



AULA 08 – Estudos de Tráfego: Equivalência entre cargas e número N

PTR 3322 - Pavimentação Rodoviária

Profa. Kamilla Vasconcelos

Profa. Dra. Liedi Bernucci



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

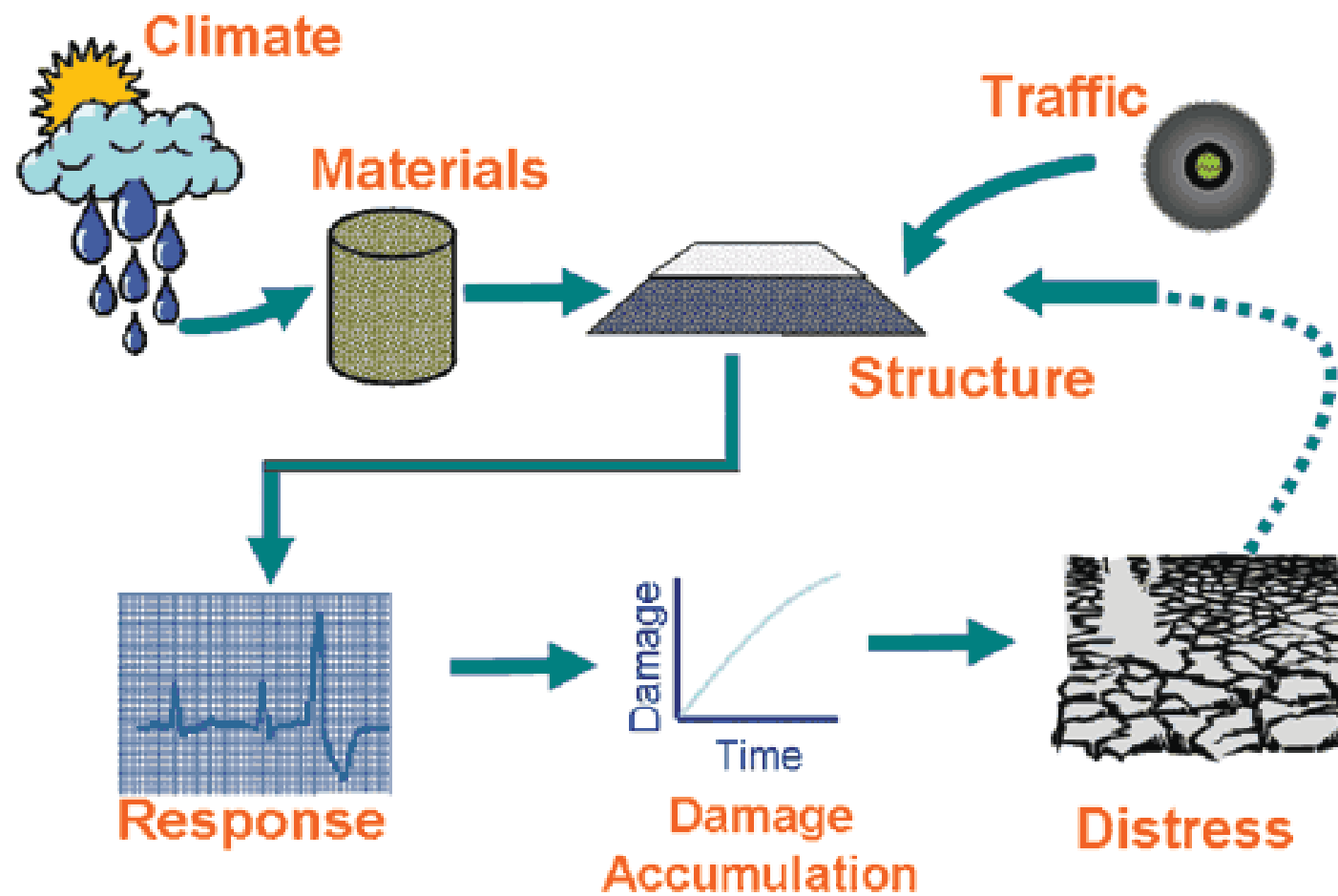
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE

TRANSPORTES



Introdução

Gestão de Pavimentos: Tráfego



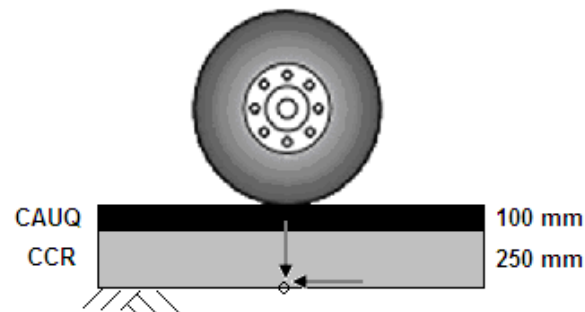


Tráfego Rodoviário





Tráfego Rodoviário



Tipo de roda	Carga e pressão	Deformação total (10^{-2} mm)	Tensão de tração na base (MPa)	Tensão de compressão no subleito (MPa)
Caminhão	30 kN e 0,65 MPa	9,7	0,41	-0,01
Aeronave	250 kN e 1,3 MPa	66,6	2,87	-0,07
Automóvel	5 kN e 0,2 MPa	1,9	0,07	-0,002



Tráfego Rodoviário

Tráfego é um dos mais **importantes fatores** no projeto de pavimentos.

A avaliação do seu efeito sobre os pavimentos é **tarefa complexa** e constitui uma das maiores dificuldades para tornar **racional o projeto** deste tipo de estrutura.

Fatores que concorrem para a complexidade do problema incluem:

- **Heterogeneidade das configurações dos eixos** dos veículos que compõem a frota;
- **Variações** nos valores das **cargas** de eixo e **pressões** de inflação dos pneumáticos, bem como variações destas ao longo do período de projeto;
- Variações na **velocidade** das cargas de eixo, condicionadas pela geometria da via e volume de tráfego;
- Efeito do **meio ambiente** (temperatura e umidade);
- Comportamento dos **materiais** das camadas do pavimento e do subleito.



Tráfego Rodoviário

DNIT

Publicação IPR - 723

MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO

2006

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO-GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS



Tráfego Rodoviário

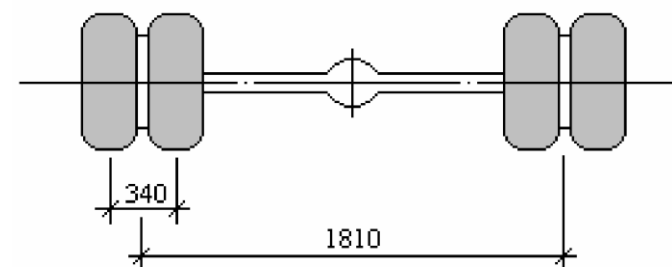
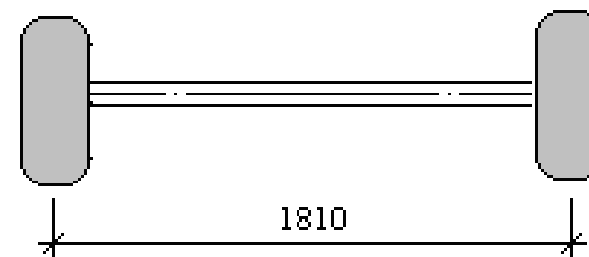
Principais eixos:

- Eixo simples de roda simples (ESRS)
- Eixo simples de roda dupla (ESRD)
- Eixo tandem duplo (ETD)
- Eixo tandem triplo (ETT)



Tráfego Rodoviário

Eixos simples

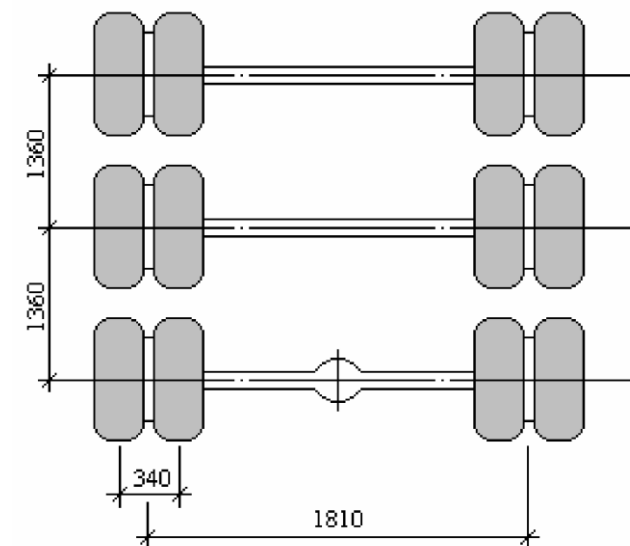
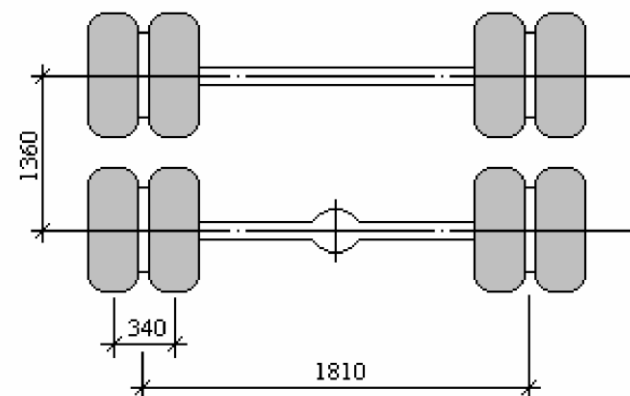


