RESULTADOS DO ENSAIO DA VIGA DE CONCRETO ARMADO

1- RESISTÊNCIAS DO CONCRETO:

idade 28 dias

Ensaio de compressão simples (3 CPs 15x30):

23,2 – 26,5 – 26,9 Média ⇒ f_c = 25,5 MPa

Ensaio de compressão diametral (3 CPs 15x30):

1,69 – 2,34 – 2,40 Média ⇒ $f_{ct,sp}$ = 2,14 MPa

Convertendo para tração simples (NBR-6118/2003):

$f_{ct} = 0,9\ f_{ct,sp} = 0,9 \times 2,14 =$ 1,93 MPa

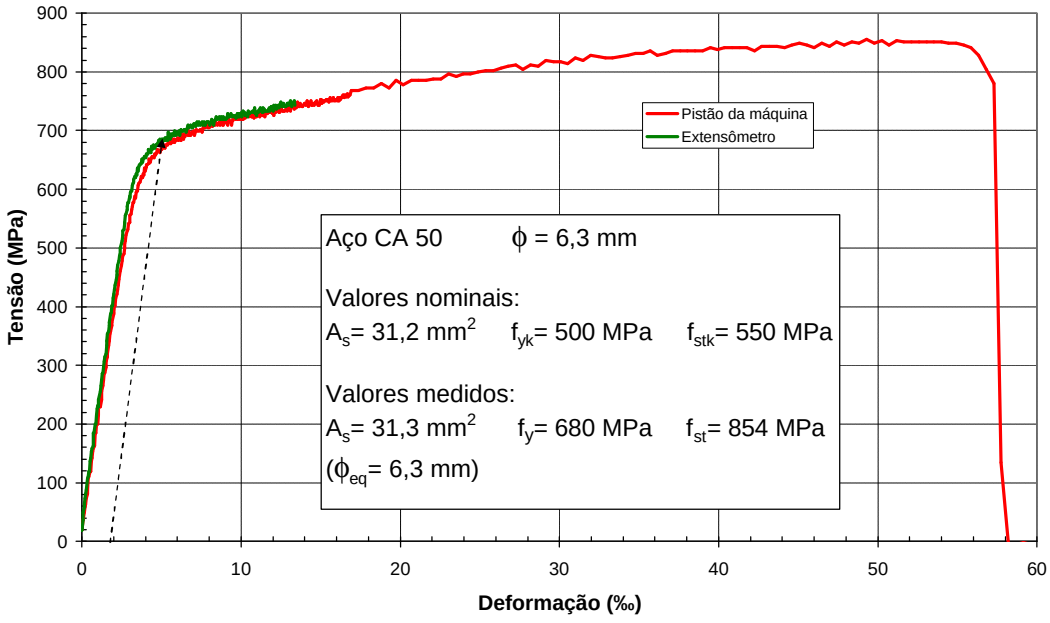
Previsão de f_{ct} a partir de f_c (NBR-6118/2003):

