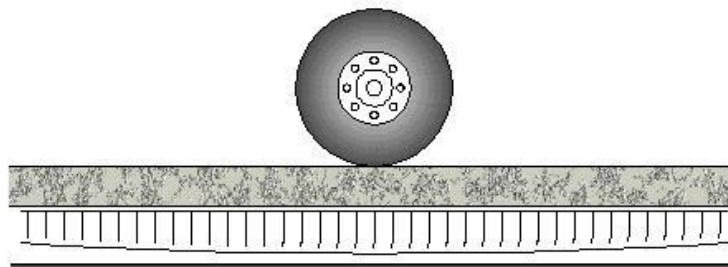


AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

PROF. DR. JOSÉ TADEU BALBO



AValiação Estrutural de Pavimentos

- A avaliação estrutural de pavimentos enseja analisar a deterioração da infraestrutura viária, contribuindo para alocação de recursos para manutenção e reabilitação de pavimentos, além de refletir a conformidade dos métodos de projeto e construtivos empregados.



- Retroanálise de parâmetros estruturais
 - Medidas de deflexões em campo
 - FWD ou Viga Benkelman
- Pavimentos de concreto
 - Módulo de elasticidade da placa de concreto (E)
 - Coeficiente de reação do subleito (k)
 - Eficiência de Transferência de Carga (LTE)

▪ Retroanálise de parâmetros estruturais

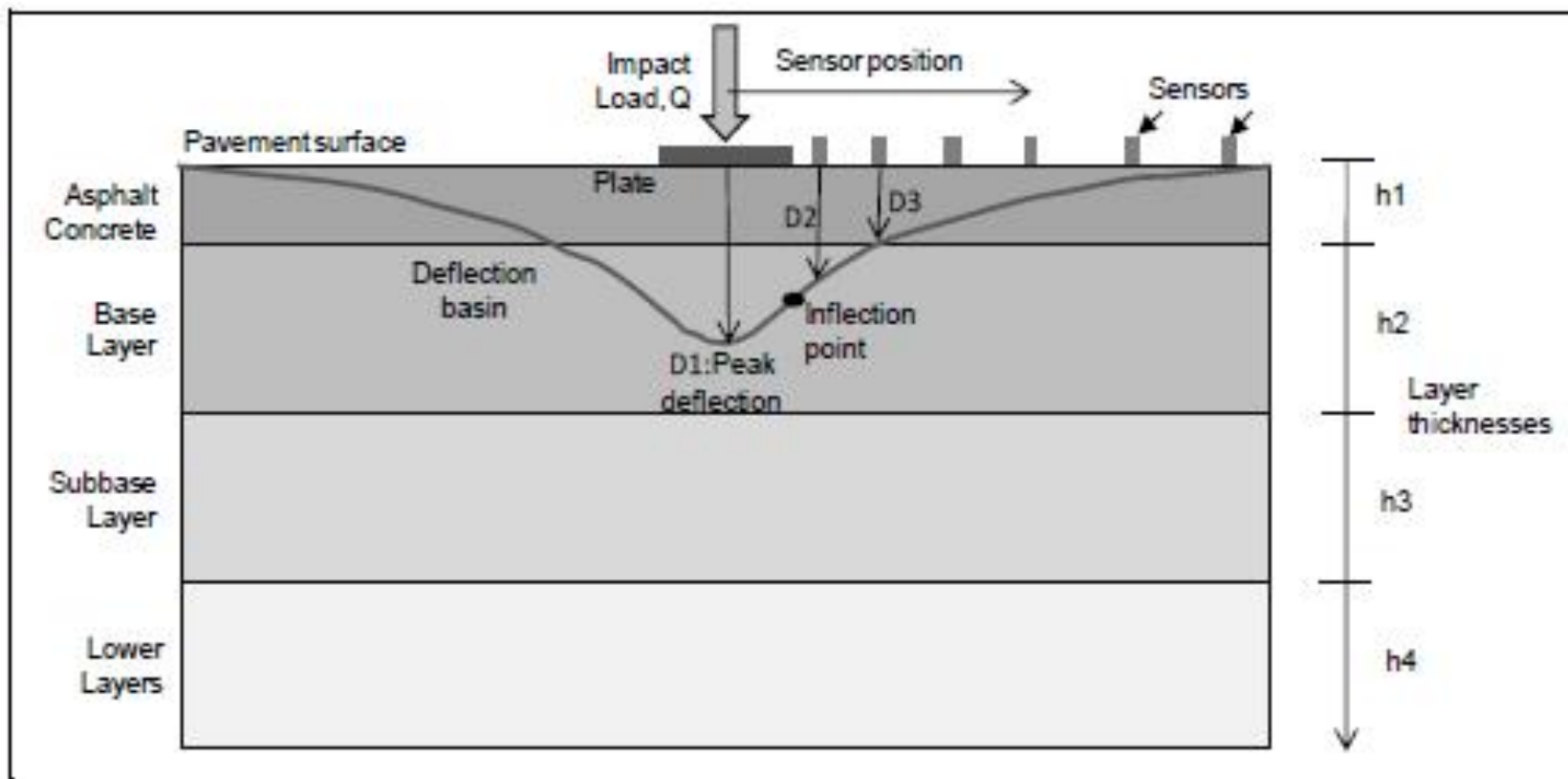


Figure 1. Impact load deflection test - deflection basin

DOI: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v34n2.42158>

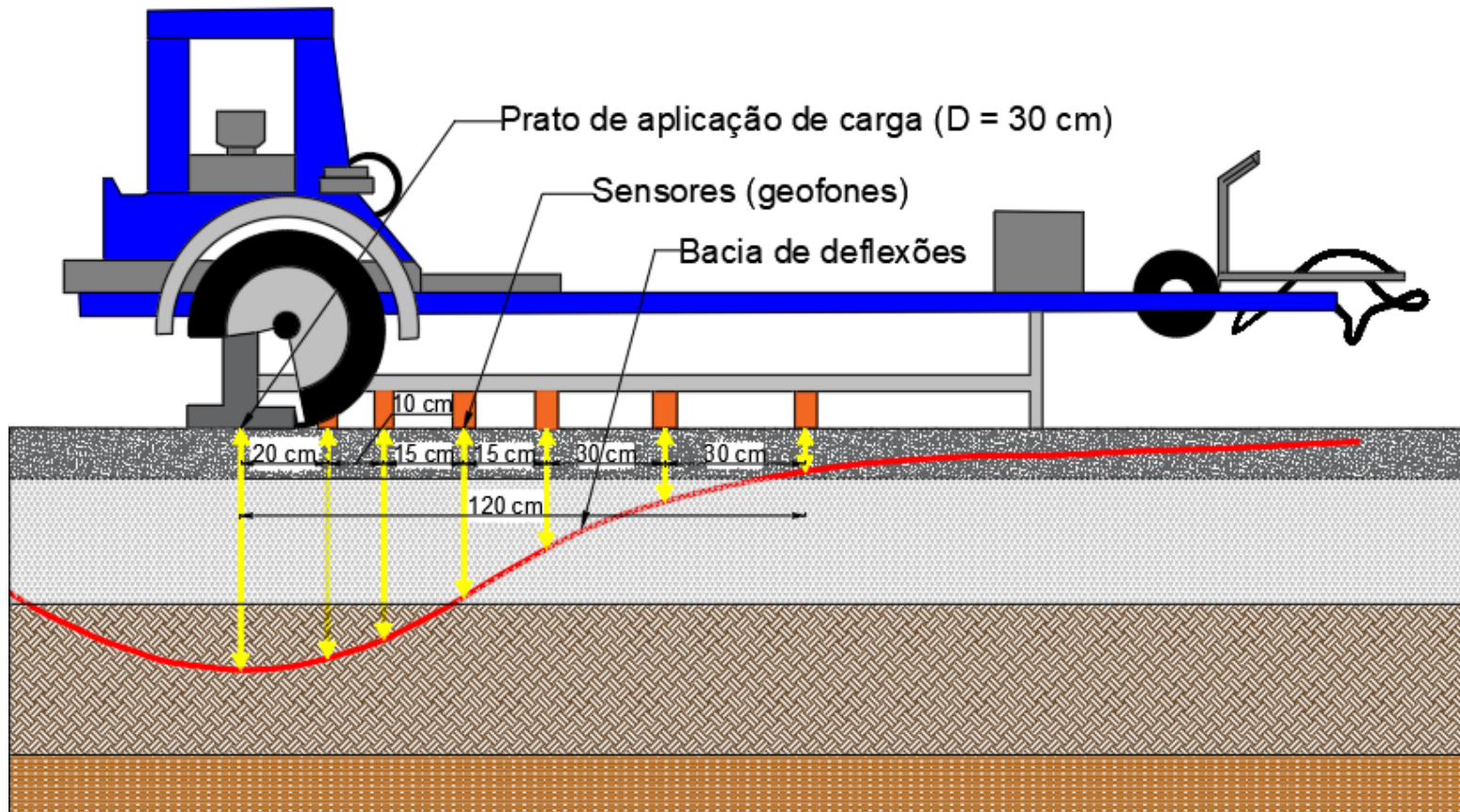
RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Processo mais complexo do que em pavimentos asfálticos (Programas baseados na Teoria de Camadas Elásticas)
 - Placas de concreto → dimensões finitas, limitadas por descontinuidades (juntas)
 - Inexistência de programas para retroanálise automatizada como é o caso do BAKFAA para pavimentos asfálticos.
 - Processo iterativo → combinação de E e k que melhor reproduz a bacia de deflexões medida em campo

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

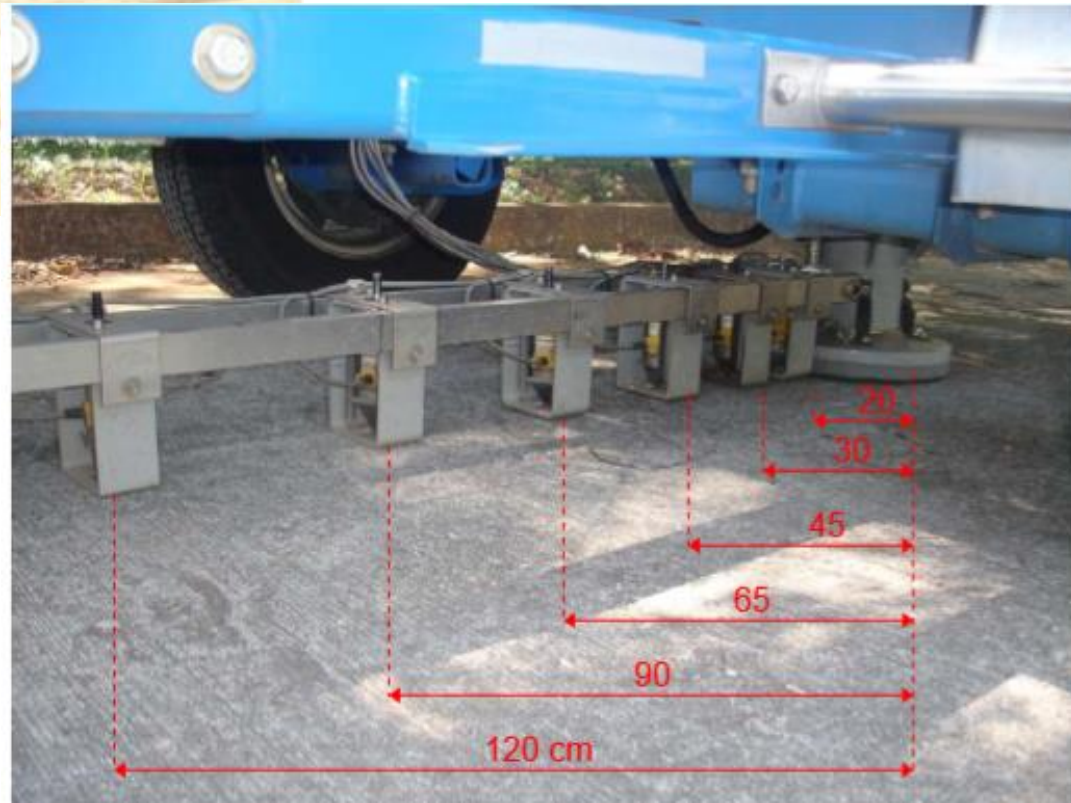
■ Deflexões com FWD

- Equipamento aplica uma carga de impacto à superfície do pavimento gerando ondas de aceleração verticais que se deslocam pela superfície e são captadas por geofones em posições pré-estabelecidas
- Ondas duplamente integradas → bacia de deflexões da estrutura



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Deflexões com FWD



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- “Processo pelo qual procura-se simular uma teoria condizente com o comportamento estrutural da estrutura em questão, conhecendo-se as respostas em termos de deformações ou tensões da estrutura real, verificando para quais parâmetros o modelo teórico consegue representar, com a maior fidelidade, as medidas reais obtidas em campo.”
- Simulação computacional do FWD em campo
 - Conhecida a geometria das placas e o carregamento, por meio de iterações procura-se estabelecer os valores de E e k para os quais a bacia de deflexões teórica melhor se aproxima da bacia de deflexões medida em campo
- Critério de parada
 - Menor soma de erros quadráticos para todos os pontos em questão

$$\text{Erro} = \text{Mín} \left[\sum (d_i^{\text{pista}} - d_i^{\text{teórico}})^2 \right]$$

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Estimativa inicial dos valores de E e k (“**Módulos semente**”)
 - Critérios apoiados na **Teoria de Westergaard**
 - FWD com centro de aplicação de carga no **centro da placa**
 - **Placa infinita**

$$AREA = 6 \cdot \left(1 + \frac{2d_{30}}{d_0} + \frac{2d_{60}}{d_0} + \frac{d_{90}}{d_0} \right)$$



Obs: Cálculo realizado em polegadas.

