

Telas Soldadas

Ancoragem

Boletim Técnico

2



Instituto
Brasileiro de
Telas Soldadas

IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas

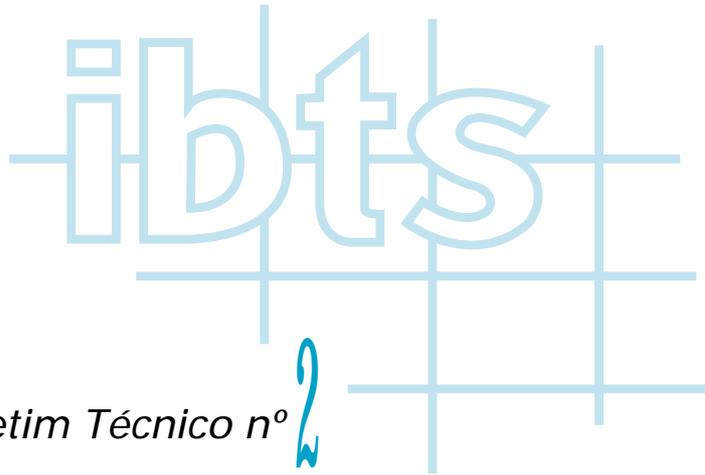
Rua Cardoso de Almeida, 313 conj. 123

CEP 05013-000 - São Paulo - SP

Tel: 11 3826-5954 - 3826-9804

www.ibts.org.br





Boletim Técnico nº

Telas Soldadas **Ancoragem**

ENGº LUIZ CHOLFE*
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP**

**Engenheiro Civil, Mestre em Estruturas pela USP, em 1986.
Professor de Estruturas da Escola de Engenharia da
Universidade Mackenzie - Diretor responsável
da STATURA Engenharia de Projetos S/C Ltda*

***Análises Experimentais: Desenvolvimento e Controle
a cargo do Departamento de Estruturas da Escola
de Engenharia de São Carlos - USP*

Sumário

Resumo.....	05
01 - Considerações Técnicas Sobre a Ancoragem, Recomendações da NBR 6118	05
02 - Aplicações da NBR 6118 em Lajes Usuais.....	06
03 - Experiência Alemã.....	07
04 - Pesquisa Técnica para Analisar a Ancoragem Reta com 10 cm em Modelos de Lajes.....	09
04.1 - Objetivos.....	09
04.2 - Modelos, Descrições Resumida.....	10
04.2.1 - Modelos Utilizados na Primeira Fase.....	10
04.2.2 - Modelos Utilizados na Segunda Fase.....	11
04.3 - Materiais.....	11
04.3.1 - Concreto.....	11
04.3.2 - Armaduras, definição.....	12
04.4 - Definição dos Carregamentos de Ensaio.....	14
04.4.1 - Placa Tipo 1, centrado e deslocado.....	14
04.4.2 - Placa Tipo 2.....	16
04.4.3 - Placa Tipo 3.....	16
04.5 - Equipamentos Utilizados nos Ensaios.....	17
04.6 - Instrumentação dos Modelos.....	18
04.6.1 - Placa Tipo 1.....	18
04.6.2 - Placa Tipo 2.....	20
04.6.3 - Placa Tipo 3.....	21
04.7 - Ensaios Acessórios.....	22
04.7.1 - Resistência do Concreto.....	22
04.7.2 - Telas Soldadas.....	22
04.8 - Procedimentos de Ensaio dos Modelos.....	23
04.8.1 - Placa Tipo 1.....	23
04.8.2 - Placa Tipo 2.....	24
04.8.3 - Placa Tipo 3.....	25
04.9 - Cargas de Ensaio.....	25
04.9.1 - Placa Tipo 1.....	25
04.9.2 - Placa Tipo 2.....	26
04.9.3 - Placa Tipo 3.....	26
04.10 - Análise dos Resultados dos Ensaios.....	26
04.10.1 - Controle de Flechas.....	26
04.10.2 - Controle das Deformações.....	27
04.11 - Análise dos Resultados Placa Tipo 1 e 2.....	28
04.12 - Análise dos Resultados Placa Tipo 3.....	29
04.13 - Controle da Fissuração.....	29
05 - Comentários Finais.....	31
Conclusões	32
06 - Documentação Fotográfica.....	33
07 - Anexos: detalhamento das placas tipo 1, 2 e 3.....	41

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo teórico/experimental da ancoragem de telas soldadas com aplicações em lajes convencionais de concreto.

Analisar-se-ão os casos onde a ancoragem é efetuada com um comprimento reto de 10 cm, medido à partir da face da viga de apoio, sem fios transversais no trecho (nó soldado).

Os objetivos principais, além da verificação de processos construtivos mais eficazes, são os seguintes:

- a - medir as forças efetivas de ancoragem durante a evolução dos ensaios.*
- b - confirmar os mecanismos e modelos teóricos utilizados nos projetos.*
- c - estabelecer uma análise comparativa com as recomendações da NBR 6118 com sugestões de novos limites para o caso das lajes armadas com telas soldadas.*

01

Considerações Técnicas sobre a Ancoragem Recomendações da NBR 6118

A Norma Brasileira de concreto armado considera a ancoragem de forma generalizada, não mencionando os casos onde se utilizam armaduras com telas soldadas.

Ancoragem reta (l_b):

$$l_{b1} = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{\tau_{bu}}$$

$$l_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{\tau_{bu}} \times \frac{A_{scal}}{A_{se}}$$

Onde:

f_{yd} = tensão de cálculo no aço a ancorar = f_{yk} / γ_s

τ_{bu} = tensão de aderência

A_{se} é a armadura existente na ancoragem (efetiva, disponível)

Sendo:

$\tau_{bu} = 0,28 \times \sqrt{f_{cd}}$, $\eta_b \leq 1,00$ (fios lisos)

$\tau_{bu} = 0,42 \times \sqrt[3]{f_{cd}^2}$, $\eta_b \leq 1,5$ (fios nervurados)

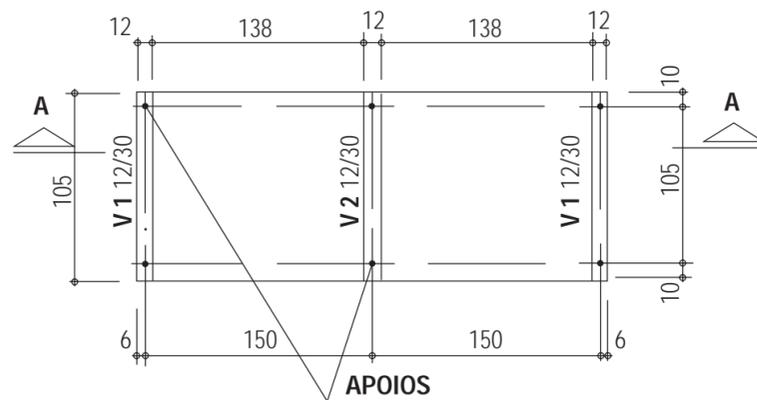
Nas lajes com $h \leq 30$ cm a situação é sempre de boa aderência.

$R_{stk} = V_k \times a_l / d$ = força a ser ancorada

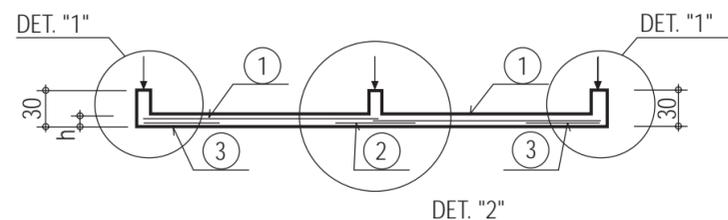
A_{scal} = é a área da armadura calculada com R_{std}

V_k = força cortante característica na face do apoio

FÔRMAS DA PLACA "TIPO 1"



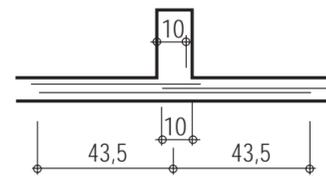
CORTE A A



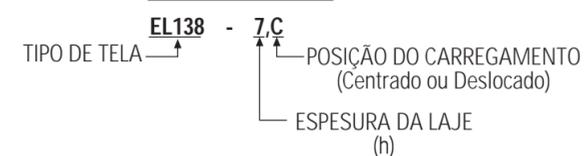
DETALHES "1"



DETALHES "2"

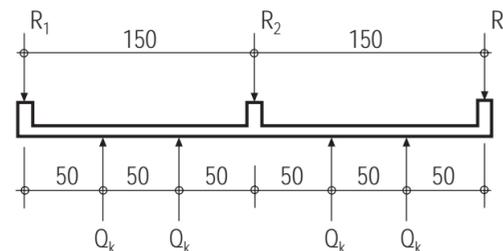


CONVENÇÃO

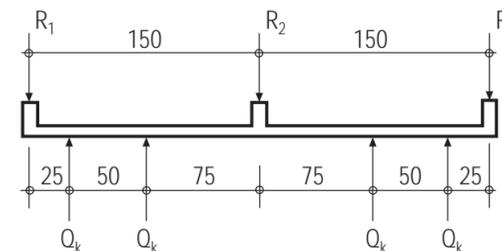


DETALHAMENTO PARA OS ENSAIOS

ENSAIO CENTRADO



ENSAIO DESLOCADO



Q_k = CARGA VERTICAL TOTAL DE ENSAIO (EM KN), APLICADA UNIFORMEMENTE NA LARGURA DO MODELO (1.25 m) (4x)
 R_1 = REAÇÃO, EM KN, EM CADA APOIO EXTREMO (4x)
 R_2 = REAÇÃO, EM KN, EM CADA APOIO CENTRAL (2x)

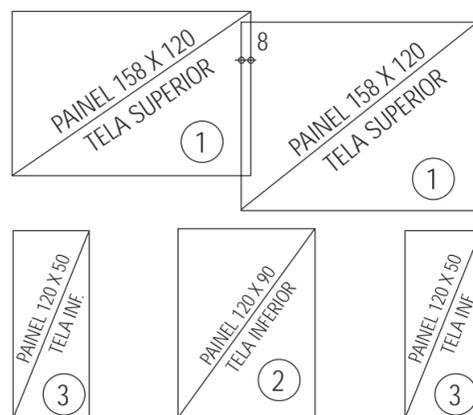
TABELA DAS ARMADURA E DAS CARGAS DE ENSAIO/ANCORAGEM

	PLACA TIPO 2	ARMADURA DAS LAJES			CARGAS EM kN			lb	
		1	2	3	Q_k	R1	R2	calc.	adot.
1	EL138-7,C	EL138/92	L196	ET138/69	11,02	2,56	12,20	5,12	10,0
2	EL138-7,D	EL138/92	L196	ET138/69	12,19	5,38	8,92	9,85	10,0
3	EL246-7,C	EL246/92	L396	ET138/69	18,33	5,00	21,91	6,89	10,0
4	EL246-7,D	EL246/92	L396	ET138/69	20,34	9,72	16,54	12,82	10,0
5	EL503-8,C	EL503/131	L785	ET138/69	38,72	12,96	46,38	11,79	10,0
6	EL503-8,D	EL503/131	L785	ET138/69	43,07	22,35	36,30	20,02	10,0

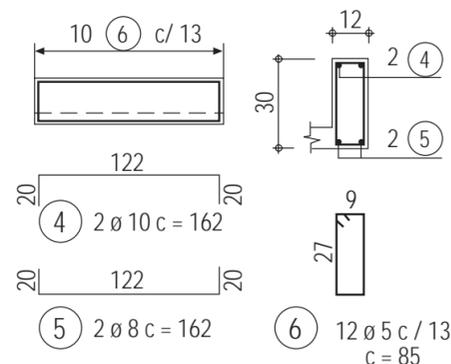
lb calc. = COMPRIMENTO DA ANCORAGEM (VALOR TEÓRICO)

lb adot. = COMPRIMENTO DA ANCORAGEM ADOTADO NO ENSAIO

NAS LAJES

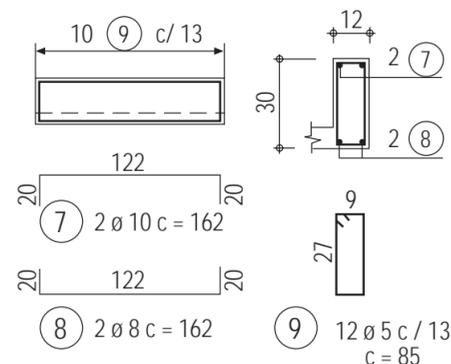


v. 1 12/30 (48x)



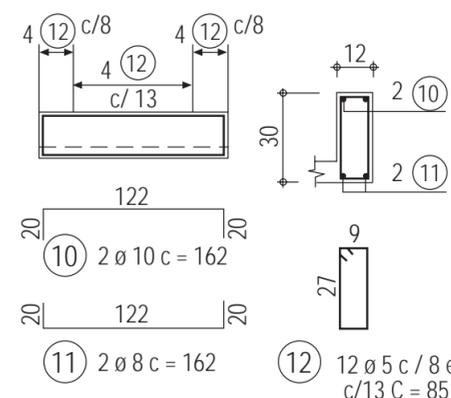
v. 2 12/30 (20x)

PARA SÉRIES "1 a 4 e 6"



v. 2 12/30 (4x)

PARA SÉRIE "5"



NOTAS:

- MATERIAIS:
 - CONCRETO DE $f_{ck} = 20$ MPa
 - AÇO: CA 60 - TELAS E ESTRIBOS
 - CA 50A - ARMADURA LONGITUDINAL DAS VIGAS
- COBRIMENTOS: 1,0 cm NAS LAJE E 1,5 cm NAS VIGAS
- AS CARGAS INDICADAS SÃO AS CARACTERÍSTICAS. OS EQUILÍBRIOS FORAM CALCULADOS DENTRO DAS HIPÓTESES DOS ESTADOS LÍMITES COM $\delta_f = \delta_c = 1,4$ E $\delta_s = 1,15$
- DENTRO DA SÉRIE CADA NÚMERO TERÁ 2 (DOIS) CORPO DE PROVA.
- PROGRAMAÇÃO E ENSAIOS: LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS DA EESC - USP.
- MEDIDAS EM CENTÍMETROS.

STATURA engenharia de projetos s/c Ltda.
 CRA Nº 18.304 - 6ª REGIÃO (SP)

LUIZ CHOLFE - CRA Nº 31.531
WALDEMAR UEDA - CRA Nº 25.672

Participação: Enga. LUCIANA A. S. BONILHA
 RUA M.M.D.C., 80 - PABX 816 16666 - FAX 210 4044 - BUTANTÃ - CEP 05510-020 - SÃO PAULO - SP

CLIENTE	ibts - instituto brasileiro de telas soldadas	ESCALAS	1:40 1:20
ASSUNTO	PESQUISA TÉCNICA ANCORAGEM DAS TELAS SOLDADAS - DETALHES DA PLACA "TIPO 1"		

Nas lajes $a_l = 1,5d$, portanto:

$$R_{stk} = 1,5 \times V_k$$

$$A_{scal} = \frac{R_{std}}{f_{yd}}$$

$$R_{std} = \gamma_F \times R_{stk} = 1,5 \times \gamma_F \times V_k$$

Valores mínimos para o comprimento l_b :

$$l_b \geq 10 \text{ cm}$$

$$10 \phi$$

$$l_{b1} / 3, \text{ o maior valor}$$

02

Aplicações da NBR 6118 em lajes usuais

aço CA 60, fios lisos e nervurados

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$\tau_{bu} = 0,28 \times \sqrt{20/1,4} = 1,058 \text{ MPa (fios lisos)}$$

$$\tau_{bu} = 0,42 \times \sqrt[3]{(20/1,4)^2} = 2,473 \text{ MPa (fios nervurados)}$$

$$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{600}{1,15} = 521,739 \text{ MPa}$$

$$l_{b1} = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{\tau_{bu}} = \frac{\phi}{4} \times \frac{521,739}{\tau_{bu}} = \frac{130,434 \times \phi}{\tau_{bu}}$$

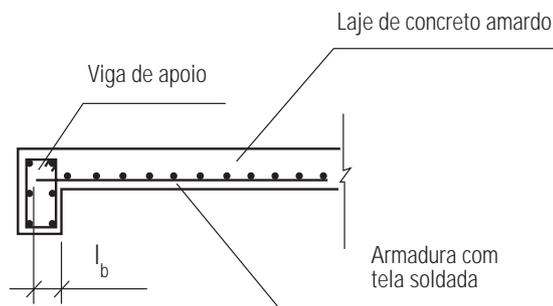
$$\text{Nos fios lisos: } l_{b1} = \frac{130,434}{1,058} \times \phi = 123,28 \phi$$

$$\text{Nos fios nervurados: } l_{b1} = \frac{130,434}{2,473} \times \phi = 52,74 \phi$$

