico são as mais influenciadas pelo acréscimo de pressão nos pneus. Contudo, a influência exercida sobre essas respostas estruturais depende, também, da espessura de revestimento asfáltico.

O aumento da rigidez da camada asfáltica, pelo aumento da espessura, reduz significativamente a influência da pressão de pneus. Enquanto camadas de revestimento asfáltico com 50mm apresentam um acréscimo médio de 40% nas deformações de tração entre 80psi e 120psi, as camadas asfálticas com 150mm apresentam um acréscimo médio de 10% nas mesmas condições. Constatou-se que camadas asfálticas mais espessas são menos suscetíveis ao acréscimo de deformações de tração na fibra inferior do revestimento.

A deformação de compressão no topo do subleito é menos sensível a variação da pressão de enchimento dos pneus. Nas análises realizadas, a vida útil do pavimento, pelo critério da deformação permanente, resulta em variações desprezíveis em função da pressão de enchimento dos pneus.

Quanto às deflexões na superfície do revestimento asfáltico, estas apresentaram uma pequena variação entre a mínima e a máxima pressão de pneus analisada. Dessa forma, a utilização de pneus diagonais para ensaios de Viga Benkelman não é imprescindível.

A falta de aderência na interface entre revestimento asfáltico e base implica em um comportamento não monolítico, elevando todas as respostas estruturais analisadas neste trabalho. O acréscimo de valor nas respostas estruturais, por sua vez, reduz significativamente a vida útil da estrutura do pavimento. Dessa forma, a

análise reforça a necessidade de melhorar a fiscalização em campo quanto ao processo de execução de camadas asfálticas, bem como o investimento em equipamentos de maior capacidade produtiva para compactação dessas camadas.

Ou seja, o comportamento da estrutura do pavimento, em função da pressão de enchimento dos pneus, é função também dos parâmetros da estrutura. Sendo observado nesse capítulo uma forte dependência da espessura do revestimento asfáltico e da condição de aderência neste comportamento.

## 5 APLICAÇÃO DA HIPÓTESE DE MINER NA PRESSÃO DE ENCHIMENTO DOS PNEUS

Conforme observado no Capítulo 3, a pressão de enchimento dos pneus apresenta uma distribuição de campo assimétrica. Dessa forma, com base nos dados obtidos nos capítulos anteriores, este capítulo tem como objetivo aplicar a hipótese de Miner para verificar qual o dano acumulado de fadiga ao considerar cada uma das pressões de enchimento de pneus em projetos de pavimentos. Além disso, com base na hipótese de um dano total de 100%, analisar qual é a pressão de enchimento de pneus que se aproxima do dano resultante da distribuição de campo.

### 5.1 A HIPÓTESE DE MINER

Em muitos métodos de dimensionamento de pavimentos, o tráfego é simplificado como o número de repetições de um eixo rodoviário padrão, com carga e pressão de enchimento dos pneus constante. Contudo, a realidade do tráfego rodoviário é uma variedade de cargas sendo aplicadas na superfície do pavimento por intermédio dos pneus, os quais também apresentam diferentes pressões de enchimento dos pneus. Para o caso das cargas, os Fatores de Equivalência de Carga (FEC) empíricos, propostos pela USACE e pela AASHTO, simplificam o dano causado pela variedade de cargas e convertem estes para o dano de um eixo rodoviário padrão com base em um critério de dano.

Contudo, ao considerar o dano de fadiga na fibra inferior do revestimento asfáltico, é necessária a aplicação de um fator de equivalência de carga empírico-mecânico, o qual leva em consideração a hipótese de dano cumulativo linear de fadiga e as equações de desempenho da camada analisada.

A hipótese de dano cumulativo linear de fadiga foi proposta por Miner (1945) e considera que o dano da aplicação de uma carga, em certo nível de tensão, é proporcional ao número de repetições dessa carga ( $n_i$ ) em relação a um número de repetições que levaria a estrutura à ruína ( $N_i$ ). Dessa forma, sabendo o número de solicitações de carga que levam a estrutura à ruína em cada nível de tensão e o número de repetições que solicitarão a estrutura, é possível a aplicação da Equação 5.1. O fim de vida útil da camada asfáltica será então definida quando o consumo de fadiga (CF) alcançar o valor de 100%.

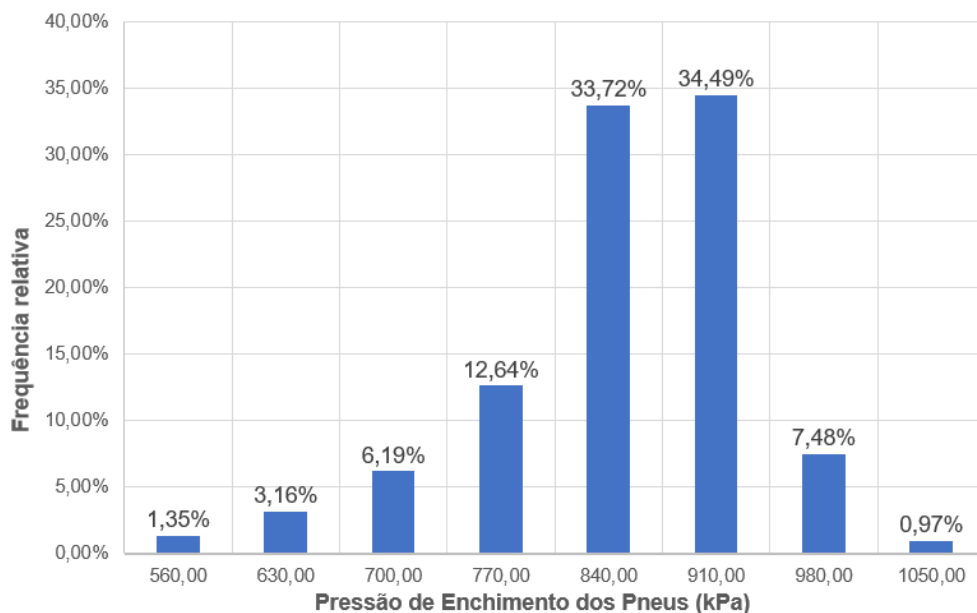
$$CF = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (5.1)$$

A hipótese de Miner é utilizada em diversos métodos de dimensionamento de pavimentos, como o Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) proposto pela AASHTO (2008), o método da Austrália proposto pela AUSTRROADS (2017) e no método de pavimentos aeroportuários descrito pela FAA (2021). Dessa forma, a hipótese de Miner foi considerada também nessa pesquisa para avaliar o consumo de fadiga em diferentes níveis de pressões de enchimento dos pneus.

## 5.2 MÉTODO DE ANÁLISE

Com base na distribuição obtida nesta pesquisa e apresentada no Capítulo 3, os dados foram agrupados em 8 níveis de pressões de enchimento dos pneus. Os níveis de pressão de pneus considerados foram os mesmos estudados nas análises mecânicas apresentadas no Capítulo 4, conforme Figura 45.

Figura 45 - Distribuição de pressões de pneu por nível considerada na análise pela Hipótese de Miner



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

No Capítulo 4 foram analisados 4 conjuntos de estruturas de pavimentos asfálticos, variando os parâmetros elásticos de cada camada em um conjunto específico. Utilizando a equação de desempenho da SHELL (1978), foi obtido o

número de repetições que leva a estrutura à fadiga para cada um dos níveis de pressão de enchimento de pneus apresentados. Dessa forma, estabelecendo para um nível “i” de pressão de enchimento dos pneus e sabendo o número de repetições admissíveis  $N_i$  que leva essa estrutura à fadiga, o valor  $N_i$  foi distribuído conforme a frequência de pneus da Figura 45.

Por exemplo, na primeira estrutura analisada, o número de repetições disponível para cada nível de pressão de enchimento dos pneus é apresentado na Tabela 40. Definindo inicialmente a pressão de 560kPa (80psi), o número de repetições admissível é de  $6,5E5$ . Se este valor for estabelecido como fixo para a análise de distribuição de frequências, isto é, for definido como a pressão de pneus utilizada em um projeto de pavimentos, o consumo de fadiga será obtido aplicando a hipótese de Miner para cada nível de pressão de pneus, conforme Tabela 41.

Dessa forma, para a pressão de 560kPa (80psi) na Estrutura 1 o dano seria de 616%, o que indica um elevado consumo de fadiga ao dimensionar o pavimento utilizando a pressão de inflação de 560kPa (80psi). Este procedimento foi aplicado para os níveis de pressão de enchimento de pneus apresentados na Figura 45, nas 21 estruturas e em 3 condições de aderência estudadas neste trabalho, conforme ANEXO C. Ou seja, o objetivo desta análise é encontrar a pressão de enchimento dos pneus que consegue representar os dados de campo, por meio de um dano acumulado de fadiga próximo de 100%.

Tabela 40 - Número de repetição admissível para Estrutura 1 por pressão de enchimento de pneus

N			ESTRUTURA 1		
Pressão (psi)	Pressão (kPa)	Frequência	$n_i$	$N_i$	CF
80	560	1,35%		6,50E+05	
90	630	3,16%		3,88E+05	
100	700	6,19%		2,44E+05	
110	770	12,64%		1,64E+05	
120	840	33,72%		1,16E+05	
130	910	34,49%		8,46E+04	
140	980	7,48%		6,37E+04	
150	1050	0,97%		4,93E+04	
TOTAL		100,00%		SOMA	

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 41 - Aplicação da análise de dano cumulativo de fadiga para pressão de enchimento de pneus de 80psi

N		6,50E+05			
ESTRUTURA 1					
Pressão (psi)	Pressão (kPa)	Frequência	ni	Ni	CF
80	560	1,35%	8,77E+03	6,50E+05	1%
90	630	3,16%	2,05E+04	3,88E+05	5%
100	700	6,19%	4,02E+04	2,44E+05	16%
110	770	12,64%	8,21E+04	1,64E+05	50%
120	840	33,72%	2,19E+05	1,16E+05	189%
130	910	34,49%	2,24E+05	8,46E+04	265%
140	980	7,48%	4,86E+04	6,37E+04	76%
150	1050	0,97%	6,30E+03	4,93E+04	13%
TOTAL		100,00%	6,50E+05	SOMA	616%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

### 5.3 RESULTADOS

Por meio da aplicação da hipótese de Miner, estabelecendo diferentes níveis de repetição do tráfego em função da pressão de enchimento dos pneus resultante, foi possível analisar quais são as pressões de pneus que conseguem representar os dados obtidos em campo na rodovia Regis Bittencourt. As estruturas analisadas nesse trabalho apresentam diferentes espessuras de revestimento asfáltico, variando de 50 milímetros a 150 milímetros. Além disso, as espessuras de base e sub-base também foram analisadas em espessuras de 150 milímetros e 200 milímetros.

Contudo, ao realizar a análise pela hipótese de Miner, o aumento da espessura de revestimento asfáltico é o principal responsável pela redução de consumo de fadiga. O aumento da espessura em camadas granulares, bem como do módulo de resiliência destas camadas, apresenta pouca variação se comparado com a redução de consumo de fadiga quando função da camada de revestimento. Dessa forma, os dados foram separados em função da espessura do revestimento asfáltico estudado, para aumentar a eficiência da análise e a representatividade dos modelos. O consumo de fadiga para as estruturas analisadas com 50, 100 e 150 milímetros é apresentado nas Tabelas 42, a 44, respectivamente, em aderência plena.

A pressão de enchimento dos pneus de 80psi, que é o valor representativo do eixo rodoviário padrão e utilizado em diversos métodos de dimensionamento de pavimentos, reflete em um consumo de fadiga excessivo para espessuras de 50



milímetros. O aumento da espessura de revestimento asfáltico reduz o consumo de fadiga para este nível de pressão de pneus. Contudo, ainda resulta em um dano superior ao valor esperado de 100%.

Com o aumento da pressão de enchimento dos pneus utilizada em projetos de pavimentos, seria possível reduzir esse consumo de fadiga para valores adequados e, com isso, as análises apresentariam um nível de confiabilidade maior para atender ao projeto. A pressão de pneus de 120psi, resulta em valores de consumo de fadiga próximos de 100% e, caso utilizado para dimensionamento de pavimentos, teria capacidade de representar a distribuição de campo.

Por outro lado, a pressão de pneus de 130psi apresenta um consumo de fadiga menor do que 100%, ou seja, se utilizado para dimensionamento de pavimentos, poderia resultar em maior confiabilidade para os projetos de pavimentação. Conforme observado no Capítulo 2, o método de dimensionamento empírico-mecânico utilizado pela AASHTO (2008) apresenta equações de desempenho calibradas para 120psi. Dessa forma, o valor utilizado nos EUA para dimensionamento de pavimentos colabora com os resultados obtidos nessa pesquisa.

Para as 3 condições de aderência analisadas, o consumo de fadiga apresenta o mesmo comportamento, ou seja, com a pressão de inflação de 120psi sendo a mais representativa dos dados de campo. Os dados completos da análise podem ser consultados no ANEXO C. Analisando o valor médio do consumo de fadiga por espessura analisada, a pressão de enchimento dos pneus de 80psi apresenta grande redução do consumo de fadiga com o aumento da espessura da camada asfáltica.

Tabela 42 - Consumo de Fadiga para estruturas com espessura de 50 milímetros

Estruturas	Consumo de Fadiga – CF				
	80psi	100psi	110psi	120psi	130psi
<b>1</b>	616,4%	231,6%	155,9%	109,7%	80,3%
<b>2</b>	552,1%	219,9%	151,5%	108,9%	80,9%
<b>3</b>	504,2%	210,9%	147,9%	108,0%	81,6%
<b>MÉDIA</b>	557,6%	220,8%	151,8%	108,9%	80,9%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Tabela 43 - Consumo de Fadiga para estruturas com Espessura de 100 milímetros

Estruturas	Consumo de Fadiga – CF				
	80psi	100psi	110psi	120psi	130psi
4	236,7%	147,1%	121,4%	102,5%	88,2%
5	226,1%	144,1%	120,0%	102,3%	88,7%
6	217,9%	141,8%	119,0%	102,1%	89,2%
10	235,3%	145,5%	119,9%	101,1%	86,9%
11	247,3%	148,7%	121,1%	101,4%	86,4%
12	231,9%	144,3%	119,3%	100,9%	87,2%
13	248,3%	149,0%	121,3%	101,3%	86,3%
14	265,3%	153,5%	123,1%	101,7%	85,7%
15	256,2%	151,2%	122,2%	101,5%	86,0%
16	262,7%	152,8%	122,8%	101,6%	85,8%
17	250,8%	149,6%	121,5%	101,4%	86,3%
18	260,0%	151,7%	122,6%	101,6%	85,9%
19	266,9%	153,7%	123,2%	101,5%	85,7%
20	260,5%	152,3%	122,6%	101,6%	85,9%
21	261,2%	152,4%	122,7%	101,6%	85,8%
<b>MÉDIA</b>	248,5%	149,2%	121,5%	101,6%	86,7%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

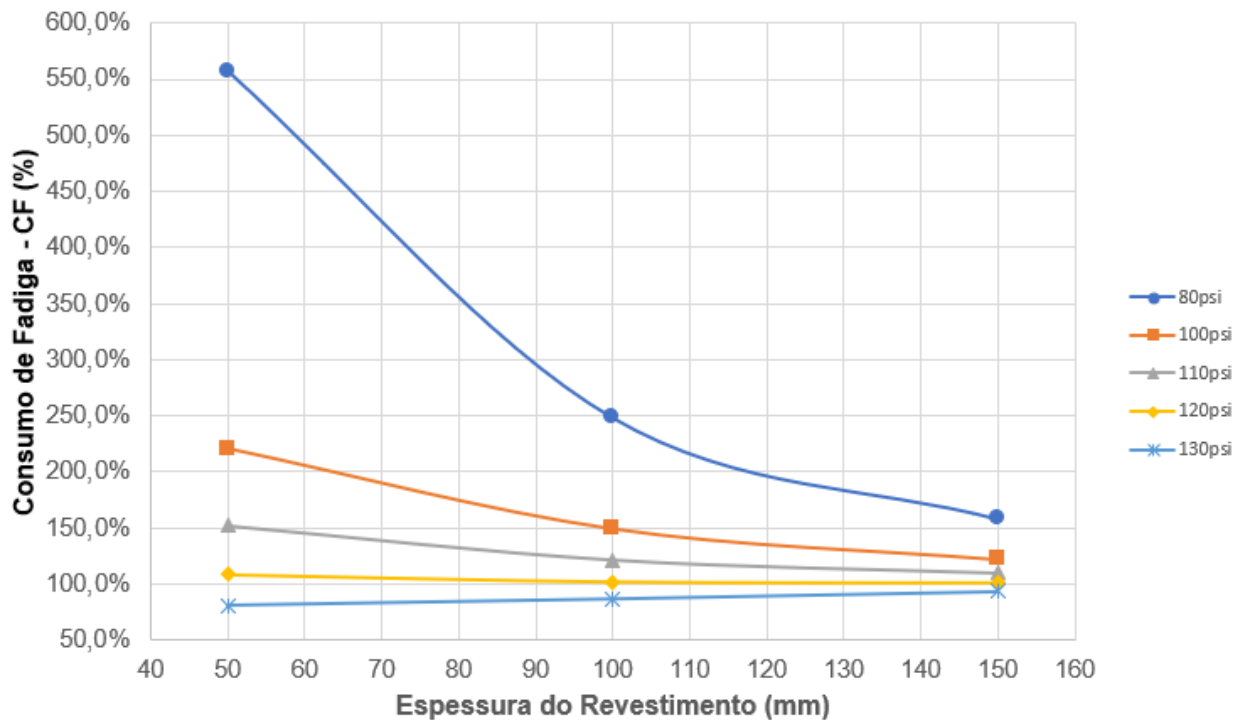
Tabela 44 - Consumo de Fadiga para estruturas com espessura de 150 milímetros

Estruturas	Consumo de Fadiga – CF				
	80psi	100psi	110psi	120psi	130psi
7	161,4%	122,9%	110,3%	100,8%	93,0%
8	158,2%	121,8%	110,0%	100,6%	93,2%
9	154,9%	120,5%	109,4%	100,6%	93,5%
<b>MÉDIA</b>	158,2%	121,7%	109,9%	100,7%	93,2%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Por outro lado, com o aumento da pressão de enchimento dos pneus, o consumo de fadiga apresenta tendência de um valor constante em função da espessura de revestimento asfáltico. A Figura 46 ilustra a variação do consumo de fadiga médio para cada um dos níveis de pressão de pneus e em função da espessura do revestimento asfáltico.

Figura 46 - Variação do consumo de fadiga médio em função da espessura do revestimento asfáltico



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Dessa forma, para rodovias de alto volume de tráfego, os resultados apresentados contribuem para a indicação de que o dimensionamento de pavimentos seja realizado utilizando pressões de enchimento dos pneus entre 120 e 130psi.

Ainda que as pressões de 120psi tenham resultado em consumos de fadiga superiores a 100% em algumas estruturas, o uso desta em projetos já proporcionaria um aumento de qualidade dos pavimentos. Levando em consideração a falha de fiscalização em rodovias, o que favorece o acréscimo de cargas nos eixos e, conseqüentemente, o dano gerado no pavimento, seria prudente levar em consideração a pressão de pneus de 130psi. O uso desta pressão de enchimento dos pneus resultaria em uma confiabilidade maior para projetos de pavimentos rodoviários e, além disso, em redução dos custos de manutenção devido ao atendimento do critério de consumo de fadiga.

Além disso, as recomendações da AASHTO (2008), de utilizar a pressão de pneus de 120psi para análises e calibração de equações de fadiga no método empírico-mecanístico de dimensionamento de pavimentos (MEPDG), colaboram com os resultados obtidos neste trabalho.

## 5.4 CORREÇÃO DA ESPESSURA EM FUNÇÃO DA PRESSÃO DE PNEUS

As análises realizadas no Capítulo 4 mostraram uma forte correlação entre a espessura do revestimento asfáltico e o acréscimo de dano causado pela variação da pressão de enchimento dos pneus. Isto é, camadas de 50mm e 150mm de revestimento asfáltico, por exemplo, apresentam comportamentos totalmente diferentes quanto à pressão de enchimento dos pneus.

Dessa forma, espessuras menores teriam uma influência maior da pressão de pneus e seriam solicitados em um nível superior de deformação de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico. Com o objetivo de apresentar uma correção da espessura de revestimento asfáltico, foram analisadas 45 estruturas variando os parâmetros de cada uma das camadas da estrutura, conforme Tabela 45.

Tabela 45 - Parâmetros analisados para correção da espessura

Camada	h (mm)	MR (MPa)	Coef. Poisson
Revestimento	50/70/100/150/200	3000/3500/4000	0,3
Base	150/200	300/500	0,4
Sub-base	150/200	150/350	0,42
Subleito	∞	50/70/100	0,45

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

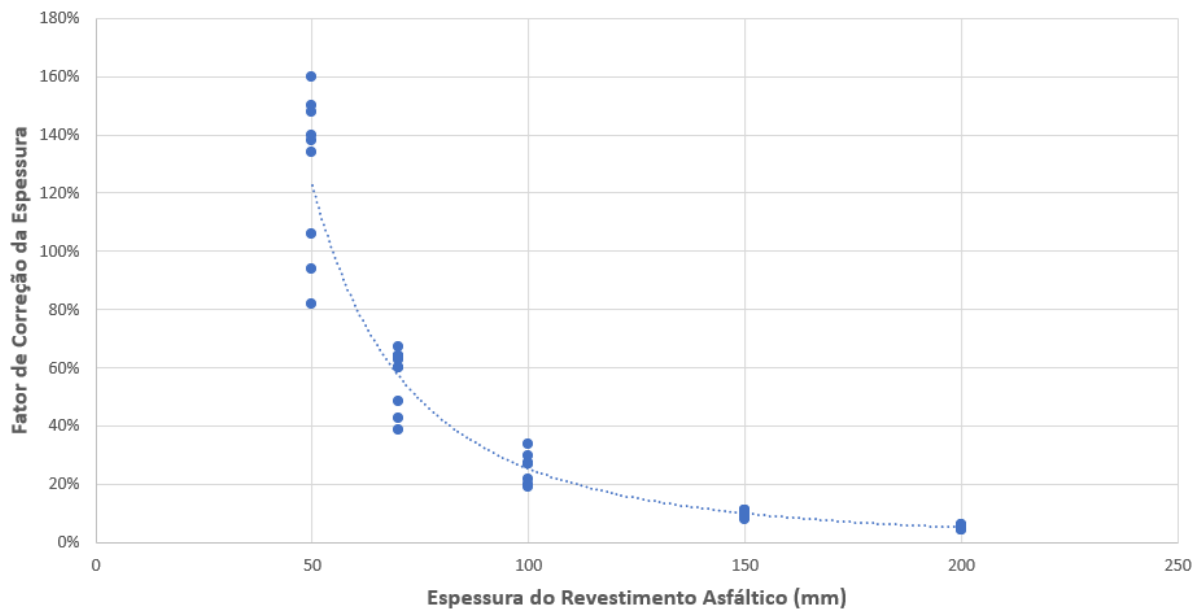
Para cada estrutura analisada, foi obtida a deformação de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico com a pressão de pneus de 80psi. Foi considerado para esta análise uma correção de pressão de pneus de 120psi, com base nas análises da distribuição de frequências do Capítulo 3 e Capítulo 5.4. Dessa forma, assumindo que a estrutura terá a mesma vida útil se as deformações de tração solicitantes com 80psi e 120psi forem iguais, a espessura foi corrigida para os casos estudados até apresentar deformação semelhante.

O ANEXO D apresenta as análises realizadas e as correções de espessura que foram obtidas para manter a magnitude de deformação na estrutura. Foram calculadas as diferenças relativas de espessura entre 80 e 120psi para cada estrutura analisada, conforme Equação 5.12. A Figura 49 ilustra o fator de correção em função da espessura do revestimento asfáltico analisado com pressão de enchimento dos pneus

de 80psi. Como esperado, o fator de correção da espessura apresenta um comportamento potencial, com redução de valor à medida que a espessura do revestimento asfáltico aumenta. Além disso, em espessuras menores os dados apresentam maior dispersão, o que indica uma maior influência dos outros parâmetros da estrutura nas respostas estruturais. Contudo, com espessuras maiores de revestimento asfálticos, a dispersão diminui significativamente.

$$f_i = \frac{h(120) - h(80)}{h(80)} \quad (5.12)$$

Figura 47 - Fator de correção da espessura do revestimento asfáltico



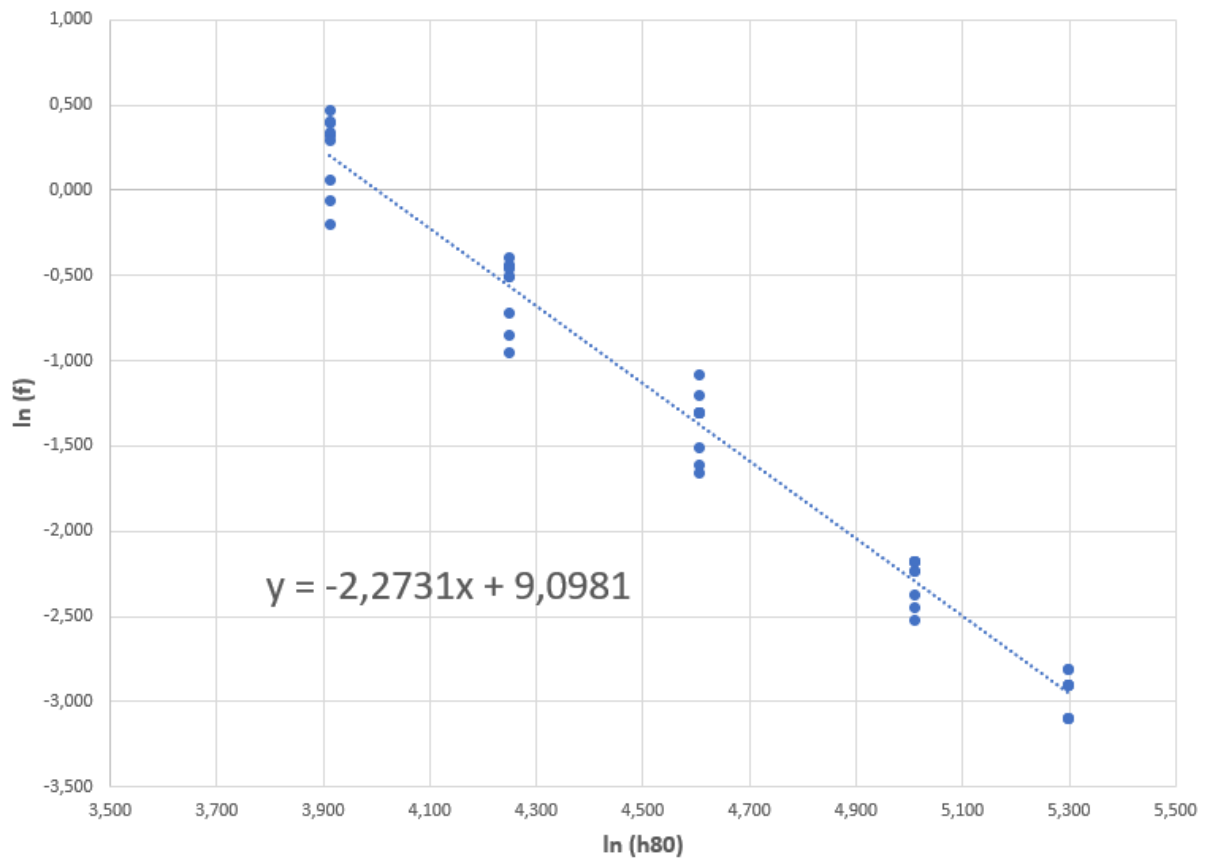
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Como o comportamento do fator de correção é potencial, dado pela Equação 5.13, foi aplicado o logaritmo neperiano na equação para cálculo das constantes em função de uma função linear, conforme Equação 5.14. A Figura 50 ilustra a regressão para obtenção das constantes.

$$f = a \cdot h_{80}^b \quad (5.13)$$

$$\ln f = \ln(a) + b \cdot \ln(h_{80}) \quad (5.14)$$

Figura 48 - Regressão do coeficiente de correção da espessura



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Dessa forma, com base na regressão apresentada, a Equação 5.15 permite o cálculo da constante “a”; a Equação 5.16 o coeficiente f de correção em função da espessura analisada com 80psi e a Equação 5.17 o cálculo para correção proposta para espessura. A Tabela 46 apresenta um resumo dos fatores de correção em função das espessuras estabelecidas para pressão padrão de 80psi. Conforme observado, espessuras de 50mm apresentam um fator de correção maior, devido a elevada influência que a pressão de enchimento dos pneus exerce nessa estrutura. Contudo, o aumento da espessura reduz o fator de correção. Espessuras de 150mm, por exemplo, apresentam um fator de correção da espessura de 10,12%.

$$a = e^{9,0981} \cong 8938,3 \quad (5.15)$$

$$f = 8938,3 \cdot h_{80}^{-2,2731} \quad (5.16)$$

$$h_{120} = h_{80} \cdot (1 + f) \quad (5.17)$$

Tabela 46 - Exemplo da correção da espessura

<b>h – 80psi (mm)</b>	<b>Fator de Correção</b>	<b>h corrigido – 120psi (mm)</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>
50	1,2288	111	61
70	0,5719	110	40
100	0,2542	125	25
120	0,1680	140	20
150	0,1012	165	15
170	0,0761	183	13
200	0,0526	211	11

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Em função da evolução tecnológica da indústria automotiva, que elevou as pressões de enchimento dos pneus de veículos comerciais e, conseqüentemente, a solicitação da estrutura dos pavimentos, observa-se a necessidade de atualização das espessuras mínimas praticadas em projetos de pavimentação. Com base nos valores estudados nesse capítulo, a espessura mínima de 50mm, definida quando os pneus eram calibrados em 80psi, deveria hoje ser estabelecida em pelo menos 111mm.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi elaborado um estudo do consumo de fadiga em estruturas de pavimento, levando em consideração a distribuição de frequências de enchimento dos pneus de uma rodovia de alto volume de tráfego.

Observou-se que a pressão de pneus de 80psi, utiliza em métodos de dimensionamento de pavimentos, resulta em um consumo de fadiga maior do que 150% mesmo para estruturas com revestimento asfáltico de 150mm. O consumo de fadiga implica em danos adicionais na camada de revestimento asfáltico, o que compromete o bom comportamento e a vida útil da estrutura.

Constatou-se que as pressões de enchimento dos pneus de 840kPa (120psi) e 910kPa (130psi) resultam em pressões mais adequadas para serem utilizadas em projetos de pavimentação. Ainda que a pressão de 840kPa (120psi) resulte em um consumo de fadiga maior do que 100% para algumas situações, o uso desta em projetos já proporcionaria um aumento de qualidade dos pavimentos.

Contudo, frente a realidade das cargas que solicitam os pavimentos em rodovias brasileiras, seria prudente a consideração da pressão de enchimento dos pneus de 130psi para dimensionamentos e análises mecanísticas de pavimentos.

Este capítulo apresentou uma equação para correção das espessuras de revestimento asfáltico em função da pressão de enchimento de 120psi. As análises mostraram que com a evolução tecnológica da indústria automotiva, que elevou a pressão dos pneus de veículos comerciais, seria necessária a correção da espessura mínima praticada em projetos de pavimentação.

Dessa forma, a espessura mínima para o tráfego atual, com relação à pressão de enchimento dos pneus, é de 110mm. A análise em questão tem como objetivo manter a magnitude de deformação na estrutura do pavimento em 80psi e 120psi. As recomendações diferem das mencionadas no DNIT (2006), os quais permitem espessuras mínimas de 50mm e máximas de 125mm, por meio de uma abordagem empírica.

Por outro lado, embora essas formulações tenham sido apresentadas e discutidas neste capítulo, há ainda certas restrições na forma atual de dimensionamento de pavimentos flexíveis no Brasil. Todas as análises aqui desenvolvidas, no Capítulo 4 e Capítulo 5, reforçam a influência da estrutura nas respostas estruturais dos pavimentos. Ou seja, os valores constantes de fatores de equivalência de carga podem ainda reduzir a confiabilidade dos métodos de dimensionamento de pavimentos.

No Capítulo 6 serão discutidos parâmetros que influenciam nos fatores de equivalência de carga utilizados no Brasil e, além disso, os FEC serão calculados por critérios empírico-mecanísticos para verificar questões de segurança envolvidos nos métodos de dimensionamento.



## 6 INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA NO CÁLCULO DOS FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA

No processo de dimensionamento de pavimentos flexíveis, os diversos eixos do tráfego rodoviário são analisados em função das solicitações equivalentes de um eixo rodoviário padrão. A conversão da solicitação real para a solicitação equivalente ocorre por meio do conceito de Fator de Equivalência de Carga. Contudo, em métodos de dimensionamento de pavimentos, os FEC são considerados constantes e independentes da estrutura analisada. Dessa forma, esse capítulo tem como objetivo fazer uma reflexão sobre o que tem sido considerado hoje nos métodos de dimensionamento e se as estruturas são seguras.

