

Autopista Fernão Dias

---

arteris

# Desenvolvimento do Modelo de Deterioração de Pavimentos Asfálticos com uso de Instrumentação e Sistema *Weight in Motion*

## Objetivos da pesquisa

- a. Compreender os efeitos das solicitações variáveis dos veículos comerciais
- a. Verificar a composição do tráfego e impactos na obtenção do número N
- b. Avaliar a vida útil e o desempenho de estruturas distintas de pavimentos

- Transporte de Carga – **Matriz Rodoviária** – 61%
- Escoamento de bens – **competitividade**
- Frota nacional - 68 milhões de veículos - **7,2% são veículos comerciais**

- Variações no trem-tipo –  
**dano mais pronunciado**  
na estrutura da vias
- **Controle de carga**  
insuficiente



**Analisar os impactos do excesso de carga por eixo dos veículos comerciais quanto ao:**

- **Aumento de danos aos pavimentos , e**
- **Consequente redução de sua vida útil**



## Metodologia

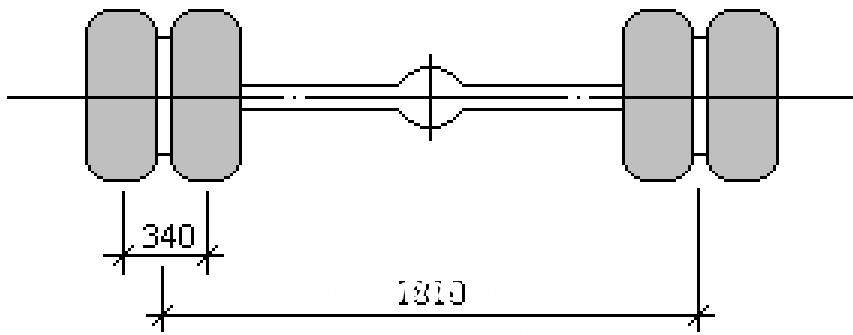
A partir de dados atuais de pesagens de veículos comerciais, de três rodovias com balanças instaladas e em funcionamento, foram avaliadas:

- A distribuição das cargas praticadas por tipos de eixo;
- As consequências em danos em pavimentos novos, recém-construídos, seguindo as tecnologias hoje disponíveis;
- As consequências da elevação de tolerâncias das cargas por eixos com relação à maior aceleração de danos e falhas nos pavimentos destas rodovias.

## EIXO Padrão - ESRD

Estabelecido o padrão nos Estados Unidos e adotado no Brasil: um eixo simples de rodado duplo (ESRD) com carga de 18.000 lb ou 82 kN (8,2tf) e 552 kPa (80 psi) de pressão de inflação dos pneus.

