



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

USP

**Análise das conseqüências do tráfego de
CVC's sobre o comportamento estrutural
das obras de arte da rede viária do DER-SP**

**Contrato FIPAI/DER n. 11.188-0
(setembro/2000 a junho/2001)**



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

USP

Equipe técnica:

- **Mounir Khalil El Debs**
- **Maximiliano Malite**
- **Toshiaki Takeya**
- **Jorge Munaiar Neto**
- **João Bento de Hanai**



OBJETIVO BÁSICO



Avaliar se as obras de arte atendem,
do ponto de vista estrutural, ao tráfego
das CVC's regulamentadas pela
Resolução 68/98 do CONTRAN

Situação provável:

Efeitos provocados pelas CVC's podem
superar os previstos em projeto!



“QUESTIONAMENTO”

USP

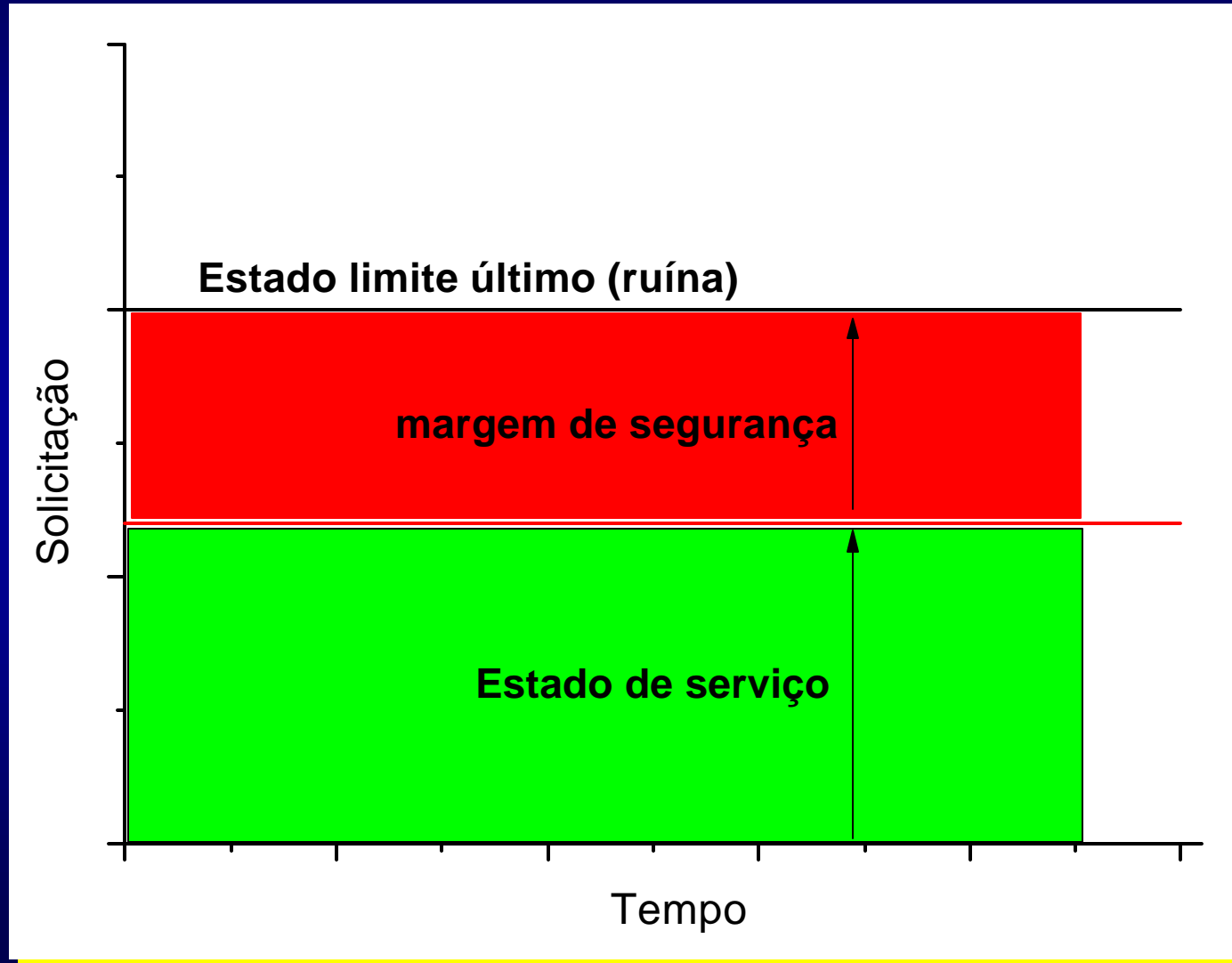
Se CVC's provocam efeitos superiores aos previstos em projeto, por que as pontes (ou viadutos) não caem ?

- Margem de segurança
- Durabilidade: **fadiga**, vida útil



Margem de segurança

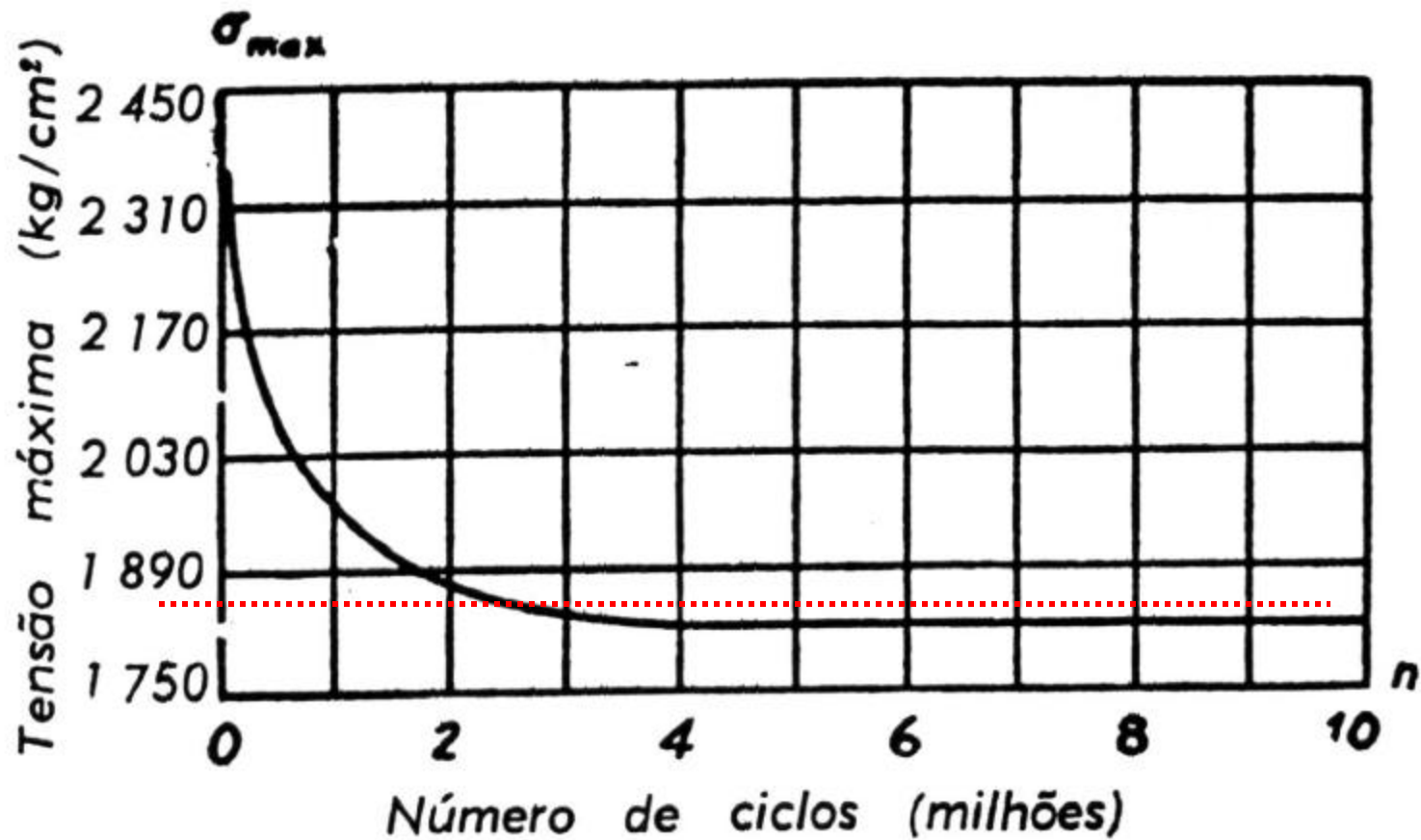
USP





USP

Fadiga: diminuição da resistência por solicitações repetidas





USP

PROJETO DAS OBRAS DE ARTE

- CARGA MÓVEL -



CARGA MÓVEL

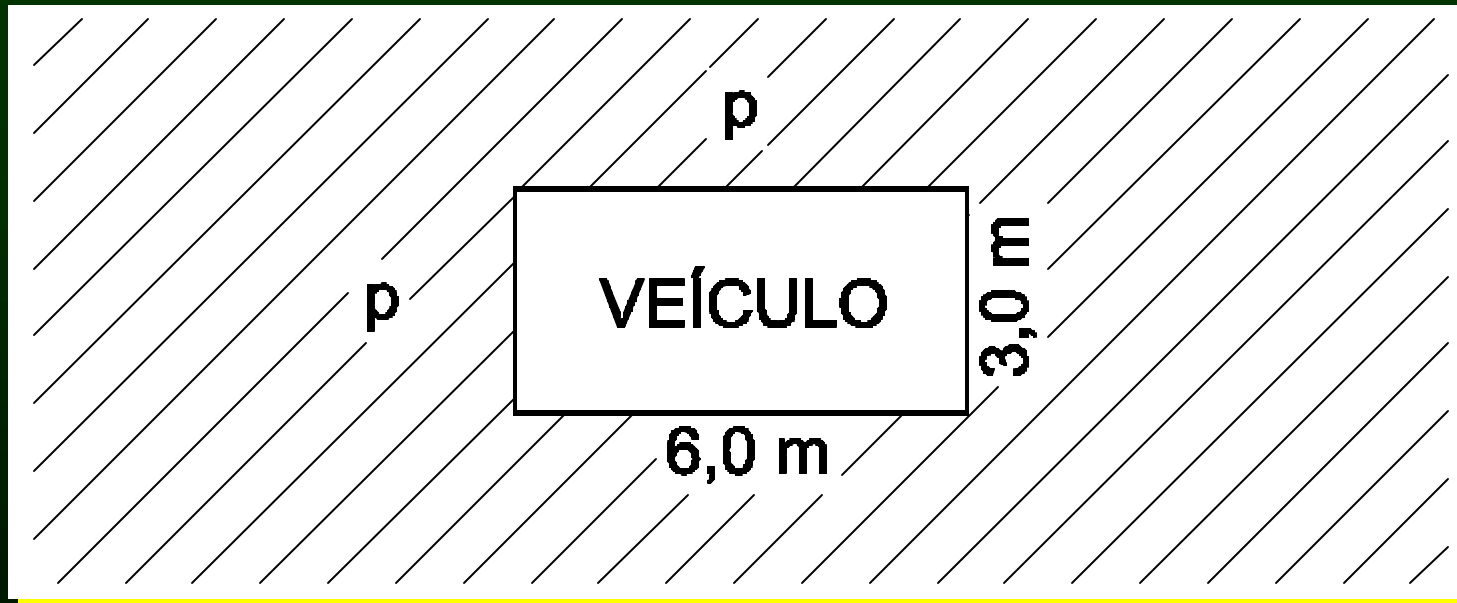
PROCEDIMENTO DAS NORMAS BRASILEIRAS



Carga móvel (ou trem-tipo):

Sistema de cargas representativo do tráfego

veículo-tipo + carga distribuída





CARGA MÓVEL
PROCEDIMENTO DAS NORMAS BRASILEIRAS



ANTIGA NB-6:1960 (válida até 1984)

- **CLASSE 12 (veículo-tipo de 12t)**
- **CLASSE 24 (veículo-tipo de 24t)**
- **CLASSE 36 (veículo-tipo de 36t)**