$f_{ct,m} = 0,3\ f_c^{2/3} = 0,3 \times 25,5^{2/3} = 2,60$ MPa

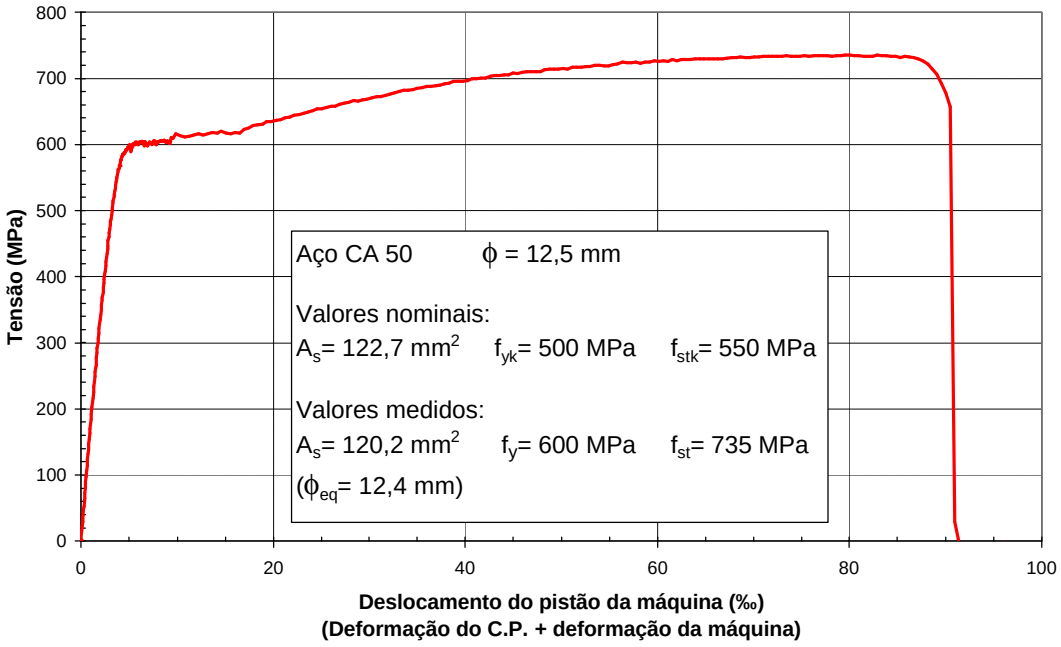
$f_{ct,inf} = 0,7\ f_{ct,m} = 0,7 \times 2,60 = 1,82$ MPa

1

2- RESISTÊNCIA DAS ARMADURAS



2



3

3- CARGA DE FISSURAÇÃO

Estádio I $\Rightarrow$ $\sigma_t = M / W_1$

$\sigma_t = 1{,}2\ f_{ct} \Rightarrow M_r = \sigma_t .W_1$ (Momento fletor de fissuração)

$I_h = I_c = 32.400\ cm^4$ $W_1 = -W_2 = 32.400/15 = 2.160\ cm^3$

$f_{ct} = 1{,}93$ MPa (Média dos ensaios de compressão diametral)

$M_r = \sigma_t .W_1 = 1{,}2 \times 0{,}193 \times 2.160 = 500$ kN.cm

$F_r = M_r / 125cm = 500 / 125 = 4$ kN

Valor observado no ensaio: $F_r = 5$ kN

4

4- CARGA DE RUPTURA

Estádio III

Dados: f_c = 25 MPa f_y = 600 MPa A_s = 3,6 cm² (3 ϕ 12,5mm)

O E. L. Último é atingido no domínio 2:

σ_s = 600 MPa ε_s = 10‰

σ_c = 25 MPa ε_c = 2,69‰

$\Rightarrow A_{cc}$ = 86,40 cm² y = 4,71 cm x = 5,89 cm z = 25,40 cm

$R_{st} = A_s.\ \sigma_s = R_{cc} = A_{cc}.\ \sigma_c$ = 216 kN

$M_u = R_{st}.z = R_{cc}.z$ = 216 x 25,40 = 5.485 kN.cm

$F_u = M_u$ / 125cm = 5.485 / 125 = 44 kN

Valor obtido no ensaio: F_u = 48 kN

5

5- DEFORMAÇÕES E DESLOCAMENTOS NO ESTÁDIO I

$F \leq F_r$ = 4 kN

$$E_{ci} = 5.600\sqrt{f_c} = 5.600\sqrt{25} = 28.000\text{MPa}$$

$$E_{cs} = 0{,}85 \times E_{ci} = 0{,}85 \times 28.000 = 23.800\text{MPa}$$

Deformações: $\sigma_c = \frac{M}{I_c} \times 15$

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_{cs}} = \frac{15 \times M}{E_{cs}.I_c} = \frac{15 \times F \times 125}{2.380{,}0 \times 32.400} = 24{,}32 \times 10^{-6} \times F$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \times \frac{12{,}75}{15} = 20{,}67 \times 10^{-6} \times F$$