Apud: José Tadeu Balbo



Tráfego Rodoviário

Eixos tandem



Apud: José Tadeu Balbo



Tráfego Rodoviário

Pesos máximos permitidos (artigo 82)	Por eixos (t)	PBT/PBTC (t)
 	(6 + 10)	16
	(6 + 17)	23
 	(6 + 13,5)	19,5
	(6 + 25,50)	31,5 (*)
 	(6 + 10 + 10)	26
	(6 + 10 + 17)	33
	(6 + 10 + 20)	36
	(6 + 17 + 17)	40
	(6 + 17 + 20)	43
	(6 + 10 + 25,5)	41,5
	(6 + 10 + 30)	46 (**)
	(6 + 17 + 25,5)	48,5 (**)
	(6 + 13,5 + 25,5)	45 (***)
	(6 + 17 + 30)	53 (**)
 	(6 + 10 + 10 + 10)	36
 	(6 + 10 + 10 + 17)	43
 	(6 + 17 + 10 + 10)	43
 	(6 + 17 + 10 + 17)	50 (**)
<p>Obs.: As cargas por eixo não podem exceder as especificações dos fabricantes (Artigo 79). Os PBTC, devem ser sempre inferiores ou iguais à capacidade máxima de tração constante no certificado do veículo (Artigo 79). Haverá uma tolerância de 5% por eixo, conforme lei n.º 7 408 de 25/12/85.</p>		
<p>(*) Só para alguns veículos adaptados anteriormente ao memorando DNER 150/78. (**) Limitados ao máximo PBTC de 45 t conforme Artigo 82. (***) Conforme Artigo 82, item VI</p>		

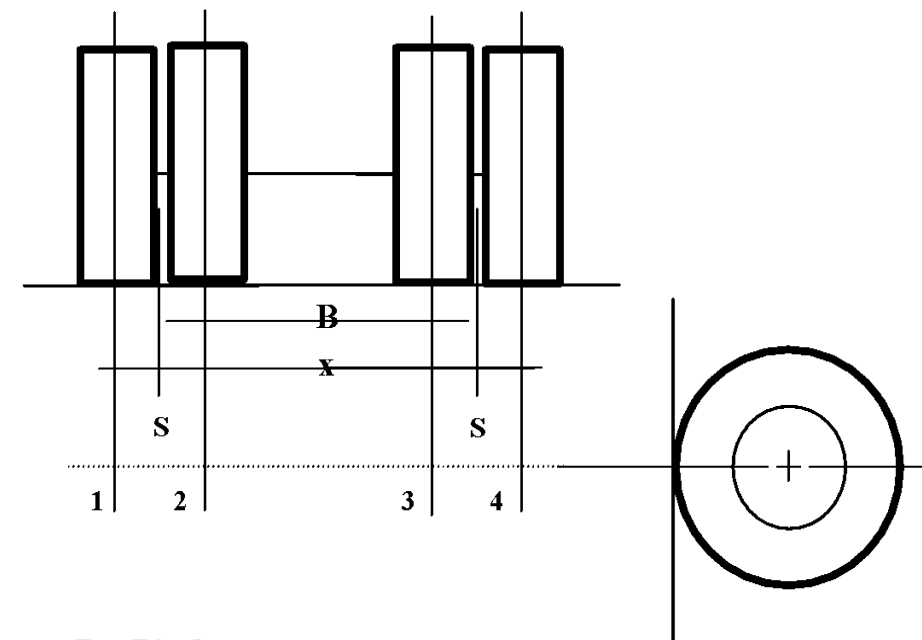


Tráfego Rodoviário

EIXO PADRÃO - Número de Repetições

O pavimento é muitas vezes dimensionado pelo número de repetições de um eixo padrão (**8,2 tf = 80 kN**).

Quando a carga não é igual à carga padrão ou consiste num eixo em tandem duplo ou triplo, esta é **convertida** por um **Fator de Equivalência de Carga**.



B – Bitola

S – Distância entre os centros das áreas de contato das componentes de uma roda dupla

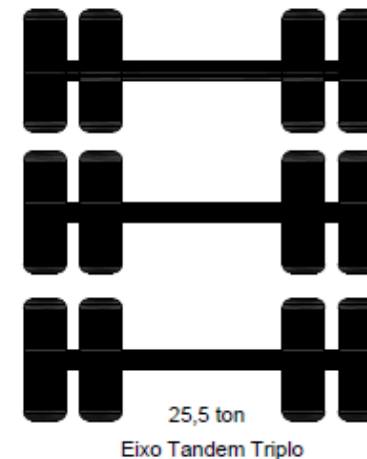
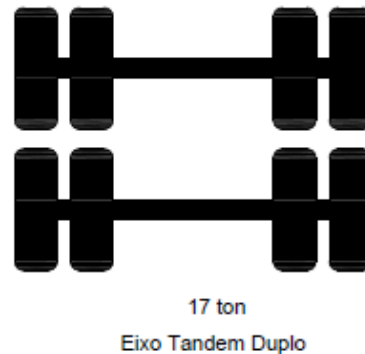
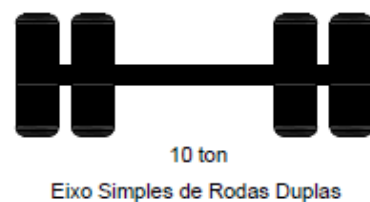
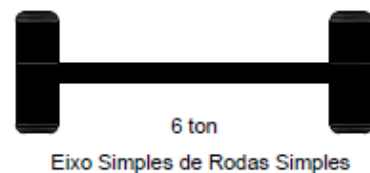
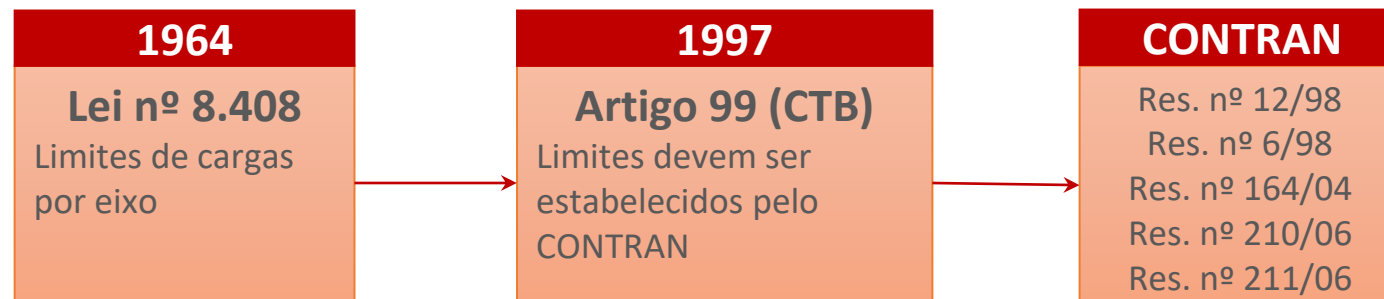
Eixo padrão simples de roda dupla (ESRD)



