

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES (DNIT)
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS (IPR)



ESTADO DA AARTE DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO RODOVIÁRIOS

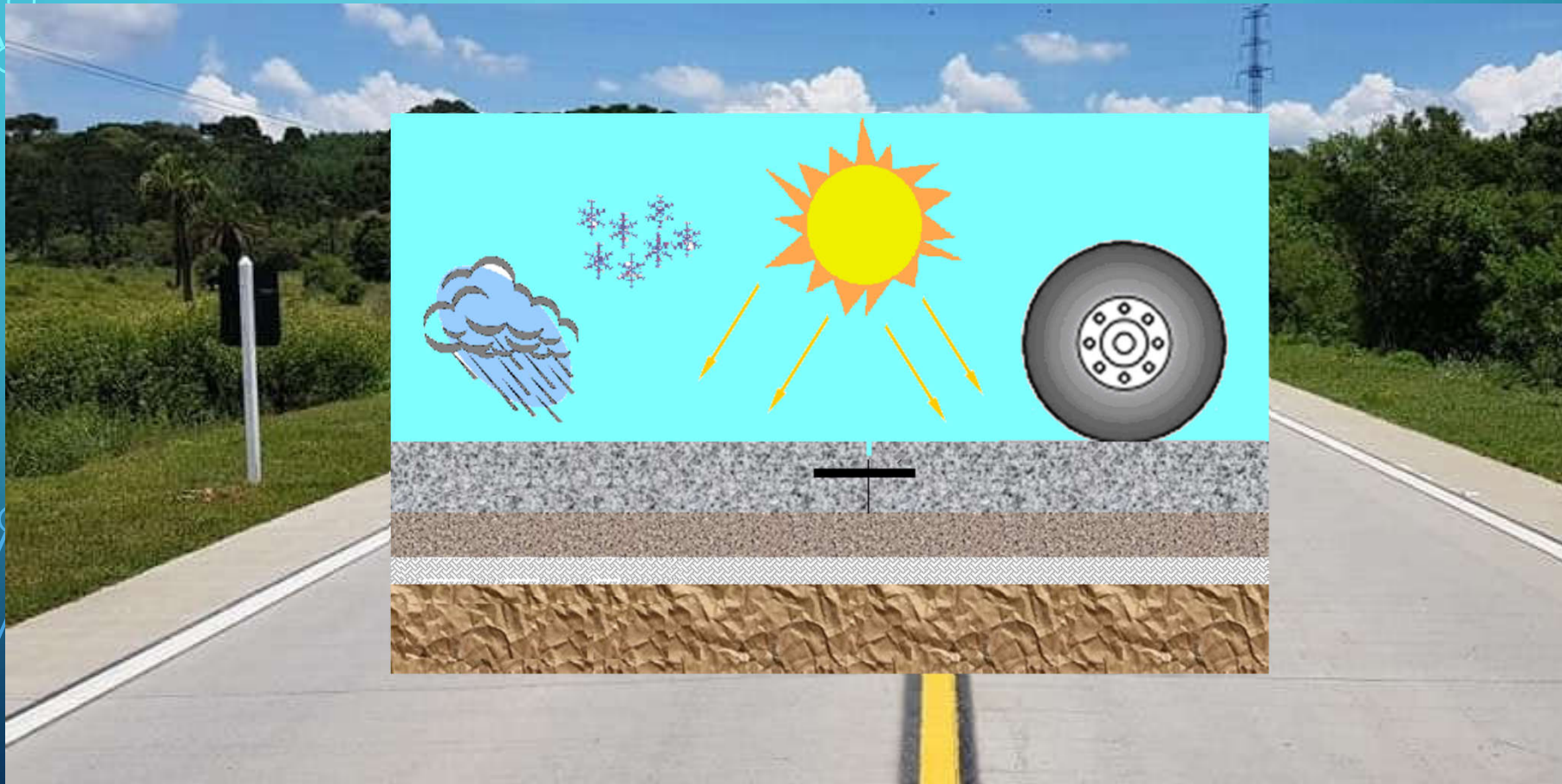
CONCEITOS, TENDÊNCIAS E ESTUDOS DE CASO RECENTES

JOSÉ TADEU BALBO (EPUSP)

EFEITOS DE CARREGAMENTOS SOBRE A PLACA

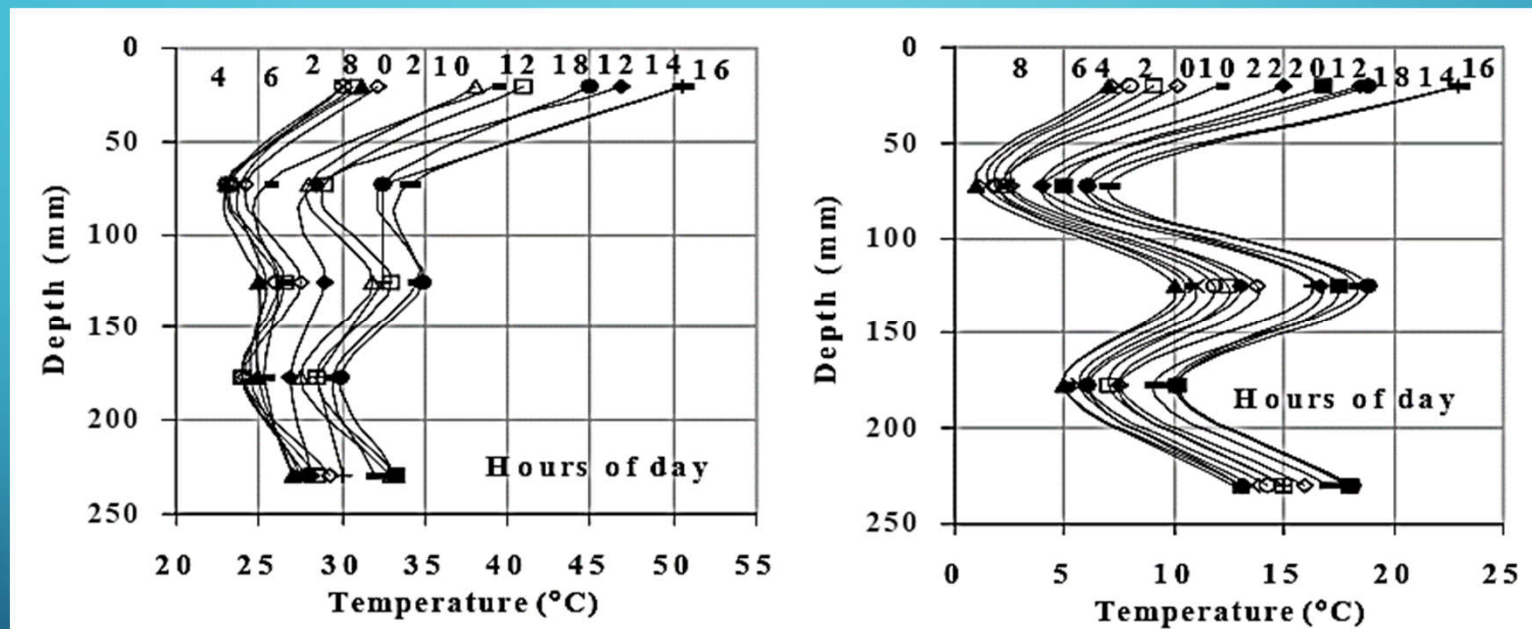


EFEITOS DE CARREGAMENTOS SOBRE A PLACA



DIFERENCIAIS TÉRMICOS

Condições observadas em SP (1999-2001) – USP-FAPESP

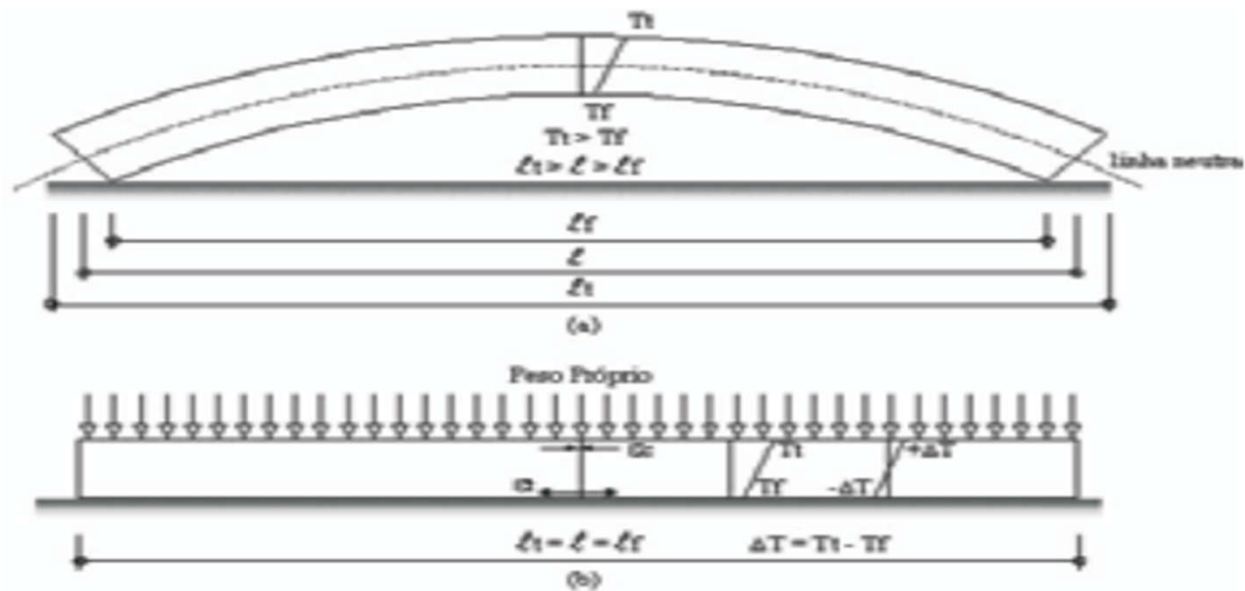


Temperatura ao longo da profundidade de uma placa no verão (esquerda) e inverno (direita).

Assume-se, porém, distribuição linear de temperaturas!

EFEITOS DE CARREGAMENTOS SOBRE A PLACA

Figura 1 – Empenamento da placa de CCP e efeito da restrição do peso

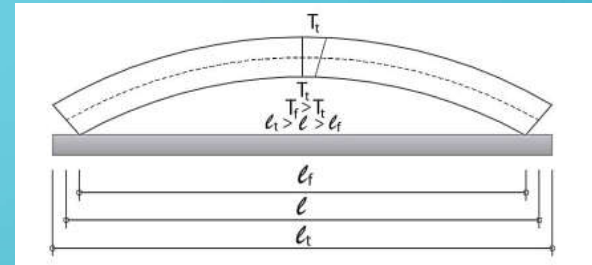


CARGA AMBIENTAL

EMPENAMENTO TÉRMICO

Caso de $DT > 0$ ($T_T > T_F$):

- As **fibras superiores** da placa se **expandem** em relação às fibras inferiores, $l_T > l > l_F$;
- Há um deslocamento da superfície da placa para cima (**empenamento**);
- Assim, se houvessem somente cargas ambientais, as fibras superiores da placa seriam tracionadas; e as fibras inferiores seriam comprimidas.



EFEITOS DE CARREGAMENTOS SOBRE A PLACA

$$M_x = \frac{E.h^3}{12.(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{1}{r_x} + \mu \cdot \frac{1}{r_y} \right)$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \alpha \cdot \frac{\Delta T}{2}$$

$$\varepsilon_x = \frac{z}{r_x}$$

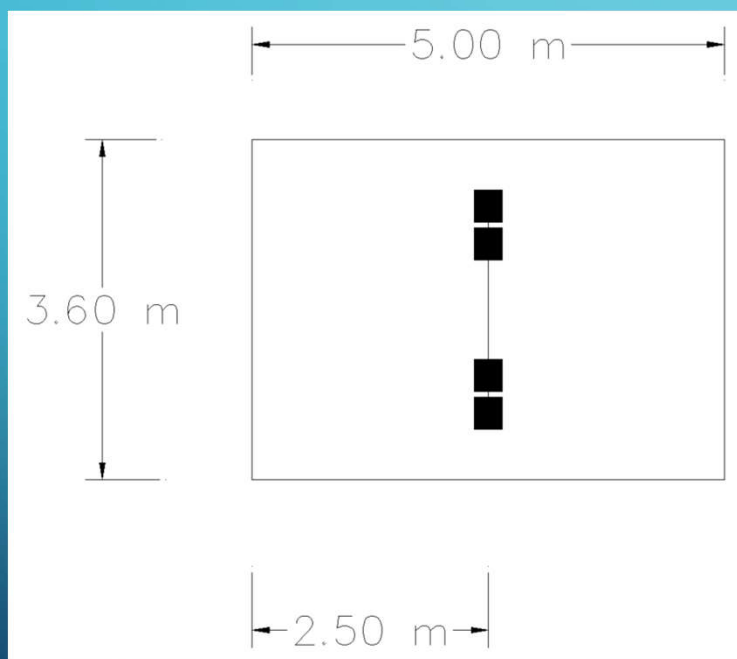
$$M_x = \frac{E.h^3}{12.(1-\mu^2)} \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \Delta T}{2.z} + \mu \cdot \frac{\alpha \cdot \Delta T}{2.z} \right) = \frac{E.h^3 \cdot \alpha \cdot \Delta T}{24.(1-\mu^2).z} \cdot (1+\mu) = \frac{E.h^3 \cdot \alpha \cdot \Delta T}{24.(1-\mu).z}$$

$$\sigma_x = \frac{M_x}{I_x} \cdot z$$

$$\sigma_x = \frac{\frac{E.h^2 \cdot \alpha \cdot \Delta T}{12.(1-\mu)}}{\frac{h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta T}{2.(1-\mu)}$$