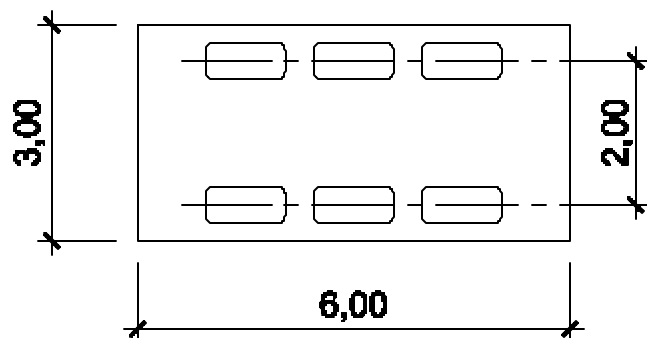
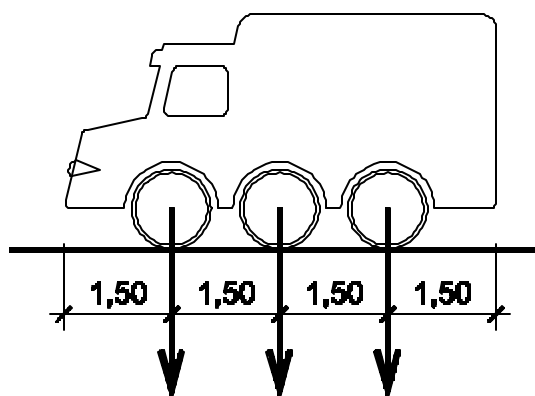


CARGA MÓVEL – ANTIGA NB 6:1960

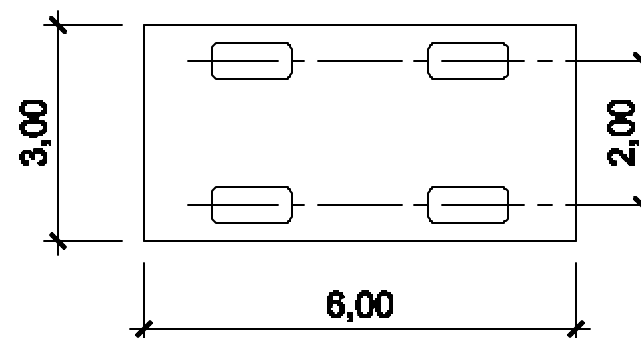
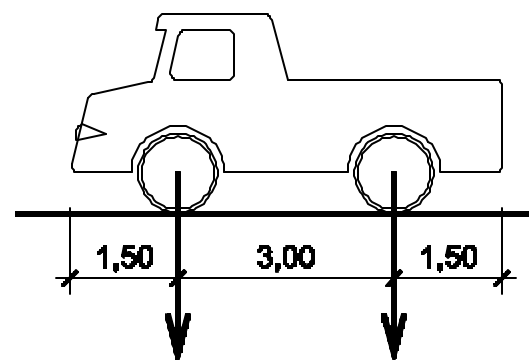
Veículos

USP

TIPOS 36 e 24



TIPO 12





CARGA MÓVEL – ANTIGA NB 6:1960

Carga distribuída



Classe 36:

5kN/m² (0,5tf/m²) na faixa do veículo

Classe 24:

4kN/m² (0,4tf/m²) na faixa do veículo

Classe 12:

3kN/m² (0,3tf/m²) na faixa do veículo

Demais faixas e passeios: 3kN/m² (0,3tf/m²)



CARGA MÓVEL
PROCEDIMENTO DAS NORMAS BRASILEIRAS



NBR 7188:1984 – atualmente em vigor

“Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre”

- **CLASSE 12 (veículo-tipo de 12t)**
- **CLASSE 30 (veículo-tipo de 30t)**
- **CLASSE 45 (veículo-tipo de 45t)**

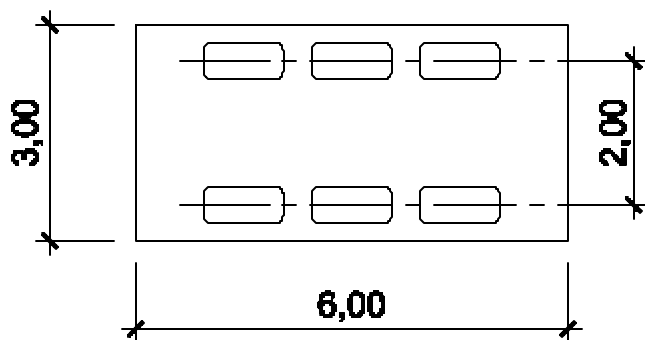
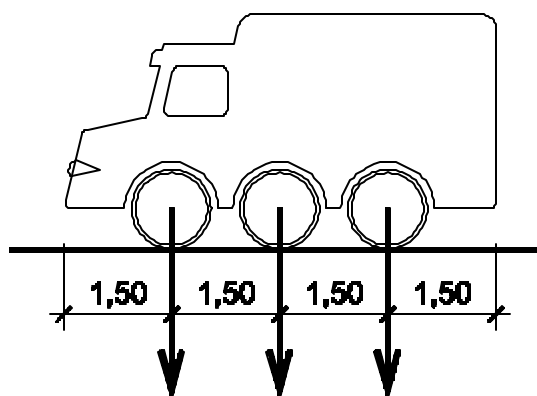


CARGA MÓVEL - NBR 7188/84

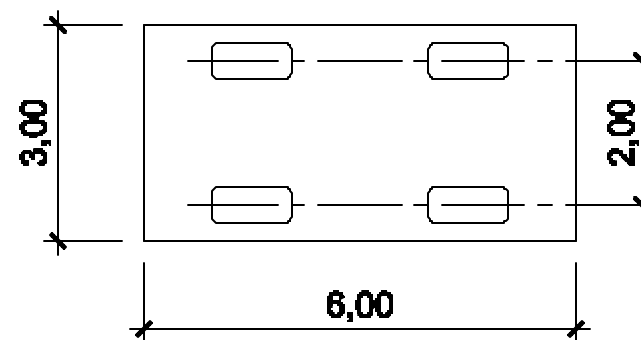
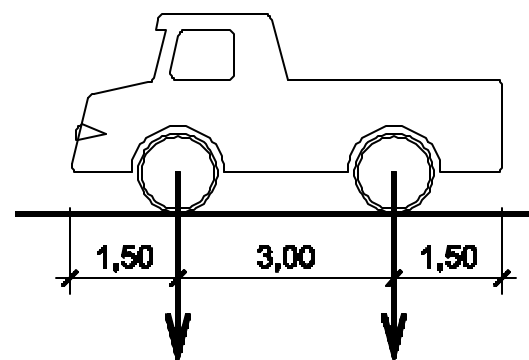
Veículos



TIPOS 45 e 30



TIPO 12





CARGA MÓVEL - NBR 7188/84



Carga distribuída

Classes 45 e 30:

5kN/m² (0,5tf/m²) na pista

3kN/m² (0,3tf/m²) nos passeios

Classe 12:

4kN/m² (0,4tf/m²) na pista

3kN/m² (0,3tf/m²) nos passeios



CARGA MÓVEL - NBR 7188/84

USP

A carga distribuída de **0,5tf/m²**
é representativa?

**Exemplo 1: veículos simples ou articulados em
situação de congestionamento ***

Caminhão toco: $16t / (3m \times 12m) = 0,45tf/m^2$

Caminhão trucado: $23t / (3m \times 14m) = 0,55tf/m^2$

Carreta: $41,5t / (3m \times 20m) = 0,69tf/m^2$

Basculante: $45t / (3m \times 16m) = 0,94tf/m^2$

*** Dimensões adotadas:**

Largura = 2,6m + 0,4m (folga lateral) = 3m

Comprimento + 2m (folga frontal)



CARGA MÓVEL - NBR 7188/84



A carga distribuída de **0,5tf/m²**
é representativa?

Exemplo 2: CVC's em situação normal de tráfego *

$$\text{CVC 74/20: } 74\text{t} / (3,5\text{m} \times 35\text{m}) = \mathbf{0,60\text{tf/m}^2}$$

$$\text{CVC 74/25: } 74\text{t} / (3,5\text{m} \times 40\text{m}) = \mathbf{0,53\text{tf/m}^2}$$

* Dimensões adotadas:

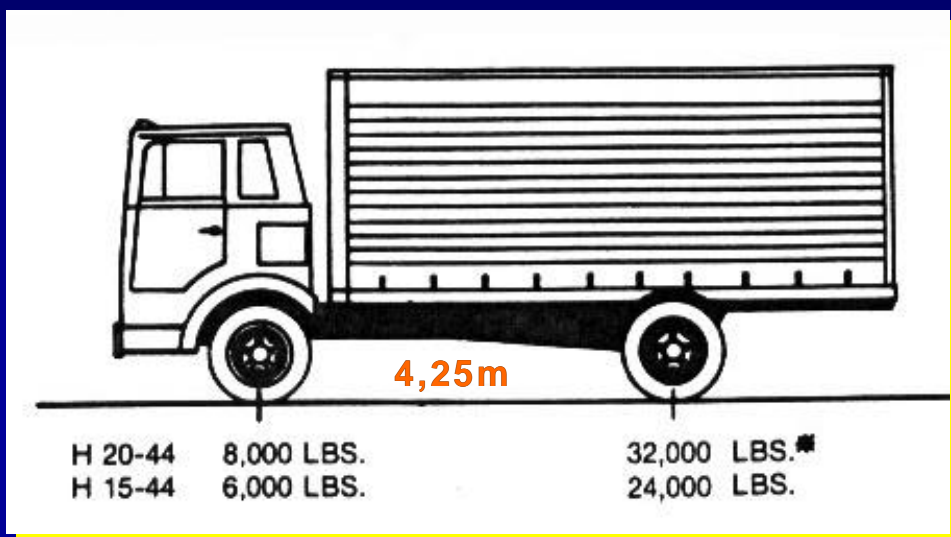
Largura = 3,5m

Comprimento + 15m (distância entre veículos)



CARGA MÓVEL – AASHTO

Standard trucks (um veículo por faixa)

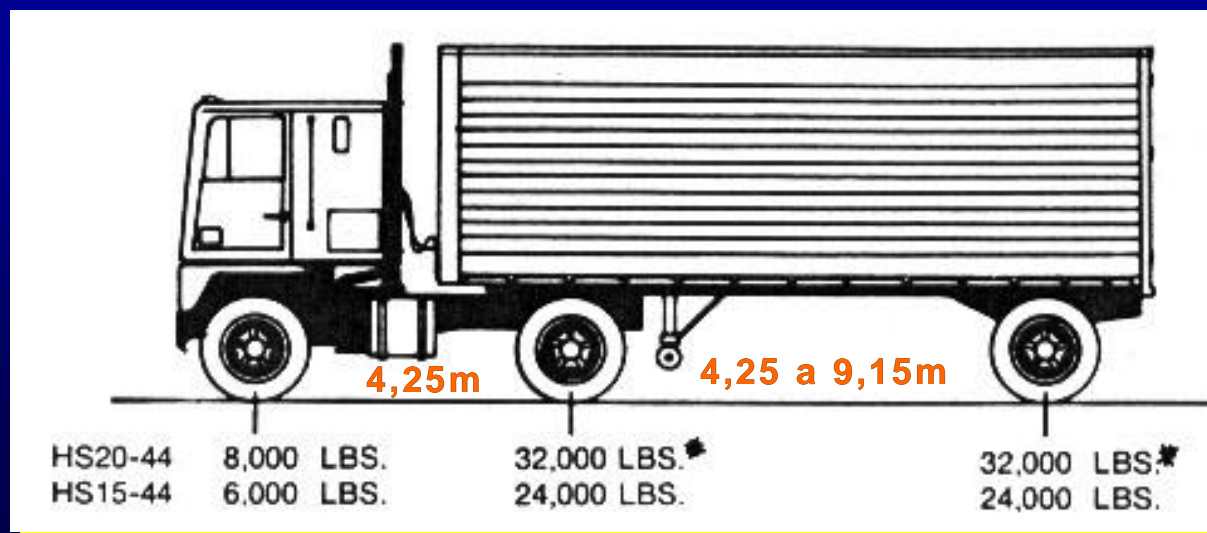


H 20 (18t)

H 15 (13t)

HS 20 (32t)

HS 15 (24t)