Carga máxima legal de 10 tf

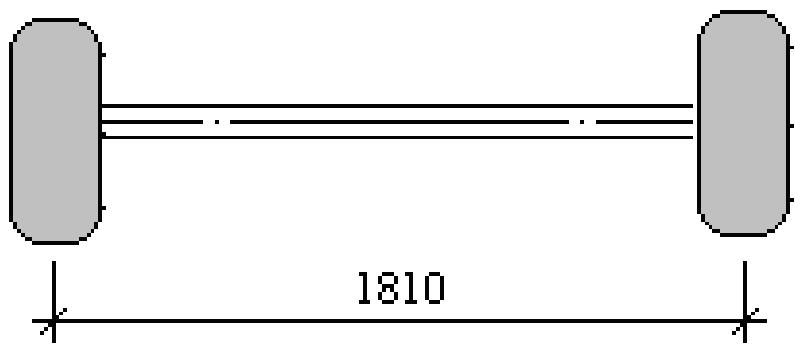


ESRD



## ESRS

Carga máxima legal de 6 tf



ESRS

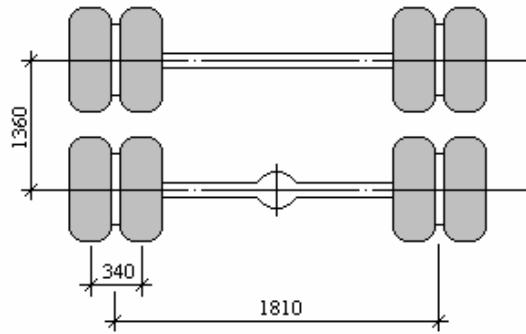
# Efeitos da Sobrecarga

Autopista Fernão Dias

arteris

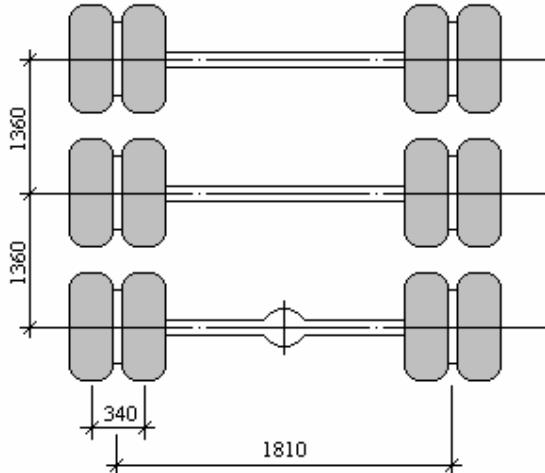
Carga máxima legal de 17,0 tf

**ETD**



Carga máxima legal de 25,5 tf

**ETT**

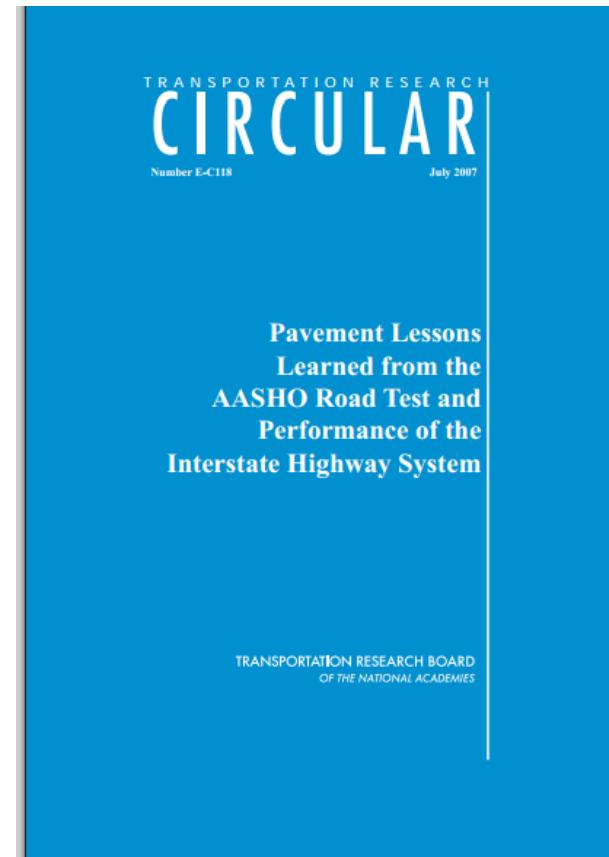


ETT

ETD

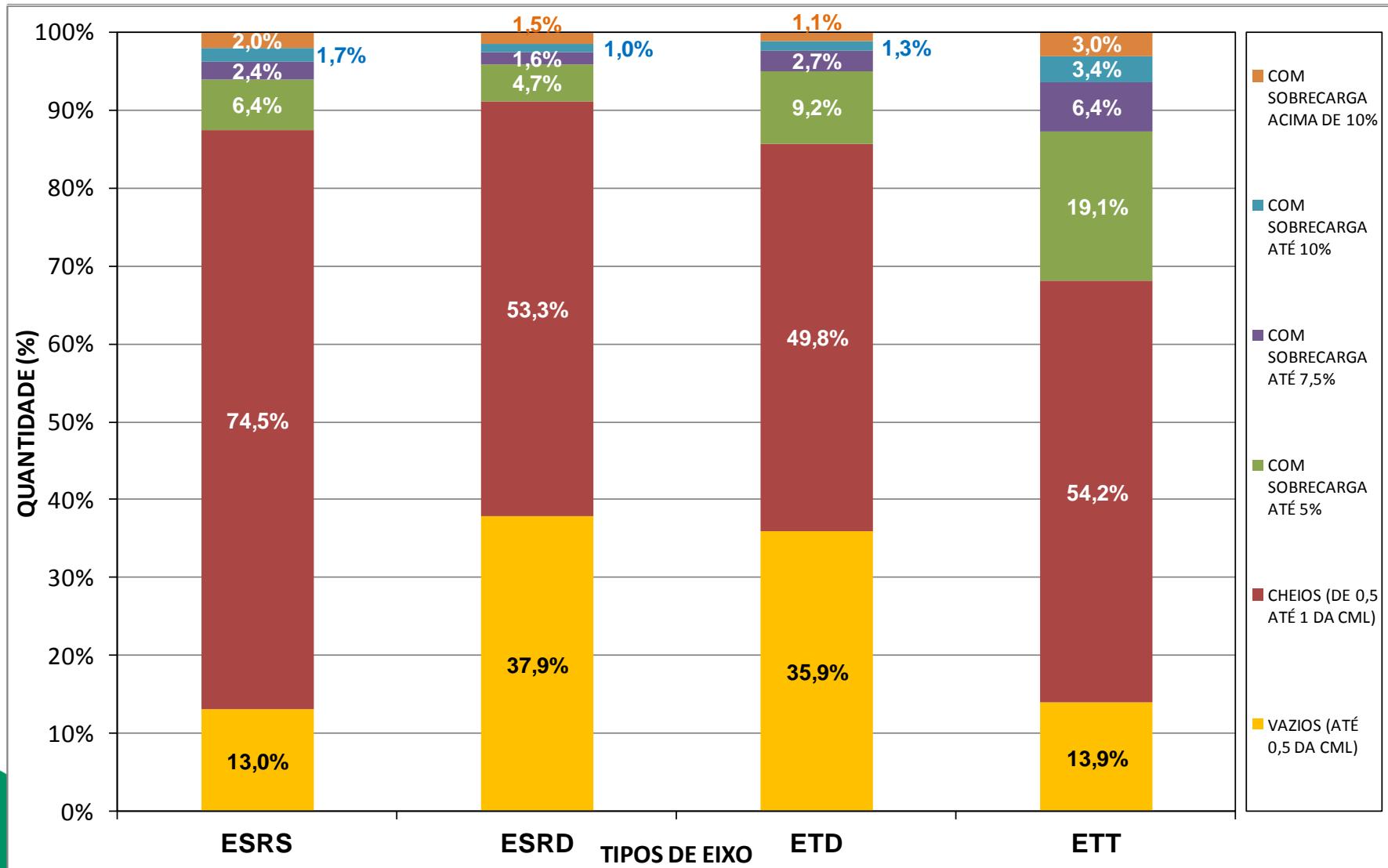
## Conceito do dano unitário

### Fator de Equivalência de Carga FEC – número N

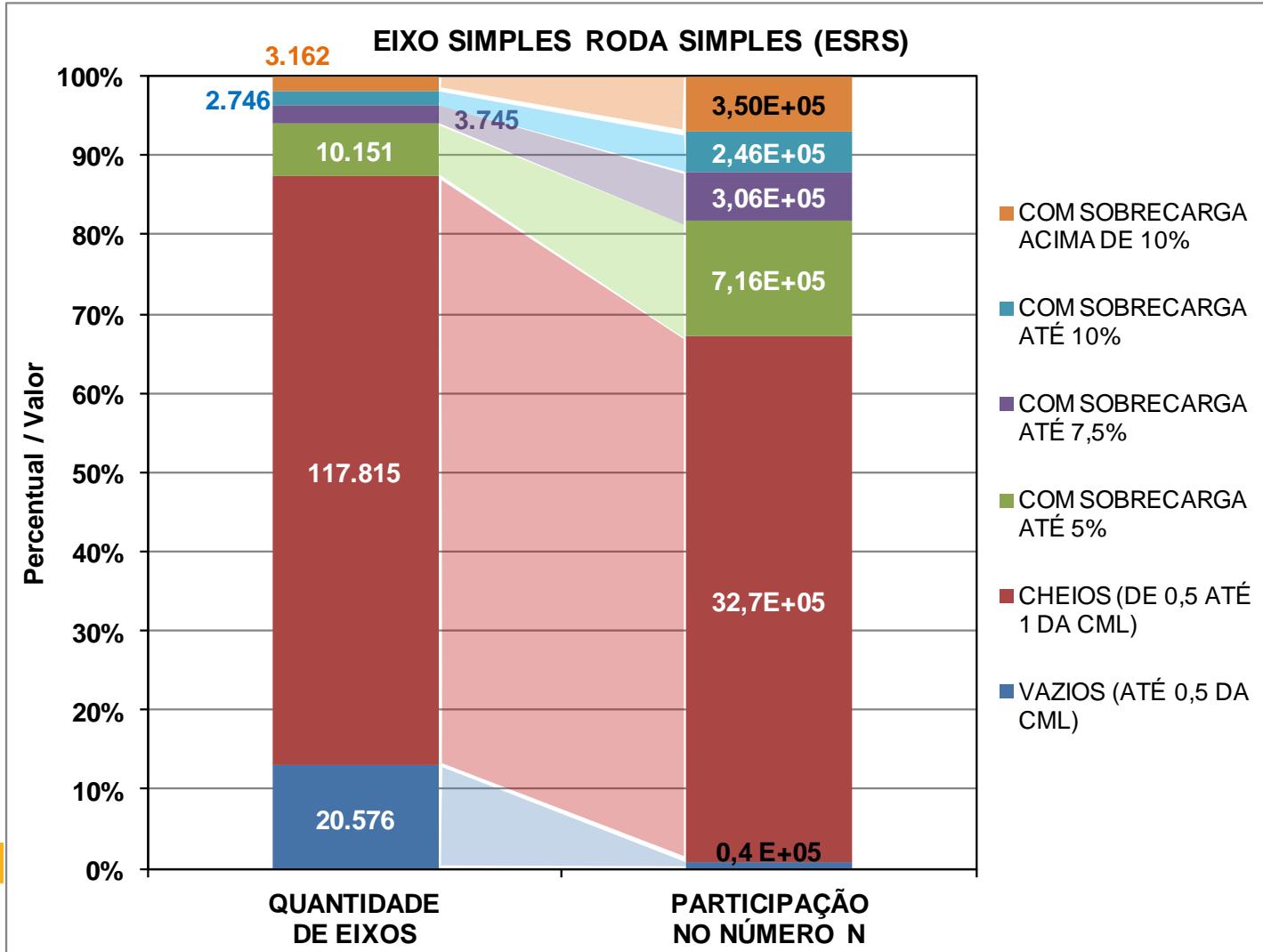


## Perfil da frota usuária

Rodovia Concessionada Federal

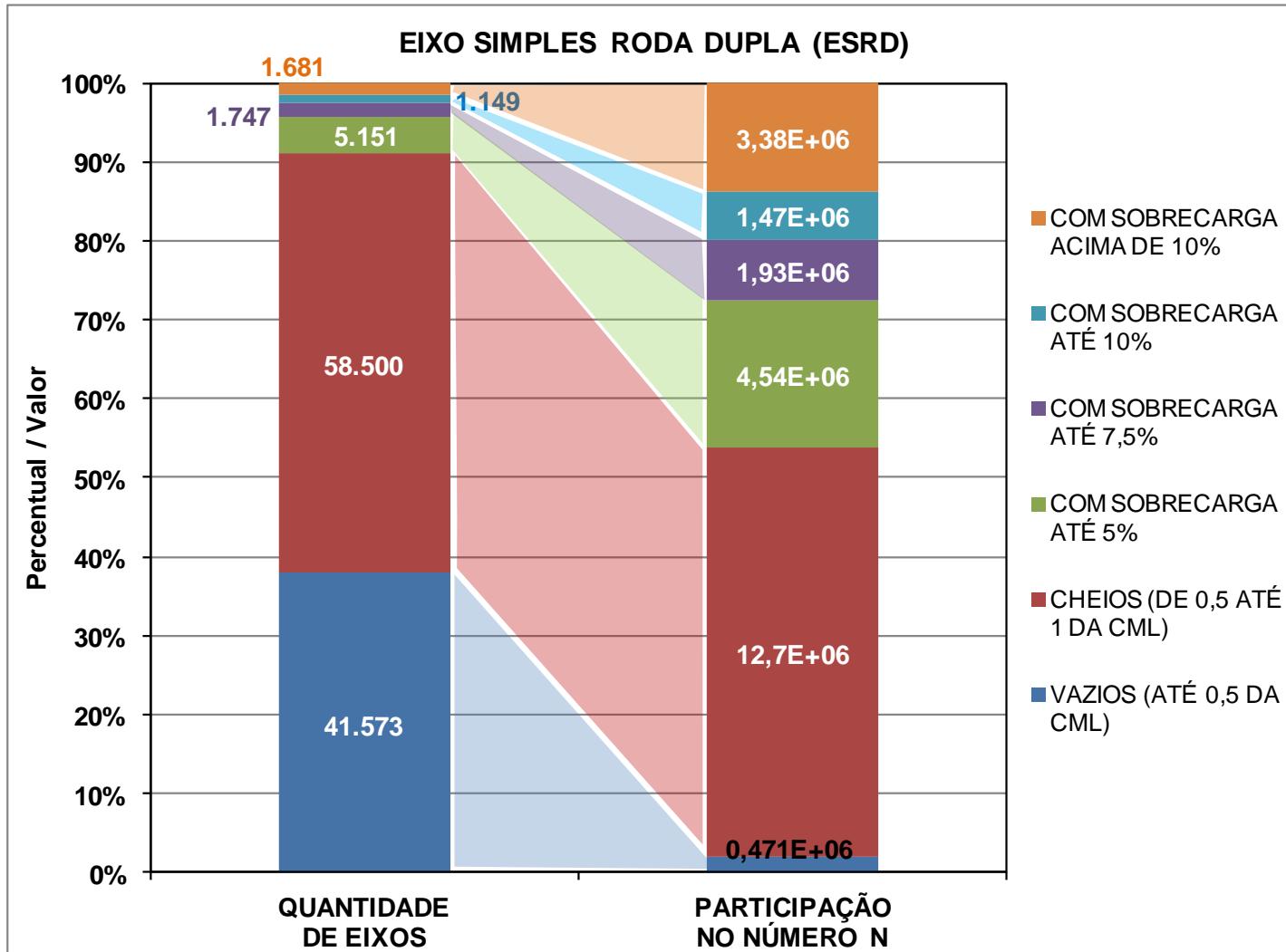


## Rodovia Concessionada Federal Selecionando: Perfil da frota usuária ESRS



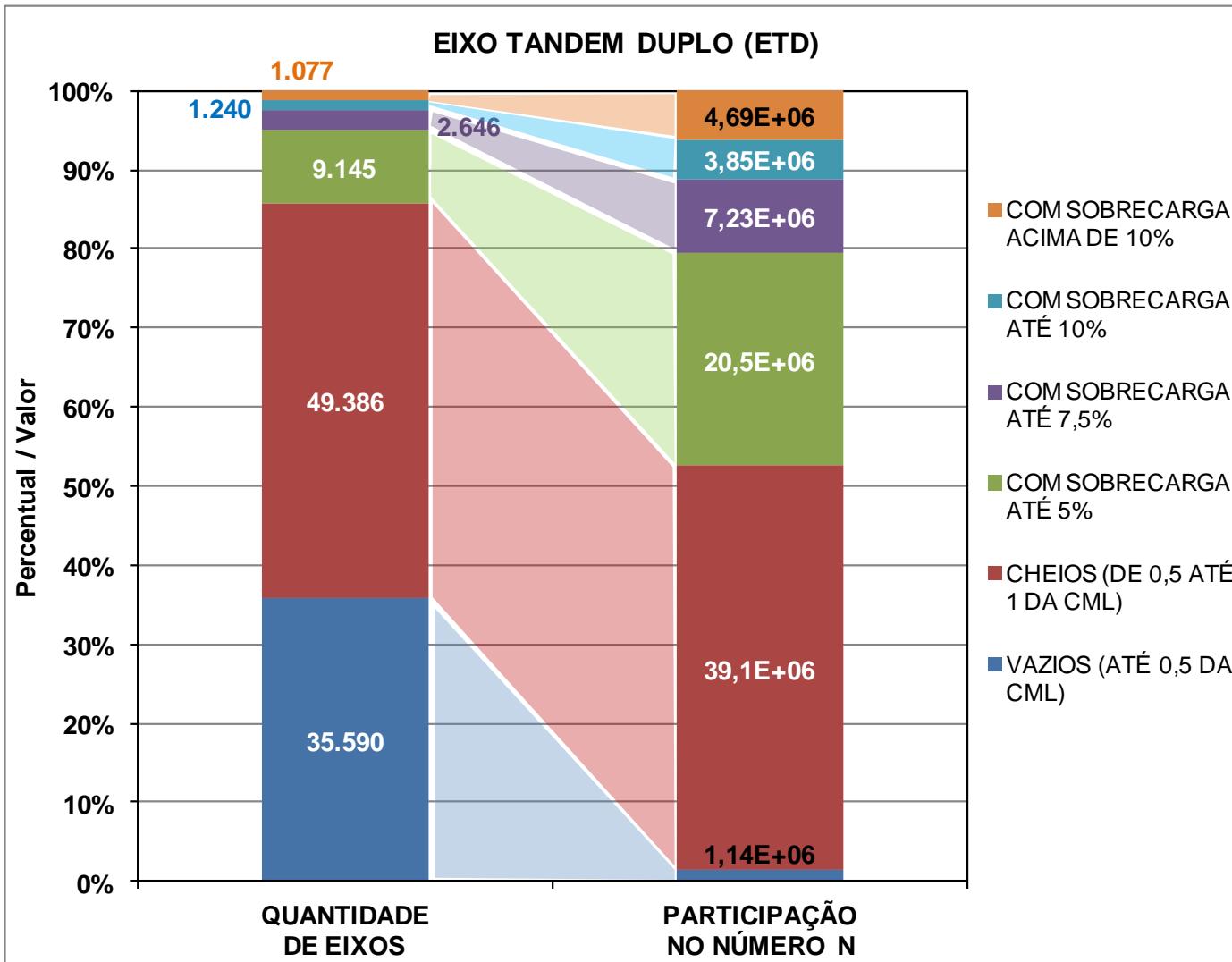
Rodovia Concessionada Federal

## Selecionando: Perfil da frota usuária ESRD



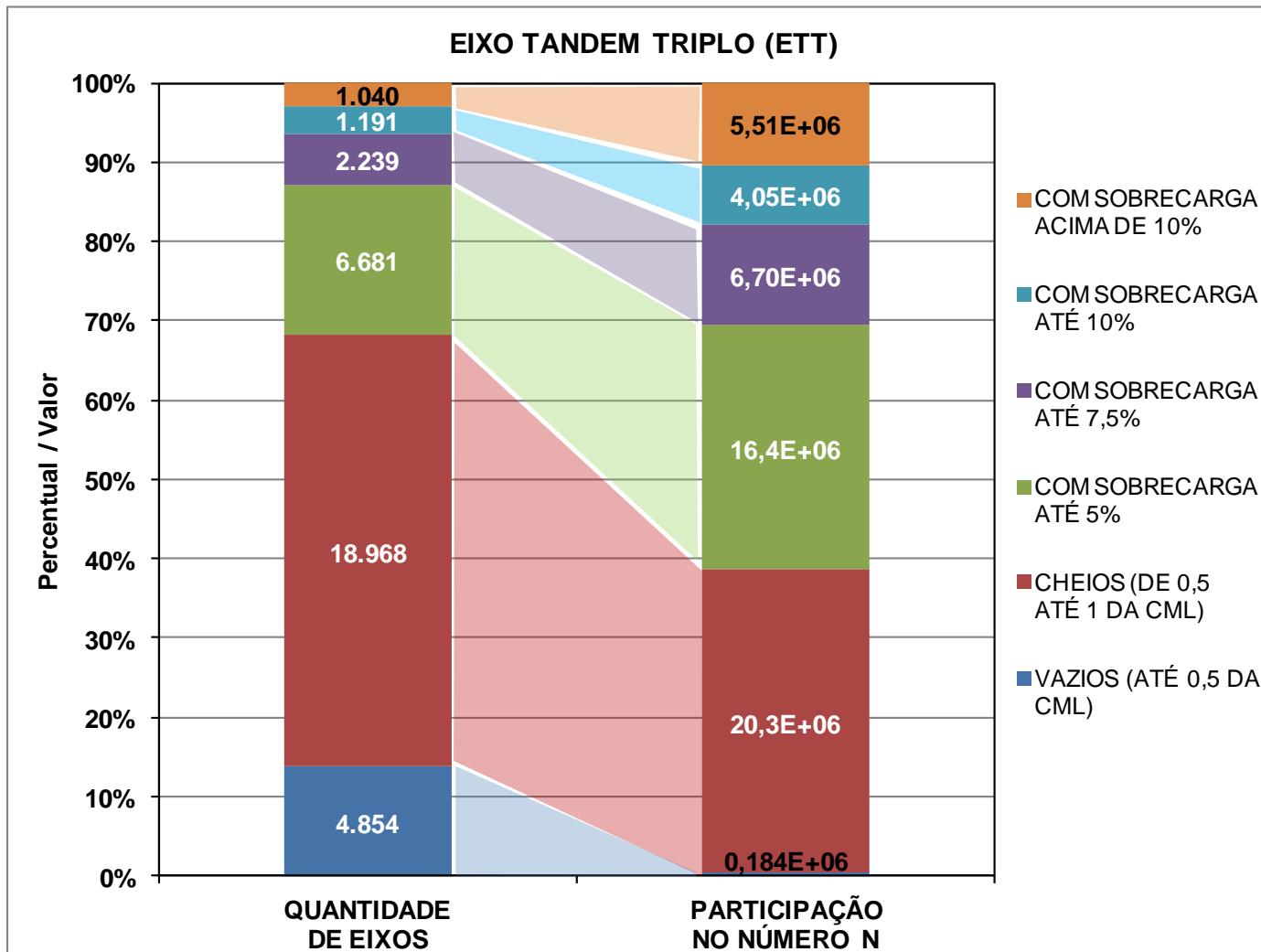
Rodovia Concessionada Federal

## Selecionando: Perfil da frota usuária ETD



Rodovia Concessionada Federal

## Selecionando: Perfil da frota usuária ETT



## Selecionando: Perfil da frota usuária ESRD

Rodovia Concessionada Federal