Os índices 30, 60 e 90 correspondem a 12, 24 e 36 polegadas

Área da bacia de deflexões normalizada pela deflexão máxima sob uma carga de FWD aplicada na placa de diâmetro de 300 mm – Critério da AASHTO

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- A partir da área da bacia de deflexões determina-se o raio de rigidez relativa da placa (ℓ), o qual relaciona-se com E e k



$$\ell = \left[\frac{\ln \left(\frac{36 - \text{AREA}}{1812,279133} \right)}{-2,55934} \right] - 4,387009$$

Fisicamente representa a distância do centro de aplicação da carga ao ponto de inflexão da deformada (inversão do momento fletor)

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}}$$

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Estimativa de E e k:

$$k = \frac{P}{8 \cdot d_0 \cdot \ell^2} \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{a}{2 \cdot \ell} \right) - 0,67278436 \right] \cdot \left(\frac{a}{\ell} \right)^2 \right\}$$

$$E = \frac{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k \cdot \ell^4}{h^3}$$

k = coeficiente de reação do subleito (lb/in²/in)

E = módulo de elasticidade do concreto (lb/in²)

a = raio da carga circular aplicada (polegadas)

μ = coeficiente de Poisson

h = espessura da placa (polegadas)

IMPORTANTE!

(1) Modelos com campo de aplicação limitado às placas infinitas com carga aplicadas em seu centro;

(2) Para os valores de k, as estimativas remetem a cargas estáticas, enquanto o FWD aplica uma carga dinâmica → os valores reais devem ser superiores às estimativas

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Exemplo – Retroanálise PCS – Programa EverFE 2.25
 - Placas de 1,80 x 1,80 com juntas serradas in loco
 - Ausência de acostamentos
 - Subleito maldrenado e de baixa resistência – CBR = 3%
 - Concreto convencional – $f_{ct,f} = 4$ MPa
- Seção 2ª - placa com 150 mm de espessura sobre camada granular mal graduada, compactada sobre uma manta geotêxtil aplicada sobre o subleito
- Seção 2b – placas de 200 mm de espessura sobre camada granular mal graduada compactada sobre uma manta geotêxtil aplicada sobre o subleito

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- FWD – cargas dinâmicas com 28,9 kN no primeiro golpe e 48,9 kN no segundo.
- FWD com 9 geofones → -305 mm, 0 mm (carga), 203 mm, 457 mm, 610 mm, 914 mm, 1219 mm e 1524 mm

Valores estimativos para E e k (equações slide 10)

Seção	k (MPa/m)	E (N/mm ²)
2a	27	31.864
2b	24	34.265

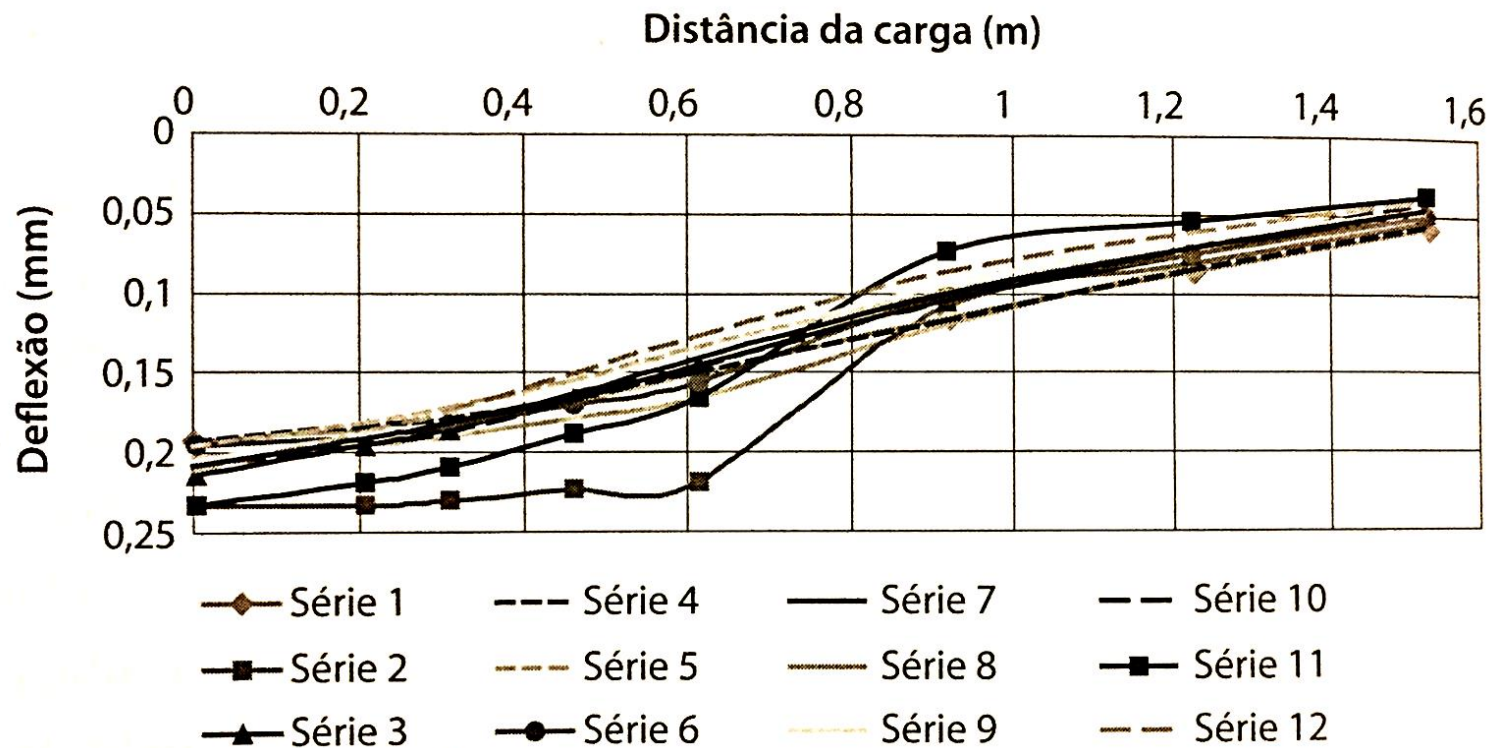
Subleitos com pobres condições elásticas ou resilientes

Módulos próximos aos valores estaticamente medidos em laboratório durante testes de controle tecnológico

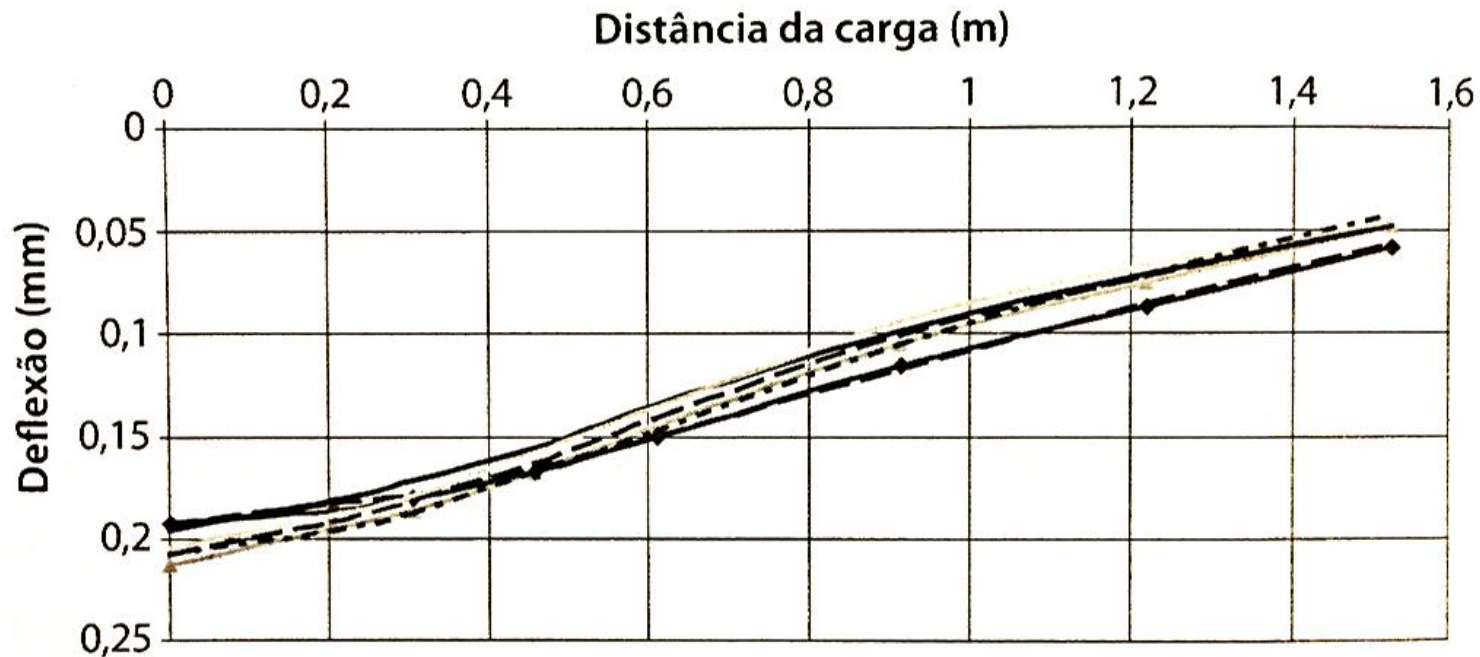
RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

■ Etapas

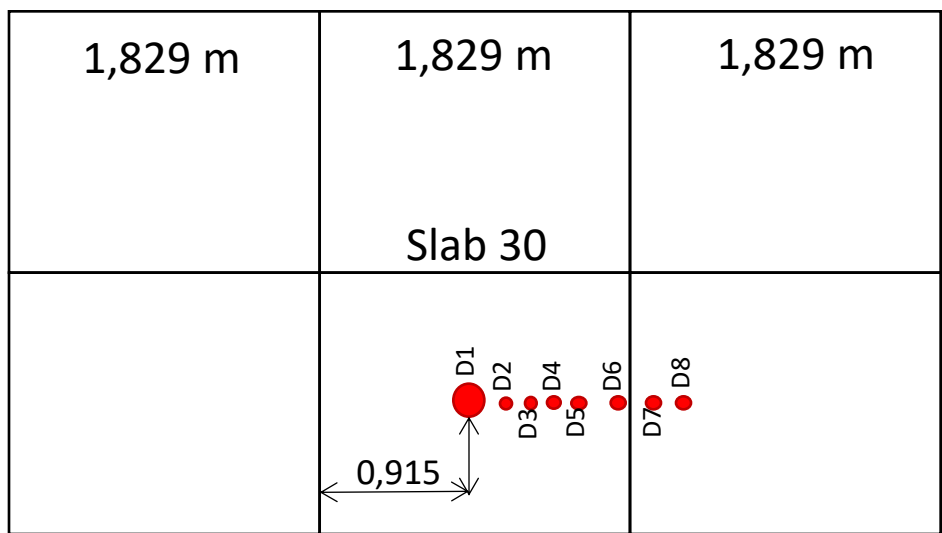
- Seleção das bacias de deflexão de campo – expurgo de bacias mal delineadas
- bacias empregadas – aquelas obtidas para maior carga aplicada – evitar valores mais baixos de deflexão
- Com base nas bacias homogêneas, selecionou-se uma bacia mais representativa desse conjunto



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



◆ Série 1 ▲ Série 3 - - Série 4 — Série 5 - - Série 7 — Série 9 - - - Série 10



Bacias de deflexão na seção 2a após expurgo

Esquema de posicionamento de sensores

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Definição da geometria das placas

EverFE 2.25 Unit System: metric Current Project: Untitled

ZM Out 1.0000 ZM In FILE SOLVE VISUALIZE HELP

Geometry Material Loading Dowel Interlock Meshing

Slab Layout

- 1 row; 1 column
- 2 rows; 1 column
- 3 rows; 1 column
- 1 row; 2 columns
- 2 rows; 2 columns
- 3 rows; 2 columns
- 1 row; 3 columns
- 2 rows; 3 columns
- 3 rows; 3 columns

