

RELATÓRIO TÉCNICO

Nº 114 269-205

30 de novembro de 2009

ABCP

Ensaio de compressão excêntrica de painéis de parede de concreto

CLIENTE

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP

UNIDADE RESPONSÁVEL

Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura – CT-OBRAS

Seção de Vias Terrestres e Estruturas – SVTE

NOTA

Os arquivos digitais produzidos pelo IPT e enviados a V.S.as estão protegidos de acordo com a legislação vigente e registrados junto aos órgãos competentes, devendo ser tratados como qualquer outro material protegido pela legislação de direitos autorais.

O IPT concede ao cliente o direito de uso de cópias dos seus arquivos digitais, podendo ser reproduzidos em papel ou outra forma que desejar, inclusive digital, para fins de salvaguarda ou arquivo, desde que tais cópias não se prestem a modificações ou manipulações de conteúdo dos arquivos copiados. É vedado, também, o aluguel, o arrendamento ou a utilização em internet/intranet, com fins comerciais. Caso seja necessária a utilização dos arquivos digitais para outros trabalhos que necessitem alterações ou envolvam a remuneração de terceiros, o cliente deverá solicitar autorização prévia do IPT para o uso de cada um dos arquivos cedidos. A guarda e o controle do uso de eventuais cópias cedidas dos arquivos digitais são de inteira responsabilidade de V.S.as.

RESUMO

Constam deste relatório os resultados obtidos em ensaios de compressão excêntrica em 12 painéis de parede de concreto, com dimensões nominais de 100,0cm x 270,0cm, sendo 6 com espessura de 10,0cm e 6 com espessura de 14,0cm. Para cada tipo de espessura, metade dos painéis não foi armada e metade foi armada com tela metálica posicionada no centro do painel.

O carregamento foi limitado a 1.700kN. São apresentados tabelas e gráficos de deslocamento horizontal e de deformação específica (medida no concreto e na armadura) em função do carregamento.

PALAVRAS CHAVE

Painéis de parede de concreto; Ensaio de compressão excêntrica; Deslocamentos; Deformações específicas.

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO	1
2 PAINÉIS DE PAREDE	1
3 INSTRUMENTAÇÃO E ENSAIOS	2
4 RESULTADOS DOS ENSAIOS	4
EQUIPE TÉCNICA	5
ANEXO A – TABELAS E GRÁFICOS (24 págs.)	A1
ANEXO B – DESENHOS (3 págs.)	B1
ANEXO C – FOTOS (5 págs.)	C1
ANEXO D – ENSAIOS DE CORPOS-DE-PROVA (2 págs.)	D1

1 INTRODUÇÃO

Em atenção à solicitação do Cliente, Associação Brasileira de Cimento Portland, e de acordo com o orçamento (Carta nº CT-OBRAS/SVTE 033/09 de 26/06/2009), a Seção de Vias Terrestres e Estruturas do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura do IPT elaborou o presente relatório referente a ensaios de compressão excêntrica de 12 painéis de parede de concreto. As datas das concretagens das paredes e dos ensaios foram estabelecidas em comum acordo com o Cliente e Interessados denominados pelo Cliente.

2 PAINÉIS DE PAREDE

Neste relatório, os desenhos estão apresentados no Anexo B e as fotos ilustrativas, no Anexo C.

Os 12 painéis de parede foram projetados com dimensões nominais de 100,0cm (largura) x 270,0cm (altura), sendo seis com espessura de 10,0cm e seis com espessura de 14,0cm – Desenho 1, Fotos 1, 3.

Para cada tipo de espessura, metade dos painéis não foi armada e metade foi armada com tela metálica soldada posicionada no centro do painel, da seguinte forma:

- para painel de espessura de 10,0cm – tela Q159 (ϕ 4,5mm para barras longitudinais e transversais, em malha quadrada de 100mm);
- para painel de espessura de 14,0cm – tela Q196 (ϕ 5,0mm para barras longitudinais e transversais, em malha quadrada de 100mm).

As fôrmas dos painéis foram fornecidas e montadas — na posição vertical — pela Trisul S.A. Incorporadora e Construtora, em laboratório do IPT junto à bancada de ensaios.

Os painéis de parede foram denominados pela sigla “Pd(10 ou 14)(AR ou NA)-i”, onde Pd refere-se à parede; (10 ou 14) indica a espessura em cm; (AR ou NA) significa “armada” ou “não armada”; i=1,2,3 especifica cada um dos painéis do mesmo tipo.