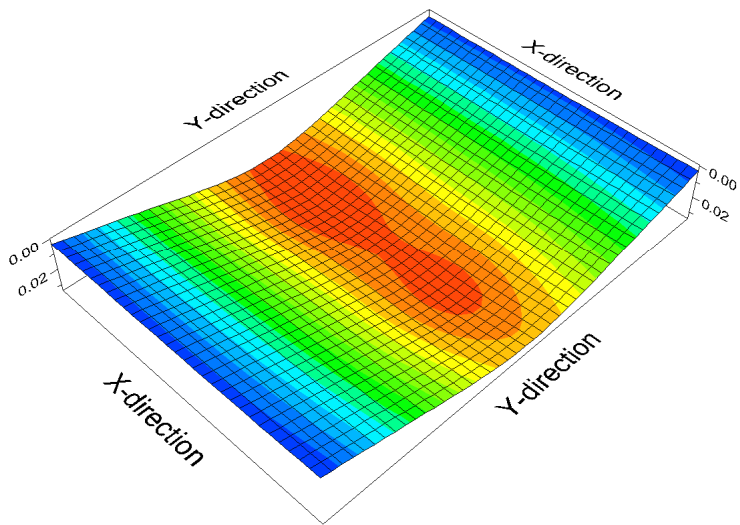
PLACA DE CONCRETO

POSIÇÃO DE CARGA NO MEIO

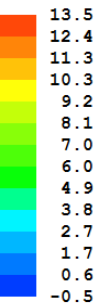
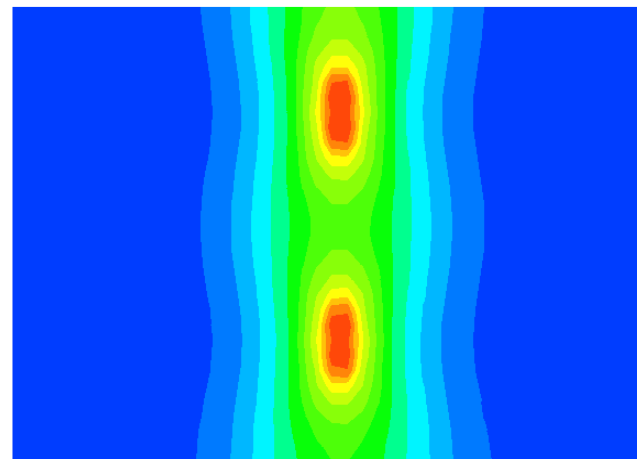


PLACA DE CONCRETO COM CARGA NO MEIO

Deflection



Stresses in Y-direction



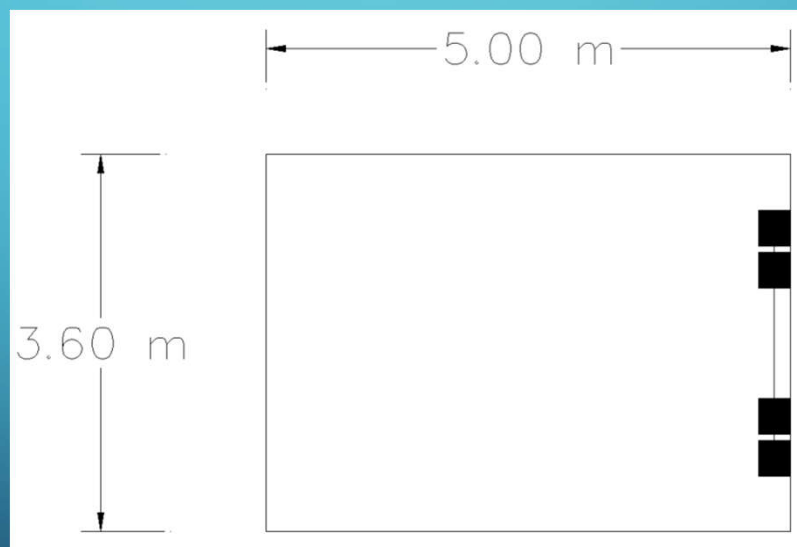
$$\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$$

Deflexão máx. = 0,034 cm

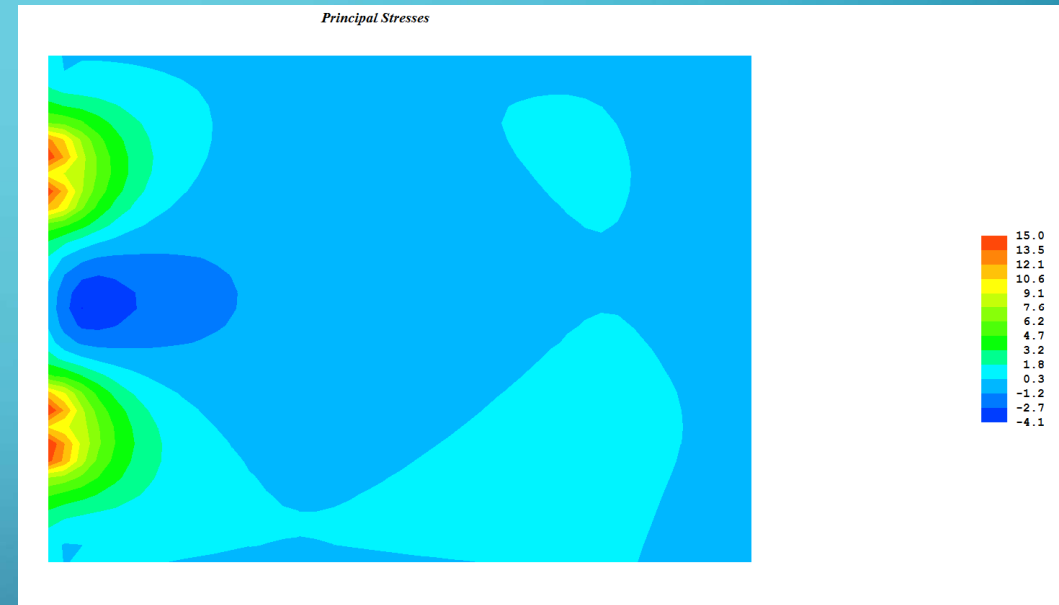
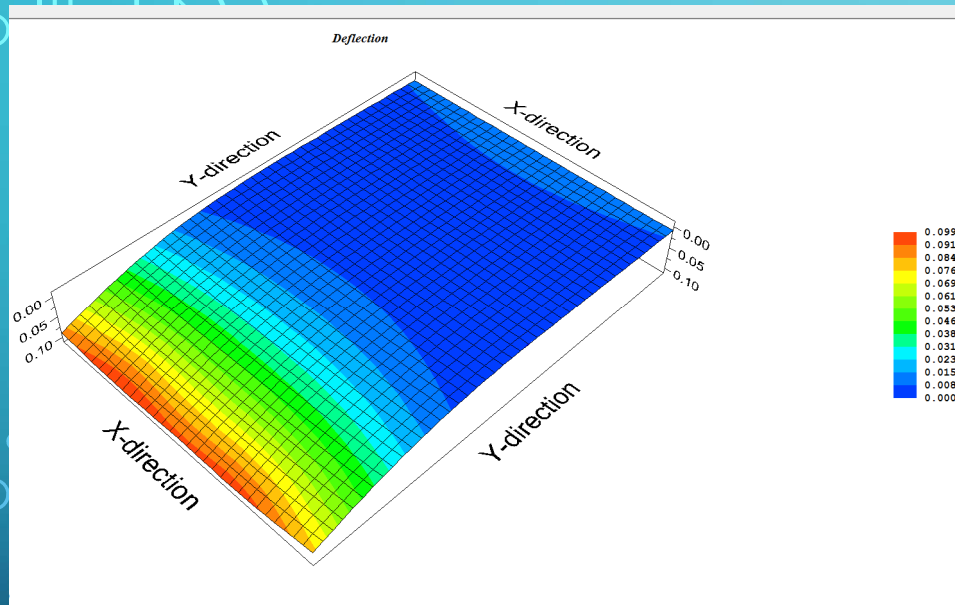
Tensão máx. = 13,48 kgf/cm²

PLACA DE CONCRETO

POSIÇÃO DE CARGA NA BORDA



PLACA DE CONCRETO COM CARGA NA BORDA



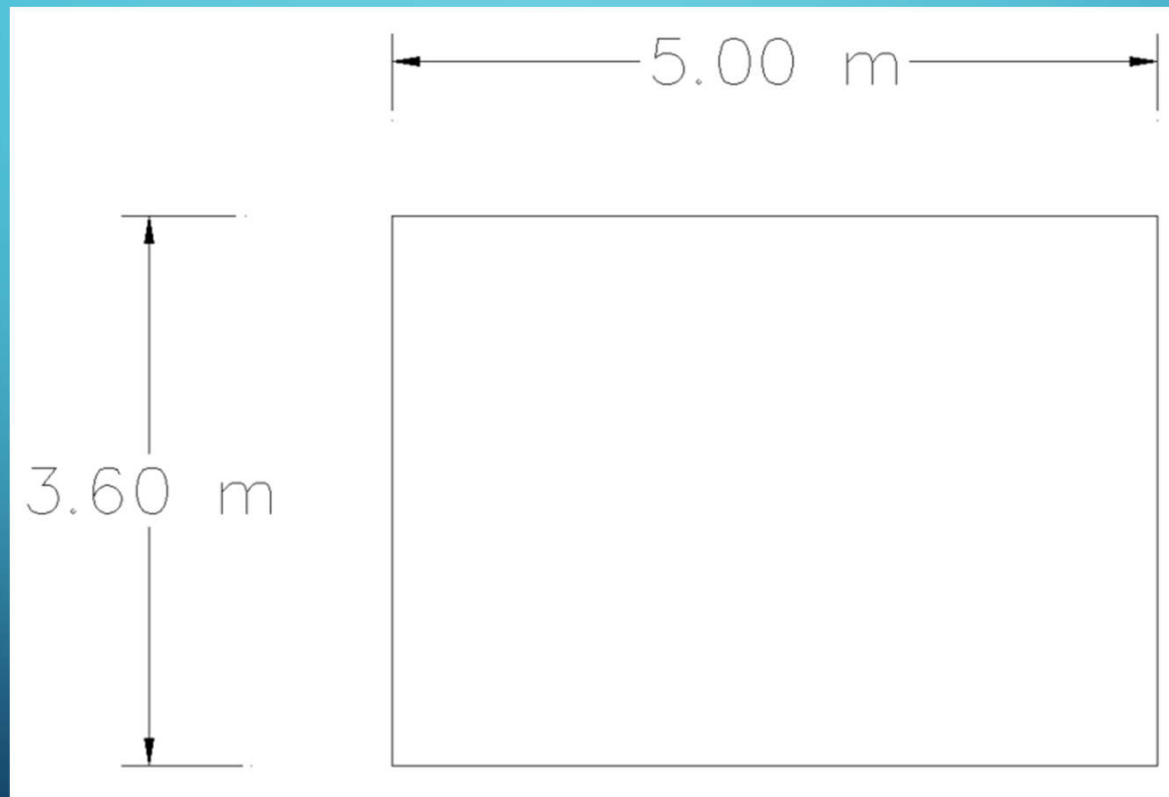
$\Delta T = 0^\circ\text{C}$

Deflexão máx. = 0,099 cm

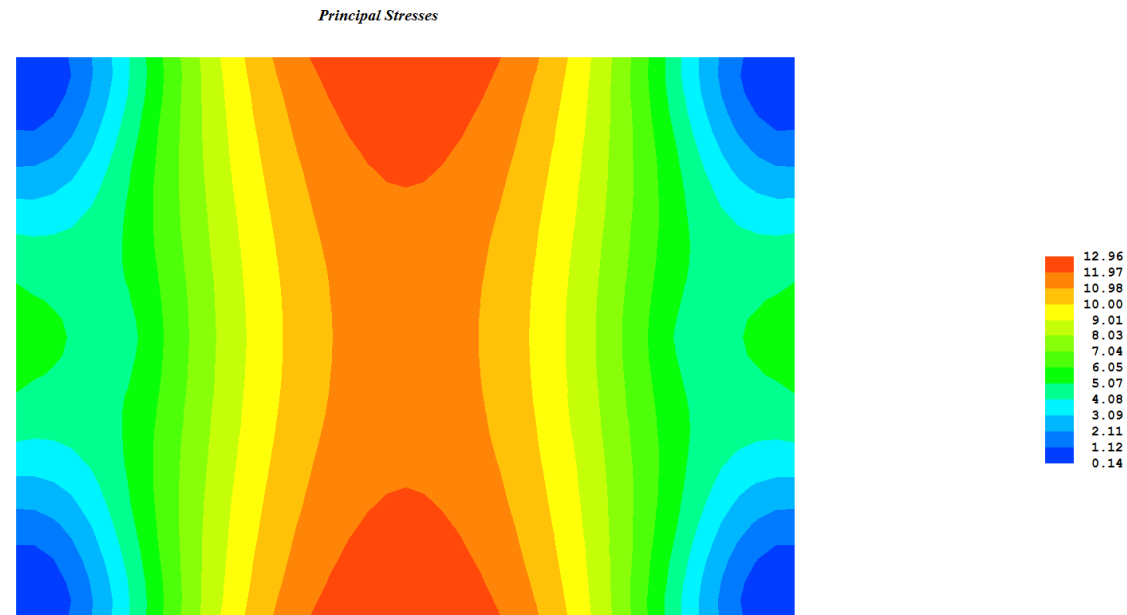
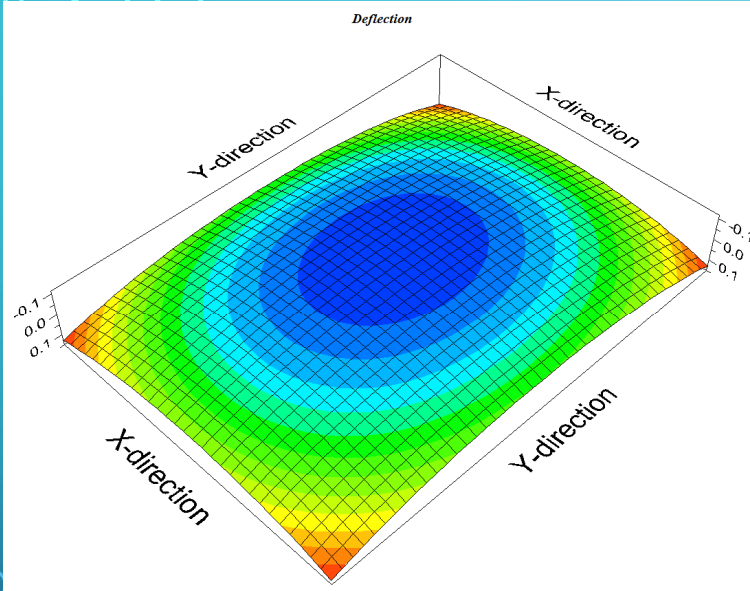
Tensão máx. = 15,00 kgf/cm²