Tráfego Rodoviário

Lei da Balança

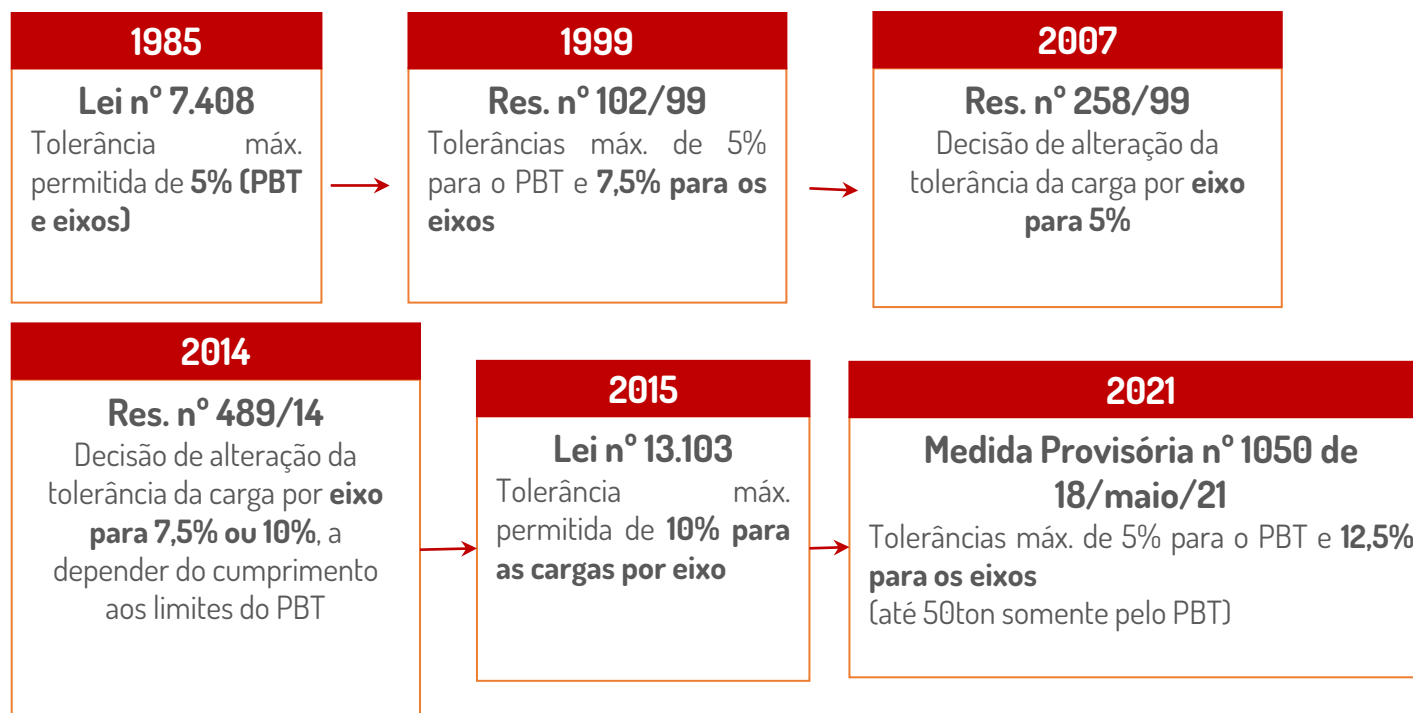
Estabelecimento de limites de peso e dimensões





Lei da Balança

Estabelecimento de tolerância máxima





Tráfego Rodoviário

MEDIDA PROVISÓRIA Nº 1.050, DE 18/05/2021

Altera a Lei nº 7.408, de 25 de novembro de 1985, e a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro.

Artigo 1º.

I - **5%** sobre os limites de **peso bruto total**;

II **12,5%** sobre os limites de **peso bruto transmitido por eixo** de veículos à superfície das vias públicas.

§ 1º Para fins de fiscalização de veículos com **peso bruto total igual ou inferior a 50 toneladas**, admite-se tolerância **superior** à prevista no inciso II do caput (12,5% no eixo), desde que respeitados a tolerância prevista no inciso I do caput (5% sobre os limites de peso bruto total) e o limite técnico por eixo definido pelo fabricante.

Art. 3º Esta Lei vigorará até 30 de abril de 2022



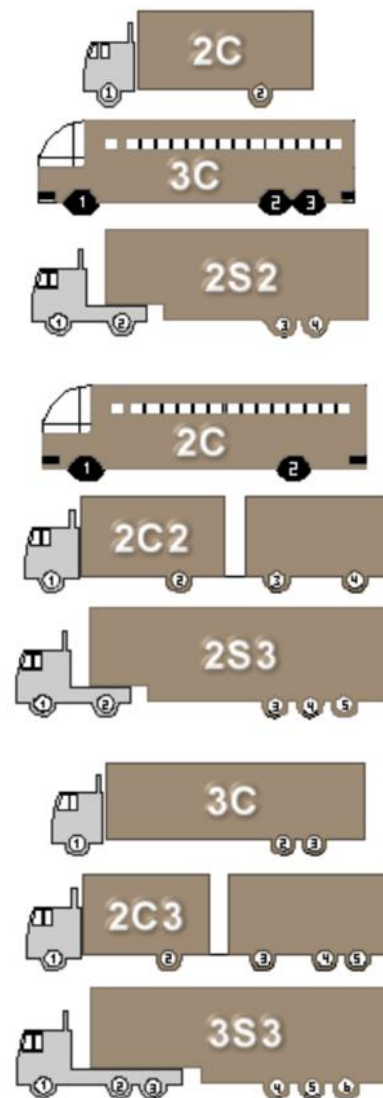
Fator de Equivalência de Carga (FEC)

FEC define o “**dano**” causado pela passagem sobre um pavimento de um **eixo em questão** quando comparado ao “**dano**” causado pela passagem do **eixo padrão**.

FEC = 9 está associado a um eixo cuja passagem representa a passagem de 9 eixos padrão.

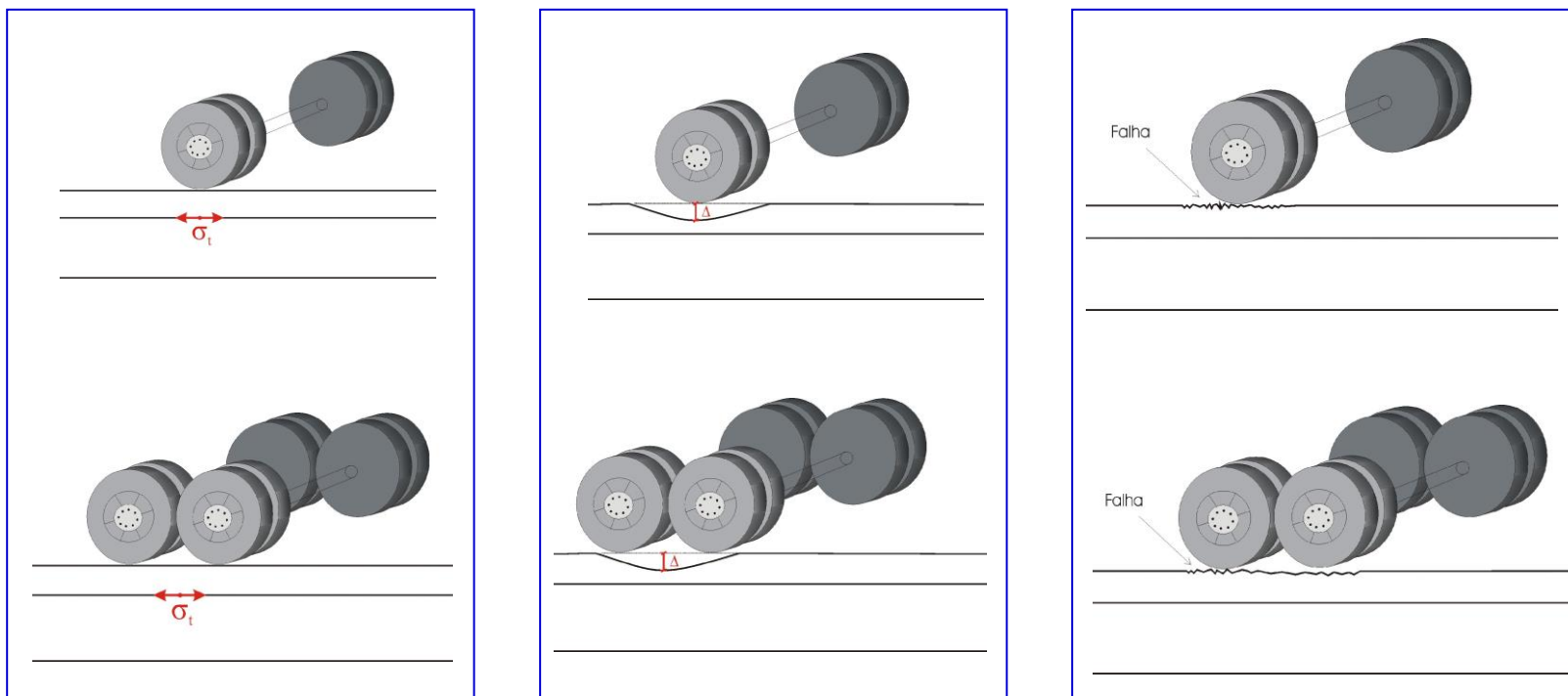
Portanto,

- eixos simples com **carga** $> 8,2 \text{ tf}$ terão **FEC** > 1 , e
- eixos simples com **carga** $< 8,2 \text{ tf}$ terão **FEC** < 1





Fator de Equivalência de Carga



FEC tradicionais (USACE) Turnbull et al. (1962):

Afundamento plástico no subleito, a 70 cm de profundidade, tendo como limite o padrão de 1 polegada.