A concretagem dos painéis, sobre placas de aço, foi executada pela Polimix Concreto Ltda. em dois lotes, sem o uso de vibradores, da seguinte forma:

- em 08/09/2009: paredes Pd10-NA-1; Pd10-NA-2; Pd14-NA-1; Pd10-AR-1; Pd10-AR-2; Pd10-AR-3.
- em 27/10/2009: paredes Pd10-NA-3; Pd14-NA-2; Pd14-NA-3; Pd14-AR-1; Pd14-AR-2; Pd14-AR-3.

As dimensões efetivas (medidas) de cada painel estão relacionadas na Tabela A do Anexo A, observando-se que para cada tipo de medição (largura, altura ou espessura) foram feitas leituras em três posições, conforme está indicado nesta tabela.

Por ocasião das concretagens das paredes foram moldados corpos-de-prova de 10cm (diâmetro) x 20cm (altura), pela Lenc Laboratório, Engenharia e Consultoria, os quais foram utilizados para a determinação de tensão de ruptura e de módulo de deformação do concreto, considerando-se respectivamente dois e três corpos-de-prova para cada ensaio de parede.

3 INSTRUMENTAÇÃO E ENSAIOS

Antes da instalação nas fôrmas, três barras longitudinais da armadura de cada painel foram instrumentadas com extensômetros elétricos unidirecionais de 5,0mm, na posição à meia altura – Desenho 2, Foto 7. Posteriormente, após a desforma, uma das superfícies do concreto (a correspondente à face submetida a maior compressão) foi instrumentada com três extensômetros elétricos de 70,0mm, nas mesmas posições dos extensômetros das armaduras – Foto 4.

A movimentação do painel para a posição de ensaio foi feita com o uso de dispositivo apropriado (acoplado à placa metálica sobre a qual o painel foi concretado), lentamente, sem choques e mantendo o painel sempre na posição vertical.

Na posição de ensaio, o topo e a base dos painéis foram regularizados e nivelados com uma camada de gesso. Outra placa metálica rígida foi posicionada na face superior do painel, à qual foi aplicado carregamento excêntrico (excentricidade

igual a 1/6 da espessura da parede), linearmente distribuído por meio de dispositivo articulado – Desenho 1. Em seguida, o painel foi pintado a cal para melhor visualização de eventuais fissuras ou de outros danos durante os ensaios.

A instrumentação foi complementada com a instalação de um defletômetro com sensibilidade de 0,01mm, para medidas de deslocamentos horizontais à meia altura do painel – Foto 2.

Para a aplicação da carga foi utilizado um conjunto de cinco cilindros hidráulicos, com capacidade de 500kN cada um, acionados por bomba elétrica, com leituras feitas através de um manômetro de precisão. O conjunto referido foi calibrado na Máquina de Ensaio EDU400 para 4.000 kN, Certificado de Calibração nº 94.208-101 de 29/04/2009.

O carregamento foi aplicado de forma gradual, até a ruptura do painel ou até atingir a carga máxima de 1700kN, com intervalo de tempo entre as etapas de carregamento suficiente para a estabilização da leitura dos aparelhos de medida.

Em cada ensaio, foram realizados dois descarregamentos depois de atingidos determinados níveis de carga (conforme indicado nas Tabelas 1 a 12 / Anexo A), visando acomodação do painel montado. O carregamento foi aplicado em etapas, com incrementos de 100,0kN, sendo que em cada etapa foram feitas leituras nos equipamentos instalados (deformações específicas e deslocamentos) e feitas observações visuais, a fim de identificar eventual aparecimento de fissuras ou de outros danos.

Nas inspeções visuais realizadas antes do carregamento não foram constatados fissuras, deformações ou outros danos nos painéis.

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados obtidos nos ensaios dos painéis estão apresentados nas Tabelas 1 a 12 e Gráficos 1 a 12 do Anexo A. Nos Gráficos 13 e 14 encontram-se as

médias das deformações específicas, para cada um dos painéis, em função do carregamento aplicado. No Anexo D estão listados os resultados dos ensaios dos corpos-de-prova, realizados pela Lenc Laboratório, Engenharia e Consultoria nas mesmas datas dos ensaios das paredes.

Na tabela abaixo estão resumidas as cargas máximas aplicadas em cada ensaio, bem como as características do concreto (idade, tensão de ruptura e módulo de deformação).