### 6.1 METODO DE ANÁLISE

Foram definidas duas estruturas de pavimentos flexíveis para análise dos fatores de equivalência de carga, de forma que a estrutura A apresenta uma espessura total de 450mm, mais resistente, e a estrutura B uma espessura total de 350mm, menos resistente. Os parâmetros das estruturas são apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 - Estruturas para análise do FEC

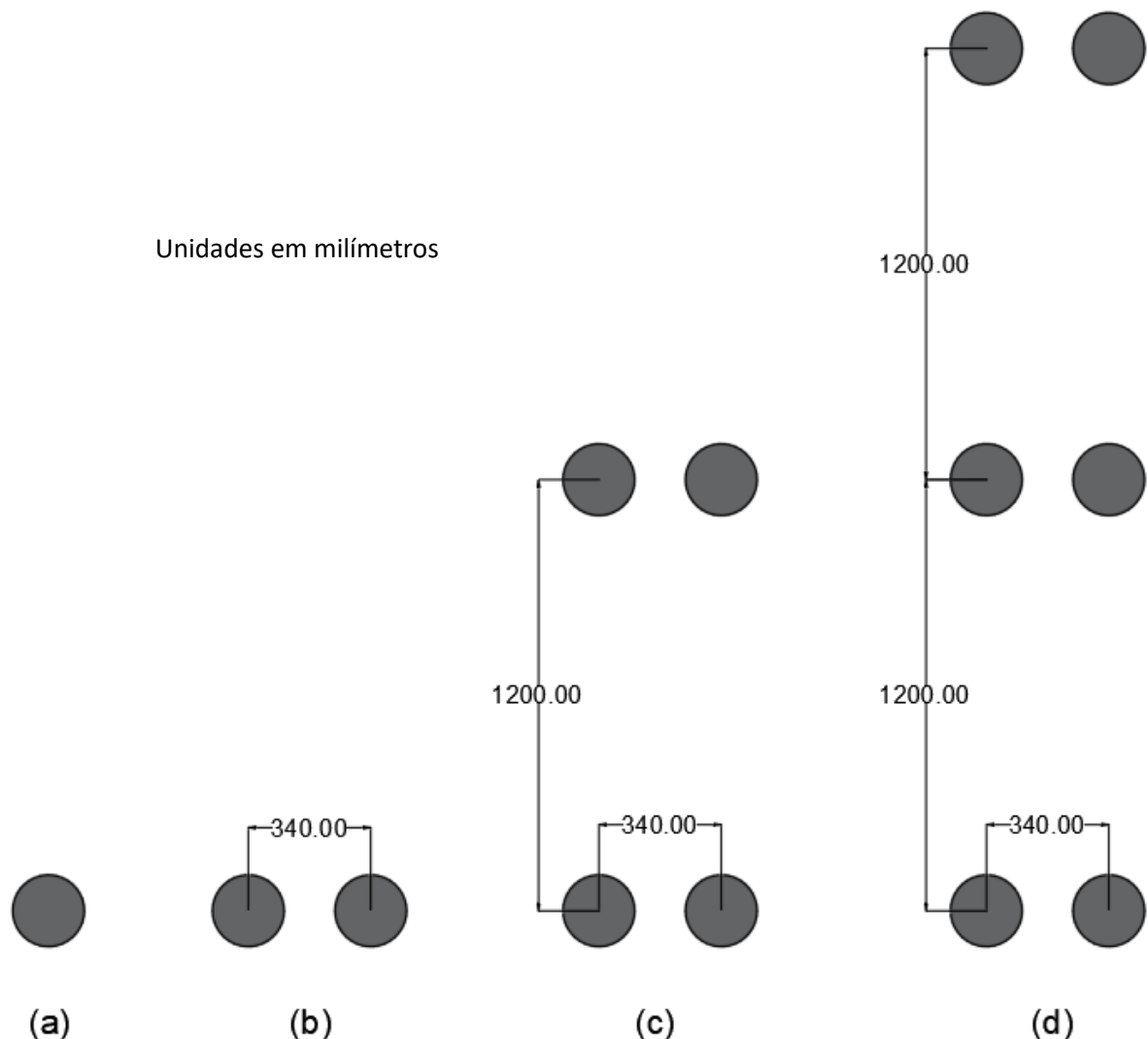
Estrutura	Camada	h (mm)	MR (MPa)	Coef. Poisson
A	Revestimento	100	3500	0,30
	Base	200	400	0,40
	Sub-base	150	150	0,42
	Subleito	∞	50	0,45
B	Revestimento	50	3500	0,30
	Base	150	400	0,40
	Sub-base	150	150	0,42
	Subleito	∞	50	0,45

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

As estruturas foram analisadas com o *software* mePADS, considerando os carregamentos: a) Eixo simples de rodas simples (ESRS) com carga de 20 a 80kN no eixo. b) Eixo simples de rodas duplas (ESRD) com carga de 20 a 200kN no eixo. c)

Eixo tandem duplo (ETD) com carga de 80 a 300kN no eixo. d) Eixo tandem triplo (ETT) com carga de 180 a 400kN no eixo. A carga foi inicialmente considerada como uniformemente distribuída em uma área circular por meio do contato pneu-pavimento. Todos os eixos foram analisados na estrutura A e com pressão de enchimento dos pneus variando de 80psi a 140psi. Na estrutura B, os eixos foram analisados apenas com a pressão de enchimento dos pneus de 120psi. A Figura 51 ilustra a geometria dos eixos considerados para análise, sendo as distâncias em milímetros.

Figura 49 - Geometria dos Eixos (a) ESRS; (b) ESRD; (c) ETD; (d) ETT



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Os Fatores de Equivalência de Carga foram calculados também em função da condição de aderência e da forma de distribuição das tensões na área de contato, com objetivo de verificar a influência destes parâmetros.

## 6.2 FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA

Para fins de dimensionamento estrutural de um pavimento, existem duas respostas estruturais que estão relacionadas com os chamados defeitos estruturais, que são as trincas de fadiga e as deformações permanentes. A solicitação do tráfego resulta em uma deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico, de forma que cada solicitação consome parte da resistência à fadiga da estrutura. Ou seja, deformações horizontais de tração excessivas diminuem a vida útil da camada asfáltica. Já a deformação permanente por sua vez está relacionada com a deformação vertical de compressão no topo do subleito, sendo evidenciada na superfície do pavimento por meio do acúmulo de afundamentos devido à passagem do tráfego.

Neste trabalho ambas as deformações foram analisadas para o cálculo dos Fatores de Equivalência de Carga empírico-mecanísticos, em função dos critérios de desempenho utilizados no Capítulo 4, conforme Equação 4.4 e Equação 4.5.

Os FEC empírico-mecanísticos são definidos pelo quociente do número de repetições que resultam do eixo padrão ( $N_p$ ) e o número de repetições que resultam de um eixo qualquer ( $N_{ij}$ ), conforme Equação 6.10. Dessa forma, os FEC empírico-mecanísticos podem ser obtidos pelas Equações 6.11 e 6.12 para fadiga e deformação permanente, respectivamente. As equações apresentadas levam em consideração o modelo da SHELL (1978) e da AUSTROADS (2017), respectivamente. A solicitação padrão foi considerada como a carga de 80kN por eixo, com distribuição de pressão uniforme de 80psi, e em condição de aderência plena.

$$FEC = \frac{N_p}{N_{ij}} \quad (6.10)$$

$$FEC = \left( \frac{\varepsilon t_{ij}}{\varepsilon t_p} \right)^5 \quad (6.11)$$

$$FEC = \left( \frac{\varepsilon c_{ij}}{\varepsilon c_p} \right)^7 \quad (6.12)$$

## 6.3 RESULTADOS

### 6.3.1 Estrutura A

O fator de equivalência de carga (FEC) consiste no dano da passagem de um eixo com características específicas em relação ao dano proporcionado pelo eixo padrão de 80kN e 80psi de pressão de enchimento dos pneus. Os fatores de equivalência de carga foram calculados para ESRS, ESRD, ETD e ETT utilizando a Equação 6.11 e Equação 6.12, considerando inicialmente as camadas em aderência plena.

O aumento da carga no eixo eleva o fator de equivalência de carga para o critério de deformação permanente, o qual é pouco influenciado pelo acréscimo de pressão de enchimento dos pneus, conforme discutido no Capítulo 4. Contudo, para o critério de fadiga, o aumento da pressão de enchimento dos pneus resulta em um acréscimo significativo no fator de equivalência de carga, conforme apresentado para eixo simples de rodas simples (ESRS), simples de rodas duplas (ESRD), tandem duplo (ETD) e tandem triplo (ETT) nas Tabelas 48 a 51, respectivamente.

Os fatores de equivalência de carga da USACE resultam em valores reduzidos para o eixo simples de rodas simples, sendo para a carga máxima permitida no Brasil igual a 0,278. Contudo, o FEC empírico-mecanístico, o qual depende da estrutura analisada, apresenta valores variando de 1,140 a 5,680 para o critério de fadiga e 0,428 a 0,513 para o critério de deformação permanente. Ou seja, para eixo simples de rodas simples (ESRS), o critério de fadiga resulta nos maiores fatores de equivalência de carga. Além disso, a pressão de enchimento dos pneus aumenta em 398% o fator de equivalência de carga, entre a mínima e máxima pressão de pneus analisada, com carga por eixo de 60kN.

Para os eixos simples de rodas duplas (ESRD) com pressão de enchimento dos pneus de 80psi, observa-se que o critério de fadiga é maior do que o FEC da USACE até a carga por eixo de 80kN. Contudo, a Tabela 49 reforça a importância e a influência que a pressão de pneus apresenta nesse critério. Para a pressão de pneus de 120psi e carga por eixo de 100kN, o FEC empírico-mecanístico pelo critério de fadiga apresenta um acréscimo de 164% em comparação a pressão de pneus do eixo rodoviário padrão, e acréscimo de 41% em comparação com o critério da USACE.

Tabela 48 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ESRS)

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Pressão de Enchimento dos Pneus (psi)						
			80	90	100	110	120	130	140
20	Fadiga	0,003	0,079	0,098	0,119	0,139	0,160	0,179	0,199
	Def. Permanente		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
40	Fadiga	0,054	0,497	0,681	0,889	1,122	1,373	1,643	1,926
	Def. Permanente		0,029	0,030	0,031	0,031	0,032	0,032	0,033
60	Fadiga	0,278	1,137	1,643	2,252	2,965	3,777	4,684	5,678
	Def. Permanente		0,428	0,450	0,465	0,481	0,489	0,505	0,513
80	Fadiga	0,815	1,836	2,752	3,896	5,279	6,914	8,792	10,929
	Def. Permanente		2,786	2,970	3,085	3,244	3,327	3,454	3,541

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Tabela 49 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ESRD)

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Pressão de Enchimento dos Pneus (psi)						
			80	90	100	110	120	130	140
20	Fadiga	0,003	0,011	0,013	0,014	0,016	0,017	0,018	0,019
	Def. Permanente		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
40	Fadiga	0,054	0,132	0,162	0,192	0,222	0,251	0,280	0,307
	Def. Permanente		0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
60	Fadiga	0,278	0,456	0,581	0,717	0,860	1,005	1,155	1,305
	Def. Permanente		0,141	0,143	0,144	0,146	0,147	0,148	0,150
80	Fadiga	0,815	1,000	1,315	1,667	2,048	2,450	2,876	3,316
	Def. Permanente		1,000	1,019	1,036	1,050	1,063	1,072	1,082
100	Fadiga	3,290	1,758	2,363	3,050	3,817	4,650	5,540	6,493
	Def. Permanente		4,628	4,690	4,740	4,803	4,866	4,929	4,988
120	Fadiga	10,288	2,710	3,700	4,854	6,150	7,601	9,168	10,856
	Def. Permanente		15,745	15,919	16,095	16,289	16,436	16,783	16,968
140	Fadiga	26,980	3,848	5,315	7,055	9,026	11,263	13,724	16,419
	Def. Permanente		44,621	45,398	45,830	46,226	46,625	47,027	47,432
160	Fadiga	62,192	5,148	7,172	9,606	12,414	15,599	19,176	23,112
	Def. Permanente		108,808	113,015	116,481	120,037	122,765	124,613	126,485
170	Fadiga	90,866	5,844	8,194	10,820	14,282	18,026	22,225	26,870
	Def. Permanente		162,202	169,327	175,468	179,244	184,385	188,324	190,990
180	Fadiga	129,912	6,590	9,264	12,496	16,268	20,594	25,470	30,891
	Def. Permanente		216,475	219,478	224,051	228,704	231,853	235,038	238,261
200	Fadiga	251,089	8,179	11,566	15,697	20,564	26,199	32,566	39,754
	Def. Permanente		313,207	323,597	334,281	345,265	356,558	368,166	380,096

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Para eixos tandem duplo (ETD) em função da pressão de enchimento dos pneus, o FEC empírico-mecanístico é mais crítico pelo critério de fadiga até o carregamento por eixo de 180kN a 220kN, dependendo da pressão de pneus considerada. Para o eixo tandem triplo (ETT), isso ocorre a partir do carregamento de 300kN, novamente em função da pressão de pneus. Ou seja, quando o veículo apresenta carga por eixo em níveis baixos ou intermediários, o critério de fadiga é o mais crítico para a análise do fator de equivalência de carga. Contudo, com o aumento da carga por eixo, o critério de deformação permanente resulta em fatores de equivalência de carga maiores. Ainda assim, devido a influência da pressão de enchimento dos pneus na deformação de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico, o acréscimo dos FEC para o critério de fadiga é maior do que para o critério de deformação permanente.

O DNIT (2006b) estabelece cargas máximas permitidas por eixo de 60kN, 100kN, 170kN e 255kN para eixo simples de rodas simples, eixo simples de rodas duplas, eixo tandem duplo e eixo tandem triplo, respectivamente. As análises dos FEC empírico-mecanísticos mostram que, nessa faixa de carregamento, o critério de fadiga do revestimento asfáltico é mais crítico para o dimensionamento e análise estrutural do pavimento. Além disso, como observado no Capítulo 4 e no cálculo dos fatores de equivalência de carga, a pressão de enchimento dos pneus possui elevada influência neste critério de desempenho.

Tabela 50 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ETD)

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Pressão de Enchimento dos Pneus (psi)						
			80	90	100	110	120	130	140
80	Fadiga	0,218	0,244	0,300	0,356	0,412	0,468	0,521	0,575
	Def. Permanente		0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012
100	Fadiga	0,472	0,489	0,614	0,746	0,880	1,017	1,156	1,291
	Def. Permanente		0,047	0,048	0,049	0,050	0,051	0,052	0,054
120	Fadiga	1,266	0,828	1,065	1,318	1,581	1,858	2,139	2,421
	Def. Permanente		0,161	0,164	0,167	0,167	0,174	0,177	0,181
140	Fadiga	2,948	1,265	1,654	2,077	2,530	3,006	3,509	4,010
	Def. Permanente		0,463	0,471	0,479	0,487	0,495	0,503	0,512
150	Fadiga	4,303	1,519	2,005	2,530	3,105	3,708	4,341	4,990
	Def. Permanente		0,750	0,762	0,774	0,786	0,798	0,811	0,823
160	Fadiga	6,131	1,798	2,383	3,029	3,735	4,484	5,277	6,100
	Def. Permanente		1,160	1,177	1,194	1,212	1,230	1,248	1,266
170	Fadiga	8,549	2,099	2,795	3,577	4,432	5,348	6,328	7,338
	Def. Permanente		1,748	1,772	1,797	1,822	1,847	1,873	1,899
180	Fadiga	11,696	2,415	3,238	4,173	5,196	6,301	7,477	8,717
	Def. Permanente		2,576	2,610	2,644	2,679	2,714	2,750	2,786
200	Fadiga	20,844	3,120	4,222	5,492	6,891	8,439	10,096	11,845
	Def. Permanente		5,273	5,336	5,400	5,464	5,721	5,781	5,842
220	Fadiga	35,154	3,870	5,325	6,978	8,840	10,890	13,108	15,505
	Def. Permanente		10,099	10,320	10,545	10,773	11,007	11,125	11,244
240	Fadiga	56,650	4,759	6,548	8,629	11,017	13,652	16,563	19,679
	Def. Permanente		18,300	18,852	19,228	19,611	19,805	20,197	20,396
260	Fadiga	87,869	5,677	7,873	10,457	13,402	16,710	20,362	24,346
	Def. Permanente		31,368	32,243	33,140	33,749	34,369	34,682	34,998
280	Fadiga	131,928	6,661	9,293	12,417	16,013	20,052	24,586	29,531
	Def. Permanente		51,284	53,068	54,441	55,844	56,797	57,764	58,253
300	Fadiga	192,600	7,713	10,806	14,502	18,819	23,713	29,160	35,133
	Def. Permanente		80,549	84,512	86,556	88,642	90,772	92,946	94,420

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Tabela 51 - Fatores de equivalência de carga para diferentes cargas e pressões de enchimento dos pneus (ETT)

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Pressão de Enchimento dos Pneus (psi)						
			80	90	100	110	120	130	140
180	Fadiga	1,307	1,237	1,587	1,965	2,364	2,772	3,191	3,613
	Def. Permanente		0,184	0,188	0,192	0,194	0,195	0,197	0,199
200	Fadiga	2,398	1,750	2,278	2,849	3,464	4,108	4,774	5,457
	Def. Permanente		0,435	0,443	0,450	0,458	0,458	0,466	0,474
220	Fadiga	4,081	2,189	2,880	3,631	4,453	5,314	6,216	7,154
	Def. Permanente		0,789	0,802	0,815	0,841	0,854	0,868	0,881
240	Fadiga	6,631	2,682	3,547	4,520	5,575	6,695	7,881	9,111
	Def. Permanente		1,347	1,367	1,387	1,408	1,449	1,470	1,514
260	Fadiga	10,364	3,217	4,300	5,509	6,835	8,257	9,781	11,356
	Def. Permanente		2,181	2,242	2,304	2,367	2,432	2,498	2,566
280	Fadiga	15,670	3,805	5,112	6,588	8,221	9,991	11,883	13,885
	Def. Permanente		3,476	3,566	3,658	3,705	3,800	3,849	3,898
300	Fadiga	23,027	4,646	6,289	8,184	10,292	12,582	15,055	17,667
	Def. Permanente		6,111	6,257	6,405	6,481	6,713	6,871	7,033
320	Fadiga	33,007	5,417	7,368	9,635	12,179	14,967	18,005	21,243
	Def. Permanente		9,336	9,440	9,545	9,652	9,759	9,867	10,087
340	Fadiga	46,291	6,216	8,515	11,192	14,219	17,567	21,205	25,109
	Def. Permanente		14,225	14,526	14,832	15,144	15,302	15,622	15,948
360	Fadiga	63,677	7,089	9,760	12,866	16,398	20,365	24,407	29,367
	Def. Permanente		20,945	21,153	21,575	22,004	22,221	22,441	22,885
380	Fadiga	86,096	7,987	11,053	14,647	18,766	23,341	28,424	33,901
	Def. Permanente		30,234	30,806	31,389	31,980	32,280	32,581	32,886
400	Fadiga	114,620	8,935	12,404	16,525	21,205	26,516	32,404	38,789
	Def. Permanente		42,471	44,014	44,804	45,606	46,421	47,249	48,089

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

### 6.3.2 Estrutura B

Os fatores de equivalência de carga na estrutura B foram calculados para os mesmos eixos e intervalos de carga, contudo, apenas para pressão de enchimento dos pneus de 120psi. Comparando os resultados da estrutura B e da estrutura A, com a mesma pressão de pneus, percebeu-se variação significativa nos fatores de equivalência de carga em função do tipo de estrutura. As Tabelas 52 a 55, apresentam as comparações dos fatores de equivalência de carga para estrutura B e estrutura A em eixos ESRS, ESRD, ETD e ETT, respectivamente.



No eixo simples de rodas simples, o critério de fadiga é mais crítico na estrutura B para as cargas menores que 60kN, sendo o FEC na carga máxima permitida 84% maior na estrutura B do que na estrutura A. Para a carga de 80kN, ocorre uma redução do FEC pelo critério de fadiga e um aumento exponencial no critério de deformação permanente.

Tabela 52 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ESRS.

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Estruturas	
			A – 120psi	B- 120psi
20	Fadiga	0,003	0,160	2,310
	Def. Permanente		0,000	0,000
40	Fadiga	0,054	1,370	5,690
	Def. Permanente		0,030	0,090
60	Fadiga	0,278	3,780	6,960
	Def. Permanente		0,490	1,280
80	Fadiga	0,815	6,910	6,730
	Def. Permanente		3,330	8,040

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Para o eixo simples de rodas duplas, na estrutura B o fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga atinge um valor máximo na carga por eixo de 140kN, sofrendo então redução após esta magnitude de carregamento. Contudo, o critério de deformação permanente aumenta para todos os níveis de carga analisados e apresenta valores críticos a partir de 120kN. O mesmo ocorre para os eixos tandem duplo, que sofrem redução do FEC no critério de fadiga a partir dos carregamentos de 280kN por eixo.

Em comparação com as duas estruturas analisadas, o critério de fadiga apresenta fatores de equivalência de carga semelhantes para 120kN. Contudo, diferente do que ocorre na estrutura B, os FEC continuam aumentando para todas as cargas estudadas. A análise permite observar que o FEC da USACE pode ou não ser o critério mais crítico, sendo a observação função da estrutura.

Para os eixos tandem duplo e tandem triplo, embora os níveis de deformação no topo do subleito sejam maiores na estrutura B, os fatores de equivalência de carga são maiores na estrutura A para todos os níveis de carregamento pelo critério da deformação permanente.

Tabela 53 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ESRD.

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Estruturas	
			A – 120psi	B – 120psi
20	Fadiga	0,003	0,020	0,520
	Def. Permanente		0,000	0,000
40	Fadiga	0,054	0,250	2,390
	Def. Permanente		0,010	0,010
60	Fadiga	0,278	1,010	4,430
	Def. Permanente		0,150	0,150
80	Fadiga	0,815	2,450	6,020
	Def. Permanente		1,060	1,080
100	Fadiga	3,290	4,650	7,060
	Def. Permanente		4,870	4,950
120	Fadiga	10,288	7,600	7,590
	Def. Permanente		16,440	10,020
140	Fadiga	26,980	11,260	7,730
	Def. Permanente		46,630	27,730
160	Fadiga	62,192	15,600	7,590
	Def. Permanente		122,770	66,410
170	Fadiga	90,866	18,030	7,450
	Def. Permanente		184,390	98,500
180	Fadiga	129,912	20,590	7,280
	Def. Permanente		231,850	142,420
200	Fadiga	251,089	26,200	6,850
	Def. Permanente		356,560	281,070

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Tabela 54 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ETD

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Estruturas	
			A – 120psi	B – 120psi
80	Fadiga	0,218	0,47	4,88
	Def. Permanente		0,01	0,01
100	Fadiga	0,472	1,02	7,06
	Def. Permanente		0,05	0,05
120	Fadiga	1,266	1,86	9,11
	Def. Permanente		0,17	0,17
140	Fadiga	2,948	3,01	10,93
	Def. Permanente		0,50	0,48
150	Fadiga	4,303	3,71	11,77
	Def. Permanente		0,80	0,77
160	Fadiga	6,131	4,48	12,52
	Def. Permanente		1,23	1,19
170	Fadiga	8,549	5,35	13,18
	Def. Permanente		1,85	1,79
180	Fadiga	11,696	6,30	13,77
	Def. Permanente		2,71	2,60
200	Fadiga	20,844	8,44	14,78
	Def. Permanente		5,72	5,27
220	Fadiga	35,154	10,89	15,51
	Def. Permanente		11,01	9,98
240	Fadiga	56,650	13,65	16,02
	Def. Permanente		19,80	17,70
260	Fadiga	87,869	16,71	16,31
	Def. Permanente		34,37	30,04
280	Fadiga	131,928	20,05	16,44
	Def. Permanente		56,80	48,81
300	Fadiga	192,600	23,71	16,41
	Def. Permanente		90,77	76,50

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Tabela 55 - Comparação dos FECs de Estruturas A e B para o ETT.

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Estruturas	
			A - 120psi	B - 120psi
180	Fadiga	1,307	2,77	13,86
	Def. Permanente		0,20	0,19
200	Fadiga	2,398	4,11	16,13
	Def. Permanente		0,46	0,44
220	Fadiga	4,081	5,31	17,68
	Def. Permanente		0,85	0,76
240	Fadiga	6,631	6,69	19,05
	Def. Permanente		1,45	1,30
260	Fadiga	10,364	8,26	20,30
	Def. Permanente		2,43	2,10
280	Fadiga	15,670	9,99	21,35
	Def. Permanente		3,80	3,30
300	Fadiga	23,027	12,58	22,59
	Def. Permanente		6,71	5,73
320	Fadiga	33,007	14,97	23,41
	Def. Permanente		9,76	8,81
340	Fadiga	46,291	17,57	24,06
	Def. Permanente		15,30	13,10
360	Fadiga	63,677	20,37	24,54
	Def. Permanente		22,22	19,23
380	Fadiga	86,096	23,34	24,92
	Def. Permanente		32,28	27,45
400	Fadiga	114,620	26,52	25,19
	Def. Permanente		46,42	38,32

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

### 6.3.3 Aderência

As análises realizadas no Capítulo 4 mostraram que a aderência da estrutura possui grande influência nas respostas estruturais, aumentando tanto as deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico quanto às deformações de compressão no topo do subleito.

Os Fatores de Equivalência de Carga foram calculados também em função da condição de aderência para o eixo simples de rodas duplas, com objetivo de verificar a influência deste conceito na estrutura A. Como esperado, a falta de aderência na interface entre o revestimento asfáltico e a base aumenta expressivamente os FEC.

Para a carga máxima permitida no Brasil no eixo simples de rodas duplas, 100kN, os fatores de equivalência de carga aumentam em 115,70% e 859,35% para aderência parcial e sem aderência, respectivamente. Em comparação com o critério da USACE, a redução da aderência na interface aumenta em até 1256% os fatores de equivalência de carga. A Tabela 56 apresenta os fatores de equivalência de carga para o eixo simples de rodas duplas com pressão de pneus de 120psi e em diferentes condições de aderência na interface.

Tabela 56 – Comparação dos FECs para o ESRD em função da aderência

Carga por eixo (kN)	Critério	FEC USACE	Estruturas (120psi)		
			Aderência Plena	Aderência Parcial	Sem Aderência
20	Fadiga	0,003	0,020	0,030	0,090
	Def. Permanente		0,000	0,000	0,000
40	Fadiga	0,054	0,250	0,440	1,650
	Def. Permanente		0,010	0,010	0,100
60	Fadiga	0,278	1,010	1,910	7,630
	Def. Permanente		0,150	0,140	1,750
80	Fadiga	0,815	2,450	4,980	21,050
	Def. Permanente		1,060	1,890	12,870
100	Fadiga	3,290	4,650	10,030	44,610
	Def. Permanente		4,870	5,040	59,850
120	Fadiga	10,288	7,600	17,300	80,650
	Def. Permanente		16,440	33,050	102,350
140	Fadiga	26,980	11,260	26,980	131,370
	Def. Permanente		46,630	97,510	291,350
160	Fadiga	62,192	15,600	39,240	198,490
	Def. Permanente		122,770	128,380	715,370
170	Fadiga	90,866	18,030	46,380	238,870
	Def. Permanente		184,390	195,050	1074,240
180	Fadiga	129,912	20,590	54,200	283,830
	Def. Permanente		231,850	289,430	1569,340
200	Fadiga	251,089	26,200	71,990	389,210
	Def. Permanente		356,560	599,540	3165,250

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Entre a condição de aderência plena e aderência parcial, os maiores acréscimos dos fatores de equivalência de carga ocorrem para o critério de fadiga. Nessa condição, a maior variação percentual ocorre para a pressão de pneus de 80psi, pois a mudança na condição de aderência reduz a influência da pressão de

pneus, conforme Capítulo 4. A Tabela 57 apresenta um resumo dos FEC da estrutura A, em diferentes condições de aderência, para os eixos analisados com a carga máxima permitida no Brasil.

Tabela 57 - Resumo dos FECs em função da pressão de pneus e aderência na estrutura A

Aderência	Eixo	Carga por eixo (kN)	Critério	Pressão de Enchimento dos Pneus (psi)				
				80	100	120	140	
Plena	ESRS	60	Fadiga	1,14	2,25	3,78	5,68	
			Def. Permanente	0,43	0,46	0,49	0,51	
	ESRD	80	Fadiga	1,00	1,67	2,45	3,32	
			Def. Permanente	1,00	1,04	1,06	1,08	
	ETD	170	Fadiga	2,10	3,58	5,35	7,34	
			Def. Permanente	1,75	1,80	1,85	1,90	
	ETT	255	Fadiga	3,22	5,51	8,26	11,36	
			Def. Permanente	2,18	2,30	2,43	2,57	
	Parcial	ESRS	60	Fadiga	2,85	5,23	8,30	11,95
				Def. Permanente	1,16	1,20	1,22	1,23
ESRD		80	Fadiga	2,28	3,56	4,98	6,49	
			Def. Permanente	1,93	1,91	1,89	1,86	
ETD		170	Fadiga	4,31	6,95	10,03	13,42	
			Def. Permanente	9,26	9,22	9,14	9,05	
ETT		255	Fadiga	4,86	7,74	11,02	14,55	
			Def. Permanente	3,34	3,31	3,28	3,24	
Sem Aderência		ESRS	60	Fadiga	10,91	18,83	28,57	39,81
				Def. Permanente	7,23	7,99	8,52	8,92
	ESRD	80	Fadiga	10,62	15,67	21,05	26,61	
			Def. Permanente	12,20	12,61	12,87	13,03	
	ETD	170	Fadiga	21,43	32,44	44,61	57,58	
			Def. Permanente	55,62	58,18	59,85	60,95	
	ETT	255	Fadiga	20,36	30,86	42,30	54,34	
			Def. Permanente	18,21	19,00	19,49	19,81	
	ETT	255	Fadiga	23,85	36,94	51,43	66,77	
			Def. Permanente	18,06	18,89	19,44	19,82	

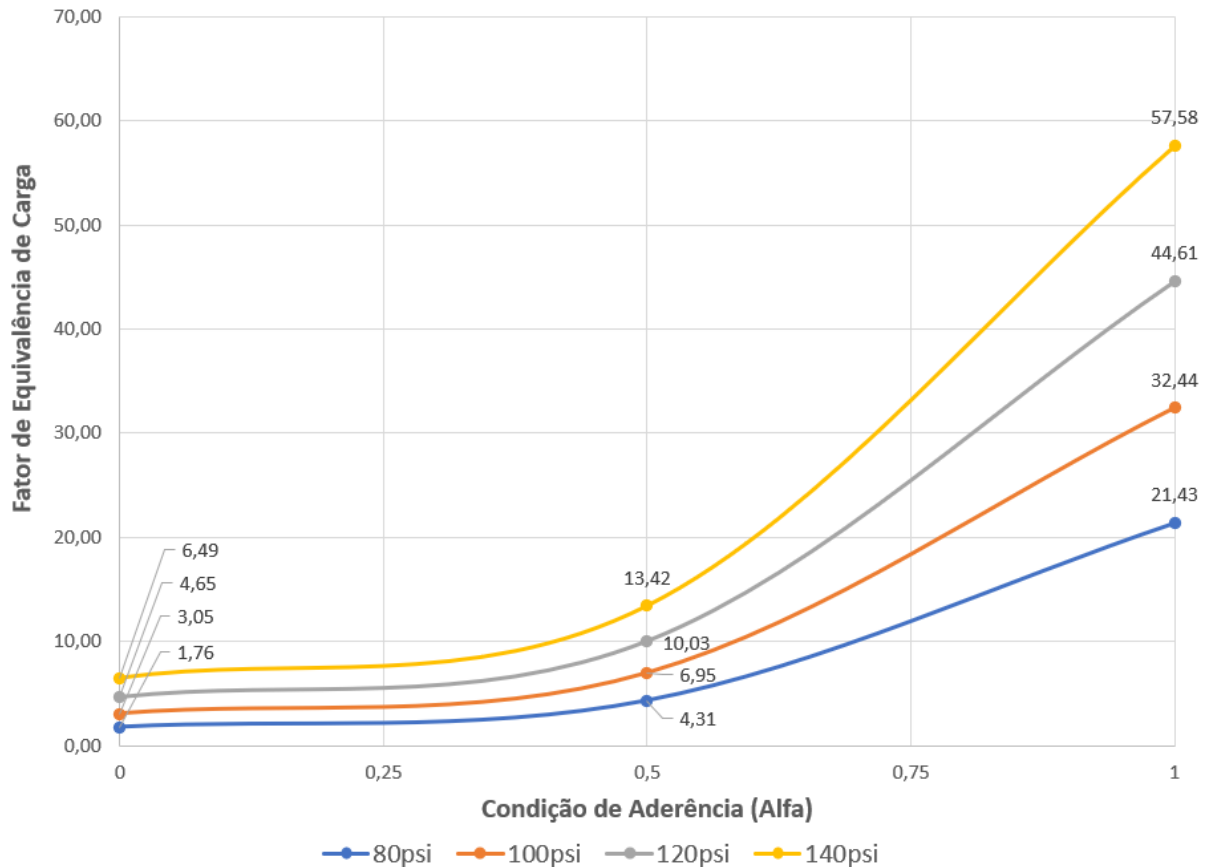
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Para a variação entre aderência parcial e sem aderência, embora os fatores de equivalência de carga aumentem expressivamente, as maiores variações percentuais

ocorrem para o critério de deformação permanente. Nessa condição, e levando em consideração os eixos analisados, a variação máxima percentual é de 625% no ESRS em pressões de pneus de 140psi. O critério de fadiga apresenta um acréscimo médio de fatores de equivalência de carga de 316% para pressões de 80psi e 279% para pressões de 120psi na estrutura A.