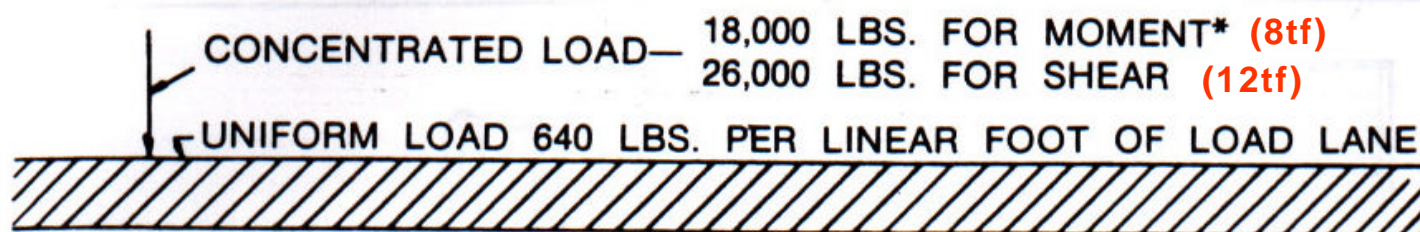




CARGA MÓVEL - AASHTO

USP

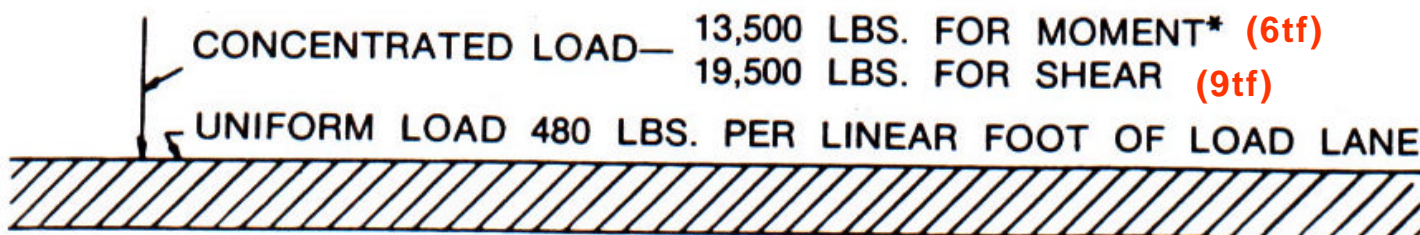
Alternativa: substituir *standard trucks* por *lane loads*



H20-44 / HS20-44 LOADING

0,93tf/m
(0,31tf/m²)

Largura da lane (faixa) = 3m



H15-44 / HS15-44 LOADING

0,7tf/m
(0,23tf/m²)



NBR *versus* AASHTO

USP

Se a carga móvel da norma **AASHTO** é inferior à da **NBR 7188**, as pontes americanas possuem menor capacidade de carga que as pontes brasileiras?



NBR *versus* AASHTO

USP

1 - Combinações de ações

NBR 8681:1984 – Ações e segurança nas estruturas

$$(1,3 \text{ ou } 1,4)G + 1,4Q$$

NBR 7187:1986 – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido

$$1,35G + 1,5Q$$

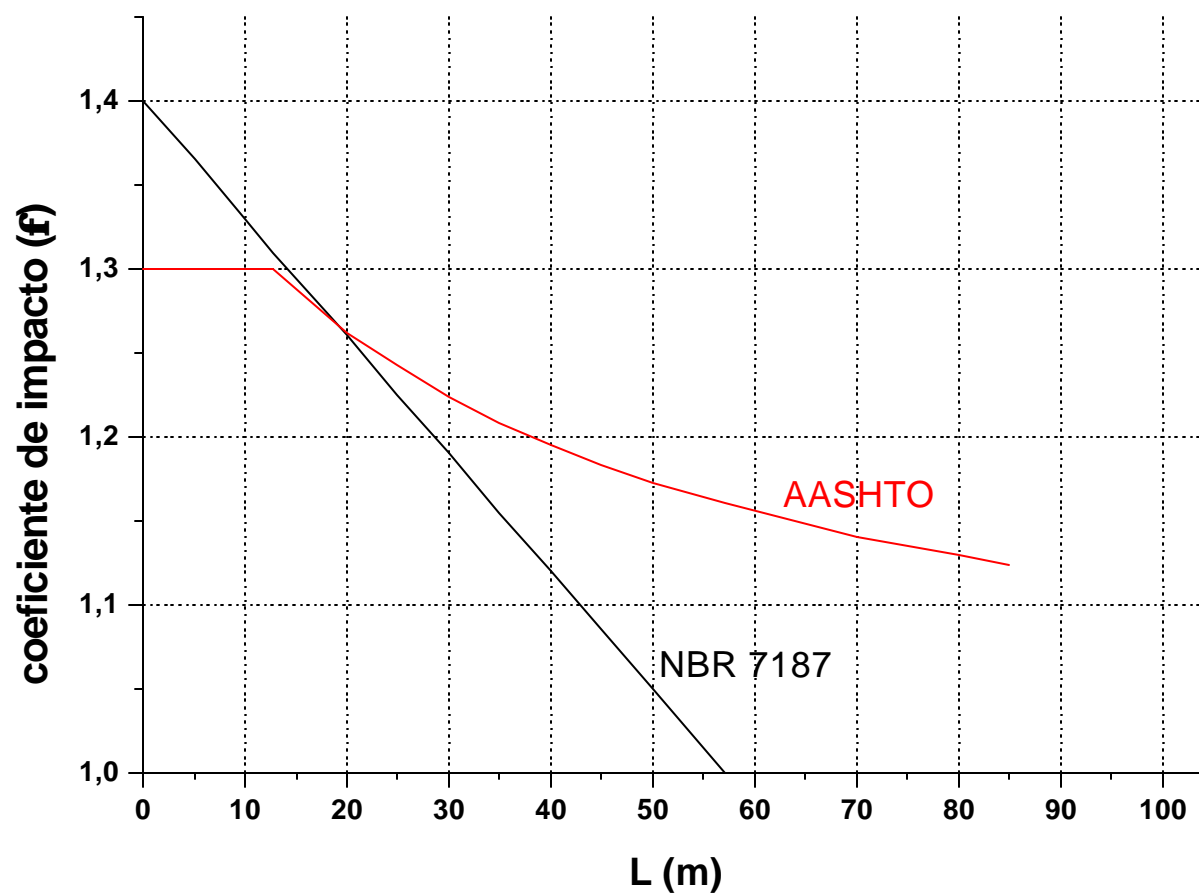
$$\text{AASHTO: } 1,3G + 2,2Q$$



USP

NBR versus AASHTO

2 – Coeficiente de impacto





NBR *versus* AASHTO



EXEMPLO

Ponte de três vigas simplesmente apoiadas sem passeios
Vão: 20m ($f = 1,26$ para NBR e AASHTO)

Vigas de extremidade:

$$M(\text{AASHTO}) / M(\text{NBR}) = 0,89 \text{ (standard trucks)}$$

$$M(\text{AASHTO}) / M(\text{NBR}) = 0,77 \text{ (lane loads)}$$

Viga central:

$$M(\text{AASHTO}) / M(\text{NBR}) = 1,03 \text{ (standard trucks)}$$

$$M(\text{AASHTO}) / M(\text{NBR}) = 0,91 \text{ (lane loads)}$$



USP

VEÍCULOS ANALISADOS



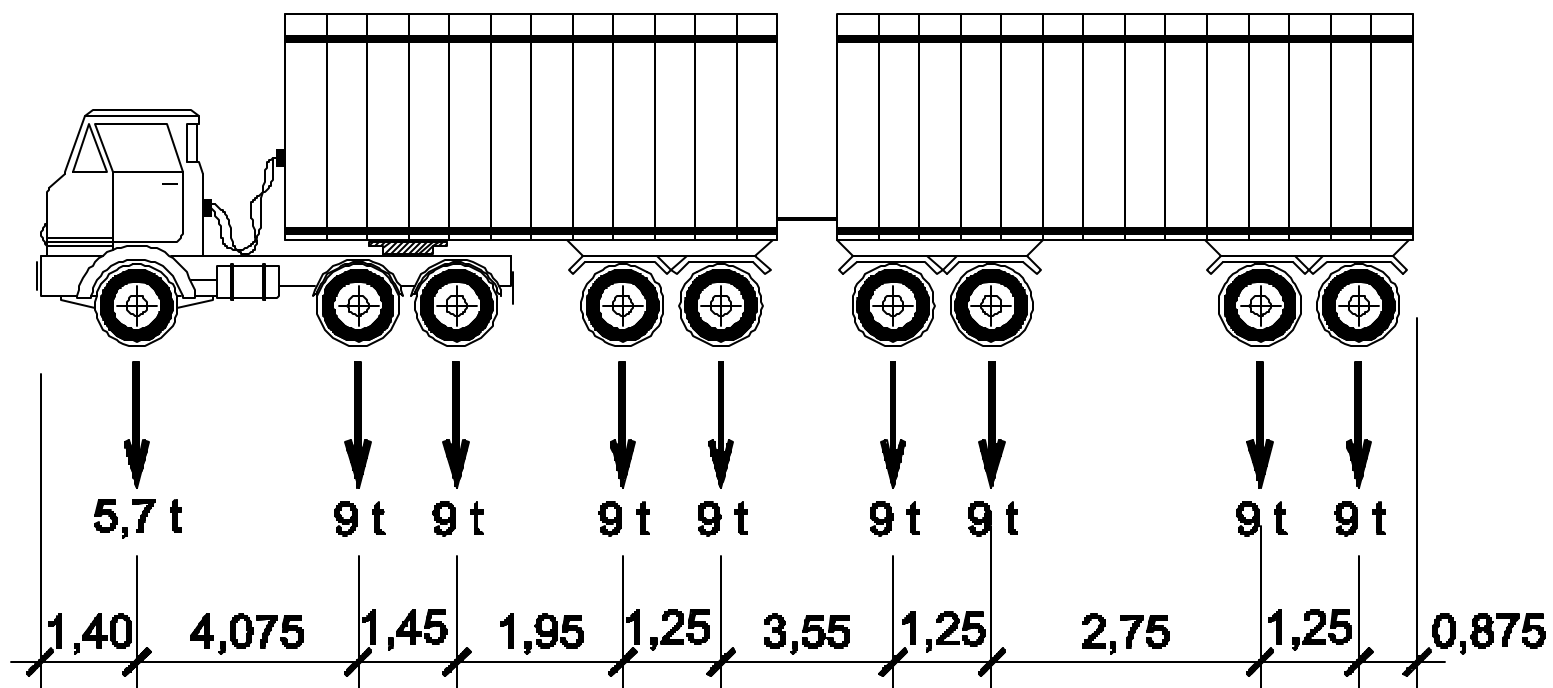
CVC - Brasil



1

Rodotrem - 74 t (+ 5% lei da balança = 77,7t)

Comprimento total = 19,80m





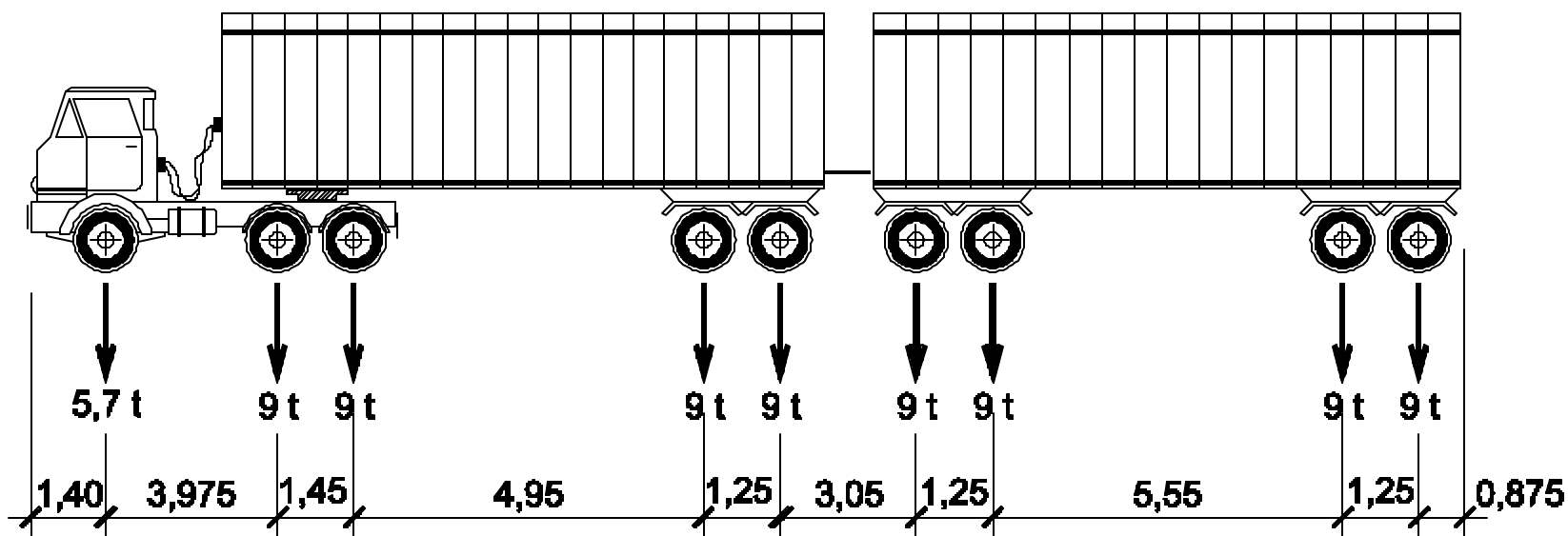
CVC - Brasil



2

Rodotrem - 74 t (+ 5% lei da balança = 77,7t)