Fator de Equivalência de Carga

- O dimensionamento da estrutura de pavimento é sensível à ordem de grandeza do parâmetro que simula a ação do tráfego, por sua vez função dos **Fatores de Equivalência de Cargas (FEC)** usados para **converter** os **números de solicitações das diversas cargas de eixo** em **números equivalentes de solicitações de eixo padrão**.
- **FEC's do método do DNER/DNIT** são os mesmos propostos pelo **USACE** (Corpo de Engenheiros Americanos).

Tipo de Eixo	Faixas de Cargas (tf)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FEC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FEC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$
	≥ 11	$FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$
Tandem triplo	0 – 18	$FEC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FEC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo



Fator de Equivalência de Carga

Fatores do DNER PRO 159/85 (AASHTO)

Tipo de Eixo	Equações (para P em kN)	Equações (para P em tf)
Simples de Rodagem Simples	$F_{(SS)} = \left(\frac{P}{76,20} \right)^{4,32}$	$F_{(SS)} = \left(\frac{P}{7,77} \right)^{4,32}$
Simples de Rodagem Dupla	$F_{(SD)} = \left(\frac{P}{80,12} \right)^{4,32}$	$F_{(SD)} = \left(\frac{P}{8,17} \right)^{4,32}$
Tandem Duplo (Rodagem Dupla)	$F_{(TD)} = \left(\frac{P}{147,88} \right)^{4,14}$	$F_{(TD)} = \left(\frac{P}{15,08} \right)^{4,14}$
Tandem Triplo (Rodagem Dupla)	$F_{(TT)} = \left(\frac{P}{225,06} \right)^{4,22}$	$F_{(TT)} = \left(\frac{P}{22,95} \right)^{4,22}$

Onde:

P = Peso bruto total sobre o eixo.



Número N

O projeto de pavimentos é baseado no número total de passagens do eixo padrão durante o período de projeto. Para traduzir todos os eixos em termos do eixo padrão é necessária a utilização de **Fatores de Equivalência de Carga (FEC)**.

Os **FEC's** mais utilizados são:

USACE (*United States of America Corps of Engineers*)

AASHTO (*American Assoc. of State and Highway Transportation Officials*).

O **FEC** define o “**dano**” causado pela passagem sobre um pavimento de um eixo em questão quando comparado ao “dano” causado pela passagem do eixo simples de roda dupla de **8,2 tf** (**eixo padrão**).



Fator de Carga

Enquanto o **FEC** trata da correspondência entre **um** único **conjunto de eixo** (simples, duplo ou triplo) e o eixo padrão simples de roda dupla, **FC** é relativo a **todos os conjuntos de eixo** que operam na via

FC é um FEC ponderado pelos diversos conjuntos de eixo da frota de veículos
(Conceito associado à frota)

Eixos Simples (tf)	Frequência na amostra	Porcentagem (P_j)	FEC_j^*	Equivalência de Operações ($P_j \times FEC_j$)
t_1	n_1	P_{j1}	FEC_1	$P_{j1} \times FEC_1$
t_2	n_2	P_{j2}	FEC_2	$P_{j2} \times FEC_2$
...
Eixos Tandem(tf)				
t'_1	n'_1	P'_{j1}	FEC'_1	$P'_{j1} \times FEC'_1$
t'_2	n'_2	P'_{j2}	FEC'_2	$P'_{j2} \times FEC'_2$
...
		100		FC





Fator de Eixo

- **Conceito associado à frota**, e não a cada categoria de veículo

$$FE = n/V_t$$

n = número total de **eixos** da frota

V_t = volume total do tráfego na amostragem



$$FE = (p_2/100) \times 2 + (p_3/100) \times 3 + \dots + (p_n/100) \times n$$

p_2 = % veículos de 2 eixos

p_3 = % veículos de 3 eixos

p_n = % veículos de n eixos

Semi-reboque 2S3

5 eixos ou 3 eixos?





Equivalência de Operações

Trabalho original (Turnbull et al., 1962)

- Não é definido especificamente um FC ou um FE
- **Total de Equivalência de Operações** = $FE \times FC \times VMDa$
desde que FE seja calculado através do **conjunto de eixos**

Eixos Simples (tf)	FEC_j^*	Operações por dia	Equivalência de Operações ($O_j \times FEC_j$)
t_1	FEC_1	O_1	$O_1 \times FEC_1$
t_2	FEC_2	O_2	$O_2 \times FEC_2$
...	...		
Eixos Tandem (tf)			
t'_1	FEC'_1	O'_1	$O'_1 \times FEC'_1$
t'_2	FEC'_2	O'_2	$O'_2 \times FEC'_2$
...
Total de Equivalência de Operações			$\Sigma (O_i \times FEC_i)$

* Chamado FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES no trabalho original



Fator de Veículo

- Métodos iguais desde que FE seja calculado com base nos "**CONJUNTOS DE EIXO**"
- Encontra-se por vezes o uso do conceito de "eixos individuais" para cálculo de **FE**
- As duas expressões de FV podem levar a valores diferentes (impacto no número N)

a) $FV = FE \times FC$ (conceito de **frota**)

b) $FV = \sum (P_i \times FV_i) / 100$ (conceito de **categoria de veículo**) Queiróz (1982) – pesquisa ICR – FEC da AASHTO

TIPO DE EIXO

CATEGORIA
DE VEÍCULO





Fator de Veículo

É importante ainda observar que o **FV** será bastante diferente caso se considere somente a **frota de veículos comerciais** ou se considere o **tráfego total**, incluindo os veículos de menor peso e conseqüentemente **FEC's desprezíveis**.



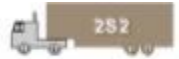


Vale alertar para que se mantenha coerência na determinação do **número N**, ou seja, no caso de se calcular o **FV a partir do tráfego total deve-se usar o VMD total**. No caso de calcular-se o **FV a partir apenas dos veículos comerciais**, deve-se considerar o **VMD relativo aos veículos comerciais**.

QUALQUER UM DOS DOIS PROCEDIMENTOS LEVARÁ AO MESMO NÚMERO N.



Exemplo de cálculo

VMDa por categoria de veículo (TOTAL = 475):

	2C = 140 (2 eixos individuais / 2 conjunto de eixos)
	3C = 196 (3 eixos individuais / 2 conjunto de eixos)
	2S2 = 9 (4 eixos individuais / 3 conjunto de eixos)
	2S3 = 115 (5 eixos individuais / 3 conjunto de eixos)
	3S3 = 15 (6 eixos individuais / 3 conjunto de eixos)

Categoria	Pesos por Conjunto de Eixo			FEC _j		
	CE1	CE2	CE3	CE1	CE2	CE3
2C	6 tf	10 tf	-	0,278	3,289	-
3C	6 tf	17 tf	-	0,278	8,549	-
2S2	6 tf	10 tf	17 tf	0,278	3,289	8,549
2S3	6 tf	10 tf	25,5 tf	0,278	3,289	9,300
3S3	6 tf	17 tf	25,5 tf	0,278	8,549	9,300



Exemplo de cálculo

FATOR DE EIXO

- 1.569 eixos individuais: $FE = n/VMD = 1.569/475 = 3,3$

- 1.089 conjuntos de eixo: $FE = n/VMD = 1.089/475 = 2,3$

Categoria	VMDa	No. Eixos Individuais	No. Eixos Individuais × VMDa	No. Conj. Eixos	No. Conj. Eixos × VMDa
2C	140	2	280	2	280
3C	196	3	588	2	392
2S2	9	4	36	3	27
2S3	115	5	575	3	345
3S3	15	6	90	3	45
	475		1.569		1.089

FATOR DE VEÍCULO

8,6

FATOR DE CARGA

$FC = \sum (n_i \times FEC_j) / \text{total de eixos individuais} = 4.090/1.569 = 2,6$

$FC = \sum (n_i \times FEC_j) / \text{total conjuntos de eixos} = 4.090/1.089 = 3,8$



Exemplo de cálculo

FV_i para cada **categoria de veículo** é a soma dos FEC_j para cada conjunto de eixo daquela categoria

Categoria	CE1	CE2	CE3	FV_i
2C	0,278	3,289	-	3,567
3C	0,278	8,549	-	8,827
2S2	0,278	3,289	8,549	12,116
2S3	0,278	3,289	9,300	12,867
3S3	0,278	8,549	9,300	18,127

Categoria	VMDa	P_i (%)	FV_i	$P_i \times FV_i$
2C	140	29,47	3,567	105,14
3C	196	41,26	8,827	364,22
2S2	9	1,89	12,116	22,96
2S3	115	24,21	12,867	311,52
3S3	15	3,16	18,127	57,24
	475	100		861,08

$$FV = 8,6$$



Exemplo de cálculo

Determinação do número N

O número N no ano inicial é determinado por:

$$N_{\text{presente}} = 365 \times \text{VMDa} \times \boxed{\text{FE} \times \text{FC}} \times \text{Ff} \times \text{Fs} \times \text{Fd}$$

FV

onde,

- VMDa = volume médio diário anualizado no sentido mais solicitado
- FV = Fator de veículo
- **Ff = Fator de frota (comerciais/total)**
- **Fs = Fator de sentido**
- **Fd = Fator de distribuição (faixa de projeto)**



$$N_{\text{futuro}} = N_{\text{presente}} \times \frac{(1 + P.t)^2 - 1}{2t}$$

Linear

$$N_{\text{futuro}} = N_{\text{presente}} \times \frac{(1 + t)^P - 1}{\ln(1 + t)}$$

Geométrico

onde,

- P = período de projeto em anos;
- t = taxa de crescimento de tráfego.