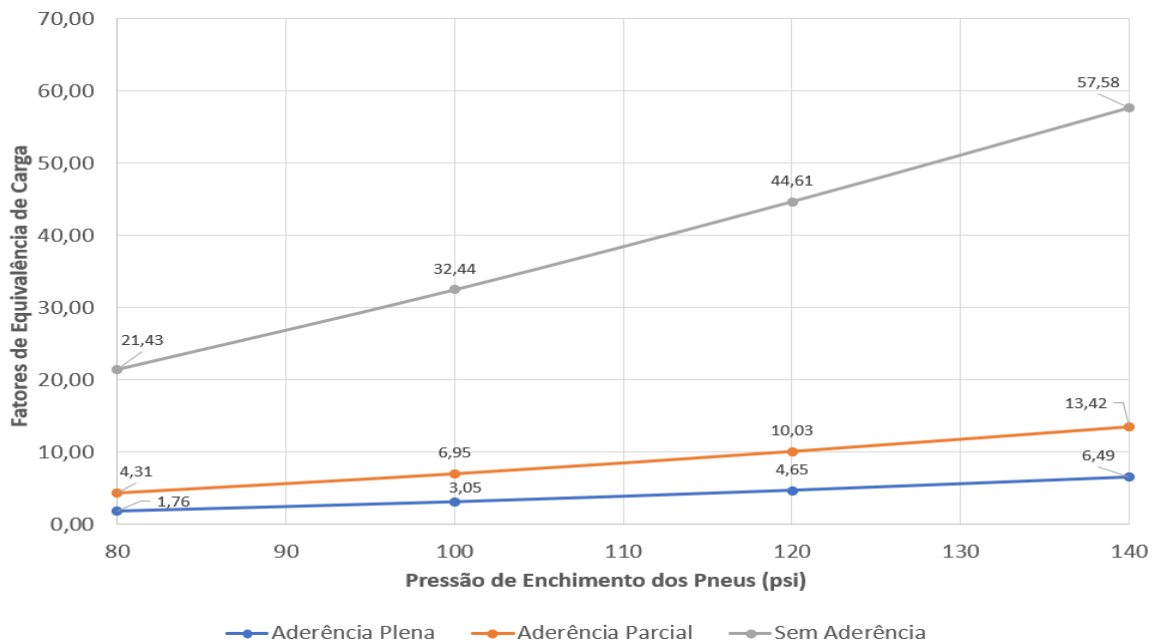
A Figura 52 ilustra o comportamento dos fatores de equivalência de carga pelo critério de fadiga no ESRD com 100kN em função da condição de aderência para diferentes pressões de pneus. A Figura 53 ilustra para o mesmo eixo a variação dos FEC em função da pressão de pneus para as 3 condições de aderência.

Figura 50 - Variação do FEC do ESRD em função da condição de aderência no critério de fadiga (100kN)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Figura 51 - Variação dos FEC pelo critério de fadiga em função da pressão de pneus no ESRD (100kN)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

### 6.3.4 Distribuição não-uniforme das pressões de contato pneu-pavimento

Outro parâmetro que pode influenciar as respostas estruturais do pavimento, e por consequência os fatores de equivalência de carga empírico-mecanísticos, é a forma de distribuição das pressões de contato pneu-pavimento. No Capítulo 2, foram apresentados trabalhos sobre a previsão de distribuição das pressões por meio da análise do contato da banda de rodagem com a superfície do pavimento, com o uso de sistemas *Stress In Motion* (SIM) ou outros.

Segundo De Beer (2006), quando a pressão de enchimento dos pneus está seguindo as recomendações do fabricante e o pneu não apresenta sobrecarga, as pressões de contato se distribuem no chamado “*n-shape*”. O “*n-shape*” consiste em pressões de contato maiores no centro da área de contato e pressões menores na borda do pneu. De Beer (2006) menciona ainda a distribuição de pressões “*m-shape*”, a qual consiste em pressões de contato maiores na borda da área de contato e ocorrem em pneus sobrecarregados ou com pressão de inflação abaixo do recomendado pelo fabricante.



Para analisar a influência que a forma da distribuição de pressões possui nas respostas estruturais e no fator de equivalência de carga, será considerada a distribuição “n-shape” no eixo simples de rodas duplas com carga de 80kN e 100kN, conforme Tabela 58. Os resultados obtidos pela distribuição não-uniforme “n-shape” serão comparados com os obtidos com a distribuição uniforme.

Fernandes Jr (1994) e De Beer (2006) utilizaram um método simplificado para levar em consideração a pressão não-uniforme na área de contato pneu-pavimento. A correção da superfície de contato para a circular equivalente foi realizada nesse trabalho utilizando a Equação 2.1, proposta por Hansen et al. (1989). A pressão no centro do pneu foi assumida em média 38% maior do que a pressão de enchimento de 80psi, 30% maior do que a pressão de enchimento para 100psi e 25% maior do que a pressão de enchimento de 120psi. Os valores foram assumidos com base nos assuntos discutidos no Capítulo 2.

As pressões  $p_1$  e  $p_2$  foram consideradas em média 10% abaixo e 10% acima da pressão de enchimento dos pneus, respectivamente. As distâncias radiais foram ajustadas para que a somatória das cargas em cada seção fosse igual a carga total considerada na distribuição uniforme. A Equação 6.13 mostra a obtenção da carga considerada no pneu para pressão não-uniforme. As Equações 6.14 e 6.15 o exemplo para a primeira linha da Tabela 58.

Tabela 58 - Distribuição de pressões não-uniforme "n-shape"

Carga (kN)	Carga por Roda (kN)	Pressão Uniforme		Pressão Não-Uniforme					
		p (kPa)	r (mm)	p1 (kPa)	r1 (mm)	p2 (kPa)	r2 (mm)	p3 (kPa)	r3 (mm)
80	20	560	106,62	539	105,05	616	73,65	777	31,49
80	20	700	95,37	616	95,13	784	69,59	931	30,48
80	20	840	87,06	749	87,56	896	66,79	1050	28,95
100	25	560	119,21	546	115,61	623	74,92	777	39,11
100	25	700	106,62	623	105,01	798	71,87	938	36,57
100	25	840	97,33	756	96,85	896	70,35	1043	34,29

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

$$P = \pi \cdot [p_1 \cdot r_1^2 + (p_2 - p_1) \cdot r_2^2 + (p_3 - p_2) \cdot r_3^2] \quad (6.13)$$

$$P = \pi \cdot [0,539 \cdot 105,05^2 + (0,616 - 0,539) \cdot 73,65^2 + (0,777 - 0,616) \cdot 31,49^2] \quad (6.14)$$

$$P \cong 20.500 \text{ N} \quad (6.15)$$

A distribuição não-uniforme da pressão de contato eleva as respostas estruturais, em específico foram analisadas nessa etapa do trabalho as deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico e as deformações de compressão no topo do subleito.

Para o caso da estrutura A em aderência plena na interface, a pressão de pneus de 80psi com distribuição uniforme resulta em um fator de equivalência de carga igual a 1. Ao levar em consideração a mesma pressão de pneus com distribuição não-uniforme, o FEC resultante é de 1,31. Na estrutura B, as mesmas condições refletem em fatores de equivalência de carga iguais a 1 e 2,15 para distribuição uniforme e não-uniforme, respectivamente.

Ao considerar que a pressão de pneus mais frequente na rodovia é de 120psi, conforme analisado no Capítulo 3, os fatores de equivalência de carga para o eixo padrão são de 2,45 e 2,89 para pressão uniforme e não-uniforme, respectivamente. Ou seja, em 120psi, a forma de distribuição de pressões na estrutura A resulta em uma diferença de 18%. Na estrutura B, por sua vez, a mesma condição reflete em uma diferença de 62%. As estruturas esbeltas são mais suscetíveis à forma de distribuição de pressões e, além disso, apresentam fatores de equivalência de carga maiores. As Tabelas 59 e 60 apresentam os fatores de equivalência de carga calculados para pressões uniformes e não-uniformes nas 3 condições de aderência analisadas para estrutura A e B, respectivamente.

A Figura 54 ilustra a influência da pressão de pneus no fator de equivalência de carga para o critério de fadiga em pressões uniformes e não-uniformes, considerando a condição de aderência plena e o ESRD com 80kN. Os FEC analisados apresentam uma variação de 145% e 120% para pressões uniformes e não-uniformes, respectivamente. A mudança na forma de distribuição de pressões reduz o acréscimo de FEC em função das pressões de enchimento dos pneus.

A forma de distribuição da pressão de contato pneu-pavimento, apresenta maior influência em estruturas que possuem espessura de revestimento asfáltico menor, conforme analisado na Figura 55. Na estrutura B, entre a mínima e máxima

pressão de pneus analisada, o fator de equivalência de carga para pressão não-uniforme de 120psi é quase 10 vezes maior do que o FEC na pressão de pneus uniforme de 80psi, utilizado como referência. Na estrutura A, a variação da forma de distribuição de pressões resulta em um acréscimo máximo de 31% nos fatores de equivalência de carga para o critério de fadiga.

Tabela 59 - Fatores de equivalência de carga para pressão não-uniforme na Estrutura A

Carga por eixo (kn)	Pressão de pneus (psi)	Critérios	Uniforme			Não-uniforme		
			Plena	Parcial	Sem Aderência	Plena	Parcial	Sem Aderência
80	80	Fadiga	1,00	2,28	10,62	1,31	2,94	13,06
		Def Permanente	1,00	1,93	12,20	1,03	1,95	12,39
	100	Fadiga	1,67	3,56	15,67	2,16	4,57	19,18
		Def Permanente	1,04	1,91	12,61	1,07	1,94	12,83
	120	Fadiga	2,45	4,98	21,05	2,89	5,88	24,06
		Def Permanente	1,06	1,89	12,87	1,10	1,92	13,11
100	80	Fadiga	1,76	4,31	21,43	2,67	6,36	29,37
		Def Permanente	4,63	9,26	55,62	4,78	9,43	57,51
	100	Fadiga	3,05	6,95	32,44	4,35	9,72	42,45
		Def Permanente	4,74	9,22	58,18	4,93	9,33	59,26
	120	Fadiga	4,65	10,03	44,61	5,78	12,37	52,83
		Def Permanente	4,87	5,04	59,85	5,05	9,23	60,55

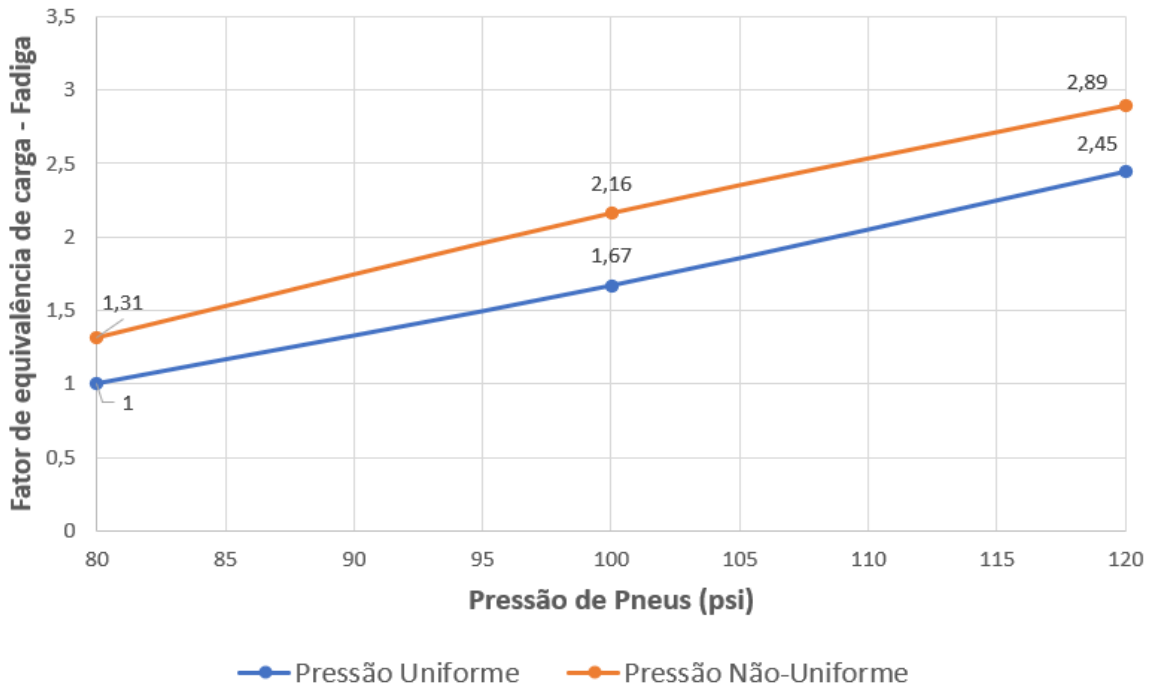
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Tabela 60 - Fatores de equivalência de carga para pressão não-uniforme na Estrutura B

Carga por eixo (kn)	Pressão de pneus (psi)	Critérios	Uniforme			Não-uniforme		
			Plena	Parcial	Sem Aderência	Plena	Parcial	Sem Aderência
80	80	Fadiga	1,00	3,82	23,55	2,15	7,61	40,03
		Def Permanente	1,00	1,80	5,14	1,02	1,82	5,33
	100	Fadiga	2,77	9,20	49,11	5,62	17,67	81,75
		Def Permanente	1,05	1,80	5,60	1,06	1,83	5,81
	120	Fadiga	6,02	18,14	87,32	9,77	28,59	124,86
		Def Permanente	1,08	1,79	5,93	1,10	1,83	6,10
100	80	Fadiga	1,01	4,58	33,48	2,98	11,84	69,00
		Def Permanente	4,50	5,22	21,88	4,68	5,48	23,47
	100	Fadiga	3,05	23,99	71,94	7,48	26,22	134,65
		Def Permanente	4,77	5,52	24,44	4,87	5,76	25,60
	120	Fadiga	7,06	23,99	131,40	12,63	41,01	199,30
		Def Permanente	4,95	5,72	26,34	5,02	5,85	27,10

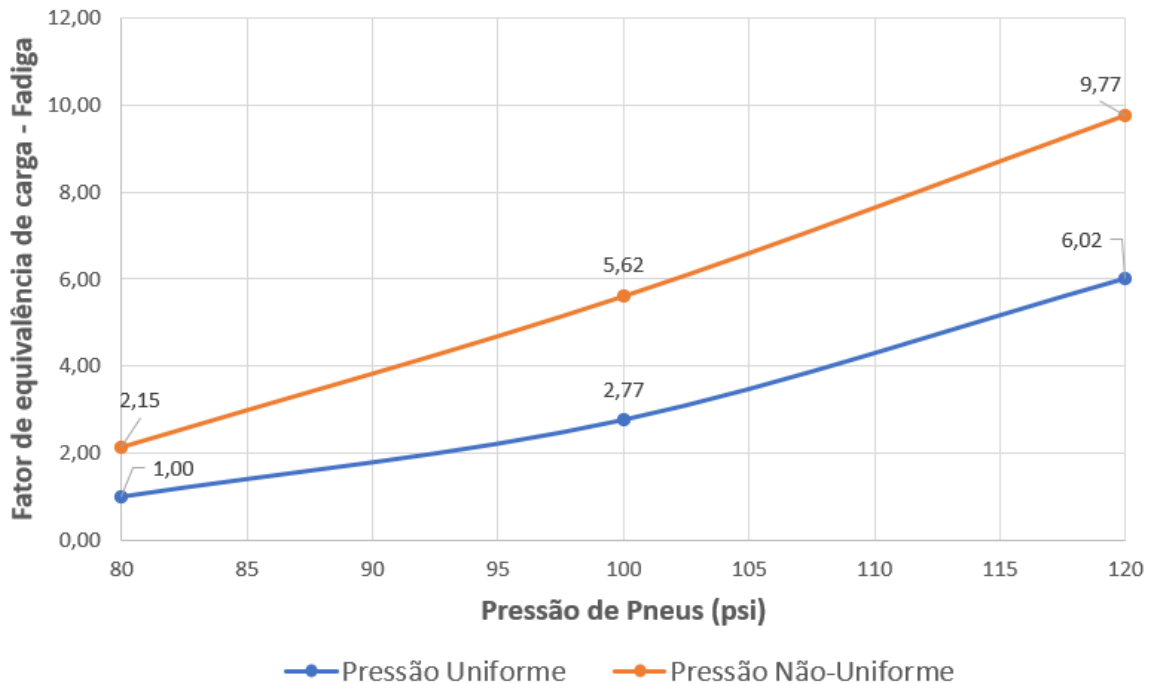
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Figura 52 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da pressão de pneus em pressão uniforme e não-uniforme (Estrutura A) – ESRD 80kN



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Figura 53 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da pressão de pneus em pressão uniforme e não-uniforme (Estrutura B) – ESRD 80kN



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

A redução de aderência na interface eleva de forma exponencial os fatores de equivalência de carga, tanto para pressões uniformes quanto para pressões não-uniformes. Contudo, a análise com pressão não-uniforme resulta em um acréscimo de 18% nos fatores de equivalência de carga para estrutura A com 120psi, conforme Figura 56. Para a pressão de pneus 80psi, a diferença entre as condições de pressão uniforme e não-uniforme é máxima e igual a 31% nos fatores de equivalência de carga. A Figura 57 ilustra o comportamento para a estrutura B com 120psi em função da condição de aderência.

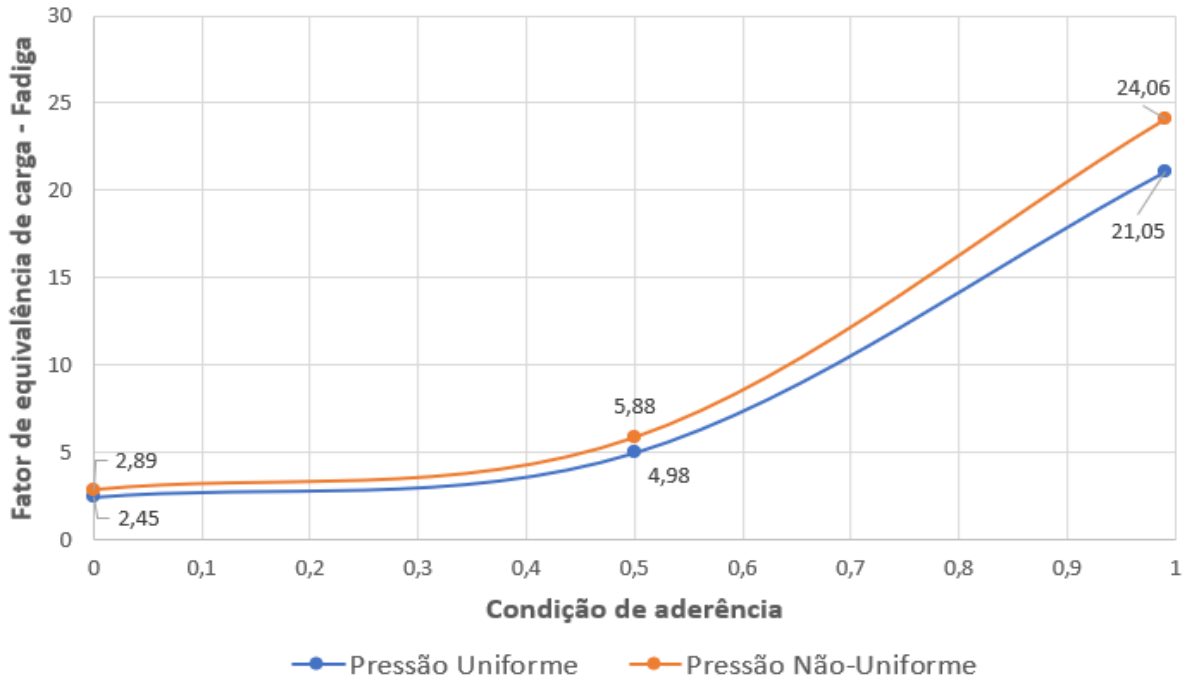
Embora na condição de interface sem aderência ocorram os maiores valores de FEC, a condição de aderência plena resulta na maior influência da forma de distribuição de pressões no acréscimo de FEC. Por outro lado, o acréscimo nos fatores de equivalência de carga para o critério de deformação permanente é de aproximadamente 4%, o qual permanece praticamente constante nas 3 condições de aderência e pressões de pneus analisadas.

Dessa forma, a análise de pressão não-uniforme no contato pneu-pavimento pode ser considerada mais crítica para critérios de fadiga no revestimento asfáltico. A Figura 58 ilustra os FEC para o critério de deformação permanente analisado na estrutura A com carga de 80kN no eixo em aderência plena. A Figura 59 ilustra as mesmas condições para a estrutura B.

As análises realizadas neste trabalho, reforçam a necessidade de um estudo mais aprofundado da condição de aderência em função do tempo. Além disso, mensurar a capacidade dos materiais em promover aderência entre as camadas, é fundamental para o avanço dos métodos de dimensionamento, da previsão de comportamento das estruturas e para o desenvolvimento de tecnologias para pavimentação.

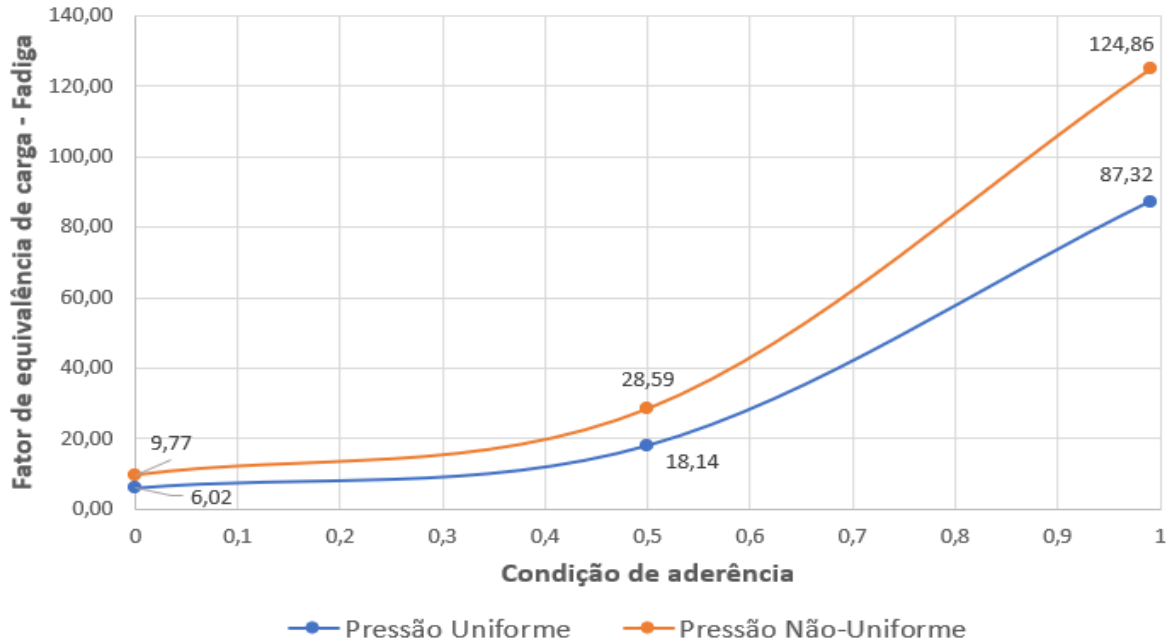
A influência proporcionada pela variação da pressão de enchimento dos pneus, reflete em uma necessidade de verificação dos valores mínimos de espessuras de revestimentos asfálticos utilizados no Brasil. Levando em consideração outros países, como os Estados Unidos da América e a Alemanha, as camadas asfálticas são mais espessas. Isto resulta em maior confiabilidade, qualidade e serventia do pavimento para o usuário. Ou seja, o pavimento deve ser analisado também quanto à influência dos parâmetros discutidos neste trabalho em relação aos custos de manutenção e reabilitação, que serão afetados por solicitações de tração maiores em pneus com pressões de inflação mais elevadas.

Figura 54 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da condição de aderência (Estrutura A) – ESRD com 80kN e pressão de pneus de 120psi



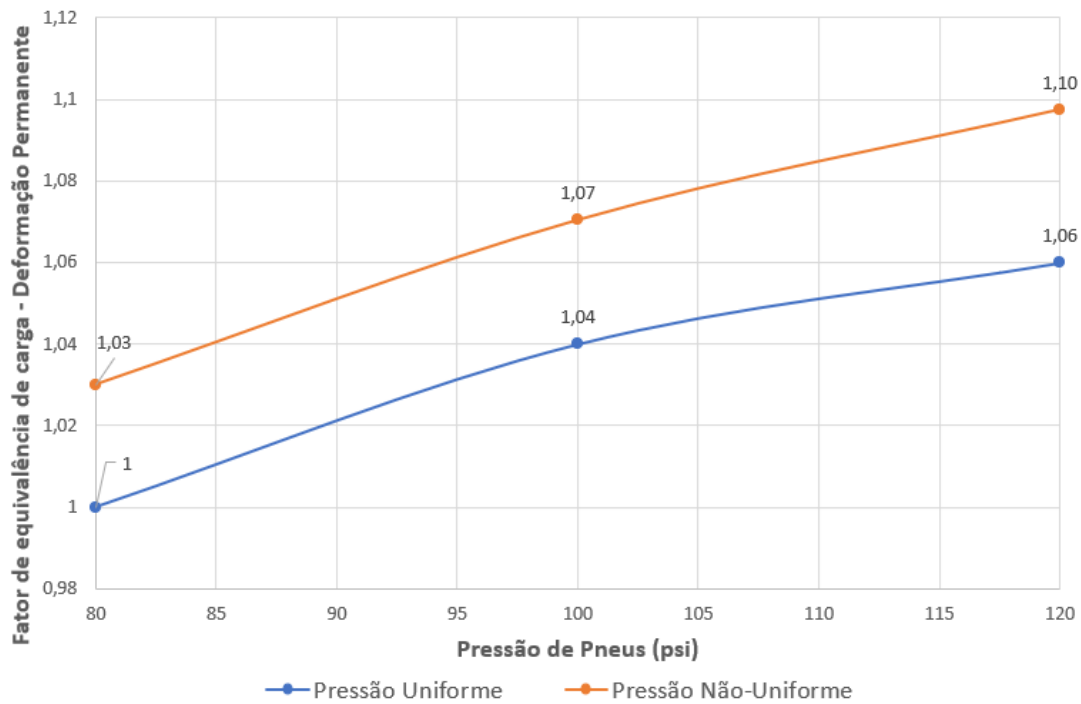
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Figura 55 - Fator de equivalência de carga pelo critério de fadiga em função da condição de aderência (Estrutura B) – ESRD com 80kN e pressão de pneus de 120psi



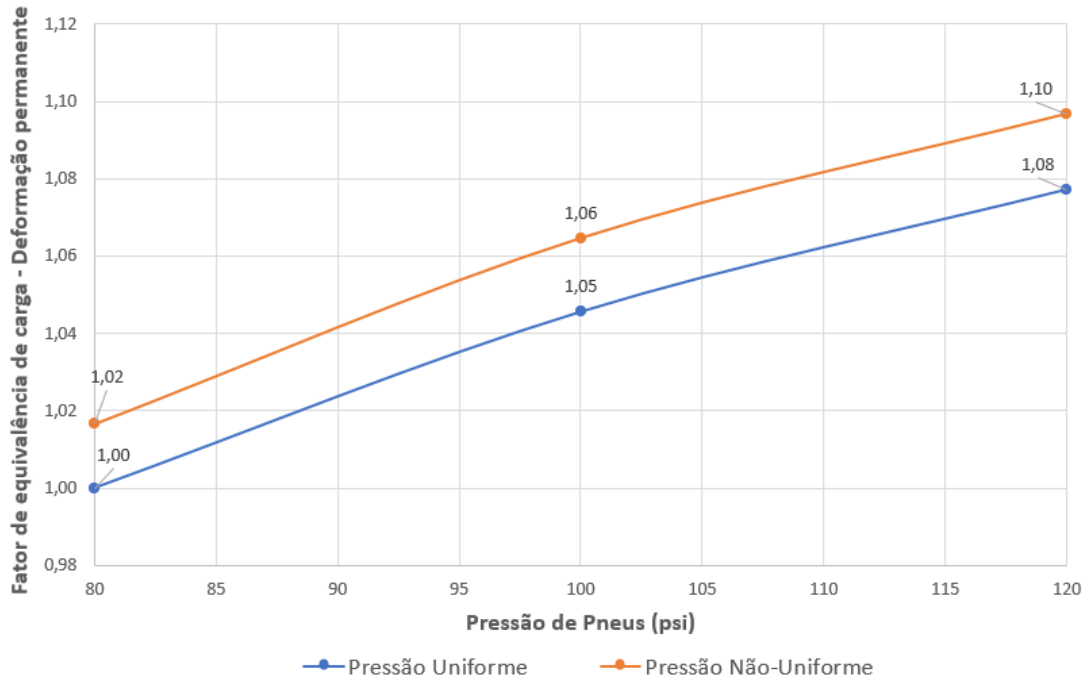
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Figura 56 - Fator de Equivalência de carga para o critério de deformação permanente para o ESRD com 80kN e na estrutura A em aderência plena



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Figura 57 - Fator de Equivalência de carga para o critério de deformação permanente para o ESRD com 80kN e na estrutura B em aderência plena



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

## 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

No dimensionamento de pavimentos, os eixos dos veículos do tráfego rodoviário são analisados em função das solicitações equivalentes de um eixo rodoviário padrão. A conversão da solicitação real para a solicitação equivalente ocorre por meio do conceito de FEC definido com parâmetros específicos de pressão de enchimento dos pneus, espessuras de camadas, módulos de resiliência, velocidade dos veículos etc.

As análises realizadas mostraram a grande influência da pressão de enchimento dos pneus e da aderência de camadas nas respostas estruturais dos pavimentos asfálticos flexíveis. A variação de deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico possui grande influência nos FEC empírico-mecanísticos, como observado neste capítulo.

Embora a pressão de pneus não resulte em variações significativas de deformação de compressão no topo do subleito, o que reflete nos fatores de equivalência de carga, a condição de aderência aumenta exponencialmente este critério. Além disso, a análise com distribuição de pressões não-uniforme, reflete em um acréscimo nas deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico e deformações de compressão no topo do subleito. Dessa forma, os fatores de equivalência de carga aumentam, sendo ainda mais expressivos em estruturas que apresentam espessura total menor.

A uso de um FEC único, independente da estrutura ou das condições do tráfego analisado, embora facilite a utilização do conceito de forma prática, pode levar a resultados pouco confiáveis. Como observado nas análises deste capítulo, os FEC sofrem grande variação em função das espessuras de camadas, módulos de resiliência e condições de aderência nas interfaces de camadas. Além disso, variam em função das condições do tráfego, como a pressão de enchimento dos pneus.

O critério de fator de equivalência de carga da USACE, atualmente em uso no Brasil, é muitas vezes considerado por engenheiros como a favor da segurança por apresentar valores maiores do que os fatores de equivalência de carga da AASHTO, por exemplo. Contudo, as análises com FEC empírico-mecanísticos, em função da pressão de pneus e da condição de aderência, apresentaram valores maiores do que



os do critério da USACE. O que não expressa a condição de segurança outrora mencionada.

A continuidade de análise de uma estrutura em função de um FEC único, não reflete as condições da estrutura e nem permite segurança para engenheiros quanto à durabilidade das estruturas. O que, por sua vez, resulta em rupturas prematuras do pavimento e no aumento de custos de manutenções preventivas ou corretivas.

Optou-se por não corrigir os fatores de equivalência de carga em função das novas análises realizadas, devido aos conceitos já apresentados. A correção do FEC seria válida apenas para a estrutura analisada, não podendo generalizar os conceitos e a aplicação para outras estruturas. Este capítulo reforça a necessidade de análises e dimensionamentos de pavimentos em função dos fatores de equivalência de carga empírico-mecanísticos, levando em consideração os parâmetros da estrutura e do tráfego rodoviário, para aumentar a confiabilidade dos pavimentos.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 PESQUISA DE CAMPO

Na análise de campo realizada na rodovia Regis Bittencourt foram obtidos os dados de 1860 pneus, o que corresponde a uma amostra de 100 veículos. Constatou-se que o intervalo crítico das pressões de pneus ocorre de 800kPa (114psi) a 900 kPa (128psi), independentemente do tipo de eixo analisado. Dessa forma, para análise da pressão de enchimento dos pneus não há necessidade de uma separação por eixo do veículo. O valor médio de pressão de enchimento dos pneus utilizando toda a amostra é de 814,92kPa (116,42psi) e o desvio padrão é de 88,93kPa (12,70psi). Contudo, a pressão de enchimento dos pneus apresenta uma distribuição Gumbel, e com dados mais frequentes a direita da média.

Embora em muitos projetos os pavimentos sejam dimensionados para uma pressão de enchimento de pneus de 560kPa, típica do eixo rodoviário padrão, apenas 1,36% da amostra de campo possui pressão compatível com este valor de dimensionamento. Dessa forma, a estrutura está propensa a defeitos precoces como consequência, principalmente, do aumento de deformações horizontais na fibra inferior do revestimento.

Cerca de 76% dos pneus analisados na rodovia Regis Bittencourt apresentam pressões de enchimento dos pneus entre 770kPa (110psi) e 910kPa (130psi). Além disso, as maiores frequências relativas correspondem às pressões de inflação de 840kPa (120psi) e 875kPa (125psi), em uma distribuição assimétrica. Dessa forma, a pressão média geral da amostra não pode ser considerada satisfatória para representação dos dados. A regressão da distribuição Gumbel da curva de frequência acumulada das pressões de enchimento dos pneus foi realizada com base no método dos mínimos quadrados e apresentou coeficiente de correlação de 0,999.

Durante a pesquisa de campo, foi analisado se os veículos apresentavam o rodoalibrador para manutenção da pressão de enchimento dos pneus, contudo, apenas 287 pneus apresentavam o sistema de calibração, o que equivale a 15,43% da amostra. A baixa adesão ao sistema de calibração automática da pressão de enchimentos dos pneus é consequência do elevado custo de manutenção.