Comprimento total = 25,00m





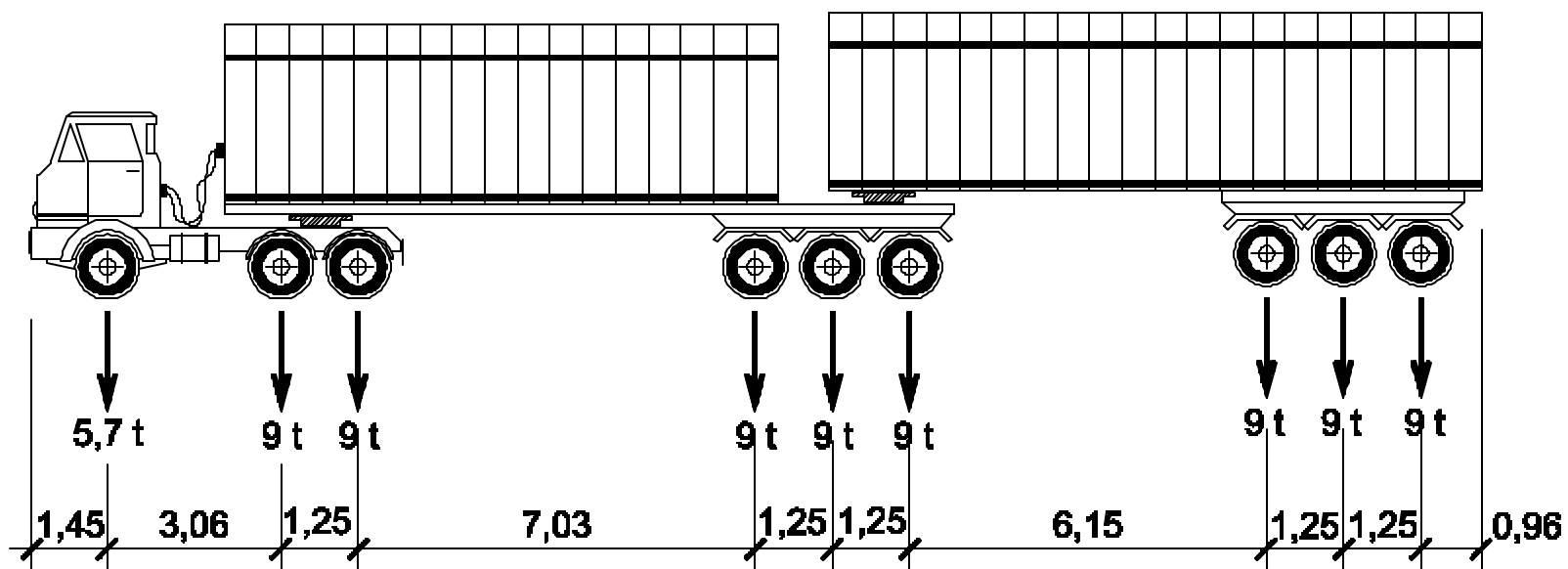
CVC - Brasil



3

Bi-trem - 74 t (+ 5% lei da balança = 77,7t)

Comprimento total = 24,90m

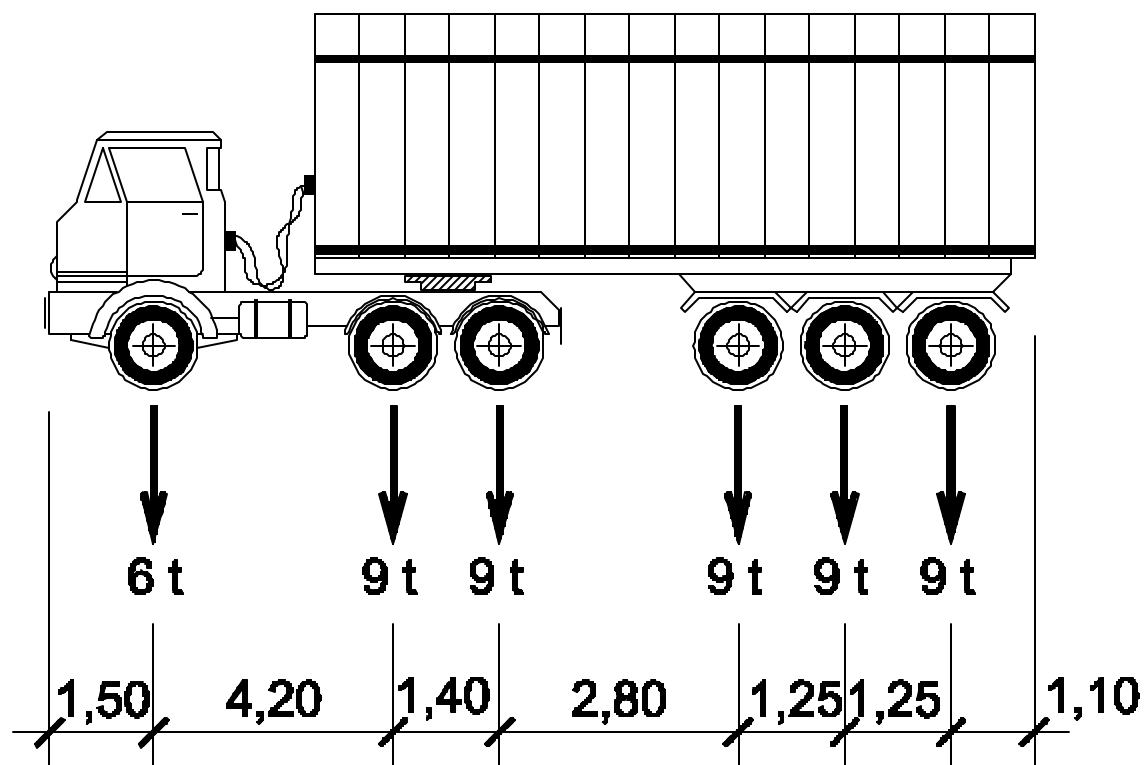




Bascalante - Brasil



4 Bascalante - 48,5 t (+ 5% = 51t)
Comprimento total = 13,50m





USP

VEÍCULOS ESPECIAIS

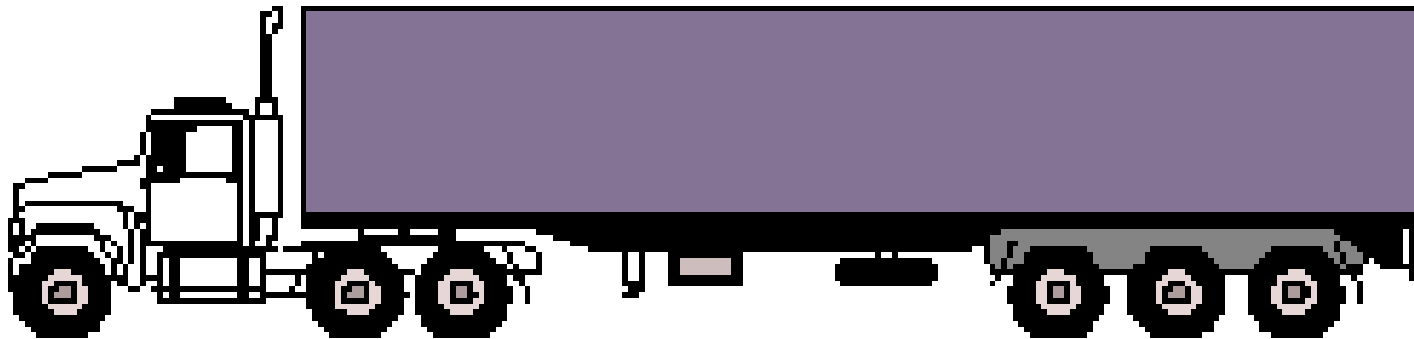
Austrália



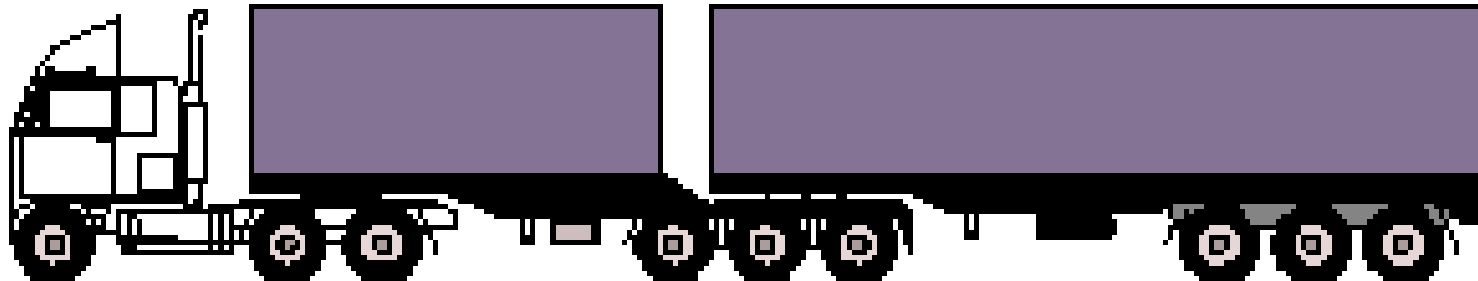
VEÍCULOS ESPECIAIS



Austrália



45t / 19m (6 eixos)



68t / 25m (9 eixos)

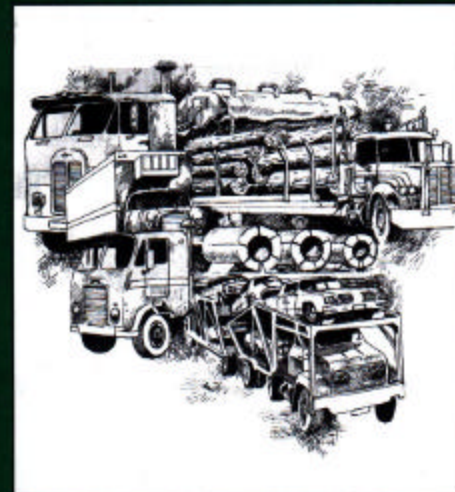



USP

VEÍCULOS ESPECIAIS

Canadá

VEHICLE WEIGHT AND DIMENSION LIMITS IN ONTARIO



 Ontario

April 1997

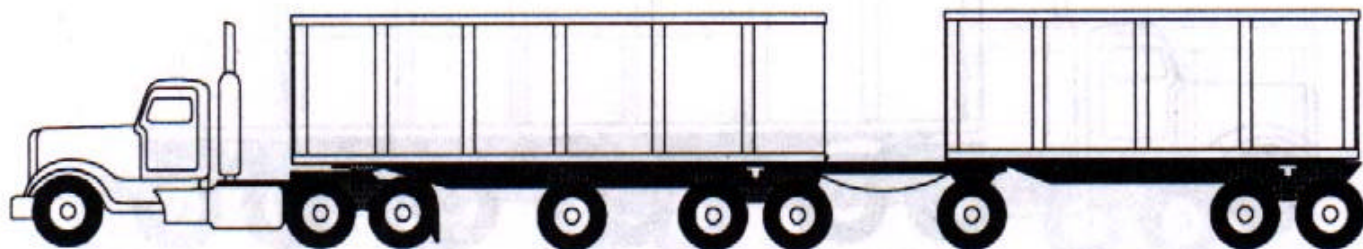


VEÍCULOS ESPECIAIS

Canadá

USP

Example 9 - Three axle tractor with three axle semi-trailer and three axle pup



3.73 m 1.55 m 2.95 m 2.51 m 1.55 m 3.0 m 3.03 m 1.83 m

Single
Axle

Dual
Axle

Single
Axle

Dual
Axle

Single
Axle

Dual
Axle

Comprimento base: 20,15m (9 eixos)