Column 1 Length (X mm) 1829

Column 2 Length (X mm) 1829

Column 3 Length (X mm) 1829

Row 1 Width (Y mm) 1829

Row 2 Width (Y mm) 1829

Row 3 Width (Y mm) 1829

Slab Thickness (Z mm) 150

First Skew Angle (deg) 0

Second Skew Angle (deg) 0

Third Skew Angle (deg) 0

Fourth Skew Angle (deg) 0

Base and Subgrade

- No Layer
- 1 Layer
- 2 Layer
- 3 Layer

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Material e carregamento

EverFE 2.25 Unit System: metric Current Project: Untitled

ZM Out 1.0000 ZM In FILE SOLVE VISUALIZE HELP

Geometry **Material** Loading Dowel Interlock Meshing

Slab:

E (MPa) 28000
nu 0.2
alpha (per deg C) 1.1e-005
density (kg/m³) 2400

Dowels and Ties:

E (MPa) 200000
nu 0.3

Dense Liquid Subgrade:

Tensionless
K (MPa/mm) 0.03

EverFE 2.25 Unit System: metric Current Project: Untitled

ZM Out 1.0000 ZM In FILE SOLVE VISUALIZE HELP

Geometry **Material** **Loading** Dowel Interlock Meshing

Single Wheel Single Wheel Axle Dual Wheel Axle Single Wheel Tandem Dual Wheel Tandem Multi-Wheel Axle

L W

Load (kN) 48
x (mm) 2744
y (mm) 0
L (mm) 266
W (mm) 266

Top Bottom

of Temp. Changes 2
Temp. Change 1 (deg C) 0
Temp. Change 2 (deg C) 0

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Parametrização de juntas longitudinais e transversais

EverFE 2.25 Unit System: metric Current Project: Untitled

Geometry Material Loading **Dowel** Interlock Meshing

Looseness Emb (mm) 225 Diameter (mm) 32

First Row Dowels
Second Row Dowels
Third Row Dowels

Even Number 0
 Wheelpath Edge 1 (mm) 300
 Manual Entry

Dowel-slab support modulus (MPa) 1000
Dowel-slab restraint modulus (MPa) 0

Even Wheelpath Manual Entry

Tie Joint 1 Tie-slab support modulus (MPa) 1000 Emb (mm) 500
Tie-slab restraint modulus (MPa) 10000 Spacing (mm) 1000
Diameter (mm) 13

Tie Joint 2 Tie-slab support modulus (MPa) 1000 Emb (mm) 500
Tie-slab restraint modulus (MPa) 10000 Spacing (mm) 1000
Diameter (mm) 13

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Definição da malha de elementos finitos para simulações

EverFE 2.25 Unit System: metric Current Project: Untitled

ZM Out 1.0000 ZM In FILE SOLVE VISUALIZE HELP

Geometry Material Loading Dowel Interlock Meshing

Joint 1 ties

Joint 2 ties

Number of Elements along X in Column 1 10

Number of Elements along X in Column 2 10

Number of Elements along X in Column 3 10

Number of Elements along Y in Row 1 10

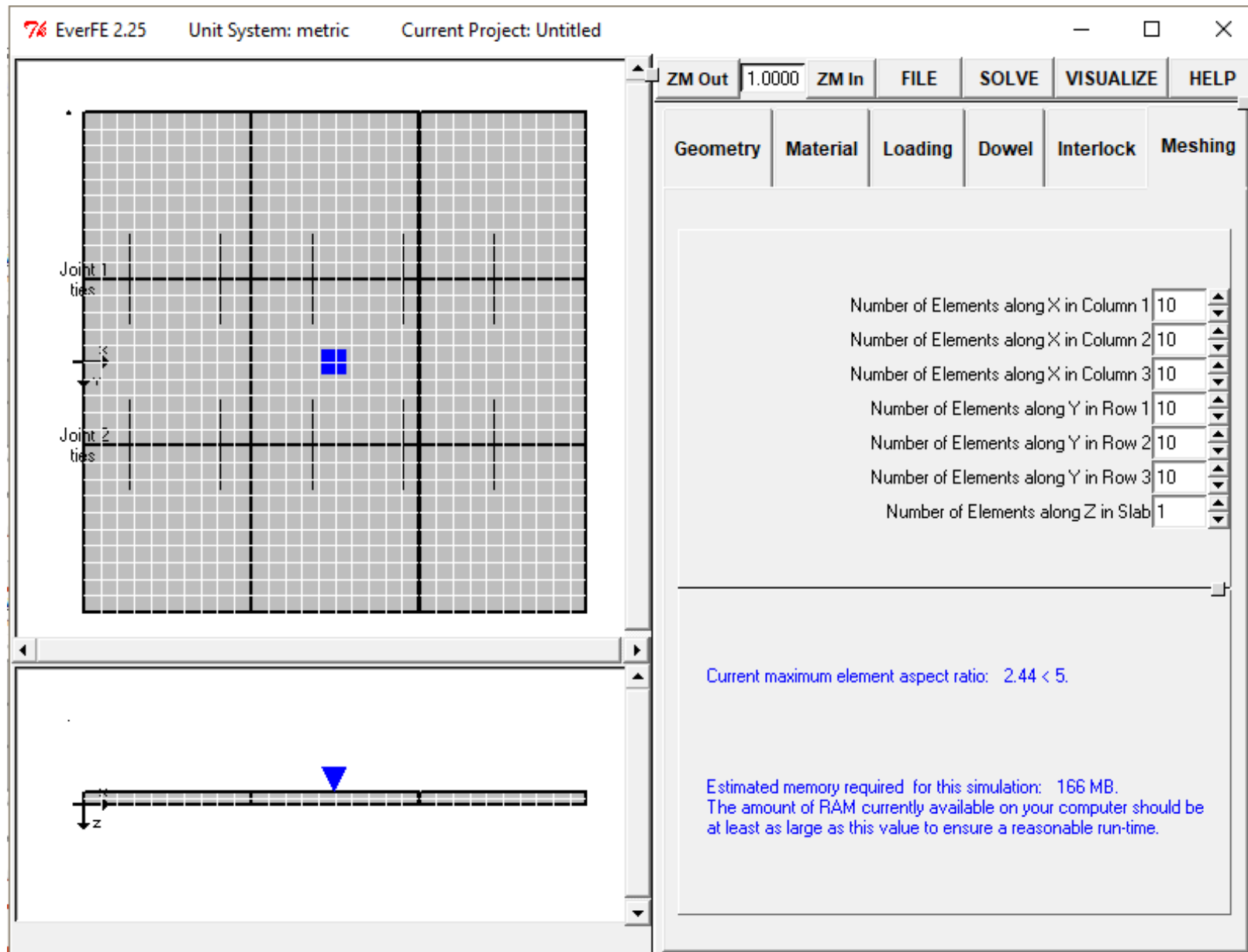
Number of Elements along Y in Row 2 10

Number of Elements along Y in Row 3 10

Number of Elements along Z in Slab 1 1

Current maximum element aspect ratio: $2.44 < 5$.

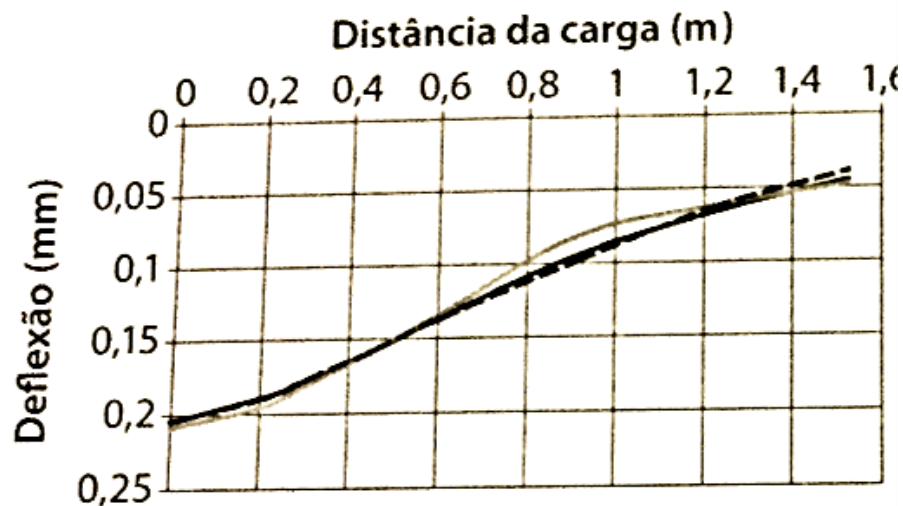
Estimated memory required for this simulation: 166 MB.
The amount of RAM currently available on your computer should be at least as large as this value to ensure a reasonable run-time.



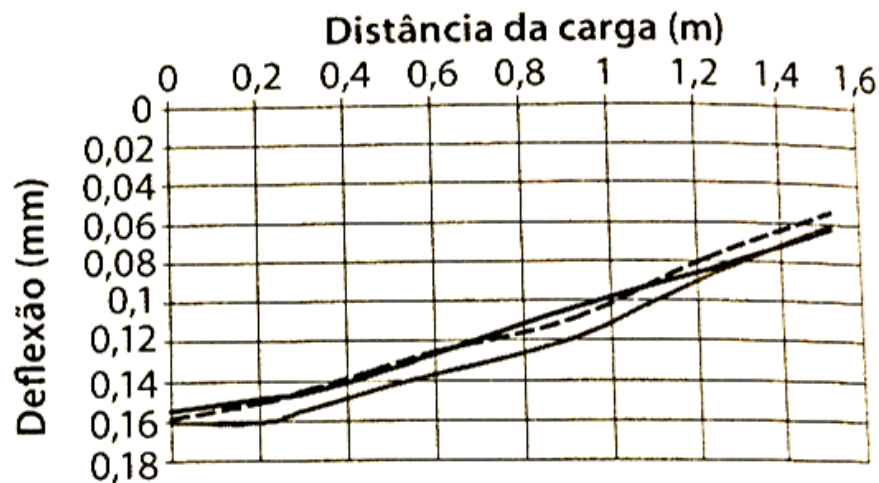
RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Valores de E e k retroanalizados

FWD Sensores		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8			
FWD distância dos sensores à carga (m)		0	0.2032	0.3048	0.4572	0.6096	0.9144	1.2192	1.524			
FWD deflexões (mm)		0.205	0.189	0.179	0.158	0.135	0.095	0.067	0.046	Σ Erro ² (mm ²)		
Tentativa	ΔT (°C)	Placa E (MPa)	Suporte k (MPa/m)	Deflexões estimadas com EverFE								
1	0	42000	120	0.209	0.195	0.181	0.158	0.133	0.082	0.062	0.048	0.0002580
2	0	28000	120	0.245	0.224	0.205	0.174	0.141	0.075	0.056	0.043	0.0043230
3	0	42500	115	0.214	0.200	0.185	0.163	0.137	0.086	0.066	0.050	0.0003650
4	0	41500	125	0.205	0.190	0.176	0.153	0.128	0.078	0.059	0.045	0.0004380
5	1	42000	120	0.192	0.178	0.166	0.146	0.126	0.090	0.057	0.034	0.0009530
6	1	42000	110	0.204	0.190	0.177	0.157	0.136	0.099	0.064	0.039	0.0000820