Flecha no meio do vão: $a = \frac{F \times 125}{24 \times E_{cs} \times I_c}\left(3 \times 380^2 - 4 \times 125^2\right)$

$$a = \frac{F \times 125}{24 \times 2.380{,}0 \times 32.400}\left(3 \times 380^2 - 4 \times 125^2\right)$$

$$a = 0{,}0250 \times F$$

6

6- DEFORMAÇÕES E DESLOCAMENTOS NO ESTÁDIO II

$F > F_r = 4$ kN

Momento de inércia no Estádio II :

x = 8,67 cm (posição da linha neutra)

$I_2 = 15.472$ cm^4

Deformações: $\sigma_c = \frac{M}{I_2} \cdot x$

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_{cs}} = \frac{M \cdot x}{E_{cs}.I_2} = \frac{F \times 125 \times 8{,}67}{2.380{,}0 \times 15.472} = 29{,}4 \times 10^{-6} \times F$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \frac{d - x}{x} = 29{,}4 \times 10^{-6} \times F \times \frac{27{,}75 - 8{,}67}{8{,}67} = 64{,}8 \times 10^{-6} \times F$$

Flecha no meio do vão

Fórmula de Branson para rigidez equivalente:

$$I_e = \left(\frac{M_r}{M}\right)^3 \cdot I_1 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M}\right)^3\right] \cdot I_2 \leq I_1$$

$I_1 = I_c = 32.400$ cm^4

$I_2 = 15.472$ cm^4

$M_r = F_r .125 = 4x125 = 500$ kN.cm

M = F.125 (Momento máximo no vão)

$$I_e = \left(\frac{500}{M}\right)^3 \cdot 32.400 + \left[1 - \left(\frac{500}{M}\right)^3\right] \cdot 15.472$$

$$a = \frac{F \times 125}{24 \times E_{cs} \times I_e}\left(3 \times 380^2 - 4 \times 125^2\right)$$

$$a = \frac{F \times 125}{24 \times 2.380{,}0 \times I_e}\left(3 \times 380^2 - 4 \times 125^2\right)$$

$$a = 811 \times \frac{F}{I_e}$$

F (kN)	M (kN.cm)	I_e (cm^4)	a (mm)
5	625	24.152	1,68
10	1.250	16.557	4,90
15	1.875	15.793	7,70
20	2.500	15.607	10,40
25	3.125	15.541	13,05
30	3.750	15.512	15,69
35	4.375	15.497	18,32
40	5.000	15.489	20,95
45	5.625	15.484	23,58

7- DEFORMAÇÕES NO ESTRIBO

Modelo de cálculo I:

$V_c = V_{c0} = 0{,}6\ f_{ct}\ b_w\ d$

$f_{ct} = 1{,}93$ MPa $b_w = 4$ cm $d = 27{,}75$ cm

$V_c = 0{,}6 \times 0{,}193 \times 4 \times 27{,}75 = 12{,}85$ kN

$V_{sw} = V - V_c = V - 12{,}85$

$V_{sw} = (A_{sw}/s)\ 0{,}9\ d\ \sigma_{sw}$

$\sigma_{sw} = V_{sw} / (0{,}9\ d\ A_{sw}/s)$

$\varepsilon_{sw} = \sigma_{sw}/E_s$

$A_{sw} = 2 \times 0{,}31 = 0{,}62\ cm^2$ $s = 15$ cm

9

Modelo de cálculo II:

$V_{Rd2} = 0{,}54\ \alpha_{v2}\ f_c\ b_w\ d\ sen^2\theta\ cotg\theta$

$\alpha_{v2} = 1 - f_c/250 = 1 - 25/250 = 0{,}9$ $\theta = 30^\circ$

$V_{Rd2} = 0{,}54 \times 0{,}9 \times 2{,}5 \times 4 \times 27{,}75 \times sen^2 30 \times cotg30 = 58{,}40$ kN