PLACA DE CONCRETO

SEM CARGA E $\Delta T = 15^{\circ}\text{C} / -10^{\circ}\text{C}$



PLACA DE CONCRETO SEM CARGA E $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$

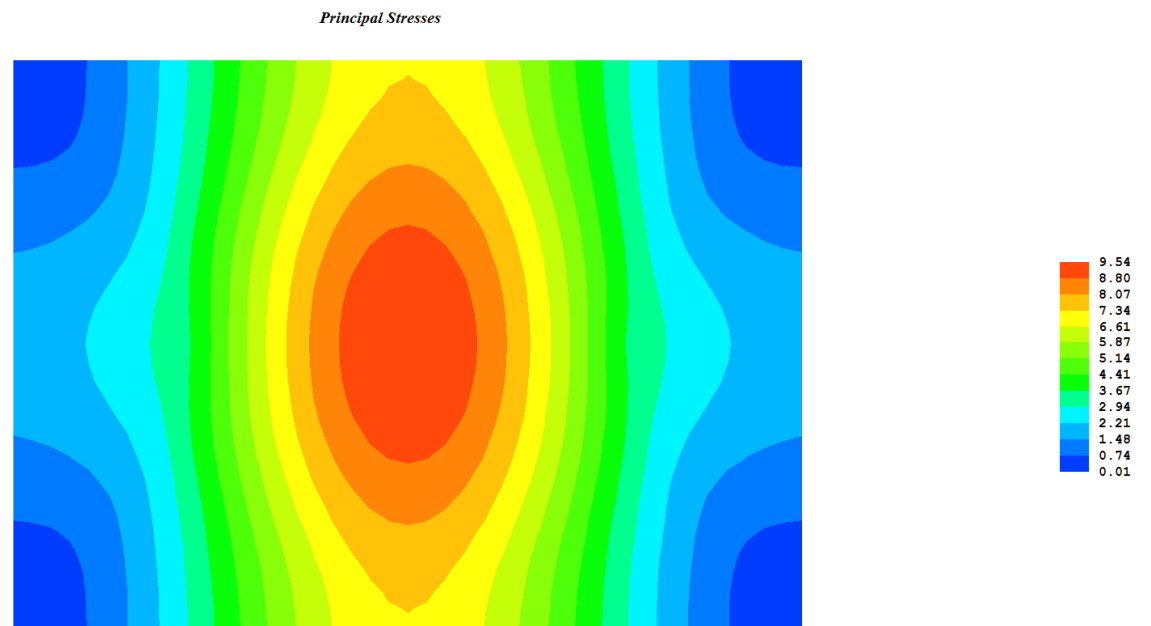
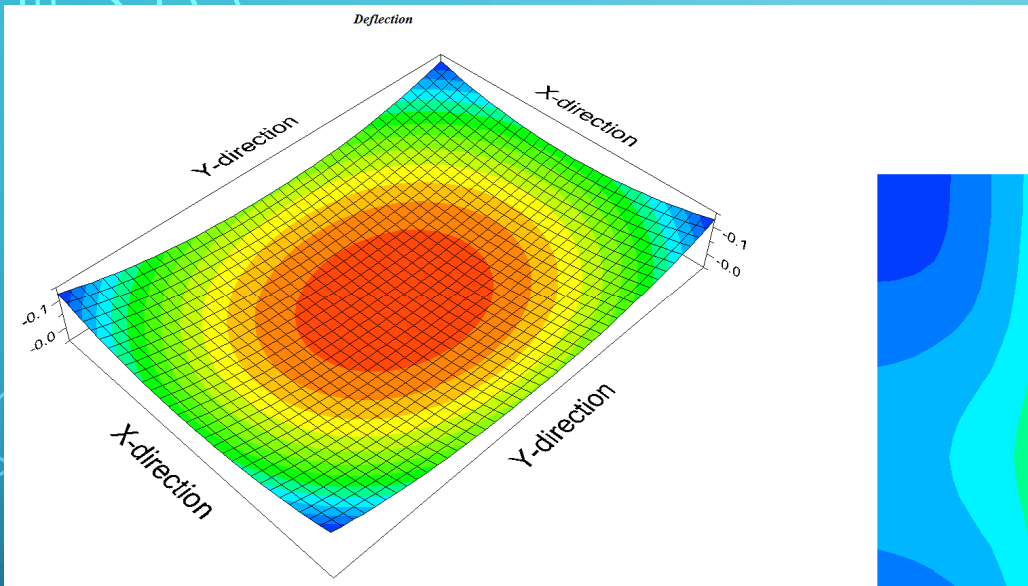


$\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$

Deflexão máx. = 0,128 cm

Tensão máx. = 12,96 kgf/cm^2

PLACA DE CONCRETO SEM CARGA E $\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$



$\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$

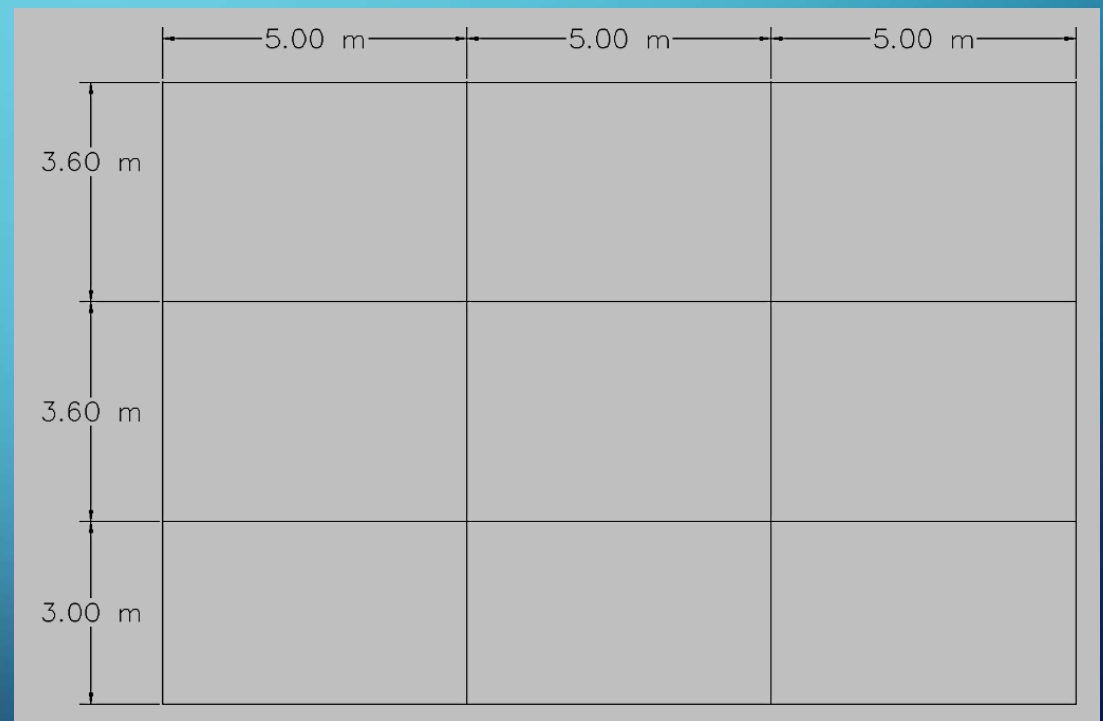
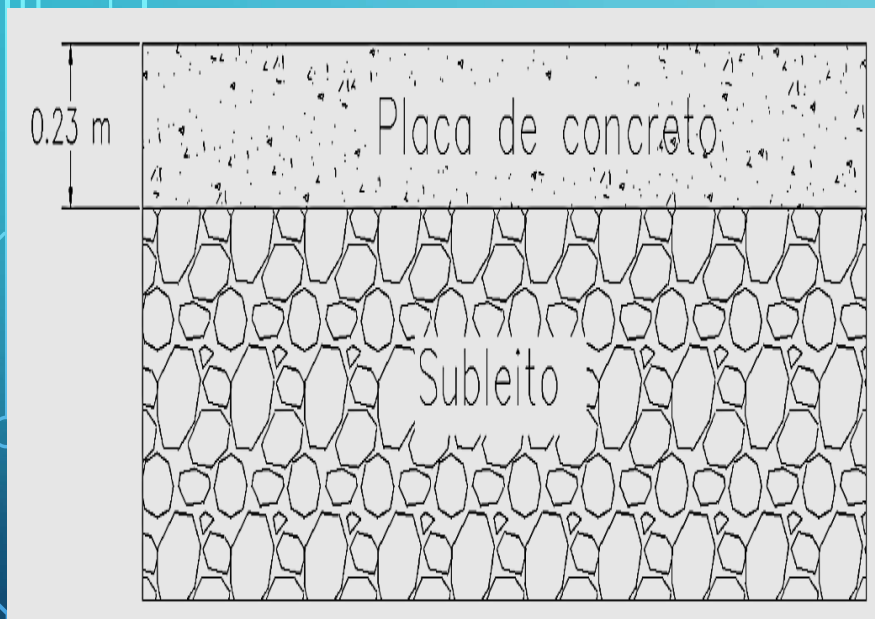
Deflexão máx. = 0,040 cm

Tensão máx. = 9,54 kgf/cm²

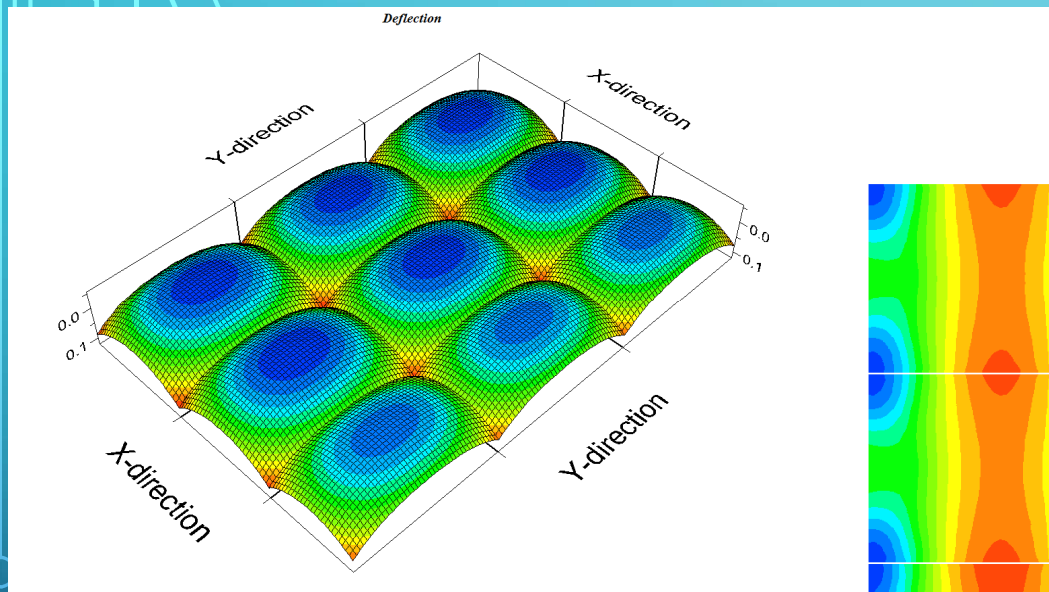
RESUMO COMPORTAMENTO DE PLACA DE CONCRETO ANTE CARGA OU DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