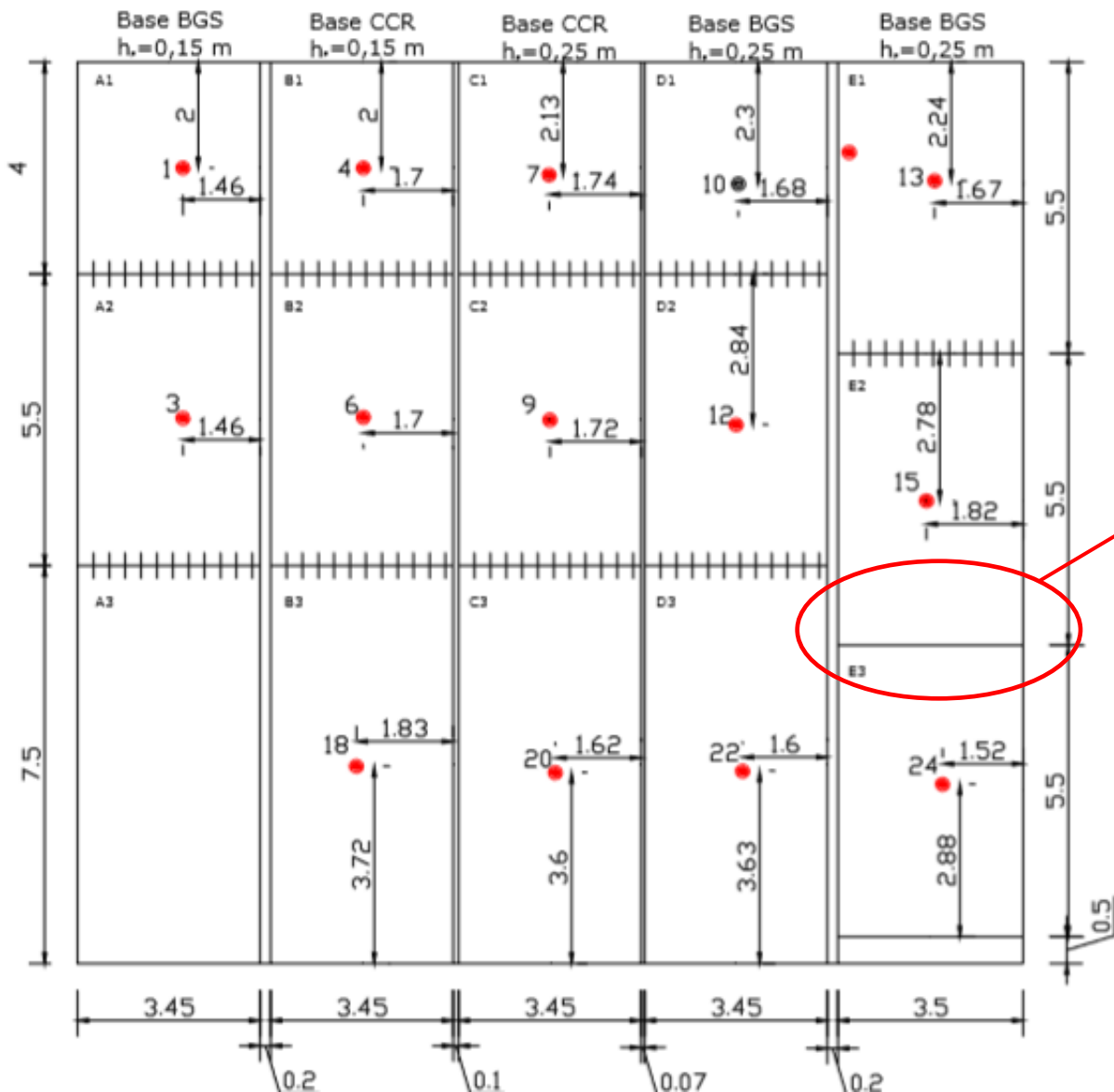
- FWD – Seção 2a Placa 31
- - - EverFE aproximação anterior
- · · EverFE aproximação final



- FWD – Seção 2b Placa 37
- - - EverFE aproximação anterior
- · · EverFE aproximação final

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Exemplo – Retroanálise PCS – Programa ISLAB2000
 - Placas concreto estacionamento Eng. Civil EPUSP



Junta sem barras de transferência de carga

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Diferenciais térmicos

Tabela 3.3 Diferenciais térmicos nos anos de 2006 e 2007.

Seção	Posição	Inverno - 28/07/2006						Verão - 26/03/2007					
		Manhã			Tarde			Tarde			Noite		
		Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)	Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)	Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)	Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)
A	2	9h32	20,0	3,8	13h35	27,0	7,4	12h30	25,0	0,3	19h35	25,5	0,5
	16	10h27	24,0	5,9	14h05	34,0	11,0	13h02	26,0	0,8	18h47	28,0	1,9
B	5	9h54	19,5	3,6	13h47	26,0	6,9	12h35	24,5	0,0	18h20	28,5	2,2
	17	10h36	24,0	5,9	14h09	34,0	11,0	13h12	31,0	3,5	18h52	26,5	1,1
C	8	10h02	20,0	4,0	13h50	32,0	10,1	12h42	41,0	12,6	18h30	32,0	7,8
	19	10h46	22,5	5,2	14h12	29,0	8,6	13h20	38,5	11,3	19h00	28,0	5,6
D	11	10h10	23,0	5,5	13h58	34,0	11,1	12h50	43,0	13,7	18h34	32,5	8,0
	21	10h55	24,0	6,0	14h14	31,0	9,6	13h30	44,5	14,5	19h04	30,5	7,0
E	14	10h20	27,0	7,5	14h00	34,0	11,1	12h56	45,0	14,8	18h42	33,0	8,3
	23	11h00	25,0	6,5	14h16	35,0	11,6	13h40	46,0	15,4	19h12	30,5	7,0

Primavera/verão

$$DT += -18,83 + 0,542T_{Tm\acute{a}x} + 0,37h + 4,165H_f$$

Outono/inverno

$$DT += -6,543 + 0,509T_{Tm\acute{a}x} + 0,0013h$$

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Modelagem no programa ISLAB2000

Geometry

X-direction Y-direction

Slab	Length	Number of Nodes
1	3500.0	16

1:1

Slab	Length	Number of Nodes
1	4500.0	20
2	5500.0	24
3	7500.0	33

1:3

-Symmetric


X ↑
y →

Mesh
 Coarse
 Medium
 Fine
 Custom

Customize

Clear

Nominal Element Size: _____

 Generate Mesh OK

Definição da geometria das placas

Materiais – módulo de elasticidade (E)

Layers

Number of layers: 1 Add Layer Delete Layer

Layer 1

Name: CCP

Element type: Plate Poisson Ratio: 0.15

Thickness: 150 Coef. Therm. Exp.: 3.60e-6

Elastic Modulus: 1.000e8 Unit Weight: 0.024

Interface with Layer Above: Disable for first layer

Vertical Stiffness: _____ Friction coefficient: _____

Horizontal Stiffness: _____ Max Friction Stress: _____

Description: _____

Default Batch Exceptions Edit Batch ... Edit Exceptions ...

Uniform cross section Nonuniform cross section Edit Cross Section OK

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Modelagem no programa ISLAB2000

Subgrade

Winkler Subgrade k: Friction model:

Spring Vlasov and Kerr G:

Vlasov Stiffness in stick:

Kerr Kerr Ku: Friction coefficient:

Max Friction:

Description:

Default Batch Exceptions

Definição do carregamento

Coefficiente de reação do subleito (k)

Load

Place Axles Place Trucks

Axle Number	Reference Point	Axle Name	X-Location	Y-Location	Load
▶ 1	Bottom Left	FWD	1750.0	4150.0	47180

Batch

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Modelagem no programa ISLAB2000

Informações sobre transferência de carga nas juntas

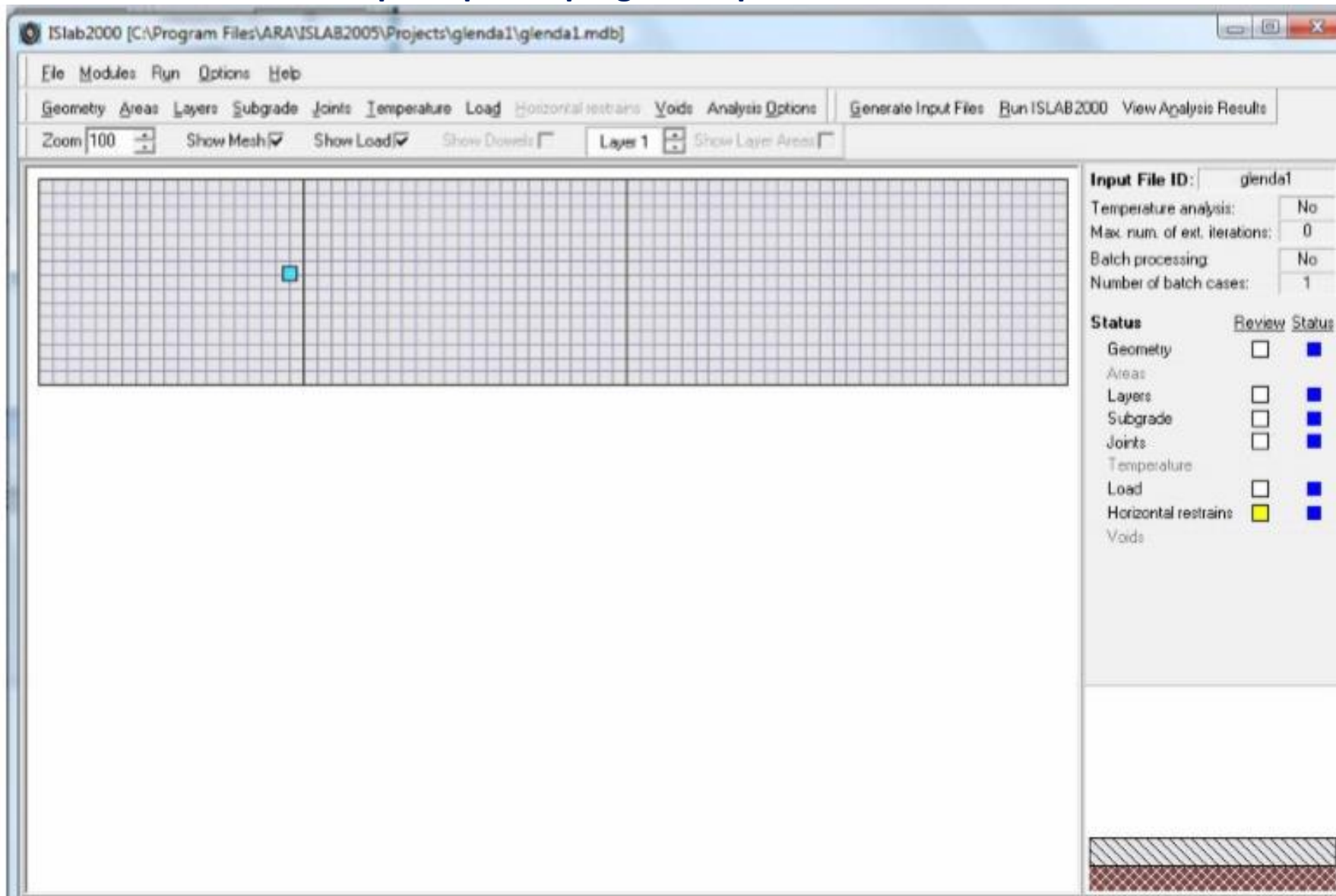
ints

Joints in x-direction	Joints in y-direction
Number of joints in x-direction: 0	Number of joints in y-direction: 2
<input type="radio"/> Specify LTE	<input checked="" type="radio"/> Specify LTE
<input type="radio"/> Specify joint parameters	<input type="radio"/> Specify joint parameters
LTE	LTE
Deflection LTE: <input style="width: 100px;" type="text" value="%"/>	Deflection LTE: <input style="width: 100px;" type="text" value="95%"/>
Joint parameters	Joint parameters
Joint type: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Joint type: <input style="width: 100px;" type="text"/>
AGG factor: <input style="width: 100px;" type="text"/>	AGG factor: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Normal Stiffness: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Normal Stiffness: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Shear Stiffness: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Shear Stiffness: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Width: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Width: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Crack depth ratio: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Crack depth ratio: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Crack Location: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Crack Location: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Dowel property ID: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Dowel property ID: <input style="width: 100px;" type="text"/>
Dowel location ID: <input style="width: 100px;" type="text"/>	Dowel location ID: <input style="width: 100px;" type="text"/>
<input type="checkbox"/> Exceptions <input type="button" value="Edit Exceptions"/>	<input type="button" value="Edit Dowel Properties"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Batch <input type="button" value="Edit Batch"/>	<input type="button" value="Edit Dowel Locations"/>
<input type="button" value="OK"/>	

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Modelagem no programa ISLAB2000