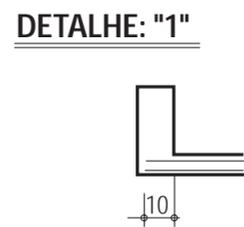
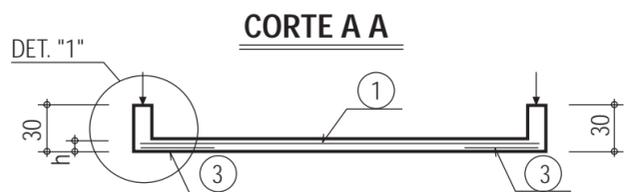
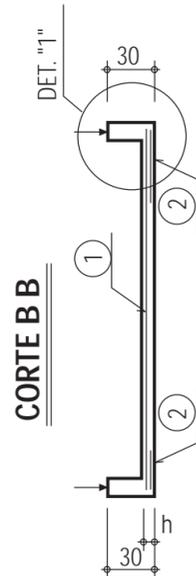
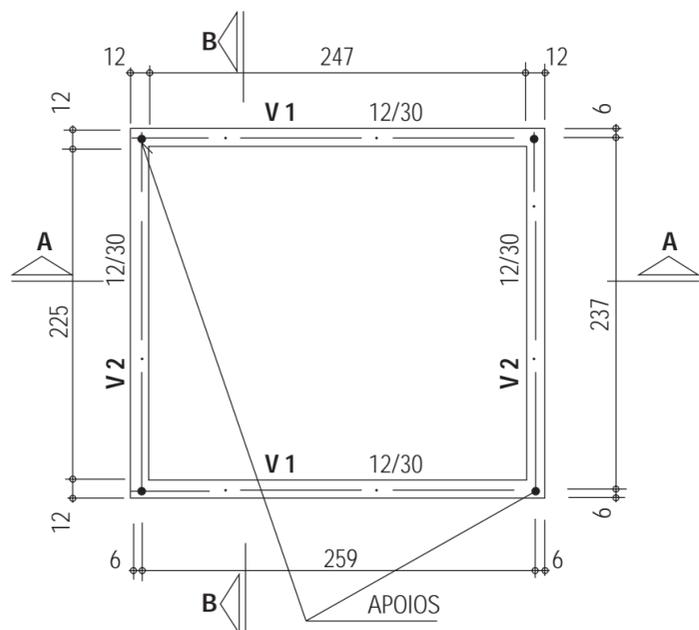
Valores mínimos recomendados pela NBR 6118

$l_b \geq 10 \text{ cm}$, ou 10ϕ , ou $l_{b1}/3 = 41,09 \phi$ (fios lisos), ou $l_{b1}/3 = 17,58 \phi$ (fios nervurados)

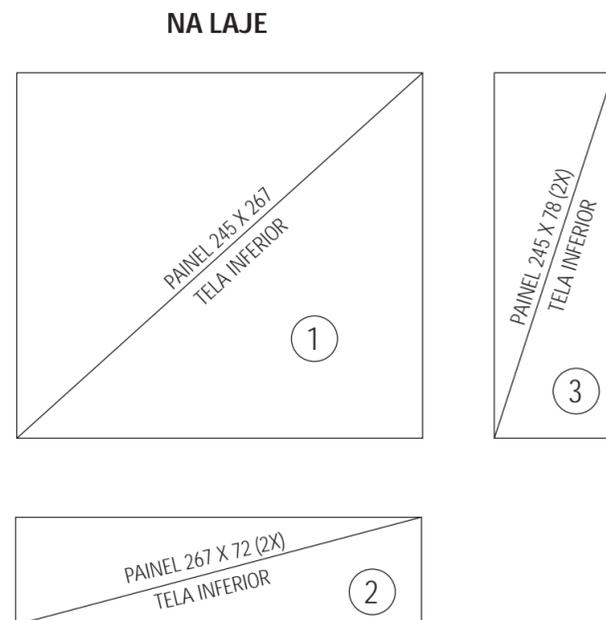
Figura 02.1
Ilustração da medida da ancoragem



FÔRMAS DA PLACA "TIPO 2"

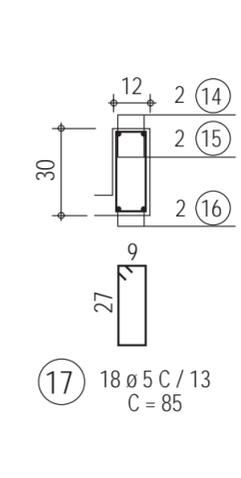
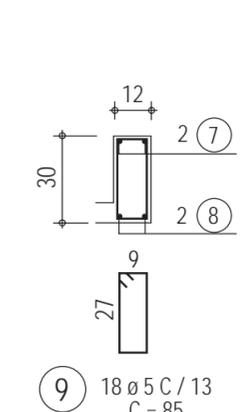
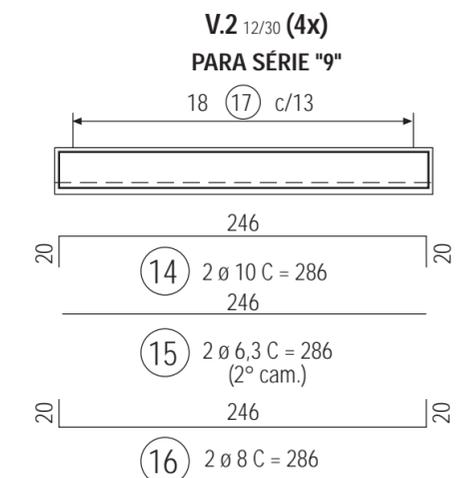
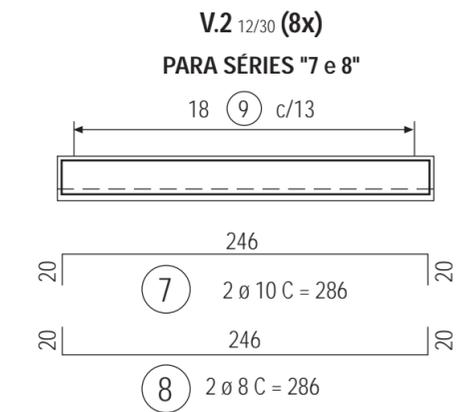
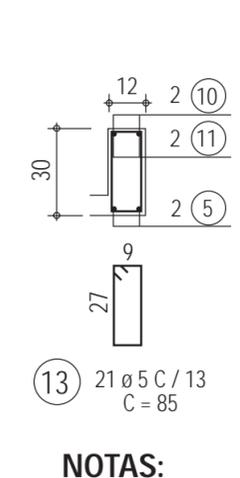
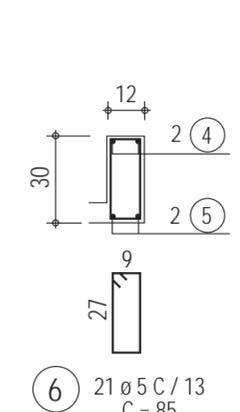
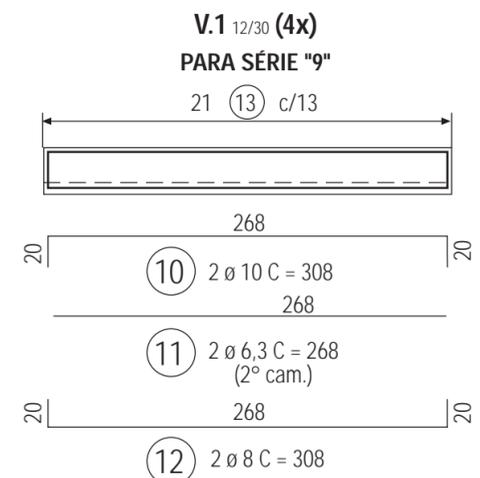
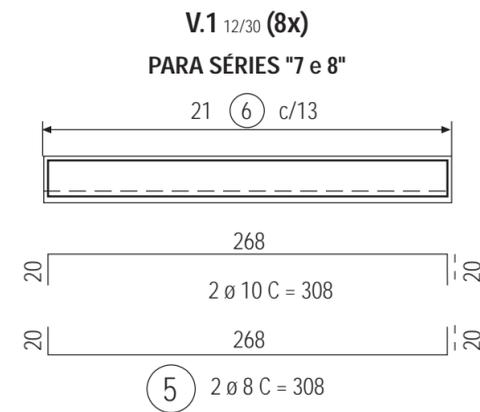


DETALHAMENTO DAS ARMADURAS



CONVENÇÃO

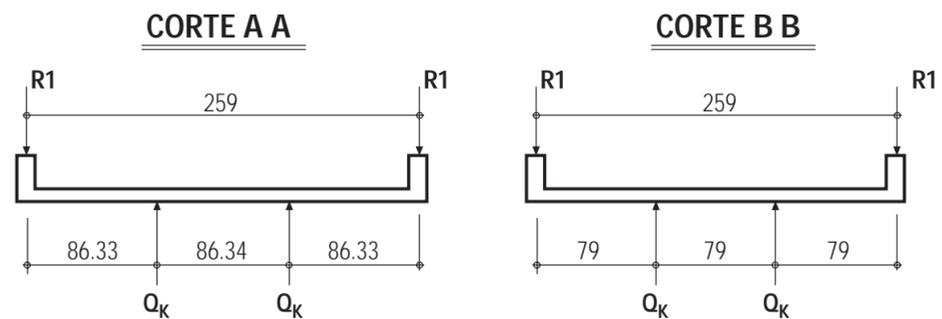
TIPO DE TELA → Q138 - 7 ← ESPESSURA DA LAJE (h)



NOTAS:

- MATERIAIS:
 - CONCRETO DE $f_{ck} = 20$ MPa
 - AÇO: CA 60 - TELAS E ESTRIBOS
 - CA 50A - ARMADURA LONGITUDINAL DAS VIGAS
- COBRIMENTOS: 1,0 cm NA LAJE E 1,5 cm NAS VIGAS
- AS CARGAS INDICADAS SÃO AS CARACTERÍSTICAS. OS EQUILÍBRIOS FORAM CALCULADOS DENTRO DAS HIPÓTESES DOS ESTADOS LÍMITES COM $\delta_f = \delta_c = 1,4$ E $\delta_s = 1,15$
- DENTRO DA SÉRIE CADA NÚMERO TERÁ 1 (UM) CORPO DE PROVA.
- PROGRAMAÇÃO E ENSAIOS: LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS DA EESC - USP.
- MEDIDAS EM CENTÍMETROS

DETALHAMENTO PARA OS ENSAIOS



Q_k = CARGA TOTAL DE ENSAIO (EM kN), CONCENTRADA EM UM PONTO (4x)

R_1 = REAÇÃO, EM kN, EM CADA APOIO (4x)

SÉRIE (1x)	PLACA TIPO 2	ARMADURA DAS LAJES			CARGAS EM kN		lb	
		1	2	3	Q_k	R1	calc.	adot.
7	Q138-7	Q138	ET98/45	ET98/45	10,04	5,38	5,34	10,0
8	Q246-7	Q246	ET98/45	ET98/45	16,06	11,40	6,95	10,0
9	Q503-8	Q503	ET98/45	ET98/45	31,47	26,46	8,77	10,0

lb calc. = COMPRIMENTO DA ANCORAGEM (VALOR TEÓRICO)

lb calc. = COMPRIMENTO DA ANCORAGEM ADOTADO NO ENSAIO



STATURA engenharia de projetos s/c Ltda.
 LUIZ CHOLFE - CRA Nº 31.531
 WALDEMAR UEDA - CRA Nº 25.672
 Participação: Enga. LUCIANA A. S. BONILHA
 RUA M.M.D.C., 80 - PABX 816 16666 - FAX 210 4044 - BUTANTÃ - CEP 05510-020 - SÃO PAULO - SP

CLIENTE	ibts - instituto brasileiro de telas soldadas	ESCALAS	1:40 1:20
ASSUNTO	PESQUISA TÉCNICA ANCORAGEM DAS TELAS SOLDADAS - DETALHES DA PLACA "TIPO 2"		

O atendimento do mínimo recomendado pela NBR 6118, para o caso dos diâmetros disponíveis no mercado, exige os seguintes valores:

ϕ (mm)	l_b (cm)	
	lisos	nervurados
3,4	13,9	10,0
4,2	17,2	10,0
5,0	20,5	10,0
5,6	23,0	10,0
6,0	24,6	10,5
7,1	29,1	12,4
8,0	32,8	14,0
9,0	36,9	15,8
10,0	41,0	17,5

Tabela 02.1
Comprimento mínimos de ancoragem para diversos diâmetros de fios lisos e fios nervurados.

Comentário

De acordo com a NBR 6118 é impossível a ancoragem reta dos fios em vigas estreitas ($b_w \leq 12$ cm). Mesmo com fios nervurados, somente as bitolas finas ($\phi < 7,1$ mm) atendem o mínimo exigido. O atendimento à Norma é contornado com a utilização de um fio transversal (nó soldado) dentro do apoio gerando, muitas vezes, dificuldades construtivas.

03

Experiência alemã Constructional Practice According to DIN 1045/78

O comprimento de ancoragem exigido l_1 pode ser calculado através da expressão:

$$l_1 = \alpha_1 \times \frac{\text{reqas}}{\text{exas}} \times l_0 \geq 10 \text{ ds}$$

l_0 = comprimento padrão (equivalente ao l_{b1})

α_1 = coeficiente que leva em conta a presença de nós soldados dentro da região de ancoragem.

$\alpha_1 = 1,0$: ancoragem reta sem nós soldados

$\alpha_1 = 0,7$: ancoragem reta com um nó soldado

$\alpha_1 = 0,5$: ancoragem reta com dois ou mais nós soldados.

reqas = armadura exigida para suportar a força de tração na ancoragem

exas = armadura existente na ancoragem

ds = diâmetro do fio a ancorar.

Comentários

As únicas restrições para o comprimento mínimo são **10 ds** (apoio extremo) ou **6 ds** (apoio intermediário) ou $1/3$ da largura do apoio, diferente da NBR 6118 que exige **10 cm**, 10ϕ ou $l_b/3$.

a) apoio extremo

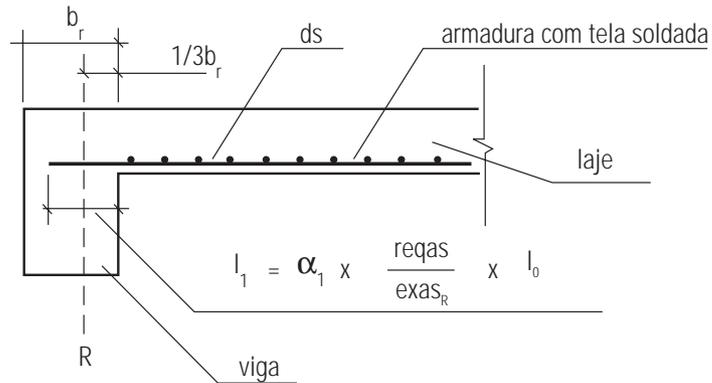


Figura 03.1
Representação esquemática das ancoragens das armaduras de lajes em vigas recomendadas pela Norma Alemã em apoio extremo.

b_r = largura do apoio

Com $\alpha_1 = 1$

$$l_1 = \frac{\text{reqas}}{\text{exas}_R} \times l_0$$

$l_1 \geq 10 \text{ ds}$ ou $b_r/3$, o maior valor

b) apoio intermediário

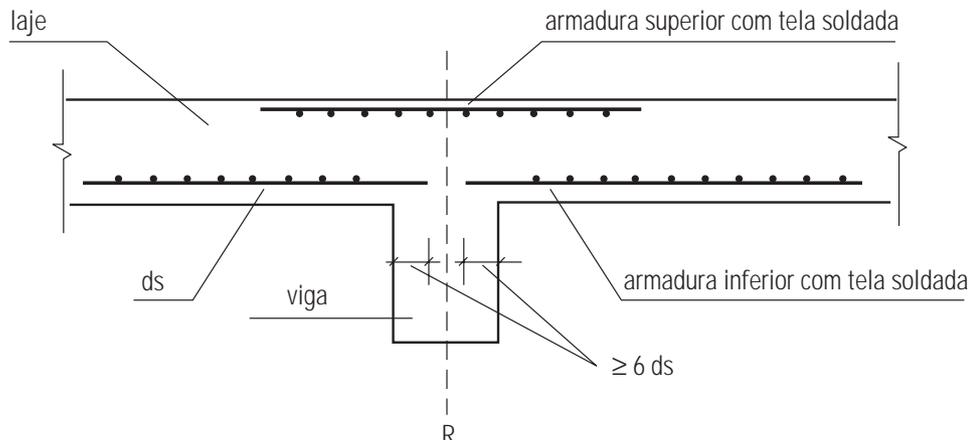


Figura 03.2
Representação esquemática das ancoragens das armaduras de lajes em vigas recomendadas pela Norma Alemã em apoio intermediário.

04

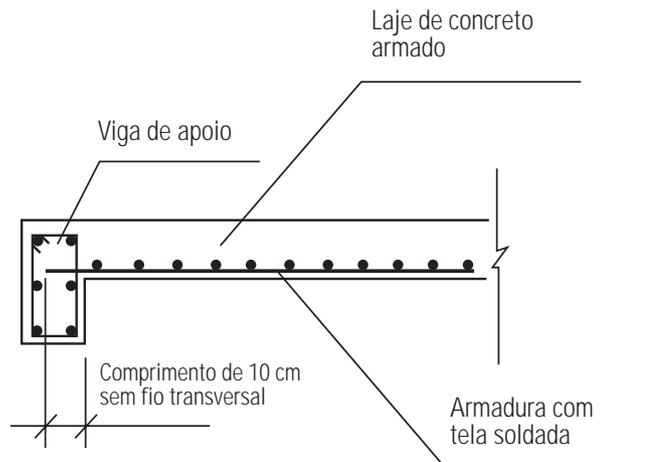
Pesquisa técnica para analisar a ancoragem reta com 10 cm em modelos de lajes

Na busca de melhorias para o atendimento dos comprimentos mínimos exigidos pela NBR 6118, o IBTS promoveu este trabalho, com características teóricas e experimentais, para pesquisar o comprimento mínimo estabelecido em 10 cm e, ao mesmo tempo, criar embasamento científico sugerindo revisões para as ancoragens das lajes armadas com telas soldadas.

04.1 Objetivos

Pesquisar em modelos de lajes, a eficiência da ancoragem reta das telas soldadas feita com comprimento de 10 cm, medido a partir da face da viga, sem fio transversal nesse trecho (nó soldado).