Os pneus analisados apresentam pequena variação quanto às dimensões utilizadas, para os quais 79,84% da amostra apresenta pneus com dimensões 295/80

R22.5. Contudo, cada fabricante possui um projeto da banda de rodagem e isso resulta em diferenças na profundidade de sulcos e na forma de aplicação de carga no contato pneu-pavimento. Além disso, a diferença da banda de rodagem pode influenciar no comportamento em dias chuvosos, embora não seja objeto de estudo deste trabalho.

Em 54 veículos, os dados de pressão de enchimento dos pneus foram analisados em conjunto com a carga por eixo. Dentre os eixos analisados, quando a pressão de enchimento dos pneus é inferior a 700kPa (100psi), ocorre a tendência de que os eixos estejam com pouca carga ou distantes do limite legal. O intervalo de 750kPa (107psi) a 900kPa (128psi) compreende 75,60% dos dados coletados e, nessa faixa de dados, ocorrem as maiores cargas por eixo, incluindo aquelas que estão acima da tolerância permitida. A análise da carga por eixo em conjunto com a pressão de enchimento dos pneus, permite observar que as pressões de enchimento maiores que 900kPa (128psi) ocorrem principalmente em eixos dianteiros.

A distribuição de pressão de enchimento dos pneus encontrada neste trabalho poderia ser utilizada como referência para fins de dimensionamento de pavimentos rodoviários.

## 7.2 RESPOSTAS ESTRUTURAIS

Com base na análise computacional realizada no *software* mePADS, para a condição de aderência plena na interface das camadas, as deflexões na superfície do pavimento aumentam com o acréscimo de pressão nos pneus dos veículos comerciais. Contudo, a variação de deflexão entre as pressões mínimas e máximas analisadas é inferior a 5%. Embora a condição de aderência plena resulte em menores deflexões, nesta condição, com o aumento da pressão de enchimento dos pneus ocorrem as maiores variações de deflexões. Dessa forma, a utilização de pneus diagonais para ensaios de Viga Benkelman não é imprescindível.

Observou-se que o aumento do módulo de resiliência e da espessura das camadas de revestimento asfáltico diminuem a variação de tensões e deformações de tração entre a mínima e a máxima pressão analisada nesta dissertação. Ou seja, a rigidez da camada de revestimento asfáltico proporciona a redução da influência da pressão de enchimento dos pneus no acréscimo de tensões e deformações de tração

na fibra inferior do revestimento. Quanto mais rígida for a camada, pelo aumento da espessura ou do módulo de resiliência, menor será a variação destas respostas estruturais. Contudo, a espessura da camada se mostrou muito mais eficiente para a redução de variação das tensões e deformações de tração com o aumento da pressão de pneus, em comparação com o MR.

Com a redução da condição de aderência na interface entre a camada de revestimento asfáltico e base granular, as tensões e deformações de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico aumentam significativamente. Entretanto, nestas condições de aderência, a pressão de enchimento dos pneus possui menor influência.

O aumento da espessura de camadas de base e sub-base, bem como do módulo de resiliência dessas camadas e do subleito, proporcionam um aumento da rigidez da estrutura e, dessa forma, reduzem as tensões de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico em todas as condições de aderência analisadas. Contudo, o aumento de rigidez das camadas granulares eleva a influência da pressão de enchimento dos pneus na estrutura em todas as condições de aderência.

Em condição de aderência plena, o aumento da pressão de enchimento dos pneus diminui a vida útil das estruturas, como consequência do acréscimo da deformação horizontal de tração. Dessa forma, a rigidez da camada asfáltica possui influência também no aumento de vida útil da estrutura, pois estruturas com revestimentos asfálticos mais espessos possuem menor influência da pressão de enchimento dos pneus na redução de vida útil. Para a condição de aderência parcial na interface do revestimento com a base, o módulo de resiliência possui influência menor do que 3% para a vida à fadiga da estrutura, quando esta é solicitada por pressões de enchimento dos pneus maiores que 700kPa (100psi). Para a condição sem aderência, há uma tendência de comportamento independente do MR quando a estrutura é solicitada por pressões de enchimento dos pneus menores que 700kPa (100psi).

Em todas as estruturas analisadas em condição de aderência plena e sem aderência, o aumento da pressão de contato pneu-pavimento resulta em um aumento das tensões de compressão no topo do subleito. Contudo, para a condição de aderência parcial, o aumento da pressão de contato resulta em redução das tensões verticais de compressão no topo do subleito. Entretanto, independente do conjunto analisado e da condição de aderência, as variações de tensão de compressão no topo do subleito são pequenas em função da pressão de enchimento dos pneus. Além

disso, a redução de aderência na interface entre revestimento e base resulta em um acréscimo de tensões verticais no topo do subleito.

A análise estatística para as respostas estruturais apresentou um coeficiente de regressão mínimo de 0,95. Além disso, em aderência plena, os valores-p da espessura da base, espessura da sub-base e do módulo de resiliência do subleito indicam pouca influência destes parâmetros na regressão. Contudo, com a redução da aderência na interface entre revestimento e base, ocorre uma influência maior destes parâmetros na regressão. Além disso, em aderência plena e aderência parcial, o valor-p indica pouca influência da pressão de enchimento dos pneus na deformação vertical no topo do subleito.

### **7.3 ANÁLISE COM A HIPÓTESE DE MINER**

A hipótese de Miner foi utilizada nessa dissertação como um método para verificar qual é a pressão de enchimento dos pneus que consegue representar o dano causado pela amostra obtida em campo. Dessa forma, a análise permite concluir que a pressão de enchimento dos pneus de 560kPa (80psi), ou seja do eixo rodoviário padrão, resulta em um consumo de fadiga excessivo. Ao utilizar essa pressão de enchimento dos pneus para dimensionamento das estruturas de pavimentos, ocorre um subdimensionamento da estrutura frente à solicitação real em campo.

Por outro lado, a pressão de enchimento dos pneus de 840kPa (120psi) corresponde a um consumo de fadiga próximo do valor esperado de 100%, ou seja, consegue representar melhor a distribuição de pressão de inflação de pneus obtida na rodovia Regis Bittencourt. Contudo, a pressão de 910kPa (130psi) apresentou um consumo de fadiga inferior a 100% em todas as estruturas analisadas, o que proporcionaria maior confiabilidade para os projetos de pavimentação.

Dessa forma, para rodovias de alto volume de tráfego, os resultados apresentados contribuem para a indicação de que o dimensionamento de pavimentos seja realizado utilizando pressões de enchimento dos pneus entre 840 kPa (120psi) e 910kPa (130psi).

## 7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela pesquisa de campo efetuada verificou-se que menos de 2% da frota de veículos de carga trafegam com pressão de pneus calibrados para 560kPa (80psi). Tanto os métodos usuais de dimensionamento de pavimentos flexíveis como os de reforço, além das verificações estruturais mecanicistas, consideram implicitamente na análise a pressão de enchimento dos pneus de 560kPa (80psi).

As análises realizadas nesta pesquisa, considerando a variação da pressão dos pneus e condições de aderência na interface entre o revestimento e a base granular, mostraram acréscimos significativos nas tensões e deformações de tração na fibra inferior do revestimento, pequenos acréscimos na deflexão máxima na superfície e acréscimos desprezíveis nas tensões e deformações de compressão no topo do subleito, quando se utilizam pressões de enchimento dos pneus de 120psi.

Pelas análises mecanicistas desenvolvidas neste trabalho pode-se verificar que teoricamente ocorre uma redução expressiva da vida útil do pavimento, principalmente quando se considera a fadiga do revestimento asfáltico. Além da pressão de enchimento dos pneus, a forma de distribuição das pressões de contato pneu-pavimento e a condição de aderência das camadas, influenciam significativamente nas respostas estruturais e fatores de equivalência de carga. A continuidade de análise de uma estrutura em função de um fator de equivalência de carga único, não reflete as condições da estrutura e nem permite segurança para engenheiros quanto à durabilidade das estruturas. Por sua vez, tal situação resulta em rupturas prematuras do pavimento.

Observou-se que a condição de aderência entre camadas implica em acréscimos no número de repetições do eixo rodoviário padrão (N). Além disso, levar em consideração a condição de aderência apenas na análise mecanística não implica em confiabilidade para o projetista. Ou seja, as análises obtidas reforçam a necessidade de cuidados construtivos das camadas dos pavimentos e a atualização dos critérios de previsão do tráfego rodoviário.

Existem ainda outros dois pontos que merecem destaque nesse momento, mesmo não tendo sido aprofundados nos resultados apresentados. O primeiro é que o tráfego rodoviário não influencia apenas na questão do dimensionamento estrutural do pavimento, mas, também, em questões de dosagem das misturas asfálticas. Dessa forma, o método de previsão do tráfego rodoviário reflete também na energia de

compactação das camadas do pavimento. Ou seja, falhas de critério de previsão do Número N influenciam no dimensionamento e qualidade final das misturas asfálticas. A segunda é que os resultados apresentados de pressão de enchimento dos pneus deveriam ser considerados para regulamentação técnica, melhorando as questões de fiscalização do tráfego rodoviário.

Com base nos resultados do presente trabalho, o dimensionamento de pavimentos deveria ser realizado utilizando o mix de frota de veículos. Desta forma, os engenheiros poderiam realizar o dimensionamento levando em consideração os parâmetros específicos do tráfego e da estrutura para calcular o consumo de fadiga.

## **7.5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com base na pesquisa de campo e nas análises computacionais realizadas, seguem algumas recomendações de trabalhos futuros:

- a) Analisar a diferença de projetos de banda de rodagem e como isso influencia na forma de distribuição de pressões de contato;
- b) Pesquisar a influência da banda de rodagem nas respostas estruturais dos pavimentos, considerando pressões uniformes e não-uniformes;
- c) Analisar com critérios de confiabilidade a influência da pressão de pneus, aderência e distribuição não-uniforme no dimensionamento de pavimentos;
- d) Calibrar equações de desempenho utilizadas no Brasil para pressões de enchimento dos pneus de 840kPa (120psi) ou 910kPa (130psi);
- e) Estudar a distribuição de pressões de enchimento dos pneus em outras rodovias brasileiras para verificar similaridades entre regiões;
- f) Analisar a bacia de deflexões por meio da Viga Benkelman com pneus radiais e pneus diagonais variando a pressão de pneus;
- g) Estudar em laboratório a influência da pressão de pneus para dosagem de misturas asfálticas e volume de vazios da mistura em campo;
- h) Analisar em laboratório a aderência entre camadas, verificando os valores de módulo de reação de cisalhamento horizontal;
- i) Analisar a variação da condição de aderência entre camadas no campo;

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. **Guide for design of pavement structures**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1993.

AASHTO. **Mechanistic-empirical pavement design guide: a manual of practice**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, USA, 2008.

ALBANO, J.F. **Efeitos da variação da carga por eixo, pressão de inflação e tipo de pneu na resposta elástica de um pavimento**. Dissertação de mestrado: Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 1998.

ALI, H.A; TAYABJI, S.D. **Mechanistic evaluation of test data from LTPP flexible pavement test sections**. Report FHWA-RD-98-012 – Final Report, 1998.

ALVES, N. B. P. **Dimensionamento de pavimentos rodoviários: comparação entre diferentes metodologias**. Faculdade De Ciências E Tecnologia Da Universidade Nova De Lisboa: Dissertação de Mestrado, 2016.

AL-QADI, I.L; WANG, H. **Evaluation of pavement damage due to new tire designs**. University of Illinois at Urbana-Champaign. Research Report Ict-09-048, 2009.

ARSHAD, A.K; HARUN, M.S; JASMI, N; YAACOB, S. **Effect of heavy vehicles' tyre pressure on flexible pavements**. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, Pp.1161-1170, 2018.

ASPHALT INSTITUTE. **Thickness design- asphalt pavement for highways and streets**, 9th ed., The Asphalt Institute, Manual Series No.1 (Ms-1), 2008.

AUSTROADS. **Guide to pavement technology part 2: pavement structural design**. Sidney, 2017.

BALBO, J.T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. Oficina de Textos. São Paulo, 2007.

BURMISTER, D.M. **The theory of stresses and displacements in layered system and applications to the design of airport runways**. Proceedings. HRB. 23. Annual Meeting. Washington, Dc, V.23, 1943.



BURMISTER, D.M. **The general theory of stresses and displacements in layered system.** I, ii and iii, Journal of Applied Physics, EUA, 1945.

BROWN, E.R. **Mix design and construction of asphalt concrete to support high tire pressures.** Proc. 25th paving and transportation conference, Civil Engineering Department University Of New Mexico. Albuquerque, 1988.

CERVO, T.C. **Estudo da resistência à fadiga dos concretos de cimento Portland para pavimentação.** Tese de Doutorado: Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO - CONTRAN. **Resolução nº 12.** Brasília, 1998.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Resolução nº 62.** Brasília, 1998.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Resolução nº 184.** Brasília, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO - CONTRAN. **Resolução nº 210.** Brasília, 2006.

CHOWDHURY, F & RALLINGS, R. **A survey of truck tyre pressures in Tasmania.** Road & Transport Research, Vol. 3, No. 3, Pp. 80-9. September 1994.

CHUN, S; KIM, K; GREENE, J; CHOUBANE, B. **Evaluation of interlayer bonding condition on structural response characteristics of asphalt pavement using finite element analysis and full-scale field tests.** Construction and Building Materials, 2015.

CORRO, S; MAGALLANES, R; PRADO, G. **Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras.** Instituto de Ingenieria Unam, 1981.

DE BEER, M. **Reconsideration of Tyre-pavement input parameters for the structural design of flexible pavements.** South Africa, 2006.

DE BEER M, FISHER C AND KANNEMEYER L. **Tyre-pavement interface contact stresses on flexible pavements – quo vadis.** Proceedings of the 8th conference on asphalt pavements for southern Africa, Sun City, 2004.

DE BEER, M.; FISHER, C. **Tire contact stress measurements with the stress-in-motion (sim) MK IV system for the texas transportation institute (TTI)**. Contract Report No. Cr2002/82. Division of Roads and Transport Technology, Council for Scientific and Industrial Research (CsiR), Pretoria, South Africa, 2002.

DE BEER, M., KANNEMEYER, L. AND FISHER, C. **Towards improved mechanistic design of thin asphalt layer surfacings based on actual type/pavement contact stress-in-motion data in South Africa**. Seventh (7th) Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa, 1999 (CAPSA '99), Victoria Falls, Zimbabwe, 29 August to 2 September 1999.

DE BEER, M., FISHER, C., AND JOOSTE, F.J. **Determination of pneumatic tyre/pavement interface contact stresses under moving loads and some effects on pavements with thin asphalt surfacing layers**. Proceedings of eighth international conference on asphalt pavements. University of Washington, Seattle, Washington, 1997.

DECABOOTER, P. H. **Wisconsin Truck Tire Pressure Study**. FHWA/AWI-88/1, Wisconsin Department of Transportation, Division of Highways and Transportation Services, Madison, Wisconsin, January 1988.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER SP. **IP-DE-P00/001 Projeto de Pavimentação**. São Paulo, Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER SP. **ET-DEP00/2005 – Imprimação Betuminosa Ligante – Especificação Técnica**, São Paulo, SP, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Projeto geométrico de travessias urbanas**. Publicação IPR 740. Rio De Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR 719. 3ª Edição. Rio De Janeiro, 2006a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT) **Manual de Estudos De Tráfego**. Publicação IPR 719. 3ª Edição. Rio De Janeiro, 2006b.

ELLIOTT, R.P.; SELVAN, R.P. E MUN. L.K. **Effect of truck tire contact pressure**. Report uaf-ahtrc-91-001. University of Arkansas, Fayetteville. Arkansas, 1991.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - FAA. AC 150/5320-6G - **Airport Pavement Design and Evaluation**. Federal Aviation Administration, Washington, 2021.

FDOT. **Flexible pavement design manual**. Florida Department of Transportation, Florida, 2018.

FERNANDES JR, J.L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. Tese De Doutorado: Escola De Engenharia De São Carlos. São Carlos, 1994.

FRANCO, F.A.C.P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – Sispav**. Tese de doutorado: UFRJ. Rio de Janeiro, 2007.

FRANCO, F.A.C.P; MOTTA, L.M.G. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecânico - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos – manual de utilização do programa Medina**. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Agosto 2020.

GILLESPIE, T.D.; KARAMIHAS, S.M.; CEBON, D.; SAYERS, M.W.; NASIM, M.A.; HANSEN, W. E EHSAN, N. **Effects of heavy vehicle characteristics on pavement response and performance - final report 1-25** - National Cooperative Highway Research Program - TRB - The University of Michigan Transportation Research Institute, 1992.

GOODYEAR. **Manual de serviço para pneus radiais: caminhões e ônibus**. [São Paulo]: 199-b. 39p.

GUO, C; WANG, F; ZHONG, Y. **Assessing pavement interfacial bonding condition**. Construction and Building Materials, 2016.

HAAS, R.C.G. E PAPAGIANNAKIS, A.T. **Understanding pavement rutting - special workshop on rutting in asphalt pavements**. Roads and Transport Association of Canada, Toronto, 1986.

HANSEN, R.W.; BERTRAND, C.; MARSHEK, K.M. E HUDSON, W.R. **Truck tire pavement contact pressure distribution characteristics for super single 1822.5**

**and smooth 11r24.5 tires.** Research report 1190-1 - project 3-8-88/91190 - Center for Transportation Research - The University of Texas at Austin, 1989.

HAKIM, B.A. **The importance of good bond between bituminous layers.** Proceedings of the 9th International Conference on the Structural design of asphalt Pavements, 2002.

HARIYADI. E.S; UTAMI, R. **Predicting bonding condition between asphalt pavement layers from measured and computed deflection using layer moduli backcalculation.** Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol.11, 2015.

HARIYADI, E.S; AURUM, K.P; SUBAGIO, B.S. **Theoretical study of bonding condition at the interface between asphalt pavement layers.** Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, 2013.

HARIYADI, E.S. **Pengembangan Pendekatan Simulasi Dan Laboratorium Terhadap Kondisi Bonding Antar Lapes Perkerasan Beraspal.** Institut Teknologi Bandung, 2007.

HUANG, Y. H. **Pavement analysis and design.** 2<sup>o</sup> ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2004.

HUDSON, W.R e HAAS, R. **Mid-term Results: Long-Term Pavement Performance Studies** – Third International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields – Trondheim, Noruega, 1990.

HUHTALA, M. e PIHLAJAMAKI, J. **Truck Tires and Pavements** - Third International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields - Trondheim – Noruega, 1990

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – INVIAS. **Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.** 1998.

JAE. **Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional,** junta autónoma de estradas, Lisboa, Portugal, 1995.

KAWA, I; ZHANG, Z; HUDSON, W.R. **Evaluation of the AASHTO 18-kip load equivalency concept.** Report FHWA/TX-05-0-1713-1, 1998.

MAINA, J.W., DENNEMAN, E. AND DE BEER, M. **Introduction of new road pavement response modelling software by means of benchmarking**. Partnership for research and progress in Transportation. 27th Southern African Transport Conference (SATC), Pretoria, South Africa, July 7-11, 2008, pp 1-14.

MARSHEK, K.M.; HUDSON, W.R.; CHEN, H.H.; SARAF, C.L. E CONNELL, R.B. - **Effect of Truck Tire Inflation Pressure and Axle Load on Pavement Performance** - RR 386-2F - Center for Transportation Research - The University of Texas at Austin - 1985

MEDINA, J; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de janeiro, 2015.

MIDDLETON, D.R; ROBERTS, F.L. E CHIRA-CHAVALA, T. **Measurement and analysis of truck tire pressures on Texas Highways**. TRR 1070, Washington, D.C, 1986.

MINER, M.A. **Cumulative damage in fatigue**. Trans. ASME, v.67, 1945, pp. 159-164.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **Manual de carreteras - suelos, geología, geotecnia y pavimentos**, In Manual De Carreteras, 2013.

MUNIANDY, R et al. **Characterization of effective tire contact area for various tread patterns**. Instrumentation Science & Technology. January 2014.

MONTANA DEPARTMENT OF HIGHWAYS. **Truck Tire Study. Planning and Statistics Bureau**. Helena, Montana, 1984.

MOTALEB, A. **Impact of high-pressure truck tires on pavement design in Egypt**. Emirates Journal for Engineering Research, 12 (2), 65-73, 2007.

ONTARIO MINISTRY OF TRANSPORTATION. **Pavement design and rehabilitation manual**. Materials engineering and research office, Ontario, 2013.

PAPAGIANNAKIS, T; OANCEA, A; ALI, N; CHAN, J AND BERGAN, A.T. **Application of ASTM E1049085 in calculating load equivalence factors from in situ strains**. Transportation Research Board, 1991.

PEREIRA, P., PAIS, J. **Main flexible pavement and mix design methods in Europe and challenges for the development of a European method**. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2017.

PEZO, R.F.; MARSHEK, K.M. E HUDSON, W.R. - **Truck Tire Pavement Contact Pressure Distribution Characteristics for the Bias Goodyear 18-22.5, the Radial Michelin 275/80R/24.5, the Radial Michelin 255/70R/22.5, and the Radial Goodyear 11R24.5 Tires** - RR 1190-2F - Center for Transportation Research - The University of Texas at Austin, 1989

PWD MALAYSIA. **Manual for the structural design of flexible pavement** (ATJ 5/85 rev.2013). Kuala Lumpur: Public Works Department of Malaysia, 2013.

RAAB, C; PARTL, M.N. **Interlayer bonding of binder, base, and subbase layers of asphalt pavements: Long-term performance**. Construction and Building Materials, 2009.

RAAB, C., & PARTL, M. N. **Effect of tack coats on interlayer shear bond of pavements**. In Proceedings of the 8th conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA'04), Vol. 12, 2004, p. 16.

SANTOS, A.G. **Estudo do efeito da interação entre camadas no comportamento estrutural de pavimentos asfálticos**. Escola de Engenharia de São Carlos: Dissertação de Mestrado, 2018.

SEBAAL Y. P. E. **Pavement damage as related to tires, pressures. Axle loads and configurations**. In: American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES - SCT. **Catálogo de secciones estructurales de pavimentos para las carreteras de la república mexicana**. Dirección General De Servicios Técnicos, 2011.

SHELL. **Pavement design manual: asphalt pavements and overlays for road traffic**, Shell International Petroleum Co. Ltd, London, Uk, 1978.

SOUZA, M.L. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 2 ed, atual. Rio De Janeiro: IPR, 1979

STEYN, W.J.VDM; ILSE, M. **Evaluation of tire/ surfacing/ base contact stresses and texture depth**. International Journal of Transportation Science and Technology - Vol. 4 · No. 1 · 2015, pp. 107 – 118.

SUTANTO, M. **Assessment of bond between asphalt layers**. Nottingham: The University of Nottingham. PhD thesis, University of Nottingham, 2010.

THE SOUTH AFRICAN NATIONAL ROADS AGENCY. **South African pavement engineering manual (SAPEM)**. Republic of South Africa, 2013.

THEYSE, H.L.; DE BEER, M., MAINA, J.W., KANNEMEYER, L. **Interim revision of the South African mechanistic empirical pavement design method for flexible pavements**. Proceedings of the 10th International Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (Capsa), 2011.

**Tire Pressure Survey Unpublished Data, Bureau of Design**, Division of Highways, Illinois Department of Transportation, Springfield, Illinois, 1986.

VALE, A.C; PAIS, J.C; PEREIRA, P.AA. **O tipo de modelação dos pneus dos veículos pesados na avaliação do desempenho dos pavimentos**. XVI CILA – Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto, 2011.

TIELKING, J.T. E ROBERTS, F.L. **Tire contact pressure and its effect on pavement strain**. Journal of transportation engineering - ASCE - vol. 113 - n.1, 1987, pp. 56-71.

TURNBULL, W.J; AHLVIN, R.G. **Mathematical expression of the CBR (California Bearing Ratio) relations**. Proceedings. 4. Intern. Conf. Soil. Mechan. Found. Engineering. Londres, 1957.

TURNBULL, W.J; FOSTER, C.R; AND AHLVIN, R.G. **Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volumes**. Proceeding International Conference on The Structural Design of Asphalt Pavements, August 1962, pp. 821-825.

WANG, M.C. E ANDERSON, R.P. **Load equivalency factors of triaxle loading for flexible pavements** - TRR 810 - Washington, D.C, 1981.

WHITE, G. **Asphalt overlay bond strength**. Australian Airports Association, Aircraft Pavement and Lighting Conference, 2015.

WONG, J.Y. **Theory of Ground Vehicles**. Toronto, 2001.

YANG, K; LI, R; YU, Y; PEI, J; LIU, T. **Evaluation of interlayer stability in asphalt pavements based on shear fatigue property**. Construction and Building Materials, 2020.

ZULKIFILI, N.H; SUTANTO, M.H. **The influence of bonding between layers on pavement performance, a case study of malaysian road.** International Conference on Civil and Environmental Engineering – ICCEE, 2018.



## ANEXO A

Quadro A.1 – Respostas Estruturais para Estruturas 1 a 3 em aderência plena.

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
1	50	3000	150	300	150	150	50	80	0,779	994,185	279,7	6,50E+05	-44,27	-835,90	1,88E+07
								90	0,787	1115,75	310,07	3,88E+05	-44,41	-839,10	1,83E+07
								100	0,794	1231,439	340,2	2,44E+05	-44,53	-841,60	1,80E+07
								110	0,801	1341,777	368,2	1,64E+05	-44,62	-843,70	1,76E+07
								120	0,806	1447,191	395	1,16E+05	-44,70	-845,40	1,74E+07
								130	0,812	1548,08	420,5	8,46E+04	-44,76	-846,90	1,72E+07
								140	0,817	1644,798	445	6,37E+04	-44,82	-848,10	1,70E+07
2	50	3500	150	300	150	150	50	80	0,768	1169,127	275,5	5,31E+05	-43,64	-826,60	2,04E+07
								90	0,776	1301,594	304,1	3,24E+05	-43,78	-829,80	1,98E+07
								100	0,783	1427,119	331,2	2,11E+05	-43,90	-832,30	1,94E+07
								110	0,789	1546,362	356,8	1,46E+05	-43,99	-834,30	1,91E+07
								120	0,794	1659,91	381,2	1,05E+05	-44,07	-836,00	1,88E+07
								130	0,799	1768,274	404,5	7,78E+04	-44,13	-837,40	1,86E+07
								140	0,803	1871,897	426,6	5,96E+04	-44,19	-838,70	1,84E+07
3	50	4000	150	300	150	150	50	80	0,76	1332,273	270,5	4,58E+05	-43,11	-818,40	2,18E+07
								90	0,765	1471,386	296,6	2,89E+05	-43,21	-820,70	2,14E+07
								100	0,773	1607,955	322	1,91E+05	-43,36	-823,90	2,08E+07
								110	0,778	1734,74	345,7	1,34E+05	-43,45	-826,00	2,05E+07
								120	0,783	1855,15	368,1	9,81E+04	-43,53	-827,60	2,02E+07
								130	0,788	1969,79	389,4	7,40E+04	-43,59	-829,10	1,99E+07
								140	0,792	2079,2	409,7	5,74E+04	-43,65	-830,30	1,97E+07

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.2 – Respostas Estruturais para Estruturas 4 a 6 em aderência plena.

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
4	100	3000	150	300	150	150	50	80	0,624	888,30	241,50	1,35E+06	-31,77	-605,80	1,79E+08
								90	0,628	939,06	254,20	1,05E+06	-31,85	-607,70	1,75E+08
								100	0,632	984,92	265,60	8,42E+05	-31,92	-609,30	1,72E+08
								110	0,635	1026,57	276,00	6,94E+05	-31,98	-610,60	1,70E+08
								120	0,637	1064,58	285,50	5,86E+05	-32,02	-611,60	1,68E+08
								130	0,64	1099,41	294,20	5,05E+05	-32,06	-612,50	1,66E+08
								140	0,642	1131,47	302,20	4,41E+05	-32,10	-613,30	1,65E+08
5	100	3500	150	300	150	150	50	80	0,612	990,15	228,00	1,37E+06	-30,89	-588,80	2,19E+08
								90	0,615	1043,43	239,30	1,07E+06	-30,97	-590,70	2,14E+08
								100	0,618	1091,49	249,50	8,72E+05	-31,04	-592,10	2,10E+08
								110	0,621	1135,08	258,80	7,26E+05	-31,09	-593,40	2,07E+08
								120	0,623	1174,83	267,20	6,19E+05	-31,13	-594,40	2,05E+08
								130	0,625	1211,22	274,90	5,37E+05	-31,17	-595,20	2,03E+08
								140	0,628	1244,68	282,00	4,73E+05	-31,20	-596,00	2,01E+08
6	100	4000	150	300	150	150	50	80	0,601	1082,18	216,20	1,40E+06	-30,12	-573,60	2,63E+08
								90	0,604	1137,52	226,40	1,11E+06	-30,20	-575,40	2,57E+08
								100	0,606	1187,36	235,60	9,13E+05	-30,26	-576,80	2,53E+08
								110	0,609	1232,53	244,00	7,66E+05	-30,31	-578,00	2,49E+08
								120	0,611	1273,68	251,60	6,57E+05	-30,35	-578,90	2,46E+08
								130	0,613	1311,33	258,50	5,74E+05	-30,39	-579,70	2,44E+08
								140	0,615	1345,92	264,90	5,08E+05	-30,42	-580,40	2,42E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.3 – Respostas Estruturais para Estruturas 7 a 9 em aderência plena.

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	σ <sub>ht</sub>	ε <sub>t</sub>	N Fadiga	σ <sub>vc</sub>	ε <sub>v</sub>	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
7	150	3000	150	300	150	150	50	80	0,521	664,62	178,30	6,17E+06	-22,94	-436,50	1,78E+09
								90	0,524	686,30	183,70	5,32E+06	-22,98	-437,30	1,76E+09
								100	0,527	704,88	188,30	4,70E+06	-23,02	-438,50	1,72E+09
								110	0,529	721,12	192,40	4,22E+06	-23,05	-439,30	1,70E+09
								120	0,531	735,44	195,90	3,86E+06	-23,08	-439,90	1,68E+09
								130	0,534	748,16	199,10	3,56E+06	-23,10	-440,40	1,67E+09
								140	0,536	759,53	202,00	3,31E+06	-23,12	-440,80	1,66E+09
8	150	3500	150	300	150	150	50	80	0,507	729,34	165,90	6,71E+06	-22,02	-417,80	2,42E+09
								90	0,51	751,71	170,70	5,81E+06	-22,07	-418,90	2,37E+09
								100	0,512	771,06	174,80	5,16E+06	-22,10	-419,70	2,34E+09
								110	0,514	787,96	178,40	4,66E+06	-22,13	-420,40	2,31E+09
								120	0,516	802,85	181,60	4,27E+06	-22,15	-420,90	2,29E+09
								130	0,518	816,07	184,40	3,95E+06	-22,17	-421,40	2,28E+09
								140	0,52	827,88	186,90	3,70E+06	-22,19	-421,80	2,26E+09
9	150	4000	150	300	150	150	50	80	0,495	786,64	155,40	7,31E+06	-21,23	-401,50	3,19E+09
								90	0,497	809,74	159,70	6,38E+06	-21,27	-402,40	3,14E+09
								100	0,499	829,70	163,40	5,69E+06	-21,30	-403,20	3,10E+09
								110	0,501	847,12	166,60	5,16E+06	-21,33	-403,90	3,06E+09
								120	0,503	862,47	169,40	4,75E+06	-21,35	-404,40	3,04E+09
								130	0,504	876,09	171,90	4,42E+06	-21,37	-404,80	3,01E+09
								140	0,506	888,26	174,20	4,13E+06	-21,39	-405,20	2,99E+09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.4 – Respostas Estruturais para Estruturas 10 a 12 em aderência plena.

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
10	100	3500	150	400	150	150	50	80	0,586	846,37	198,20	2,76E+06	-28,94	-554,40	3,34E+08
								90	0,589	894,99	208,70	2,13E+06	-29,01	-556,10	3,26E+08
								100	0,592	938,95	218,20	1,70E+06	-29,07	-557,50	3,21E+08
								110	0,595	978,92	226,80	1,40E+06	-29,11	-558,60	3,16E+08
								120	0,597	1015,42	234,70	1,18E+06	-29,15	-559,50	3,13E+08
								130	0,599	1048,90	241,90	1,02E+06	-29,19	-560,30	3,10E+08
								140	0,601	1079,71	248,50	8,89E+05	-29,22	-561,00	3,07E+08
11	100	3500	150	500	150	150	50	80	0,566	732,32	174,70	5,18E+06	-27,45	-525,60	4,85E+08
								90	0,569	776,89	184,50	3,94E+06	-27,52	-527,10	4,75E+08
								100	0,572	817,30	193,40	3,11E+06	-27,57	-528,40	4,67E+08
								110	0,574	854,10	201,50	2,54E+06	-27,61	-529,40	4,61E+08
								120	0,577	887,77	208,80	2,12E+06	-27,65	-530,30	4,55E+08
								130	0,579	918,68	215,60	1,81E+06	-27,68	-531,00	4,51E+08
								140	0,581	947,17	221,90	1,57E+06	-27,71	-531,60	4,48E+08
12	100	3500	200	300	150	150	50	80	0,573	932,30	216,10	1,79E+06	-26,14	-507,10	6,23E+08
								90	0,576	985,30	227,40	1,39E+06	-26,21	-508,60	6,10E+08
								100	0,579	1033,13	237,60	1,11E+06	-26,26	-509,90	5,99E+08
								110	0,582	1076,53	246,80	9,20E+05	-26,30	-510,80	5,92E+08
								120	0,584	1116,12	255,20	7,79E+05	-26,34	-511,70	5,85E+08
								130	0,587	1152,38	262,80	6,72E+05	-26,37	-512,40	5,79E+08
								140	0,589	1185,73	269,90	5,88E+05	-26,39	-513,00	5,74E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.5 – Respostas Estruturais para Estruturas 13 a 15 em aderência plena.