Excesso de Carga

Possíveis consequências do excesso de carga

- **Manutenções e reabilitações antes do previsto** inicialmente em projeto.
- Aumento dos **custos operacionais dos veículos** (pneus danificados mais rapidamente, aumento do consumo de óleo e combustível, freios e suspensões serão mais exigidos).
- Aumento do **risco de acidentes** nas estradas.



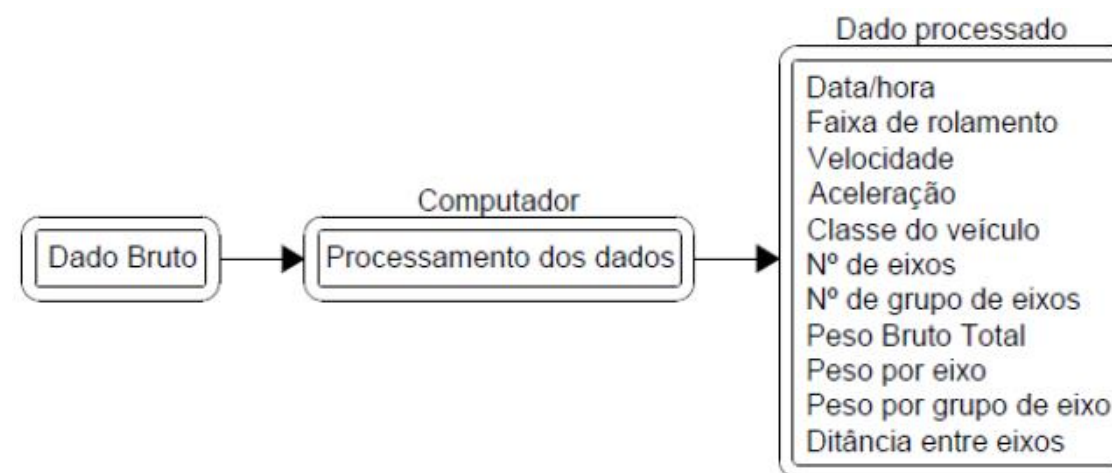


Pesagem em movimento

Sensores piezoelétricos com 2,73 m de comprimento, **laços indutivos** para identificação de presença de veículos, **sensores de temperatura** posicionados a 1,5 cm de profundidade e **equipamento para coleta e registro dos dados**











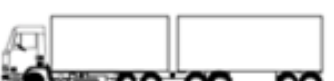
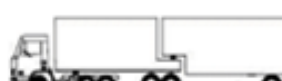

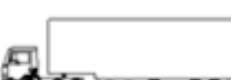



AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS



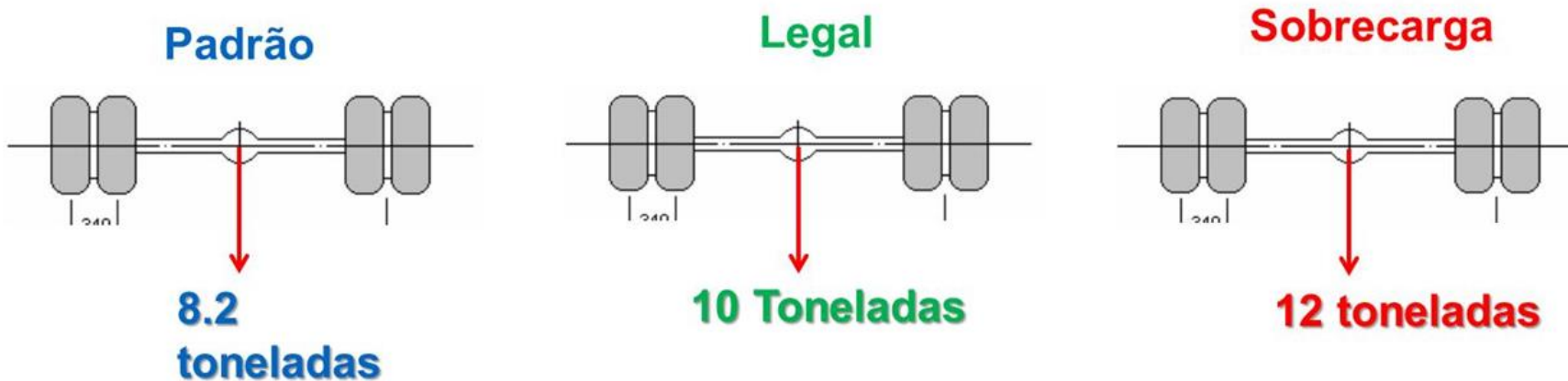


Pesagem em movimento

A		3C/3CD/3DC/3BB/3BC/3CB	I		3M6/3Q6
B		2C/2CB	J		3S2/32D
C		3S3/3D3	K		2I2/2C2/2DL/2BI/2BR/2RB/2BB
D		2S2/2B2/2BD/2DB	L		2S1/2B1
E		2S3	M		3I2/3DL/3D2/3DD/3DJ/3C2/3IB
F		3D4/34D/3T4/3TD	N		3LD/3DT
G		3I3/3ID/3DN/3N3	O		3I1/3DI/33D/3C3/3JD
H		4DD/4DC/4CD/4CB/4DB/4CB/4BD			