Tabela 1 – Resumo dos resultados dos ensaios dos painéis de concreto

Data do ensaio (2009)	Idade (dias)	Parede		Corpo-de-prova	
		Painel	Carga Máxima (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de deformação Eci (GPa)
5/10	27	Pd10-NA-1	1700 ¹	36,6	25,0
6/10	28	Pd10-NA-2 ⁴	1700 ¹	36,8	25,1
7/10	29	Pd14-NA-1	1700 ¹	37,0	25,2
8/10	30	Pd10-AR-1	1700 ¹	37,4	25,4
9/10	31	Pd10-AR-2	1700 ¹	39,2	25,5
13/10	35	Pd10-AR-3	1700 ¹	39,6	26,7
3/11	7	Pd10-NA-3	1400 ²	24,2	– ³
4/11	8	Pd14-NA-2	1700 ¹	25,8	20,3
5/11	9	Pd14-NA-3	1700 ¹	27,4	20,9
6/11	10	Pd14-AR-3	1700 ¹	28,6	21,5
9/11	13	Pd14-AR-2	1700 ¹	29,4	22,1
10/11	14	Pd14-AR-1	1700 ¹	30,6	22,4

¹ Sem ocorrência de ruptura.

² Ocorrência de ruptura no topo do painel (ilustração na Foto 5) .

³ Ensaio não realizado.

⁴ Dano localizado na base do painel, na carga de 1700kN, com início de fissuração na carga de 1600kN (ilustração na Foto 6).

Note-se que para todos os painéis não foi observada a ocorrência de fissuração antes da aplicação da carga máxima, exceto para:

- painel Pd10-NA-3, ocorrência da ruptura localizada no topo do painel na carga de 1.400kN (Foto 5);
- painel Pd10-NA-2, ocorrência de dano localizado na base do painel, na carga de 1700kN (ilustração na Foto 6), com início de fissuração na carga de 1600kN.

São Paulo, 30 de novembro de 2009.

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS
DE INFRA- ESTRUTURA**
Seção de Vias Terrestres e Estruturas

Eng^a Me. Cristina Maria Ferreira da Silva
Responsável pela Seção
CREA 0601680371 – NRE 8178.6

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS
DE INFRA- ESTRUTURA**

Eng^a Dra. Gisleine Coelho de Campos
Diretora do Centro
CREA 0601948055 - RE nº 8195.0

EQUIPE TÉCNICA

Seção de Vias Terrestres e Estruturas

Cristina Maria Ferreira da Silva – Engenheira Civil, Me.

Roberto Katumi Nakaguma – Engenheiro Civil, Ph D, Consultor

Adeildo Brito da Silva – Técnico

Amauri César Rubio – Técnico

Carlos Antonio Martins Coelho – Técnico

Edivan Nogueira Batista – Técnico

Hugo Machado de Jesus – Técnico

Luís Carlos dos Santos – Técnico

Marcello Deciomio Garcia – Técnico

Noel Vieira Camacho – Técnico

Odaudi Martins Valério – Técnico

Rogério Luiz Bastos – Técnico

Ronecir Cirilo da Cruz – Técnico

Sebastião Carlos Crispin – Técnico

ANEXO A

TABELAS E GRÁFICOS

Tabela A – Dimensões dos painéis de parede ensaiados

Painéis	Largura (mm)				Altura (mm)				Espessura (mm)			
	Inferior	Meio	Superior	Média	Esquerda	Meio	Direita	Média	Inferior*	Meio*	Superior*	Média
Pd10-NA-1	1015	1018	1017	1017	2706	2705	2705	2705	108	106	102	105
Pd10-NA-2	1008	1006	1008	1007	2703	2705	2705	2704	116	110	102	110
Pd10-NA-3	1017	1014	1014	1015	2710	2710	2712	2711	108	103	101	104
Pd10-AR-1	1009	1007	1000	1005	2708	2706	2707	2707	105	106	105	106
Pd10-AR-2	1005	1005	1002	1004	2709	2709	2708	2709	105	105	102	104
Pd10-AR-3	1005	1001	1002	1003	2708	2709	2707	2708	107	107	105	106
Pd14-NA-1	1028	1015	1015	1019	2707	2706	2706	2706	149	147	143	146
Pd14-NA-2	1020	1010	1018	1016	2705	2707	2709	2707	150	146	142	146
Pd14-NA-3	1018	1015	1013	1015	2709	2708	2711	2709	147	144	141	144
Pd14-AR-1	1013	1014	1017	1015	2708	2705	2702	2705	144	142	139	142
Pd14-AR-2	1008	1010	1002	1007	2708	2708	2707	2708	147	145	140	144
Pd14-AR-3	1000	1005	1001	1002	2710	2710	2711	2710	145	145	142	144

* Em cada uma das linhas de medição (inferior, meio, superior) tomou-se a média das medidas de espessura nas duas alturas laterais do painel.