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
13	100	3500	200	400	150	150	50	80	0,542	781,20	184,90	3,90E+06	-24,15	-470,80	1,05E+09
								90	0,545	829,48	195,30	2,97E+06	-24,21	-472,10	1,03E+09
								100	0,548	873,18	204,80	2,34E+06	-24,26	-473,20	1,01E+09
								110	0,551	912,92	213,40	1,90E+06	-24,29	-474,10	9,97E+08
								120	0,553	949,24	221,20	1,59E+06	-24,32	-474,90	9,86E+08
								130	0,555	982,56	228,40	1,36E+06	-24,35	-475,50	9,77E+08
								140	0,557	1013,23	235,00	1,18E+06	-24,37	-476,10	9,68E+08
14	100	3500	200	500	150	150	50	80	0,519	664,13	160,80	7,84E+06	-22,66	-441,00	1,66E+09
								90	0,522	708,35	170,60	5,83E+06	-22,71	-442,30	1,62E+09
								100	0,525	748,47	179,40	4,54E+06	-22,75	-443,30	1,60E+09
								110	0,528	785,03	187,50	3,64E+06	-22,79	-444,10	1,58E+09
								120	0,53	818,50	194,80	3,00E+06	-22,82	-444,80	1,56E+09
								130	0,532	849,24	201,60	2,53E+06	-22,84	-445,40	1,54E+09
								140	0,534	877,59	207,80	2,18E+06	-22,86	-445,90	1,53E+09
15	100	3500	200	400	150	250	50	80	0,512	746,56	177,90	4,73E+06	-22,87	-437,70	1,74E+09
								90	0,515	794,71	188,30	3,56E+06	-22,93	-438,90	1,71E+09
								100	0,518	838,30	197,70	2,79E+06	-22,97	-440,00	1,68E+09
								110	0,521	877,95	206,30	2,26E+06	-23,01	-440,80	1,66E+09
								120	0,523	914,19	214,10	1,87E+06	-23,04	-441,50	1,64E+09
								130	0,525	947,44	221,30	1,59E+06	-23,07	-442,10	1,63E+09
								140	0,527	978,07	227,90	1,37E+06	-23,09	-442,60	1,61E+09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.6 – Respostas Estruturais para Estruturas 16 a 18 em aderência plena.

.	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
16	100	3500	200	400	150	350	50	80	0,492	722,58	173,00	5,44E+06	-21,84	-405,80	2,96E+09
								90	0,495	770,63	183,40	4,06E+06	-21,90	-407,00	2,90E+09
								100	0,497	814,14	192,80	3,16E+06	-21,94	-407,90	2,86E+09
								110	0,5	853,73	201,40	2,54E+06	-21,97	-408,70	2,82E+09
								120	0,502	889,92	209,20	2,10E+06	-22,00	-409,40	2,79E+09
								130	0,504	923,13	216,40	1,78E+06	-22,03	-410,00	2,76E+09
								140	0,506	953,71	223,00	1,53E+06	-22,05	-410,40	2,74E+09
17	100	3500	200	400	200	150	50	80	0,526	770,88	182,80	4,13E+06	-21,39	-419,20	2,36E+09
								90	0,53	819,13	193,30	3,12E+06	-21,44	-420,30	2,32E+09
								100	0,532	862,81	202,70	2,46E+06	-21,47	-421,20	2,28E+09
								110	0,535	902,54	211,30	2,00E+06	-21,50	-421,90	2,26E+09
								120	0,537	938,84	219,10	1,67E+06	-21,53	-422,50	2,23E+09
								130	0,54	972,14	226,30	1,42E+06	-21,55	-423,00	2,22E+09
								140	0,542	1002,81	232,90	1,23E+06	-21,57	-423,50	2,20E+09
18	100	3500	200	400	200	250	50	80	0,49	732,20	175,00	5,13E+06	-19,92	-383,60	4,39E+09
								90	0,493	780,31	185,40	3,85E+06	-19,96	-384,70	4,31E+09
								100	0,496	823,86	194,90	3,00E+06	-20,00	-385,50	4,24E+09
								110	0,499	863,49	203,40	2,42E+06	-20,03	-386,20	4,19E+09
								120	0,501	899,71	211,20	2,01E+06	-20,05	-386,80	4,15E+09
								130	0,503	932,95	218,40	1,70E+06	-20,07	-387,20	4,12E+09
								140	0,505	963,55	225,00	1,46E+06	-20,09	-387,70	4,08E+09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.7 – Respostas Estruturais para Estruturas 19 a 21 em aderência plena.

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Plena						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	σ <sub>ht</sub>	ε <sub>t</sub>	N Fadiga	σ <sub>vc</sub>	ε <sub>v</sub>	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
19	100	3500	200	400	200	350	50	80	0,466	706,38	169,80	5,97E+06	-18,85	-353,30	7,82E+09
								90	0,469	754,39	180,20	4,44E+06	-18,89	-354,30	7,66E+09
								100	0,472	797,86	189,60	3,44E+06	-18,93	-355,10	7,54E+09
								110	0,474	837,43	198,20	2,76E+06	-18,95	-355,70	7,45E+09
								120	0,477	873,59	206,00	2,27E+06	-18,98	-356,30	7,37E+09
								130	0,479	906,78	213,10	1,92E+06	-19,00	-356,70	7,31E+09
								140	0,481	937,44	219,70	1,65E+06	-19,01	-357,10	7,25E+09
20	100	3500	200	400	200	250	70	80	0,408	729,83	174,60	5,19E+06	-24,09	-333,10	1,18E+10
								90	0,411	777,94	185,00	3,89E+06	-24,15	-334,10	1,16E+10
								100	0,414	821,48	194,40	3,04E+06	-24,19	-334,80	1,14E+10
								110	0,417	861,11	203,00	2,44E+06	-24,23	-335,40	1,12E+10
								120	0,419	897,32	210,80	2,02E+06	-24,26	-336,00	1,11E+10
								130	0,421	930,55	218,00	1,71E+06	-24,29	-336,40	1,10E+10
								140	0,423	961,16	224,60	1,47E+06	-24,31	-336,80	1,09E+10
21	100	3500	200	400	200	250	100	80	0,339	726,89	174,10	5,27E+06	-29,01	-280,40	3,94E+10
								90	0,342	774,98	184,50	3,94E+06	-29,08	-281,20	3,86E+10
								100	0,345	818,52	193,90	3,07E+06	-29,14	-281,90	3,80E+10
								110	0,347	858,31	202,50	2,47E+06	-29,19	-282,50	3,74E+10
								120	0,35	894,34	210,30	2,05E+06	-29,23	-283,00	3,69E+10
								130	0,352	927,57	217,50	1,73E+06	-29,27	-283,40	3,66E+10
								140	0,354	958,17	224,10	1,49E+06	-29,30	-283,70	3,63E+10

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.8 – Respostas Estruturais para Estruturas 1 a 3 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4		mm	kPa	micro		kPa	micro	
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
1	50	3000	150	300	150	150	50	80	0,809	1285,49	352,1	2,06E+05	-48,63	-905,90	1,07E+07
								90	0,816	1421,4	386,4	1,29E+05	-48,60	-906,40	1,07E+07
								100	0,823	1549,98	418,7	8,64E+04	-48,56	-906,50	1,07E+07
								110	0,829	1671,97	449,3	6,07E+04	-48,52	-906,50	1,07E+07
								120	0,834	1787,97	478,4	4,44E+04	-48,47	-906,20	1,07E+07
								130	0,839	1898,55	506,1	3,35E+04	-48,43	-905,90	1,07E+07
								140	0,844	2004,17	532,5	2,60E+04	-48,38	-905,60	1,07E+07
2	50	3500	150	300	150	150	50	80	0,797	1466,2	338,9	1,89E+05	-48,02	-896,50	1,15E+07
								90	0,804	1611,62	370	1,22E+05	-47,99	-897,00	1,15E+07
								100	0,811	1748,66	399,2	8,31E+04	-47,95	-897,10	1,15E+07
								110	0,816	1878,23	426,7	5,96E+04	-47,91	-897,00	1,15E+07
								120	0,821	2001,1	452,9	4,42E+04	-47,87	-896,80	1,15E+07
								130	0,825	2117,94	477,7	3,39E+04	-47,82	-896,50	1,15E+07
								140	0,829	2229,3	501,3	2,66E+04	-47,77	-896,20	1,16E+07
3	50	4000	150	300	150	150	50	80	0,788	1633,64	326,8	1,78E+05	-47,49	-887,90	1,23E+07
								90	0,794	1787,13	355,2	1,17E+05	-47,46	-888,30	1,23E+07
								100	0,8	1931,31	381,9	8,16E+04	-47,42	-888,50	1,23E+07
								110	0,805	2067,27	407	5,93E+04	-47,38	-888,40	1,23E+07
								120	0,809	2195,9	430,7	4,47E+04	-47,33	-888,20	1,23E+07
								130	0,813	2317,97	453,2	3,47E+04	-47,28	-887,90	1,23E+07
								140	0,817	2434,12	474,6	2,75E+04	-47,24	-887,60	1,24E+07

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro A.9 – Respostas Estruturais para Estruturas 4 a 6 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
4	100	3000	150	300	150	150	50	80	0,646	1041,42	280,00	6,46E+05	-35,42	-659,40	9,91E+07
								90	0,649	1093,40	292,90	5,16E+05	-35,36	-659,40	9,91E+07
								100	0,651	1140,18	304,40	4,26E+05	-35,30	-659,20	9,93E+07
								110	0,654	1182,53	314,90	3,59E+05	-35,24	-658,80	9,97E+07
								120	0,656	1221,06	324,40	3,10E+05	-35,18	-658,50	1,00E+08
								130	0,658	1256,27	333,10	2,71E+05	-35,13	-658,00	1,01E+08
								140	0,66	1288,56	341,00	2,41E+05	-35,08	-657,60	1,01E+08
5	100	3500	150	300	150	150	50	80	0,631	1140,35	260,50	7,03E+05	-34,36	-638,80	1,24E+08
								90	0,634	1194,26	271,80	5,68E+05	-34,30	-638,80	1,24E+08
								100	0,636	1242,73	282,00	4,73E+05	-34,24	-638,60	1,24E+08
								110	0,639	1286,57	291,20	4,02E+05	-34,19	-638,30	1,24E+08
								120	0,64	1326,43	299,60	3,49E+05	-34,13	-638,00	1,25E+08
								130	0,642	1362,84	307,20	3,08E+05	-34,08	-637,60	1,25E+08
								140	0,644	1396,20	314,20	2,75E+05	-34,03	-637,30	1,26E+08
6	100	4000	150	300	150	150	50	80	0,619	1229,64	244,10	7,65E+05	-33,42	-620,30	1,52E+08
								90	0,622	1285,13	254,30	6,23E+05	-33,37	-620,40	1,52E+08
								100	0,624	1334,98	263,40	5,23E+05	-33,31	-620,20	1,52E+08
								110	0,626	1380,04	271,60	4,48E+05	-33,26	-620,00	1,52E+08
								120	0,627	1420,98	279,10	3,91E+05	-33,21	-619,70	1,53E+08
								130	0,629	1458,36	285,90	3,47E+05	-33,16	-619,40	1,54E+08
								140	0,63	1492,62	292,10	3,12E+05	-33,11	-619,10	1,54E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.10 – Respostas Estruturais para Estruturas 7 a 9 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
7	150	3000	150	300	150	150	50	80	0,535	750,70	199,80	3,49E+06	-25,35	-467,20	1,11E+09
								90	0,537	771,37	204,90	3,08E+06	-25,30	-467,20	1,11E+09
								100	0,54	789,13	209,30	2,77E+06	-25,25	-467,10	1,11E+09
								110	0,541	804,54	213,10	2,53E+06	-25,20	-466,90	1,11E+09
								120	0,543	818,03	216,40	2,34E+06	-25,16	-466,70	1,11E+09
								130	0,545	829,93	219,40	2,19E+06	-25,12	-466,50	1,12E+09
								140	0,547	840,49	220,00	2,16E+06	-25,09	-466,30	1,12E+09
8	150	3500	150	300	150	150	50	80	0,52	811,73	183,60	4,04E+06	-24,23	-445,00	1,55E+09
								90	0,522	833,14	188,10	3,58E+06	-24,19	-445,10	1,55E+09
								100	0,523	851,54	192,00	3,23E+06	-24,14	-445,00	1,55E+09
								110	0,525	867,51	195,30	2,97E+06	-24,10	-444,90	1,56E+09
								120	0,527	881,49	198,30	2,75E+06	-24,06	-444,70	1,56E+09
								130	0,528	893,83	200,90	2,58E+06	-24,03	-444,60	1,56E+09
								140	0,53	904,78	203,20	2,43E+06	-23,99	-444,40	1,57E+09
9	150	4000	150	300	150	150	50	80	0,507	865,93	170,20	4,64E+06	-23,27	-425,80	2,12E+09
								90	0,508	887,94	174,30	4,12E+06	-23,23	-425,90	2,11E+09
								100	0,51	906,86	177,70	3,74E+06	-23,19	-425,80	2,12E+09
								110	0,511	923,29	180,80	3,43E+06	-23,15	-425,80	2,12E+09
								120	0,513	937,67	183,40	3,19E+06	-23,12	-425,70	2,12E+09
								130	0,514	950,36	185,70	3,00E+06	-23,09	-425,50	2,13E+09
								140	0,515	961,63	187,80	2,84E+06	-23,05	-425,40	2,13E+09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.11 – Respostas Estruturais para Estruturas 10 a 12 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
10	100	3500	150	400	150	150	50	80	0,606	1014,51	234,50	1,19E+06	-32,28	-605,30	1,80E+08
								90	0,609	1064,44	245,10	9,53E+05	-32,22	-605,10	1,81E+08
								100	0,611	1109,41	254,70	7,86E+05	-32,16	-604,70	1,82E+08
								110	0,613	1150,13	263,40	6,65E+05	-32,10	-604,30	1,82E+08
								120	0,615	1187,20	271,30	5,73E+05	-32,05	-603,80	1,84E+08
								130	0,616	1221,07	278,50	5,03E+05	-31,99	-603,30	1,85E+08
								140	0,618	1252,15	285,10	4,47E+05	-31,94	-602,80	1,86E+08
11	100	3500	150	500	150	150	50	80	0,587	912,97	213,60	1,90E+06	-30,66	-576,30	2,54E+08
								90	0,589	959,51	223,70	1,50E+06	-30,60	-575,90	2,56E+08
								100	0,591	1001,49	232,80	1,23E+06	-30,54	-575,40	2,57E+08
								110	0,593	1039,57	241,00	1,04E+06	-30,48	-574,90	2,59E+08
								120	0,595	1074,24	248,50	8,89E+05	-30,42	-574,30	2,61E+08
								130	0,596	1105,96	255,30	7,77E+05	-30,37	-573,70	2,63E+08
								140	0,598	1135,06	261,60	6,88E+05	-30,32	-573,20	2,64E+08
12	100	3500	200	300	150	150	50	80	0,592	1071,58	246,20	9,32E+05	-29,09	-554,10	3,35E+08
								90	0,594	1125,49	257,50	7,44E+05	-29,04	-553,90	3,36E+08
								100	0,597	1174,00	267,70	6,13E+05	-28,99	-553,60	3,37E+08
								110	0,599	1217,90	277,00	5,17E+05	-28,94	-553,20	3,39E+08
								120	0,601	1257,84	285,40	4,45E+05	-28,89	-552,80	3,40E+08
								130	0,602	1294,32	293,00	3,90E+05	-28,85	-552,40	3,42E+08
								140	0,604	1327,79	300,00	3,47E+05	-28,81	-552,00	3,44E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.12 – Respostas Estruturais para Estruturas 13 a 15 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
13	100	3500	200	400	150	150	50	80	0,561	934,86	218,00	1,71E+06	-26,95	-517,30	5,42E+08
								90	0,564	984,81	228,70	1,35E+06	-26,89	-516,90	5,45E+08
								100	0,566	1029,84	238,30	1,10E+06	-26,84	-516,50	5,48E+08
								110	0,568	1070,66	247,00	9,17E+05	-26,79	-516,00	5,51E+08
								120	0,57	1107,84	254,90	7,83E+05	-26,74	-515,50	5,55E+08
								130	0,571	1141,83	262,20	6,80E+05	-26,70	-515,00	5,59E+08
								140	0,573	1173,04	268,80	6,01E+05	-26,66	-514,50	5,63E+08
14	100	3500	200	500	150	150	50	80	0,538	827,30	196,00	2,91E+06	-25,30	-486,30	8,35E+08
								90	0,54	873,92	206,10	2,27E+06	-25,24	-485,80	8,41E+08
								100	0,542	916,01	215,30	1,82E+06	-25,19	-485,30	8,47E+08
								110	0,544	954,22	223,50	1,51E+06	-25,14	-484,70	8,54E+08
								120	0,546	989,06	231,10	1,28E+06	-25,10	-484,20	8,61E+08
								130	0,548	1020,94	238,00	1,10E+06	-25,05	-483,60	8,68E+08
								140	0,549	1050,21	244,30	9,68E+05	-25,01	-483,10	8,74E+08
15	100	3500	200	400	150	250	50	80	0,53	890,07	208,80	2,12E+06	-25,42	-478,80	9,31E+08
								90	0,532	940,22	219,50	1,65E+06	-25,37	-478,50	9,35E+08
								100	0,534	985,46	229,20	1,33E+06	-25,32	-478,20	9,39E+08
								110	0,536	1026,47	237,90	1,11E+06	-25,28	-477,80	9,45E+08
								120	0,538	1063,83	245,90	9,37E+05	-25,24	-477,40	9,50E+08
								130	0,54	1098,00	250,90	8,48E+05	-25,20	-476,90	9,57E+08
								140	0,541	1129,37	259,80	7,12E+05	-25,16	-476,50	9,63E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.13 – Respostas Estruturais para Estruturas 16 a 18 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
16	100	3500	200	400	150	350	50	80	0,508	859,38	202,40	2,48E+06	-24,23	-443,30	1,60E+09
								90	0,51	909,65	213,20	1,91E+06	-24,19	-443,10	1,60E+09
								100	0,513	955,01	222,90	1,53E+06	-24,14	-442,80	1,61E+09
								110	0,515	996,15	231,70	1,26E+06	-24,10	-442,50	1,62E+09
								120	0,516	1033,62	239,70	1,07E+06	-24,06	-442,10	1,63E+09
								130	0,518	1067,90	247,00	9,17E+05	-24,03	-441,80	1,63E+09
								140	0,52	1099,38	253,70	8,02E+05	-23,99	-441,40	1,64E+09
17	100	3500	200	400	200	150	50	80	0,544	920,90	215,20	1,83E+06	-23,76	-460,50	1,22E+09
								90	0,547	970,98	225,90	1,43E+06	-23,71	-460,10	1,23E+09
								100	0,549	1016,13	235,50	1,16E+06	-23,67	-459,60	1,24E+09
								110	0,551	1057,05	244,20	9,70E+05	-23,62	-459,10	1,25E+09
								120	0,553	1094,33	252,20	8,26E+05	-23,58	-458,60	1,26E+09
								130	0,555	1128,41	259,40	7,18E+05	-23,54	-458,10	1,27E+09
								140	0,556	1159,70	266,10	6,32E+05	-23,51	-457,60	1,28E+09
18	100	3500	200	400	200	250	50	80	0,506	870,44	204,80	2,34E+06	-22,06	-420,30	2,32E+09
								90	0,508	920,78	215,60	1,81E+06	-22,02	-419,90	2,33E+09
								100	0,511	966,18	225,30	1,45E+06	-21,98	-419,60	2,34E+09
								110	0,513	1007,34	234,00	1,20E+06	-21,94	-419,20	2,36E+09
								120	0,515	1044,84	242,00	1,02E+06	-21,91	-418,80	2,38E+09
								130	0,516	1079,13	249,30	8,75E+05	-21,87	-418,40	2,39E+09
								140	0,518	1110,62	256,00	7,66E+05	-21,84	-418,00	2,41E+09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.14 – Respostas Estruturais para Estruturas 19 a 21 em aderência parcial

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Aderência Parcial						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
19	100	3500	200	400	200	350	50	80	0,481	837,01	197,90	2,78E+06	-20,78	-385,30	4,26E+09
								90	0,483	887,50	208,70	2,13E+06	-20,74	-385,10	4,27E+09
								100	0,485	933,05	218,40	1,70E+06	-20,71	-384,80	4,30E+09
								110	0,487	974,36	227,30	1,39E+06	-20,67	-384,50	4,32E+09
								120	0,489	1011,99	235,30	1,17E+06	-20,64	-384,10	4,35E+09
								130	0,491	1046,42	242,60	1,00E+06	-20,61	-383,80	4,38E+09
								140	0,493	1078,02	249,40	8,73E+05	-20,59	-383,50	4,40E+09
20	100	3500	200	400	200	250	70	80	0,422	864,61	203,60	2,41E+06	-26,64	-364,00	6,34E+09
								90	0,424	915,10	214,40	1,86E+06	-26,60	-363,80	6,37E+09
								100	0,427	960,64	224,20	1,49E+06	-26,56	-363,60	6,39E+09
								110	0,429	1001,93	233,00	1,23E+06	-26,52	-363,30	6,43E+09
								120	0,431	1039,54	241,00	1,04E+06	-26,48	-363,00	6,47E+09
								130	0,432	1073,93	248,30	8,93E+05	-26,44	-362,70	6,50E+09
								140	0,434	1105,50	255,10	7,80E+05	-26,40	-362,30	6,55E+09
21	100	3500	200	400	200	250	100	80	0,35	857,67	202,30	2,49E+06	-32,07	-306,20	2,13E+10
								90	0,353	908,34	213,10	1,92E+06	-32,03	-306,10	2,13E+10
								100	0,355	954,04	222,90	1,53E+06	-31,99	-306,00	2,14E+10
								110	0,357	995,47	231,70	1,26E+06	-31,94	-305,90	2,14E+10
								120	0,359	1033,20	239,80	1,06E+06	-31,90	-305,60	2,16E+10
								130	0,361	1067,70	247,10	9,15E+05	-31,86	-305,30	2,17E+10
								140	0,363	1099,37	253,90	7,99E+05	-31,82	-305,10	2,18E+10

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.15 – Respostas Estruturais para Estruturas 1 a 3 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
1	50	3000	150	300	150	150	50	80	0,911	1784,08	478,5	4,43E+04	-63,63	-1027,00	4,46E+06
								90	0,921	1943,06	518,3	2,97E+04	-63,75	-1034,00	4,25E+06
								100	0,929	2092,79	555,8	2,10E+04	-63,88	-1041,00	4,05E+06
								110	0,936	2234,29	591,2	1,54E+04	-63,98	-1046,00	3,92E+06
								120	0,942	2368,44	624,6	1,17E+04	-64,06	-1050,00	3,82E+06
								130	0,948	2495,94	656,4	9,13E+03	-64,12	-1054,00	3,72E+06
								140	0,953	2617,45	686,6	7,29E+03	-64,17	-1057,00	3,64E+06
2	50	3500	150	300	150	150	50	80	0,9	1983,43	451,3	4,50E+04	-63,03	-1012,00	4,94E+06
								90	0,909	2151,5	487	3,08E+04	-63,20	-1020,00	4,67E+06
								100	0,916	2309,2	520,5	2,21E+04	-63,33	-1026,00	4,49E+06
								110	0,922	2457,77	552,1	1,64E+04	-63,43	-1031,00	4,34E+06
								120	0,928	2598,23	581,8	1,26E+04	-63,51	-1035,00	4,22E+06
								130	0,933	2731,43	610	9,98E+03	-63,57	-1038,00	4,14E+06
								140	0,938	2858,1	636,8	8,05E+03	-63,62	-1041,00	4,05E+06
3	50	4000	150	300	150	150	50	80	0,89	2167,18	428,2	4,60E+04	-62,50	-999,00	5,41E+06
								90	0,898	2342,92	460,7	3,19E+04	-62,67	-1006,00	5,15E+06
								100	0,905	2507,33	491,1	2,32E+04	-62,80	-1012,00	4,94E+06
								110	0,911	2661,81	519,6	1,75E+04	-62,90	-1016,00	4,80E+06
								120	0,916	2807,53	546,4	1,36E+04	-62,98	-1020,00	4,67E+06
								130	0,921	2945,47	571,8	1,08E+04	-63,04	-1024,00	4,55E+06
								140	0,925	3076,43	595,8	8,83E+03	-63,08	-1027,00	4,46E+06

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.16 – Respostas Estruturais para Estruturas 4 a 6 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa		mm	kPa	micro	kPa	micro		
4	100	3000	150	300	150	150	50	80	0,748	1387,62	367,80	1,65E+05	-49,27	-815,30	2,24E+07
								90	0,752	1448,75	382,90	1,35E+05	-49,37	-818,00	2,19E+07
								100	0,755	1503,61	396,40	1,14E+05	-49,45	-820,10	2,15E+07
								110	0,758	1553,17	408,70	9,75E+04	-49,50	-821,80	2,12E+07
								120	0,761	1598,19	419,80	8,53E+04	-49,54	-823,30	2,09E+07
								130	0,763	1639,29	429,90	7,57E+04	-49,56	-824,30	2,08E+07
								140	0,765	1676,96	439,20	6,81E+04	-49,59	-825,20	2,06E+07
5	100	3500	150	300	150	150	50	80	0,73	1491,77	336,60	1,95E+05	-47,60	-782,80	2,98E+07
								90	0,733	1554,41	349,80	1,61E+05	-47,69	-785,30	2,92E+07
								100	0,736	1610,55	361,60	1,36E+05	-47,76	-787,30	2,86E+07
								110	0,739	1661,22	372,30	1,18E+05	-47,81	-788,90	2,82E+07
								120	0,741	1707,21	381,90	1,04E+05	-47,84	-790,20	2,79E+07
								130	0,743	1749,17	390,70	9,26E+04	-47,87	-791,30	2,76E+07
								140	0,745	1787,61	398,80	8,35E+04	-47,89	-792,20	2,74E+07
6	100	4000	150	300	150	150	50	80	0,714	1584,96	311,30	2,27E+05	-46,10	-753,70	3,89E+07
								90	0,717	1648,81	323,00	1,88E+05	-46,18	-756,20	3,80E+07
								100	0,72	1705,99	333,50	1,61E+05	-46,25	-758,10	3,73E+07
								110	0,722	1757,55	343,00	1,40E+05	-46,29	-759,60	3,68E+07
								120	0,724	1804,32	351,50	1,24E+05	-46,33	-760,80	3,64E+07
								130	0,726	1846,97	359,30	1,11E+05	-46,35	-761,80	3,61E+07
								140	0,727	1886,02	366,40	1,00E+05	-46,36	-762,70	3,58E+07

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro A.17 – Respostas Estruturais para Estruturas 7 a 9 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
7	150	3000	150	300	150	150	50	80	0,617	986,31	258,40	9,65E+05	-35,34	-553,60	3,37E+08
								90	0,62	1011,35	264,60	8,58E+05	-35,39	-555,20	3,30E+08
								100	0,622	1032,88	269,90	7,77E+05	-35,42	-556,40	3,25E+08
								110	0,624	1051,59	274,60	7,12E+05	-35,44	-557,40	3,21E+08
								120	0,626	1068,00	278,60	6,63E+05	-35,45	-558,20	3,18E+08
								130	0,628	1082,49	282,20	6,21E+05	-35,46	-558,80	3,16E+08
								140	0,63	1095,38	285,40	5,87E+05	-35,46	-559,40	3,13E+08
8	150	3500	150	300	150	150	50	80	0,596	1045,12	233,20	1,22E+06	-33,45	-519,10	5,29E+08
								90	0,599	1070,62	238,60	1,09E+06	-33,49	-520,50	5,19E+08
								100	0,601	1092,53	243,20	9,91E+05	-33,52	-521,70	5,11E+08
								110	0,602	1111,57	247,20	9,13E+05	-33,54	-522,60	5,04E+08
								120	0,604	1128,26	250,70	8,51E+05	-33,55	-523,30	5,00E+08
								130	0,606	1143,00	253,80	8,00E+05	-33,55	-524,00	4,95E+08
								140	0,607	1156,11	256,60	7,58E+05	-33,55	-524,50	4,92E+08
9	150	4000	150	300	150	150	50	80	0,578	1096,69	213,00	1,51E+06	-31,83	-489,70	7,95E+08
								90	0,58	1122,56	217,80	1,35E+06	-31,87	-491,10	7,79E+08
								100	0,582	1144,78	221,90	1,23E+06	-31,89	-492,20	7,67E+08
								110	0,583	1164,08	225,40	1,14E+06	-31,91	-493,00	7,59E+08
								120	0,585	1180,99	228,50	1,06E+06	-31,91	-493,70	7,51E+08
								130	0,586	1195,93	231,30	1,00E+06	-31,92	-494,30	7,45E+08
								140	0,588	1209,21	233,70	9,51E+05	-31,92	-494,80	7,40E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.18 – Respostas Estruturais para Estruturas 10 a 12 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
10	100	3500	150	400	150	150	50	80	0,704	1416,69	321,70	2,45E+05	-46,09	-769,10	3,37E+07
								90	0,716	1476,75	334,60	2,01E+05	-46,17	-771,40	3,30E+07
								100	0,719	1530,64	346,00	1,70E+05	-46,23	-773,20	3,25E+07
								110	0,722	1579,32	356,40	1,47E+05	-46,27	-774,70	3,21E+07
								120	0,724	1623,54	365,80	1,29E+05	-46,30	-775,80	3,17E+07
								130	0,726	1663,89	374,30	1,15E+05	-46,31	-776,80	3,15E+07
								140	0,728	1700,88	382,20	1,03E+05	-46,32	-777,50	3,13E+07
11	100	3500	150	500	150	150	50	80	0,7	1353,58	309,30	2,98E+05	-44,79	-754,00	3,88E+07
								90	0,703	1411,34	321,80	2,44E+05	-44,86	-756,20	3,80E+07
								100	0,705	1463,22	333,00	2,06E+05	-44,91	-757,90	3,74E+07
								110	0,708	1510,11	343,10	1,77E+05	-44,94	-759,10	3,70E+07
								120	0,71	1552,73	352,20	1,56E+05	-44,96	-760,20	3,66E+07
								130	0,712	1591,64	360,60	1,38E+05	-44,97	-761,00	3,63E+07
								140	0,713	1627,32	368,30	1,24E+05	-44,97	-761,60	3,61E+07
12	100	3500	200	300	150	150	50	80	0,688	1394,60	316,00	2,67E+05	-40,65	-695,60	6,81E+07
								90	0,691	1456,54	329,10	2,18E+05	-40,72	-697,60	6,68E+07
								100	0,694	1512,13	340,80	1,83E+05	-40,77	-699,20	6,57E+07
								110	0,696	1562,35	351,40	1,57E+05	-40,80	-700,40	6,49E+07
								120	0,698	1607,97	360,90	1,38E+05	-40,82	-701,40	6,43E+07
								130	0,700	1649,61	369,70	1,22E+05	-40,84	-702,20	6,38E+07
								140	0,702	1687,79	377,70	1,10E+05	-40,85	-702,90	6,33E+07

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.19 – Respostas Estruturais para Estruturas 13 a 15 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
13	100	3500	200	400	150	150	50	80	0,665	1297,96	296,60	3,67E+05	-38,82	-673,00	8,59E+07
								90	0,668	1357,07	309,20	2,98E+05	-38,87	-674,80	8,43E+07
								100	0,67	1410,21	320,60	2,49E+05	-38,91	-676,20	8,31E+07
								110	0,673	1458,27	330,80	2,13E+05	-38,93	-677,30	8,21E+07
								120	0,675	1501,98	340,10	1,85E+05	-38,95	-678,20	8,14E+07
								130	0,677	1541,91	348,60	1,64E+05	-38,96	-678,90	8,08E+07
								140	0,678	1578,54	356,40	1,47E+05	-38,96	-679,40	8,04E+07
14	100	3500	200	500	150	150	50	80	0,646	1218,45	280,80	4,83E+05	-37,24	-650,50	1,09E+08
								90	0,649	1275,07	293,00	3,90E+05	-37,29	-652,10	1,07E+08
								100	0,651	1326,03	304,00	3,25E+05	-37,32	-653,40	1,06E+08
								110	0,654	1372,19	314,00	2,76E+05	-37,33	-654,30	1,05E+08
								120	0,656	1414,19	323,00	2,40E+05	-37,34	-655,00	1,04E+08
								130	0,657	1452,60	331,30	2,11E+05	-37,35	-655,60	1,03E+08
								140	0,659	1487,85	338,90	1,89E+05	-37,34	-656,00	1,03E+08
15	100	3500	200	400	150	250	50	80	0,628	1219,93	280,00	4,90E+05	-36,41	-617,10	1,58E+08
								90	0,63	1278,63	292,60	3,93E+05	-36,46	-618,80	1,55E+08
								100	0,633	1331,45	303,90	3,25E+05	-36,50	-620,10	1,52E+08
								110	0,635	1379,26	314,00	2,76E+05	-36,52	-621,10	1,51E+08
								120	0,637	1422,77	323,30	2,39E+05	-36,53	-621,90	1,49E+08
								130	0,639	1462,54	331,70	2,10E+05	-36,54	-622,60	1,48E+08
								140	0,641	1499,04	339,50	1,87E+05	-36,54	-623,10	1,47E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.20 – Respostas Estruturais para Estruturas 16 a 18 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	$\sigma_{ht}$	$\epsilon_t$	N Fadiga	$\sigma_{vc}$	$\epsilon_v$	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
16	100	3500	200	400	150	350	50	80	0,603	1169,14	269,30	5,95E+05	-34,64	-569,30	1,47E+08
								90	0,606	1227,55	281,70	4,75E+05	-34,69	-570,80	2,77E+08
								100	0,609	1280,15	293,00	3,90E+05	-34,72	-572,00	2,72E+08
								110	0,611	1327,79	303,10	3,29E+05	-34,74	-572,90	2,68E+08
								120	0,613	1371,15	312,30	2,84E+05	-34,75	-573,70	2,65E+08
								130	0,615	1410,80	320,80	2,48E+05	-34,75	-574,20	2,63E+08
								140	0,616	1447,20	328,50	2,20E+05	-34,76	-574,70	2,61E+08
17	100	3500	200	400	200	150	50	80	0,641	1265,67	289,90	4,12E+05	-34,06	-604,50	2,59E+08
								90	0,644	1324,73	302,50	3,33E+05	-34,11	-605,90	1,82E+08
								100	0,647	1377,83	313,80	2,77E+05	-34,13	-607,00	1,79E+08
								110	0,649	1425,88	324,00	2,36E+05	-34,15	-607,90	1,77E+08
								120	0,651	1469,58	333,00	2,06E+05	-34,16	-608,50	1,75E+08
								130	0,653	1509,50	341,80	1,81E+05	-34,16	-609,00	1,74E+08
								140	0,655	1546,14	349,60	1,61E+05	-34,16	-609,40	1,73E+08
18	100	3500	200	400	200	250	50	80	0,596	1175,80	270,80	5,79E+05	-31,37	-544,60	1,72E+08
								90	0,598	1234,41	283,30	4,62E+05	-31,40	-545,90	3,78E+08
								100	0,601	1287,17	294,60	3,80E+05	-31,43	-546,90	3,72E+08
								110	0,603	1334,95	304,70	3,21E+05	-31,44	-547,70	3,67E+08
								120	0,605	1378,44	314,00	2,76E+05	-31,45	-548,30	3,63E+08
								130	0,607	1418,20	322,40	2,42E+05	-31,45	-548,80	3,60E+08
								140	0,609	1454,69	330,20	2,15E+05	-31,45	-549,20	3,58E+08

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro A.21 – Respostas Estruturais para Estruturas 19 a 21 sem aderência

N°	Estruturas de Pavimentos							Pressão de pneus (psi)	Respostas Estruturais - Sem Aderência						
	Revestimento		Base		Sub-base		Subleito		d0	σ <sub>ht</sub>	ε <sub>t</sub>	N Fadiga	σ <sub>vc</sub>	ε <sub>v</sub>	N def. Permanente
	h1	E1	h2	E2	h3	E3	E4								
	mm	MPa	mm	MPa	mm	MPa	MPa								
19	100	3500	200	400	200	350	50	80	0,567	1119,31	258,80	7,26E+05	-29,43	-496,40	7,23E+08
								90	0,57	1177,62	271,20	5,74E+05	-29,46	-497,60	7,11E+08
								100	0,572	1230,15	282,40	4,69E+05	-29,48	-498,50	7,02E+08
								110	0,575	1277,74	292,60	3,93E+05	-29,49	-499,20	6,95E+08
								120	0,577	1321,07	301,80	3,37E+05	-29,50	-499,70	6,90E+08
								130	0,578	1360,71	310,10	2,94E+05	-29,50	-500,20	6,85E+08
								140	0,58	1397,11	318,00	2,59E+05	-29,50	-500,50	6,83E+08
20	100	3500	200	400	200	250	70	80	0,487	1139,59	263,30	6,66E+05	-36,86	-461,80	1,20E+09
								90	0,49	1198,35	275,90	5,27E+05	-36,92	-463,10	1,18E+09
								100	0,493	1251,27	287,20	4,31E+05	-36,96	-464,10	1,16E+09
								110	0,495	1299,19	297,40	3,62E+05	-36,99	-464,90	1,14E+09
								120	0,497	1342,82	306,70	3,11E+05	-37,01	-465,50	1,13E+09
								130	0,499	1382,72	315,10	2,71E+05	-37,03	-466,00	1,13E+09
								140	0,501	1419,35	322,90	2,40E+05	-37,03	-466,40	1,12E+09
21	100	3500	200	400	200	250	100	80	0,396	1102,72	255,80	7,69E+05	-43,08	-380,10	4,68E+09
								90	0,399	1161,59	268,30	6,06E+05	-43,17	-381,30	4,58E+09
								100	0,402	1214,62	279,60	4,93E+05	-43,23	-382,20	4,51E+09
								110	0,405	1262,66	289,90	4,12E+05	-43,28	-383,00	4,44E+09
								120	0,407	1306,40	299,20	3,51E+05	-43,32	-383,60	4,39E+09
								130	0,409	1346,41	307,70	3,06E+05	-43,35	-384,10	4,35E+09
								140	0,411	1383,15	315,50	2,70E+05	-43,36	-384,40	4,33E+09

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020

## ANEXO B

Quadro B.1 – Dados de Campo para os veículos 1 a 4.