$V_c = V_{c0} = 0{,}6\ f_{ct}\ b_w\ d = 12{,}85$ kN para $V \le V_{c0}$

$V_c = 0$ para $V = V_{Rd2}$

V_c : interpolação linear para V entre V_{c0} e V_{Rd2}

$V_{sw} = V - V_c$

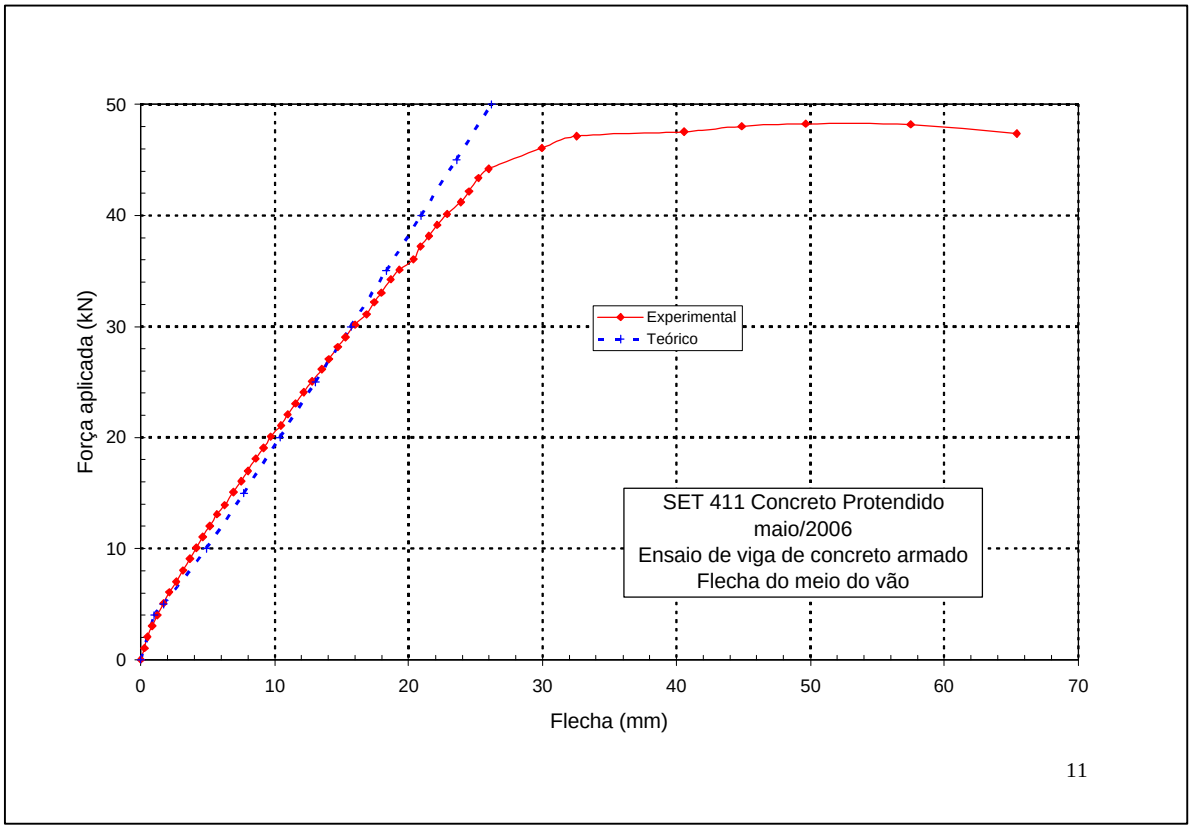
$V_{sw} = (A_{sw}/s)\ 0{,}9\ d\ \sigma_{sw}\ cotg\theta$