Tela principal do programa após estrutura modelada



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

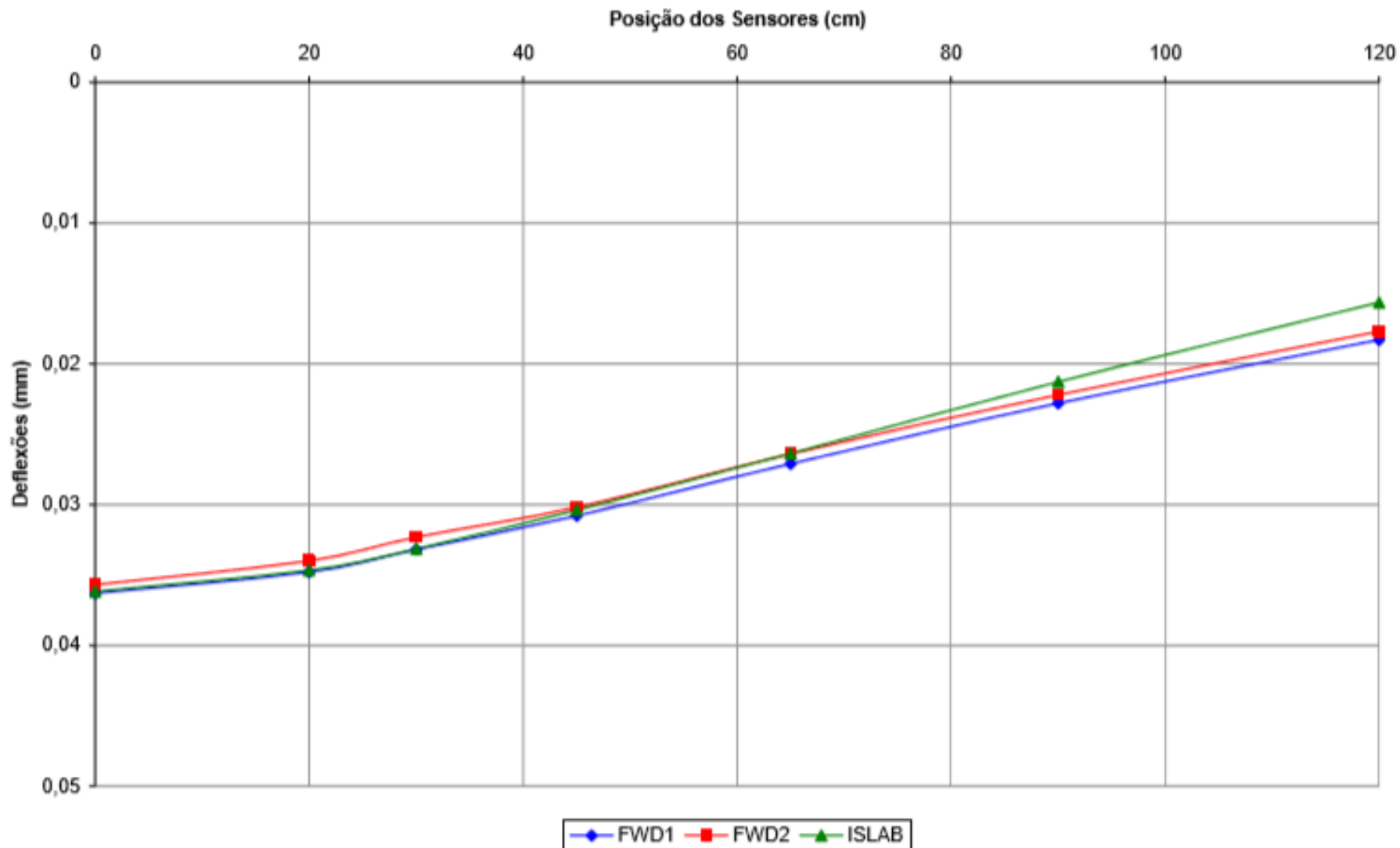
Resultado placa A2

Modulo de elasticidade E (MPa)	Reação do Subleito k (MPa/m)	Deflexão – Sensores (mm)							
		0	20	30	45	65	90	120	
51.455	31,59	0,0363	0,0348	0,0332	0,0308	0,0271	0,0228	0,0183	
48.757	33,63	0,0357	0,0340	0,0323	0,0302	0,0264	0,0222	0,0177	
E_{tensivo} (MPa)	k_{tensivo} (MPa/m)	40,00	0,0400	0,0384	0,0367	0,0337	0,0293	0,0237	0,0175
		45,00	0,0374	0,0358	0,0342	0,0313	0,0270	0,0216	0,0158
53.000	50,00	0,0352	0,0337	0,0321	0,0292	0,0251	0,0199	0,0143	
	55,00	0,0334	0,0319	0,0303	0,0275	0,0234	0,0185	0,0131	
	60,00	0,0318	0,0303	0,0288	0,0260	0,0220	0,0172	0,0121	
	40,00	0,0397	0,0381	0,0364	0,0335	0,0291	0,0236	0,0175	
54.000	45,00	0,0371	0,0355	0,0339	0,0310	0,0268	0,0215	0,0157	
	50,00	0,0349	0,0334	0,0318	0,0290	0,0249	0,0198	0,0143	
	55,00	0,0331	0,0316	0,0301	0,0273	0,0233	0,0184	0,0131	
	60,00	0,0316	0,0301	0,0285	0,0258	0,0219	0,0172	0,0121	
55.000	40,00	0,0394	0,0378	0,0362	0,0333	0,0290	0,0235	0,0175	
	45,00	0,0368	0,0353	0,0337	0,0308	0,0267	0,0215	0,0157	
	50,00	0,0347	0,0331	0,0316	0,0288	0,0248	0,0197	0,0143	
	55,00	0,0329	0,0314	0,0298	0,0271	0,0232	0,0183	0,0131	
56.000	60,00	0,0313	0,0298	0,0283	0,0257	0,0218	0,0171	0,0121	
	40,00	0,0391	0,0375	0,0359	0,0331	0,0288	0,0234	0,0174	
	45,00	0,0365	0,0350	0,0334	0,0306	0,0265	0,0214	0,0157	
	50,00	0,0344	0,0329	0,0314	0,0286	0,0246	0,0197	0,0143	
57.000	55,00	0,0326	0,0311	0,0296	0,0269	0,0231	0,0182	0,0131	
	60,00	0,0311	0,0296	0,0281	0,0255	0,0217	0,0170	0,0121	
	40,00	0,0388	0,0372	0,0357	0,0329	0,0287	0,0233	0,0174	
	45,00	0,0362	0,0347	0,0332	0,0304	0,0264	0,0213	0,0157	
57.000	50,00	0,0341	0,0327	0,0312	0,0285	0,0245	0,0196	0,0142	
	55,00	0,0324	0,0309	0,0294	0,0268	0,0229	0,0182	0,0131	
	60,00	0,0308	0,0294	0,0279	0,0253	0,0216	0,0170	0,0120	

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Resultado placa A2

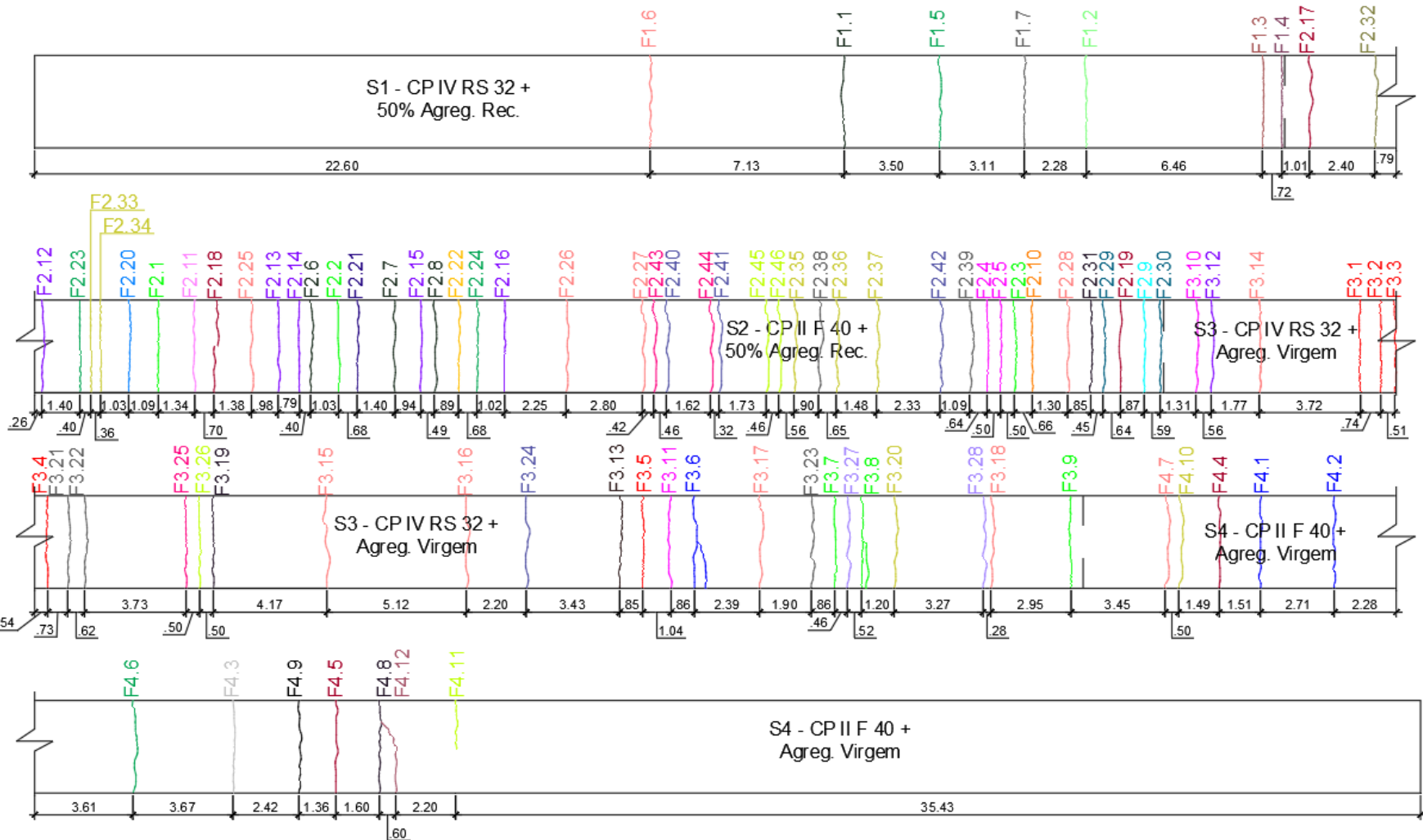
Placa A2 - Posição 3 - carga 2
E = 57.250 MPa / k = 45 MPa/m



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Exemplo – Retroanálise PCCA – ABAQUS x EverFE 2.25

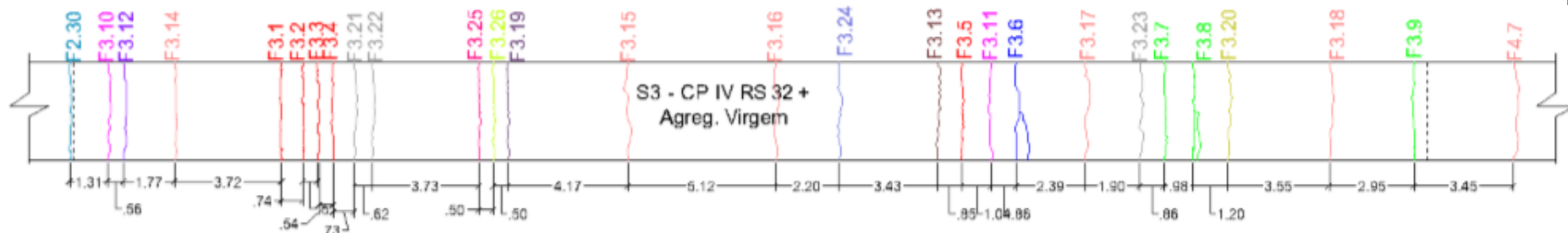
Mapa Fissuras PCCA Raia Olímpica



- 01/FEV
- 02/FEV
- 04/FEV
- 05/FEV
- 06/FEV
- 07/FEV
- 08/FEV
- 09/FEV
- 10/FEV
- 11/FEV
- 14/FEV
- 15/FEV
- 16/FEV
- 17/FEV
- 18/FEV
- 19/FEV
- 22/FEV
- 25/FEV
- 04/MAI
- 20/MAI
- 25/MAI
- 17/JUN
- 08/JUL
- 03/AGO
- 13/AGO
- 29/SET
- 07/OUT
- 02/NOV
- 19/JAN/17
- 05/ABR/17
- 27/JUL/17

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Exemplo – Retroanálise PCCA – ABAQUS x EverFE 2.25
 - FWD – aplicado no ponto médio entre duas fissuras consecutivas
- Retroanálise ABAQUS – apenas dados da seção 3
 - Pré-processamento – dados de entrada (geometria, materiais, carregamento, tipo de análise, malha)
 - Pós-processamento – resultados (tensões, deformações, deflexões, etc.)