N°	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
1	ED	Michelin	275/80 R 22.5	Não	109,4
1	ED	Michelin	275/80 R 22.5	Não	100,2
1	ESRD	Michelin	275/80 R 22.5	Não	111,6
1	ESRD	Michelin	275/80 R 22.5	Não	111,6
1	ESRD	Michelin	275/80 R 22.5	Não	114,8
1	ESRD	Michelin	275/80 R 22.5	Não	116,9
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	99,8
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	100
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	102,2
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	100,1
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	112,7
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	112,7
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	114,8
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	114,8
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	114,5
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	112,2
1	ETT	Michelin	275/80 R 22.5	Não	112,3
2	ED	Michelin	295/80 R 22.5	Não	143,7
2	ED	Michelin	295/80 R 22.5	Não	143,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	NA
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	NA
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	125
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	125,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	124,9
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	125,7
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	125
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	124,8
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	123,5
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	124,6
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	106,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	133,5
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	144,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	140,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	127,7
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	126,5
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	135,1
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	135
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	129,8
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	142,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	130,5
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	131,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	130,2
2	ETT	Michelin	295/80 R 22.5	Não	131,5
3	ED	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	126,4
3	ED	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	128,4
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	130,3
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	124,2
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	130,2
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	125,5
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	129,5
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	128,4
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	128,5
3	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	128,8
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	117,5
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	117,5
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	126,2
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	126,2
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	127
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	127
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	123
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	123
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	127,6
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	127,6
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	121,5
3	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22.5	Não	121,5
4	ED	Good Year	295/80 R 22.5	Não	116,7
4	ED	Good Year	295/80 R 22.5	Não	114,9
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	97,4
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	97,4
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	116,2
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	116,2
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	96,7
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	86,3
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	86
4	ETD	Good Year	295/80 R 22.5	Não	86
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	112,5
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	112,5
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	108,8
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	126,6
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	91,1
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	91
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	86,2
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	86,2
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	113,7
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	113,7
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	92,1
4	ETT	Good Year	295/80 R 22.5	Não	92,1

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.2 – Dados de Campo para os veículos 5 a 8.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
5	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	113,5
5	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	91,2
5	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Sim	115
5	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
5	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
5	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
5	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
5	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
5	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Sim	120
5	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Sim	120
5	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	112,6
5	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	112,6
5	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	111,5
5	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	111,5
5	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	129,4
5	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	129,4
5	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	133,1
5	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	133,1
5	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	114
5	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	114
6	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	87,1
6	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	100,4
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,1
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	114,1
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127,6
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	125,3
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	124,4
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	122,2
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	124,4
6	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	121,3
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	131,2
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	133,5
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	130,5
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	130,9
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	95,5
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	98,1
6	ETT	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	123,2
6	ETT	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	123,1
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	123,5
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	123,1
6	ETT	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	120,4
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	130,7
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	130,9
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	131
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	131,5
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	120,2
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	122,5
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	122,2
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	120,5
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	NA
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	NA
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	129,2
6	ETT	Continental	275/80 R 22,5	Não	129,9
7	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	90,2
7	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	136,8
7	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	117
7	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,1
7	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	100,7
7	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	116
7	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	130
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	119,1
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	82,1
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	128,4
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115,2
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	125,1
7	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	115
7	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
7	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	122,9
7	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
8	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	84
8	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	103,4
8	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	NA
8	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	108,3
8	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	94,1
8	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	NA
8	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	NA
8	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	NA
8	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	107,9
8	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	108,6

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.3 – Dados de Campo para os veículos 9 a 12.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
9	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	90,6
9	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110,7
9	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
9	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,2
9	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	93,1
9	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
9	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	114,2
9	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
9	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	119,3
9	ETD	Continental	11 R 22	Não	NA
9	ETT	Outros	11 R 22	Não	113,9
9	ETT	Outros	11 R 22	Não	NA
9	ETT	General	11 R 22	Não	NA
9	ETT	General	11 R 22	Não	NA
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	125,5
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	91,5
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	115,9
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	120,1
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	120,6
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	128,2
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	93,8
9	ETT	Continental	11 R 22	Não	NA
10	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	91,1
10	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	80,2
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	120,7
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	114,2
10	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	102,1
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	116,2
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	103,6
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	105
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	102,5
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	116,2
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,2
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	110
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	112,2
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	111,4
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
10	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	132,3
11	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	134,6
11	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	130
11	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	130
11	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,5
11	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,5
11	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	102,1
11	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,5
11	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	126,2
11	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
11	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	126,1
11	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	111,7
12	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	102,1
12	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	95,3
12	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	90,1
12	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	106,1
12	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	95,7
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	90
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	108,1
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	109,3
12	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	98,3
12	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	90,8
12	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
12	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro B.4 – Dados de Campo para os veículos 13 a 17.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
13	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
13	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,2
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,4
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,2
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120
13	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,5
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	NA
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	NA
13	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	NA
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	NA
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
13	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
14	ED	Good Year	275/80 R 22,5	Não	110,2
14	ED	Good Year	275/80 R 22,5	Não	110,1
14	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	109,5
14	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	110
14	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	110,5
14	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	110,7
15	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,3
15	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	112,7
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,2
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,5
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,2
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,7
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	95,7
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
15	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	104,4
15	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
15	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
15	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
15	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	125,2
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	124,5
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110,2
15	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110,2
16	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	97,9
16	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,6
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	97,3
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	103,7
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	105,1
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,2
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,7
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	107,6
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	107,8
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	100,5
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110
16	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110
17	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	125
17	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	101,2
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	87,1
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	NA
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	110,5
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	112,1
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	89,8
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	NA
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	98,7
17	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	NA

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.5 – Dados de Campo para os veículos 18 a 22.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
18	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,5
18	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120
18	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120
18	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,5
18	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	114,8
18	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	121,7
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	122,4
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	93,6
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	91,8
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	112,1
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	100,5
18	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	99,7
19	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
19	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	100,1
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	95,1
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	97,3
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,2
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	112,3
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	114,1
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	112,5
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
19	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	110
20	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	90,1
20	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	87,6
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	88,7
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	73,4
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	81,4
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	80
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	82,6
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	89,8
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	80,4
20	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	84,5
20	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
20	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	106,3
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	100,5
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	84,3
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	85,4
20	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
21	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Sim	123
21	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Sim	123
22	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	117,6
22	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	116,1
22	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	117,7
22	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	120,1
22	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	104,3
22	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	NA
22	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	106,8
22	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	NA
22	ETD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	NA
22	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	105,4
22	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	NA
22	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	NA
22	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	NA

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.6 – Dados de Campo para os veículos 23 a 27.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
23	ED	Formula	275/80 R 22,5	Não	117,1
23	ED	Formula	275/80 R 22,5	Não	125,5
23	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	100,5
23	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	100,2
23	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	125
23	ESRD	Good Year	275/80 R 22,5	Não	125,3
24	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	114,9
24	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	119,2
24	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118
24	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	115,1
24	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123
24	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,5
24	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	103,9
24	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
24	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	107,8
24	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	101
24	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	112,5
24	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	97,7
24	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	90,2
24	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
24	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
24	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123
24	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
24	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
24	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	101,9
24	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	95,2
24	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	89,7
24	ETT	0	295/80 R 22,5	Não	123
25	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,2
25	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,9
25	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,9
25	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	100
25	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	84,5
25	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,5
25	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	94,6
25	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	110
25	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	125
25	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	118
25	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120
25	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120,1
25	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	105,4
25	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,2
25	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	126
25	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,1
25	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	103,5
25	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	125,2
26	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	116,3
26	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	123,5
26	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,6
26	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	108
26	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	115,4
26	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
26	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	111,6
26	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
26	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	115,2
26	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	64,9
26	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	121,6
26	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	121,6
26	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123
26	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	100,3
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	129,2
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	105,6
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	92,5
26	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
27	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	123
27	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	123,4
27	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,4
27	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,7
27	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	112,4
27	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	110,8
27	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	114,2
27	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110
27	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	101,8
27	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	103,6
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	112,5
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,4
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,8
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,3
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	121
27	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,9

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.7 – Dados de Campo para os veículos 28 a 32.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
28	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	131,6
28	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	130,5
28	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	113,7
28	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	118,2
28	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,5
28	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
28	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	124,6
28	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	125
28	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,3
28	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,9
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	106,2
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	130,8
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	129,2
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,1
28	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,5
28	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	90
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127,5
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	125,4
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,3
28	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	118
29	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123
29	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,7
29	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	118,2
29	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	110,3
29	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	119,8
29	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	113,4
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	113,1
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,5
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	114
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,5
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,7
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,4
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,3
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110
29	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	112,1
30	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	100,5
30	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	98,1
30	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	118,3
30	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	120
30	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	95,3
30	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	102,9
30	ETD	Formula	275/80 R 22,5	Não	74,6
30	ETD	Formula	275/80 R 22,5	Não	NA
30	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	132,8
30	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	132,8
31	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,2
31	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	121,8
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,2
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	116,6
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	129,3
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	134,5
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	116,9
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	114,2
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	114,9
31	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
31	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,4
31	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
31	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	118,6
31	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	119,9
31	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
31	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
31	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,1
31	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	118,7
31	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	114,7
31	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
31	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
31	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	123
32	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
32	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.8 – Dados de Campo para os veículos 33 a 37.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
33	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	124,9
33	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,7
33	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,5
33	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	119,9
33	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	129,7
33	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	119,7
33	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	118
33	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	122,7
33	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,4
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	128,3
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,1
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,3
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,2
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	111,6
33	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
34	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	101,6
34	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	101,6
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,9
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110,6
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	114,8
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,3
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110,5
34	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	111,5
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	110,2
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	112,3
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	122,3
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	104,7
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	98,4
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	105,7
34	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
34	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	113,9
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	NA
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	120,7
34	ESRD	Formula	295/80 R 22,5	Não	129,7
35	ED	Michelin	275/80 R 22,5	Não	96,6
35	ED	Michelin	275/80 R 22,5	Não	91,7
35	ESRD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	91,8
35	ESRD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	84,6
35	ESRD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	93,7
35	ESRD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	89,7
36	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,9
36	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	117,7
36	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	132,4
36	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	131,9
36	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	130,3
36	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	130
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	125
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	NA
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	126,6
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	NA
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	124,2
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	129,3
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	NA
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	130,3
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	128,8
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	NA
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	NA
36	ETT	Kumho	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	126,5
37	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,3
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	102,4
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,8
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,9
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,1
37	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	129,6
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,7
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	111,2
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	111,2
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,4
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	124,1
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	115,6
37	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	124,9

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.9 – Dados de Campo para os veículos 38 a 41.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
38	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	123,2
38	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	124
38	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	118,9
38	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	121,2
38	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,6
38	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	113,6
38	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	72,3
38	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	123,4
38	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	118,5
38	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	122,4
38	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	108,6
38	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
38	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	99,9
38	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
39	ED	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ED	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ESRD	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ESRD	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
39	ETT	Apollo	295/80 R 22,5	Sim	120
40	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	135,5
40	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	138,6
40	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	150
40	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	136,8
40	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	131,1
40	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
40	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	145,7
40	ETD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	132
40	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	116,5
40	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,1
40	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	133
40	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
40	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	121,8
40	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
40	ETD	Formula	295/80 R 22,5	Não	118,1
40	ETD	Formula	295/80 R 22,5	Não	NA
40	ETD	Formula	295/80 R 22,5	Não	125,4
40	ETD	Formula	295/80 R 22,5	Não	125,4
41	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
41	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.10 – Dados de Campo para os veículos 42 a 45.

N°	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
42	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	130,2
42	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	128
42	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	128
42	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	132,3
42	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	123,2
42	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	122,5
42	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	100,6
42	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	126,9
42	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120,1
42	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	102,8
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	119,2
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,3
42	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	130,6
42	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	128,8
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	124,1
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	124,2
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	107,2
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	132,1
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	124,7
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,8
42	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	117,2
43	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	124,6
43	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	124,2
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	113,8
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	122,2
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	123,2
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	119,9
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	114,5
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	114
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	123,4
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	123,4
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115,2
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	114,6
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	112,3
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	108,6
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	116,9
43	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	112,8
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110,6
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	104,6
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,7
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	108,9
43	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	111,4
44	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	113,6
44	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	122,3
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	84
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	92,3
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	105,4
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	105,4
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	105,7
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	89,3
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	109,8
44	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	142
45	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	128,6
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	134,4
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	135,6
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	142,2
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	137,4
45	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,4
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	112,7
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	132,8
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	141,2
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	119,8
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	129,1
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	122,9
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	131
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	142
45	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.11 – Dados de Campo para os veículos 46 a 49.

N°	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
46	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	104,4
46	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	102,7
46	ESRD	Goodrich	295/80 R 22,5	Não	NA
46	ESRD	Goodrich	295/80 R 22,5	Não	NA
46	ESRD	Goodrich	295/80 R 22,5	Não	109,3
46	ESRD	Goodrich	295/80 R 22,5	Não	NA
46	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	108,3
46	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	108,7
46	ETT	Doublestar	295/80 R 22,5	Não	112,9
46	ETT	Doublestar	295/80 R 22,5	Não	70,2
46	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
46	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	68,4
46	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	119,5
46	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	119,5
46	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	110,9
46	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
46	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	122
46	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	124,4
47	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	124
47	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	122,7
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,3
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,1
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	100,1
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	100
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	86,5
47	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	82,5
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	92,4
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	105,8
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	105
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	98,2
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	91,3
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	96,2
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	98,8
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	107,3
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	121,4
47	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	102,8
48	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	105,3
48	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	107,2
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	111,7
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	90,5
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,5
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	98
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	96,9
48	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	100,2
49	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,3
49	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	124,4
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,1
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,3
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,9
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,6
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,7
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,7
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,2
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	115,8
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,9
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	106,6
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	100,1
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	108,8
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	108,6
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	108,9
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	112,5
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	111,9
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	116,3
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,5
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	101,6
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	113,9
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	102,1
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	100,1
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	100
49	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	115,2

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.





Quadro B.13 – Dados de Campo para os veículos 56 a 61.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
56	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	115
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
56	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Sim	120
57	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	130,2
57	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	131,2
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	129,2
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	130,8
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	117,7
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	132,8
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	130,6
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	132,2
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	130,5
57	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	132,7
57	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	124,3
57	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	130,1
57	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	122,2
57	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	136,5
57	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	129,6
57	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
57	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,3
57	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	130,1
57	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,2
57	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,7
57	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
57	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	86,7
58	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,6
58	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	129,6
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,2
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,3
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	124,4
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,7
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	127,7
58	ETD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,8
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	115,8
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	134,3
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	114,4
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	112
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,3
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	113,8
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	96,6
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120,4
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	134,4
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	109,8
58	ESRD	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,9
59	ED	Firestone	275/80 R 22,5	Não	128,1
59	ED	Firestone	275/80 R 22,5	Não	118
59	ESRD	Outros	275/80 R 22,5	Não	104,2
59	ESRD	Outros	275/80 R 22,5	Não	NA
59	ESRD	Firestone	275/80 R 22,5	Não	93,6
59	ESRD	Firestone	275/80 R 22,5	Não	NA
60	ED	Outros	275/80 R 22,5	Não	108,8
60	ED	Outros	275/80 R 22,5	Não	108,5
60	ESRD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	83,4
60	ESRD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	NA
60	ESRD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	84,1
60	ESRD	Pirelli	275/80 R 22,5	Não	89,7
61	ED	Outros	275/80 R 22,5	Não	122,8
61	ED	Outros	275/80 R 22,5	Não	122,6
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	111,8
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	NA
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	104,5
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	104,2
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	109,4
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	110,2
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	123,2
61	ETD	Outros	275/80 R 22,5	Não	123

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.14 – Dados de Campo para os veículos 62 a 65.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
62	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127,3
62	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127,9
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	72,9
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	104,4
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	105,5
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	92,4
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	100,1
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	103,1
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	115,9
62	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	114,6
62	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	114,2
62	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	96,3
62	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	123,9
62	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,2
62	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	98,9
62	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	106
62	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
63	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	90
63	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	90
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
63	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Sim	110
64	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	123
64	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,6
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,7
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	120,8
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,1
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110
64	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	50,4
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,1
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,3
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,9
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,8
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	123,1
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	120
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,6
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119,6
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,5
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	118,4
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	122,5
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	125,5
64	ETT	Michelin	295/80 R 22,5	Não	NA
65	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	122,8
65	ED	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	123,5
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	119,6
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	NA
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	116,4
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	115
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	120,3
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	120
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	119
65	ETD	Bridgestone	275/80 R 22,5	Não	119,5
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	120,4
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	117,2
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	117
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	116,8
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	116,5
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	120,7
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	124,2
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	124,1
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	124,4
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	124,3
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	116,2
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	112,4
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	112
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	124,2
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	119,6
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	119,5
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	115,9
65	ETT	Michelin	275/80 R 22,5	Não	115,9

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.15 – Dados de Campo para os veículos 66 a 69.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
66	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	114,9
66	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,3
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	134,3
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	124,7
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	123,9
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	123
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	119,6
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	119
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	121,7
66	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,5
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,2
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120,1
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	120
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,4
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,2
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	90,6
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	100,5
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	122,6
66	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	123,3
67	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120,5
67	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120,4
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
67	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	115
68	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	130,2
68	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	131,9
68	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	121,5
68	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	128,5
68	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	125,9
68	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	117,5
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	127,1
68	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,8
68	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,6
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	122,3
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	104,8
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	117,7
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	123,8
68	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,6
68	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
68	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,3
69	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	140,8
69	ED	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	140,1
69	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
69	ETD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
69	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	123,5
69	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	123,2
69	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	98,2
69	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	78,4
69	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	147,4
69	ETD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	147,9
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	114,9
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,9
69	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	105,4
69	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,8
69	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	109,6
69	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	122,9
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	119,3
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,5
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	121,4
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	119,4
69	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	119,1

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.16 – Dados de Campo para os veículos 70 a 73.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
70	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	129,8
70	ED	Continental	295/80 R 22,5	Não	132,4
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	127,7
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	126,3
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	57,5
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,4
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125,1
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
70	ETD	Continental	295/80 R 22,5	Não	122,5
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	126,7
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127,4
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	127,1
70	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	131,5
70	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	130
70	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125
70	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	125
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	114,1
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	133,4
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	123,7
70	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	123
71	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	117,5
71	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	119
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	102,9
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	102,9
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	80,2
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	113,8
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	116,3
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	121,1
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	123,9
71	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	123
71	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	122,1
71	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	118,1
71	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	108,6
71	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	118,9
71	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115,5
71	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115
71	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	111,3
71	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
71	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	131,5
71	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	131,2
71	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	121
71	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	121,2
72	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	110,5
72	ED	Michelin	295/80 R 22,5	Não	115,9
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	90,9
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115,4
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	113
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	112,3
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	122,9
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	113,3
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	112
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	111,1
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	118,4
72	ETT	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	NA
72	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	115,3
72	ETT	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120,2
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115,3
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	118,4
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	118,2
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	119,5
72	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	120,1
73	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	133,1
73	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	133
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	132,2
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	130,8
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	113,6
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	116,5
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	116,4
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	130,9
73	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
73	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,9
73	ESRD	Outros	295/80 R 22,5	Não	115,4
73	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
73	ESRD	Continental	295/80 R 22,5	Não	NA
73	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	112,5
73	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	112,9
73	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	115,7
73	ESRD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	106
73	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	128,8
73	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	132,6
73	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	126,7
73	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	126,2

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.17 – Dados de Campo para os veículos 74 a 78.

N°	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
74	ED	Firestone	295/80 R 22,5	Não	110,6
74	ED	Firestone	295/80 R 22,5	Não	110,5
74	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	113,5
74	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
74	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	117,4
74	ESRD	Firestone	295/80 R 22,5	Não	117,5
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	114,2
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	116,4
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	116,1
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,2
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	117,2
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	107,1
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	107
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	105,6
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	105,6
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	110,7
74	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	110,5
75	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	122,7
75	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	119,1
75	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	137,6
75	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
75	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	128,4
75	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	128
75	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	139,9
75	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
75	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	139,5
75	ETD	Outros	295/80 R 22,5	Não	139
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	80,8
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	103,8
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	109,2
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	110,1
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	133,7
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	138,9
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	NA
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	129,7
75	ETT	Outros	295/80 R 22,5	Não	130
76	ED	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ED	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
76	ETD	Good Year	275/80 R 22,5	Sim	100
77	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	125,9
77	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	125,5
77	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	125,1
77	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	123,8
77	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	123,1
77	ESRD	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	126,8
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	97,1
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	118,3
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	118,9
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,3
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,7
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	117,7
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	109,4
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110,4
77	ETT	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115
78	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	130
78	ED	Good Year	295/80 R 22,5	Não	134,4
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	129,9
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	129,3
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	129,7
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	126,6
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	129,7
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	125,5
78	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	126,3
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125
78	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Sim	125

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro B.18 – Dados de Campo para os veículos 79 a 83.

Nº	Eixo	Marca	Perfil	Rodoar	Pressão de pneus (psi)
79	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	117,6
79	ED	Pirelli	295/80 R 22,5	Não	117,9
79	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	112,1
79	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	110
79	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	115,7
79	ESRD	Bridgestone	295/80 R 22,5	Não	NA
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	78,3
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	115,1
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	115
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	75,1
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	101,1
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	100,5
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	108,6
79	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	110,1
80	ED	Michelin	275/80 R 22,5	Não	134,4
80	ED	Michelin	275/80 R 22,5	Não	133,8
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	127,3
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	110,8
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	128,3
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	105,6
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	126,9
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	125
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	125,1
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	127,1
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	122,5
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	116,7
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	129,9
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	132,3
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	132,2
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	134,3
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	95,7
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	122,6
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	122,5
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	121,9
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	127,3
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	128,5
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	123,5
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	122,9
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	NA
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	80,3
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	128,2
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	125,8
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	125,1
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	127,4
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	121,6
80	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	120,4
81	ED	Michelin	275/80 R 22,5	Não	109,4
81	ED	Michelin	275/80 R 22,5	Não	110,7
81	ED	Good Year	275/80 R 22,5	Não	109,9
81	ED	Good Year	275/80 R 22,5	Não	109,5
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	121,6
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	120
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	104,1
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	107,3
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	106
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	103,1
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	103,1
81	ETD	Michelin	275/80 R 22,5	Não	118,4
82	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	101,6
82	ED	Outros	295/80 R 22,5	Não	102,8
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	95,5
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	102,2
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	88,2
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	92
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	112,3
82	ETD	Good Year	295/80 R 22,5	Não	112,2
82	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	111,1
82	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	102,2
82	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
82	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	NA
82	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	112,4
82	ETT	Firestone	295/80 R 22,5	Não	110,3
82	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	94
82	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	87,3
82	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
82	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
82	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	92,9
82	ETT	Good Year	295/80 R 22,5	Não	NA
83	ED	Continental	235/75 R 17,5	Não	79,2
83	ED	Continental	235/75 R 17,5	Não	95,4
83	ESRD	Continental	235/75 R 17,5	Não	92
83	ESRD	Continental	235/75 R 17,5	Não	99,6
83	ESRD	Continental	235/75 R 17,5	Não	99,5
83	ESRD	Continental	235/75 R 17,5	Não	98,2

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.