$\sigma_{sw} = V_{sw} / (0{,}9\ d\ cotg\theta\ A_{sw}/s)$

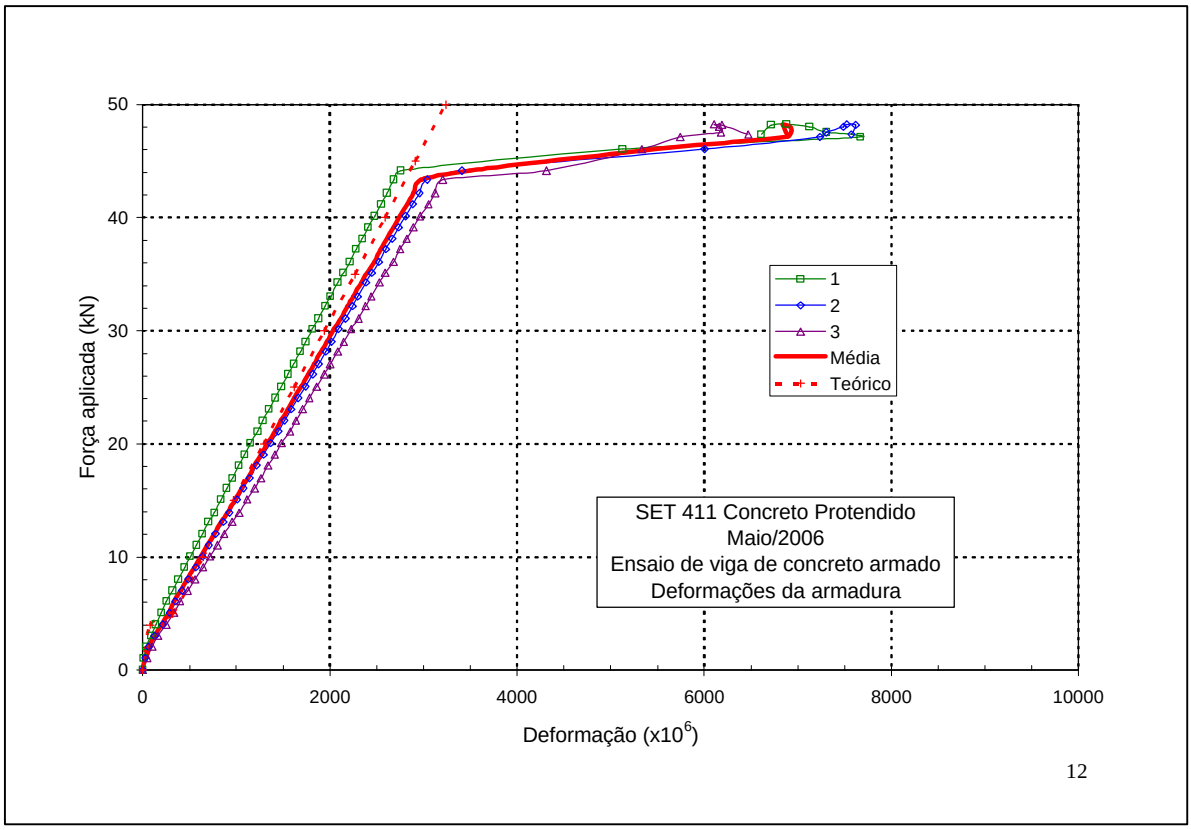
$\varepsilon_{sw} = \sigma_{sw}/E_s$

10

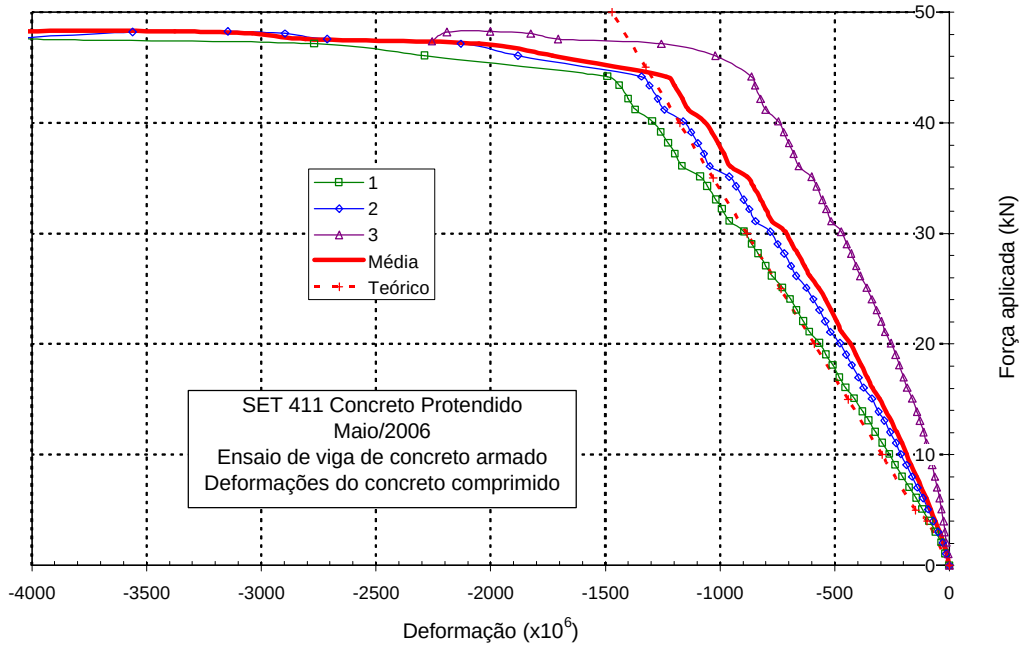
SET-411 CONCRETO PROTENDIDO - 2006												
ENSAIO DE VIGA DE CONCRETO ARMADO												
F	Flecha	Deformações ($x10^6$)										
kN	mm	Armadura longitudinal				Estribo			Concreto			
		1	2	3	Média	1	2	Média	1	2	3	Média
0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1	0,27	10	27	51	29	1	0	1	-18	-15	-7	-13
2,1	0,48	40	63	101	68	1	0	1	-36	-31	-14	-27
3,0	0,86	89	130	165	128	0	0	0	-60	-50	-20	-43
4,0	1,23	141	212	252	202	2	4	3	-87	-72	-26	-62
5,1	1,68	200	289	336	275	2	3	2	-117	-94	-35	-82
6,1	2,13	255	352	402	336	1	3	2	-145	-116	-44	-101
7,0	2,63	318	419	483	407	0	5	2	-174	-139	-53	-122
8,0	3,16	380	488	560	476	-1	6	2	-204	-163	-64	-144
9,1	3,68	449	566	645	554	-3	6	1	-236	-188	-76	-167
10,1	4,14	510	637	721	622	-1	9	4	-263	-211	-87	-187
11,0	4,64	575	709	798	694	4	15	10	-292	-234	-99	-209
12,0	5,15	637	780	872	763	34	37	35	-322	-258	-113	-231
13,1	5,69	704	858	958	840	76	58	67	-353	-285	-129	-255
13,9	6,25	765	926	1031	907	111	85	98	-379	-309	-142	-276
15,1	6,90	839	1007	1117	988	138	113	126	-414	-339	-161	-305
16,1	7,51	901	1079	1196	1058	167	137	152	-453	-375	-184	-337
17,0	8,00	960	1144	1264	1123	181	152	166	-480	-397	-201	-359
18,1	8,57	1026	1218	1338	1194	208	188	198	-509	-425	-219	-384
19,1	9,17	1088	1292	1411	1264	235	220	228	-537	-451	-236	-408
20,1	9,71	1153	1367	1484	1334	263	247	255	-567	-477	-256	-433
21,1	10,48	1228	1452	1575	1418	309	291	300	-610	-518	-282	-470
22,1	10,96	1284	1516	1637	1479	319	303	311	-636	-541	-298	-492
23,1	11,54	1351	1589	1710	1550	334	318	326	-665	-567	-318	-516
24,1	12,16	1415	1662	1781	1619	355	337	346	-693	-594	-337	-541