Peso "agregado": 57,7t

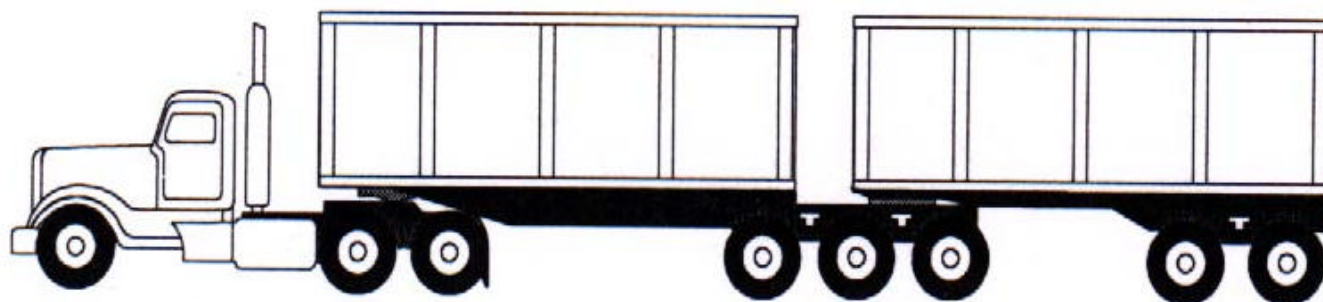


VEÍCULOS ESPECIAIS

Canadá



Example 10 - Twenty-five metre B-train double (eight axle)



4.30 m	1.55 m	6.60 m	1.55 m	1.55 m	6.35 m	1.85 m
Single Axle	Tandem(dual) Axle	Tridem (triple) Axle	Tridem (triple) Axle		Tandem(dual) Axle	Tandem(dual) Axle

Comprimento base: 23,75m (8 eixos)

Peso “agregado”: 62t



USP

VEÍCULOS ESPECIAIS

Estados Unidos



“Bridge formula” proposta - EUA

USP

$$P = 4,448(5,38L + 30) \quad \text{para } L < 15\text{m}$$

$$P = 4,448(2,62L + 72) \quad \text{para } L > 15\text{m}$$

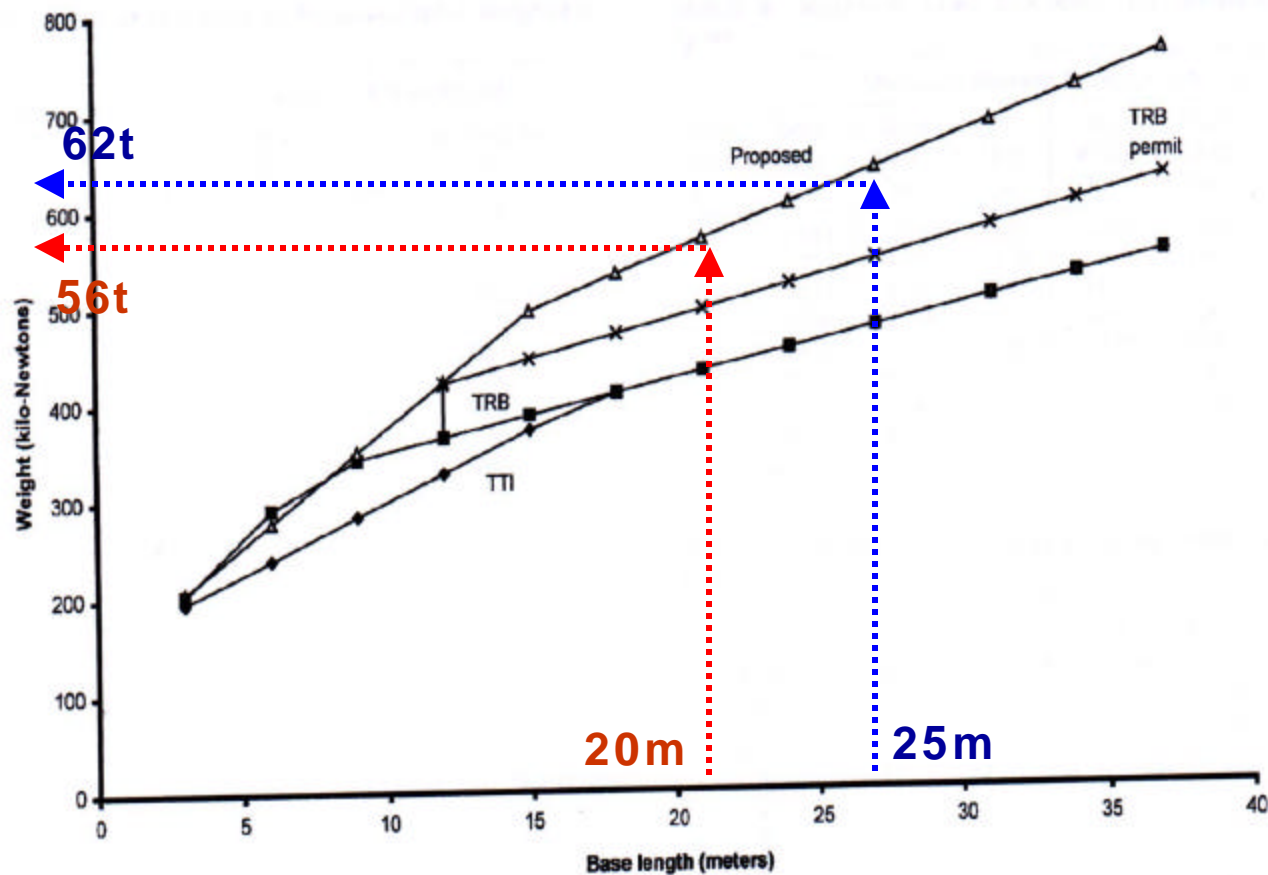


FIG. 1. Comparison of Truck Weight Formulas



ESCOPO DO TRABALHO



ESCOPO



Primeira parte:

Conhecimento do universo para definição de sistemas típicos e suas características
(não envolveu trabalho de campo)

17.542 desenhos analisados

**2.276 obras de arte cadastradas
em banco de dados**



BANCO DE DADOS



Dados da Obra de Arte

*Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Estruturas*

Identificação | Classe/Material | Sistema Estrutural | Seção Transversal | Demais Elementos

1. Identificação

Nome	<input type="text"/>
Arquivo do CD-DER	<input type="text"/>
Rodovia	<input type="text"/>
Localização	<input type="text"/>
Data do Projeto	<input type="text"/>
Data da Construção	<input type="text"/>
Projetista	<input type="text"/>
Construtora	<input type="text"/>
Condição dos Dados	<input type="text"/>

OBS:



RESULTADOS - EXEMPLO

USP

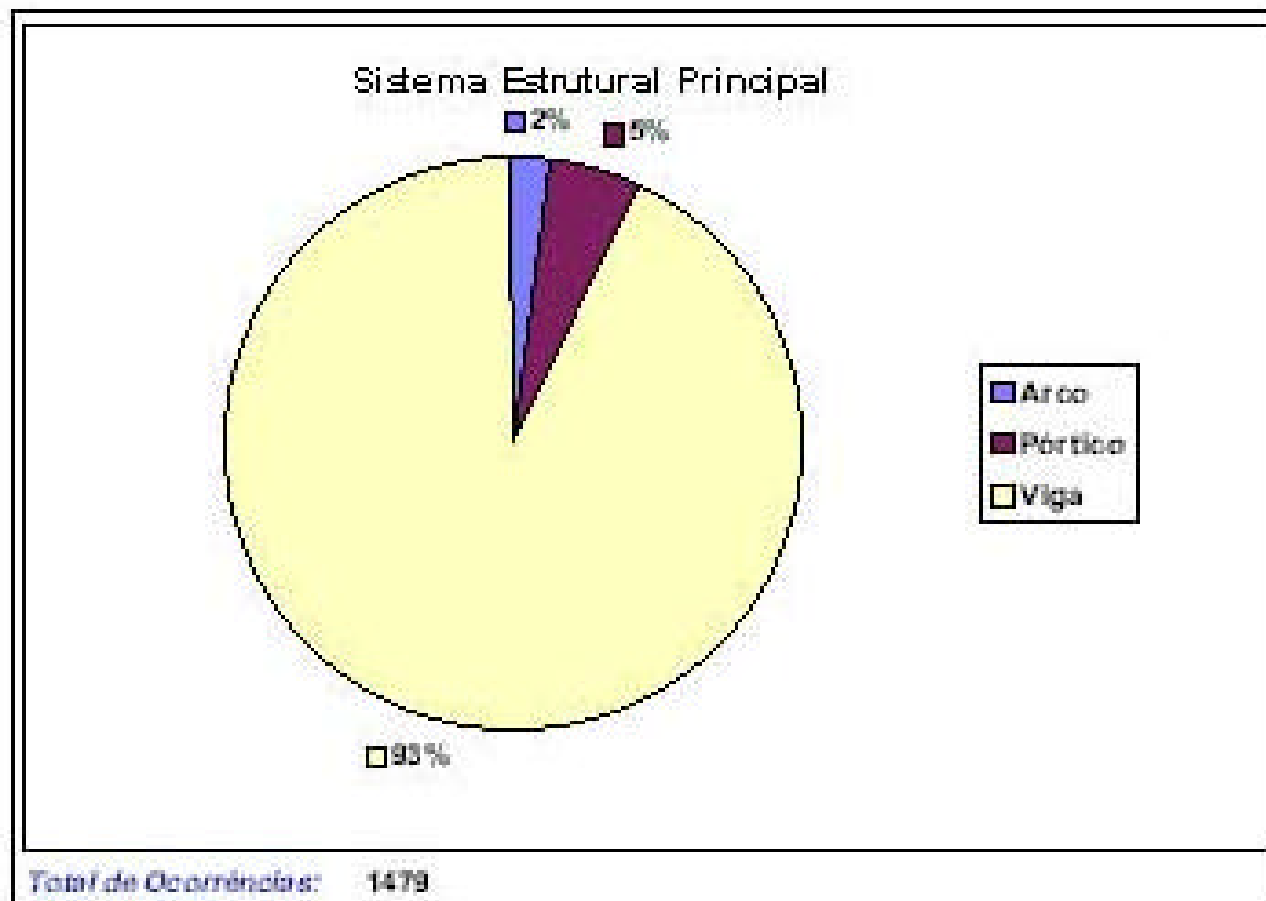
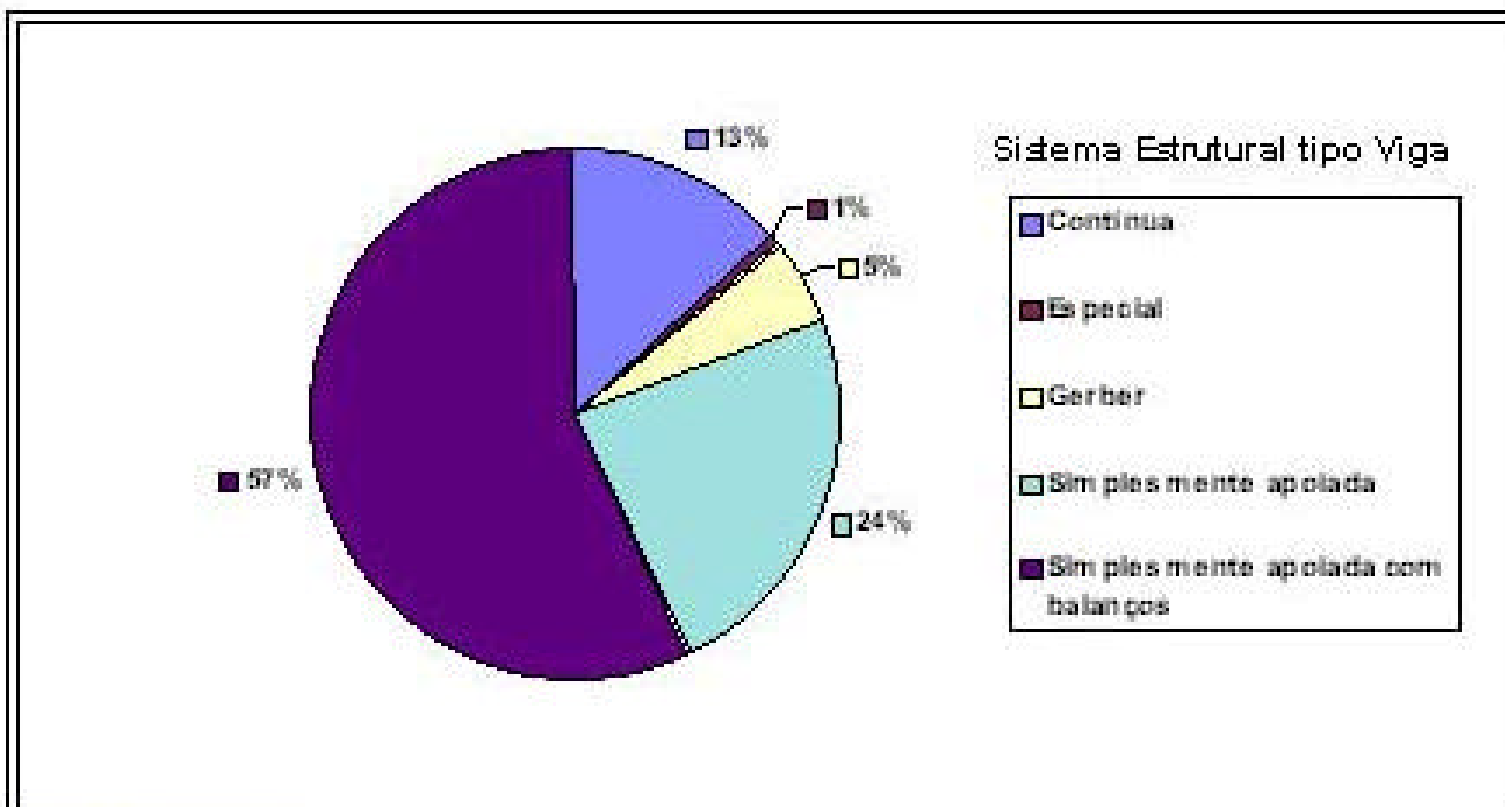