## ANEXO C

Quadro C.1 – Consumo de Fadiga para Estrutura 1 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	6,50E+05	<b>ESTRUTURA 1</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	8,77E+03	6,50E+05	1%
90	3,16%	2,05E+04	3,88E+05	5%
100	6,19%	4,02E+04	2,44E+05	16%
110	12,64%	8,21E+04	1,64E+05	50%
120	33,72%	2,19E+05	1,16E+05	189%
130	34,49%	2,24E+05	8,46E+04	265%
140	7,48%	4,86E+04	6,37E+04	76%
150	0,97%	6,30E+03	4,93E+04	13%
TOTAL	100,00%	6,50E+05	SOMA	616%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.2 – Consumo de Fadiga para Estrutura 2 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	5,31E+05	<b>ESTRUTURA 2</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,17E+03	5,31E+05	1%
90	3,16%	1,68E+04	3,24E+05	5%
100	6,19%	3,29E+04	2,11E+05	16%
110	12,64%	6,71E+04	1,46E+05	46%
120	33,72%	1,79E+05	1,05E+05	171%
130	34,49%	1,83E+05	7,78E+04	235%
140	7,48%	3,97E+04	5,96E+04	67%
150	0,97%	5,15E+03	4,68E+04	0,110171
TOTAL	100,00%	5,31E+05	SOMA	552%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.3 – Consumo de Fadiga para Estrutura 3 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	4,58E+05	<b>ESTRUTURA 3</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,18E+03	4,58E+05	1%
90	3,16%	1,45E+04	2,89E+05	5%
100	6,19%	2,83E+04	1,91E+05	15%
110	12,64%	5,78E+04	1,34E+05	43%
120	33,72%	1,54E+05	9,81E+04	157%
130	34,49%	1,58E+05	7,40E+04	213%
140	7,48%	3,42E+04	5,74E+04	60%
150	0,97%	4,44E+03	4,56E+04	10%
TOTAL	100,00%	4,58E+05	SOMA	504%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.4 – Consumo de Fadiga para Estrutura 4 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	1,35E+06	<b>ESTRUTURA 4</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,83E+04	1,35E+06	1%
90	3,16%	4,28E+04	1,05E+06	4%
100	6,19%	8,38E+04	8,42E+05	10%
110	12,64%	1,71E+05	6,94E+05	25%
120	33,72%	4,57E+05	5,86E+05	78%
130	34,49%	4,67E+05	5,05E+05	93%
140	7,48%	1,01E+05	4,41E+05	23%
150	0,97%	1,31E+04	3,92E+05	0,033534
TOTAL	100,00%	1,35E+06	SOMA	237%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.5 – Consumo de Fadiga para Estrutura 5 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	1,37E+06	<b>ESTRUTURA 5</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,85E+04	1,37E+06	1%
90	3,16%	4,32E+04	1,07E+06	4%
100	6,19%	8,47E+04	8,72E+05	10%
110	12,64%	1,73E+05	7,26E+05	24%
120	33,72%	4,61E+05	6,19E+05	75%
130	34,49%	4,72E+05	5,37E+05	88%
140	7,48%	1,02E+05	4,73E+05	22%
150	0,97%	1,33E+04	4,22E+05	3%
TOTAL	100,00%	1,37E+06	SOMA	226%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.6 – Consumo de Fadiga para Estrutura 6 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	1,40E+06	<b>ESTRUTURA 6</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,89E+04	1,40E+06	1%
90	3,16%	4,43E+04	1,11E+06	4%
100	6,19%	8,68E+04	9,13E+05	10%
110	12,64%	1,77E+05	7,66E+05	23%
120	33,72%	4,73E+05	6,57E+05	72%
130	34,49%	4,84E+05	5,74E+05	84%
140	7,48%	1,05E+05	5,08E+05	21%
150	0,97%	1,36E+04	4,56E+05	3%
TOTAL	100,00%	1,40E+06	SOMA	218%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.7 – Consumo de Fadiga para Estrutura 7 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	6,17E+06	<b>ESTRUTURA 7</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	8,33E+04	6,17E+06	1%
90	3,16%	1,95E+05	5,32E+06	4%
100	6,19%	3,82E+05	4,70E+06	8%
110	12,64%	7,80E+05	4,22E+06	18%
120	33,72%	2,08E+06	3,86E+06	54%
130	34,49%	2,13E+06	3,56E+06	60%
140	7,48%	4,62E+05	3,31E+06	14%
150	0,97%	5,99E+04	3,11E+06	2%
TOTAL	100,00%	6,17E+06	SOMA	161%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.8 – Consumo de Fadiga para Estrutura 8 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	6,71E+06	<b>ESTRUTURA 8</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	9,05E+04	6,71E+06	1%
90	3,16%	2,12E+05	5,81E+06	4%
100	6,19%	4,15E+05	5,16E+06	8%
110	12,64%	8,48E+05	4,66E+06	18%
120	33,72%	2,26E+06	4,27E+06	53%
130	34,49%	2,31E+06	3,95E+06	59%
140	7,48%	5,02E+05	3,70E+06	14%
150	0,97%	6,50E+04	3,49E+06	2%
TOTAL	100,00%	6,71E+06	SOMA	158%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.9 – Consumo de Fadiga para Estrutura 9 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	7,31E+06	<b>ESTRUTURA 9</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	9,87E+04	7,31E+06	1%
90	3,16%	2,31E+05	6,38E+06	4%
100	6,19%	4,53E+05	5,69E+06	8%
110	12,64%	9,24E+05	5,16E+06	18%
120	33,72%	2,47E+06	4,75E+06	52%
130	34,49%	2,52E+06	4,42E+06	57%
140	7,48%	5,47E+05	4,13E+06	13%
150	0,97%	7,09E+04	3,90E+06	2%
TOTAL	100,00%	7,31E+06	SOMA	155%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.10 – Consumo de Fadiga para Estrutura 10 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	2,76E+06	<b>ESTRUTURA 10</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,72E+04	2,76E+06	1%
90	3,16%	8,71E+04	2,13E+06	4%
100	6,19%	1,71E+05	1,70E+06	10%
110	12,64%	3,48E+05	1,40E+06	25%
120	33,72%	9,29E+05	1,18E+06	79%
130	34,49%	9,50E+05	1,02E+06	93%
140	7,48%	2,06E+05	8,89E+05	23%
150	0,97%	2,67E+04		
TOTAL	100,00%	2,76E+06	SOMA	235%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.11 – Consumo de Fadiga para Estrutura 11 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	5,18E+06	<b>ESTRUTURA 11</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,99E+04	5,18E+06	1%
90	3,16%	1,64E+05	3,94E+06	4%
100	6,19%	3,21E+05	3,11E+06	10%
110	12,64%	6,55E+05	2,54E+06	26%
120	33,72%	1,75E+06	2,12E+06	82%
130	34,49%	1,79E+06	1,81E+06	99%
140	7,48%	3,87E+05	1,57E+06	25%
150	0,97%	5,02E+04		
TOTAL	100,00%	5,18E+06	SOMA	247%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.12 – Consumo de Fadiga para Estrutura 12 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	1,79E+06	<b>ESTRUTURA 12</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,41E+04	1,79E+06	1%
90	3,16%	5,65E+04	1,39E+06	4%
100	6,19%	1,11E+05	1,11E+06	10%
110	12,64%	2,26E+05	9,20E+05	25%
120	33,72%	6,03E+05	7,79E+05	77%
130	34,49%	6,17E+05	6,72E+05	92%
140	7,48%	1,34E+05	5,88E+05	23%
150	0,97%	1,73E+04		
TOTAL	100,00%	1,79E+06	SOMA	232%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.13 – Consumo de Fadiga para Estrutura 13 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	3,90E+06	<b>ESTRUTURA 13</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,26E+04	3,90E+06	1%
90	3,16%	1,23E+05	2,97E+06	4%
100	6,19%	2,41E+05	2,34E+06	10%
110	12,64%	4,93E+05	1,90E+06	26%
120	33,72%	1,31E+06	1,59E+06	83%
130	34,49%	1,34E+06	1,36E+06	99%
140	7,48%	2,92E+05	1,18E+06	25%
150	0,97%	3,78E+04		
TOTAL	100,00%	3,90E+06	SOMA	248%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.14 – Consumo de Fadiga para Estrutura 14 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	7,84E+06	<b>ESTRUTURA 14</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,06E+05	7,84E+06	1%
90	3,16%	2,48E+05	5,83E+06	4%
100	6,19%	4,85E+05	4,54E+06	11%
110	12,64%	9,91E+05	3,64E+06	27%
120	33,72%	2,64E+06	3,00E+06	88%
130	34,49%	2,70E+06	2,53E+06	107%
140	7,48%	5,86E+05	2,18E+06	27%
150	0,97%	7,60E+04		
TOTAL	100,00%	7,84E+06	SOMA	265%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.15 – Consumo de Fadiga para Estrutura 15 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	4,73E+06	<b>ESTRUTURA 15</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,38E+04	4,73E+06	1%
90	3,16%	1,49E+05	3,56E+06	4%
100	6,19%	2,93E+05	2,79E+06	10%
110	12,64%	5,98E+05	2,26E+06	27%
120	33,72%	1,59E+06	1,87E+06	85%
130	34,49%	1,63E+06	1,59E+06	103%
140	7,48%	3,54E+05	1,37E+06	26%
150	0,97%	4,59E+04		
TOTAL	100,00%	4,73E+06	SOMA	256%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.16 – Consumo de Fadiga para Estrutura 16 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	5,44E+06	<b>ESTRUTURA 16</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,34E+04	5,44E+06	1%
90	3,16%	1,72E+05	4,06E+06	4%
100	6,19%	3,37E+05	3,16E+06	11%
110	12,64%	6,87E+05	2,54E+06	27%
120	33,72%	1,83E+06	2,10E+06	87%
130	34,49%	1,88E+06	1,78E+06	106%
140	7,48%	4,07E+05	1,53E+06	27%
150	0,97%	5,28E+04		
TOTAL	100,00%	5,44E+06	SOMA	263%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.17 – Consumo de Fadiga para Estrutura 17 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	4,13E+06	<b>ESTRUTURA 17</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,57E+04	4,13E+06	1%
90	3,16%	1,30E+05	3,12E+06	4%
100	6,19%	2,56E+05	2,46E+06	10%
110	12,64%	5,22E+05	2,00E+06	26%
120	33,72%	1,39E+06	1,67E+06	83%
130	34,49%	1,42E+06	1,42E+06	100%
140	7,48%	3,09E+05	1,23E+06	25%
150	0,97%	4,00E+04		
TOTAL	100,00%	4,13E+06	SOMA	251%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.18 – Consumo de Fadiga para Estrutura 18 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	5,13E+06	<b>ESTRUTURA 18</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,93E+04	5,13E+06	1%
90	3,16%	1,62E+05	3,85E+06	4%
100	6,19%	3,18E+05	3,00E+06	11%
110	12,64%	6,49E+05	2,42E+06	27%
120	33,72%	1,73E+06	2,01E+06	86%
130	34,49%	1,77E+06	1,70E+06	104%
140	7,48%	3,84E+05	1,46E+06	26%
150	0,97%	4,98E+04		
TOTAL	100,00%	5,13E+06	SOMA	260%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.19 – Consumo de Fadiga para Estrutura 19 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	5,97E+06	<b>ESTRUTURA 19</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	8,06E+04	5,97E+06	1%
90	3,16%	1,89E+05	4,44E+06	4%
100	6,19%	3,70E+05	3,44E+06	11%
110	12,64%	7,55E+05	2,76E+06	27%
120	33,72%	2,01E+06	2,27E+06	89%
130	34,49%	2,06E+06	1,92E+06	107%
140	7,48%	4,47E+05	1,65E+06	27%
150	0,97%	5,79E+04		
TOTAL	100,00%	5,97E+06	SOMA	267%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.20 – Consumo de Fadiga para Estrutura 20 com 80psi em aderência plena

<b>N</b>	5,19E+06	<b>ESTRUTURA 20</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,01E+04	5,19E+06	1%
90	3,16%	1,64E+05	3,89E+06	4%
100	6,19%	3,21E+05	3,04E+06	11%
110	12,64%	6,56E+05	2,44E+06	27%
120	33,72%	1,75E+06	2,02E+06	87%
130	34,49%	1,79E+06	1,71E+06	105%
140	7,48%	3,88E+05	1,47E+06	26%
150	0,97%	5,04E+04		
TOTAL	100,00%	5,19E+06	SOMA	261%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.21 – Consumo de Fadiga para Estrutura 21 com 80psi em aderência plena

N	5,27E+06	ESTRUTURA 21		
Pressão	Frequência	N real	N disponível	CDF
80	1,35%	7,11E+04	5,27E+06	1%
90	3,16%	1,66E+05	3,94E+06	4%
100	6,19%	3,26E+05	3,07E+06	11%
110	12,64%	6,66E+05	2,47E+06	27%
120	33,72%	1,78E+06	2,05E+06	87%
130	34,49%	1,82E+06	1,73E+06	105%
140	7,48%	3,94E+05	1,49E+06	26%
150	0,97%	5,11E+04		#DIV/0!
TOTAL	100,00%	5,27E+06	SOMA	261%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.22 – Consumo de Fadiga para Estrutura 1 com 100psi em aderência plena

N	2,44E+05	ESTRUTURA 1		
Pressão	Frequência	N real	N disponível	CDF
80	1,35%	3,30E+03	6,50E+05	1%
90	3,16%	7,71E+03	3,88E+05	2%
100	6,19%	1,51E+04	2,44E+05	6%
110	12,64%	3,09E+04	1,64E+05	19%
120	33,72%	8,23E+04	1,16E+05	71%
130	34,49%	8,42E+04	8,46E+04	100%
140	7,48%	1,83E+04	6,37E+04	29%
150	0,97%	2,37E+03	4,93E+04	5%
TOTAL	100,00%	2,44E+05	SOMA	232%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.23 – Consumo de Fadiga para Estrutura 2 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	2,11E+05	<b>ESTRUTURA 2</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,85E+03	5,31E+05	1%
90	3,16%	6,68E+03	3,24E+05	2%
100	6,19%	1,31E+04	2,11E+05	6%
110	12,64%	2,67E+04	1,46E+05	18%
120	33,72%	7,13E+04	1,05E+05	68%
130	34,49%	7,29E+04	7,78E+04	94%
140	7,48%	1,58E+04	5,96E+04	27%
150	0,97%	2,05E+03	4,68E+04	4%
TOTAL	100,00%	2,11E+05	SOMA	220%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.24 – Consumo de Fadiga para Estrutura 3 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	1,91E+05	<b>ESTRUTURA 3</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,58E+03	4,58E+05	1%
90	3,16%	6,05E+03	2,89E+05	2%
100	6,19%	1,19E+04	1,91E+05	6%
110	12,64%	2,42E+04	1,34E+05	18%
120	33,72%	6,46E+04	9,81E+04	66%
130	34,49%	6,60E+04	7,40E+04	89%
140	7,48%	1,43E+04	5,74E+04	25%
150	0,97%	1,86E+03	4,56E+04	4%
TOTAL	100,00%	1,91E+05	SOMA	211%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.25 – Consumo de Fadiga para Estrutura 4 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	8,42E+05	<b>ESTRUTURA 4</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,14E+04	1,35E+06	1%
90	3,16%	2,66E+04	1,05E+06	3%
100	6,19%	5,21E+04	8,42E+05	6%
110	12,64%	1,06E+05	6,94E+05	15%
120	33,72%	2,84E+05	5,86E+05	48%
130	34,49%	2,90E+05	5,05E+05	58%
140	7,48%	6,29E+04	4,41E+05	14%
150	0,97%	8,16E+03	3,92E+05	2%
TOTAL	100,00%	8,42E+05	SOMA	147%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.26 – Consumo de Fadiga para Estrutura 5 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	8,72E+05	<b>ESTRUTURA 5</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,18E+04	1,37E+06	1%
90	3,16%	2,75E+04	1,07E+06	3%
100	6,19%	5,40E+04	8,72E+05	6%
110	12,64%	1,10E+05	7,26E+05	15%
120	33,72%	2,94E+05	6,19E+05	48%
130	34,49%	3,01E+05	5,37E+05	56%
140	7,48%	6,52E+04	4,73E+05	14%
150	0,97%	8,46E+03	4,22E+05	2%
TOTAL	100,00%	8,72E+05	SOMA	144%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.27 – Consumo de Fadiga para Estrutura 6 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	9,13E+05	<b>ESTRUTURA 6</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,23E+04	1,40E+06	1%
90	3,16%	2,88E+04	1,11E+06	3%
100	6,19%	5,65E+04	9,13E+05	6%
110	12,64%	1,15E+05	7,66E+05	15%
120	33,72%	3,08E+05	6,57E+05	47%
130	34,49%	3,15E+05	5,74E+05	55%
140	7,48%	6,83E+04	5,08E+05	13%
150	0,97%	8,86E+03	4,56E+05	2%
TOTAL	100,00%	9,13E+05	SOMA	142%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.28 – Consumo de Fadiga para Estrutura 7 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	4,70E+06	<b>ESTRUTURA 7</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,34E+04	6,17E+06	1%
90	3,16%	1,48E+05	5,32E+06	3%
100	6,19%	2,91E+05	4,70E+06	6%
110	12,64%	5,94E+05	4,22E+06	14%
120	33,72%	1,58E+06	3,86E+06	41%
130	34,49%	1,62E+06	3,56E+06	46%
140	7,48%	3,51E+05	3,31E+06	11%
150	0,97%	4,56E+04	3,11E+06	1%
TOTAL	100,00%	4,70E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.29 – Consumo de Fadiga para Estrutura 8 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	5,16E+06	<b>ESTRUTURA 8</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,97E+04	6,71E+06	1%
90	3,16%	1,63E+05	5,81E+06	3%
100	6,19%	3,20E+05	5,16E+06	6%
110	12,64%	6,53E+05	4,66E+06	14%
120	33,72%	1,74E+06	4,27E+06	41%
130	34,49%	1,78E+06	3,95E+06	45%
140	7,48%	3,86E+05	3,70E+06	10%
150	0,97%	5,01E+04	3,49E+06	1%
TOTAL	100,00%	5,16E+06	SOMA	122%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.30 – Consumo de Fadiga para Estrutura 9 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	5,69E+06	<b>ESTRUTURA 9</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,68E+04	7,31E+06	1%
90	3,16%	1,80E+05	6,38E+06	3%
100	6,19%	3,52E+05	5,69E+06	6%
110	12,64%	7,19E+05	5,16E+06	14%
120	33,72%	1,92E+06	4,75E+06	40%
130	34,49%	1,96E+06	4,42E+06	44%
140	7,48%	4,26E+05	4,13E+06	10%
150	0,97%	5,52E+04	3,90E+06	1%
TOTAL	100,00%	5,69E+06	SOMA	121%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.31 – Consumo de Fadiga para Estrutura 10 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	1,70E+06	<b>ESTRUTURA 10</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,30E+04	2,76E+06	1%
90	3,16%	5,38E+04	2,13E+06	3%
100	6,19%	1,05E+05	1,70E+06	6%
110	12,64%	2,15E+05	1,40E+06	15%
120	33,72%	5,75E+05	1,18E+06	49%
130	34,49%	5,88E+05	1,02E+06	58%
140	7,48%	1,27E+05	8,89E+05	14%
150	0,97%	1,65E+04		
TOTAL	100,00%	1,70E+06	SOMA	146%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.32 – Consumo de Fadiga para Estrutura 11 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	3,11E+06	<b>ESTRUTURA 11</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,20E+04	5,18E+06	1%
90	3,16%	9,84E+04	3,94E+06	2%
100	6,19%	1,93E+05	3,11E+06	6%
110	12,64%	3,94E+05	2,54E+06	16%
120	33,72%	1,05E+06	2,12E+06	49%
130	34,49%	1,07E+06	1,81E+06	59%
140	7,48%	2,33E+05	1,57E+06	15%
150	0,97%	3,02E+04		
TOTAL	100,00%	3,11E+06	SOMA	149%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.33 – Consumo de Fadiga para Estrutura 12 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	1,11E+06	<b>ESTRUTURA 12</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,50E+04	1,79E+06	1%
90	3,16%	3,52E+04	1,39E+06	3%
100	6,19%	6,89E+04	1,11E+06	6%
110	12,64%	1,41E+05	9,20E+05	15%
120	33,72%	3,75E+05	7,79E+05	48%
130	34,49%	3,84E+05	6,72E+05	57%
140	7,48%	8,32E+04	5,88E+05	14%
150	0,97%	1,08E+04		
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>1,11E+06</b>	<b>SOMA</b>	<b>144%</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.34 – Consumo de Fadiga para Estrutura 13 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	2,34E+06	<b>ESTRUTURA 13</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,16E+04	3,90E+06	1%
90	3,16%	7,39E+04	2,97E+06	2%
100	6,19%	1,45E+05	2,34E+06	6%
110	12,64%	2,96E+05	1,90E+06	16%
120	33,72%	7,89E+05	1,59E+06	50%
130	34,49%	8,07E+05	1,36E+06	60%
140	7,48%	1,75E+05	1,18E+06	15%
150	0,97%	2,27E+04		
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>2,34E+06</b>	<b>SOMA</b>	<b>149%</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.35 – Consumo de Fadiga para Estrutura 14 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	4,54E+06	<b>ESTRUTURA 14</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,12E+04	7,84E+06	1%
90	3,16%	1,43E+05	5,83E+06	2%
100	6,19%	2,81E+05	4,54E+06	6%
110	12,64%	5,73E+05	3,64E+06	16%
120	33,72%	1,53E+06	3,00E+06	51%
130	34,49%	1,56E+06	2,53E+06	62%
140	7,48%	3,39E+05	2,18E+06	16%
150	0,97%	4,40E+04		
TOTAL	100,00%	4,54E+06	SOMA	153%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.36 – Consumo de Fadiga para Estrutura 15 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	2,79E+06	<b>ESTRUTURA 15</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,77E+04	4,73E+06	1%
90	3,16%	8,82E+04	3,56E+06	2%
100	6,19%	1,73E+05	2,79E+06	6%
110	12,64%	3,53E+05	2,26E+06	16%
120	33,72%	9,41E+05	1,87E+06	50%
130	34,49%	9,62E+05	1,59E+06	61%
140	7,48%	2,09E+05	1,37E+06	15%
150	0,97%	4,59E+04		#DIV/0!
TOTAL	100,00%	2,81E+06	SOMA	151%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.37 – Consumo de Fadiga para Estrutura 16 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	3,16E+06	<b>ESTRUTURA 16</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,27E+04	5,44E+06	1%
90	3,16%	1,00E+05	4,06E+06	2%
100	6,19%	1,96E+05	3,16E+06	6%
110	12,64%	4,00E+05	2,54E+06	16%
120	33,72%	1,07E+06	2,10E+06	51%
130	34,49%	1,09E+06	1,78E+06	61%
140	7,48%	2,37E+05	1,53E+06	15%
150	0,97%	3,07E+04		
TOTAL	100,00%	3,16E+06	SOMA	153%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.38 – Consumo de Fadiga para Estrutura 17 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	2,46E+06	<b>ESTRUTURA 17</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,32E+04	4,13E+06	1%
90	3,16%	7,78E+04	3,12E+06	2%
100	6,19%	1,52E+05	2,46E+06	6%
110	12,64%	3,11E+05	2,00E+06	16%
120	33,72%	8,30E+05	1,67E+06	50%
130	34,49%	8,49E+05	1,42E+06	60%
140	7,48%	1,84E+05	1,23E+06	15%
150	0,97%	2,39E+04		
TOTAL	100,00%	2,46E+06	SOMA	150%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.39 – Consumo de Fadiga para Estrutura 18 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	3,00E+06	<b>ESTRUTURA 18</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,05E+04	5,13E+06	1%
90	3,16%	9,47E+04	3,85E+06	2%
100	6,19%	1,85E+05	3,00E+06	6%
110	12,64%	3,79E+05	2,42E+06	16%
120	33,72%	1,01E+06	2,01E+06	50%
130	34,49%	1,03E+06	1,70E+06	61%
140	7,48%	2,24E+05	1,46E+06	15%
150	0,97%	2,91E+04		
TOTAL	100,00%	3,00E+06	SOMA	152%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.40 – Consumo de Fadiga para Estrutura 19 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	3,44E+06	<b>ESTRUTURA 19</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,64E+04	5,97E+06	1%
90	3,16%	1,09E+05	4,44E+06	2%
100	6,19%	2,13E+05	3,44E+06	6%
110	12,64%	4,35E+05	2,76E+06	16%
120	33,72%	1,16E+06	2,27E+06	51%
130	34,49%	1,19E+06	1,92E+06	62%
140	7,48%	2,57E+05	1,65E+06	16%
150	0,97%	3,34E+04		
TOTAL	100,00%	3,44E+06	SOMA	154%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.41 – Consumo de Fadiga para Estrutura 20 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	3,04E+06	<b>ESTRUTURA 20</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,10E+04	5,19E+06	1%
90	3,16%	9,59E+04	3,89E+06	2%
100	6,19%	1,88E+05	3,04E+06	6%
110	12,64%	3,84E+05	2,44E+06	16%
120	33,72%	1,02E+06	2,02E+06	51%
130	34,49%	1,05E+06	1,71E+06	61%
140	7,48%	2,27E+05	1,47E+06	15%
150	0,97%	2,94E+04		
TOTAL	100,00%	3,04E+06	SOMA	152%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.42 – Consumo de Fadiga para Estrutura 21 com 100psi em aderência plena

<b>N</b>	3,07E+06	<b>ESTRUTURA 21</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,15E+04	5,27E+06	1%
90	3,16%	9,72E+04	3,94E+06	2%
100	6,19%	1,90E+05	3,07E+06	6%
110	12,64%	3,89E+05	2,47E+06	16%
120	33,72%	1,04E+06	2,05E+06	51%
130	34,49%	1,06E+06	1,73E+06	61%
140	7,48%	2,30E+05	1,49E+06	15%
150	0,97%	2,98E+04		
TOTAL	100,00%	3,07E+06	SOMA	152%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.43 – Consumo de Fadiga para Estrutura 1 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	1,64E+05	<b>ESTRUTURA 1</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,22E+03	6,50E+05	0%
90	3,16%	5,19E+03	3,88E+05	1%
100	6,19%	1,02E+04	2,44E+05	4%
110	12,64%	2,08E+04	1,64E+05	13%
120	33,72%	5,54E+04	1,16E+05	48%
130	34,49%	5,67E+04	8,46E+04	67%
140	7,48%	1,23E+04	6,37E+04	19%
150	0,97%	1,59E+03	4,93E+04	3%
TOTAL	100,00%	1,64E+05	SOMA	156%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.44 – Consumo de Fadiga para Estrutura 2 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	1,46E+05	<b>ESTRUTURA 2</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,97E+03	5,31E+05	0%
90	3,16%	4,61E+03	3,24E+05	1%
100	6,19%	9,02E+03	2,11E+05	4%
110	12,64%	1,84E+04	1,46E+05	13%
120	33,72%	4,91E+04	1,05E+05	47%
130	34,49%	5,03E+04	7,78E+04	65%
140	7,48%	1,09E+04	5,96E+04	18%
150	0,97%	1,41E+03	4,68E+04	3%
TOTAL	100,00%	1,46E+05	SOMA	152%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.45 – Consumo de Fadiga para Estrutura 3 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	1,34E+05	<b>ESTRUTURA 3</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,81E+03	4,58E+05	0%
90	3,16%	4,24E+03	2,89E+05	1%
100	6,19%	8,31E+03	1,91E+05	4%
110	12,64%	1,70E+04	1,34E+05	13%
120	33,72%	4,53E+04	9,81E+04	46%
130	34,49%	4,63E+04	7,40E+04	63%
140	7,48%	1,00E+04	5,74E+04	17%
150	0,97%	1,30E+03	4,56E+04	3%
TOTAL	100,00%	1,34E+05	SOMA	148%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.46 – Consumo de Fadiga para Estrutura 4 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	6,94E+05	<b>ESTRUTURA 4</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	9,38E+03	1,35E+06	1%
90	3,16%	2,19E+04	1,05E+06	2%
100	6,19%	4,30E+04	8,42E+05	5%
110	12,64%	8,78E+04	6,94E+05	13%
120	33,72%	2,34E+05	5,86E+05	40%
130	34,49%	2,40E+05	5,05E+05	47%
140	7,48%	5,19E+04	4,41E+05	12%
150	0,97%	6,74E+03	3,92E+05	0,0172
TOTAL	100,00%	6,94E+05	SOMA	121%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.47 – Consumo de Fadiga para Estrutura 5 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	7,26E+05	<b>ESTRUTURA 5</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	9,80E+03	1,37E+06	1%
90	3,16%	2,29E+04	1,07E+06	2%
100	6,19%	4,49E+04	8,72E+05	5%
110	12,64%	9,18E+04	7,26E+05	13%
120	33,72%	2,45E+05	6,19E+05	40%
130	34,49%	2,50E+05	5,37E+05	47%
140	7,48%	5,43E+04	4,73E+05	11%
150	0,97%	7,04E+03	4,22E+05	2%
TOTAL	100,00%	7,26E+05	SOMA	120%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.48 – Consumo de Fadiga para Estrutura 6 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	7,66E+05	<b>ESTRUTURA 6</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,03E+04	1,40E+06	1%
90	3,16%	2,42E+04	1,11E+06	2%
100	6,19%	4,74E+04	9,13E+05	5%
110	12,64%	9,69E+04	7,66E+05	13%
120	33,72%	2,58E+05	6,57E+05	39%
130	34,49%	2,64E+05	5,74E+05	46%
140	7,48%	5,73E+04	5,08E+05	11%
150	0,97%	7,43E+03	4,56E+05	2%
TOTAL	100,00%	7,66E+05	SOMA	119%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.49 – Consumo de Fadiga para Estrutura 7 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	4,22E+06	<b>ESTRUTURA 7</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,70E+04	6,17E+06	1%
90	3,16%	1,33E+05	5,32E+06	3%
100	6,19%	2,61E+05	4,70E+06	6%
110	12,64%	5,33E+05	4,22E+06	13%
120	33,72%	1,42E+06	3,86E+06	37%
130	34,49%	1,46E+06	3,56E+06	41%
140	7,48%	3,16E+05	3,31E+06	10%
150	0,97%	4,09E+04	3,11E+06	1%
TOTAL	100,00%	4,22E+06	SOMA	110%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.50 – Consumo de Fadiga para Estrutura 8 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	4,66E+06	<b>ESTRUTURA 8</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,30E+04	6,71E+06	1%
90	3,16%	1,47E+05	5,81E+06	3%
100	6,19%	2,89E+05	5,16E+06	6%
110	12,64%	5,89E+05	4,66E+06	13%
120	33,72%	1,57E+06	4,27E+06	37%
130	34,49%	1,61E+06	3,95E+06	41%
140	7,48%	3,49E+05	3,70E+06	9%
150	0,97%	4,52E+04	3,49E+06	1%
TOTAL	100,00%	4,66E+06	SOMA	110%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.51 – Consumo de Fadiga para Estrutura 9 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	5,16E+06	<b>ESTRUTURA 9</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,97E+04	7,31E+06	1%
90	3,16%	1,63E+05	6,38E+06	3%
100	6,19%	3,20E+05	5,69E+06	6%
110	12,64%	6,53E+05	5,16E+06	13%
120	33,72%	1,74E+06	4,75E+06	37%
130	34,49%	1,78E+06	4,42E+06	40%
140	7,48%	3,86E+05	4,13E+06	9%
150	0,97%	5,01E+04	3,90E+06	1%
TOTAL	100,00%	5,16E+06	SOMA	109%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.52 – Consumo de Fadiga para Estrutura 10 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	1,40E+06	<b>ESTRUTURA 10</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,90E+04	2,76E+06	1%
90	3,16%	4,44E+04	2,13E+06	2%
100	6,19%	8,69E+04	1,70E+06	5%
110	12,64%	1,78E+05	1,40E+06	13%
120	33,72%	4,74E+05	1,18E+06	40%
130	34,49%	4,84E+05	1,02E+06	48%
140	7,48%	1,05E+05	8,89E+05	12%
150	0,97%	1,36E+04		
TOTAL	100,00%	1,40E+06	SOMA	120%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.53 – Consumo de Fadiga para Estrutura 11 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,54E+06	<b>ESTRUTURA 11</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,42E+04	5,18E+06	1%
90	3,16%	8,02E+04	3,94E+06	2%
100	6,19%	1,57E+05	3,11E+06	5%
110	12,64%	3,21E+05	2,54E+06	13%
120	33,72%	8,55E+05	2,12E+06	40%
130	34,49%	8,75E+05	1,81E+06	48%
140	7,48%	1,90E+05	1,57E+06	12%
150	0,97%	2,46E+04		
TOTAL	100,00%	2,54E+06	SOMA	121%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.54 – Consumo de Fadiga para Estrutura 12 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	9,20E+05	<b>ESTRUTURA 12</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,24E+04	1,79E+06	1%
90	3,16%	2,91E+04	1,39E+06	2%
100	6,19%	5,70E+04	1,11E+06	5%
110	12,64%	1,16E+05	9,20E+05	13%
120	33,72%	3,10E+05	7,79E+05	40%
130	34,49%	3,17E+05	6,72E+05	47%
140	7,48%	6,88E+04	5,88E+05	12%
150	0,97%	8,93E+03		
TOTAL	100,00%	9,20E+05	SOMA	119%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.55 – Consumo de Fadiga para Estrutura 13 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	1,90E+06	<b>ESTRUTURA 13</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,57E+04	3,90E+06	1%
90	3,16%	6,02E+04	2,97E+06	2%
100	6,19%	1,18E+05	2,34E+06	5%
110	12,64%	2,41E+05	1,90E+06	13%
120	33,72%	6,42E+05	1,59E+06	40%
130	34,49%	6,57E+05	1,36E+06	48%
140	7,48%	1,42E+05	1,18E+06	12%
150	0,97%	1,85E+04		
TOTAL	100,00%	1,90E+06	SOMA	121%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.56 – Consumo de Fadiga para Estrutura 14 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	3,64E+06	<b>ESTRUTURA 14</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,91E+04	7,84E+06	1%
90	3,16%	1,15E+05	5,83E+06	2%
100	6,19%	2,25E+05	4,54E+06	5%
110	12,64%	4,60E+05	3,64E+06	13%
120	33,72%	1,23E+06	3,00E+06	41%
130	34,49%	1,25E+06	2,53E+06	50%
140	7,48%	2,72E+05	2,18E+06	13%
150	0,97%	3,53E+04		
TOTAL	100,00%	3,64E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.57 – Consumo de Fadiga para Estrutura 15 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,26E+06	<b>ESTRUTURA 15</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,04E+04	4,73E+06	1%
90	3,16%	7,13E+04	3,56E+06	2%
100	6,19%	1,40E+05	2,79E+06	5%
110	12,64%	2,85E+05	2,26E+06	13%
120	33,72%	7,60E+05	1,87E+06	41%
130	34,49%	7,78E+05	1,59E+06	49%
140	7,48%	1,69E+05	1,37E+06	12%
150	0,97%	2,19E+04		
TOTAL	100,00%	2,26E+06	SOMA	122%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.58 – Consumo de Fadiga para Estrutura 16 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,54E+06	<b>ESTRUTURA 16</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,43E+04	5,44E+06	1%
90	3,16%	8,04E+04	4,06E+06	2%
100	6,19%	1,57E+05	3,16E+06	5%
110	12,64%	3,21E+05	2,54E+06	13%
120	33,72%	8,58E+05	2,10E+06	41%
130	34,49%	8,77E+05	1,78E+06	49%
140	7,48%	1,90E+05	1,53E+06	12%
150	0,97%	2,47E+04		
TOTAL	100,00%	2,54E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.59 – Consumo de Fadiga para Estrutura 17 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,00E+06	<b>ESTRUTURA 17</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,70E+04	4,13E+06	1%
90	3,16%	6,32E+04	3,12E+06	2%
100	6,19%	1,24E+05	2,46E+06	5%
110	12,64%	2,53E+05	2,00E+06	13%
120	33,72%	6,75E+05	1,67E+06	40%
130	34,49%	6,90E+05	1,42E+06	49%
140	7,48%	1,50E+05	1,23E+06	12%
150	0,97%	1,94E+04		
TOTAL	100,00%	2,00E+06	SOMA	122%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.60 – Consumo de Fadiga para Estrutura 18 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,42E+06	<b>ESTRUTURA 18</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,27E+04	5,13E+06	1%
90	3,16%	7,65E+04	3,85E+06	2%
100	6,19%	1,50E+05	3,00E+06	5%
110	12,64%	3,06E+05	2,42E+06	13%
120	33,72%	8,16E+05	2,01E+06	41%
130	34,49%	8,35E+05	1,70E+06	49%
140	7,48%	1,81E+05	1,46E+06	12%
150	0,97%	2,35E+04		
TOTAL	100,00%	2,42E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.61 – Consumo de Fadiga para Estrutura 19 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,76E+06	<b>ESTRUTURA 19</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,72E+04	5,97E+06	1%
90	3,16%	8,71E+04	4,44E+06	2%
100	6,19%	1,71E+05	3,44E+06	5%
110	12,64%	3,48E+05	2,76E+06	13%
120	33,72%	9,29E+05	2,27E+06	41%
130	34,49%	9,50E+05	1,92E+06	50%
140	7,48%	2,06E+05	1,65E+06	13%
150	0,97%	2,67E+04		
TOTAL	100,00%	2,76E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.62 – Consumo de Fadiga para Estrutura 20 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,44E+06	<b>ESTRUTURA 20</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,30E+04	5,19E+06	1%
90	3,16%	7,73E+04	3,89E+06	2%
100	6,19%	1,51E+05	3,04E+06	5%
110	12,64%	3,09E+05	2,44E+06	13%
120	33,72%	8,24E+05	2,02E+06	41%
130	34,49%	8,43E+05	1,71E+06	49%
140	7,48%	1,83E+05	1,47E+06	12%
150	0,97%	2,37E+04		
TOTAL	100,00%	2,44E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.63 – Consumo de Fadiga para Estrutura 21 com 110psi em aderência plena