(a)

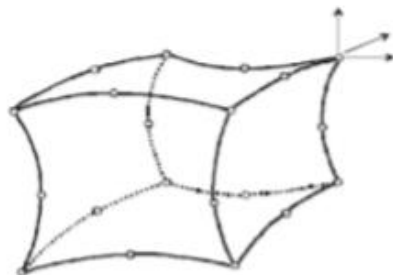
p54	p56	p57	p59	p60	p61	p62	p63	p64	p65	p66	p67	p68	p69	p70	p71	p72	p73	p74	p75	p76	p77	p78	p79	p80
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

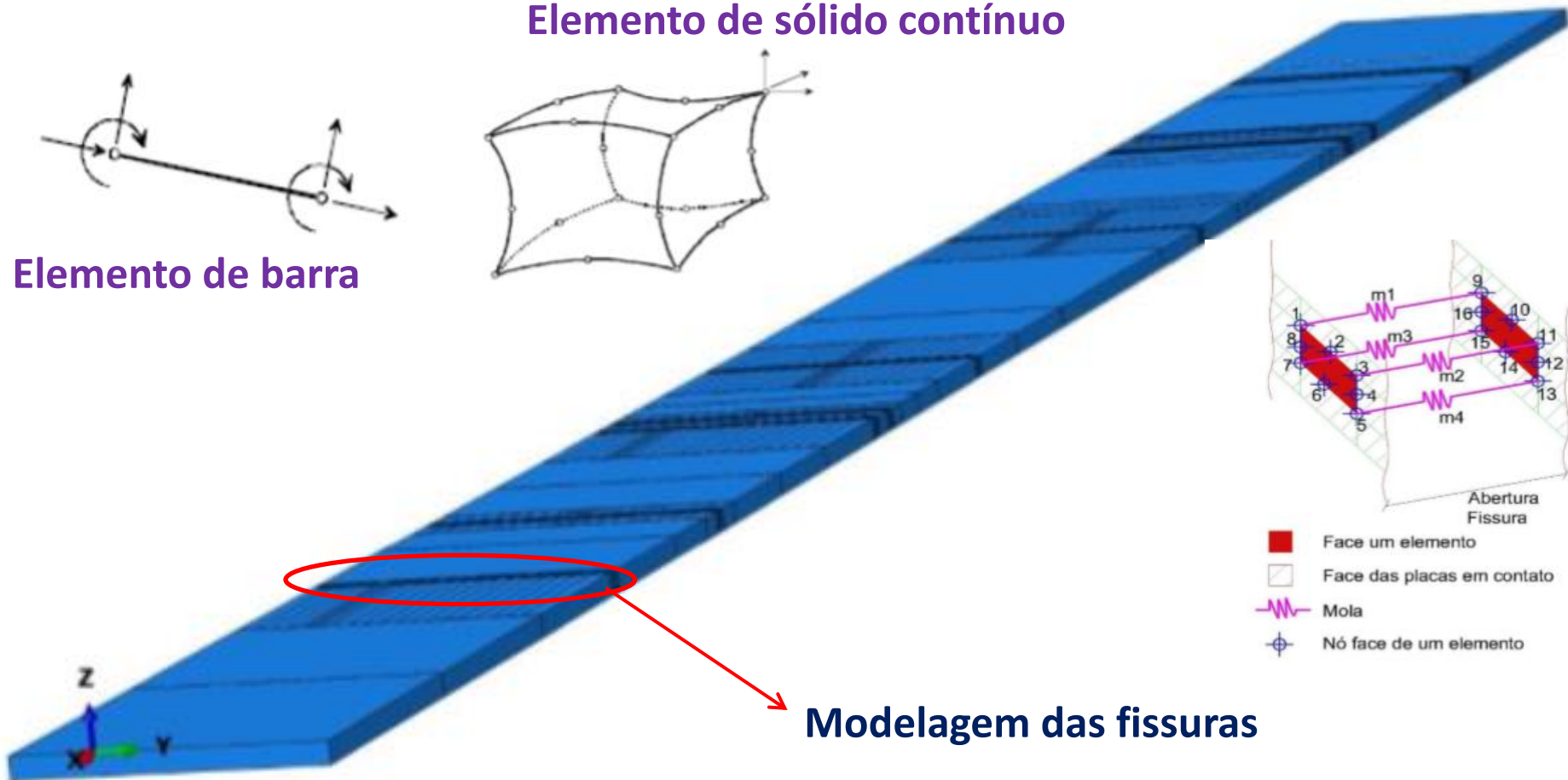
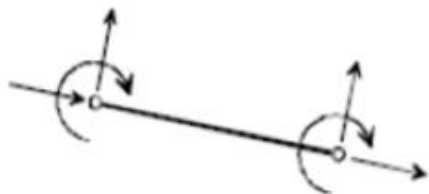
■ Geometria

- Seção 3 – 47,3 m de comprimento, 3,4 m de largura e 250 mm de espessura – elemento sólido contínuo de 20 nós
- Modelagem barras contínuas – elemento de barra

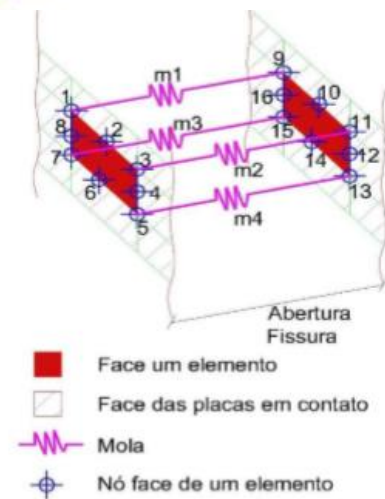
Elemento de sólido contínuo



Elemento de barra

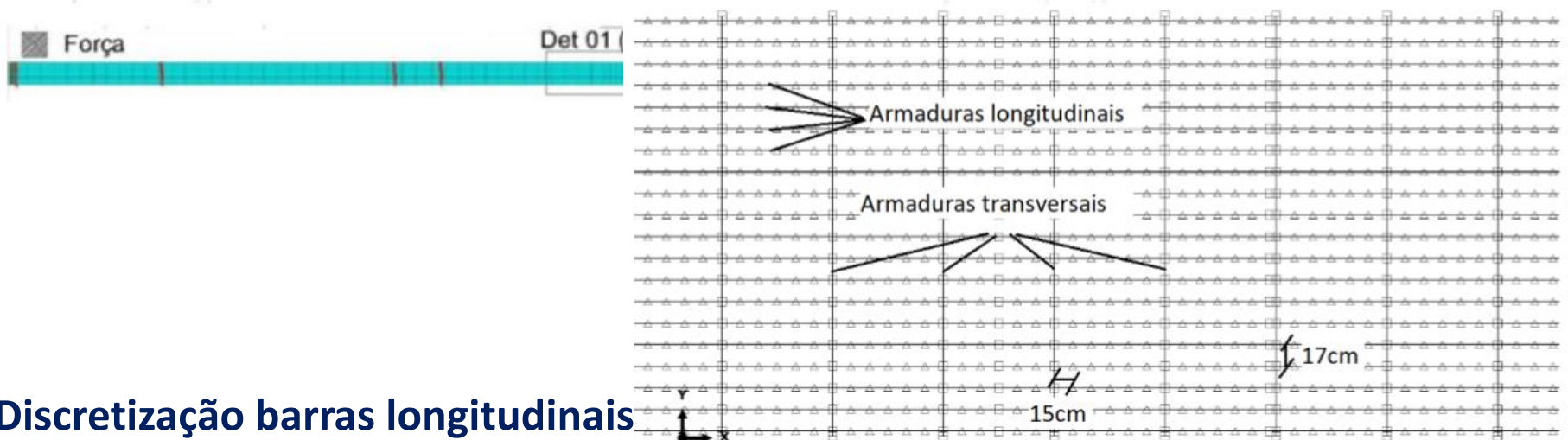
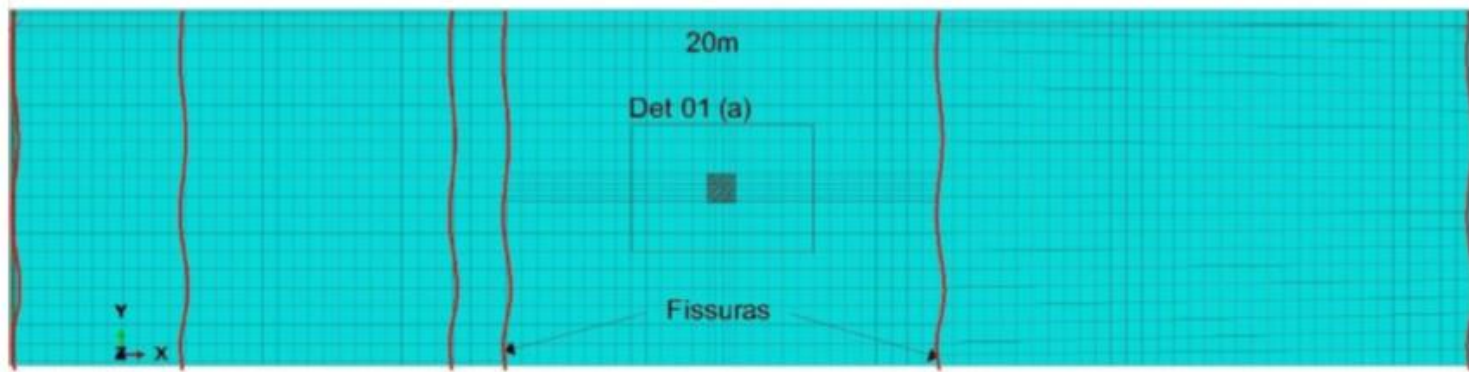


Modelagem das fissuras



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- Malha de elementos finitos
 - 5 cm – para região do carregamento
 - 15 cm – longitudinalmente
 - 17 cm transversalmente
 - 8 cm - profundidade



Discretização barras longitudinais

RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

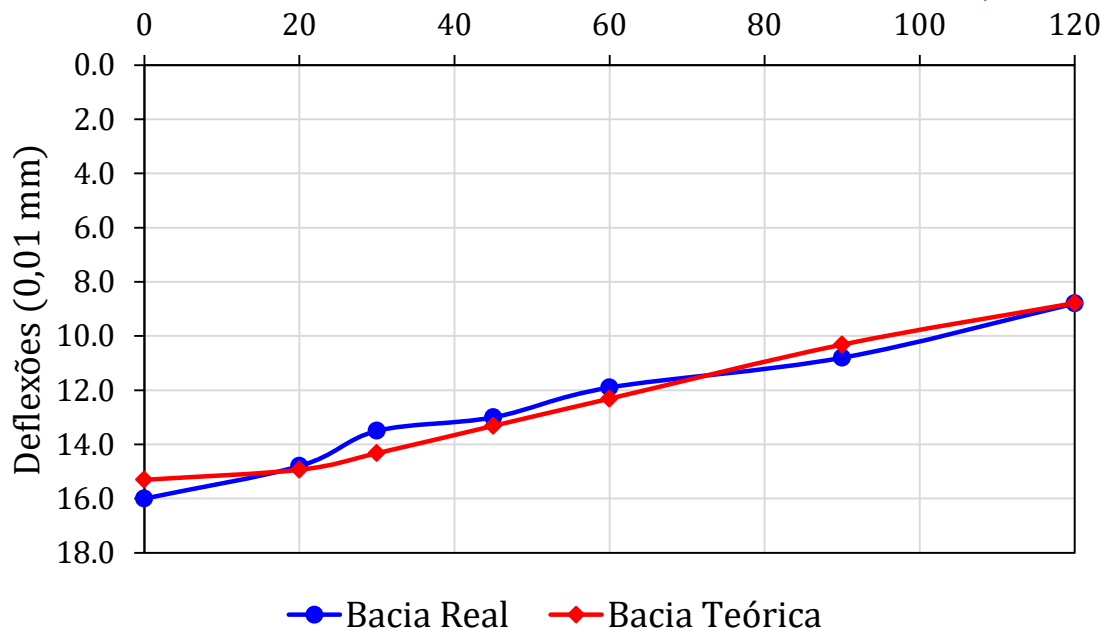
Posição dos sensores FWD

Ponto de aplicação 66			Posição dos sensores FWD							RMSE	Erro ²
Tent.	k (MPa/m)	E (MPa)	0	20	30	45	60	90	120		
1	105	35000	13.88	13.33	12.97	12.37	11.73	10.44	9.23	7.73	5.68
2	110	37000	13.20	12.67	12.33	11.77	11.16	9.95	8.80	3.58	1.16
3	108	40000	13.10	12.61	12.29	11.75	11.18	10.02	8.91	3.24	0.96
4	108	42000	12.93	12.46	12.16	11.64	11.09	9.96	8.89	2.63	0.61
5	108	42000	13.15	12.69	12.34	11.82	11.22	10.03	8.92	3.55	1.16
6	110	42000	12.93	12.47	12.12	11.62	11.02	9.85	8.77	2.75	0.63

Ponto de aplicação 60



Distância dos sensores (cm)



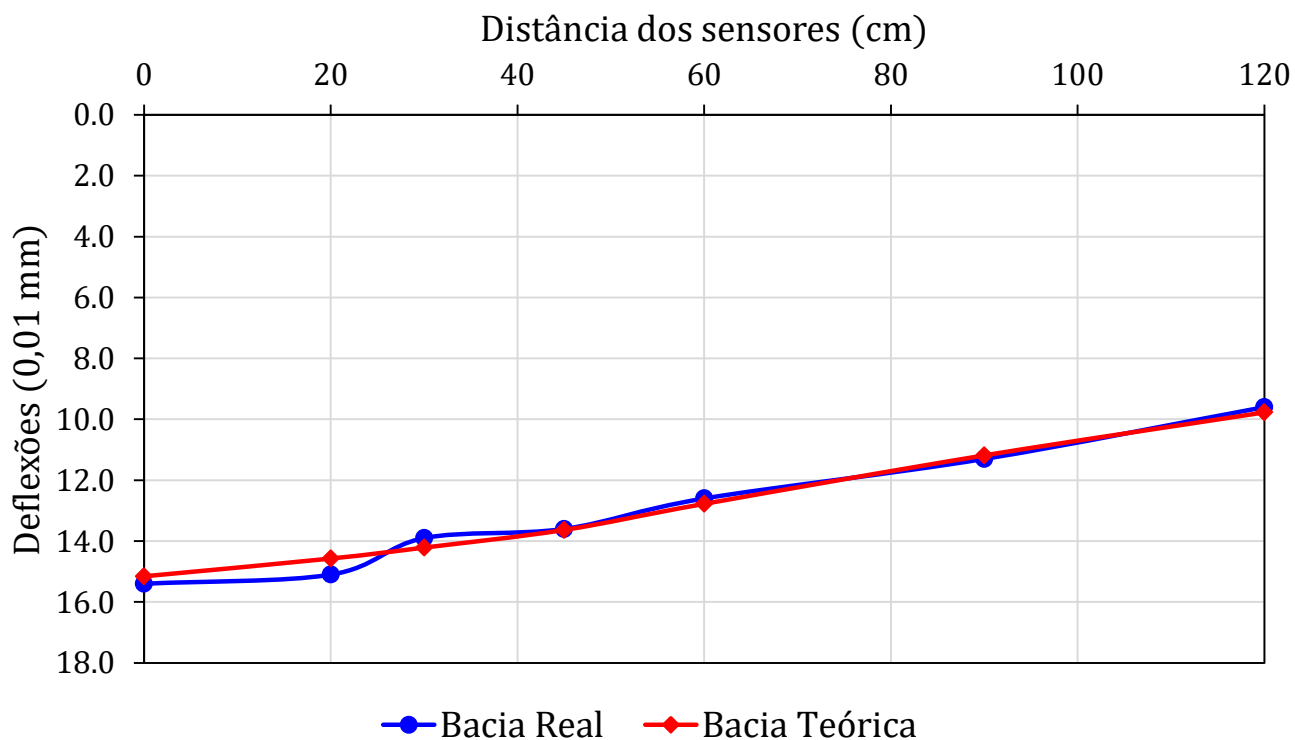
RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Posição dos sensores FWD