Apoios extremos



Apoios intermediários

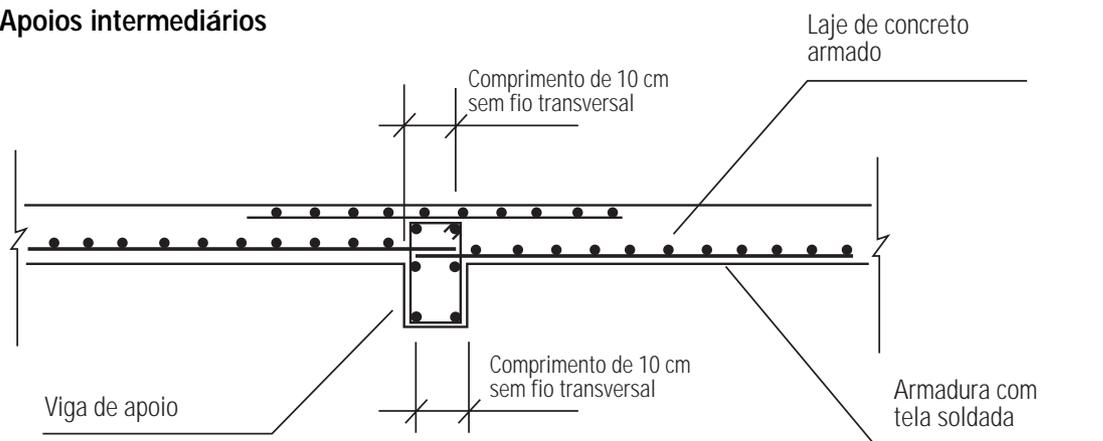


Figura 04.1.1
Representação esquemática das ancoragens em apoios extremos e intermediários

Comentários

- a - Na determinação do R_{stk} das lajes, utilizar $a_i = d$ em substituição ao atual $a_i = 1,5 d$
- b - No caso das lajes, substituir o valor mínimo $l_{b1} / 3$ por outro valor igual a $1/3$ da largura do apoio, mantendo-se os outros mínimos de 10 cm ou $10 \varnothing$, o maior dos 3 valores.

04.2 Modelos, descrição resumida

04.2.1 Modelos utilizados na primeira fase

Placa tipo 1

Laje armada numa só direção, contínua, apoiada sobre 3 vigas, com dimensões (em planta) de 3,12 m x 1,25 m e espessuras de 7 e 8 cm.

Foram ensaiadas seis séries de modelos, cada série constituída de dois modelos.

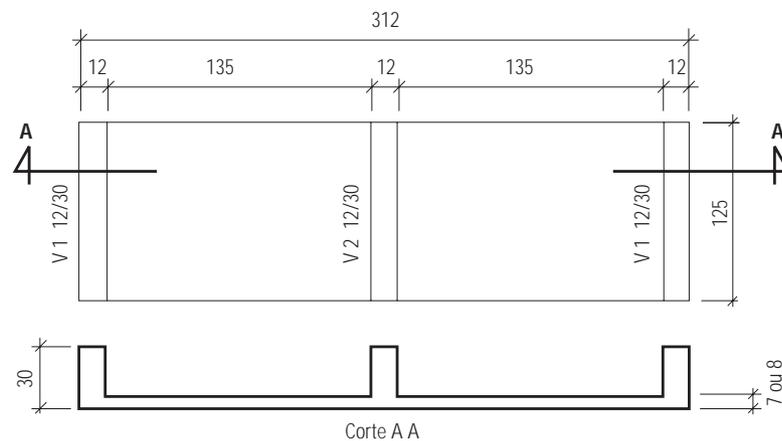


Figura 04.2.1.1
Geometria completa da
PLACA TIPO 1

Placa tipo 2

Laje armada em cruz, apoiada nos 4 lados sobre vigas, com dimensões (em planta) de 2,71 m x 2,49 m e espessuras de 7 e 8 cm.

Foram ensaiadas três séries de modelos, cada série constituída de dois modelos

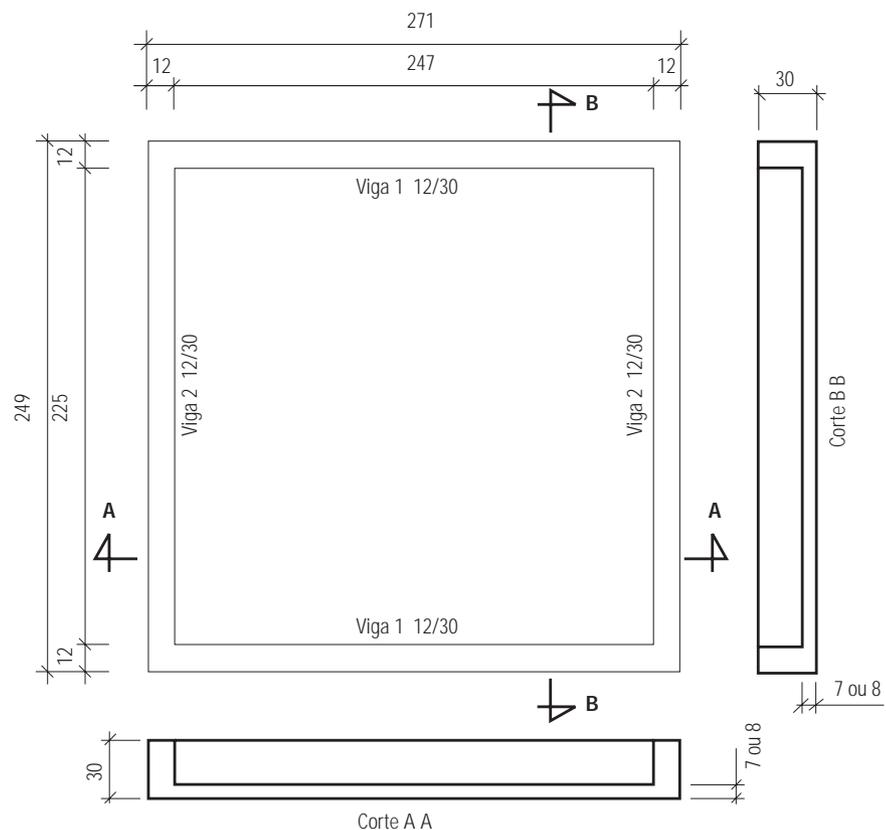


Figura 04.2.1.2
Geometria completa da
PLACA TIPO 2

04.2.2 Modelo utilizado na segunda fase

A investigação desenvolvida na primeira fase demonstrou que o modelo tipo 1, por ser pouco flexível, não foi completamente adequado para obtenção dos objetivos da pesquisa.

Para a segunda fase, foi idealizado um modelo com mais características de laje, descrito a seguir:

Placa tipo 3

Laje armada numa só direção, contínua, apoiada sobre 3 vigas, com dimensões (em planta) de 6,12 m x 1,45 m e espessuras de 7 e 8 cm.

A relação vão/espessura passou de 21,42 (18,75) no modelo tipo 1 para 42,85 (37,5) no modelo tipo 3. Foram ensaiadas três séries de modelos, cada série constituída de dois modelos.

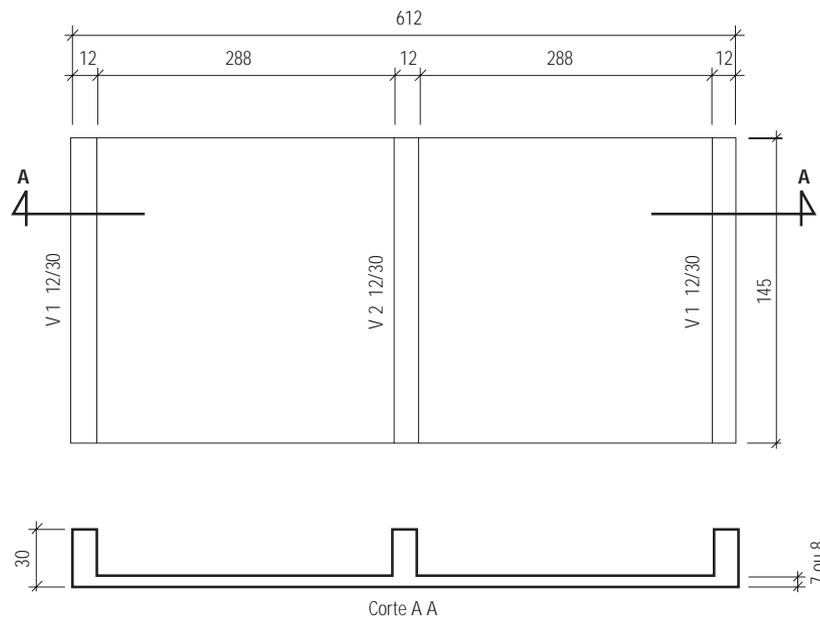


Figura 04.2.1.3
Geometria completa da
PLACA TIPO 3

04.3 Materiais

04.3.1 Concreto

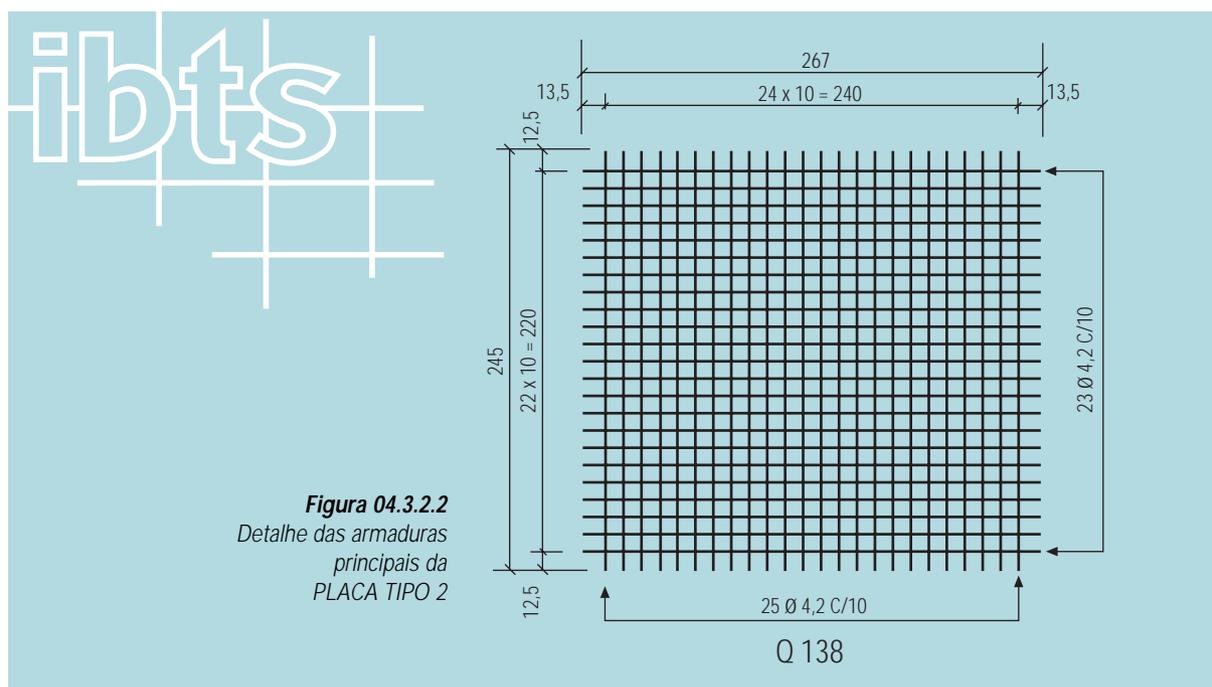
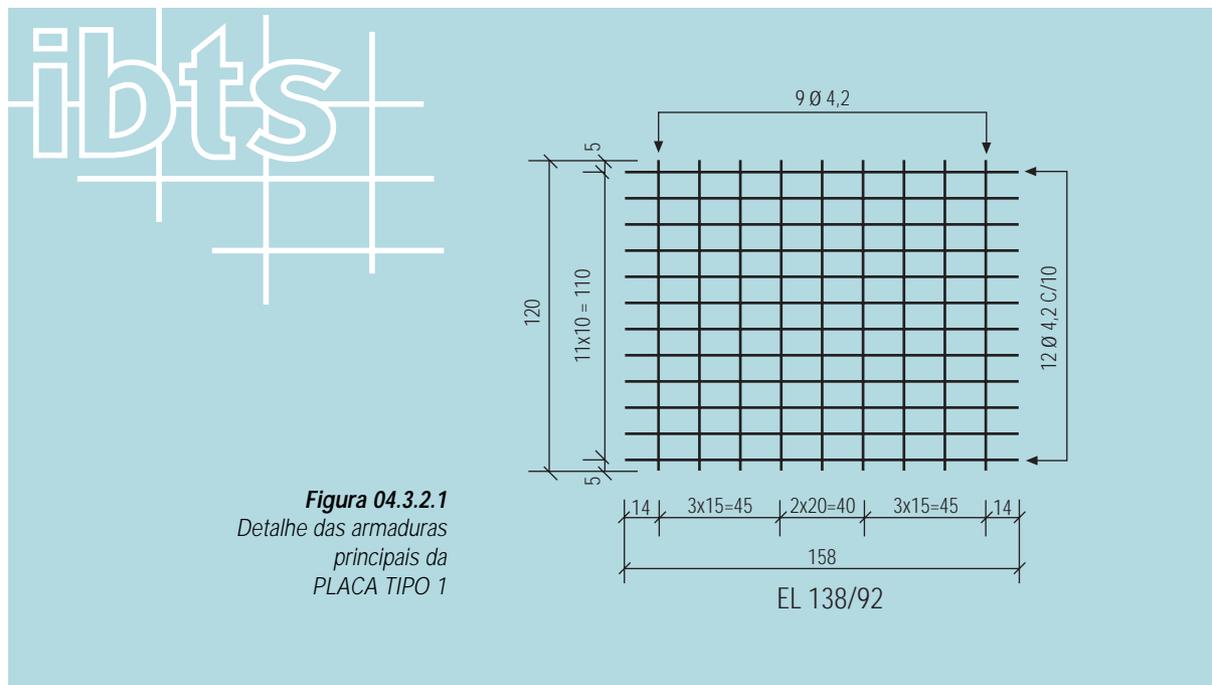
Foi feito um estudo da dosagem do concreto, para as 2 fases, afim de que a resistência média à compressão de 20 MPa fosse atingida com idade de 7 dias, obtendo-se o traço unitário em massa com as características indicadas a seguir:

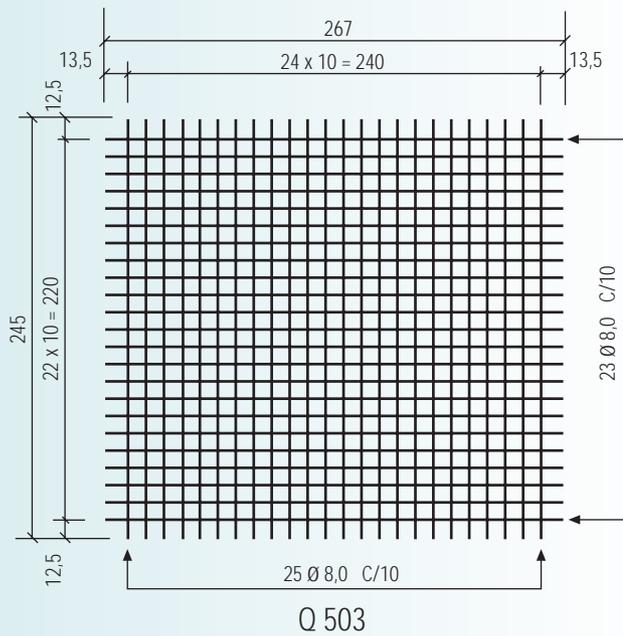
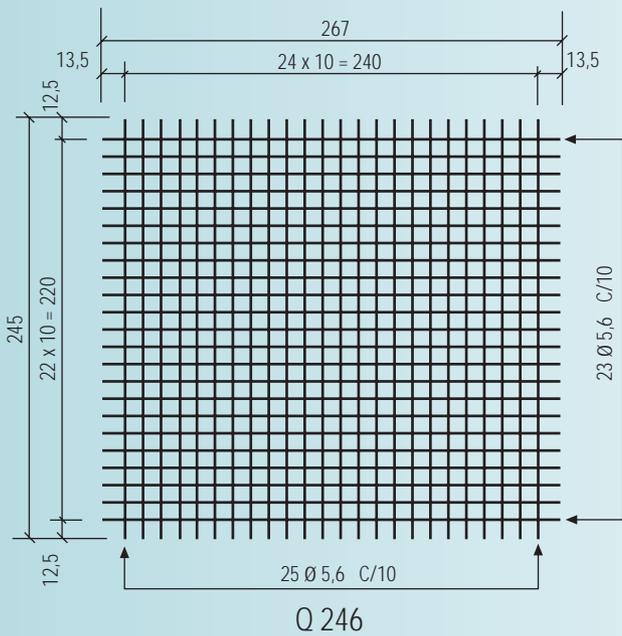
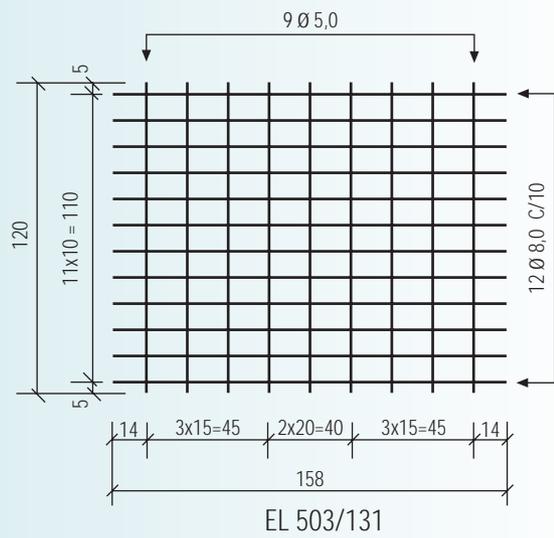
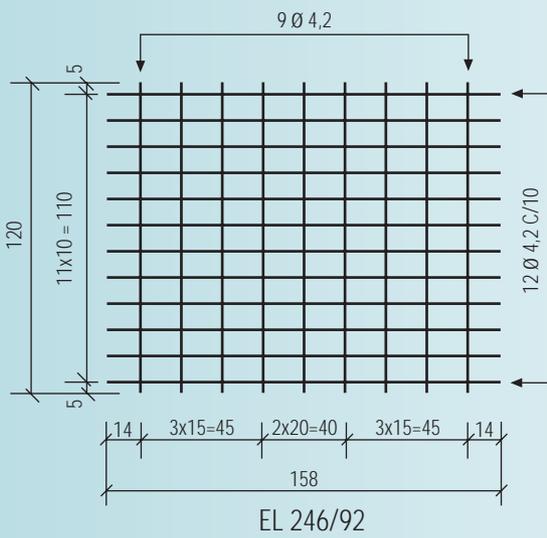
Traço unitário em massa:	1: 2,7 : 3,7 a/c = 0,55
Consumo de cimento:	313 kg/m ³
Cimento:	CP II E 32
Agregado miúdo:	Areia grossa da região de São Carlos (Rio Mogi-Guaçu) massa específica = 2.550 kg/m ³ módulo = 2,9
Agregado graúdo:	Pedra britada nº 1 (basalto) as região de São Carlos. massa específica = 2.910 kg/m ³ diâmetro máximo = 19 mm
Resistência média à compressão aos 7 dias:	fc7 = 20 MPa