<b>N</b>	2,47E+06	<b>ESTRUTURA 21</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,34E+04	5,27E+06	1%
90	3,16%	7,82E+04	3,94E+06	2%
100	6,19%	1,53E+05	3,07E+06	5%
110	12,64%	3,13E+05	2,47E+06	13%
120	33,72%	8,35E+05	2,05E+06	41%
130	34,49%	8,54E+05	1,73E+06	49%
140	7,48%	1,85E+05	1,49E+06	12%
150	0,97%	2,40E+04		#DIV/0!
TOTAL	100,00%	2,47E+06	SOMA	123%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.64 – Consumo de Fadiga para Estrutura 1 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	1,16E+05	<b>ESTRUTURA 1</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,56E+03	6,50E+05	0%
90	3,16%	3,66E+03	3,88E+05	1%
100	6,19%	7,16E+03	2,44E+05	3%
110	12,64%	1,46E+04	1,64E+05	9%
120	33,72%	3,90E+04	1,16E+05	34%
130	34,49%	3,99E+04	8,46E+04	47%
140	7,48%	8,65E+03	6,37E+04	14%
150	0,97%	1,12E+03	4,93E+04	2%
TOTAL	100,00%	1,16E+05	SOMA	110%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.65 – Consumo de Fadiga para Estrutura 2 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	1,05E+05	<b>ESTRUTURA 2</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,41E+03	5,31E+05	0%
90	3,16%	3,31E+03	3,24E+05	1%
100	6,19%	6,48E+03	2,11E+05	3%
110	12,64%	1,32E+04	1,46E+05	9%
120	33,72%	3,53E+04	1,05E+05	34%
130	34,49%	3,61E+04	7,78E+04	46%
140	7,48%	7,83E+03	5,96E+04	13%
150	0,97%	1,02E+03	4,68E+04	2%
TOTAL	100,00%	1,05E+05	SOMA	109%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.66 – Consumo de Fadiga para Estrutura 3 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	9,81E+04	<b>ESTRUTURA 3</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,32E+03	4,58E+05	0%
90	3,16%	3,10E+03	2,89E+05	1%
100	6,19%	6,07E+03	1,91E+05	3%
110	12,64%	1,24E+04	1,34E+05	9%
120	33,72%	3,31E+04	9,81E+04	34%
130	34,49%	3,38E+04	7,40E+04	46%
140	7,48%	7,33E+03	5,74E+04	13%
150	0,97%	9,51E+02	4,56E+04	2%
TOTAL	100,00%	9,81E+04	SOMA	108%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.67 – Consumo de Fadiga para Estrutura 4 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	5,86E+05	<b>ESTRUTURA 4</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,92E+03	1,35E+06	1%
90	3,16%	1,85E+04	1,05E+06	2%
100	6,19%	3,63E+04	8,42E+05	4%
110	12,64%	7,41E+04	6,94E+05	11%
120	33,72%	1,98E+05	5,86E+05	34%
130	34,49%	2,02E+05	5,05E+05	40%
140	7,48%	4,39E+04	4,41E+05	10%
150	0,97%	5,69E+03	3,92E+05	1%
TOTAL	100,00%	5,86E+05	SOMA	103%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.68 – Consumo de Fadiga para Estrutura 5 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	6,19E+05	<b>ESTRUTURA 5</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	8,35E+03	1,37E+06	1%
90	3,16%	1,96E+04	1,07E+06	2%
100	6,19%	3,83E+04	8,72E+05	4%
110	12,64%	7,82E+04	7,26E+05	11%
120	33,72%	2,09E+05	6,19E+05	34%
130	34,49%	2,13E+05	5,37E+05	40%
140	7,48%	4,63E+04	4,73E+05	10%
150	0,97%	6,00E+03	4,22E+05	1%
TOTAL	100,00%	6,19E+05	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.69 – Consumo de Fadiga para Estrutura 6 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	6,57E+05	<b>ESTRUTURA 6</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	8,87E+03	1,40E+06	1%
90	3,16%	2,08E+04	1,11E+06	2%
100	6,19%	4,07E+04	9,13E+05	4%
110	12,64%	8,31E+04	7,66E+05	11%
120	33,72%	2,22E+05	6,57E+05	34%
130	34,49%	2,27E+05	5,74E+05	39%
140	7,48%	4,92E+04	5,08E+05	10%
150	0,97%	6,38E+03	4,56E+05	1%
TOTAL	100,00%	6,57E+05	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.70 – Consumo de Fadiga para Estrutura 7 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	3,86E+06	<b>ESTRUTURA 7</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,20E+04	6,17E+06	1%
90	3,16%	1,22E+05	5,32E+06	2%
100	6,19%	2,39E+05	4,70E+06	5%
110	12,64%	4,87E+05	4,22E+06	12%
120	33,72%	1,30E+06	3,86E+06	34%
130	34,49%	1,33E+06	3,56E+06	37%
140	7,48%	2,88E+05	3,31E+06	9%
150	0,97%	3,74E+04	3,11E+06	1%
TOTAL	100,00%	3,86E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.71 – Consumo de Fadiga para Estrutura 8 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	4,27E+06	<b>ESTRUTURA 8</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,76E+04	6,71E+06	1%
90	3,16%	1,35E+05	5,81E+06	2%
100	6,19%	2,64E+05	5,16E+06	5%
110	12,64%	5,39E+05	4,66E+06	12%
120	33,72%	1,44E+06	4,27E+06	34%
130	34,49%	1,47E+06	3,95E+06	37%
140	7,48%	3,19E+05	3,70E+06	9%
150	0,97%	4,14E+04	3,49E+06	1%
TOTAL	100,00%	4,27E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.72 – Consumo de Fadiga para Estrutura 9 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	4,75E+06	<b>ESTRUTURA 9</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,41E+04	7,31E+06	1%
90	3,16%	1,50E+05	6,38E+06	2%
100	6,19%	2,94E+05	5,69E+06	5%
110	12,64%	6,00E+05	5,16E+06	12%
120	33,72%	1,60E+06	4,75E+06	34%
130	34,49%	1,64E+06	4,42E+06	37%
140	7,48%	3,55E+05	4,13E+06	9%
150	0,97%	4,61E+04	3,90E+06	1%
TOTAL	100,00%	4,75E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.73 – Consumo de Fadiga para Estrutura 10 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	1,18E+06	<b>ESTRUTURA 10</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,60E+04	2,76E+06	1%
90	3,16%	3,74E+04	2,13E+06	2%
100	6,19%	7,33E+04	1,70E+06	4%
110	12,64%	1,50E+05	1,40E+06	11%
120	33,72%	3,99E+05	1,18E+06	34%
130	34,49%	4,08E+05	1,02E+06	40%
140	7,48%	8,85E+04	8,89E+05	10%
150	0,97%	1,15E+04		
TOTAL	100,00%	1,18E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.74 – Consumo de Fadiga para Estrutura 11 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	2,12E+06	<b>ESTRUTURA 11</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,87E+04	5,18E+06	1%
90	3,16%	6,71E+04	3,94E+06	2%
100	6,19%	1,31E+05	3,11E+06	4%
110	12,64%	2,68E+05	2,54E+06	11%
120	33,72%	7,16E+05	2,12E+06	34%
130	34,49%	7,32E+05	1,81E+06	40%
140	7,48%	1,59E+05	1,57E+06	10%
150	0,97%	2,06E+04		
TOTAL	100,00%	2,12E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.75 – Consumo de Fadiga para Estrutura 12 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	7,79E+05	<b>ESTRUTURA 12</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,05E+04	1,79E+06	1%
90	3,16%	2,46E+04	1,39E+06	2%
100	6,19%	4,82E+04	1,11E+06	4%
110	12,64%	9,84E+04	9,20E+05	11%
120	33,72%	2,63E+05	7,79E+05	34%
130	34,49%	2,69E+05	6,72E+05	40%
140	7,48%	5,82E+04	5,88E+05	10%
150	0,97%	7,55E+03		
TOTAL	100,00%	7,79E+05	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.76 – Consumo de Fadiga para Estrutura 13 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	1,59E+06	<b>ESTRUTURA 13</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,15E+04	3,90E+06	1%
90	3,16%	5,03E+04	2,97E+06	2%
100	6,19%	9,85E+04	2,34E+06	4%
110	12,64%	2,01E+05	1,90E+06	11%
120	33,72%	5,37E+05	1,59E+06	34%
130	34,49%	5,49E+05	1,36E+06	40%
140	7,48%	1,19E+05	1,18E+06	10%
150	0,97%	1,54E+04		
TOTAL	100,00%	1,59E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.77 – Consumo de Fadiga para Estrutura 14 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	3,00E+06	<b>ESTRUTURA 14</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,06E+04	7,84E+06	1%
90	3,16%	9,49E+04	5,83E+06	2%
100	6,19%	1,86E+05	4,54E+06	4%
110	12,64%	3,80E+05	3,64E+06	10%
120	33,72%	1,01E+06	3,00E+06	34%
130	34,49%	1,04E+06	2,53E+06	41%
140	7,48%	2,25E+05	2,18E+06	10%
150	0,97%	2,91E+04		
TOTAL	100,00%	3,00E+06	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.78 – Consumo de Fadiga para Estrutura 15 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	1,87E+06	<b>ESTRUTURA 15</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,53E+04	4,73E+06	1%
90	3,16%	5,92E+04	3,56E+06	2%
100	6,19%	1,16E+05	2,79E+06	4%
110	12,64%	2,37E+05	2,26E+06	10%
120	33,72%	6,32E+05	1,87E+06	34%
130	34,49%	6,46E+05	1,59E+06	41%
140	7,48%	1,40E+05	1,37E+06	10%
150	0,97%	1,82E+04		
TOTAL	100,00%	1,87E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.79 – Consumo de Fadiga para Estrutura 16 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	2,10E+06	<b>ESTRUTURA 16</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,84E+04	5,44E+06	1%
90	3,16%	6,65E+04	4,06E+06	2%
100	6,19%	1,30E+05	3,16E+06	4%
110	12,64%	2,66E+05	2,54E+06	10%
120	33,72%	7,09E+05	2,10E+06	34%
130	34,49%	7,25E+05	1,78E+06	41%
140	7,48%	1,57E+05	1,53E+06	10%
150	0,97%	2,04E+04		
TOTAL	100,00%	2,10E+06	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.80 – Consumo de Fadiga para Estrutura 17 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	1,67E+06	<b>ESTRUTURA 17</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,25E+04	4,13E+06	1%
90	3,16%	5,27E+04	3,12E+06	2%
100	6,19%	1,03E+05	2,46E+06	4%
110	12,64%	2,11E+05	2,00E+06	11%
120	33,72%	5,63E+05	1,67E+06	34%
130	34,49%	5,76E+05	1,42E+06	41%
140	7,48%	1,25E+05	1,23E+06	10%
150	0,97%	1,62E+04		
TOTAL	100,00%	1,67E+06	SOMA	101%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.81 – Consumo de Fadiga para Estrutura 18 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	2,01E+06	<b>ESTRUTURA 18</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,71E+04	5,13E+06	1%
90	3,16%	6,34E+04	3,85E+06	2%
100	6,19%	1,24E+05	3,00E+06	4%
110	12,64%	2,53E+05	2,42E+06	10%
120	33,72%	6,76E+05	2,01E+06	34%
130	34,49%	6,92E+05	1,70E+06	41%
140	7,48%	1,50E+05	1,46E+06	10%
150	0,97%	1,95E+04		
TOTAL	100,00%	2,01E+06	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.82 – Consumo de Fadiga para Estrutura 19 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	2,27E+06	<b>ESTRUTURA 19</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,07E+04	5,97E+06	1%
90	3,16%	7,18E+04	4,44E+06	2%
100	6,19%	1,41E+05	3,44E+06	4%
110	12,64%	2,87E+05	2,76E+06	10%
120	33,72%	7,66E+05	2,27E+06	34%
130	34,49%	7,84E+05	1,92E+06	41%
140	7,48%	1,70E+05	1,65E+06	10%
150	0,97%	2,20E+04		
TOTAL	100,00%	2,27E+06	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.83 – Consumo de Fadiga para Estrutura 20 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	2,02E+06	<b>ESTRUTURA 20</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,73E+04	5,19E+06	1%
90	3,16%	6,40E+04	3,89E+06	2%
100	6,19%	1,25E+05	3,04E+06	4%
110	12,64%	2,56E+05	2,44E+06	10%
120	33,72%	6,83E+05	2,02E+06	34%
130	34,49%	6,98E+05	1,71E+06	41%
140	7,48%	1,51E+05	1,47E+06	10%
150	0,97%	1,96E+04		
TOTAL	100,00%	2,02E+06	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.84 – Consumo de Fadiga para Estrutura 21 com 120psi em aderência plena

<b>N</b>	2,05E+06	<b>ESTRUTURA 21</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,77E+04	5,27E+06	1%
90	3,16%	6,47E+04	3,94E+06	2%
100	6,19%	1,27E+05	3,07E+06	4%
110	12,64%	2,59E+05	2,47E+06	10%
120	33,72%	6,91E+05	2,05E+06	34%
130	34,49%	7,07E+05	1,73E+06	41%
140	7,48%	1,53E+05	1,49E+06	10%
150	0,97%	1,99E+04		
TOTAL	100,00%	2,05E+06	SOMA	102%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.85 – Consumo de Fadiga para Estrutura 1 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	8,46E+04	<b>ESTRUTURA 1</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,14E+03	6,50E+05	0%
90	3,16%	2,67E+03	3,88E+05	1%
100	6,19%	5,24E+03	2,44E+05	2%
110	12,64%	1,07E+04	1,64E+05	7%
120	33,72%	2,85E+04	1,16E+05	25%
130	34,49%	2,92E+04	8,46E+04	34%
140	7,48%	6,33E+03	6,37E+04	10%
150	0,97%	8,21E+02	4,93E+04	2%
TOTAL	100,00%	8,46E+04	SOMA	80%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.86 – Consumo de Fadiga para Estrutura 2 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	7,78E+04	<b>ESTRUTURA 2</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,05E+03	5,31E+05	0%
90	3,16%	2,46E+03	3,24E+05	1%
100	6,19%	4,82E+03	2,11E+05	2%
110	12,64%	9,84E+03	1,46E+05	7%
120	33,72%	2,62E+04	1,05E+05	25%
130	34,49%	2,68E+04	7,78E+04	34%
140	7,48%	5,82E+03	5,96E+04	10%
150	0,97%	7,55E+02	4,68E+04	2%
TOTAL	100,00%	7,78E+04	SOMA	81%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.87 – Consumo de Fadiga para Estrutura 3 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	7,40E+04	<b>ESTRUTURA 3</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	9,99E+02	4,58E+05	0%
90	3,16%	2,34E+03	2,89E+05	1%
100	6,19%	4,58E+03	1,91E+05	2%
110	12,64%	9,36E+03	1,34E+05	7%
120	33,72%	2,50E+04	9,81E+04	25%
130	34,49%	2,55E+04	7,40E+04	34%
140	7,48%	5,54E+03	5,74E+04	10%
150	0,97%	7,18E+02	4,56E+04	2%
TOTAL	100,00%	7,40E+04	SOMA	82%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.88 – Consumo de Fadiga para Estrutura 4 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	5,05E+05	<b>ESTRUTURA 4</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	6,81E+03	1,35E+06	1%
90	3,16%	1,59E+04	1,05E+06	2%
100	6,19%	3,12E+04	8,42E+05	4%
110	12,64%	6,38E+04	6,94E+05	9%
120	33,72%	1,70E+05	5,86E+05	29%
130	34,49%	1,74E+05	5,05E+05	34%
140	7,48%	3,77E+04	4,41E+05	9%
150	0,97%	4,90E+03	3,92E+05	1%
TOTAL	100,00%	5,05E+05	SOMA	88%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.89 – Consumo de Fadiga para Estrutura 5 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	5,37E+05	<b>ESTRUTURA 5</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,25E+03	1,37E+06	1%
90	3,16%	1,70E+04	1,07E+06	2%
100	6,19%	3,32E+04	8,72E+05	4%
110	12,64%	6,79E+04	7,26E+05	9%
120	33,72%	1,81E+05	6,19E+05	29%
130	34,49%	1,85E+05	5,37E+05	34%
140	7,48%	4,02E+04	4,73E+05	8%
150	0,97%	5,21E+03	4,22E+05	1%
TOTAL	100,00%	5,37E+05	SOMA	89%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.90 – Consumo de Fadiga para Estrutura 6 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	5,74E+05	<b>ESTRUTURA 6</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	7,75E+03	1,40E+06	1%
90	3,16%	1,81E+04	1,11E+06	2%
100	6,19%	3,55E+04	9,13E+05	4%
110	12,64%	7,26E+04	7,66E+05	9%
120	33,72%	1,94E+05	6,57E+05	29%
130	34,49%	1,98E+05	5,74E+05	34%
140	7,48%	4,29E+04	5,08E+05	8%
150	0,97%	5,57E+03	4,56E+05	1%
TOTAL	100,00%	5,74E+05	SOMA	89%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.91 – Consumo de Fadiga para Estrutura 7 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	3,56E+06	<b>ESTRUTURA 7</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	4,80E+04	6,17E+06	1%
90	3,16%	1,12E+05	5,32E+06	2%
100	6,19%	2,20E+05	4,70E+06	5%
110	12,64%	4,49E+05	4,22E+06	11%
120	33,72%	1,20E+06	3,86E+06	31%
130	34,49%	1,23E+06	3,56E+06	34%
140	7,48%	2,66E+05	3,31E+06	8%
150	0,97%	3,45E+04	3,11E+06	1%
TOTAL	100,00%	3,56E+06	SOMA	93%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.92 – Consumo de Fadiga para Estrutura 8 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	3,95E+06	<b>ESTRUTURA 8</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,34E+04	6,71E+06	1%
90	3,16%	1,25E+05	5,81E+06	2%
100	6,19%	2,45E+05	5,16E+06	5%
110	12,64%	5,00E+05	4,66E+06	11%
120	33,72%	1,33E+06	4,27E+06	31%
130	34,49%	1,36E+06	3,95E+06	34%
140	7,48%	2,96E+05	3,70E+06	8%
150	0,97%	3,83E+04	3,49E+06	1%
TOTAL	100,00%	3,95E+06	SOMA	93%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.93 – Consumo de Fadiga para Estrutura 9 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	4,42E+06	<b>ESTRUTURA 9</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	5,96E+04	7,31E+06	1%
90	3,16%	1,40E+05	6,38E+06	2%
100	6,19%	2,73E+05	5,69E+06	5%
110	12,64%	5,58E+05	5,16E+06	11%
120	33,72%	1,49E+06	4,75E+06	31%
130	34,49%	1,52E+06	4,42E+06	34%
140	7,48%	3,30E+05	4,13E+06	8%
150	0,97%	4,28E+04	3,90E+06	1%
TOTAL	100,00%	4,42E+06	SOMA	94%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.94 – Consumo de Fadiga para Estrutura 10 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,02E+06	<b>ESTRUTURA 10</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,37E+04	2,76E+06	0%
90	3,16%	3,22E+04	2,13E+06	2%
100	6,19%	6,30E+04	1,70E+06	4%
110	12,64%	1,29E+05	1,40E+06	9%
120	33,72%	3,43E+05	1,18E+06	29%
130	34,49%	3,51E+05	1,02E+06	34%
140	7,48%	7,61E+04	8,89E+05	9%
150	0,97%	9,87E+03		
TOTAL	100,00%	1,02E+06	SOMA	87%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.95 – Consumo de Fadiga para Estrutura 11 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,81E+06	<b>ESTRUTURA 11</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,44E+04	5,18E+06	0%
90	3,16%	5,72E+04	3,94E+06	1%
100	6,19%	1,12E+05	3,11E+06	4%
110	12,64%	2,29E+05	2,54E+06	9%
120	33,72%	6,10E+05	2,12E+06	29%
130	34,49%	6,24E+05	1,81E+06	34%
140	7,48%	1,35E+05	1,57E+06	9%
150	0,97%	1,75E+04		
TOTAL	100,00%	1,81E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.96 – Consumo de Fadiga para Estrutura 12 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	6,72E+05	<b>ESTRUTURA 12</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	9,08E+03	1,79E+06	1%
90	3,16%	2,12E+04	1,39E+06	2%
100	6,19%	4,16E+04	1,11E+06	4%
110	12,64%	8,50E+04	9,20E+05	9%
120	33,72%	2,27E+05	7,79E+05	29%
130	34,49%	2,32E+05	6,72E+05	34%
140	7,48%	5,03E+04	5,88E+05	9%
150	0,97%	6,52E+03		
TOTAL	100,00%	6,72E+05	SOMA	87%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.97 – Consumo de Fadiga para Estrutura 13 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,36E+06	<b>ESTRUTURA 13</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,83E+04	3,90E+06	0%
90	3,16%	4,28E+04	2,97E+06	1%
100	6,19%	8,39E+04	2,34E+06	4%
110	12,64%	1,71E+05	1,90E+06	9%
120	33,72%	4,57E+05	1,59E+06	29%
130	34,49%	4,68E+05	1,36E+06	34%
140	7,48%	1,01E+05	1,18E+06	9%
150	0,97%	1,32E+04		
TOTAL	100,00%	1,36E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.98 – Consumo de Fadiga para Estrutura 14 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	2,53E+06	<b>ESTRUTURA 14</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	3,42E+04	7,84E+06	0%
90	3,16%	8,00E+04	5,83E+06	1%
100	6,19%	1,57E+05	4,54E+06	3%
110	12,64%	3,20E+05	3,64E+06	9%
120	33,72%	8,53E+05	3,00E+06	28%
130	34,49%	8,73E+05	2,53E+06	34%
140	7,48%	1,89E+05	2,18E+06	9%
150	0,97%	2,45E+04		
TOTAL	100,00%	2,53E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.99 – Consumo de Fadiga para Estrutura 15 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,59E+06	<b>ESTRUTURA 15</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,14E+04	4,73E+06	0%
90	3,16%	5,02E+04	3,56E+06	1%
100	6,19%	9,83E+04	2,79E+06	4%
110	12,64%	2,01E+05	2,26E+06	9%
120	33,72%	5,35E+05	1,87E+06	29%
130	34,49%	5,48E+05	1,59E+06	34%
140	7,48%	1,19E+05	1,37E+06	9%
150	0,97%	1,54E+04		
TOTAL	100,00%	1,59E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.100 – Consumo de Fadiga para Estrutura 16 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,78E+06	<b>ESTRUTURA 16</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,40E+04	5,44E+06	0%
90	3,16%	5,61E+04	4,06E+06	1%
100	6,19%	1,10E+05	3,16E+06	3%
110	12,64%	2,24E+05	2,54E+06	9%
120	33,72%	5,99E+05	2,10E+06	28%
130	34,49%	6,13E+05	1,78E+06	34%
140	7,48%	1,33E+05	1,53E+06	9%
150	0,97%	1,72E+04		
TOTAL	100,00%	1,78E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.101 – Consumo de Fadiga para Estrutura 17 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,42E+06	<b>ESTRUTURA 17</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	1,92E+04	4,13E+06	0%
90	3,16%	4,49E+04	3,12E+06	1%
100	6,19%	8,79E+04	2,46E+06	4%
110	12,64%	1,79E+05	2,00E+06	9%
120	33,72%	4,79E+05	1,67E+06	29%
130	34,49%	4,90E+05	1,42E+06	34%
140	7,48%	1,06E+05	1,23E+06	9%
150	0,97%	1,38E+04		
TOTAL	100,00%	1,42E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.102 – Consumo de Fadiga para Estrutura 18 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,70E+06	<b>ESTRUTURA 18</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,29E+04	5,13E+06	0%
90	3,16%	5,36E+04	3,85E+06	1%
100	6,19%	1,05E+05	3,00E+06	4%
110	12,64%	2,14E+05	2,42E+06	9%
120	33,72%	5,72E+05	2,01E+06	29%
130	34,49%	5,85E+05	1,70E+06	34%
140	7,48%	1,27E+05	1,46E+06	9%
150	0,97%	1,65E+04		
TOTAL	100,00%	1,70E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.103 – Consumo de Fadiga para Estrutura 19 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,92E+06	<b>ESTRUTURA 19</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,59E+04	5,97E+06	0%
90	3,16%	6,06E+04	4,44E+06	1%
100	6,19%	1,19E+05	3,44E+06	3%
110	12,64%	2,42E+05	2,76E+06	9%
120	33,72%	6,47E+05	2,27E+06	28%
130	34,49%	6,61E+05	1,92E+06	34%
140	7,48%	1,43E+05	1,65E+06	9%
150	0,97%	1,86E+04		
TOTAL	100,00%	1,92E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.104 – Consumo de Fadiga para Estrutura 20 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,71E+06	<b>ESTRUTURA 20</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,31E+04	5,19E+06	0%
90	3,16%	5,41E+04	3,89E+06	1%
100	6,19%	1,06E+05	3,04E+06	3%
110	12,64%	2,16E+05	2,44E+06	9%
120	33,72%	5,77E+05	2,02E+06	29%
130	34,49%	5,90E+05	1,71E+06	34%
140	7,48%	1,28E+05	1,47E+06	9%
150	0,97%	1,66E+04		
TOTAL	100,00%	1,71E+06	SOMA	86%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.105 – Consumo de Fadiga para Estrutura 21 com 130psi em aderência plena

<b>N</b>	1,73E+06	<b>ESTRUTURA 21</b>		
<b>Pressão</b>	<b>Frequência</b>	<b>N real</b>	<b>N disponível</b>	<b>CDF</b>
80	1,35%	2,34E+04	5,27E+06	0%
90	3,16%	5,47E+04	3,94E+06	1%
100	6,19%	1,07E+05	3,07E+06	3%
110	12,64%	2,19E+05	2,47E+06	9%
120	33,72%	5,84E+05	2,05E+06	28%
130	34,49%	5,97E+05	1,73E+06	34%
140	7,48%	1,30E+05	1,49E+06	9%
150	0,97%	1,68E+04		
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>	<b>1,73E+06</b>	<b>SOMA</b>	<b>86%</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.106 – Resumo do Consumo de Fadiga para estruturas com revestimento de 50mm em aderência parcial

<b>Estruturas</b>	<b>Consumo de Fadiga</b>				
	80psi	100psi	110psi	120psi	130psi
<b>1</b>	490,8%	206,4%	145,1%	106,0%	80,0%
<b>2</b>	448,9%	197,9%	141,9%	105,3%	80,7%
<b>3</b>	416,8%	191,2%	139,1%	104,8%	81,3%
<b>MÉDIA</b>	452,2%	198,5%	142,0%	105,4%	80,6%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.107 – Resumo do Consumo de Fadiga para estruturas com revestimento de 100mm em aderência parcial

Estruturas	Consumo de Fadiga				
	80psi	100psi	110psi	120psi	130psi
<b>4</b>	210,1%	138,3%	116,8%	100,6%	88,2%
<b>5</b>	202,1%	136,0%	115,8%	101,3%	88,6%
<b>6</b>	196,1%	134,0%	115,0%	100,4%	89,0%
<b>10</b>	208,5%	137,9%	116,6%	100,6%	88,2%
<b>11</b>	214,6%	139,5%	117,3%	100,7%	88,0%
<b>12</b>	210,5%	138,5%	116,8%	100,6%	88,2%
<b>13</b>	220,5%	141,2%	118,1%	100,9%	87,6%
<b>14</b>	230,1%	143,9%	119,3%	101,0%	87,2%
<b>15</b>	224,6%	141,0%	117,0%	99,2%	89,7%
<b>16</b>	235,4%	145,3%	119,7%	101,0%	87,0%
<b>17</b>	222,8%	142,0%	118,4%	100,8%	87,6%
<b>18</b>	232,7%	144,4%	119,5%	101,0%	87,1%
<b>19</b>	240,3%	146,8%	120,2%	101,1%	86,8%
<b>20</b>	234,8%	145,0%	119,6%	101,0%	87,0%
<b>21</b>	236,4%	145,6%	119,9%	101,0%	86,9%
<b>MÉDIA</b>	221,3%	141,3%	118,0%	100,7%	87,8%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.



Quadro C.108 – Resumo do Consumo de Fadiga para estruturas com revestimento de 150mm em aderência parcial

Estruturas	Consumo de Fadiga				
	80	100	110	120	130
<b>7</b>	147,6%	117,0%	107,0%	99,0%	92,5%
<b>8</b>	146,0%	116,7%	107,2%	99,3%	93,0%
<b>9</b>	144,2%	116,3%	106,6%	99,3%	93,3%
<b>MÉDIA</b>	145,9%	116,7%	106,9%	99,2%	92,9%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.109 – Resumo do Consumo de Fadiga para estruturas com revestimento de 50mm sem aderência

Estruturas	Consumo de Fadiga				
	80	100	110	120	130
<b>1</b>	396,4%	187,5%	137,7%	104,6%	81,6%
<b>2</b>	370,8%	181,7%	135,3%	104,1%	82,2%
<b>3</b>	351,0%	176,9%	133,4%	103,7%	82,7%
<b>MÉDIA</b>	372,7%	182,0%	135,5%	104,2%	82,1%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.110 – Resumo do Consumo de Fadiga para estruturas com revestimento de 100mm sem aderência

Estruturas	Consumo de Fadiga				
	80	100	110	120	130
<b>4</b>	194,4%	133,7%	114,7%	100,3%	89,1%
<b>5</b>	188,5%	131,7%	113,9%	100,3%	89,5%
<b>6</b>	183,8%	130,3%	113,2%	100,2%	89,8%
<b>10</b>	190,5%	132,4%	114,2%	100,2%	89,4%
<b>11</b>	192,1%	132,8%	114,4%	100,4%	89,2%
<b>12</b>	195,1%	133,7%	114,7%	100,4%	89,0%
<b>13</b>	199,1%	134,9%	115,4%	100,4%	88,8%
<b>14</b>	202,5%	136,1%	115,8%	100,5%	88,6%
<b>15</b>	206,3%	137,0%	116,3%	100,5%	88,4%
<b>16</b>	211,2%	138,6%	117,0%	100,7%	88,1%
<b>17</b>	201,6%	135,7%	115,6%	100,8%	88,5%
<b>18</b>	210,9%	138,4%	116,9%	100,6%	88,2%
<b>19</b>	217,1%	140,4%	117,5%	100,7%	87,9%
<b>20</b>	215,9%	139,8%	117,4%	100,7%	87,9%
<b>21</b>	220,7%	141,4%	118,0%	100,8%	87,6%
<b>MÉDIA</b>	202,0%	135,8%	115,7%	100,5%	88,7%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Quadro C.110 – Resumo do Consumo de Fadiga para estruturas com revestimento de 150mm sem aderência

Estruturas	Consumo de Fadiga				
	80	100	110	120	130
<b>7</b>	144,7%	116,4%	106,8%	99,3%	93,2%
<b>8</b>	142,6%	115,6%	106,5%	99,3%	93,4%
<b>9</b>	141,1%	115,0%	106,4%	99,3%	93,5%
<b>MÉDIA</b>	142,8%	115,7%	106,6%	99,3%	93,3%

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

## ANEXO D

Quadro D.1 – Resumo das análises para correção da espessura nos casos de 1 a 22.

Casos	h1 (mm)	E1 (MPa)	h2 (mm)	E2 (MPa)	h3 (mm)	E3 (MPa)	E4 (MPa)	et (micro) - 80psi	h1 corrigido	et (micro) - 120psi	Fator f
1	50	3000	150	300	150	150	50	279,7	103	279	1,06
2	50	3500	150	300	150	150	50	275,5	97	273,7	0,94
3	50	4000	150	300	150	150	50	270,5	91	270,9	0,82
4	50	3500	150	500	150	350	50	157,9	130	156,7	1,60
5	50	3500	150	500	150	350	70	161,7	124	161,3	1,48
6	50	3500	150	500	150	350	100	165,4	119	165,2	1,38
7	50	3500	200	500	200	350	50	154,2	125	152,4	1,50
8	50	3500	200	500	200	350	70	158	120	157,6	1,40
9	50	3500	200	500	200	350	100	161,9	117	160,8	1,34
10	70	3000	150	300	150	150	50	278,1	104	276,8	0,49
11	70	3500	150	300	150	150	50	267,3	100	267,2	0,43
12	70	4000	150	300	150	150	50	257,2	97	257,8	0,39
13	70	3500	150	500	150	350	50	171,3	117	171,3	0,67
14	70	3500	150	500	150	350	70	172,3	115	172	0,64
15	70	3500	150	500	150	350	100	173,2	112	173,9	0,60
16	70	3500	200	500	200	350	50	163,4	115	163,8	0,64
17	70	3500	200	500	200	350	70	165,3	114	164,8	0,63
18	70	3500	200	500	200	350	100	167,2	112	167	0,60
19	100	3000	150	300	150	150	50	241,5	122	241,1	0,22
20	100	3500	150	300	150	150	50	228	120	228	0,20
21	100	4000	150	300	150	150	50	216,2	119	215,5	0,19
22	100	3500	150	500	150	350	50	152,6	134	152,5	0,34

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Quadro D.2 – Resumo das análises para correção da espessura nos casos de 23 a 45.

Casos	h1 (mm)	E1 (MPa)	h2 (mm)	E2 (MPa)	h3 (mm)	E3 (MPa)	E4 (MPa)	et (micro) - 80psi	h1 corrigido	et (micro) - 120psi	Fator f
23	100	3500	150	500	150	350	70	157,2	127	157,9	0,27
24	100	3500	150	500	150	350	100	155,9	127	155,8	0,27
25	100	3500	200	500	200	350	50	148,5	130	147,1	0,30
26	100	3500	200	500	200	350	70	149	127	149,2	0,27
27	100	3500	200	500	200	350	100	149	127	149,2	0,27
28	150	3000	150	300	150	150	50	178,3	164	177,5	0,09
29	150	3500	150	300	150	150	50	165,9	163	165,3	0,09
30	150	4000	150	300	150	150	50	155,4	162	155,2	0,08
31	150	3500	150	500	150	350	50	123,2	166	123,6	0,11
32	150	3500	150	500	150	350	70	120,9	167	120,3	0,11
33	150	3500	150	500	150	350	100	118,4	166	118,5	0,11
34	150	3500	200	500	200	350	50	114,3	167	114,4	0,11
35	150	3500	200	500	200	350	70	113,4	167	113,3	0,11
36	150	3500	200	500	200	350	100	112,4	167	112,1	0,11
37	200	3000	150	300	150	150	50	132,3	209	132,6	0,05
38	200	3500	150	300	150	150	50	122,1	209	122	0,05
39	200	4000	150	300	150	150	50	113,6	209	113,1	0,05
40	200	3500	150	500	150	350	50	94,5	211	94,5	0,06
41	200	3500	150	500	150	350	70	92	211	92	0,06
42	200	3500	150	500	150	350	100	89,3	211	89,4	0,06
43	200	3500	200	500	200	350	50	87,3	212	87,3	0,06
44	200	3500	200	500	200	350	70	86	211	86,3	0,06
45	200	3500	200	500	200	350	100	84,6	212	84,4	0,06

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021