Gráfico 1 - Porcentagem das pontes em relação ao sistema estrutural principal



RESULTADOS - EXEMPLO

USP



Total de Ocorrências: 1372

Gráfico 2 - Porcentagem das pontes com sistema estrutural do tipo viga



ESCOPO



Segunda parte:

Análise estrutural de sistemas representativos, comparando efeitos de carregamentos normativos com carregamentos especiais

Ferramenta: programa *STRAP*



ANÁLISE COMPARATIVA



Trens-tipo normativos: (referência)

Classe 45 (NBR 7188/84)

Classe 36 (norma antiga)

Classe 24 (norma antiga)

Trens-tipo especiais:

Rodotrem 74/20

Rodotrem 74/25

Bi-trem 74/25

Basculante 48/14



ANÁLISE COMPARATIVA



Trem-tipo especial adotado:

CVC + carga distribuída da classe 45 (0,5tf/m²)

Justificativas:

- sistema representativo do tráfego
- carga distribuída da classe 45 (0,5tf/m²) é compatível com o tráfego atual
- facilidade de análise



ANÁLISE COMPARATIVA



Casos analisados

Seção transversal:

Laje – maciça e vazada

Viga T – duas e cinco vigas

Viga de seção celular – duas e quatro células

Esquema longitudinal:

Simplesmente apoiada

Simplesmente apoiada com balanços

Contínua de dois e três tramos

Vãos principais: 10, 20, 30 e 40 metros

Largura do tabuleiro:

Estreito: 8 metros

Largo: 12 metros

Obs: em todos os casos os passeios foram suprimidos

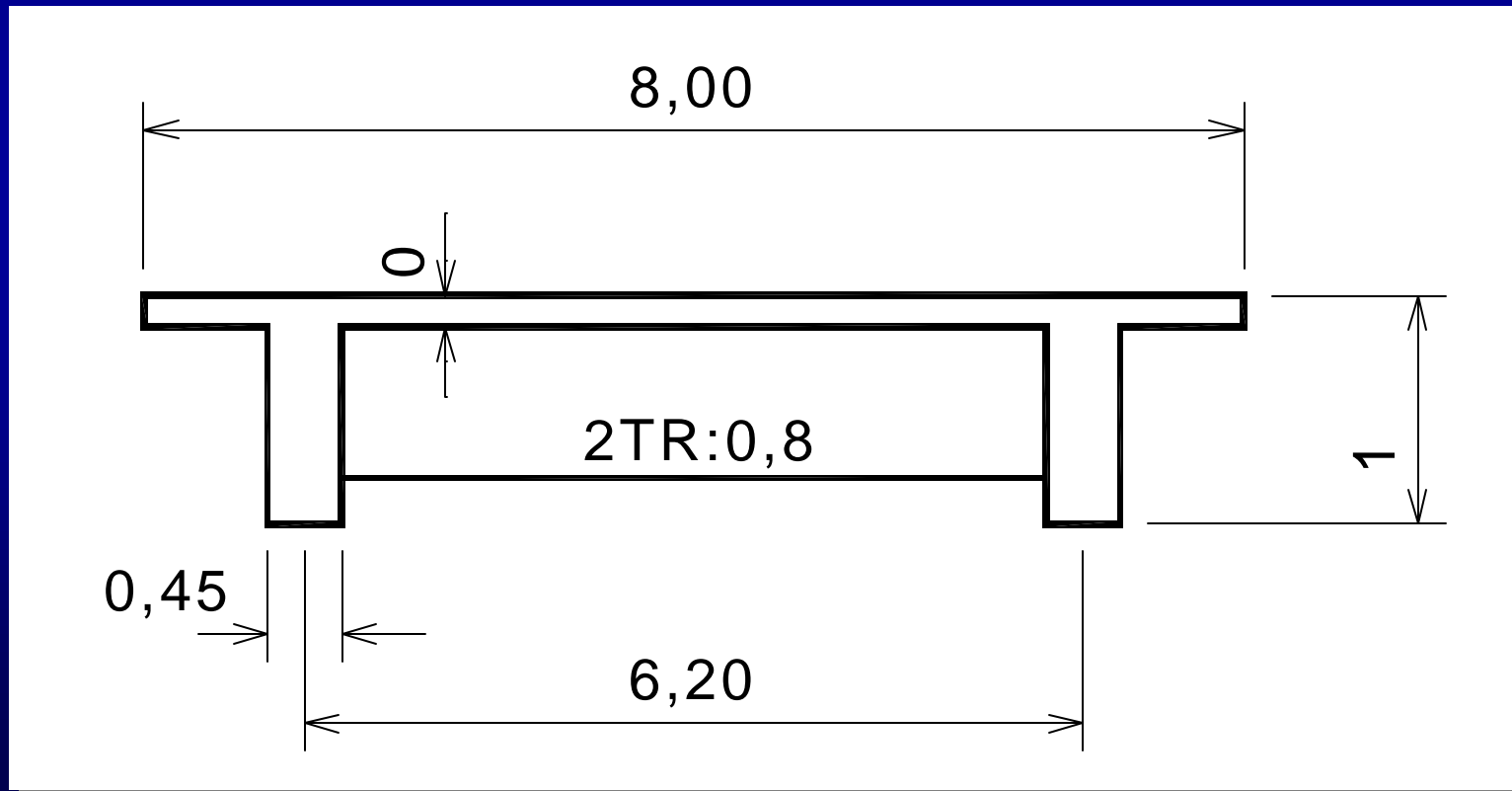


SEÇÕES TRANSVERSAIS

Exemplos

USP

Duas vigas simplesmente apoiadas com balanços
Tabuleiro estreito – vão 20m; balanços 5m