Carga de roda (ESRD -100 kN)	Posição de carga	Diferencial Termico (°C)	Deflexão máxima (cm)	Tensão máxima (kgf/cm ²)	Localização de tensão máxima		
					X	Y	Topo/fundo
Sim	Centro	0	0,034	13,48	288	261,9	Fundo
Sim	Borda	0	0,099	14,87	108	0	Fundo
Não	*	15	0,128	12,96	0	250	Fundo
Não	*	10	0,089	10,59	0	250	Fundo
Não	*	-10	0,039	9,53	180	250	Topo

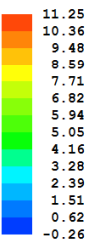
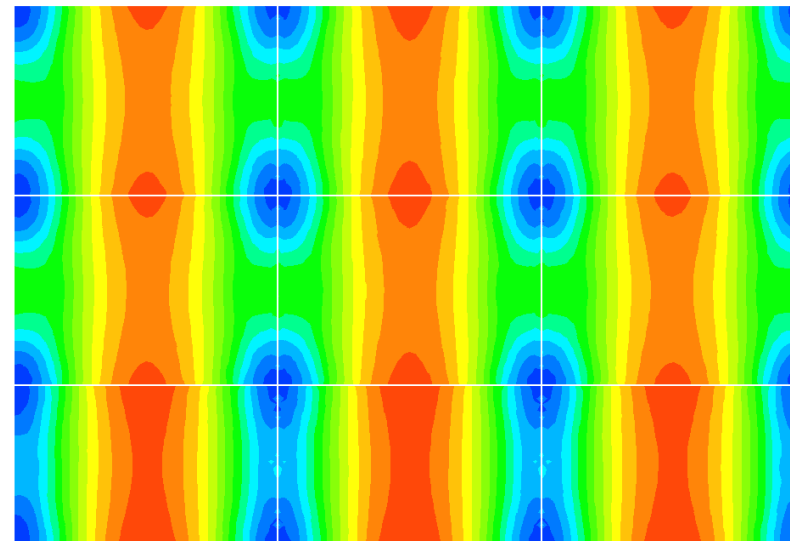
PLACAS DE CONCRETO COM VARIAÇÃO DE ΔT



PLACAS DE CONCRETO SEM CARGA E $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$



Principal Stresses

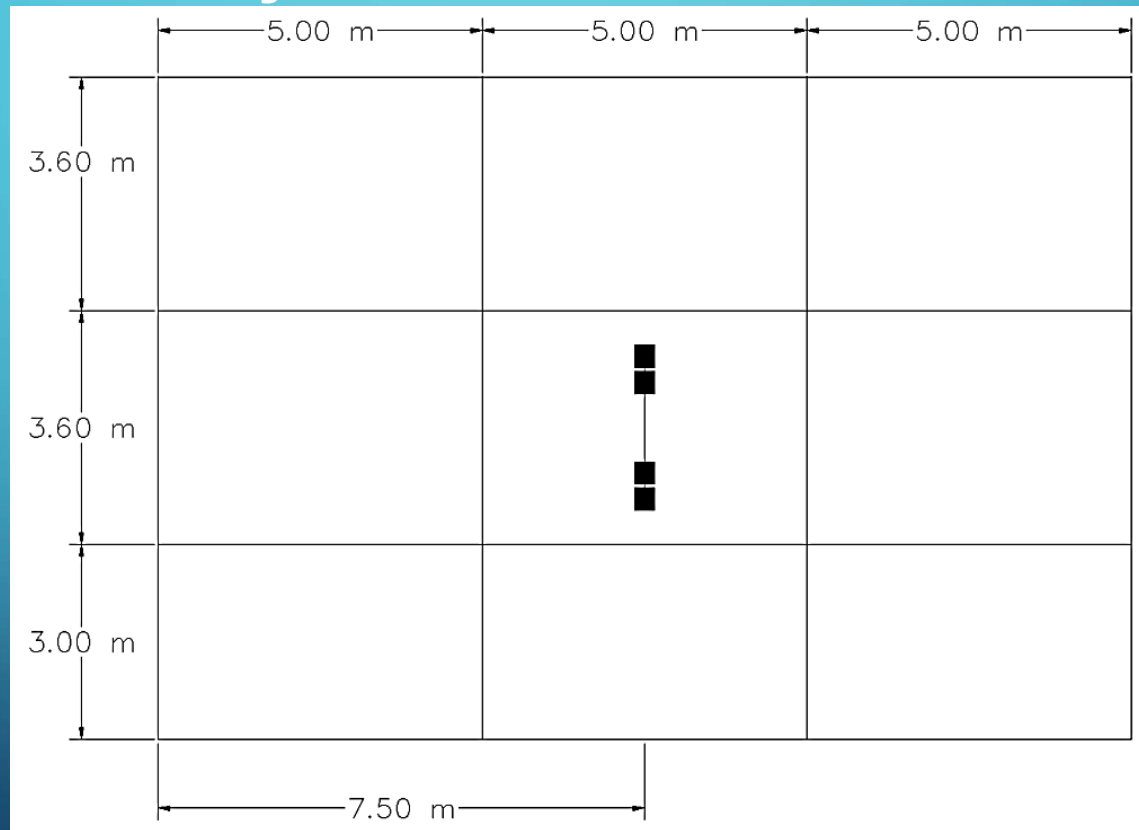


Deflexão máx. = 0,089 cm
Tensão máx. = 11,25 kgf/cm²

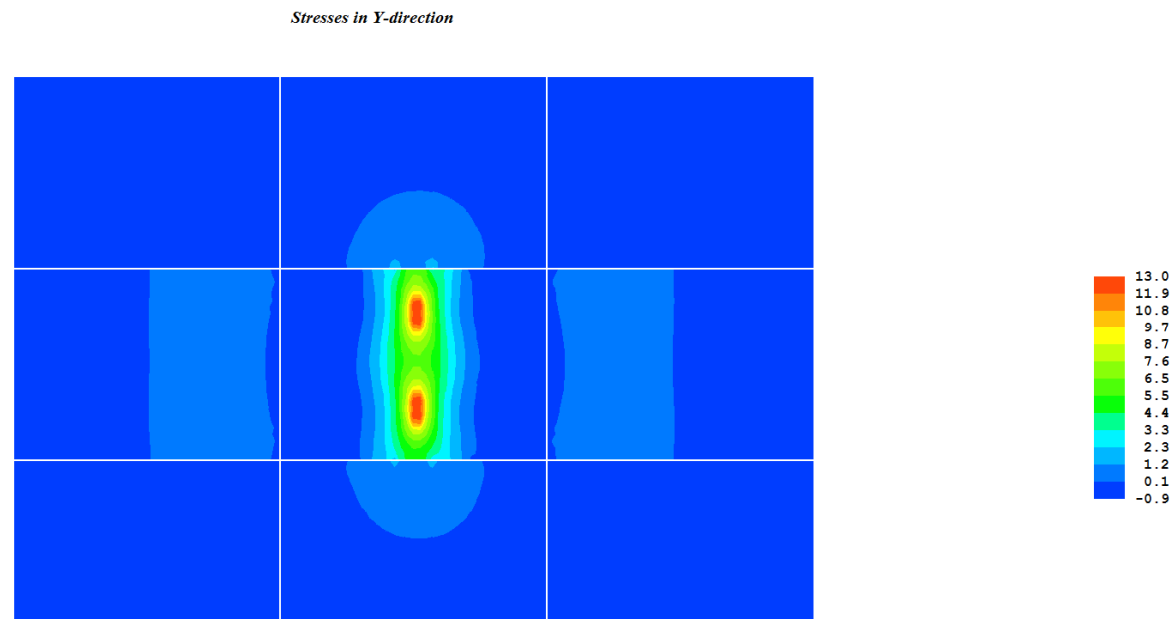
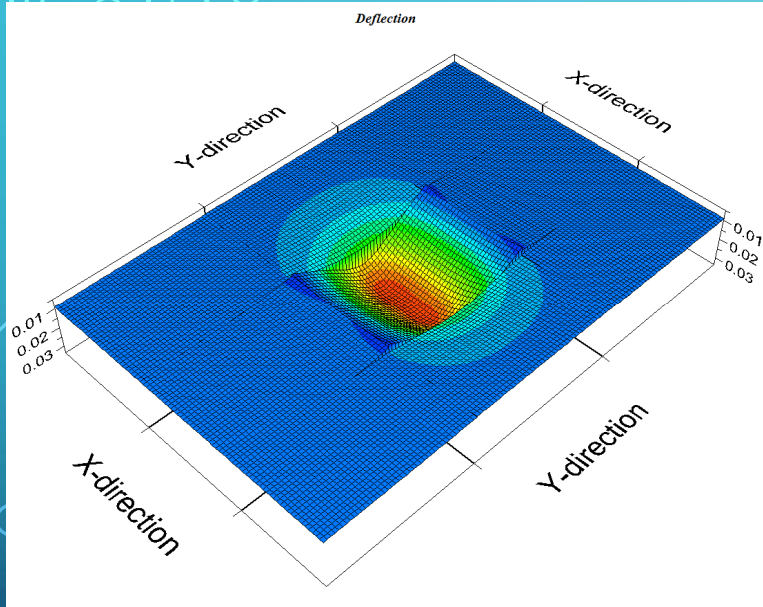
RESUMO COMPORTAMENTO DE CONJUNTO DE PLACAS DE CONCRETO ANTE VARIAÇÃO DO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

Carga de roda (ESRD 100 kN)	Diferencial Termico (°C)	Deflexão máxima (cm)	Tensão máxima (kgf/cm ²)	Localização de tensão máxima		
				X	Y	Topo/fundo
Não	-15	0,052	12,58	468	750	Topo
Não	-10	0,040	10,30	468	750	Topo
Não	0	0	0	0	0	*
Não	10	0,089	11,25	0	750	Fundo
Não	20	0,166	15,43	300	750	Fundo

COMPORTAMENTO DE PLACAS DE CONCRETO ANTE COMBINAÇÃO DE CARGA E DIFERENCIAL TÉRMICO

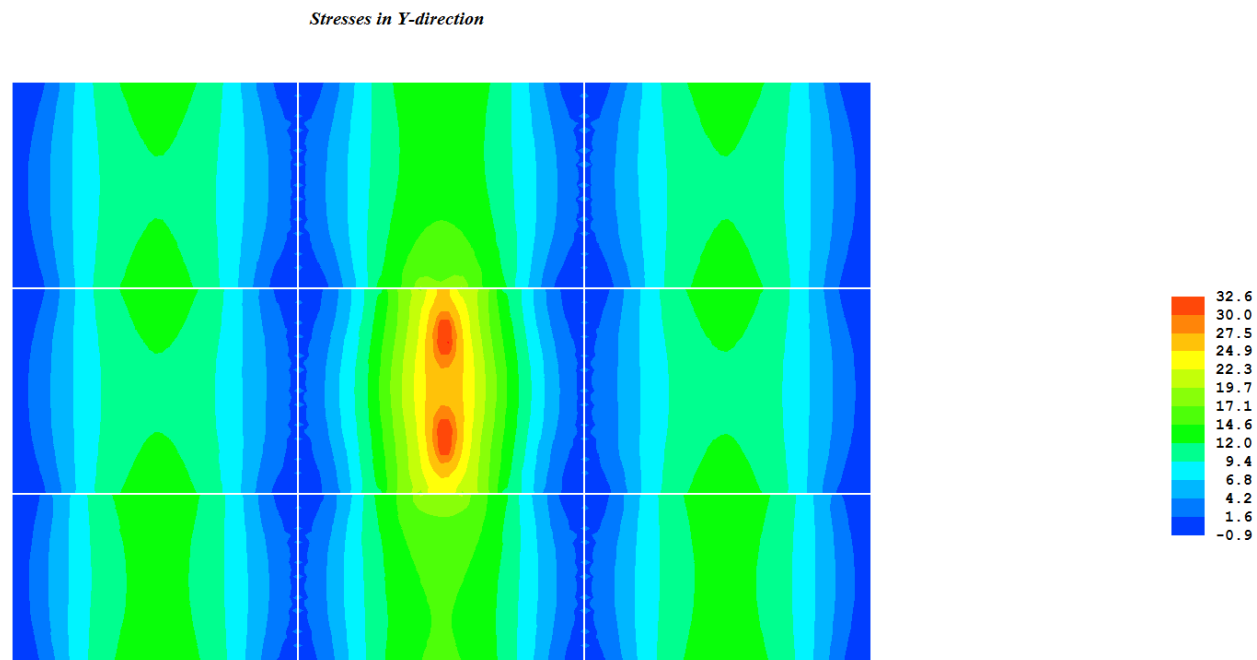
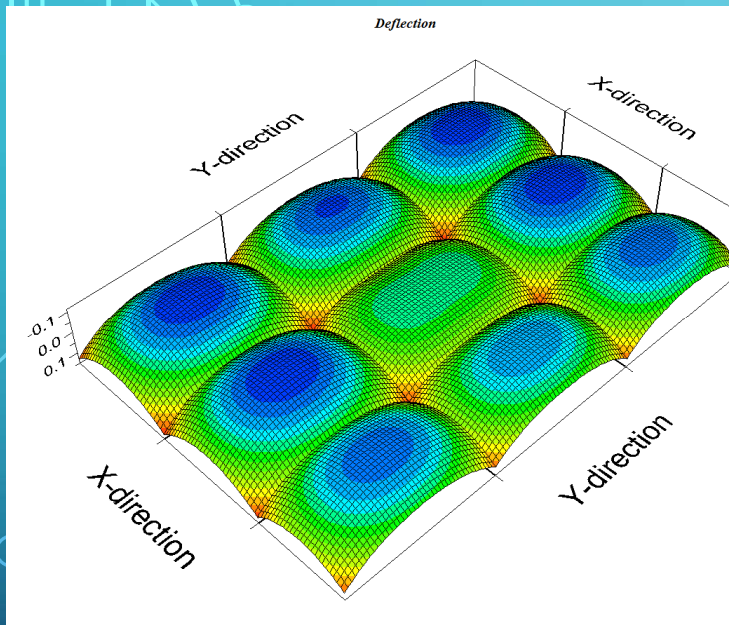