Carga no Eixo ESRD	Quantidad e amostrada	participação no número N	% de eixos com esta carga	% de participação no número N e no dano causado
VAZIOS (ATÉ 0,5 DA CML)	41.573	4,71E+05	37,9%	1,9%
CHEIOS (DE 0,5 ATÉ 1 DA CML)	58.500	1,27E+07	53,3%	51,9%
COM SOBRECARGA ATÉ 5%	5.151	4,54E+06	4,7%	18,5%
COM SOBRECARGA ATÉ 7,5%	1.747	1,93E+06	1,6%	7,9%
COM SOBRECARGA ATÉ 10%	1.149	1,47E+06	8,8%	6,0%
COM SOBRECARGA ACIMA DE 10%	1.681	3,38E+06	1,5%	13,8%
total	109.801	24,5E+06	100,0%	100,0%

## Selecionando: Perfil da frota usuária ESRD

Rodovia Concessionada Federal

Carga no Eixo ESRD	Quantidade amostrada	participação no número N	% de eixos com esta carga	% de participação no número N e no dano causado
VAZIOS (ATÉ 0,5 DA CML)	41.573	4,71E+05	37,9%	1,9%
CHEIOS (DE 0,5 ATÉ 1 DA CML)	58.500	1,27E+07	53,3%	51,9%
COM SOBRECARGA ATÉ 5%	5.151	4,54E+06	4,7%	18,5%
COM SOBRECARGA ATÉ 7,5%	1.747	1,93E+06	1,6%	7,9%
COM SOBRECARGA ATÉ 10%	1.149	1,47E+06	1,0%	6,0%
COM SOBRECARGA ACIMA DE 10%	1.681	3,38E+06	2,5% [ 1,5%	13,8% ]
total	109.801	24,5E+06	100,0%	100,0%