Ponto de aplicação 76			Posição dos sensores FWD							RMSE	Erro ²
Tent.	k (MPa/m)	E (MPa)	0	20	30	45	60	90	120		
1	100	35000	14.71	14.17	13.84	13.31	12.51	10.99	9.64	3.18	1.53
2	98	33000	15.15	14.58	14.23	13.67	12.83	11.25	9.85	2.10	0.57
3	99	32000	15.16	14.57	14.21	13.63	12.78	11.18	9.77	1.93	0.51



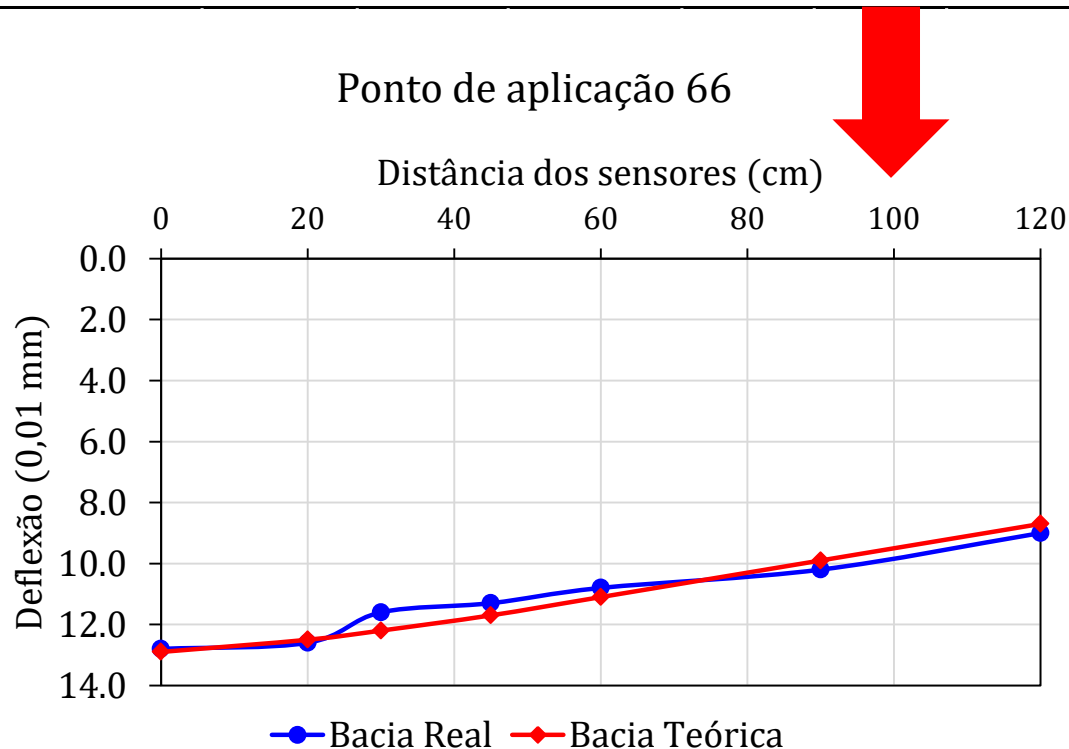
Ponto de aplicação 76



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Resultados Retroanálise EverFE

Ponto de aplicação 66			Posição dos sensores FWD							RMSE	Erro ²
			0	20	30	45	60	90	120		
Tent.	k (MPa/m)	E (MPa)	12.8	12.6	11.6	11.3	10.8	10.2	9		
1	100	33000	15.00	14.20	14.00	13.30	12.60	11.10	9.6	15.11	21.57
2	105	35000	14.30	14.10	13.30	12.60	12.00	10.50	9.2	10.44	10.65
3	110	35000	13.80	13.60	12.90	12.20	11.50	10.10	8.8	7.18	5.04
4	110	42000	13.10	13.00	12.30	11.80	11.20	9.90	8.7	3.87	1.33
5	110	44000	12.90	12.50	12.20	11.70	11.10	9.90	8.7	3.12	0.81



RETROANÁLISE DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

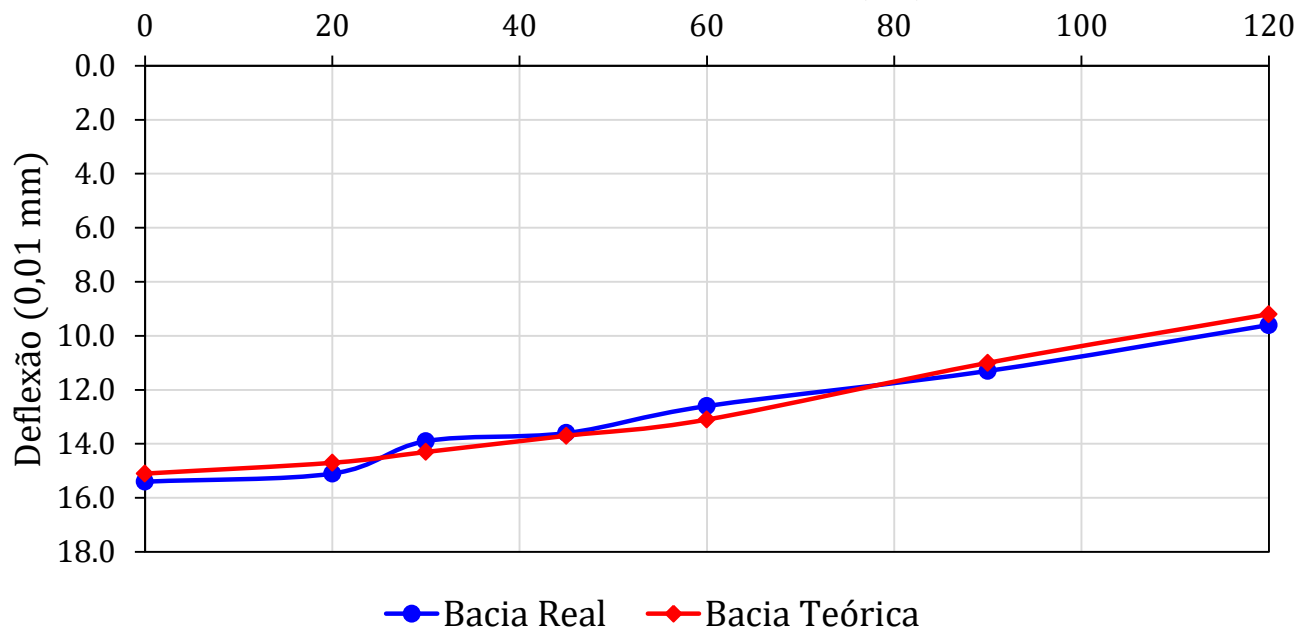
Resultados Retroanálise EverFE

Posição dos sensores FWD

Ponto de aplicação 76			Posição dos sensores FWD							RMSE	Erro ²
Tent.	k (MPa/m)	E (MPa)	0	20	30	45	60	90	120		
1	100	40000	15.90	15.30	14.90	14.30	13.60	11.50	9.7	4.75	2.83
2	105	40000	15.10	14.70	14.30	13.70	13.10	11.00	9.2	2.92	0.92

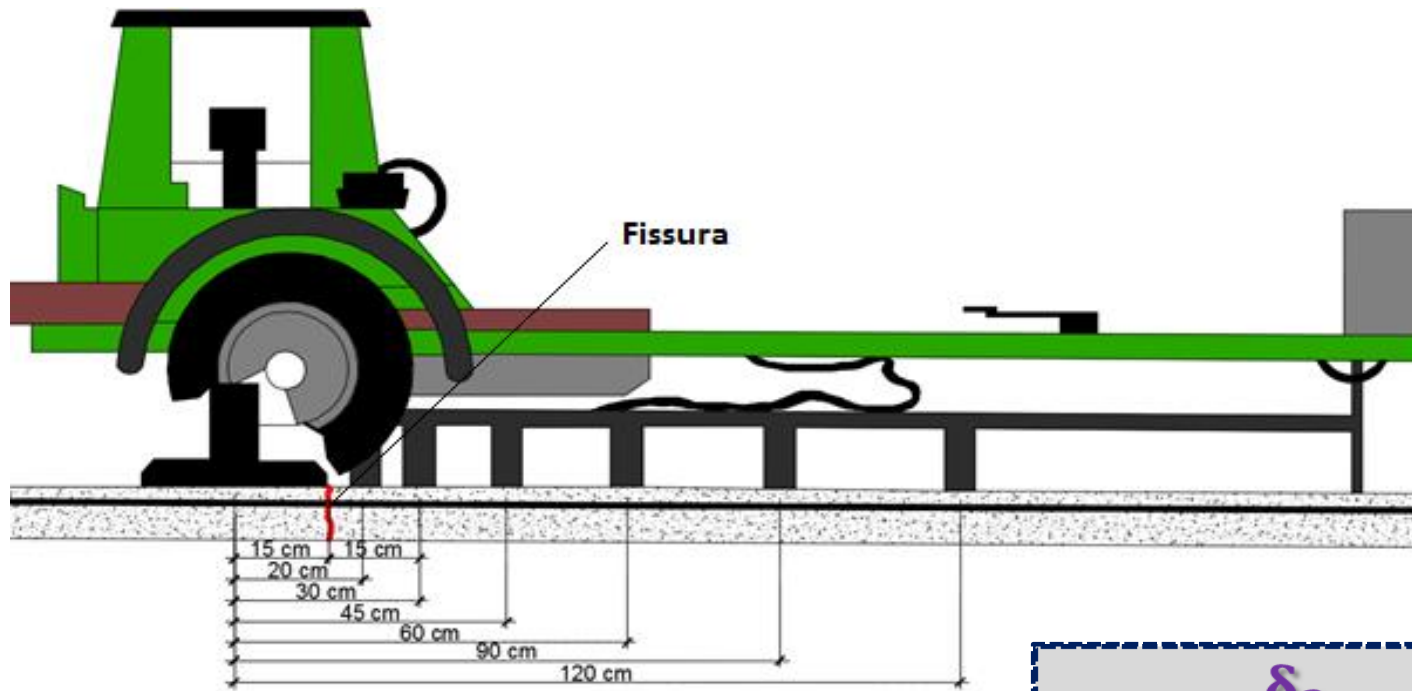
Ponto de aplicação 76

Distância dos sensores (cm)



EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)

- Aplicação de carga tangencialmente às fissuras/juntas



$$LTE = \frac{\delta_2}{\delta_1} \cdot 100(\%)$$

δ_2 Deflexão na placa descarregada (d30)