PLACAS DE CONCRETO ESRD = 100 kN e $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$



Deflexão máx. = 0,031 cm
Tensão máx. = 12,95 kgf/cm²

PLACAS DE CONCRETO ESRD = 100 kN e $\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$



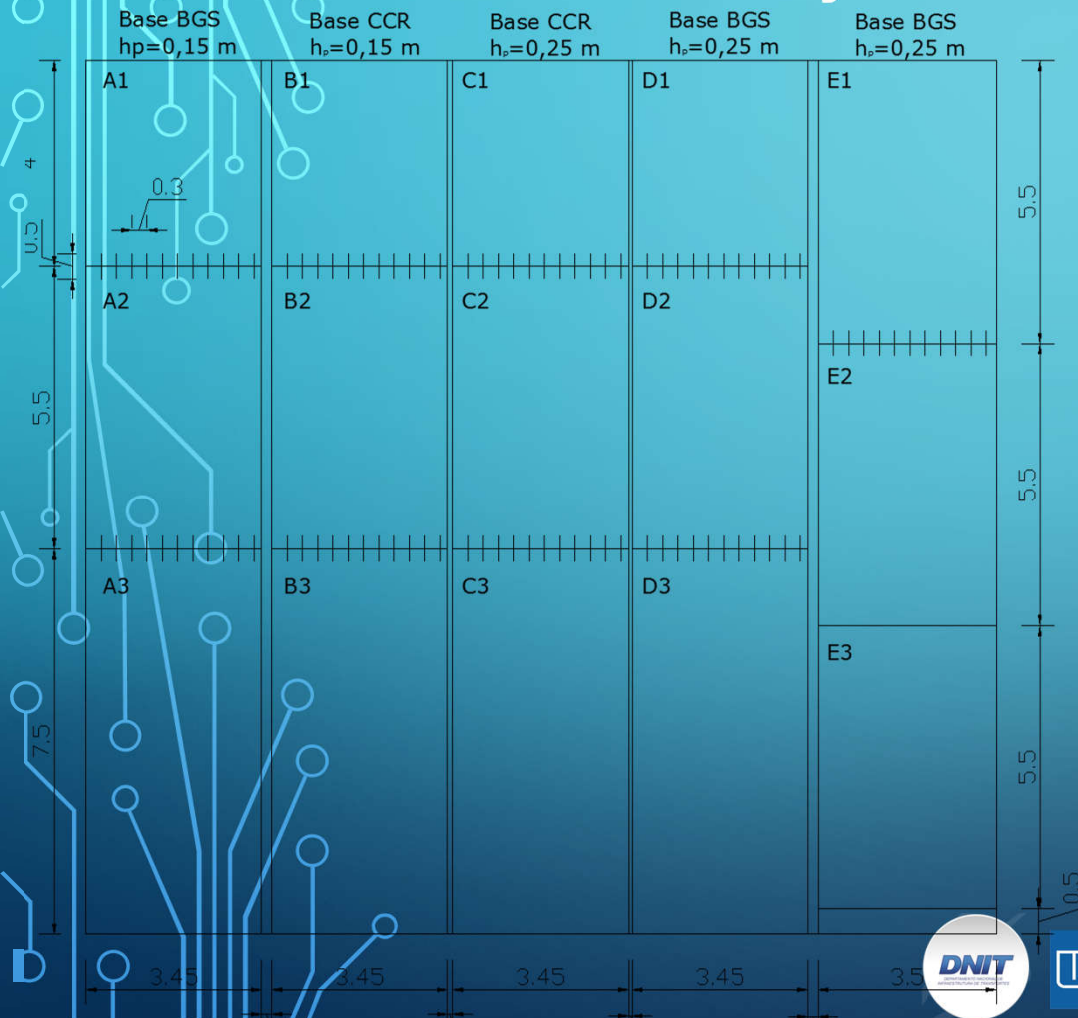
Deflexão máx. = 0,131 cm
Tensão máx. = 32,62 kgf/cm²

COMPORTAMENTO DE PLACAS DE CONCRETO ANTE CARGA E DIFERENCIAL TÉRMICO COMBINADO

Carga de roda (ESRD-100 kN)	Posição de carga	Diferencial Termico (°C)	Deflexão máxima (cm)	Tensão máxima (kgf/cm ²)	Localização de tensão máxima		
					X	Y	Topo/fundo
Sim	Centro	0	0,031	12,95	564	761,9	Fundo
Sim	Centro	15	0,131	32,62	564	761,9	Fundo

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA PROJETO ESTRUTURAL, MATERIAIS, EXECUÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS COM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES

MÓDULO DE REAÇÃO DO SUBLEITO – CENTRO E BORDA DA PLACA



Seção	A	B	C	D	E
PCC (mm)	150	150	250	250	250
Base	BGS	CCR	CCR	BGS	BGS



MÓDULO DE REAÇÃO DO SUBLEITO – CENTRO E BORDA DA PLACA

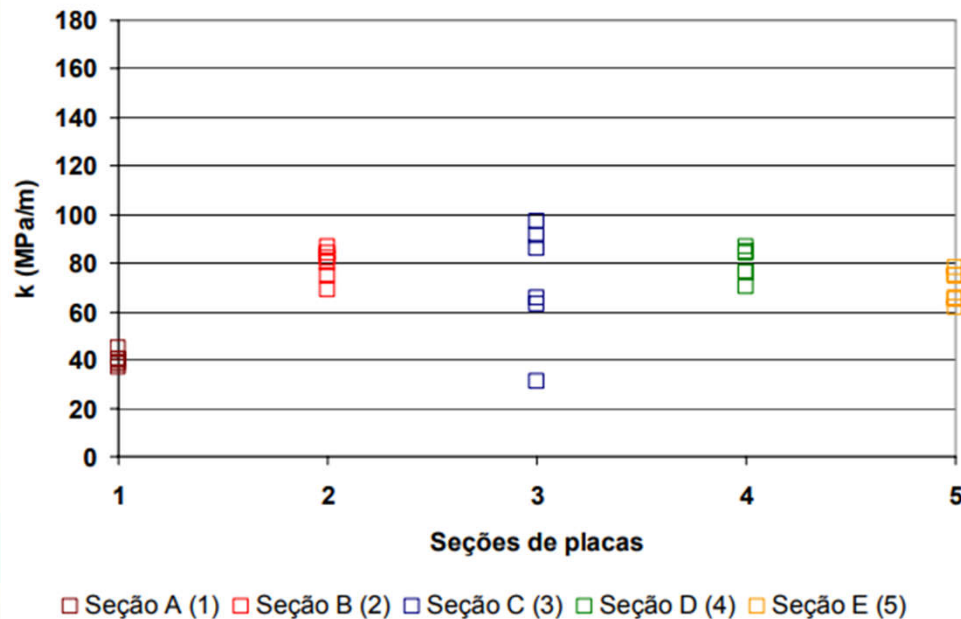


Figura 4.8 Valores de módulo de reação retroanalizados (centro das placas).

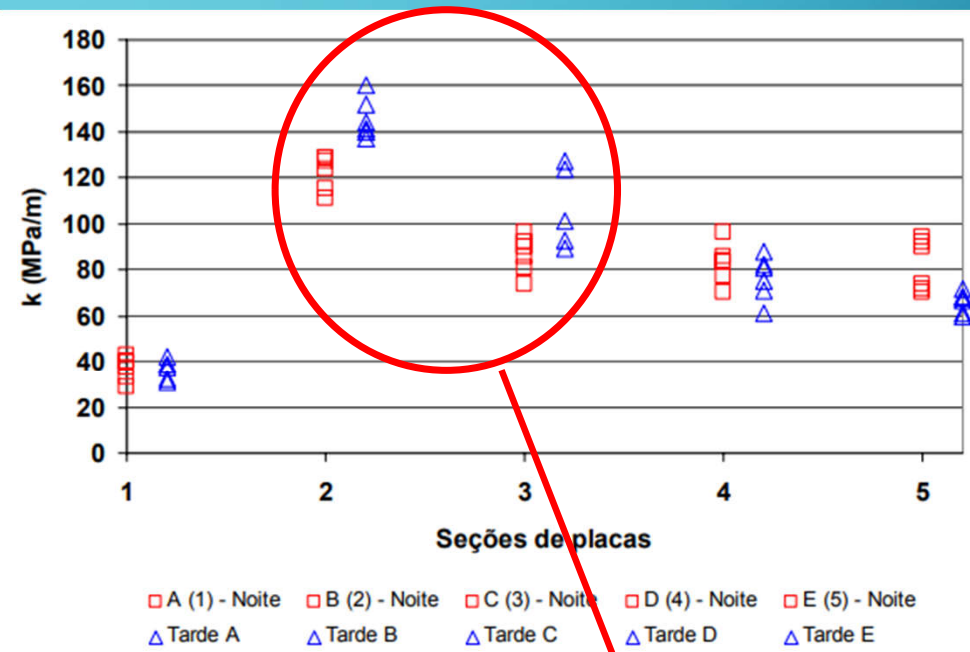
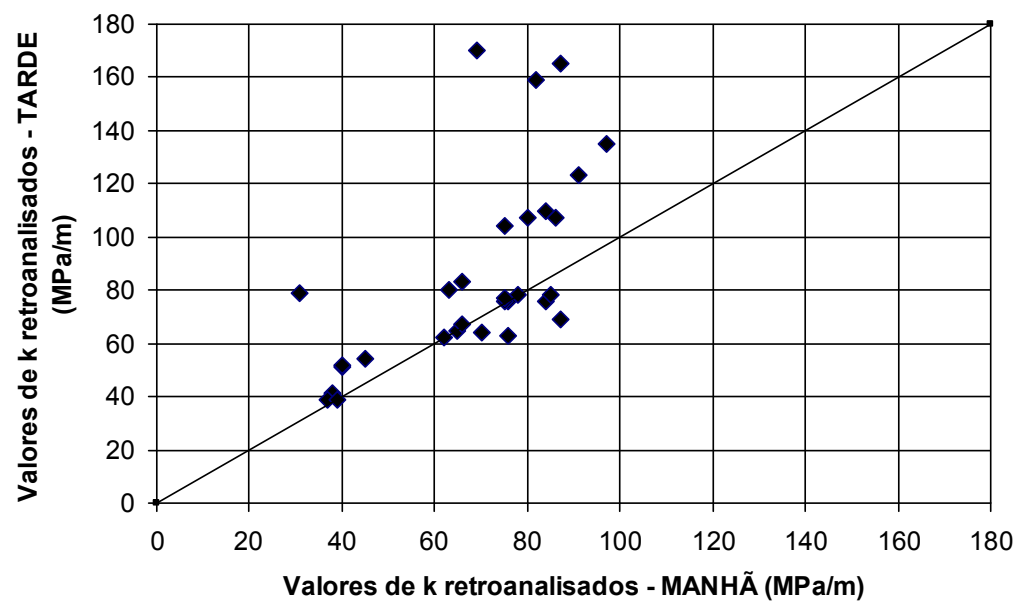
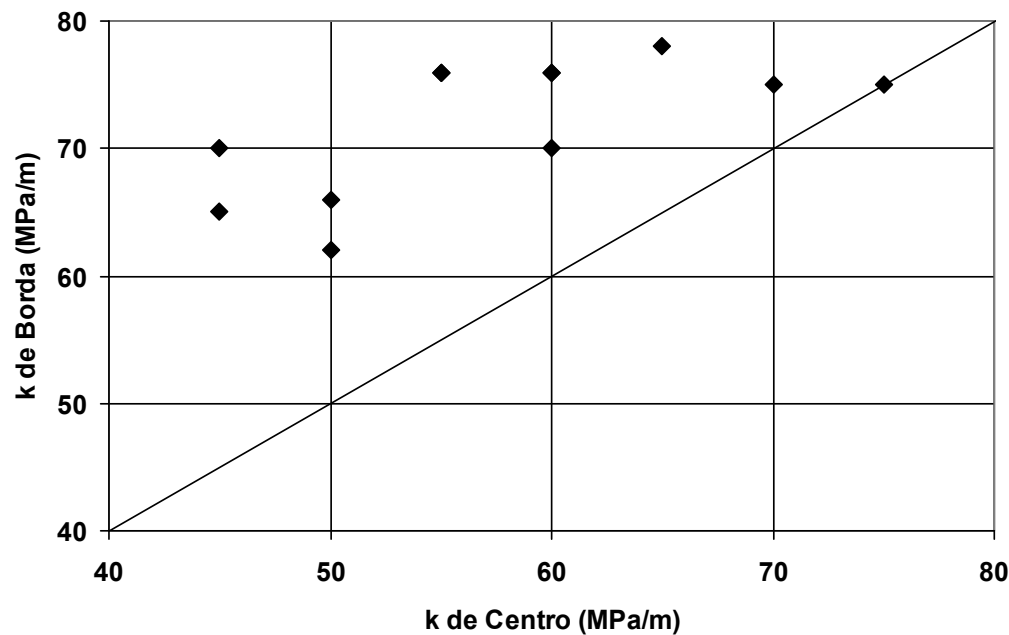


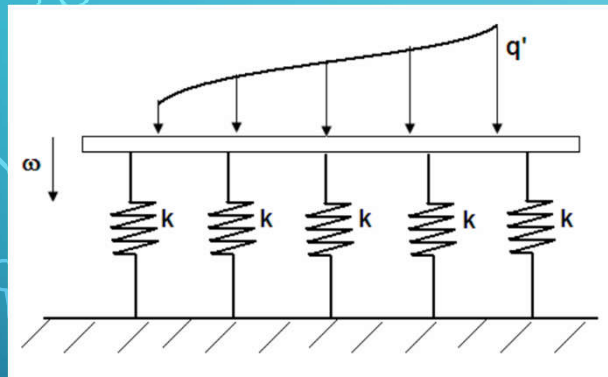
Figura 4.10 Valores de k_b nos testes realizados em janeiro/2007.