Pesagem em movimento

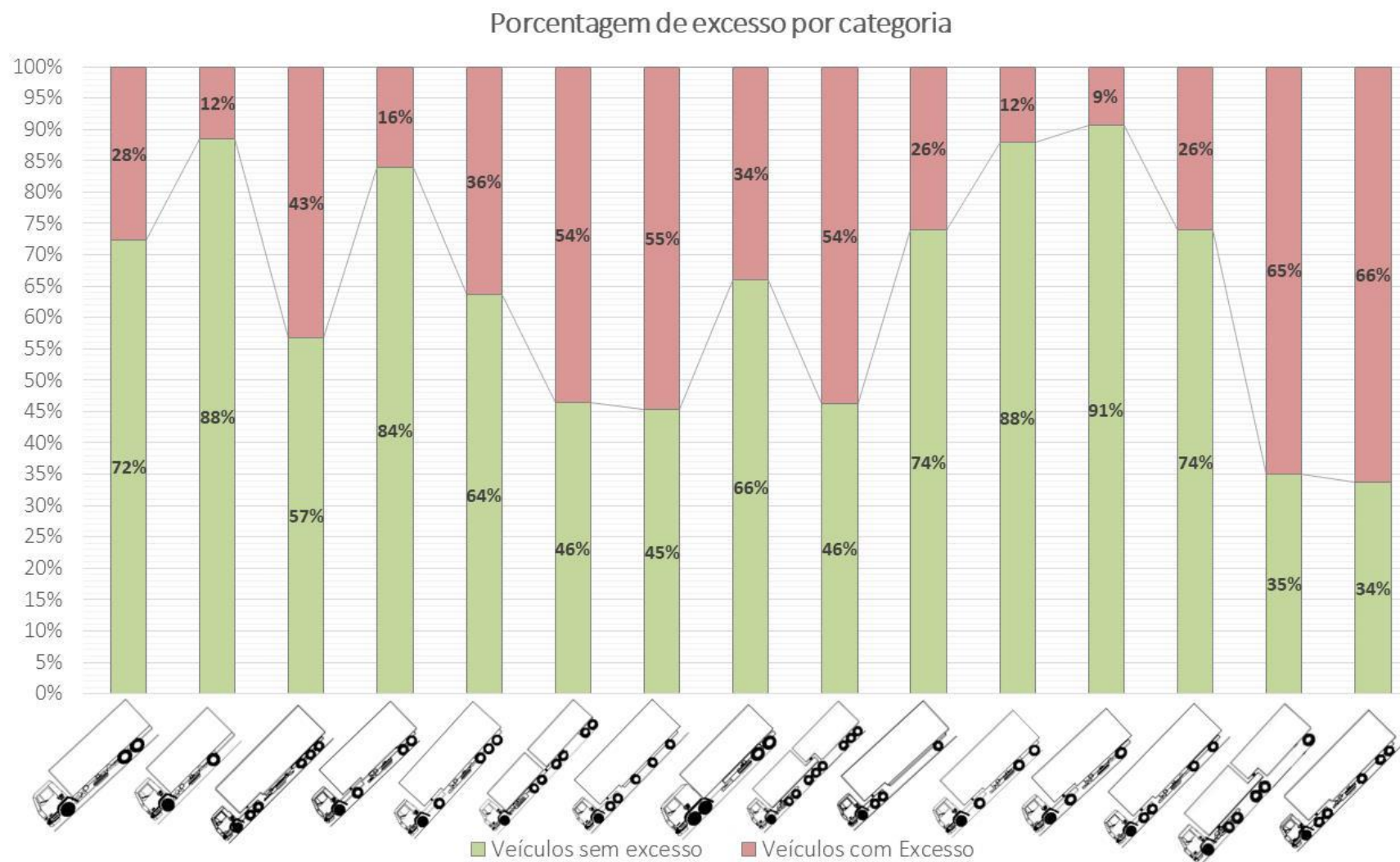


10 toneladas= 2.2 vezes mais danoso que o padrão (Dano relativo à qualidade de rolamento)

12 toneladas= 5 vezes mais danoso que o padrão (Dano relativo à qualidade de rolamento)

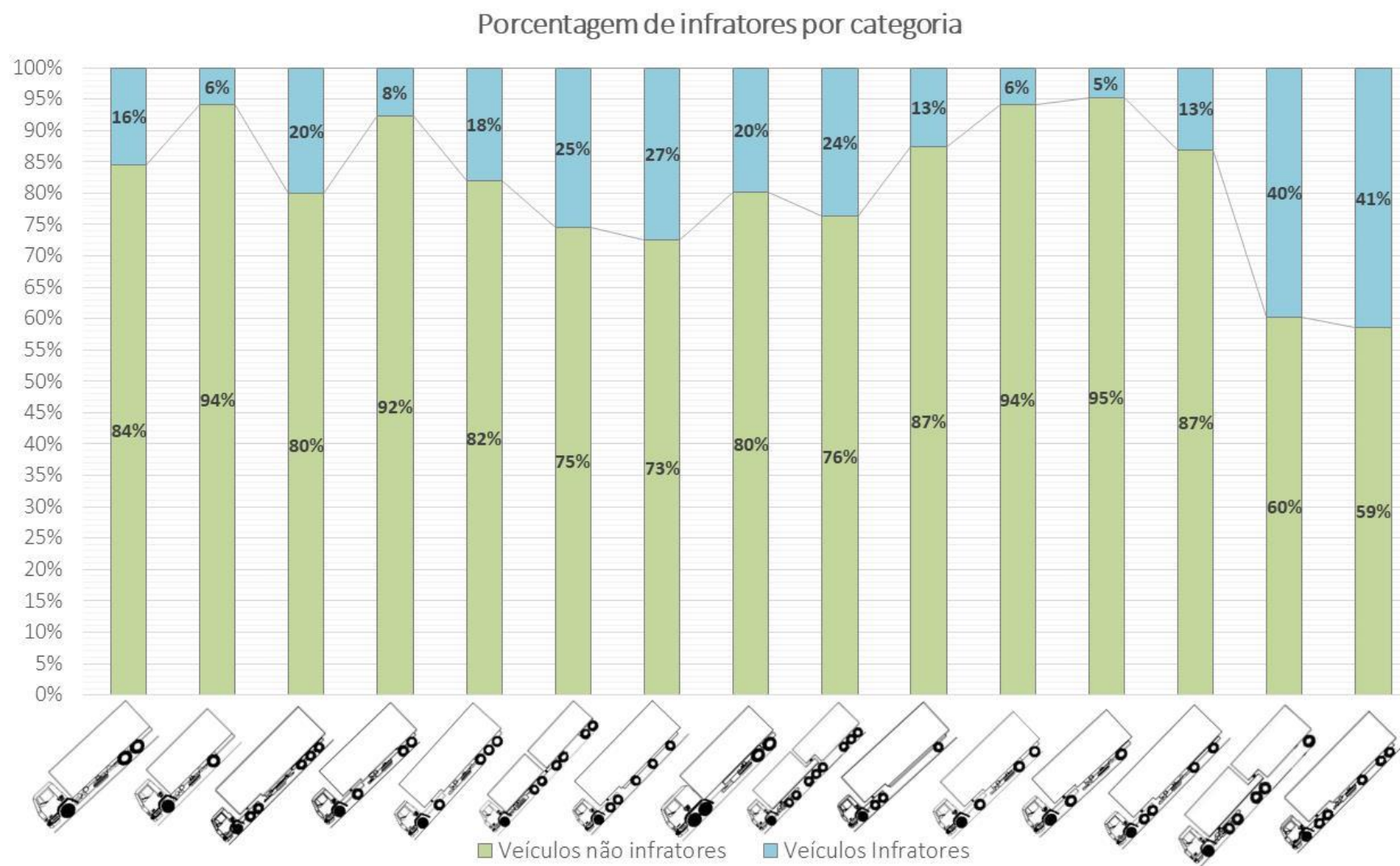


Pesagem em movimento – Excesso de carga





Pesagem em movimento – Infratores

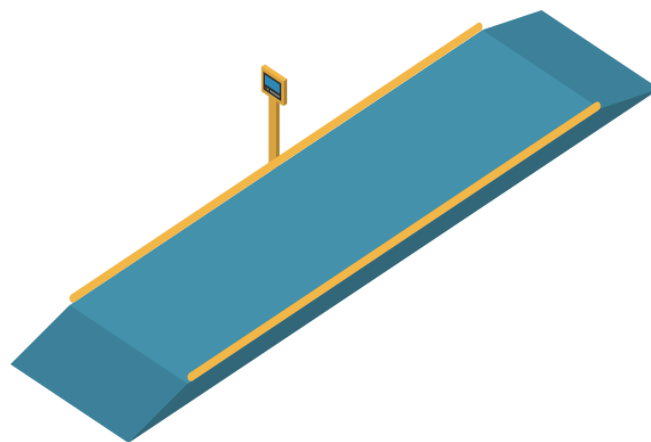




Dados de pesagem

Balança seletiva

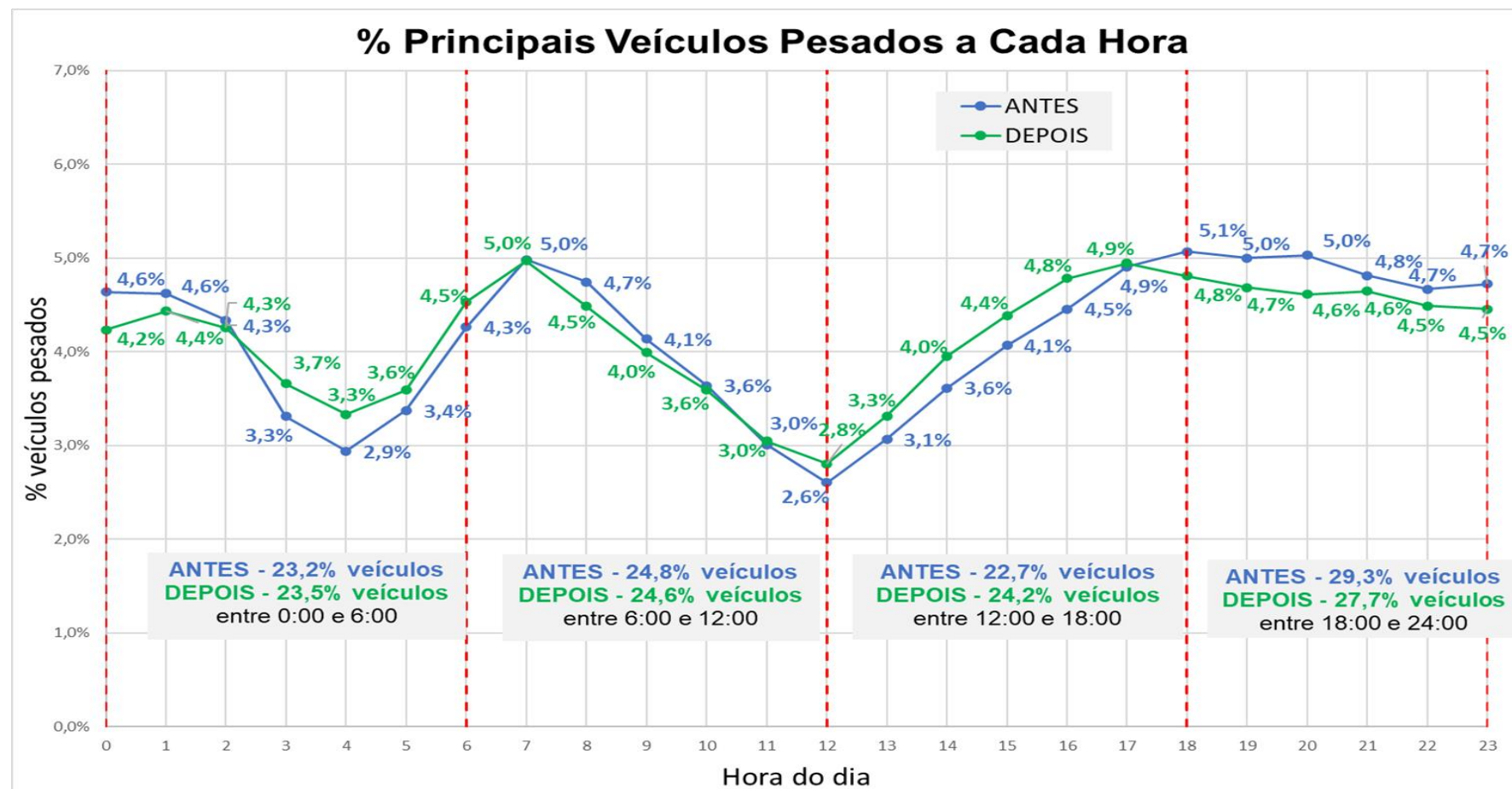
- Dados de 36 meses antes da alteração da lei (07/2011 a 06/2014);
- Dados de 36 meses depois da alteração da lei (07/2014 a 06/2017);
- Período total: **6 anos**
- Dados da balança seletiva, esta garante que todos os veículos pesados circulantes tiveram seus eixos aferidos;
- Amostra representativa estatisticamente e que garante a análise da sazonalidade anual.