04.3.2 Armaduras, definição

Telas soldadas para armadura das lajes, aço CA-60, com bitolas de 4,2 mm, 5,6 mm e 8,0 mm, conforme detalhamento a seguir:

Detalhamento das telas soldadas





Detalhamento das telas soldadas

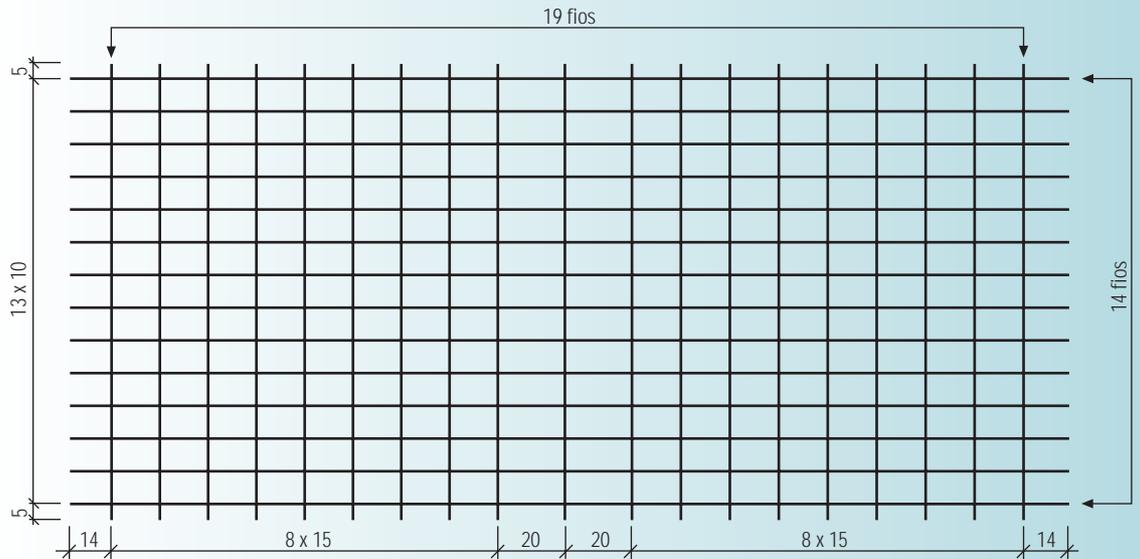


Figura 04.3.2.3
 Detalhe das armaduras principais da PLACA TIPO 3

04.4 Definição dos carregamentos de ensaio

Os carregamentos de ensaio são os especificados a seguir:

04.4.1 Placa tipo 1 centrado e deslocado

Ensaio Centrado

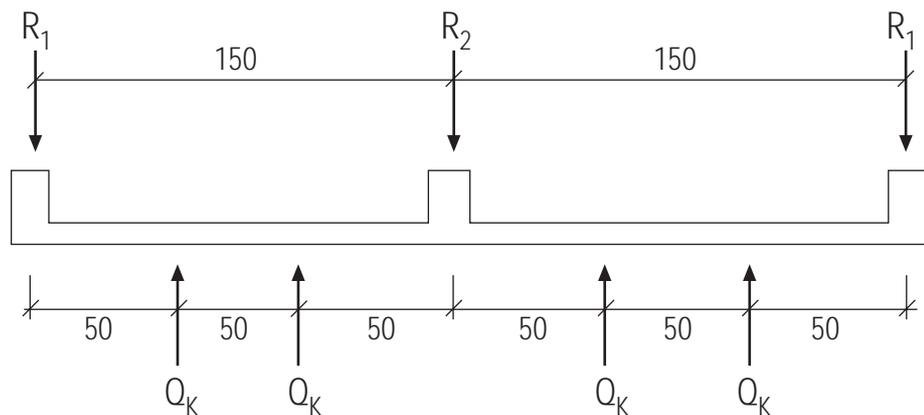


Figura 04.4.1.1
 Montagem esquemática dos carregamentos de ensaio da PLACA TIPO 1: centrado

Tipo EL 138/92	14 ϕ 4,2 mm a cada 10 cm 19 ϕ 4,2 mm a cada 15 cm
Tipo EL 246/92	14 ϕ 5,6 mm a cada 10 cm 19 ϕ 4,2 mm a cada 15 cm
Tipo EL 503/131	14 ϕ 8,0 mm a cada 10 cm 19 ϕ 5,0 mm a cada 15 cm

OBSERVAÇÃO

As barras para as armaduras das vigas, aço CA 50, estão especificadas no projeto de Pesquisa Técnica Primeira Fase e Segunda Fase, Placas Tipo 1,2 e 3 desenvolvido pela STATURA Engenharia de Projetos S/C Ltda. (ver anexos no final desta publicação).

Ensaio Deslocado

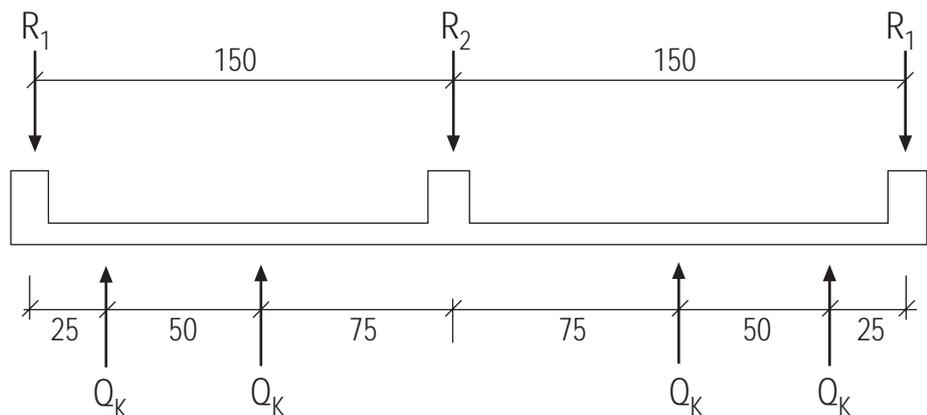


Figura 04.4.1.2
Montagem esquemática dos carregamentos de ensaio da PLACA TIPO 1

Q_k = Carga total de ensaio (em kN), aplicada uniformemente na largura do modelo.

R_1 = Reação, em kN, em cada apoio extremo

R_2 = Reação, em kN, em cada apoio central

04.4.2 Placa tipo 2

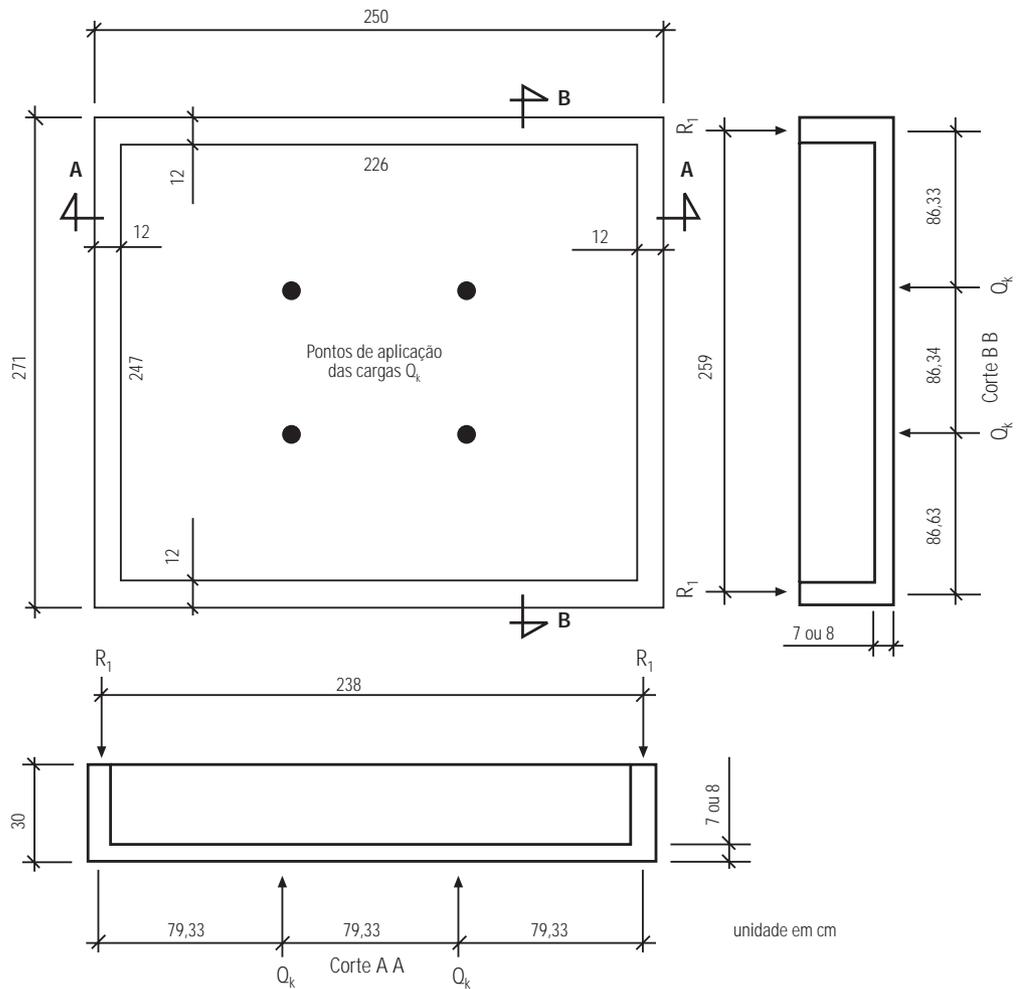


Figura 04.4.2.1
Montagem esquemática dos carregamentos de ensaio da PLACA TIPO 2

Q_k = Carga total de ensaio (em kN), aplicada uniformemente no modelo (4x).
 R_1 = Reação, em kN, em cada apoio extremo (4x)
 R_2 = Reação, em kN, em cada apoio central (4x)

04.4.3 Placa tipo 3

Flexo-tração

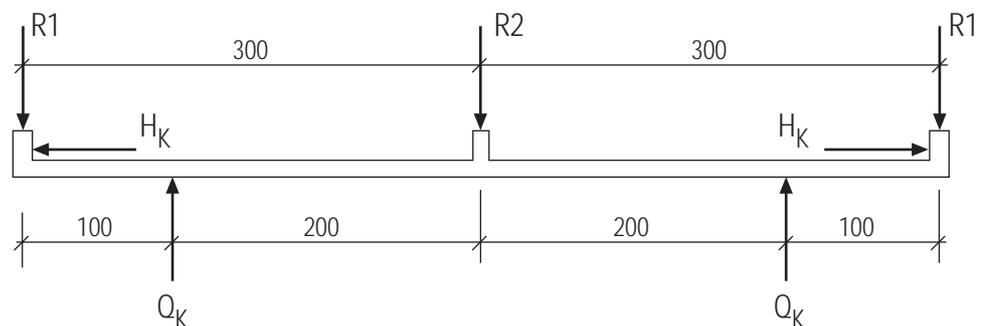


Figura 04.4.3.1
Montagem esquemática dos carregamentos de ensaio da PLACA TIPO 3

Q_k = Carga vertical total de ensaio (em kN), aplicada uniformemente na largura do modelo (2x)
 H_k = Carga horizontal total de ensaio (em kN), aplicada uniformemente nas extremidades da placa (2x)
 R_1 = Reação, em kN, em cada apoio extremo (2x)
 R_2 = Reação, em kN, em cada apoio central (1x)

04.5 Equipamentos utilizados nos ensaios

Os equipamentos utilizados nos ensaios foram os seguintes:

- Laje de reação de concreto armado, equipada com pórticos de aço;
- Cilindros hidráulicos (4) de simples ação, de capacidade 200 kN, curso de 150 mm, da marca Zelos, modelo C-20-15-MAN, para aplicação do carregamento (primeira fase);
- Cilindros hidráulicos (2) simples ação, de capacidade 250 kN, curso de 150 mm, da marca Enerpac, modelo RC 256, para aplicação do carregamento transversal (Segunda fase);
- Cilindros hidráulicos (2) de dupla ação, de capacidade 50 kN, curso de 300 mm, da marca Vicker, modelo W 30, para aplicação do carregamento longitudinal (Segunda fase);
- Bomba hidráulica manual com capacidade de pressão de 70 MPa, da marca Enerpac, modelo P - 462, para acionamento dos cilindros hidráulicos de 250 kN;
- Bomba hidráulica manual com capacidade de pressão de 70 MPa, da marca Zeloso, modelo DM-2-10, para acionamento dos cilindros hidráulicos de 50 kN;
- Células de carga (2) de capacidade 100 kN, sensibilidade 0,05 kN, fabricadas no Laboratório de Estruturas da EESC - USP, para medição das forças aplicadas pelos cilindros hidráulicos de 250 kN;
- Células de carga (2) de capacidade 25 kN, sensibilidade 0,02 kN, fabricadas no Laboratório de Estruturas da EESC - USP, para medição das forças aplicadas pelos cilindros hidráulicos de 50kN;
- Extensômetros elétricos de resistência (strain gages) com base de medida 5 mm, da marca Kyowa, modelo KFG-5-120-C1-11, colocados nos fios da tela soldada para medição da sua deformação (11 em cada modelo tipo 1, 10 em cada modelo tipo 2 e 53 em cada modelo tipo 3);
- Transdutores resistivos de deslocamento(5) com curso de 50 mm, sensibilidade 0,02 mm, da marca Kyowa, modelo DT-50A, para medição dos deslocamentos lineares;
- Sistema de aquisição de dados computadorizado da marca Measurements Group, modelo System 4000, para registro das medições indicadas pelas células de cargas, extensômetros elétricos de resistência, e transdutores resistivos de deslocamento;
- Lupa de aumento 7 x, com retículo graduado em divisões de 0,01 mm, da marca Mitutoyo, para avaliação da abertura de fissuras entre 0,02 mm e 0,16 mm;
- Escala graduada com traços de 0,05 mm a 5 mm, do LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, para avaliação da abertura de fissuras maiores que 0,16 mm
- Microscópio de capacidade de ampliação 35 x, com retículo graduado em divisões de 0,02 mm, da marca ELE, para avaliação de abertura de fissuras.

04.6 Instrumentação dos modelos

04.6.1 Placa tipo 1

Os pontos de medição dos deslocamentos transversais feitos através dos transdutores de deslocamento nos dois modelos da série 1 (EL 138 - 7,C) estão indicados na **figura 04.6.1.1**. Tendo em vista as pequenas diferenças encontradas entre os deslocamentos dos pontos da linha central longitudinal (A2, B2, C2,D2,E2), e os correspondentes pontos (A1, B1, C1, D1, E1, e A3, B3, C3, D3, E3), e tendo em vista também que as medições dos pontos da linha central longitudinal representam com boa confiabilidade as médias dessas três linhas, e com o intuito de agilizar a execução dos ensaios das séries seguintes, resolveu-se eliminar as medições dos deslocamentos nas linhas junto às duas bordas, mantendo-se apenas os cinco pontos da linha central longitudinal, conforme indicado na **figura 04.6.1.2**.