Seção	A	B	C	D	E
PCC (mm)	150	150	250	250	250
Base	BGS	CCR	CCR	BGS	BGS

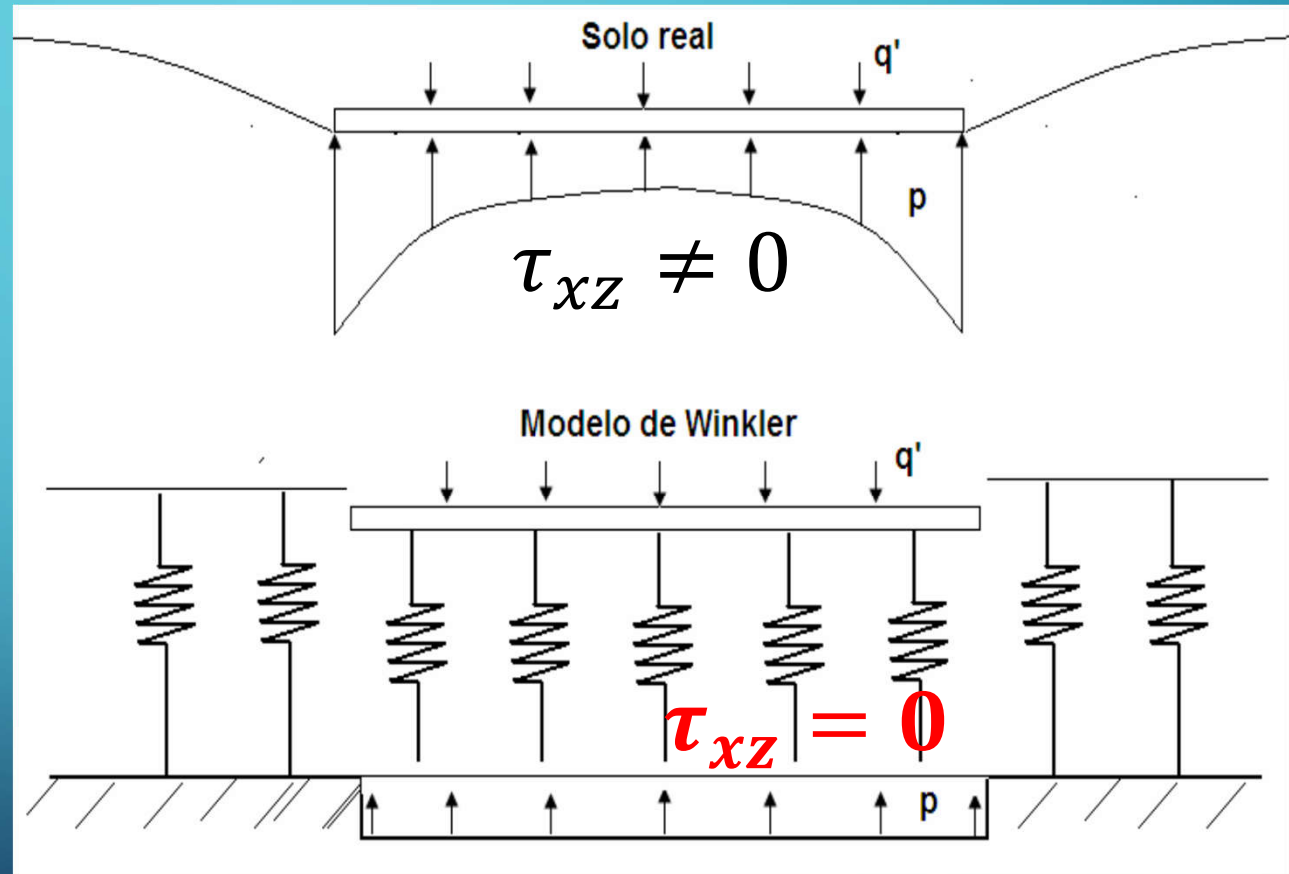
MÓDULO DE REAÇÃO DO SUBLEITO – CENTRO E BORDA DA PLACA



MÓDULO DE REAÇÃO DO SUBLEITO – CENTRO E BORDA DA PLACA

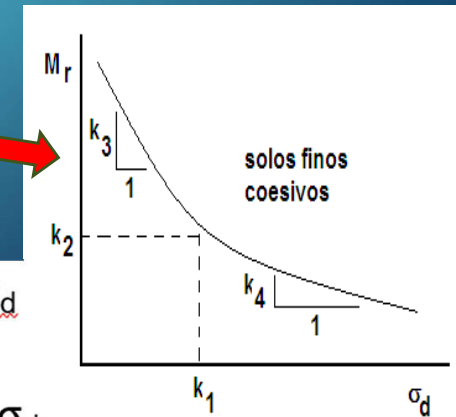
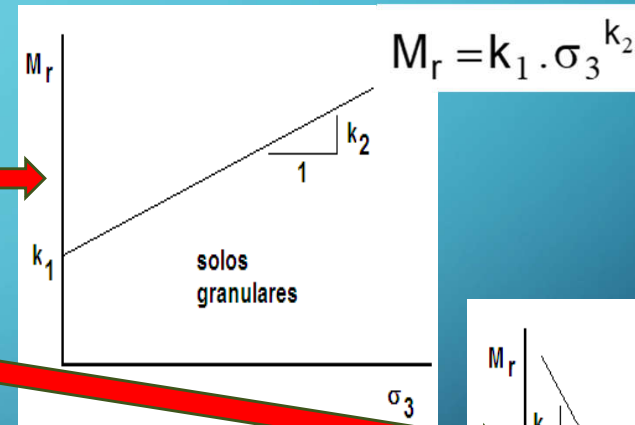
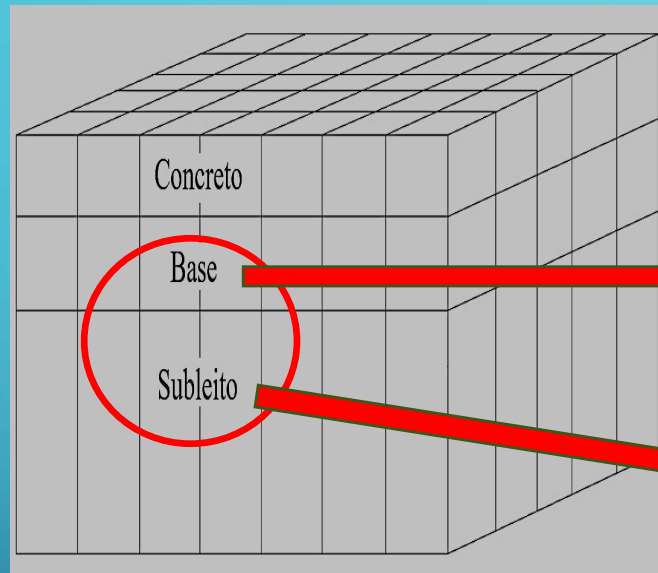


$$k = \frac{p}{\omega}$$



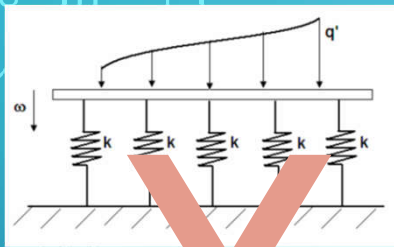
MÓDULO DE REAÇÃO DO SUBLEITO – CENTRO E BORDA DA PLACA

Elasticidade do apoio caracterizada pelo Módulo de elasticidade para simulação 3D



$$M_r = k_2 + k_3 \cdot (k_1 - \sigma_d), \text{ quando } k_1 > \sigma_d$$

$$M_r = k_2 + k_4 \cdot (\sigma_d - k_1), \text{ quando } k_1 < \sigma_d$$



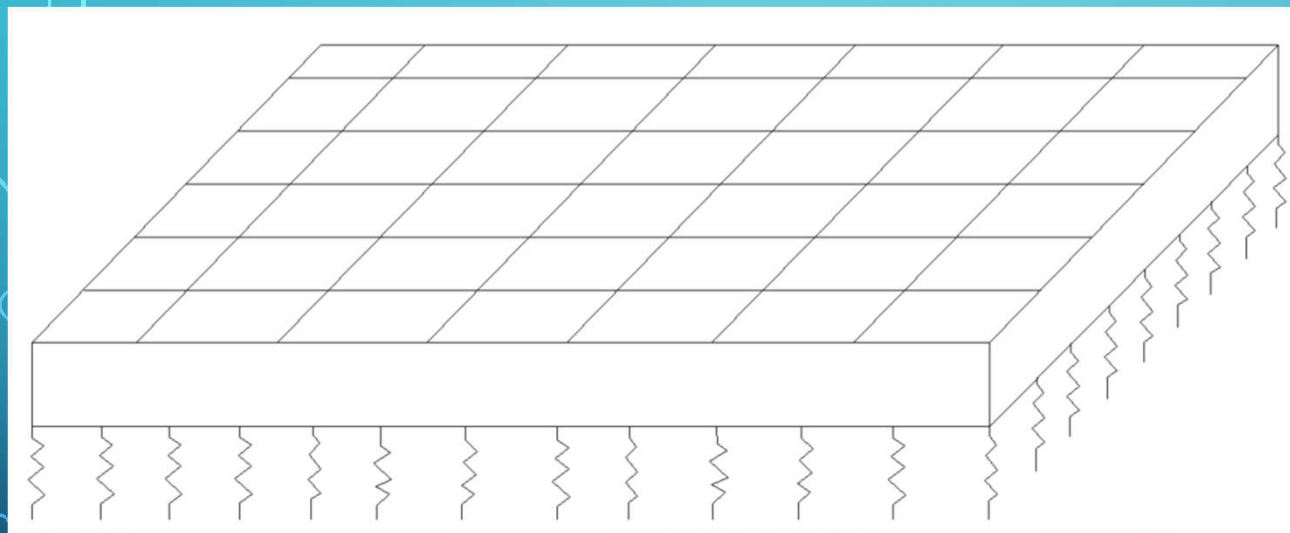
$$k \neq \frac{p}{\omega}$$

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA PROJETO ESTRUTURAL, MATERIAIS, EXECUÇÃO E CONTROLE
DE OBRAS RODOVIÁRIAS COM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES

MODELAGEM DE PAVIMENTOS DE CONCRETO FEM 2D VS FEM 3D



MODELAGEM DE PAVIMENTOS DE CONCRETO FEM 2D

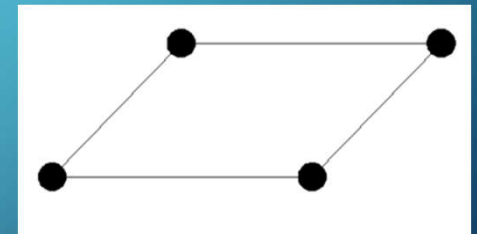
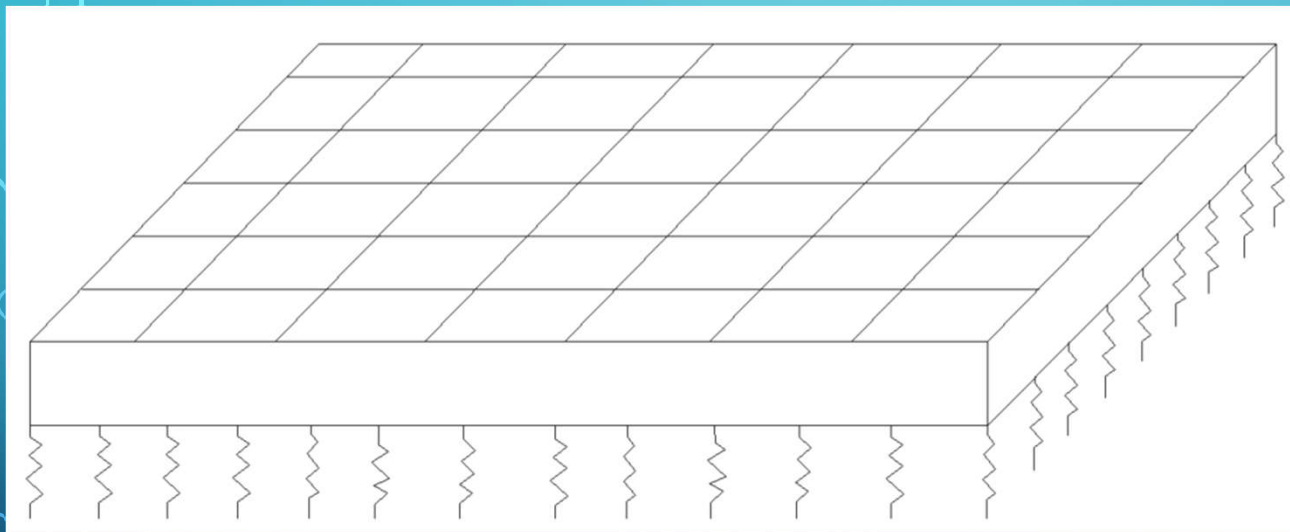