Tabela 1 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd10-NA-1

Data: 05/10/09

Idade: 27 dias (36,6MPa; 25,0GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deslocamento ¹ (mm)	Observação
0	0	0,00	-
1	100	0,45	-
2	200	0,54	-
3	300	0,48	-
4	100	0,29	-
5	200	0,32	-
6	300	0,44	-
7	400	0,58	-
8	100	0,28	-
9	200	0,30	-
10	300	0,42	-
11	400	0,57	-
12	500	0,76	-
13	600	0,85	-
14	700	0,93	-
15	800	1,03	-
16	900	1,10	-
17	1000	1,22	-
18	1100	1,32	-
19	1200	1,48	-
20	1300	1,70	-
21	1400	2,15	-
22	1500	2,62	-
23	1600	3,23	-
24	1700	4,10	-
25	0	-0,56	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

Tabela 2 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd10-NA-2

Data: 06/10/09

Idade: 28 dias (36,8MPa; 25,1GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deslocamento ¹ (mm)	Observação
0	0	0,00	-
1	100	0,78	-
2	200	0,70	-
3	300	0,52	-
4	100	0,70	-
5	200	0,60	-
6	300	0,54	-
7	400	0,46	-
8	100	0,61	-
9	200	0,48	-
10	300	0,46	-
11	400	0,46	-
12	500	0,44	-
13	600	0,48	-
14	700	0,48	-
15	800	0,45	-
16	900	0,45	-
17	1000	0,45	-
18	1100	0,50	-
19	1200	0,57	-
20	1300	0,67	-
21	1400	0,84	-
22	1500	1,01	-
23	1600	1,27	-
24	1700	1,62	-
25	27,30	1,11	-
26	0	0,69	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

Tabela 3 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd10-NA-3

Data: 03/11/09

Idade: 7 dias (24,2MPa; –)

Etapa	Carga (kN)	Deslocamento ¹ (mm)	Observação
0	0	0,00	-
1	100	-1,10	-
2	200	-1,26	-
3	300	-1,37	-
4	100	-1,36	-
5	200	-1,35	-
6	300	-1,34	-
7	400	-1,27	-
8	100	-1,33	-
9	200	-1,31	-
10	300	-1,29	-
11	400	-1,25	-
12	500	-1,22	-
13	600	-1,19	-
14	700	-1,12	-
15	800	-1,01	-
16	900	-0,84	-
17	1000	-0,53	-
18	1100	-0,13	-
19	1200	0,46	-
20	1300	1,15	-
21	1400	-	Ruptura

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

Tabela 4 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd10-AR-1

Data: 08/10/09

Idade: 30 dias (37,4MPa; 25,4GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deformação específica ² na armadura (10 ⁻⁶)				Deformação específica ² no concreto (10 ⁻⁶)				Deslocamento ¹ (mm)	Observação
		EA1	EA2	EA3	Média	EC1	EC2	EC3	Média	D	
0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,00	-
1	100	36	39	39	38,0	36	36	50	40,7	-0,99	-
2	200	74	73	59	68,7	91	78	86	85,0	-1,03	-
3	300	116	109	89	104,7	139	133	134	135,3	-1,10	-
4	100	52	53	55	53,3	69	65	65	66,3	-1,14	-
5	200	82	78	82	80,7	103	85	100	96,0	-1,13	-
6	300	120	115	112	115,7	144	133	137	138,0	-1,12	-
7	400	160	145	146	150,3	199	181	179	186,3	-1,13	-
8	100	59	52	54	55,0	74	61	74	69,7	-1,19	-
9	200	86	88	87	87,0	101	99	108	102,7	-1,20	-
10	300	127	123	121	123,7	160	148	148	152,0	-1,18	-
11	400	165	157	144	155,3	202	194	187	194,3	-1,14	-
12	500	206	198	184	196,0	258	219	230	235,7	-1,11	-
13	600	248	231	207	228,7	320	280	267	289,0	-1,05	-
14	700	302	275	234	270,3	372	342	319	344,3	-0,99	-
15	800	354	319	284	319,0	455	393	370	406,0	-0,93	-
16	900	401	364	321	362,0	520	459	418	465,7	-0,84	-
17	1000	460	412	364	412,0	600	521	477	532,7	-0,71	-
18	1100	511	455	390	452,0	674	590	539	601,0	-0,54	-
19	1200	574	510	439	507,7	767	669	609	681,7	-0,33	-
20	1300	614	560	492	555,3	822	739	670	743,7	-0,13	-
21	1400	670	605	519	598,0	932	820	741	831,0	0,13	-
22	1500	741	666	590	665,7	1050	919	838	935,7	0,50	-
23	1600	808	718	627	717,7	1146	1026	932	1034,7	0,91	-
24	1700	864	769	663	765,3	1280	1122	1025	1142,3	1,33	-
25	100	224	198	170	197,3	346	289	266	300,3	-0,23	-
26	0	169	145	100	138,0	275	213	190	226,0	-0,17	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

² Deformação específica na armadura e no concreto – valor positivo indica encurtamento.