Doutorado - Flaviane Melo
Lopes Vallejo (2021)



Quantidade de Veículos por Cada Hora do Dia e Dia da Semana



▶ Quinta-feira
18:00 e 24:00

Dia da Semana	Antes	Depois
Segunda-feira	13,5%	14,2%
Terça-feira	16,2%	16,3%
Quarta-feira	17,1%	17,1%
Quinta-feira	17,9%	17,3%
Sexta-feira	15,1%	14,2%
Sábado	9,5%	9,6%
Domingo	10,7%	11,2%

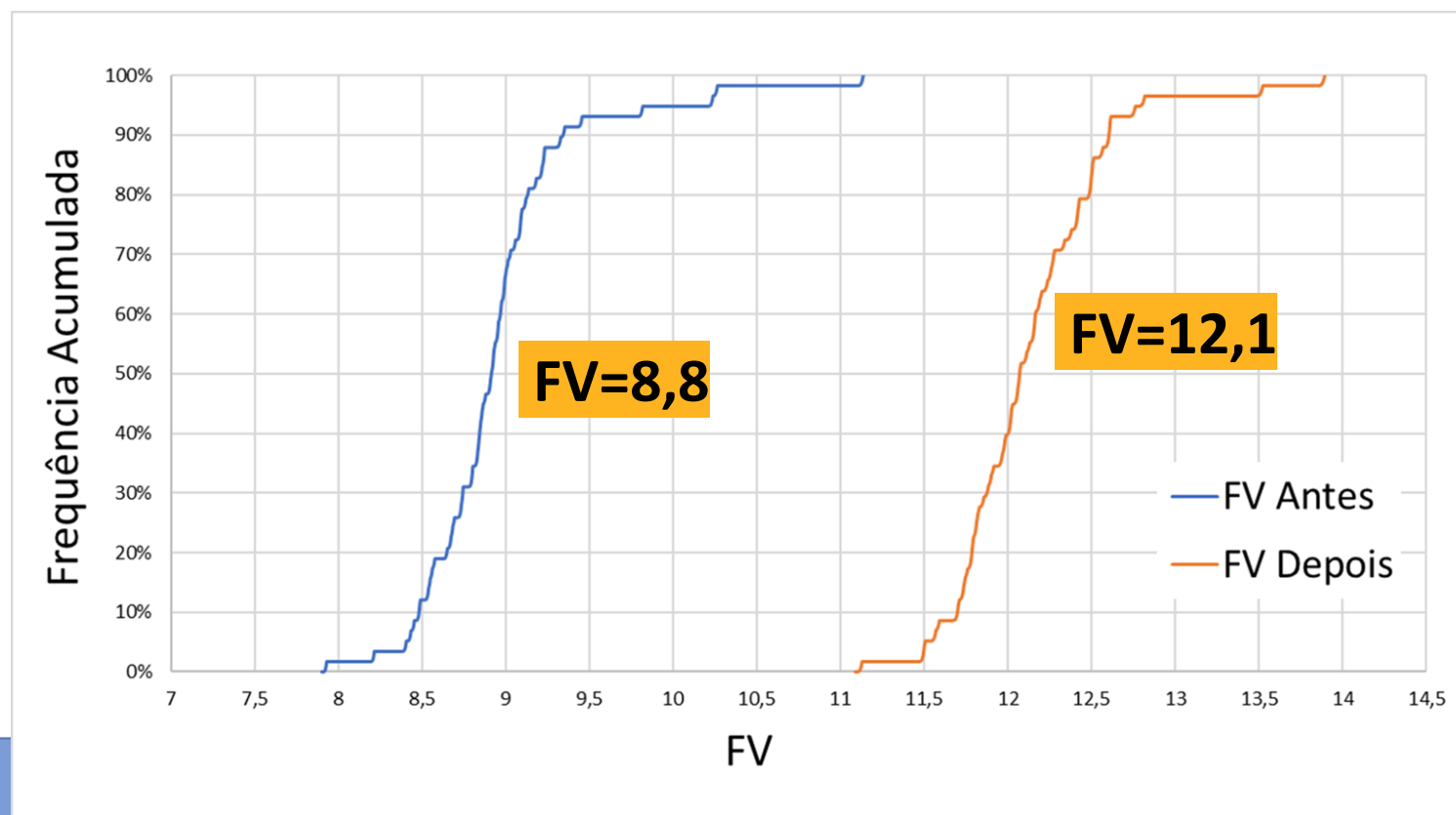
Prof. Kamilla Vasconcelos

Doutorado - Flaviane Melo Lopes Vallejo (2021)



Metodologia de Determinação do FV pela Abordagem Probabilística

- Etapa 5 – Simulação Monte Carlo para Cálculo Probabilístico do FV
- Simuladas 10.000 variações dos parâmetros do modelo de cada veículo.



Prof. Kamilla Vasconcelos



Conclusão

Tolerância 7,5% na CML até 06/2014

Tolerância 10% na CML a partir 07/2014



Acréscimo de
2,5%

na faixa de tolerância de
carga por eixo



Ocasionou, para a rodovia analisada no estudo de caso, um aumento médio no dano ao pavimento, correspondente no

FV em 35%.



EXERCÍCIOS EM GRUPO



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



EXERCÍCIO 4

	Número de ônibus	horas	Total
3 horas de pico			
13 horas do dia			
8 horas noturnas			
Total			



EXERCÍCIO 4

	Número de ônibus	horas	Total
3 horas de pico	80	3	240
13 horas do dia	40	13	520
8 horas noturnas	5	8	40
Total			800



EXERCÍCIO 4

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) $pi=ni/Sni$	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS					
ESRD					
ETD					
ETT					
TOTAL	Σni		100%	EO= FC=EO/100=	$\Sigma(FECi \times pi)$



EXERCÍCIO 4

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	4	560	35		
	5	240	15		
ESRD	6	560	35		
	10	240	15		
ETD					
ETT					
TOTAL	Σni 1600		100% 100		



EXERCÍCIO 4

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	4	560	35	0,05450891	
	5	240	15	0,13359909	
ESRD	6	560	35	0,2779164	
	10	240	15	3,28946651	
ETD					
ETT					
TOTAL	Σni 1600		100% 100	EO= FC=EO/100=	



EXERCÍCIO 4

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	4	560	35	0,05450891	1,907812015
	5	240	15	0,13359909	2,003986407
ESRD	6	560	35	0,2779164	9,727073841
	10	240	15	3,28946651	49,34199766
ETD					
ETT					
TOTAL	Σni 1600		100% 100	EO= FC=EO/100=	$\Sigma(FECi \times pi)$ 0,629808699



EXERCÍCIO 4

$$N = 365 \times \text{VDM} \times \frac{(1 + P \times t)^2 - 1}{2t} \times \text{FV} \times \text{Ff} \times \text{Fs} \times \text{Fd}$$