Elementos planos

Sistema de apoio
assimilando a um
conjunto de molas
elásticas (Winkler)

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA PROJETO ESTRUTURAL, MATERIAIS, EXECUÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS COM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES

MODELAGEM DE PAVIMENTOS DE CONCRETO FEM 2D

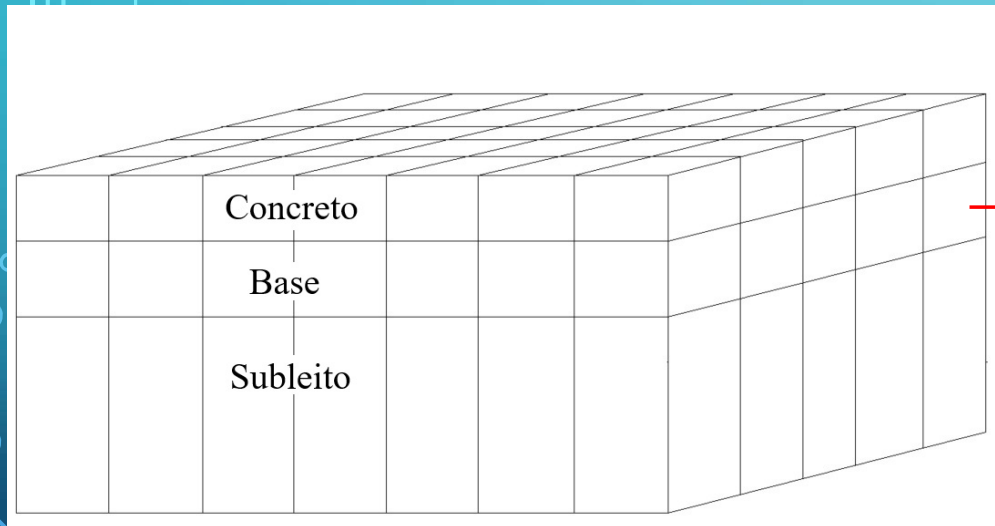


$$F = k \cdot \delta$$



PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA PROJETO ESTRUTURAL, MATERIAIS, EXECUÇÃO E CONTROLE DE OBRAS RODOVIÁRIAS COM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES

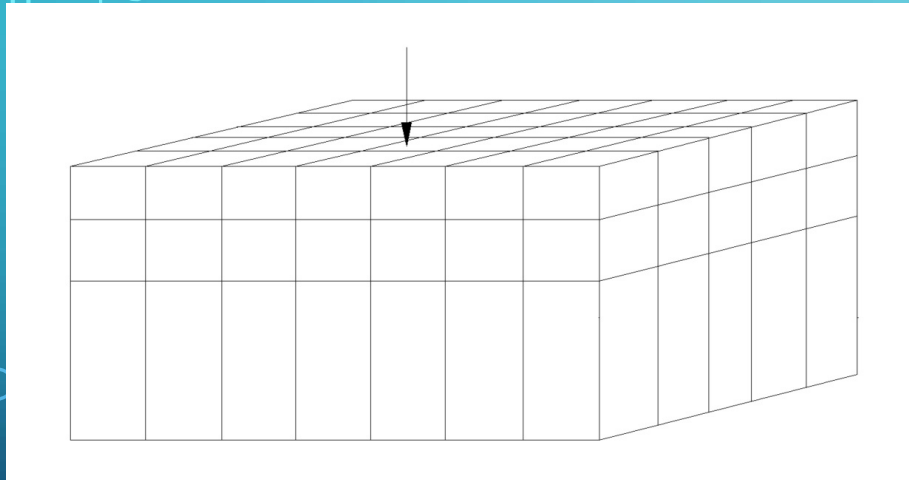
MODELAGEM DE PAVIMENTOS DE CONCRETO FEM 3D



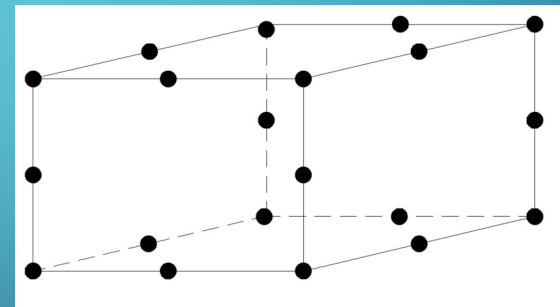
Elementos de blocos



MODELAGEM DE PAVIMENTOS DE CONCRETO FEM 3D



Nodos distribuídos pelo
elemento de bloco



1919

$$\sigma = -\frac{3.P}{h^2}$$

1925

$$\sigma = -\frac{3.P}{h^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{a_1}{\ell} \right)^{0.6} \right]$$

1927

$$\sigma_x = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta T}{2(1-\mu)} \cdot \left[1 - \mu\sqrt{2} \cdot \sin\left(\frac{x}{\ell\sqrt{2}} + \frac{\pi}{4}\right) \cdot e^{-\frac{x}{\ell\sqrt{2}}} \right]$$

1948

$$\omega = \frac{2P}{\pi k \ell} \int_0^{\infty} \frac{\gamma \cdot \cos \frac{\alpha x}{\ell} \left[\cos \frac{\beta y}{\ell} + (1-\mu) \cdot \alpha^2 \cdot \sin \frac{\beta y}{\ell} \right] \cdot e^{-\frac{\gamma y}{\ell}} \cdot d\alpha}{1 + 4(1-\mu) \cdot \alpha^2 \cdot \gamma^2 - (1-\mu)^2 \cdot \alpha^4}$$

1951

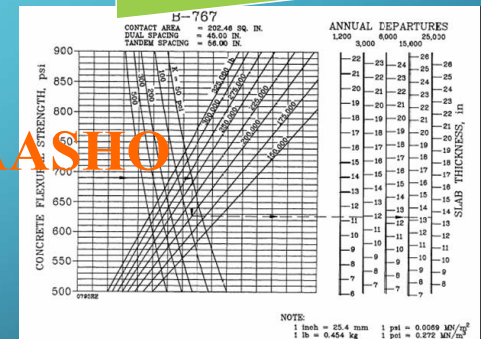


MEF

1958

AASHTO

1995



2002

MEPDG
AASHTO

2002

PMSP
USP

2009

FAA

FRANÇA

$$\sigma_{adm} = \sigma_6 \times \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \times k_c \times k_r \times k_s \times k_d$$

Em 2019 foi publicada a norma vigente para projeto de pavimentos com metodologia racional, NF P98-086 (AFNOR, 2019). O método é aplicado para pavimentos novos sujeitos ao tráfego de veículos pesados, **requerendo uma avaliação mecanicista** e uma verificação a condições de congelamento/descongelamento da estrutura

Classe de Plataforma	Módulo de resiliência (MPa)
PF1	20 < E < 50
PF2	50 < E < 80
PF2qs	80 ≤ E < 120
PF3	120 ≤ E < 200
PF4	E > 200

Coefficiente	Descrição
Coefficiente de risco (kr)	Introduz uma noção probabilística da vida útil do pavimento, considerando variações nas propriedades mecânicas dos materiais e nas espessuras das camadas.
Coefficiente de plataforma (ks)	Considera as heterogeneidades de suporte da plataforma. Afeta apenas a camada aderida que está sobre uma camada não aderida (ou sobre a plataforma) e depende do módulo de rigidez da camada imediatamente inferior (ou da plataforma).
Coefficiente de descontinuidade (kd)	Considera o efeito do gradiente térmico e da descontinuidade em pavimentos rígidos ou que possuam materiais tratados com ligantes hidráulicos, devido à presença de juntas ou fissuras de retração.
Coefficiente de calibração (kc)	Corrige a diferença entre as previsões do cálculo de tensões por meio do modelo e o comportamento observado em pavimentos reais.

AUSTRÁLIA

Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design, edição 4.4 de abril do 2024 (Austroads, 2024).

Tipo de dano	Causas associadas ao tráfego	Causas não associadas ao tráfego
Fissuras	Carregamento repetitivo (fadiga).	Tensões térmicas.
	Movimento excessivo da placa.	Reflexão de fissuras por retração de materiais subjacentes.
Deflexão em juntas	Perda de finos sob a placa	Expansão dos materiais do subleito.
		Deformação da placa
Desagregação		Variação de umidade (retração/expansão do subleito),
		Assentamento por consolidação
		Deficiência do material

Modelo para tensões/fadiga do concreto

$$Se = a + \frac{b}{D} + c \cdot \ln \ln (E_f) + \frac{d}{D^2} + e \cdot [\ln \ln (E_f)]^2 + f \cdot \frac{\ln \ln (E_f)}{D} + \frac{g}{D^3} + h[\ln \ln (E_f)]^3 + \frac{i[\ln \ln (E_f)]^2}{D} + \frac{j \ln \ln (E_f)}{D^2} \quad (\text{Equação 2.12})$$

Modelo para erosão/escalamento de juntas

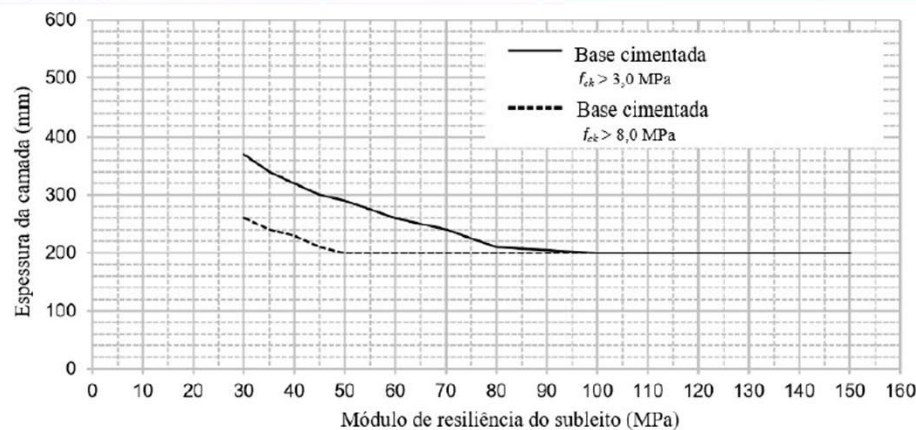
$$\log_{10}(F_2 N_e) = 14,524 - 6,777 \left[\max \left(0, \left(\frac{PL_{SF}}{4,45 F_4} \right) \times \frac{10^{F_3}}{041,35} - 9,0 \right) \right]^{0,103}$$

REINO UNIDO

No ano de 2020, o National Highways publica o manual de projeto para estradas e pontes (Design Manual for Roads and Bridges, DMRB).

Categoria de Fundação	Módulo da CFT confinada assumido a longo prazo (MPa)
Categoria 1	≥ 50
Categoria 2	≥ 100
Categoria 3	≥ 200
Categoria 4	≥ 400

Parâmetro	Definição
H_1	Espessura (mm) da placa de concreto <i>sem</i> faixa adjacente amarrada, nem faixa lateral de 1 m
H_2	Espessura (mm) da placa de concreto <i>com</i> faixa adjacente amarrada ou faixa lateral de 1 m
\ln	Logaritmo natural
T	Tráfego de projeto em milhões de eixos equivalentes a ESRD de 80 kN
R_c	Resistência média à compressão do concreto (N/mm^2) aos 28 dias, com amostras cúbicas (padrão europeu)
E	Módulo de resiliência da fundação (MPa), relacionada à classe da fundação: $E = 200 \text{ MPa}$ para fundação classe 3 $E = 400 \text{ MPa}$ para fundação classe 4.



ALEMANHA

O guia RStO da Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV) se apoia na experiência em construção e de desempenho de pavimentos, e também em resultados de pesquisas e análises para diversos tipos de estruturas. O guia também conta com revisões periódicas (RStO 75, RStO 86, RStO 01), sendo a versão RStO12 (FGSV, 2015) a última publicada.