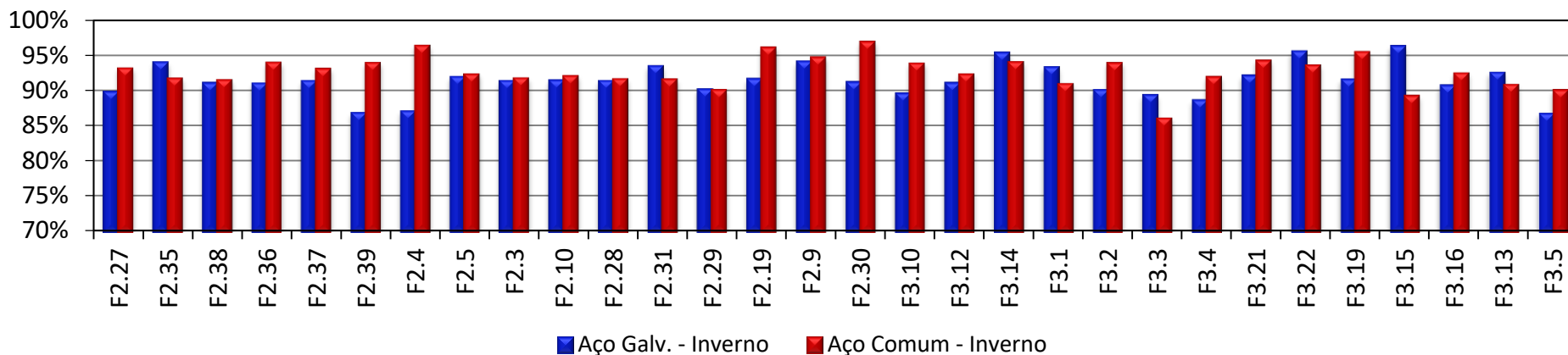
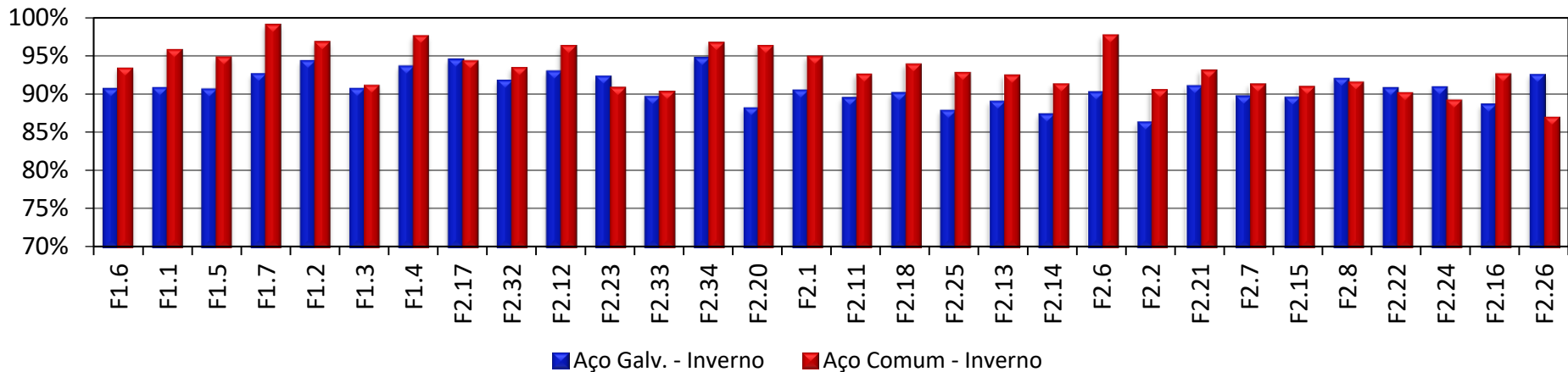
δ_1 Deflexão na placa carregada



EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)

- Comparação LTE – PCCA curto x longo x PCS
 - PCCA longo – posições com aço comum e galvanizado

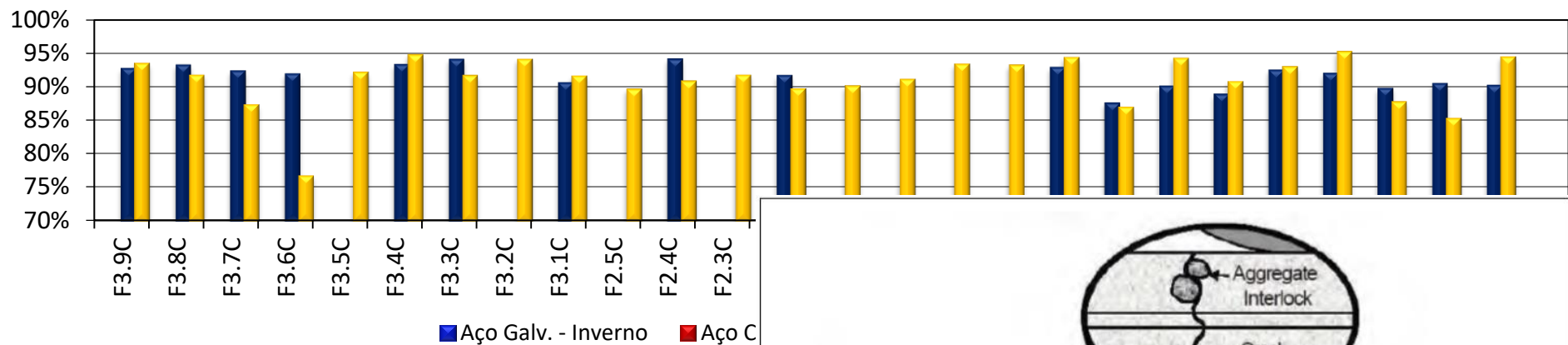
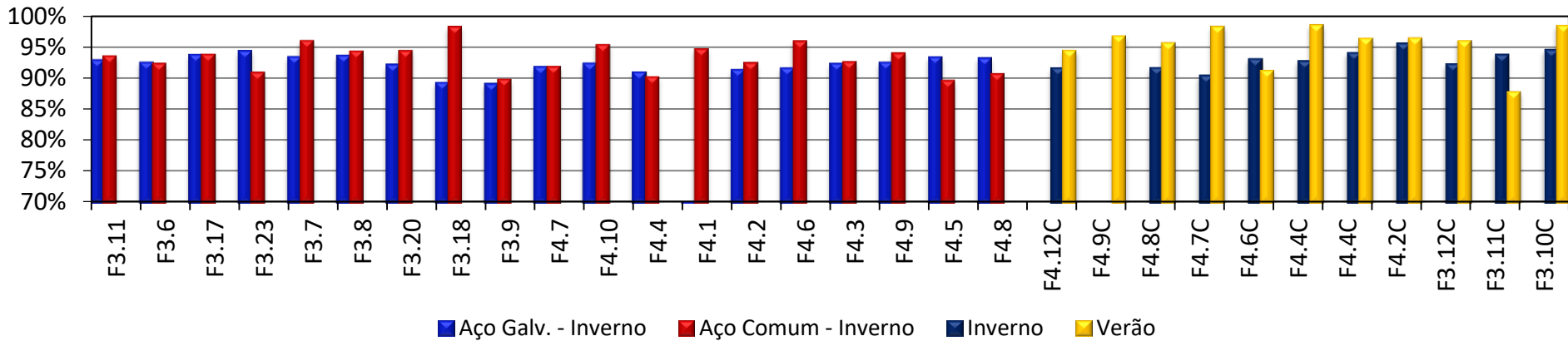
LTE PCCA longo



EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)

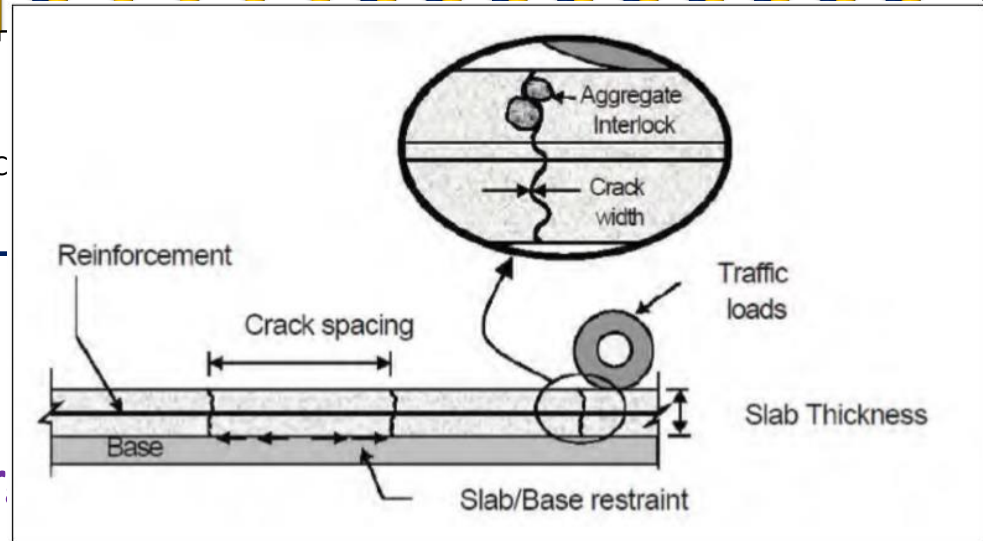
PCCA longo

PCCA Curto

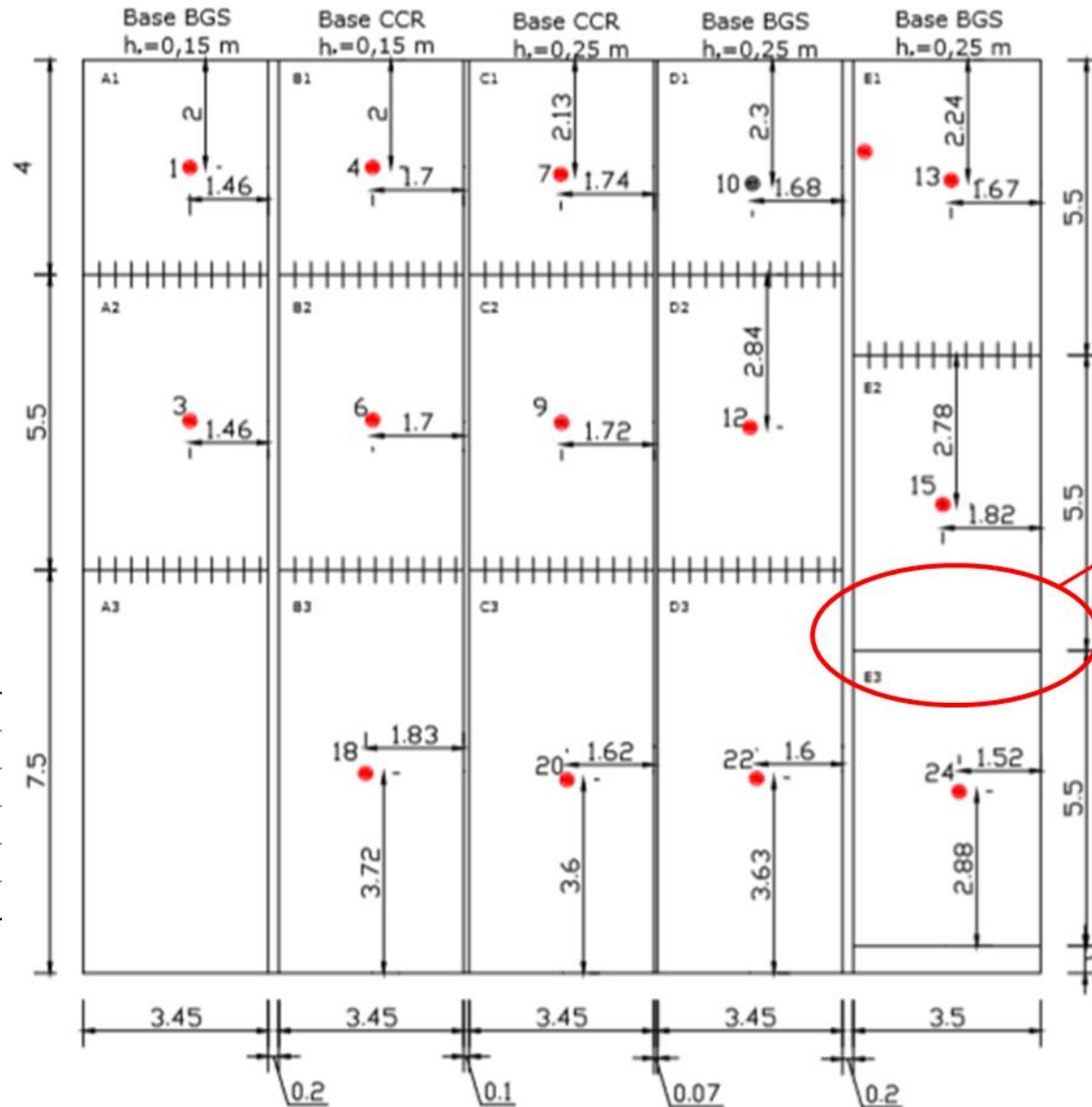


PCCA Curto

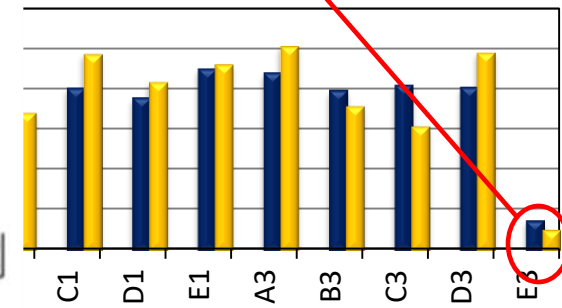
- PCCA – armadura longitudinal – LTE
- PCS – Barras de transferência de car.



EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA (LTE)



Junta sem barras de transferência de carga



rão

PCS