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
800	1600			

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
260	800	10	0,02						



EXERCÍCIO 4

$$N = 365 \times \text{VDM} \times \frac{(1 + P \times t)^2 - 1}{2t} \times \text{FV} \times \text{Ff} \times \text{Fs} \times \text{Fd}$$

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
800	1600	2	0,629808699	1,2596174

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
260	800	10	0,02	1,2596174					



EXERCÍCIO 4

$$N = 365 \times \text{VDM} \times \frac{(1 + P \times t)^2 - 1}{2t} \times \text{FV} \times \text{Ff} \times \text{Fs} \times \text{Fd}$$

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
800	1600	2	0,629808699	1,2596174

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
260	800	10	0,02	1,2596174	1	1	1		



EXERCÍCIO 4







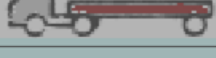

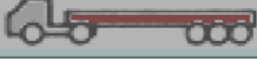




$$N = 365 \times \text{VDM} \times \frac{(1 + P \times t)^2 - 1}{2t} \times \text{FV} \times \text{Ff} \times \text{Fs} \times \text{Fd}$$

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
800	1600	2	0,629808699	1,2596174

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
260	800	10	0,02	1,2596174	1	1	1	2882004,6	2,88E+06



EXERCÍCIO 5.1

Tipo	Configuração	Eixos de Projeto	Classificação
Automóvel		-	
Ônibus		ESRS; ESRD ou ESRS+ESRD	2C
Utilitário		-	
Caminhão		ESRS; ESRD	2C
Caminhão		ESRS; ETD	3C
Caminhão		ESRS; ETT	4C
Semi-reboque		ESRS; ESRD (2)	2S1
Semi-reboque		ESRS; ESRD; ETD	2S2
Semi-reboque		ESRS; ESRD; ETT	2S3
Semi-reboque		ESRS; ETD; ETD	3S2
Semi-reboque		ESRS; ETD; ETT	3S3
Reboque		ESRS; ESRD (3)	2C2
Reboque		ESRS; ESRD (2); ETD	2C3



EXERCÍCIO 5.1

Contagem classificatória			
Tipo de Veículo	VDM 2011/2012	%	% Comercial
Automóvel	40.000	80,00	-
Ônibus 2C	0	0,00	0,00
Ônibus Urbano Articulado - 2S1	0	0,00	0,00
Ônibus Urbano Bi-Articulado - 2I2	0	0,00	0,00
Caminhão – 2C	2.500	5,00	25,00
Caminhão – 3C	3.000	6,00	30,00
Caminhão – 4C	0	0,00	0,00
Carreta – 2S2	800	1,60	8,00
Carreta – 2S3	1.500	3,00	15,00
Carreta – 3S3	2.200	4,40	22,00
Caminhão c/ reboque – 3C3	0	0,00	0,00
Romeu & Julieta-3D4 / Bitrem-3T4	0	0,00	0,00
Rodotrem 9 eixos - 3T6	0	0,00	0,00
Total	50.000	100,00	100,00



EXERCÍCIO 5.1

Veículo Tipo	Total de veículos	ESRS	ESRD	ETD	ETT	Total de eixos
2C						
3C						
2S2						
2S3						
3S3						
Total						



EXERCÍCIO 5.1

Veículo Tipo	Total de veículos	ESRS	ESRD	ETD	ETT	Total de eixos
2C	2500					
3C	3000					
2S2	800					
2S3	1500					
3S3	2200					
Total	10000					



EXERCÍCIO 5.1

Veículo Tipo	Total de veículos	ESRS	ESRD	ETD	ETT	Total de eixos
2C	2500	2500	2500			
3C	3000	3000		3000		
2S2	800	800	800	800		
2S3	1500	1500	1500		1500	
3S3	2200	2200		2200	2200	
Total	10000	10000	4800	6000	3700	24500



EXERCÍCIO 5.1

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	3				
	6				
ESRD	5				
	10				
ETD	6				
	17				
ETT	9				
	25,5				
TOTAL	Σni		100%	EO= FC=EO/100=	$\Sigma(FECi \times pi)$



EXERCÍCIO 5.1

Tipo de Eixo	Carga(kN)	Quantidade	pi(%)	FEC	Equivalente de Operações
	X	ni	pi=ni/Sni	FECi	FECi X pi
ESRS	3	3000			
	6	7000			
ESRD	5	1440			
	10	3360			
ETD	6	1800			
	17	4200			
ETT	9	1110			
	25,5	2590			
TOTAL	Σni 24500				

carregados	vazios
70%	30%



EXERCÍCIO 5.1

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	3	3000	12,24		
			0,00		
	6	7000	28,57		
ESRD	5	1440	5,88		
			0,00		
	10	3360	13,71		
ETD	6	1800	7,35		
			0,00		
	17	4200	17,14		
ETT	9	1110	4,53		
			0,00		
	25,5	2590	10,57		
TOTAL	Σni 24500		100% 100		

carregados	vazios
70%	30%



EXERCÍCIO 5.1

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	3	3000	12,24	0,017	
			0,00		
	6	7000	28,57	0,278	
ESRD	5	1440	5,88	0,134	
			0,00		
	10	3360	13,71	3,289	
ETD	6	1800	7,35	0,080	
			0,00		
	17	4200	17,14	8,549	
ETT	9	1110	4,53	0,128	
			0,00		
	25,5	2590	10,57	9,300	
TOTAL	Σni 24500		100% 100	EO= FC=EO/100=	

carregados	vazios
70%	30%



EXERCÍCIO 5.1

Tipo de Eixo	Carga(kN) X	Quantidade ni	pi(%) pi=ni/Sni	FEC FECi	Equivalente de Operações FECi X pi
ESRS	3	3000	12,24	0,017	0,21
			0,00		
	6	7000	28,57	0,278	7,94
ESRD	5	1440	5,88	0,134	0,79
			0,00		
	10	3360	13,71	3,289	45,11
ETD	6	1800	7,35	0,080	0,59
			0,00		0,00
	17	4200	17,14	8,549	146,55
ETT	9	1110	4,53	0,128	0,58
			0,00		0,00
	25,5	2590	10,57	9,300	98,31
TOTAL	Σni 24500		100% 100	EO= FC=EO/100=	$\Sigma(FECi \times pi)$ 3,00

carregados	vazios
70%	30%



EXERCÍCIO 5.1 / 5.2

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500			

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025						
Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	10	0,025						



EXERCÍCIO 5.1 / 5.2

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500	2,45	3,00	7,35

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025	7,35					
Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	10	0,025	7,35					



EXERCÍCIO 5.1 / 5.2

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500	2,45	3,00	7,35

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025	7,35	0,2				
Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	10	0,025	7,35	0,2				



EXERCÍCIO 5.1 / 5.2

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500	2,45	3,00	7,35

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025	7,35	0,2	0,5			
Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	10	0,025	7,35	0,2	0,5			



EXERCÍCIO 5.1 / 5.2

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500	2,45	3,00	7,35

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025	7,35	0,2	0,5	0,65		
Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	10	0,025	7,35	0,2	0,5	0,65		



EXERCÍCIO 5.1 / 5.2

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500	2,45	3,00	7,35

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025	7,35	0,2	0,5	0,65	155347020	1,55E+08
Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	10	0,025	7,35	0,2	0,5	0,65	98113907	9,81E+07



EXERCÍCIO 5.3

		excesso	máxima legal	vazios	
		20%	50%	30%	
Tipo de Eixo	Carga(kN)	Quantidade	pi(%)	FEC	Equivalente de Operações
	X	ni	pi=ni/Sni	FECi	FECi X pi
ESRS	3	3000	12,24	0,017	0,21
	6,6	2000	8,16	0,408	3,33
	6	5000	20,41	0,278	5,67
ESRD	5	1440	5,88	0,134	0,79
	11	960	3,92	5,970	23,39
	10	2400	9,80	3,289	32,22
ETD	6	1800	7,35	0,080	0,59
	18,7	1200	4,90	14,418	70,62
	17	3000	12,24	8,549	104,68
ETT	9	1110	4,53	0,128	0,58
	28,05	740	3,02	15,827	47,80
	25,5	1850	7,55	9,300	70,22
TOTAL	Σni 24500		100% 100	EO= FC=EO/100=	Σ(FECi x pi) 3,60



EXERCÍCIO 5.3

Número de veículos	Número de eixos	FE	FC	FV
10000	24500	2,45	3,60	8,82

Dias no ano	VDM	P	t	FV	Ff	Fs	Fd	N	N
365	50000	15	0,025	8,82	0,2	0,5	0,65	186421158	1,86E+08



Muito Grata!

PTR 3322 - Pavimentação Rodoviária

Profa. Kamilla Vasconcelos

Profa. Dra. Liedi Bernucci

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES