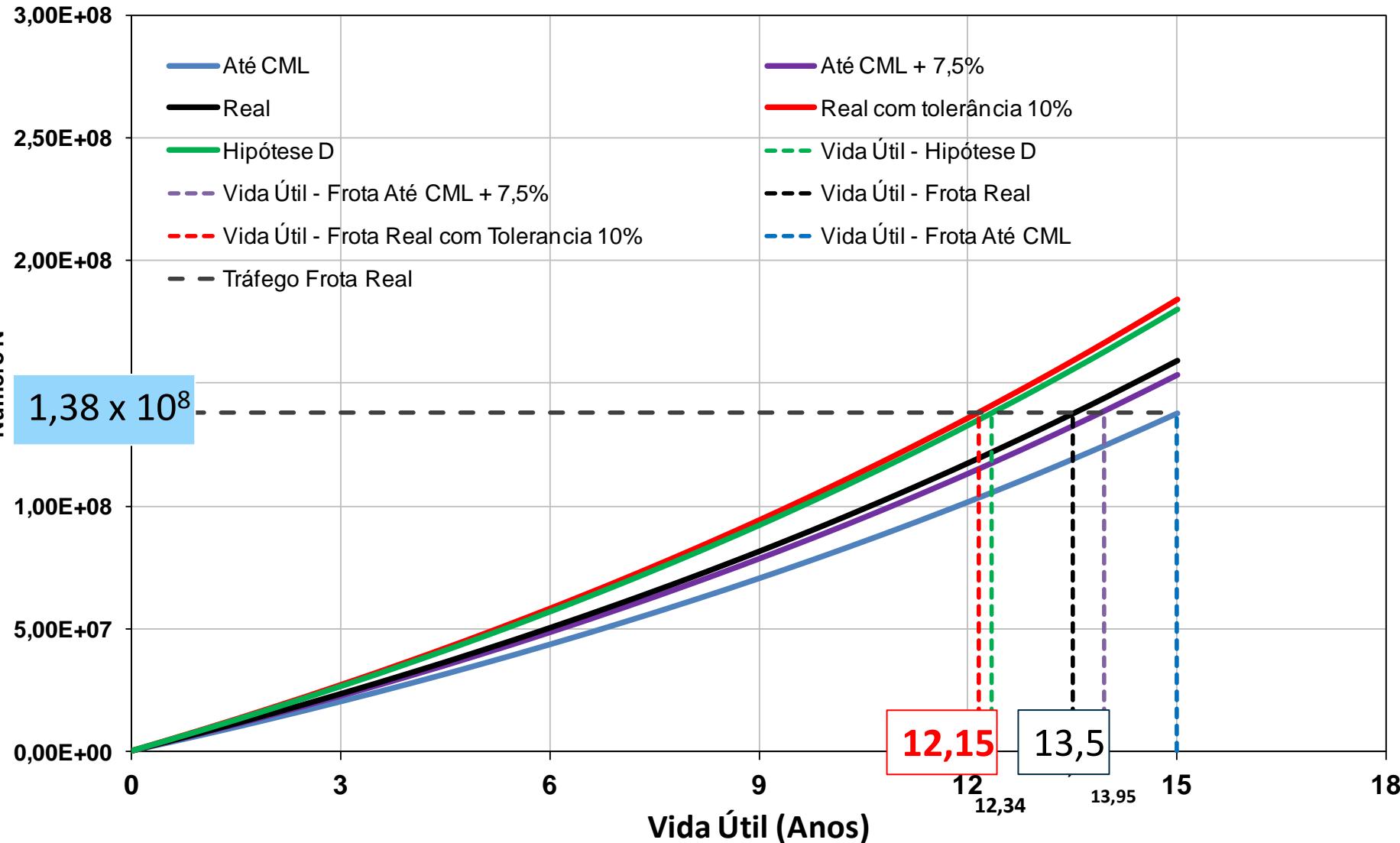
} ~20%

# Efeitos da Sobrecarga

Autopista Fernão Dias

arteris

## Rodovia Concessionada Federal



# Concepção da Pesquisa

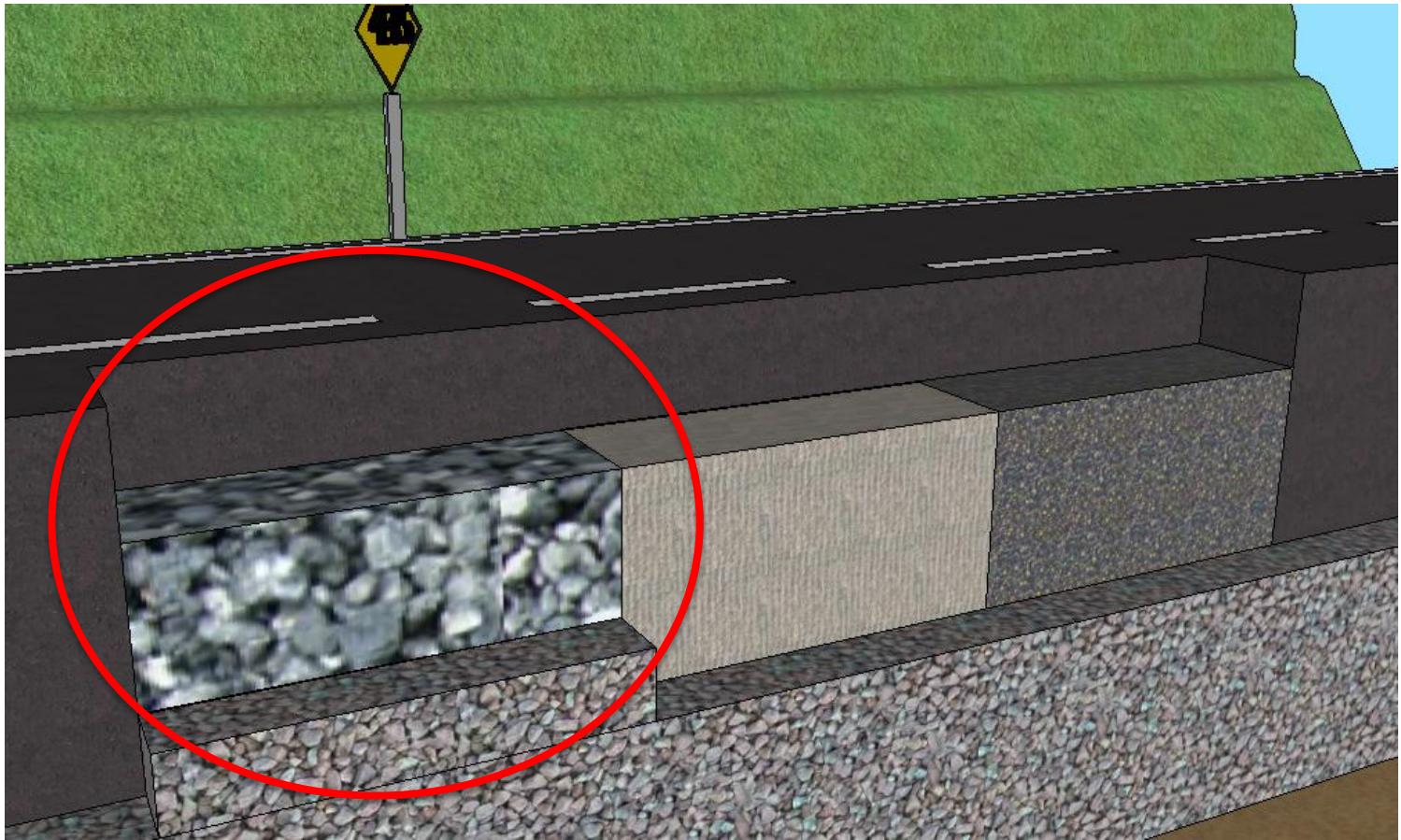
Autopista Fernão Dias

arteris

- ✓ *Construir pavimentos com estruturas variáveis*
- ✓ *Instrumentar os pavimentos*
- ✓ *Instalar sistema de pesagem em movimento*
- ✓ *Identificar a composição de tráfego e comparar com a classificação normatizada*
- ✓ *Associar os danos nos pavimentos à intensidade das solicitações.*



- **Pavimento Flexível – base de comportamento granular**
- **Pavimento Semirrígido – base cimentada**
- **Pavimento Semi-flexível – base asfáltica coesiva**