Figura 04.6.1.1
Placa Tipo 1
Série 1
Pontos de Medição
dos Deslocamentos
Transversais

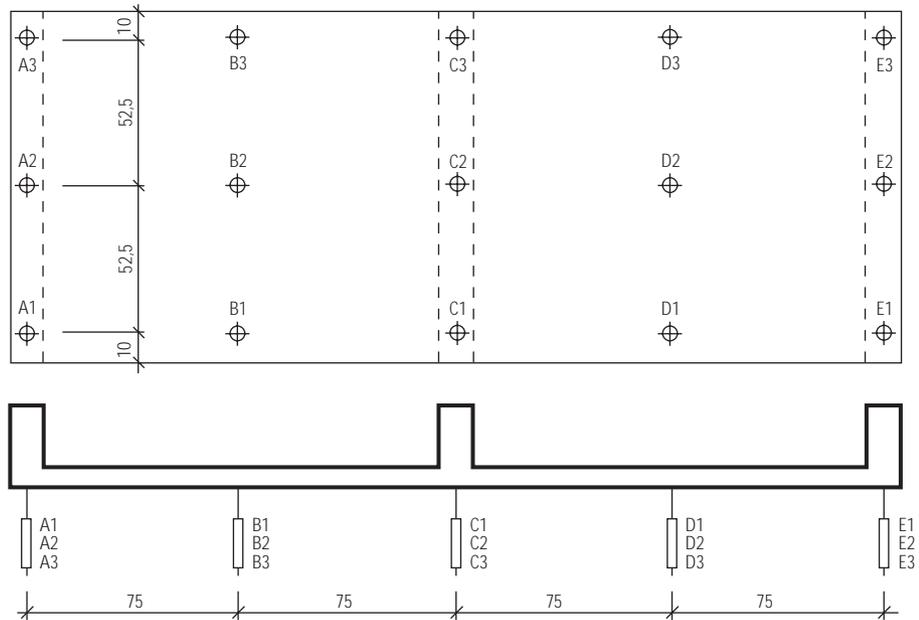
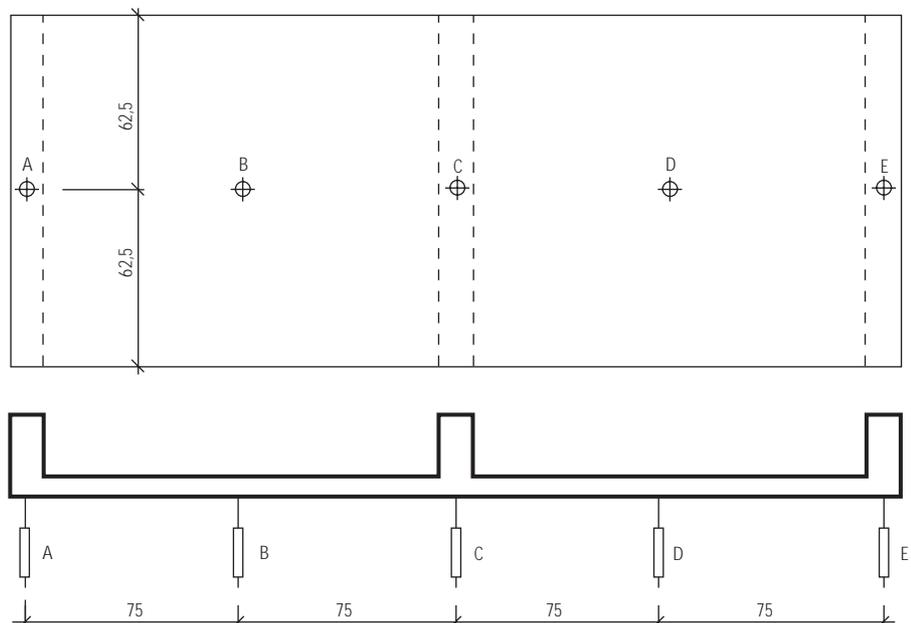


Figura 04.6.1.2
Placa Tipo 1
Série 2 a 6
Pontos de Medição
dos Deslocamentos
Transversais



Os pontos de medição das deformações nos fios das telas soldadas, feitos por meio dos extensômetros elétricos de resistência, nos dois modelos da série 1 (EL 138 - 7,C) estão indicados na **figura 04.6.1.3**.

Após a análise feita nos resultados obtidos nos ensaios dos dois modelos da série 1, resolveu-se alterar a localização dos extensômetros para as séries seguintes, conforme indicado na **figura 04.6.1.4**.

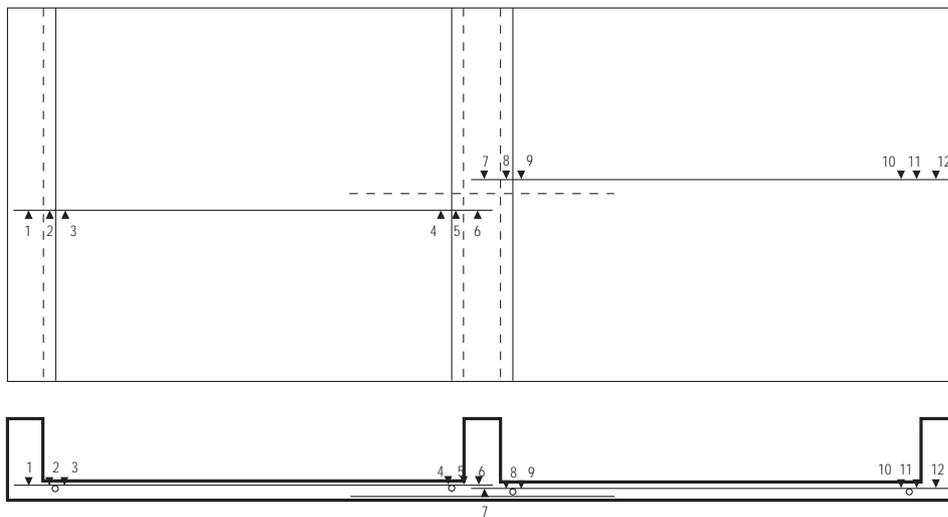


Figura 04.6.1.3
Placa Tipo 1
Série 1
Pontos de Medição
das Deformações nos
Fios das Telas

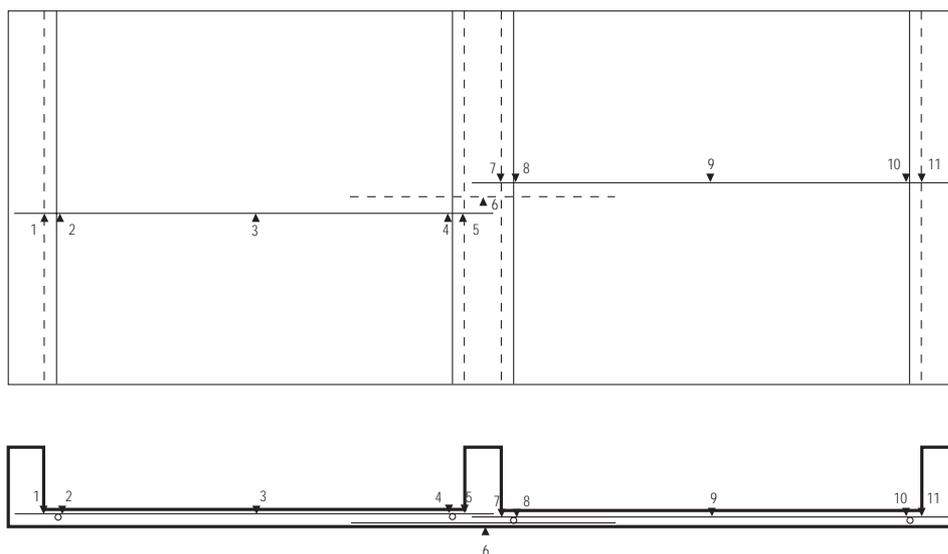


Figura 04.6.1.4
Placa Tipo 1
Série 2 a 6
Pontos de Medição
das Deformações nos
Fios das Telas

04.6.2 Placa tipo 2

Os pontos de medição dos deslocamentos transversais através dos transdutores de deslocamento estão indicados na **figura 04.6.2.1**.

Os pontos de medição das deformações nos fios das telas soldadas, feitos por meio dos extensômetros elétricos de resistência, estão indicados na **figura 04.6.2.2**.

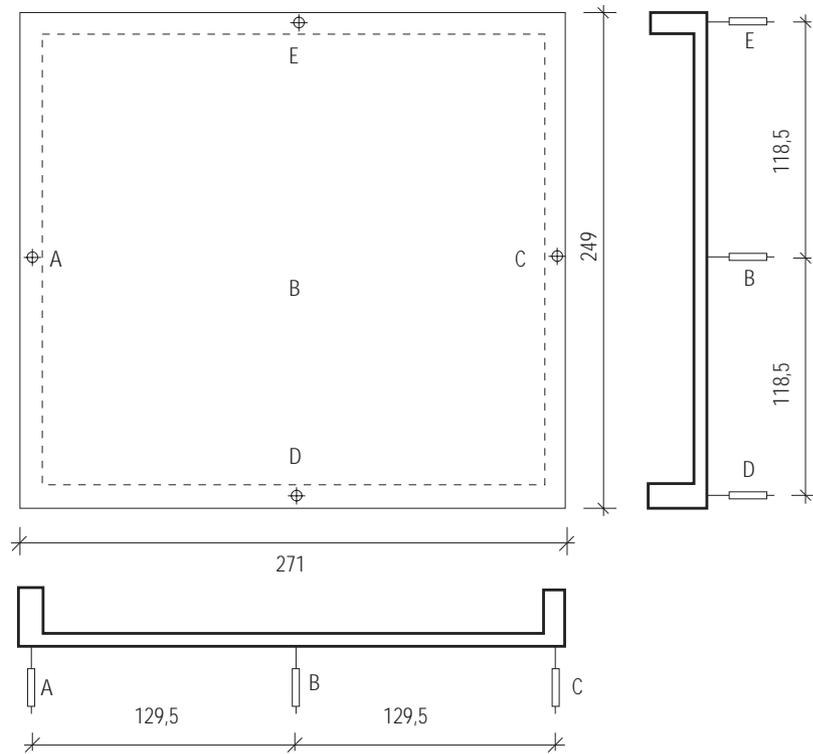


Figura 04.6.2.1
Placa Tipo 2 - Séries 7 a 9
Pontos de Medição dos
Deslocamentos Transversais

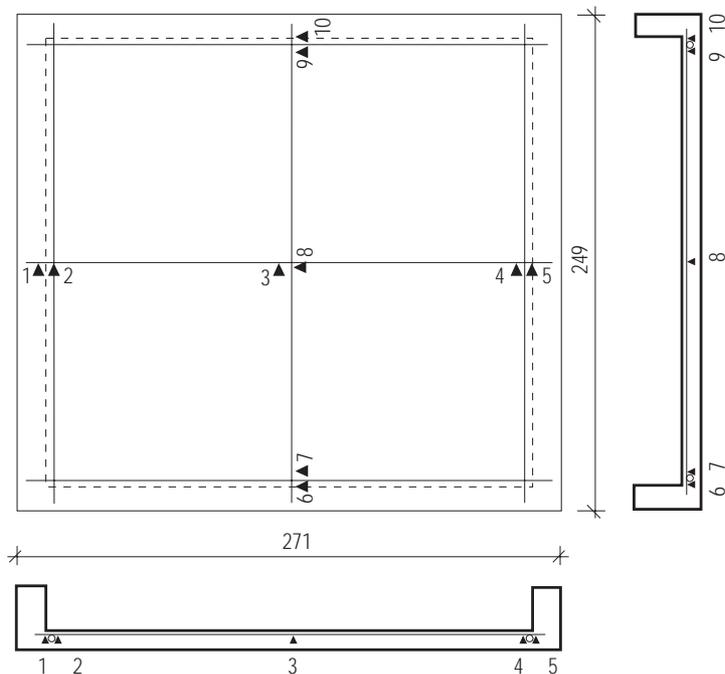


Figura 04.6.2.2
Placa Tipo 2 - Séries 7 a 9
Pontos de Medição das
Deformações nos
Fios das Telas

04.6.3 Placa tipo 3

Os pontos de medição dos deslocamentos transversais através dos transdutores de deslocamento estão indicados na **figura 04.6.3.1**.

Os pontos de medição das deformações nos fios das telas soldadas, feitos por meio dos extensômetros elétricos de resistência, estão indicados na **figura 04.6.3.2** e **04.6.3.3**.

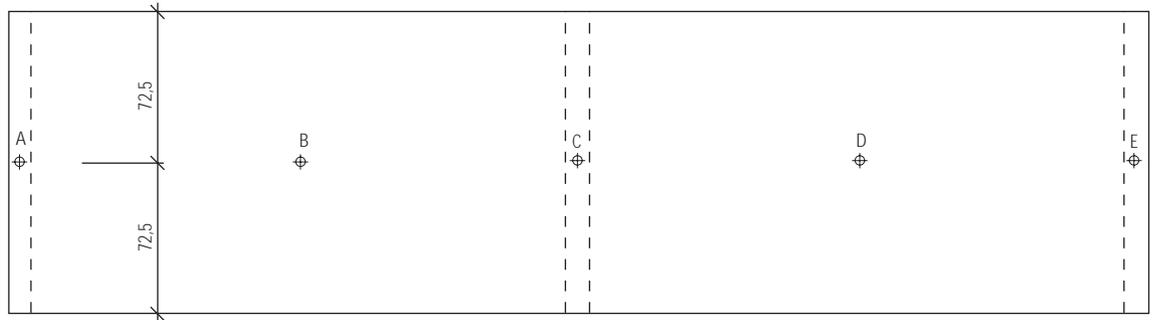


Figura 04.6.3.1
Placa Tipo 3
Séries 10 a 12
Pontos de Medição dos
Deslocamentos
Transversais

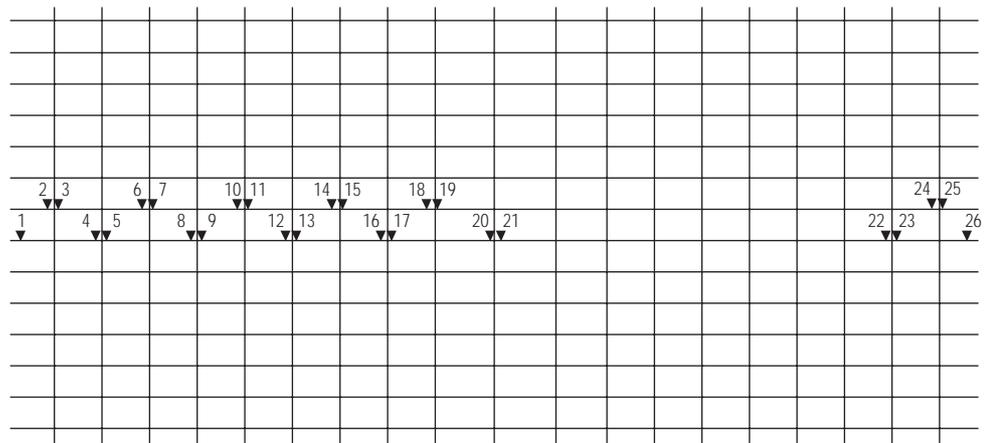
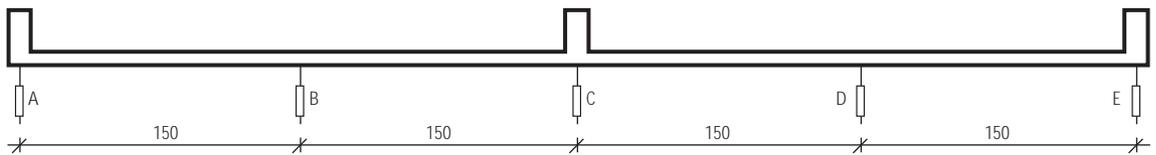


Figura 04.6.3.2
Placa Tipo 3 Vão 1
Séries 10 a 12
Pontos de Medição
das Deformações
nos Fios das Telas

Obs.: o ponto de medição nº 27, foi posicionado na armadura negativa da laje sobre a viga central.

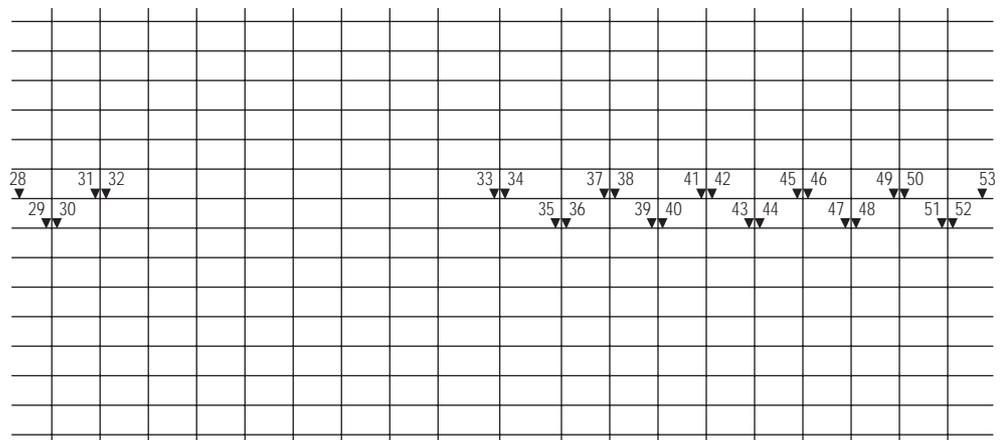


Figura 04.6.3.3
Placa Tipo 3 Vão 2
Séries 10 a 12
Pontos de Medição
das Deformações
nos Fios das Telas

04.7 Ensaios acessórios

04.7.1 Resistências do concreto

Os doze corpos-de-prova cilíndricos 15x 30 cm de concreto de cada série foram ensaiados para a determinação das resistências à compressão e à tração, na mesma data do ensaio dos modelos, isto é, aos sete dias de idade.

Seis corpos-de-prova foram ensaiados à compressão axial, conforme norma NBR5739 da ABNT, para a determinação da resistência à compressão.

Os outros seis corpos-de-prova foram ensaiados à compressão diametral, conforme norma NBR 7222 da ABNT, para a determinação da resistência à tração.

Análise dos Resultados Apresentados no Relatório Técnico da EESC - USP

A resistência característica à compressão adotada no projeto (f_{ck}) foi de 20 MPa.

Os resultados encontrados (média global) foram os seguintes:

Primeira fase	$f_{c7} = 21,29$ MPa $f_{t7} = 2,13$ MPa
Segunda fase	$f_{c7} = 19,3$ MPa $f_{t7} = 1,93$ MPa

Obs : É importante lembrar que a resistência característica adotada no projeto (f_{ck}) foi de 20 MPa e que os ensaios foram executados em idades de 7 dias.

04.7.2 Telas soldadas

Foram retirados três corpos-de-prova de cada tipo de tela soldada para serem submetidos ao ensaio de tração conforme NBR 6152 da ABNT.