25,1	12,79	1483	1738	1858	1693	374	353	364	-727	-623	-360	-570
26,2	13,52	1554	1816	1942	1770	393	369	381	-773	-667	-389	-610
27,1	14,03	1613	1880	2005	1833	400	375	387	-800	-691	-406	-632
28,2	14,72	1684	1957	2084	1908	405	374	389	-833	-721	-429	-661
29,0	15,27	1742	2018	2147	1969	410	377	393	-863	-749	-448	-687
30,1	16,00	1813	2093	2225	2044	419	385	402	-895	-781	-472	-716
31,1	16,86	1881	2167	2309	2119	433	398	415	-959	-846	-516	-773
32,2	17,43	1949	2241	2381	2190	441	406	424	-990	-872	-537	-800
33,0	17,95	2007	2300	2442	2250	481	441	461	-1017	-897	-554	-823
34,3	18,66	2087	2387	2527	2334	562	527	545	-1055	-930	-580	-855
35,1	19,30	2146	2448	2593	2396	687	694	690	-1086	-960	-601	-882
36,1	20,36	2213	2526	2683	2474	807	832	820	-1165	-1045	-657	-956
37,2	20,90	2280	2599	2752	2543	834	859	846	-1196	-1070	-680	-982
38,2	21,52	2345	2666	2821	2611	881	913	897	-1226	-1097	-700	-1008
39,1	22,13	2410	2735	2891	2679	944	984	964	-1258	-1125	-723	-1035
40,1	22,87	2480	2810	2967	2752	1025	1079	1052	-1295	-1161	-746	-1068
41,2	23,91	2547	2888	3056	2830	1117	1193	1155	-1368	-1243	-802	-1138
42,2	24,50	2609	2956	3124	2896	1155	1235	1195	-1400	-1271	-824	-1165
43,4	25,22	2685	3039	3206	2976	1203	1287	1245	-1438	-1308	-848	-1198
44,2	25,96	2758	3411	4314	3494	1247	1338	1292	-1491	-1343	-864	-1233
46,1	29,95	5127	6005	5336	5489	1351	1497	1424	-2287	-1880	-1021	-1729
47,1	32,55	7670	7239	5742	6884	1384	1538	1461	-2768	-2131	-1255	-2051
47,6	40,58	7308	7303	6181	6930	1408	1581	1494	-4003	-2712	-1706	-2807
48,0	44,87	7123	7487	6158	6923	1419	1594	1506	-4397	-2897	-1826	-3040
48,2	49,65	6879	7527	6106	6837	1428	1609	1519	-4983	-3146	-2001	-3377
48,2	57,50	6718	7619	6192	6843	1433	1623	1528	-6765	-3560	-2191	-4172
47,4	65,41	6609	7573	6471	6884	1429	1627	1528	-7823	-4316	-2255	-4798