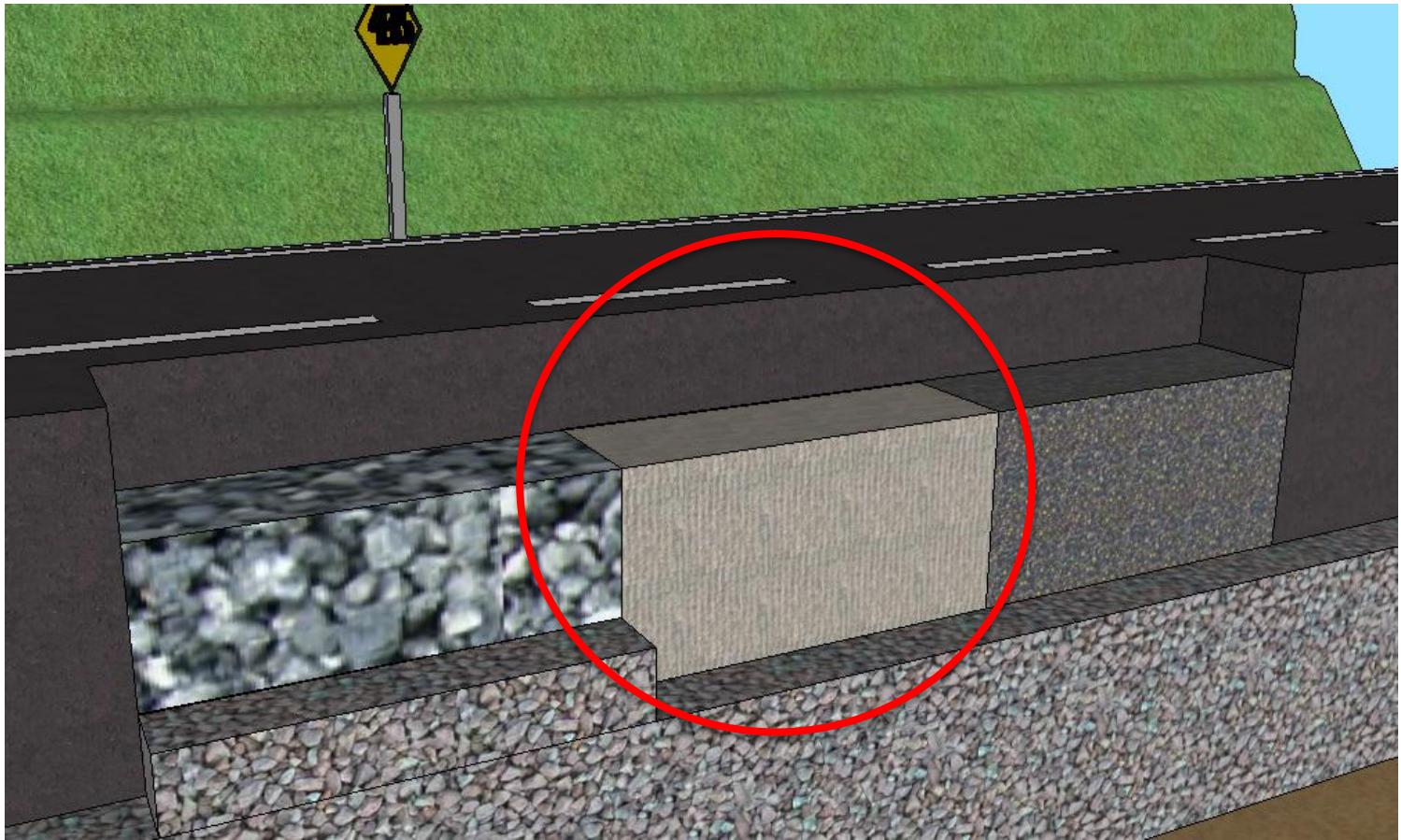


# Estrutura dos Pavimentos

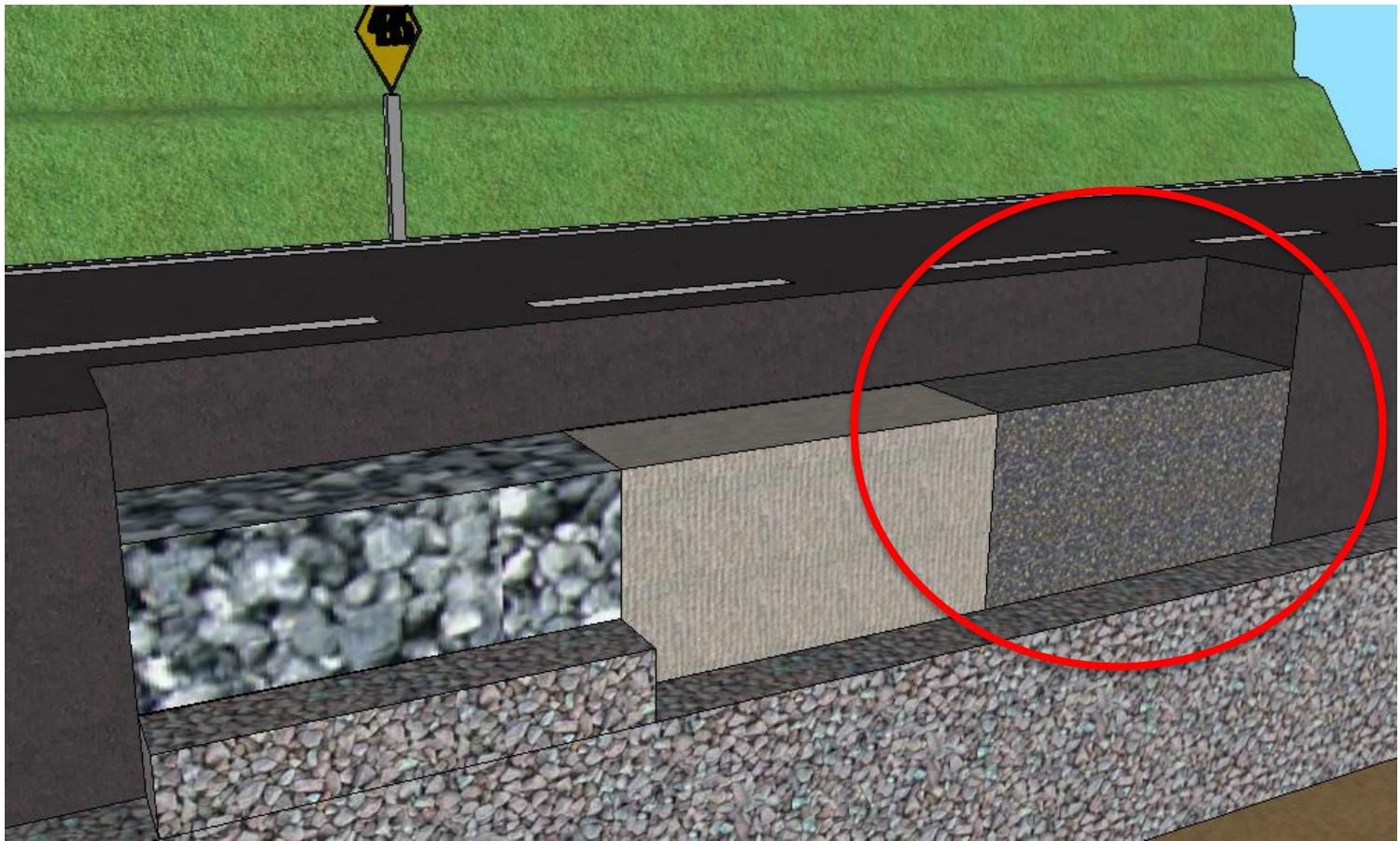
Autopista Fernão Dias

arteris

- *Pavimento Flexível – base de comportamento granular*
- ***Pavimento Semirrígido – base cimentada***
- *Pavimento Semi-flexível – base asfáltica coesiva*



- *Pavimento Flexível – base de comportamento granular*
- *Pavimento Semirrígido – base cimentada*
- *Pavimento Semi-flexível – base asfáltica coesiva*

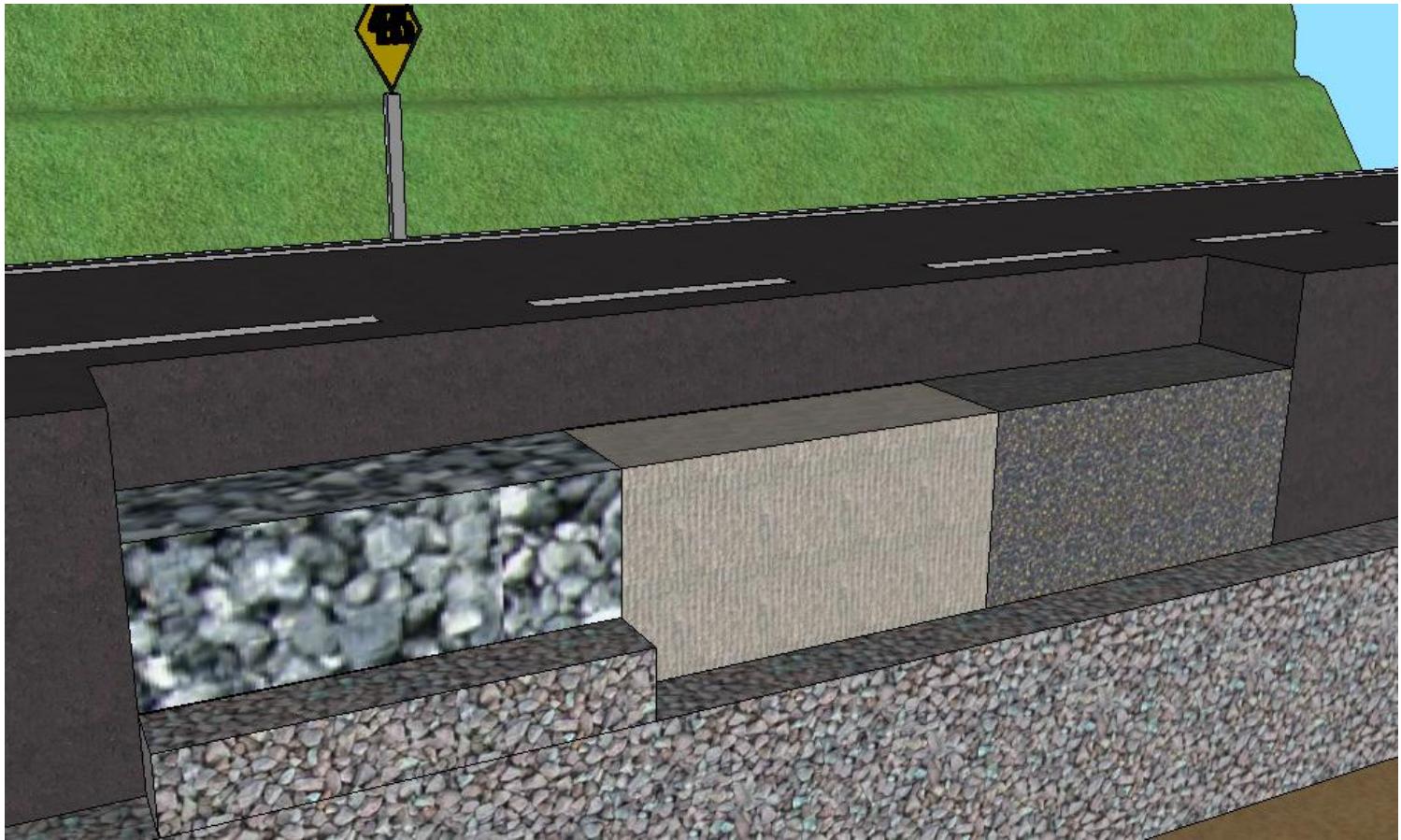


# Estrutura dos Pavimentos

Autopista Fernão Dias

arteris

- *Pavimento Flexível – base de comportamento granular*
- *Pavimento Semirrígido – base cimentada*
- *Pavimento Semi-flexível – base asfáltica coesiva*

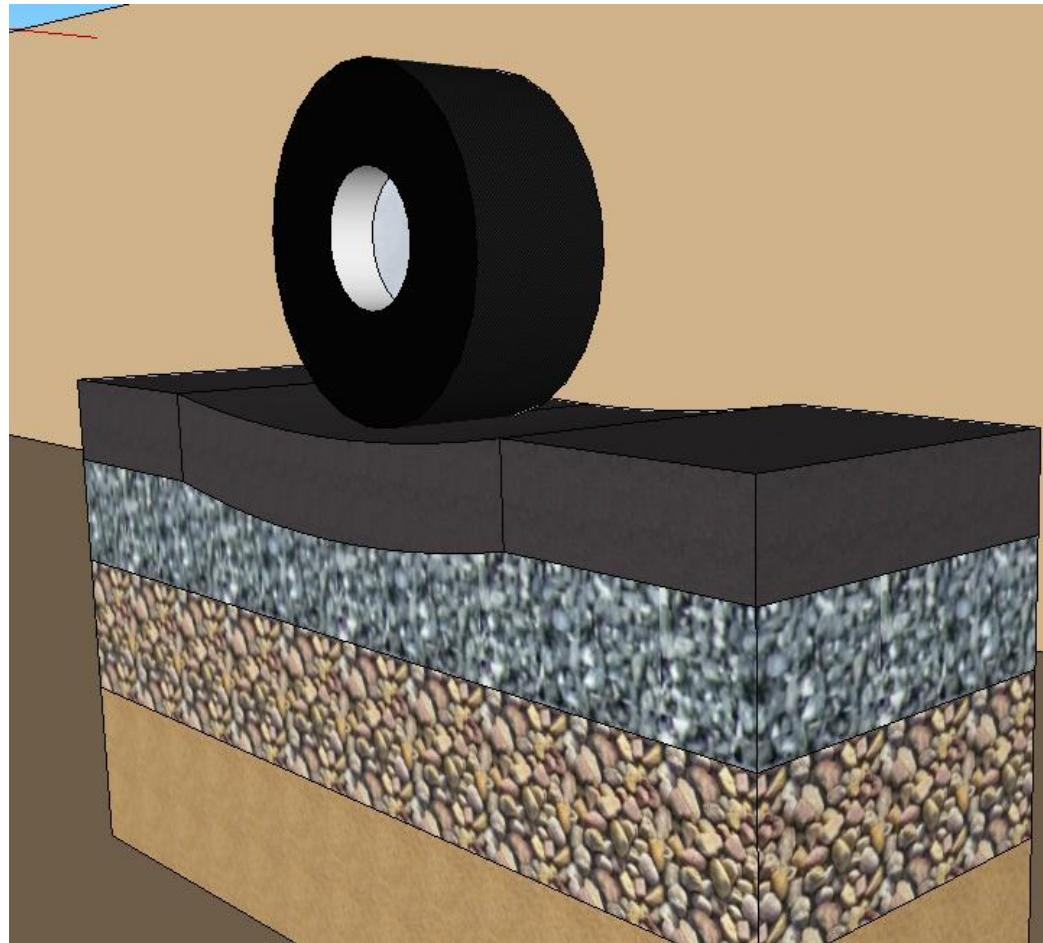


# Pavimento Flexível

Autopista Fernão Dias

arteris

- Revestimento asfáltico
  - principal responsável na absorção das tensões.
- Desempenho do revestimento varia com temperatura
- Estrutura com maior sensibilidade a variação de umidade