Análise dos Resultados Apresentados no Relatório Técnico da EESC - USP

Nos ensaios de tração das telas soldadas foram encontrados os seguintes resultados (média global) para a tensão de escoamento (f_y) e tensão de ruptura (f_u).

$$f_y = 725,6 \text{ MPa}$$

$$f_u = 782,7 \text{ MPa}$$

Foram também retirados três corpos-de-prova de cada tipo de tela soldada para serem submetidos a ensaios de resistência ao cisalhamento (junta soldada) conforme NBR 5916 da ABNT.

Análise dos resultados Apresentados no Relatório Técnico da EESC- USP

A resistência ao cisalhamento da junta soldada recomendada pela NBR 5916 deve ser, no mínimo, (média dos resultados) igual a 30% da força de escoamento do fio de maior diâmetro.

f_y = força de escoamento média dos ensaios de tração

f_{cis} = resistência ao cisalhamento medida no ensaio

O resultado final (média global) dos corpos-de-prova foi $f_{cis} / f_y = 0,55 > 0,30$.

Na pesquisa foram utilizadas telas soldadas fabricadas com aço CA 60.

04.8 Procedimentos de ensaios dos modelos

04.8.1 Placa tipo 1

A montagem para o ensaio dos modelos está esquematizada na **figura 04.8.1.1**, onde se pode notar a posição "invertida", isto é, carregamento aplicado de baixo para cima, com o intuito de possibilitar melhor visualização da fissuração superior do concreto da laje.

O carregamento gerado pelo cilindro hidráulico e medido pela célula de carga foi distribuído em toda a largura da laje por um trilho metálico. Entre o trilho metálico e a laje existia ainda uma placa de borracha para garantir a distribuição uniforme do carregamento na eventual existência de irregularidades na superfície do concreto.

Os apoios articulados da viga eram constituídos de roletes metálicos confinados entre duas chapas, também metálicas, que eram simplesmente interpostos entre a viga do modelo e o pórtico metálico de reação.

Preliminarmente, antes do ensaio propriamente dito, realizou-se o ensaio de "escorvamento", que consistia na aplicação de duas etapas do carregamento e posterior descarregamento, para eliminação de folgas nos sistemas de apoios, carregamento, e medição, e também para teste geral da montagem de ensaio.

O ensaio propriamente dito foi realizado aplicando-se o carregamento de forma progressiva em etapas de aproximadamente 1/10 da carga de projeto característica, realizando-se o registro das medições dos diversos instrumentos e a marcação das fissuras, após a estabilização da carga de cada etapa.

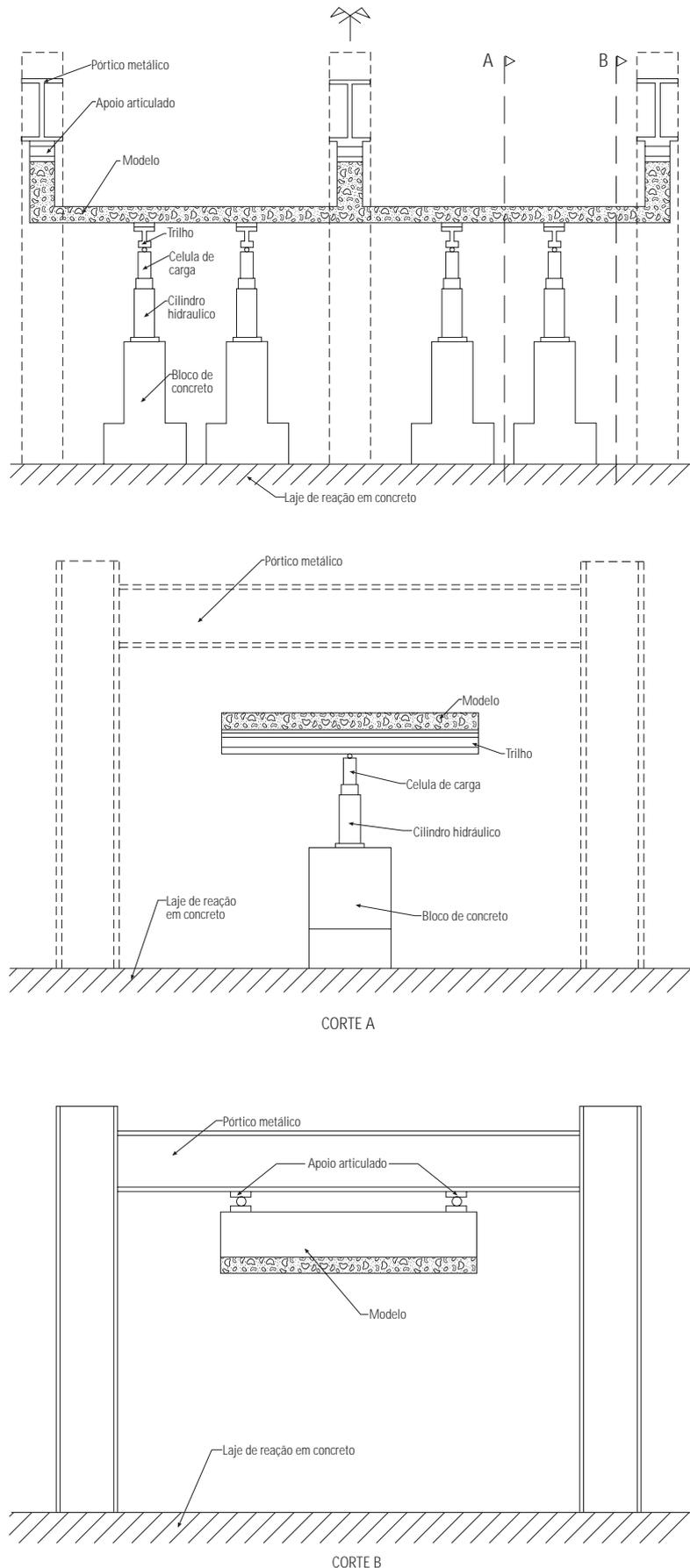


Figura 04.8.1.1 - Placa Tipo 1 - Séries 1 a 6
Montagem de Ensaio

04.8.2 Placa tipo 2

A montagem para o ensaio dos modelos está esquematizada na **figura 04.8.2.1**, posição “invertida”, como no caso da montagem de ensaio da placa tipo 1.

O Carregamento gerado pelo cilindro hidráulico e medido pela célula de carga foi aplicado de forma “concentrada”, diretamente na superfície da laje, por meio de uma placa metálica quadrada de 7 cm de lado.

Os apoios articulados da viga eram constituídos de esferas metálicas confinadas entre duas chapas, também metálicas, que eram simplesmente interpostos entre a viga do modelo e o pórtico metálico de reação.

No resto, os procedimentos de ensaio foram análogos ao do caso da placa tipo 1.

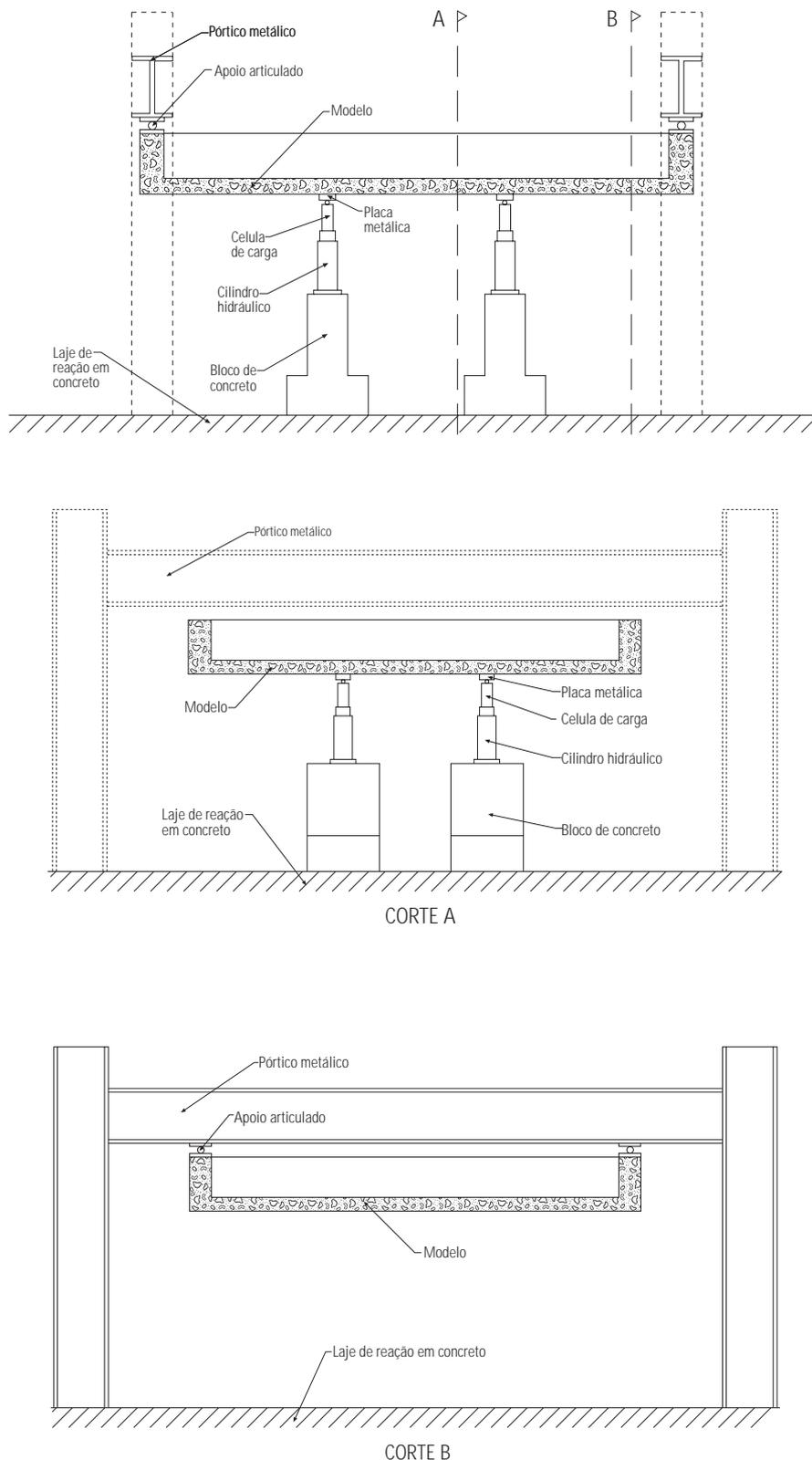


Figura 04.8.2.1 - Placa Tipo 2 - Séries 7 a 9
Montagem de Ensaio

04.8.3 Placa tipo 3

A montagem para o ensaio dos modelos está esquematizada na **figura 04.8.3.1**, posição “invertida”, como no caso da montagem de ensaio da placa tipo 1.

O carregamento gerado pelo cilindro hidráulico, medido pela célula de carga, foi distribuído em toda a largura da laje por um perfil metálico. Entre a laje e o perfil uma placa de borracha garantiu a distribuição uniforme do carregamento na eventual existência de irregularidades na superfície do concreto.

Os dois apoios de extremidade eram do tipo móvel, constituídos de placa de neoprene sobre roletes metálicos confinados entre chapas também metálicas. O apoio central era do tipo elástico, constituído apenas por placa de neoprene.

No resto, os procedimentos de ensaio foram análogos ao do caso da placa tipo 1.

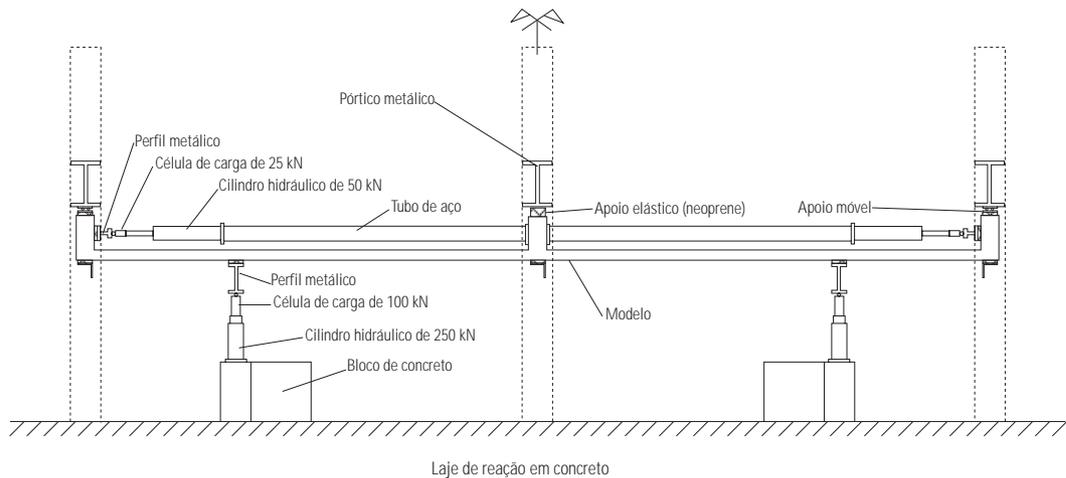


Figura 04.8.3.1
Placa Tipo 3 - Séries 10 a 12
Montagem de Ensaio

04.9 Cargas de ensaio

O projeto foi desenvolvido para cada modelo com determinação das cargas características e dos comprimentos teóricos de ancoragem, conforme segue:

04.9.1 Placa tipo 1

Série	Placa Tipo 1	Cargas em kN			l_b em cm	
		Q_k	R_1	R_2	calc.	adot.
1	EL 138-7,C	11,02	2,56	12,50	5,12	10,0
2	EL 138-7,D	12,19	5,38	8,92	9,85	10,0
3	EL 246-7,C	18,33	5,00	21,91	6,89	10,0
4	EL 246-7,D	20,34	9,72	16,54	12,82	10,0
5	EL 503-8,C	38,72	12,96	46,38	11,79	10,0
6	EL 503-8,D	43,07	22,35	36,30	20,02	10,0

l_b calc. = Comprimento da ancoragem (valor teórico)

l_b adot. = Comprimento da ancoragem adotado no ensaio

Q_k = Carga de projeto, característica

R_1 = Reação, em kN, em cada apoio extremo

R_2 = Reação, em kN, no apoio central

04.9.2 Placa tipo 2

Série	Placa Tipo 2	Cargas em kN		l _b em cm	
		Q _k	R ₁	calc.	adot.
7	Q 138-7	10,04	5,38	5,34	10,0
8	Q 246-7	16,04	11,40	6,95	10,0
9	Q 503-8	31,47	26,46	8,77	10,0

l_bcalc. = Comprimento da ancoragem (valor teórico)

l_badot. = Comprimento da ancoragem adotado no ensaio

Q_k = Carga de projeto, característica

R₁ = Reação, em kN, no apoio do modelo

04.9.3 Placa tipo 3

Série	Placa Tipo 3	Cargas em kN				l _b em cm	
		Q _k	H _k	R ₁	R ₂	calc.	adot.
10	EL 138-7	10,32	1,03	0,67	0,29	2,54	10,0
11	EL 246-7	15,61	1,56	1,23	2,26	3,65	10,0
12	EL 503-8	30,87	3,09	5,81	8,95	5,95	10,0

l_bcalc. = Comprimento da ancoragem (valor teórico)

l_badot. = Comprimento da ancoragem adotado no ensaio

Q_k = Carga de projeto, característica

H_k = Carga horizontal total de ensaio (em kN), aplicada uniformemente nos apoios extremos

R₁ = Reação, em kN, em cada apoio extremo

R₂ = Reação, em kN, no apoio central

04.10 Análise dos resultados dos ensaios

04.10.1 Controle de flechas

Placa tipo 1

Considerando-se o valor admissível $l/500$ ($\bar{a}_b = \bar{a}_d = 1500/500 = 3$ mm), na atuação da carga característica (Q_k), apenas as placas armadas com telas EL 503 (série 5 e 6) apresentaram deslocamentos acima de 3 mm.

Em nenhum caso, com atuação da carga característica, o valor $l/300$ (5 mm) foi ultrapassado. Todos os diagramas deslocamento x Q_m mostraram um crescimento significativo das flechas após a fissuração do concreto.

Placa tipo 2

O menor vão da placa tipo 2 é de 2,37 m. O valor admissível da flecha, na relação $l/500$ ($\bar{a}_b = 2370/500 = 4,74$ mm), na atuação da carga característica (Q_k), foi atendido pelos modelos das séries 7 e 8.

Analogamente ao caso da placa tipo 1, os modelos da série 9 (armados com tela Q 503) apresentaram deslocamentos maiores, atingindo ($l/237$) na série 9.

Placa tipo 3

As flechas foram medidas nos centros dos vãos das lajes (ponto B e D).

Considerando-se o valor admissível $l/500$ ($\hat{a}_b = \hat{a}_d = 3000/500 = 6$ mm), apenas as placas armadas com tela EL 503 (série 12) apresentaram deslocamentos acima desse valor. O valor $l/300$ (10 mm) também foi ultrapassado em apenas 10%.

Todos os diagramas deslocamento x Q_m mostravam um crescimento significativo das flechas após a fissuração do concreto.

04.10.2 Controle das deformações

Placa tipo 1 e 2

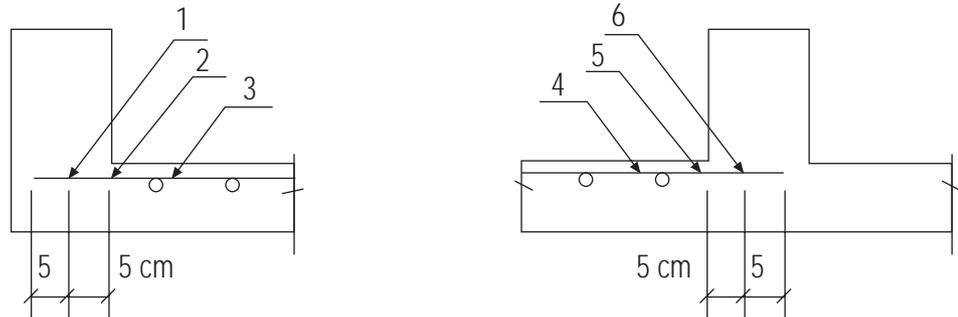
Considerações Preliminares

As deformações medidas nos extensômetros possibilitaram calcular as forças atuantes nos fios das telas soldadas.