Força aplicada (kN)
Flecha (mm)
Experimental
Teórico
SET 411 Concreto Protendido
maio/2006
Ensaio de viga de concreto armado
Flecha do meio do vão
0
10
20
30
40
50
60
70

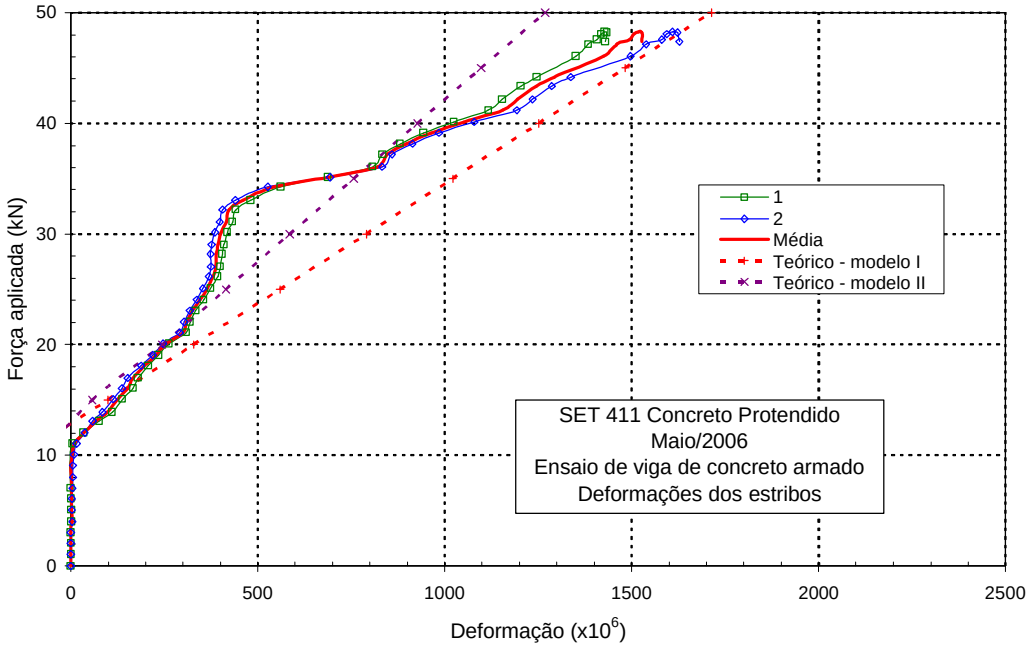
11


Força aplicada (kN)
Deformação (x10^6)
1
2
3
Média
Teórico
SET 411 Concreto Protendido
Maio/2006
Ensaio de viga de concreto armado
Deformações da armadura
0
2000
4000
6000
8000
10000