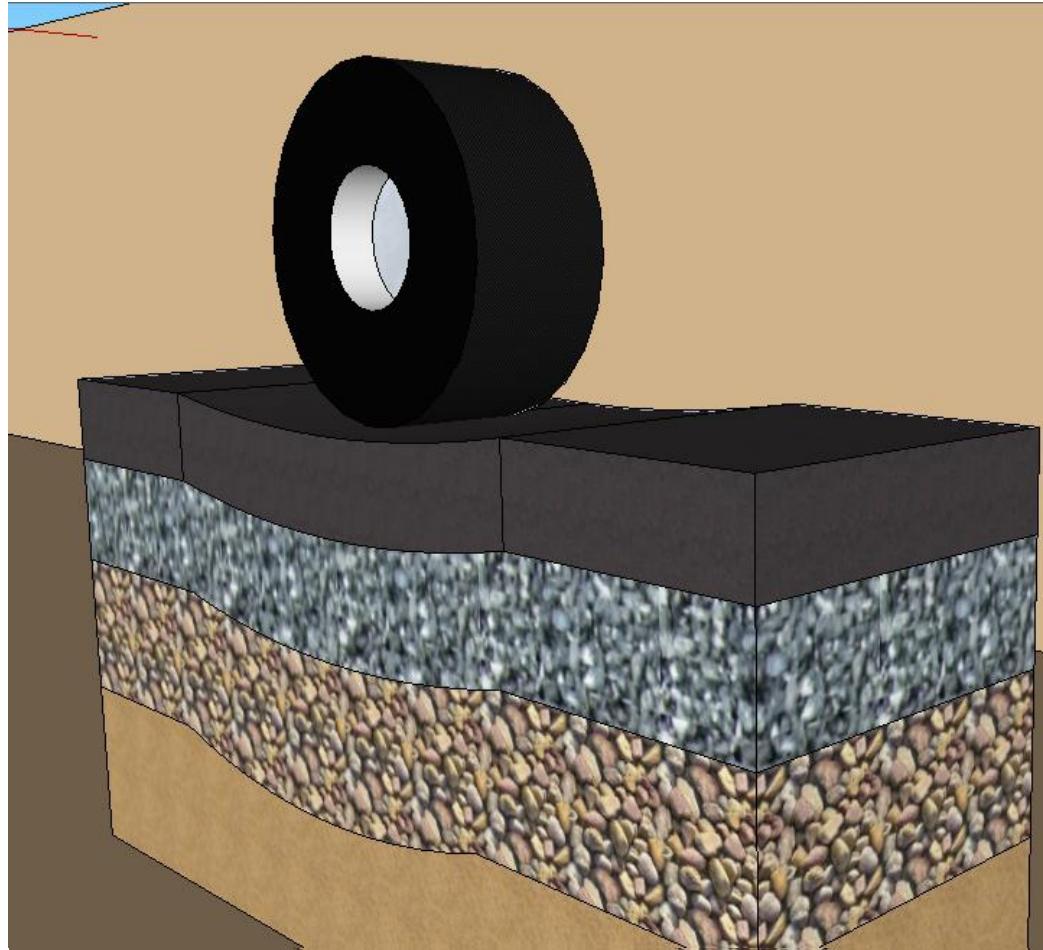


# Pavimento Flexível

Autopista Fernão Dias

arteris

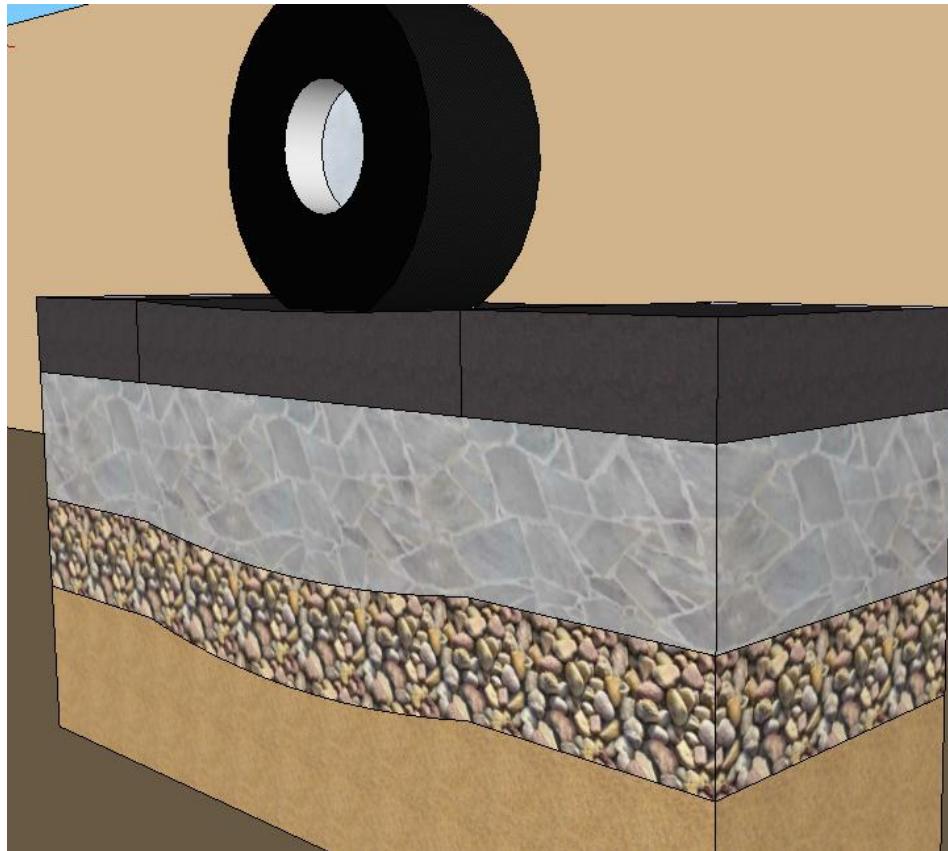
- Revestimento asfáltico
  - principal responsável na absorção das tensões.
- Desempenho do revestimento varia com temperatura
- Estrutura com maior sensibilidade a variação de umidade



# Pavimento Semirrígido

Autopista Fernão Dias

arteris



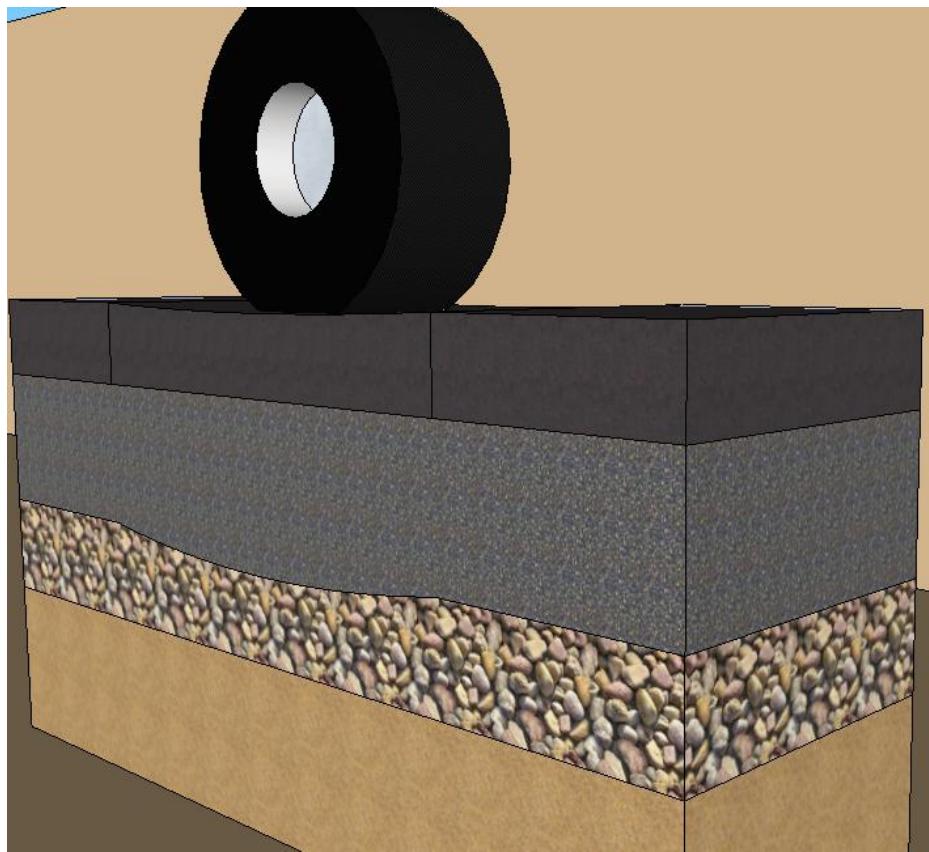
- Camada cimentada – principal responsável na absorção das tensões.
- Revestimento asfáltico – comportamento variável
- Variação de umidade altera capacidade de suporte

# Pavimento Semi-flexível

Autopista Fernão Dias

arteris

- Camada de base asfáltica espumada – modelo de fadiga
- Variação de temperatura para base e revestimento
- Revestimento asfáltico – esforços variáveis com espessura
- Estrutura sensível à variação de umidade

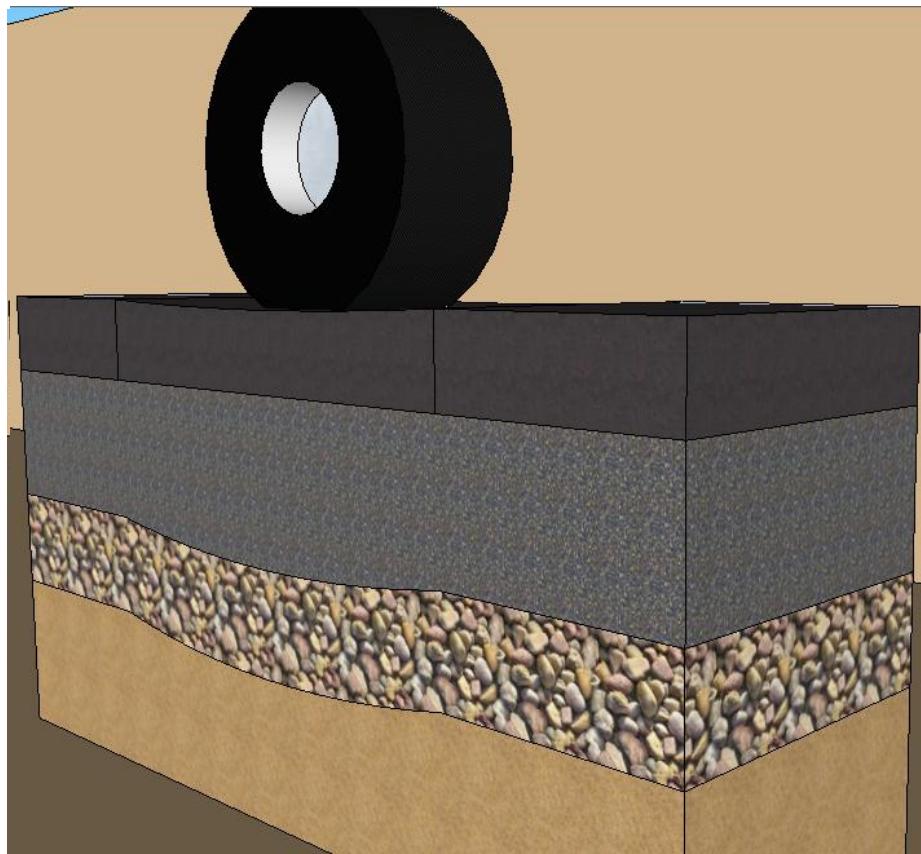


# Pavimento Semi-flexível

Autopista Fernão Dias

arteris

- Camada de base asfáltica espumada – modelo de fadiga
- Variação de temperatura para base e revestimento
- Revestimento asfáltico – esforços variáveis com espessura
- Estrutura sensível à variação de umidade