O posicionamento das medições, nas regiões dos apoios, sofreu alterações durante a evolução dos ensaios:

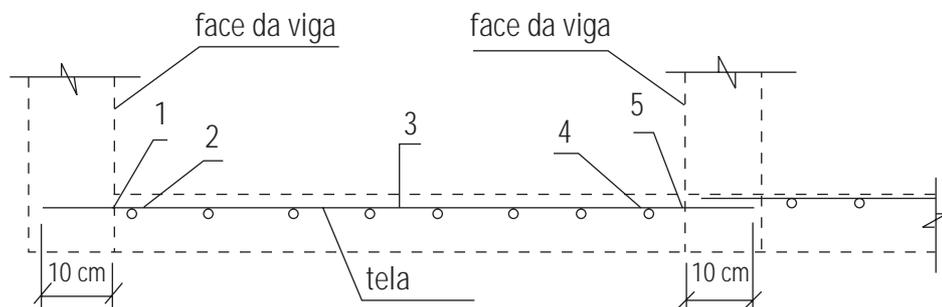
- a - Na expectativa de se medir a "força ancorada", na série 1(placa 1), foram instrumentados os centros das ancoragens, conforme ilustração na **figura 04.10.2.1**.

Figura 04.10.2.1
Primeiro arranjo para medida das deformações
Pontos 1 e 6
extensômetros no centro da ancoragem
Pontos 2 e 5
extensômetros na face da viga
Pontos 3 e 4
extensômetros antes do último nó
Durante os ensaios não foram registradas deformações nos pontos 1 e 6.



- b - Face aos resultados encontrados nos ensaios da série, deformações nulas nos pontos 1 e 6, escolheu-se um novo arranjo da instrumentação que é o indicado na **figura 04.10.2.2**, aplicado em todas as séries.

Figura 04.10.2.2
Instrumentação para medida de deformações normais
Pontos 1 e 5
extensômetros na face da viga
Pontos 2 e 4
extensômetros antes do último nó
Pontos 3
extensômetros no meio do vão



04.11 Análise dos resultados placa tipo 1 e 2

A tabela 04.11.1 apresenta um estudo comparativo entre o valor teórico da força característica a ancorar R_{stk} (calculada com $al = d$), com as forças efetivamente medidas durante a investigação quando da aplicação da carga de ensaio Q_k .

R_{st1} = Força teórica característica a ancorar no apoio extremo da placa tipo 1 ou nos apoios da placa tipo 2.

R_{st2} = Força teórica característica a ancorar no apoio intermediário da placa tipo 1.

Forças medidas nos ensaios: determinadas a partir das deformações medidas pelos extensômetros (admitidas como uniformes em todos os fios das telas), nos pontos 1 e 2 junto aos apoios extremos da placa 1 ou apoios da placa 2 e nos pontos 4 e 5 designados para representar o apoio intermediário da placa tipo 1.

Série	Placa Tipo 1 e 2	Forças Teóricas para Q_k (kN)		Forças Medidas nos Ensaios para Q_k (kN)			
		R_{st1}	R_{st2}	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
1	EL 138-7,C	6,11	12,64	0	0	0	0
2	EL 138-7,D	11,75	9,35	0	0	0	0
3	EL 246-7,C	10,99	22,39	0	0	0	23,62
4	EL 246-7,D	20,43	16,97	0	0	0	29,52
5	EL 503-8,C	26,89	46,79	0	0	0	54,32
6	EL 503-8,D	46,21	36,17	30,18	84,50	24,14	30,18
7	Q 138-7	5,30	-	0	0	-	-
8	Q 246-7	9,23	-	0	0	-	-
9	Q 503-8	16,67	-	0	0	-	-

Tabela 04.11.1
Comparativo entre as forças teóricas de ancoragem do projeto e as forças de ancoragem medidas nos ensaios para a carga Q_k .

R_{st1} = Força teórica a ancorar no apoio extremo

R_{st2} = Força teórica a ancorar no apoio central

Pontos 1 e 2: Junto ao apoio extremo

Pontos 4 e 5: Junto ao apoio central

Placa tipo 3

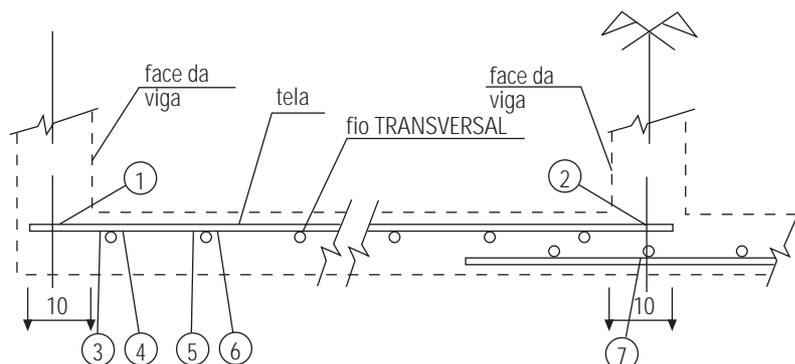
A instrumentação mostrada na **figura 04.11.1** permite determinar, além da força ao longo do fio, o valor da força a ancorar nos apoios.

Figura 04.11.1
Instrumentação para medidas de deformações normais

Pontos 1 e 2
extensômetros ancoragem: pontos 1, 26, 28 e 53 nos ensaios.

Pontos 3, 4 e 5, 6
instrumentação antes e após cada fio transversal: pontos 2, 3 - 4, 5 - 6, 7 até 24, 25 e 29, 30 - 31, 32 até 51, 52 nos ensaios.

Ponto 7
extensômetro centro da tela inferior: ponto 27 nos ensaios.



04.12 Análise dos resultados placa tipo 3

Na tabela 04.12.1 é apresentado um estudo comparativo entre o valor teórico da força característica a ancorar R_{st} (Calculada com $al = d$), com as forças efetivamente medidas durante a investigação quando da aplicação das cargas de ensaios Q_k e H_k .

R_{st} = Força teórica característica a ancorar no apoio extremo do modelo considerando-se a ação conjunta de Q_k e H_k .

$R_{st,e}$ = Força medida no ensaio determinada a partir das deformações registradas, quando da aplicação de Q_k e H_k , nos extensômetros 1 ou 53, 2 ou 52, conforme explicação a seguir demonstrada na **figura 04.12.1**.

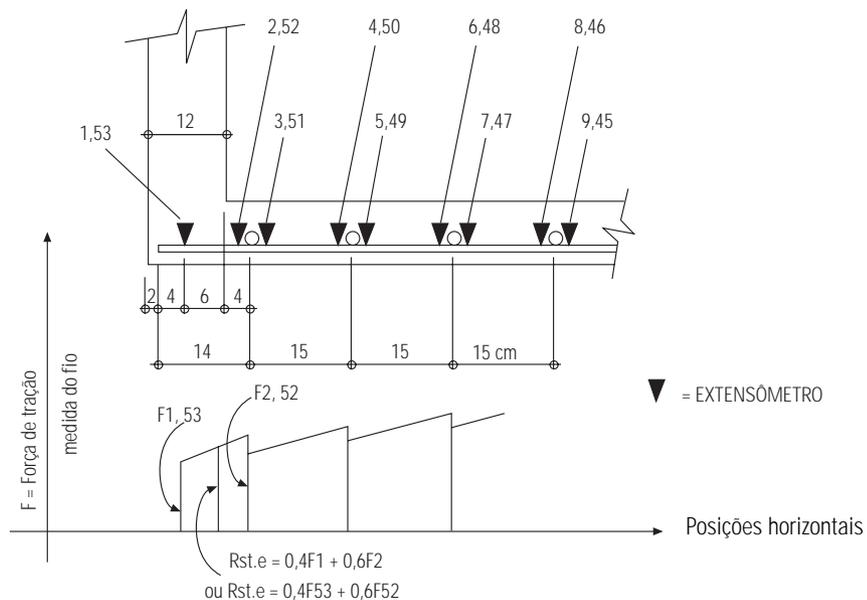


Figura 04.12.1
Procedimentos para determinação da força de ancoragem medida no ensaio.

Tabela 04.12.1
Tabela comparativa entre o valor teórico e os valores de ensaio da força a ancorar.

Série	Placa Tipo 3	Forças Teóricas Calculadas para $Q_k + H_k$ (kN)	Forças Medidas nos Ensaio para $Q_k + H_k$	Para $1,4 (Q_k + H_k)$
10	EL 138 -7	$0,67 + 1,03 = 1,70$	0,41	0,65
11	EL 246 -7	$1,23 + 1,56 = 2,79$	1,18	1,64
12	EL 503 -8	$5,81 + 3,09 = 8,90$	5,38	5,94

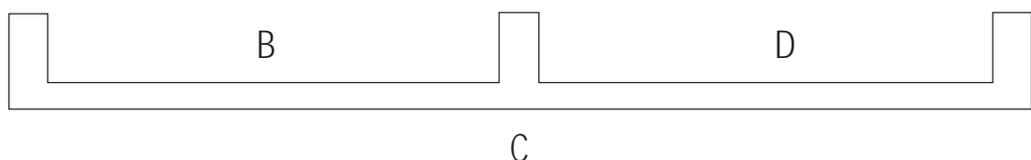
Obs.: Nos apoios centrais as ancoragens estão em região comprimida conforme atestam as medições efetuadas para as deformações.

04.12.1 Controle da fissuração

Placa tipo 1

O controle da fissuração na placa tipo 1 foi feito nas regiões de maior tração provocadas pelas cargas de ensaio. A peça foi dividida em 3 zonas: B e D para os vãos e C para o apoio conforme desenho **figura 04.12.1.1**.

Figura 04.12.1.1
Placa Tipo 1
Zona de Observação da Fissuração



Os valores das aberturas das fissuras observados nos ensaios da placa tipo 1, estão resumidas na Tabela 04.12.1.1.

Série	Placa Tipo 1	Aberturas das Fissuras (mm) com Cargas Q_k		
		Zona B	Zona C	Zona D
1	EL 138-7,C	-	0,19	0,11
2	EL 138-7,D	0,18	0,18	0,14
3	EL 246-7,C	0,20	0,09	0,18
4	EL 246-7,D	0,35	0,15	0,40
5	EL 503-8,C	0,18	0,22	0,18
6	EL 503-8,D	0,35	0,40	0,17

Tabela 04.12.1.1
Aberturas das fissuras nas placas tipo 1 medidas nos ensaios na aplicação da carga de ensaio Q_k .

Placa tipo 2

A fissuração da placa tipo 2 foi controlada nas regiões próximas aos 4 pontos de aplicação das cargas de ensaio conforme **figura 04.12.1.2**.

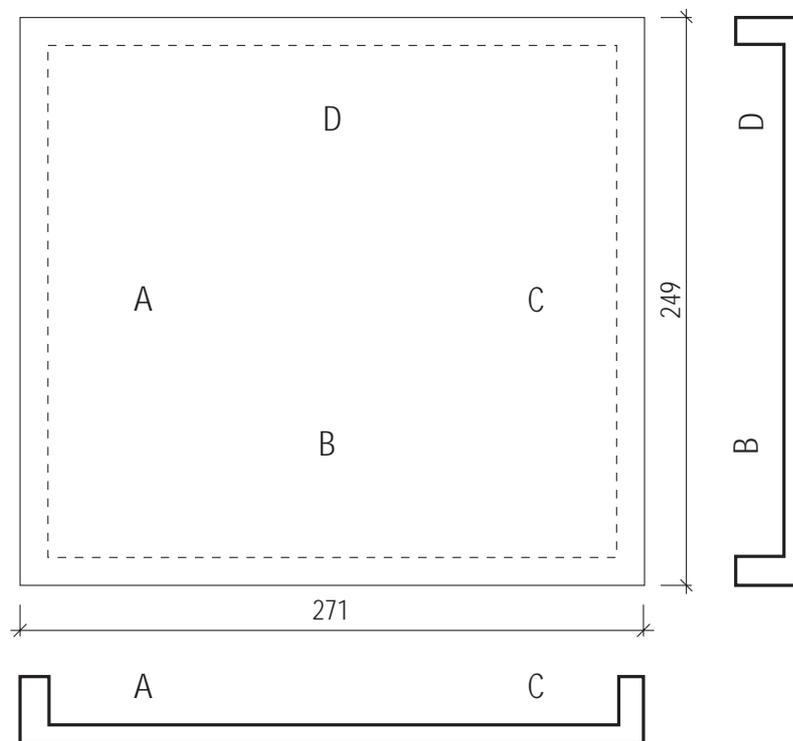


Figura 04.12.1.2
Placa Tipo 2
Zonas de Observação da Fissuração

Os valores das aberturas das fissuras observados nos ensaios da placa tipo 1, estão resumidas na Tabela 04.12.1.2.

Série	Placa Tipo 2	Aberturas das Fissuras (mm) com Cargas Q_k			
		Zona A	Zona B	Zona C	Zona D
7	Q 138-7	-	-	-	-
8	Q 246-7	-	-	-	-
9	Q 503-8	0,13	0,11	0,10	0,08

Tabela 04.12.1.2
Aberturas das fissuras nas placas tipo 2 medidas nos ensaios na aplicação da carga Q_k .

Placa tipo 3

O controle da fissuração foi feito nas regiões de maior tração provocadas pelas cargas de ensaio. As fissuras foram medidas nas proximidades dos pontos de aplicação das cargas Transversais Q_k , conforme **Figura 04.12.1.3**.

Figura 04.12.1.3:
Placa Tipo 3
Zonas de Observação
da Fissuração



Os valores das aberturas das fissuras observados nos ensaios da placa tipo 1, estão resumidas na Tabela 04.12.1.3.

Série	Placa Tipo 3	Aberturas das Fissuras (mm) com Cargas Q_k e H_k	
		Vão 1	Vão 2
10	EL 138-7	0,06	0,08
11	EL 246-7	0,10	0,24
12	EL 503-8	0,28	0,20

Tabela 04.12.1.3.
Abertura das fissuras medidas nos ensaios na aplicação da carga Q_k e H_k .

Comentário

Todos os modelos foram ensaiados com carregamentos progressivos e fissuração controlada até atingirem estado de ruína.

05

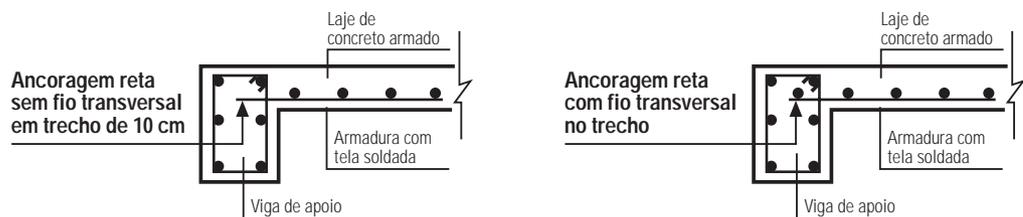
Comentários Finais

A pesquisa experimental da ancoragem das telas soldadas, em lajes de concreto armado, considerando um comprimento de 10 cm sem fio transversal (nó) no trecho, desenvolvida em modelos armados com telas de bitolas 4,2 mm, 5,6 mm e 8,0 mm, permitiu estabelecer os seguintes comentários:

- 1 - **Para todos os modelos** ensaiados o modo de ruptura está associado a estados de fissuração. Em nenhum caso ocorreu escorregamento da armadura no apoio por falta de ancoragem.
- 2 - **A fissuração dos modelos** durante os ensaios foi predominantemente na região de altas tensões de tração. Os carregamentos aplicados, inclusive os de flexo-tração, não geraram fissuras visíveis na região dos apoios.
O projeto de pesquisa reproduziu o funcionamento real das lajes de concreto.
- 3 - **A fissuração dos modelos armados com telas soldadas** é completamente diferente dos correspondentes armados com barras soltas. As telas soldadas permitem distribuição com muitas fissuras de pequena abertura, contrariamente ao caso das barras soltas onde as fissuras, em número reduzido, são de grande abertura.
- 4 - **Os nós soldados**, na presença de concreto não fissurado da região de apoios, são grandes transferidores da força de tração do aço para a seção de concreto da laje.
- 5 - **Nas placas ensaiadas** o equilíbrio entre a força cortante, a força normal (nas placas tipo 3) e a biela de compressão da laje junto ao apoio (modelo treliça do concreto armado) foi alcançado utilizando-se a resistência à tração do concreto não fissurado sem mobilização plena da barra que se prolonga dentro do apoio.

- 6 - **Nos apoios extremos dos modelos**, onde a força teórica de ancoragem resultante dos carregamentos era significativa, as medições efetuadas durante os ensaios indicaram valores muito abaixo das estimativas teóricas.
- 7 - **As lajes convencionais maciças**, moldadas no local e armadas com telas soldadas, apresentam como característica importante, para a ancoragem, a disponibilidade de toda a armadura calculada para a flexão ou flexo-tração prolongada até o apoio. Este procedimento, utilizado na grande maioria dos casos, reduz o valor da força a ser ancorada quando se faz o equilíbrio junto ao apoio.
- 8 - **A presença dos nós soldados** dentro da viga de apoio, procedimento normalmente utilizado quando se adota armadura com telas soldadas, pode ser considerada como uma reserva de segurança da ancoragem. A **figura 05.1**, a seguir, esclarece o exposto.