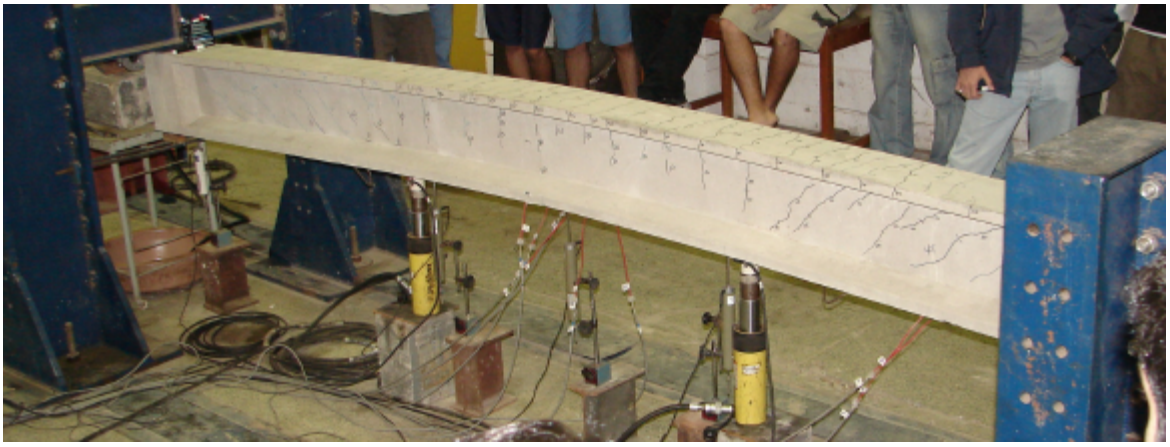
12


50
40
30
20
10
0
-4000
-3500
-3000
-2500
-2000
-1500
-1000
-500
0
1
2
3
Média
Teórico
SET 411 Concreto Protendido
Maio/2006
Ensaio de viga de concreto armado
Deformações do concreto comprimido
Força aplicada (kN)
Deformação (x10^6)

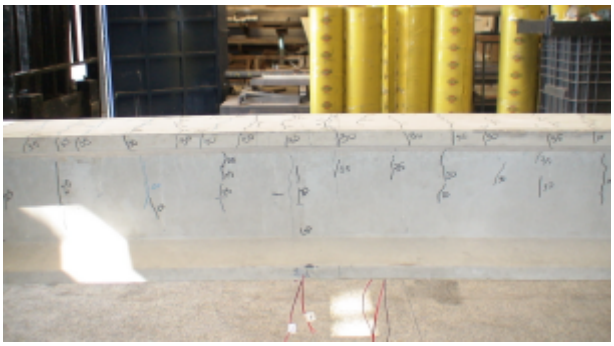
13

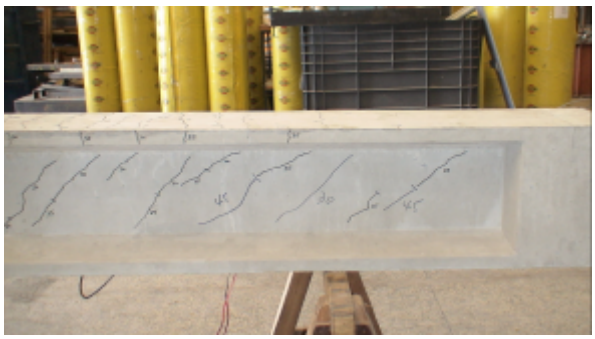

50
40
30
20
10
0
0
500
1000
1500
2000
2500
1
2
Média
Teórico - modelo I
Teórico - modelo II
SET 411 Concreto Protendido
Maio/2006
Ensaio de viga de concreto armado
Deformações dos estribos
Força aplicada (kN)
Deformação (x10^6)

14



15





16