# Estruturas – Vida útil

Autopista Fernão Dias

arteris

- . Diversos modelos de fadiga

- . Inúmeras variáveis não contempladas

**Número N 1E+08 →  
8 anos**

- . Diversos modelos de fadiga

- . Dosagem implica no desempenho

**Número N 3,2E+08  
→ 13 anos**

- . Processo de fadiga não definido

- . Desempenho e natureza variável

**Número N 2,1E+08  
→ 10,5 anos**

Revestimento 12 cm CBUQ

Revestimento 12 cm CBUQ

Revestimento 12 cm CBUQ

15 cm BGS

25 cm BGTC

Base Espuma 25 cm

Rachao

Rachão

Rachão

Subleito

- Incremento de vida útil
- Impermeabilização da plataforma;
- Redução da exposição do revestimento
- Avaliação das deformações e vida útil

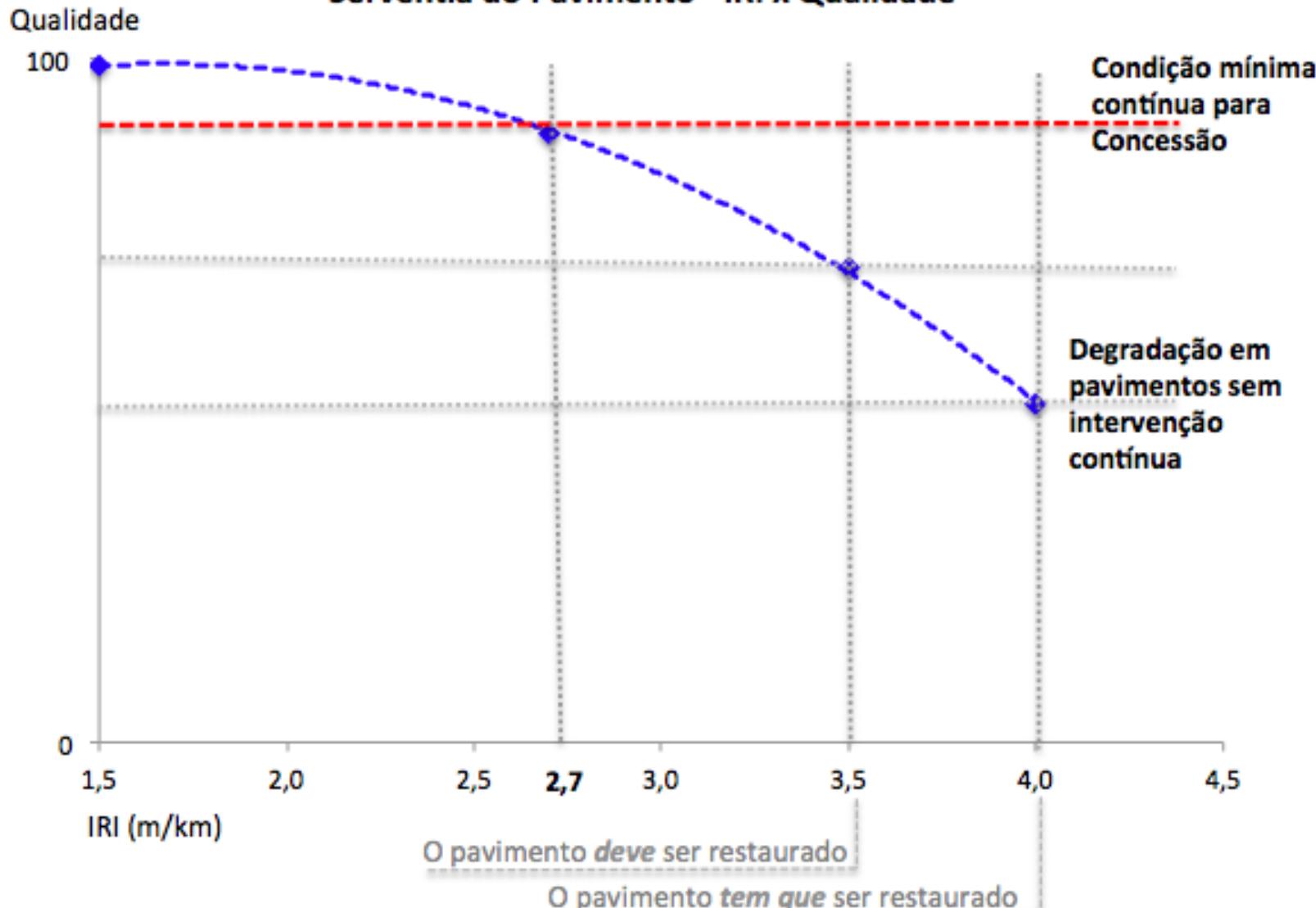


# Conservação Periódica

Autopista Fernão Dias

arteris

Serventia do Pavimento - IRI x Qualidade



# Instrumentação de Pavimentos

Autopista Fernão Dias

arteris

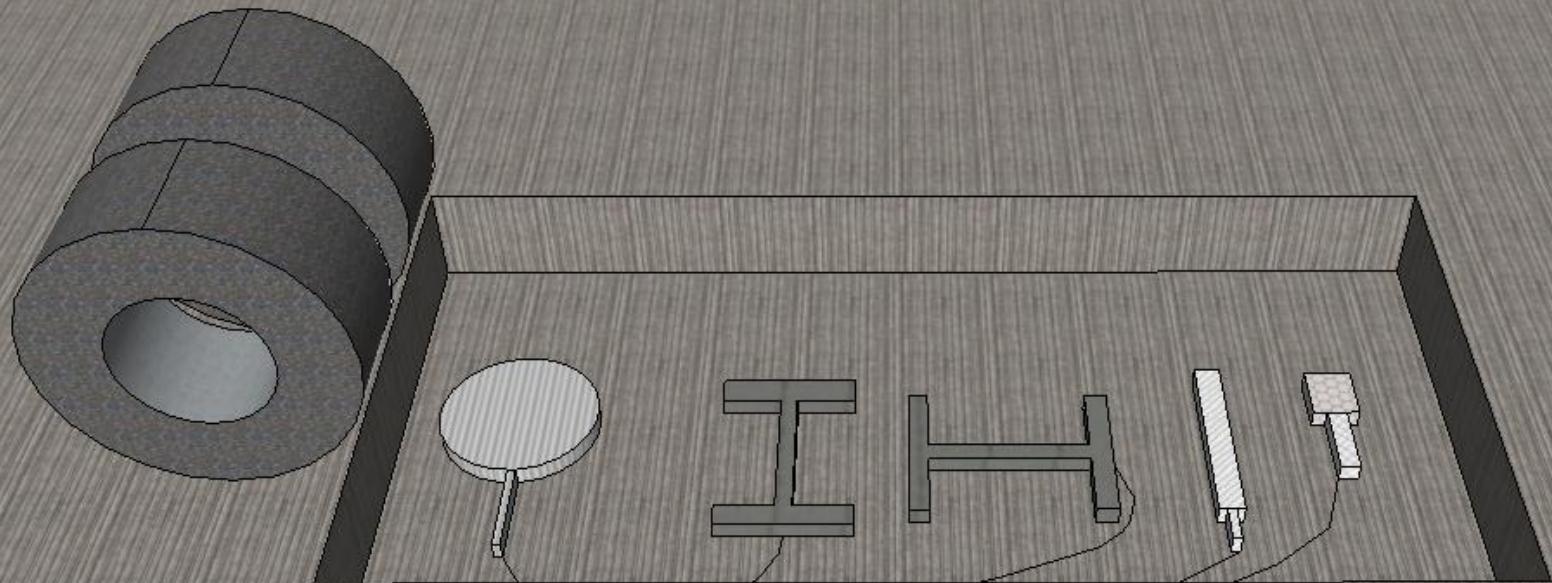
- Sensores de umidade
- Sensores de temperatura
- Extensômetros – *strain gages*
- Células de Pressão