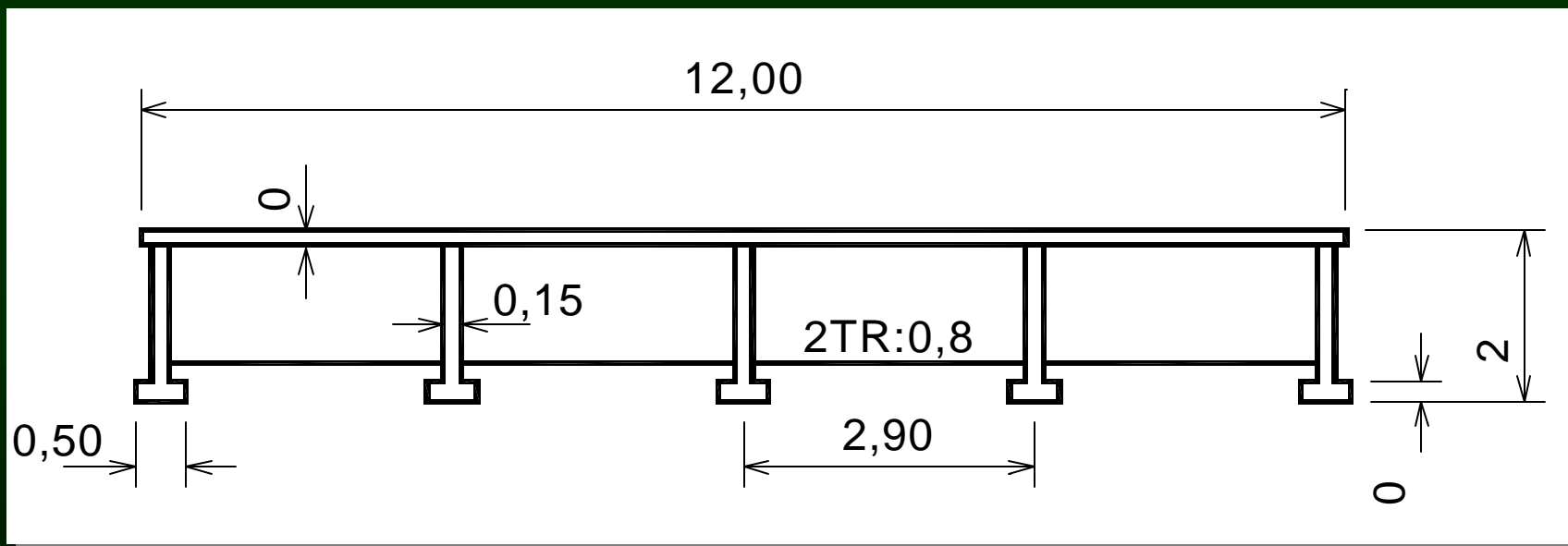


SEÇÕES TRANSVERSAIS

Exemplos



Cinco vigas simplesmente apoiadas – tabuleiro largo
Vão 30m





RESULTADOS – EXEMPLO

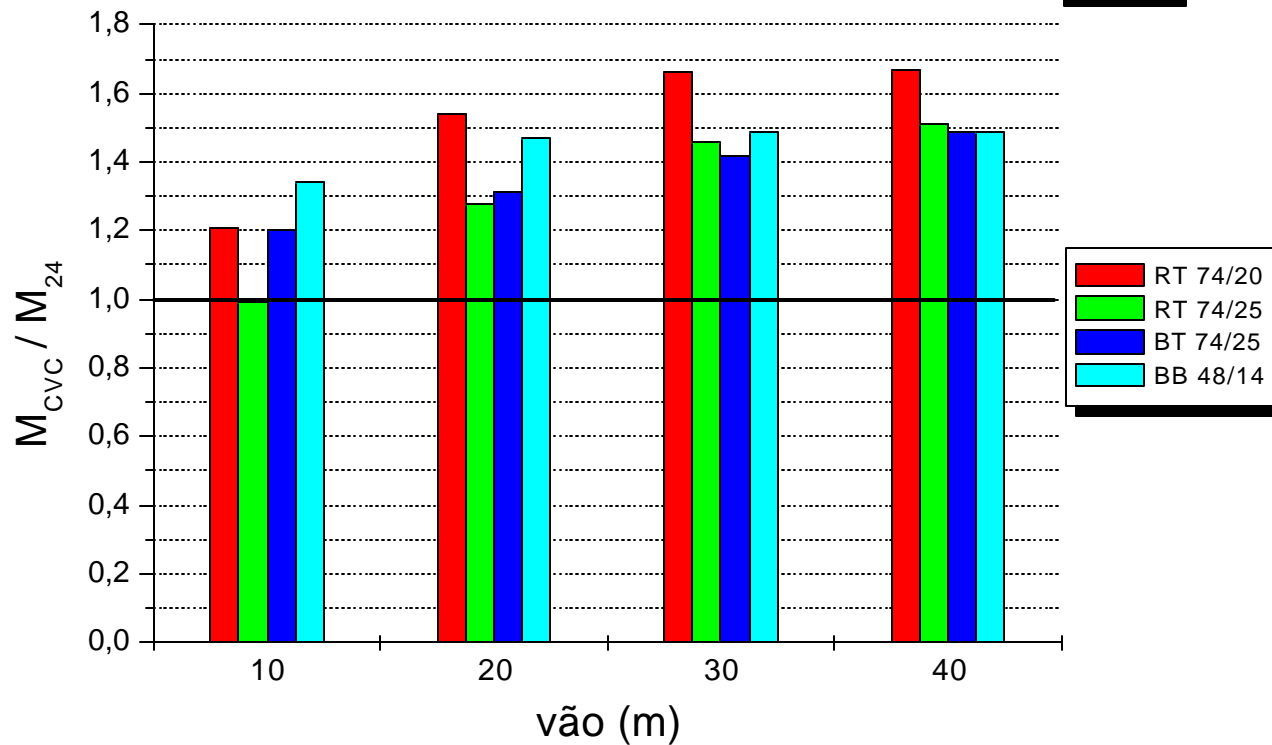
Classe 24

USP

Sistema estrutural: duas vigas simplesmente apoiadas com balanços

Tabuleiro: estreito Referência: classe 24 Esforço: momento positivo

B17





RESULTADOS – EXEMPLO

Classe 36

USP

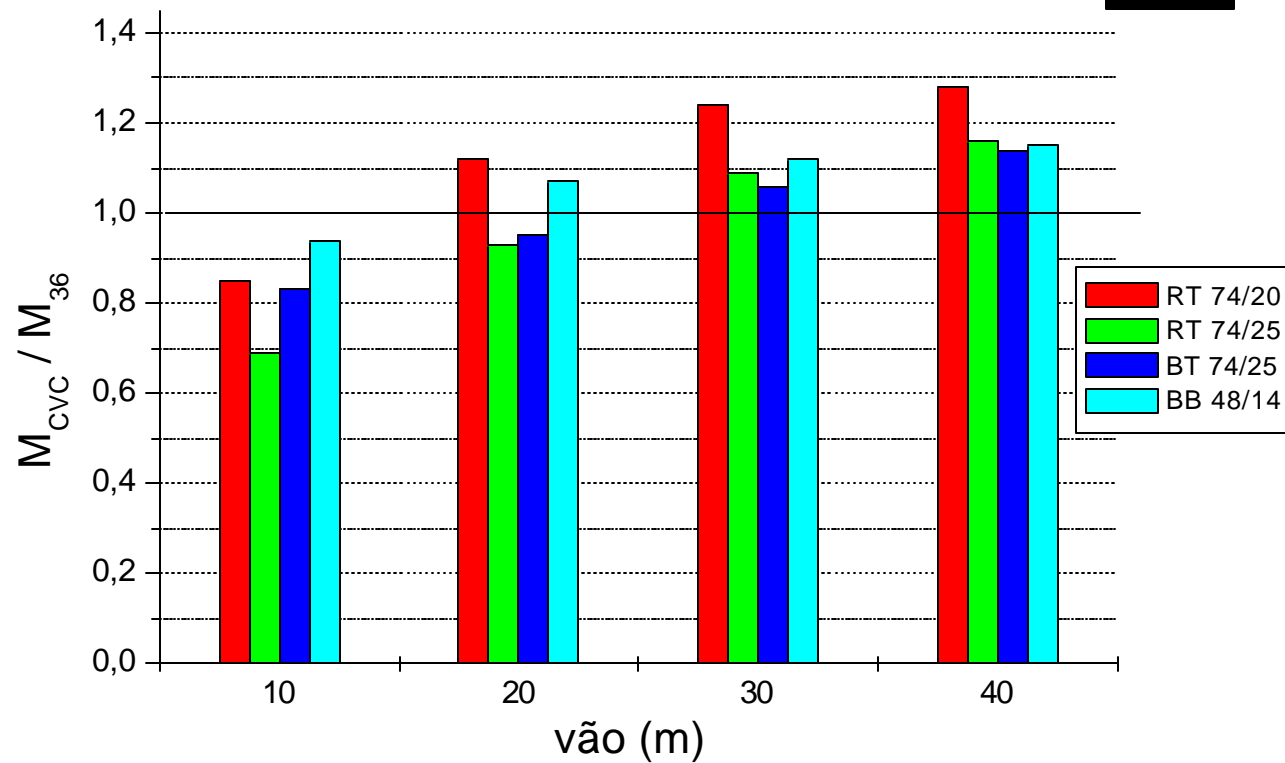
Sistema estrutural: duas vigas simplesmente apoiadas com balanços

Tabuleiro: estreito

Referência: classe 36

Esforço: momento positivo

B19





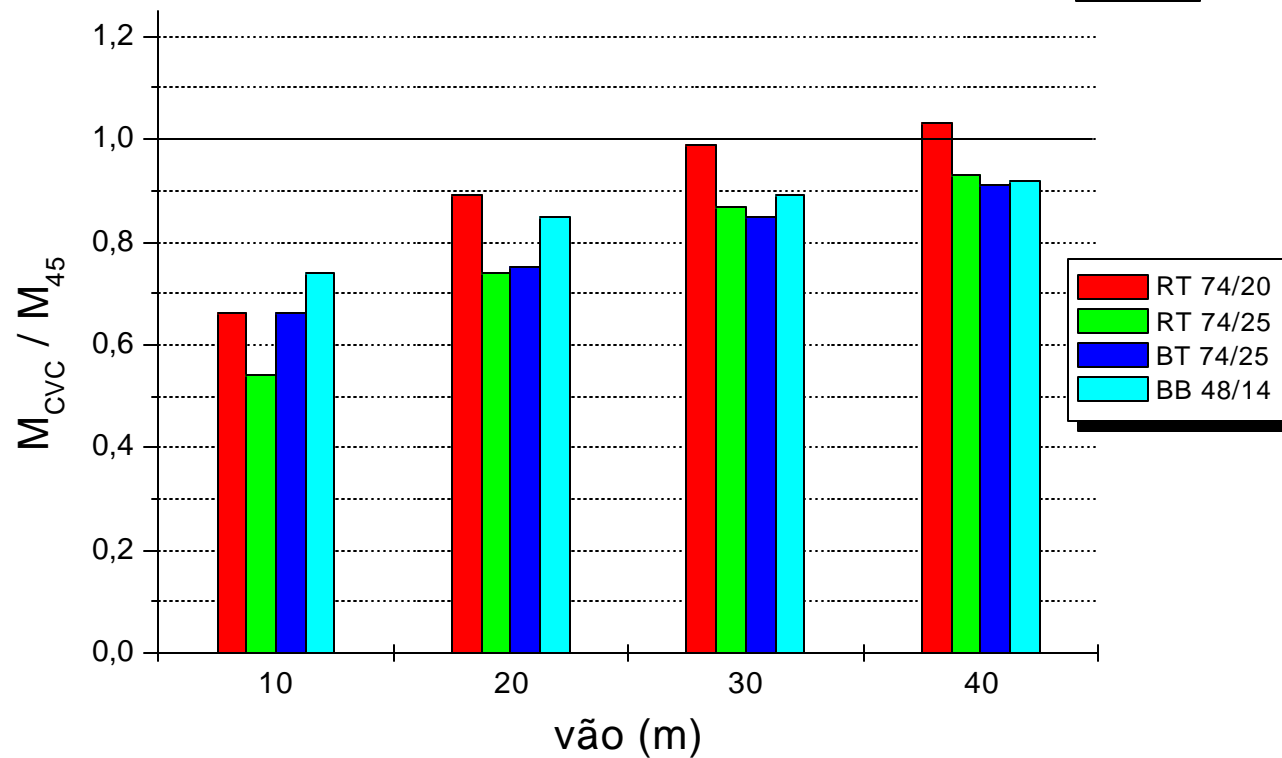
RESULTADOS – EXEMPLO

Classe 45

USP

Sistema estrutural: duas vigas simplesmente apoiadas com balanços
Tabuleiro: estreito Referência: classe 45 Esforço: momento positivo

B21





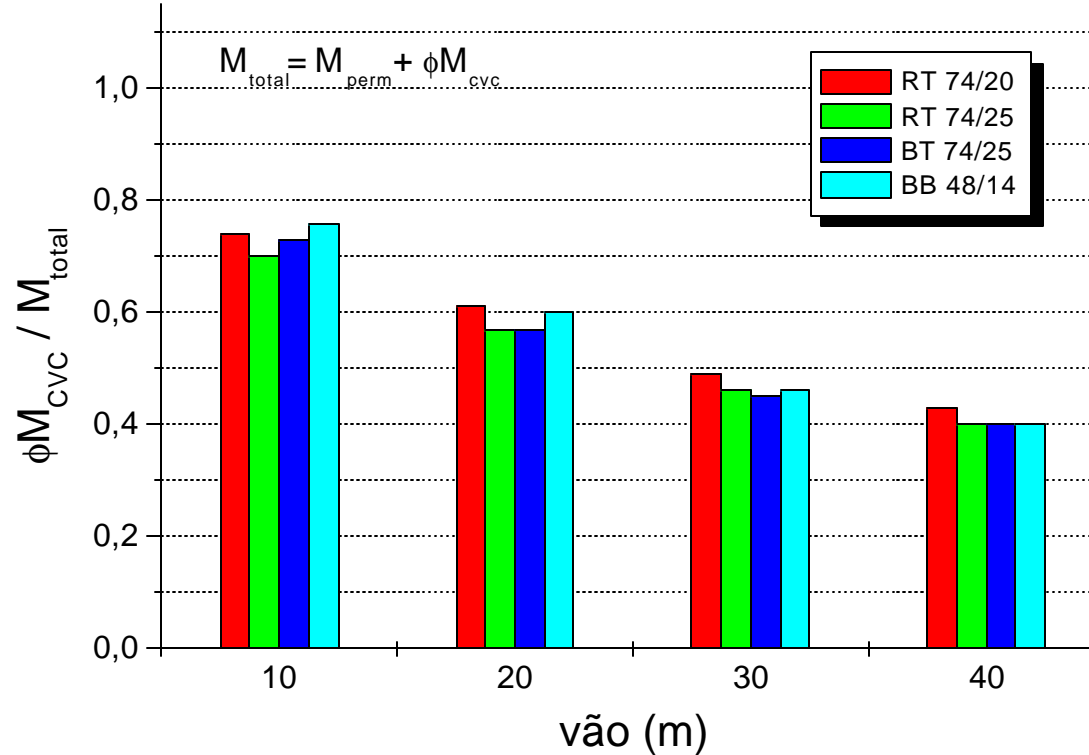
RESULTADOS - EXEMPLO

USP

Carga total = carga permanente + carga móvel

Sistema estrutural: duas vigas simplesmente apoiadas com balanços
Tabuleiro: estreito Referência: carga perm. Esforço: momento positivo

B23





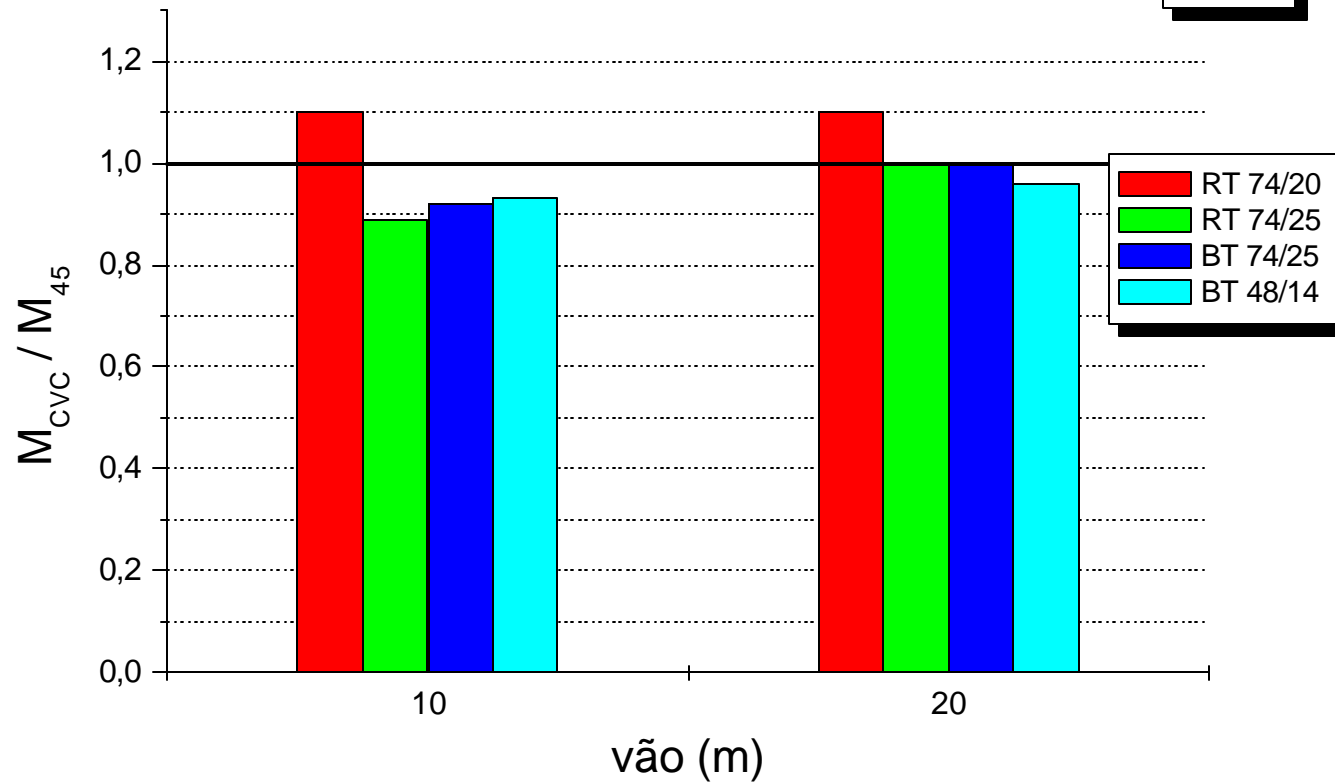
RESULTADOS – EXEMPLO

Classe 45

USP

Sistema estrutural: ponte em laje contínua com 3 tramos iguais
Tabuleiro: largo Referência: classe 45 Esforço: momento negativo