Figura 05.1
Esquema de ancoragem com nó soldado e sem nó soldado no trecho da ancoragem da tela soldada na viga de apoio

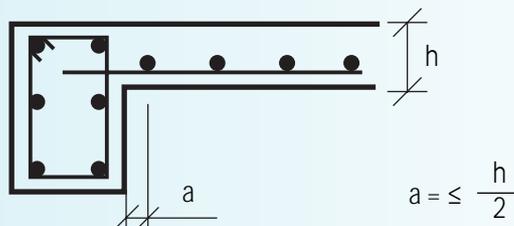


CONCLUSÕES

- 1 - **O comprimento da ancoragem das telas soldadas** medido a partir da face do apoio, para fios de até 8 mm, pode ser calculado atendendo os seguintes valores limites mínimos: **10 cm ou 10 ϕ ou como recomendação geométrica 1/3 da largura do apoio, o maior dos três valores**. É recomendável, no entanto, que o primeiro fio transversal esteja o mais próximo possível da face da viga de apoio (distância "a" menor ou igual a medida da metade da espessura da laje figura 05.2).

Obs.: A condição geométrica de 1/3 da largura do apoio, considera os casos de lajes maciças armadas com telas soldadas apoiadas sobre **vigas largas ($b_w \geq 30$ cm)**

Figura 05.2
Distância "a" entre o primeiro fio transversal e a face da viga de apoio



- 2 - **Para telas soldadas de fios acima de 8 mm**, a ancoragem deve ser efetuada com o nó soldado dentro do apoio. Recomendamos calcular o comprimento da ancoragem l_b , com um fator de redução igual a 0,7, idêntico ao recomendado pela norma alemã, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$l_b = 0,7 \times \frac{A_{scal}}{A_{se}} \times l_{b1}$$

Os valores limites mínimos podem ser os mesmos indicados no item 01 acima.

06 Documentação fotográfica



Foto 06.01 - Conjunto de fôrmas de madeira



Foto 06.02 - Sistema de aquisição de dados e bombas hidráulicas

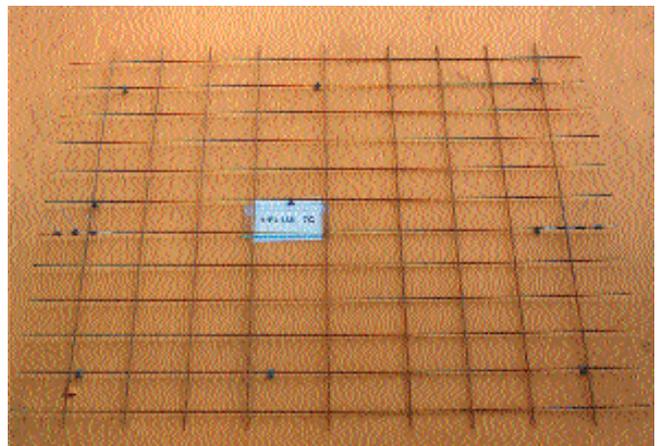


Foto 06.03 - Instrumentação da tela de um modelo da série 1



Foto 06.04 - Detalhe de instrumentação: pontos 1, 2 e 3



Foto 06.05 - Detalhe da região instrumentada da armadura: pontos 1, 2 e 3



Foto 06.06 - Detalhe da região instrumentada da armadura: pontos 10 e 11



Foto 06.07 - Modelo após desforma



Foto 06.08 - Aspecto geral do ensaio



Foto 06.09 - Detalhe dos apoios articulados da viga

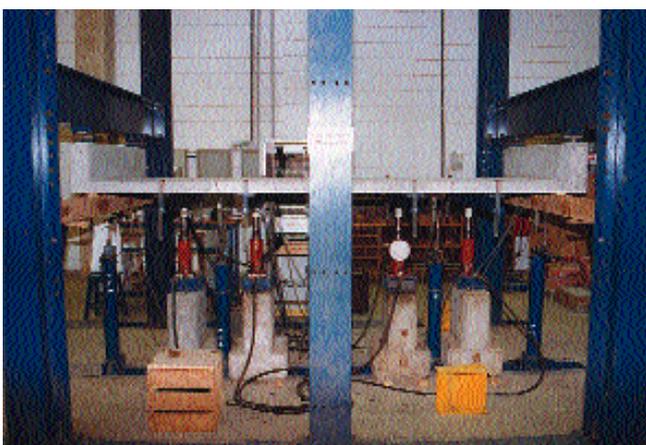


Foto 06.10 - Aspecto do ensaio da série com carregamento centrado



Foto 06.11 - Detalhe do sistema de aplicação do carregamento e do transdutor de deslocamento

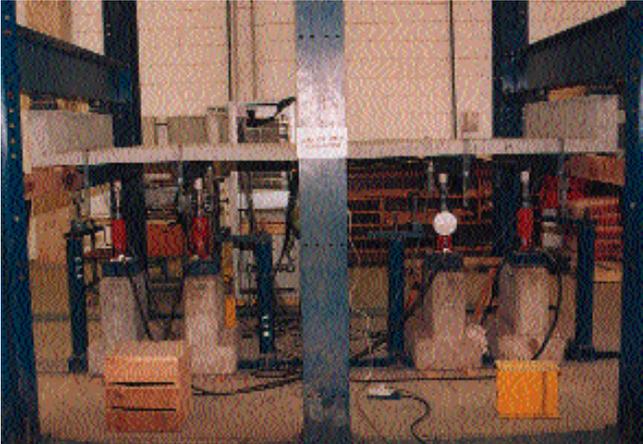


Foto 06.12 - Aspecto do ensaio da série com carregamento deslocado

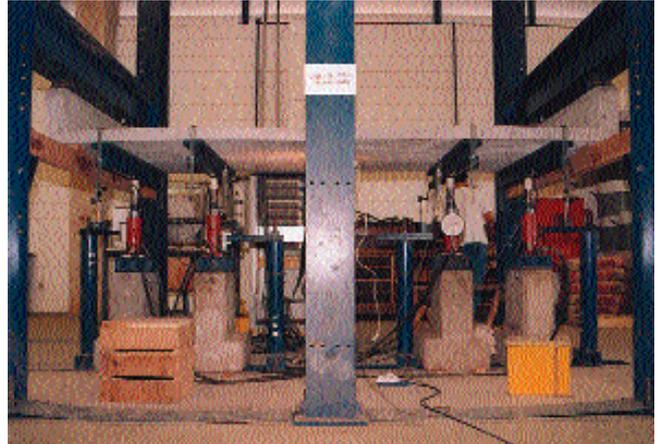


Foto 06.13 - Aspecto do ensaio da série com carregamento deslocado

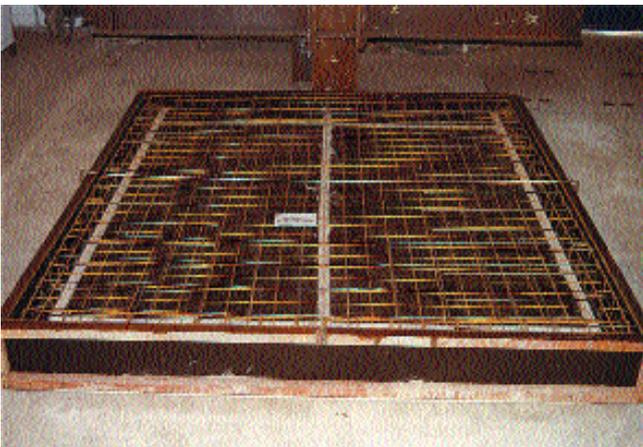


Foto 06.14 - Modelo pronto para moldagem



Foto 06.15 - Detalhe da região instrumentada da armadura: pontos 1 e 2



Foto 06.16 - Detalhe dos apoios articulados

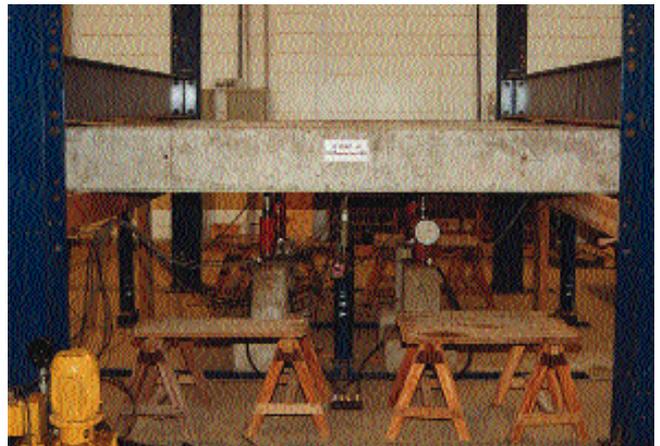


Foto 06.17 - Aspecto geral do ensaio



Foto 06.18 - Detalhe do sistema de aplicação do carregamento e do transdutor de deslocamento



Foto 06.19 - Série 1 - EL 138 - 7C

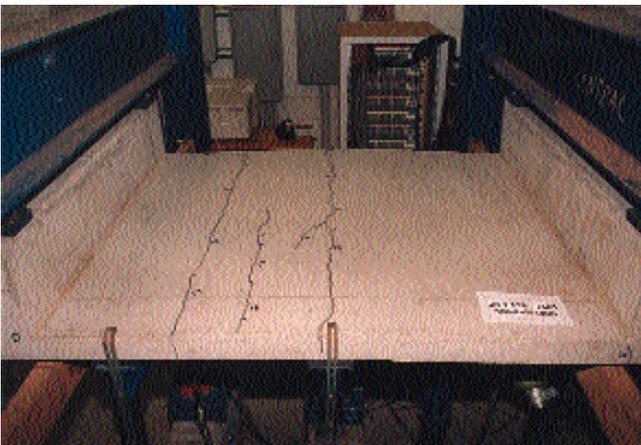


Foto 06.20 - Série 2 - EL 138 - 7D



Foto 06.21 - Série 2 - EL 138 - 7D

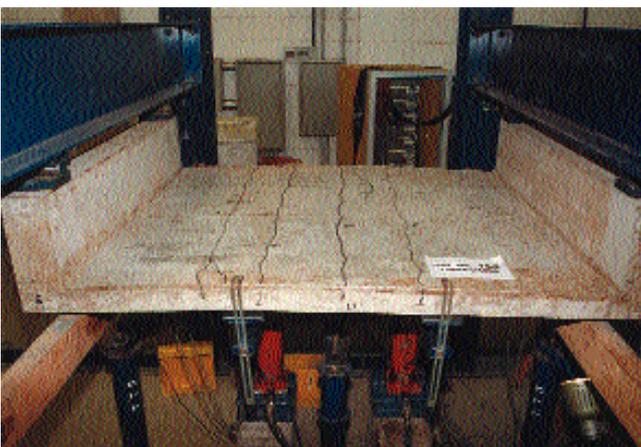


Foto 06.22 - Série 3 - EL 246 - 7C



Foto 06.23 - Série 3 - EL 246 - 7C

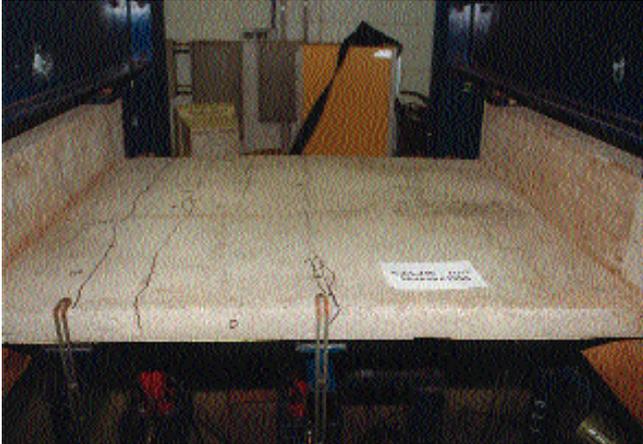


Foto 06.24 - Série 4 - EL 246 - 7D



Foto 06.25 - Série 4 - EL 246 - 7D

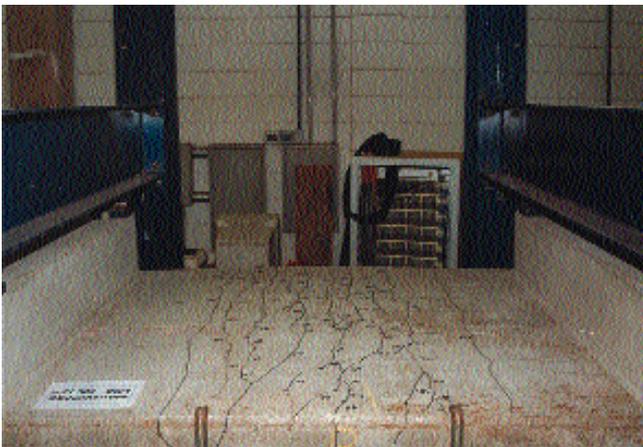


Foto 06.26 - Série 5 - EL 503 - 8C



Foto 06.27 - Série 5 - EL 503 - 8C

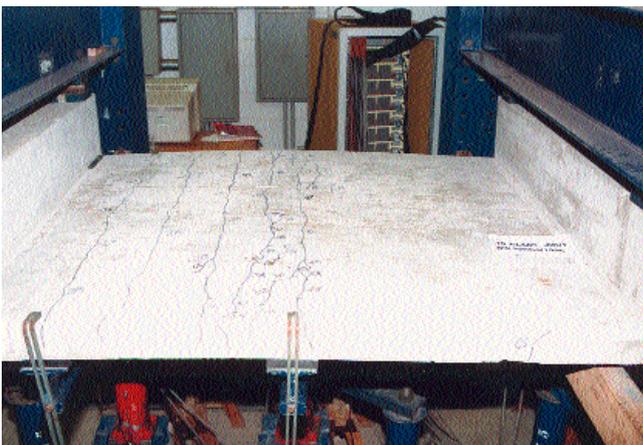


Foto 06.28 - Série 6 - EL 503 - 8D

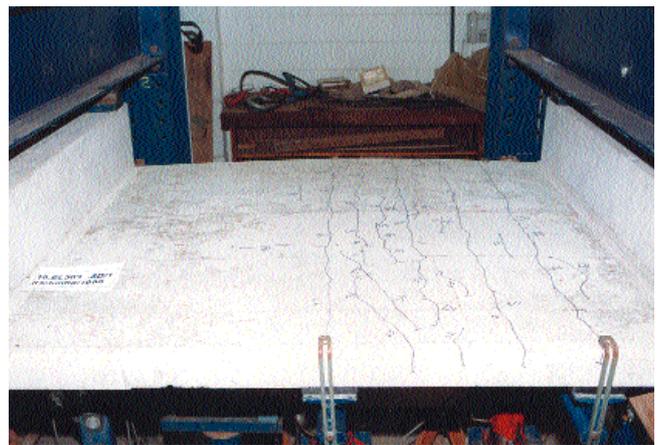


Foto 06.29 - Série 6 - EL 503 - 8D



Foto 06.30 - Série 7 - Q 138 - 7

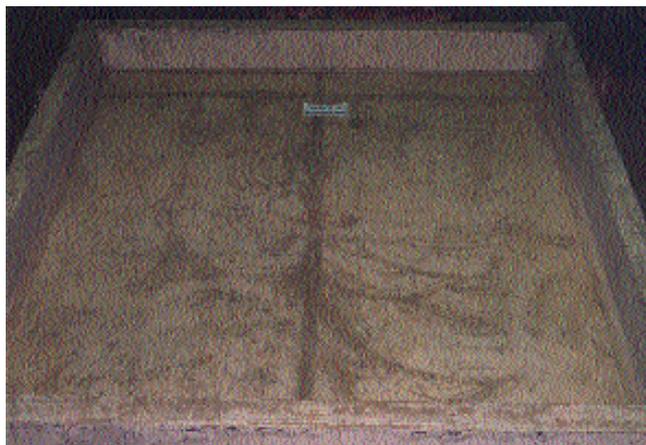


Foto 06.31 - Série 8 - Q 246 - 7



Foto 06.32 - Série 9 - Q 503 - 8

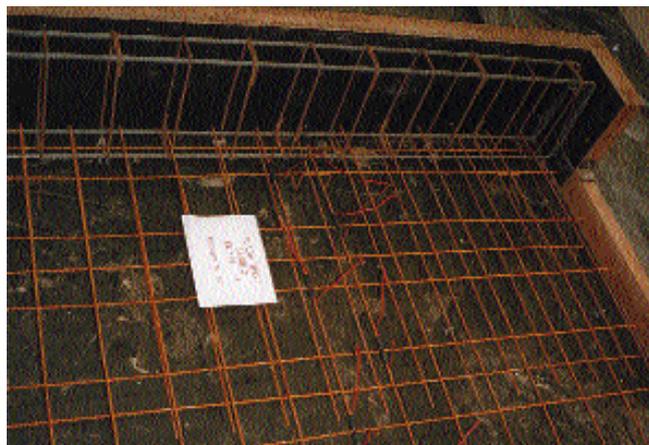


Foto 06.33 - Vista da armadura da região da viga de extremidade



Foto 06.34- Fôrma do modelo 3 com armadura posicionada



Foto 06.35 - Detalhe da armadura e da instrumentação da região da viga de extremidade



Foto 06.36 - Aspecto geral do ensaio



Foto 06.37 - Aspecto do ensaio - vão 1



Foto 06.38 - Aspecto do ensaio - vão 2



Foto 06.39 - Série 10 - EL 138 - 7 - vão 1



Foto 06.40 - Série 10 - EL 138 - 7 - vão 2



Foto 06.41 - Série11 - EL 246 - 7 - vão 1



Foto 06.42 - Série 11 - EL 246 - 7 - vão 2



Foto 06.43 - Série 12 - EL 503 - 8 - vão 1



Foto 06.44 - Série 12 - EL 503 - 8 - vão 2



Foto 06.45 - Detalhe do dispositivo para aplicação do carregamento transversal