# Instrumentação de Pavimentos

Autopista Fernão Dias

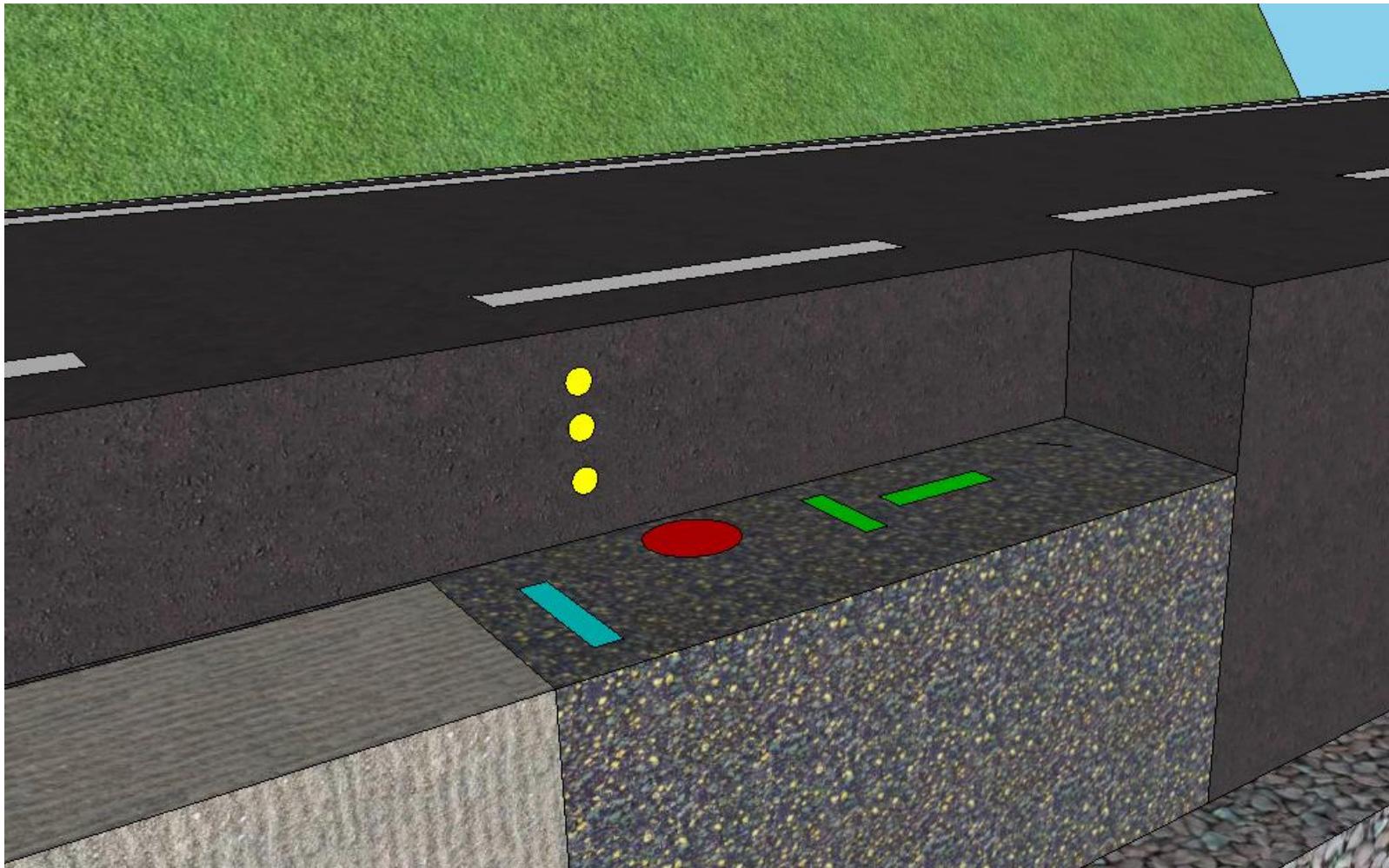
arteris



# Instrumentação de Pavimentos

Autopista Fernão Dias

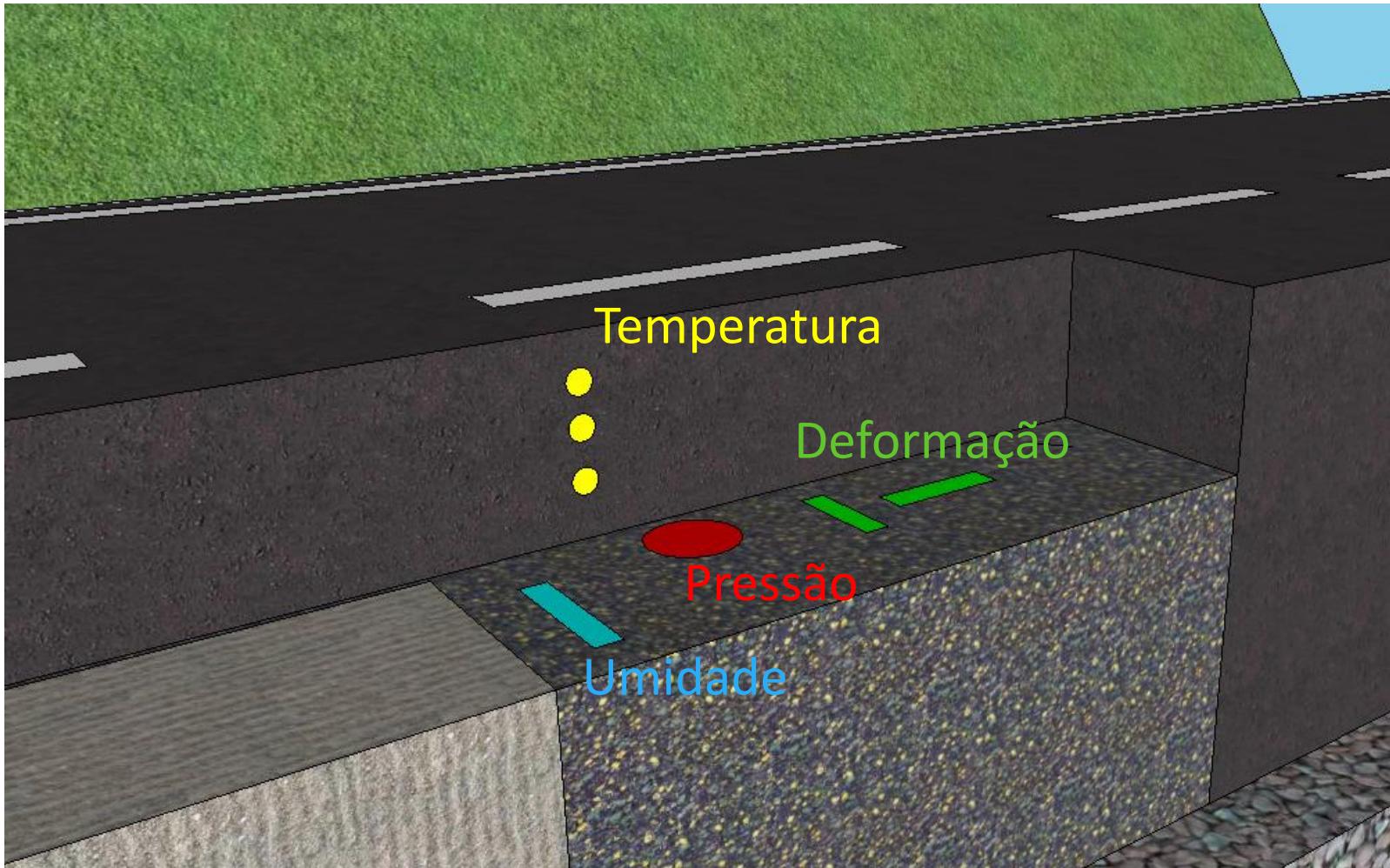
arteris



# Instrumentação de Pavimentos

Autopista Fernão Dias

arteris



# Instrumentação de Pavimentos

Autopista Fernão Dias

arteris

- ✓ *Placa de aquisição de dados – um sensor por canal*
- ✓ *Distância reduzida entre placa e grupo de sensores*
- ✓ *Acúmulo de dados e exportação em planilhas*
- ✓ *Procedimento de execução do pavimento – sensibilidade dos sensores*
- ✓ *Testes e calibração prévia em laboratório*

Revestimento 12 cm CBUQ	Revestimento 12 cm CBUQ	Revestimento 12 cm CBUQ
15 cm BGS	25 cm BGTC	Base Espuma 25 cm
Rachao	Rachão	Rachão
	Subleito	

# Características do Tráfego

Autopista Fernão Dias

arteris

- Nível de solicitação ao qual a rodovia estará sujeita durante o período de projeto definido no dimensionamento da estrutura do pavimento depende do volume de cada tipo de veículo comercial.
- A cada configuração de eixos é definido um dano relativo.
- O efeito da carga e sobrecarga e cada tipo de veículo, depende da configuração dos eixos.

A relação entre sobrecarga e dano é exponencial

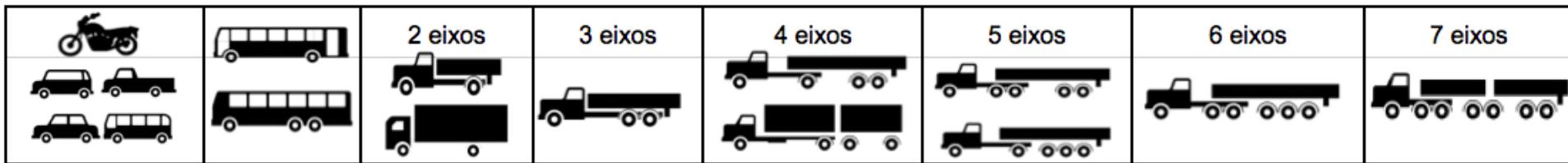


# Composição do Tráfego

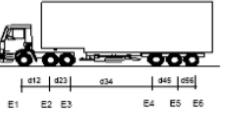
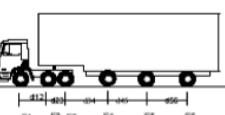
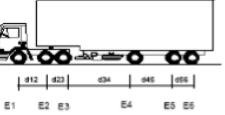
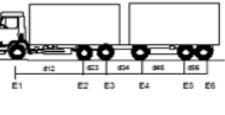
Autopista Fernão Dias

arteris

## ○ Contagem praças de pedágio



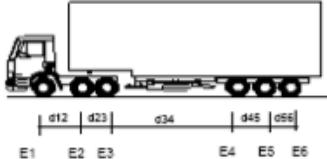
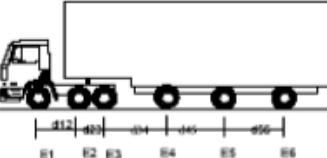
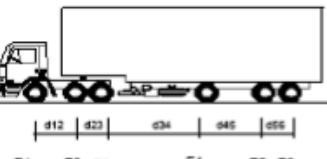
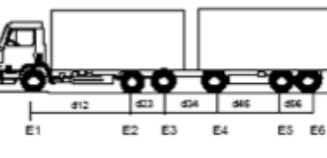
## ○ Classificação DNIT

 E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
 E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3
 E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
 E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3

# Composição do Tráfego

Autopista Fernão Dias

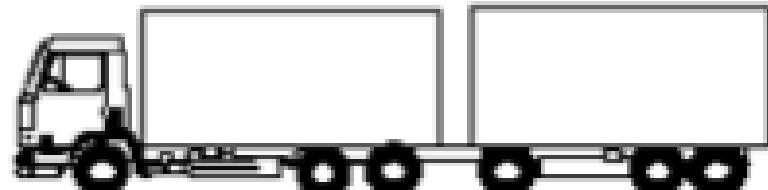
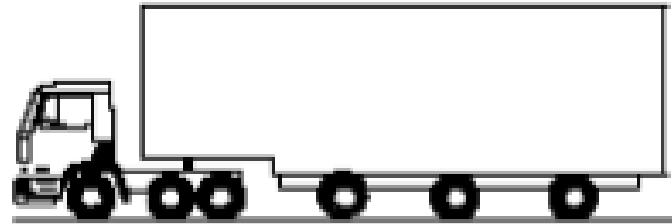
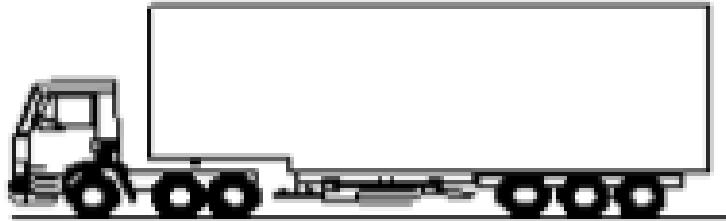
arteris

	6	<b>45(47,3)</b>	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
	6	<b>45(47,3)</b>	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3
	6	<b>45(47,3)</b>	<b>CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	6	<b>45(47,3)</b>	<b>CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE</b> E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3

# Composição do Tráfego

Autopista Fernão Dias

arteris



- *Distribuição da carga entre os eixos*
- *Distância entre os eixos*
- *Dano associado à carga e à distância entre eixos*

- *Extensão do período de coleta*
- *Tipo de equipamento*
- *Pesagem por amostragem X Pesagem contínua*
- *Precisão do sistema de pesagem*
- *Carga por eixo X Peso Bruto Total*





# Trecho Experimental

Autopista Fernão Dias

arteris



O desenvolvimento da pesquisa é permeado pelos aspectos mais importantes associados à:

- Avaliação dos danos em estruturas distintas, permitindo avaliações mais assertivas nas relações entre tráfego solicitante e as características estruturais dos pavimentos
- Determinação da composição e distribuição do tráfego, no qual são definidos os níveis de solicitações.
- Avaliação do efeito do carregamento e do sobrecarregamento nas estruturas, e em cada camada que compõe as estruturas.



Autopista Fernão Dias

---

arteris

Muito Obrigado!