A30

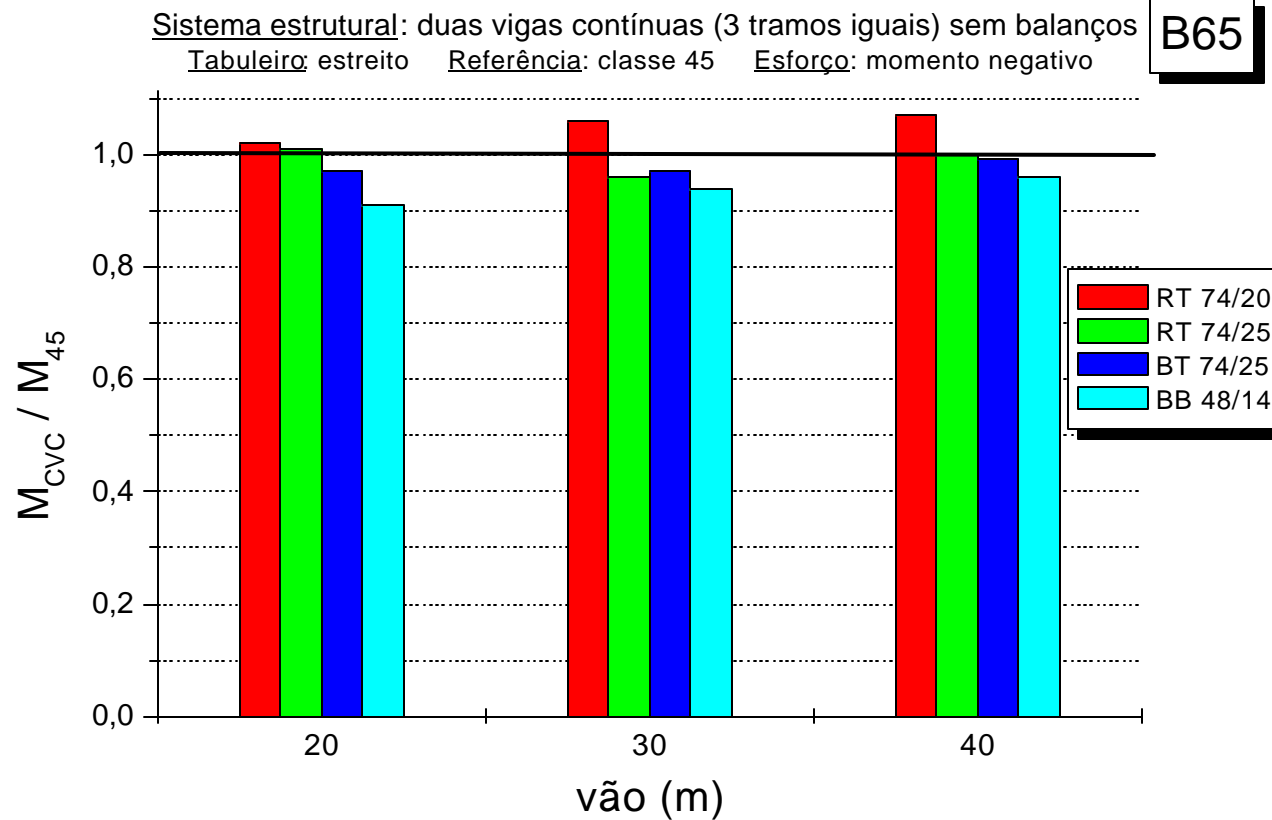




RESULTADOS – EXEMPLO

Classe 45

USP





ESCOPO



Terceira parte:

Conclusões gerais para auxiliar o
DER-SP na tomada de decisões:
emissão de AET



RESUMO DOS RESULTADOS



CVC 74/20 (rodotrem de 74t e comprimento 20m)

Classe PTC	Vão	Tipo estrutural	Resultado
45	< 25m	Qualquer, exceto laje contínua	Recomendado
45	Qualquer	Laje contínua	Não recomendado
36, 30 ou 24	Qualquer	Qualquer	Não recomendado

CVC 74/25 (rodotrem e bi-trem de 74t e comprimento 25m)

Classe PTC	Vão	Tipo estrutural	Resultado
45 ou 36	Qualquer	Qualquer	Recomendado
30 ou 24	Qualquer	Qualquer	Não recomendado

Basculante (analisado com PBT = 48,5t):

em muitos casos mais desfavorável que as CVC's!

Recomendação: PBT deve ser limitado em 45t



USP

Recomendações para análise de situações específicas

Hipótese: integridade estrutural não comprometida!

- 1 - gráficos apresentados no relatório (casos analisados)**
- 2 - análise comparativa de solicitações (casos não analisados) complementada com inspeção**
- 3 - comparação entre esforços solicitantes e respectivos esforços resistentes complementada com inspeção**
- 4 - avaliação mediante prova de carga**



“Bridge formula” Estados Unidos

USP

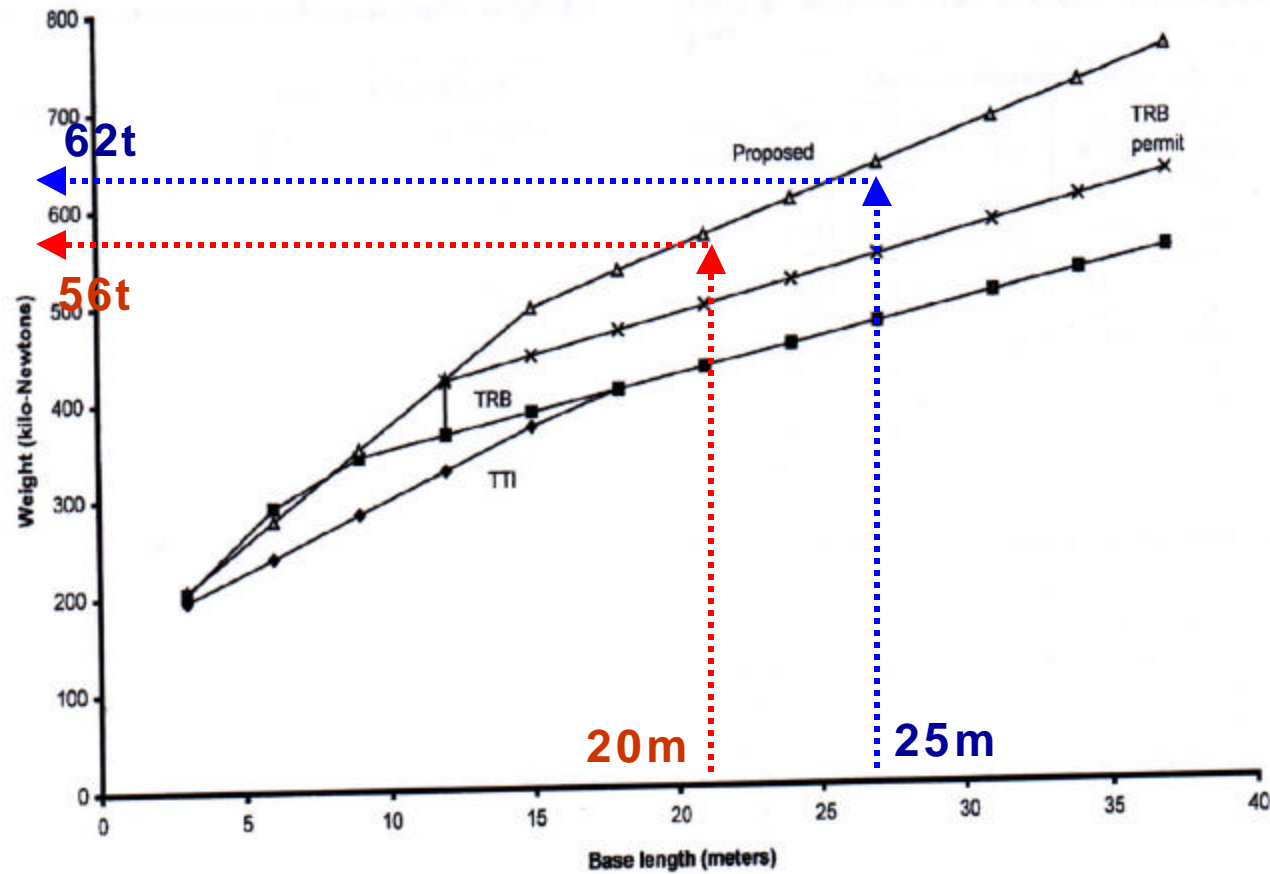
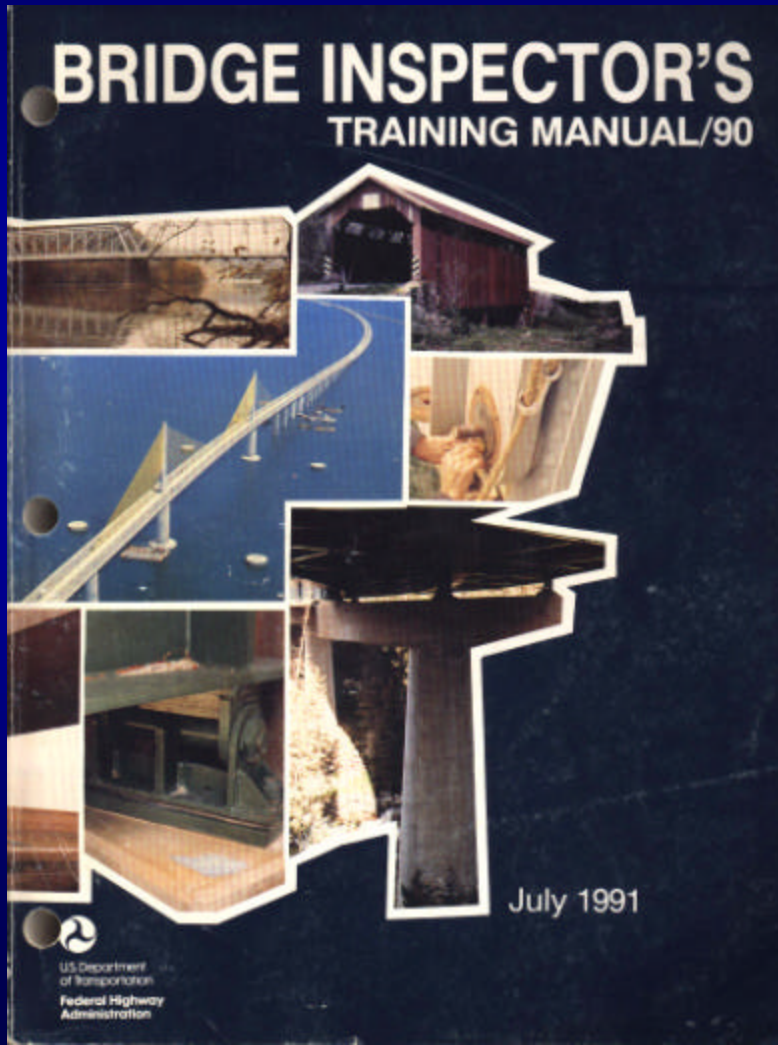


FIG. 1. Comparison of Truck Weight Formulas



Comentários finais

USP



- **estudo inicial:**
superestrutura (tabuleiro)
- **estudos específicos:**
infra-estrutura,
aparelhos de apoio, etc.
- **avaliações de campo:**
programas de inspeção,
manutenção e reabilitação
- **efetivo controle de peso
dos veículos**