ALEMANHA

Momento Atuante		Momento Resistente	
Cargas de tráfego	Condições climáticas	Propriedades dos materiais	Propriedades de construção
Carga máxima da roda	Hidrogramas anuais de longo prazo	Resistência a tração	Capacidade de carga, adaptabilidade, resistência à erosão da base
Composição do tráfego	Curvas diárias de distribuição de temperatura	Módulo de elasticidade em tração do concreto	Dimensões da placa
Eixo de referência	Deformação da placa devido à distribuição irregular de umidade	Coefficiente de Poisson	Transmissão de força de cisalhamento nas juntas
Número de transições de eixo equivalentes	Hidrogramas de deformação de placas	Resistência à fadiga em tração	Variação da espessura de placas devidas ao processo de construção
Tipos de pneus	Coefficiente de expansão térmica		
Pressões de contato			
Velocidade de projeto			
Fatores de choque em função da velocidade da carga e planicidade			

$$M_{ET} = \alpha_{cT} \cdot E_{ctm} \cdot \frac{h_d^3 \cdot \delta T}{12}$$

ALEMANHA

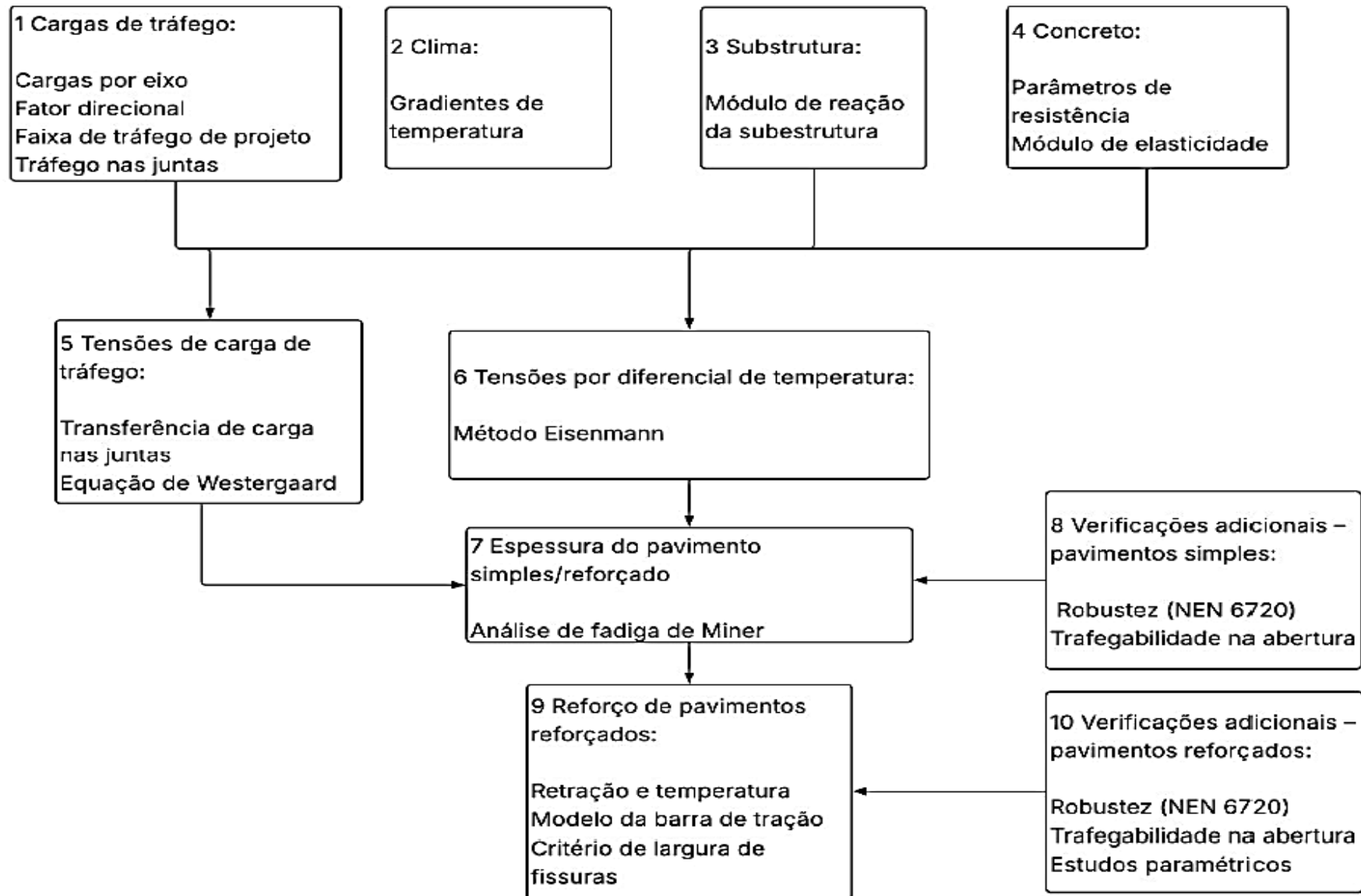
		Espessura em cm → E _{v2} mínimo (MPa)																											
Linha	Classe de carga	BK100				BK32				BK10				BK3.2				BK1.8				BK1.0				BK0.3			
		(> 32)				(> 10-32)				(> 3.2-10)				(> 1.8-3.2)				(> 1.0-1.8)				(> 0.3-1.0)				(> 0.3)			
	B (milhões de ESALS de 100 kN)	55	65	75	85	55	65	75	85	55	65	75	85	45	55	65	75	45	55	65	75	45	55	65	75	35	45	55	65
1.1	Camada de base com ligantes hidráulicos sobre camada de proteção contra a geada ou camada não susceptível a gelada																												
	-Superfície de concreto	27				26				25				24				23											
	-Geotêxtil não tecido	120 ↓ 45				120 ↓ 45				120 ↓ 45				120 ↓ 45				120 ↓ 45											
1.2	Camada de base ligada hidráulicamente																												
	-Camada de proteção contra geada	15 ↓ 42				15 ↓ 41				15 ↓ 40				15 ↓ 39				15 ↓ 38											
	-Superfície de concreto	27				26				25				24				23											
1.3	Camada de material granular estabilizado																												
	-Camada de material resistente à geada	20 ↓ 47				15 ↓ 41				15 ↓ 40				15 ↓ 39				15 ↓ 38											
	-Geotêxtil não tecido	27				26				25				24				23											
2.0	Camada de base de brita sobre camada de proteção contra geada																												
	-Superfície de concreto	26 ↓ 120 ↓ 45				25 ↓ 120 ↓ 45				24 ↓ 120 ↓ 45				23 ↓ 120 ↓ 45				22 ↓ 120 ↓ 45											
	-Base asfáltica	10 ↓ 36				10 ↓ 35				10 ↓ 34				10 ↓ 33				8 ↓ 30											
3.1	Camada de base de brita sobre camada de material resistente à geada																												
	-Superfície de concreto	29 ↓ 150 ↓ 45				28 ↓ 130 ↓ 45				27 ↓ 150 ↓ 45				26 ↓ 150 ↓ 45				24 ↓ 150 ↓ 45											
	-Camada de base de brita	30 ↓ 39				30 ↓ 38				30 ↓ 37				30 ↓ 36				30 ↓ 34											
3.2	Camada de proteção contra geada																												
	-Superfície de concreto	29 ↓ 150 ↓ 45				28 ↓ 130 ↓ 45				27 ↓ 150 ↓ 45				26 ↓ 150 ↓ 45				24 ↓ 150 ↓ 45											
	-Camada de base de brita	20 ↓ 49				20 ↓ 48				20 ↓ 47				20 ↓ 46				20 ↓ 44											
4.0	Camada de proteção contra geada																												
	-Superfície de concreto	21 ↓ 120 ↓ 45				21 ↓ 100 ↓ 45				21 ↓ 100 ↓ 45				21 ↓ 100 ↓ 45				21 ↓ 100 ↓ 45											
	-Camada de proteção contra geada	21 ↓ 42				21 ↓ 41				21 ↓ 40				21 ↓ 39				21 ↓ 38											

HOLANDA

Em 2005 foi oficializada a versão atual do método mecanicista de dimensionamento de pavimentos de concreto, atinente ao software de projeto VENCON 2.0. Os motivos da atualização da metodologia foram a existência de novas evidências sobre comportamento do concreto, modelos para cálculo de tensões e, naturalmente, o avanço computacional.

O método inclui pavimentos de tipo PCS e CRCP (Continuously Reinforced Concrete Pavement).





BÉLGICA

Atualmente, a metodologia de projeto de rodovias de concreto PCS está descrito no documento Vademecum Standaardstructuren, “Manual de Estruturas-padrão” (Agentschap Wegen & Werkeer, 2023).

Estradas largas		Estradas estreitas	
Largura da Pista (m)	C _b	Largura da Pista (m)	C _b
3,75	0,75	5,0	0,50
3,50	0,85	4,5	0,55
3,25	0,95	4,0	0,65
3,00 ou menos	1,00	3,5	0,85
		3,0	1,00

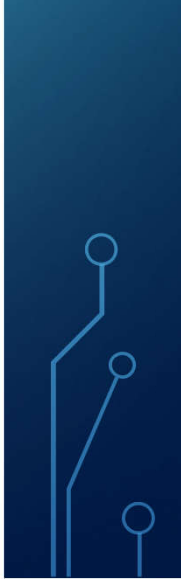
Categoria de construção	ESAL* ×10 ⁶
B1	< 128
B2	< 64
B3	< 32
B4	< 6
B5	< 8
B6	< 4
B7	< 2
B8	< 1
B9	< 0,5
B10	< 0,25
BF	—

*eixos ESRD de 100 kN

BÉLGICA

Atualmente, a metodologia de projeto de rodovias de concreto PCS está descrito no documento Vademecum Standaardstructuren, “Manual de Estruturas-padrão” (Agentschap Wegen & Werkeer, 2023).

Parâmetro		B1 até B5	B6 até B10	BF
Resistência à tração na flexão após 28 dias	mín.	6,0 MPa	5,0 MPa	4,0 MPa



Classe de gradiente de temperatura (°C/mm)	Gradiente de temperatura médio Δt (°C/mm)	Distribuição de frequência (%)
0,000 – 0,005	0,0025	59,0
0,005 – 0,015	0,01	22,0
0,015 – 0,025	0,02	7,5
0,025 – 0,035	0,03	5,5
0,035 – 0,045	0,04	
0,045 – 0,055	0,05	
0,055 – 0,065	0,06	

$$\sigma_t = 1,8 \times 10^{-5} \frac{\left(L - 3 \cdot \sqrt{\frac{h}{\Delta t \cdot k}}\right)^2}{h}$$

$$\sigma_t = 1,8 \times 10^{-5} \frac{\left(W - 3 \cdot \sqrt{\frac{h}{\Delta t \cdot k}}\right)^2}{h}$$

Símbolo	Parâmetro
h	Espessura da placa (mm).
Δt	Gradiente de temperatura (°C/mm).
α	Coefficiente de expansão térmica (1/°C).
E	Módulo de elasticidade do concreto (MPa).
L	Comprimento da placa (m).
W	Largura da placa (m).
k	módulo de reação da subestrutura (N/mm ³).

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

MEPDG-ASSHTO (versões de 2002 para diante)

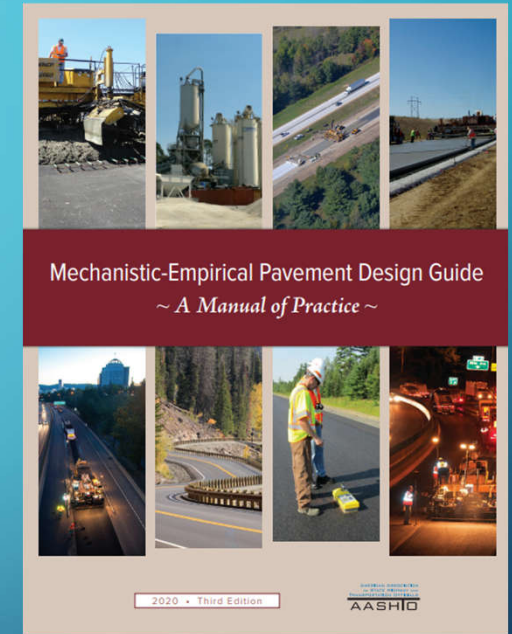
Aspectos essenciais

Modelagem por FEA 2D (ILSAB2000)

Modelo de fadiga do concreto LTPP-NCHRP

Modelos de degradação por IRI, CRACK e FAULT como metas de projeto

Redes Neurais artificiais (nada de equações para determinar tensões em spreadsheets)



Estado	Rodovia	CCP	BASE	Largura	Ano
ILLINOIS	I-55	280 mm	CAUQ 100 mm	4,6 m	1996
Illinois	R-59	260	Gran. 300 mm	3,6 m	1997
Iowa	R-65	300 mm	Gran. 150 mm		1997
Minnesota	I-35 W	340 mm	Gran. 300 mm	4,6 m	1999
Virginia	I-64	280 mm	CAUQ 75 mm	4,3 m	1998
Wiscosin	H-29	280 mm e 240 mm (FE)	Gran. 400 mm	4,6 m	1997
	US-23/I-26	260 mm	CAUQ 75 mm		2002

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

Apenas DOIS detalhes de aplicações nos anos 2010-2020

Resistência do concreto varia de 3,8 a 5 MPa

Espessuras PCS interstates: 270 a 300 mm



PRINCIPAIS ASPECTOS PARA FIXAÇÃO

DIFERENCIAIS TÉRMICOS CONSIDERADOS AMPLAMENTE

LARGURA DE PLACAS EXPANDIDAS

MÓDULO DE RESILIÊNCIA DO SUBLEITO INCORPORADO

NOVOS MODELOS DE FADIGA DO CONCRETO

BASES ASFÁLTICAS E GRANULARES COMUMENTE USADAS

MODELOS DE DEGRADAÇÃO INCORPORADOS – IRI, CRACK, FAULT

ESPESSURAS DE PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES PARA TRÁFEGO PESADO > 270
MM

CONCRETO: QUEM DEFINE A RESISTÊNCIA NÃO É O MÁGICO 4,5 MAS A
TECNOLOGIA DISPONÍVEL NO SÉCULO 21 (≥ 6 MPA)



The background is a blue gradient. In the corners, there are white line art designs resembling electronic circuit boards, with lines and small circles representing components.

OBRIGADO PELA ATENÇÃO!