Tabela 5 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd10-AR-2

Data: 09/10/09

Idade: 31 dias (39,2MPa; 25,5GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deformação específica ² na armadura (10 ⁻⁶)				Deformação específica ² no concreto (10 ⁻⁶)				Deslocamento ¹ (mm)	Observação
		EA1	EA2	EA3	Média	EC1	EC2	EC3	Média	D	
0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	-
1	100	50	39	53	47,3	37	30	45	37,3	-0,4	-
2	200	86	69	97	84,0	84	65	86	78,3	-0,5	-
3	300	120	111	130	120,3	134	105	127	122,0	-0,4	-
4	100	40	34	66	46,7	52	33	48	44,3	-0,4	-
5	200	100	85	87	90,7	92	67	79	79,3	-0,4	-
6	300	120	118	130	122,7	133	115	135	127,7	-0,4	-
7	400	160	148	176	161,3	181	150	177	169,3	-0,3	-
8	100	38	55	79	57,3	68	35	66	56,3	-0,4	-
9	200	101	85	81	89,0	99	78	99	92,0	-0,4	-
10	300	142	113	139	131,3	137	112	142	130,3	-0,4	-
11	400	179	157	148	161,3	174	172	186	177,3	-0,3	-
12	500	225	197	188	203,3	246	221	231	232,7	-0,2	-
13	600	265	230	245	246,7	288	255	271	271,3	-0,2	-
14	700	322	290	289	300,3	366	329	334	343,0	-0,1	-
15	800	371	321	330	340,7	430	386	388	401,3	0,0	-
16	900	426	367	372	388,3	499	449	444	464,0	0,2	-
17	1000	450	406	415	423,7	559	514	507	526,7	0,3	-
18	1100	563	450	470	494,3	644	593	582	606,3	0,6	-
19	1200	591	513	510	538,0	724	655	654	677,7	0,8	-
20	1300	644	542	550	578,7	815	730	730	758,3	1,1	-
21	1400	709	599	610	639,3	922	799	826	849,0	1,5	-
22	1500	758	670	650	692,7	1019	930	910	953,0	1,9	-
23	1600	828	729	720	759,0	1148	1044	1026	1072,7	2,5	-
24	1700	881	764	761	802,0	1248	1157	1133	1179,3	3,0	-
25	100	250	195	210	218,3	328	303	302	311,0	1,0	-
26	0	182	136	151	156,3	266	160	219	215,0	0,6	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

² Deformação específica na armadura e no concreto – valor positivo indica encurtamento.

Tabela 6 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd10-AR-3

Data: 13/10/09

Idade: 35 dias (39,6MPa; 26,7GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deformação específica ² na armadura (10 ⁻⁶)				Deformação específica ² no concreto (10 ⁻⁶)				Deslocamento ¹ (mm)	Observação
		EA1	EA2	EA3	Média	EC1	EC2	EC3	Média	D	
0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	-
1	100	26	31	40	32,3	48	48	68	54,7	-0,3	-
2	200	56	64	76	65,3	92	91	115	99,3	-0,2	-
3	300	92	96	110	99,3	137	135	172	148,0	0,0	-
4	100	39	43	53	45,0	67	67	95	76,3	-0,1	-
5	200	61	64	80	68,3	98	98	133	109,7	-0,1	-
6	300	89	97	113	99,7	137	134	175	148,7	0,0	-
7	400	126	129	142	132,3	180	176	215	190,3	0,1	-
8	100	43	50	55	49,3	75	73	103	83,7	0,0	-
9	200	65	70	85	73,3	105	104	137	115,3	0,0	-
10	300	98	104	120	107,3	146	143	182	157,0	0,0	-
11	400	129	137	148	138,0	184	181	219	194,7	0,1	-
12	500	165	167	180	170,7	231	222	260	237,7	0,1	-
13	600	205	202	218	208,3	285	271	306	287,3	0,2	-
14	700	244	241	253	246,0	337	316	353	335,3	0,2	-
15	800	286	279	284	283,0	393	366	399	386,0	0,3	-
16	900	328	318	327	324,3	453	419	451	441,0	0,4	-
17	1000	374	361	360	365,0	518	478	509	501,7	0,6	-
18	1100	418	398	404	406,7	584	536	564	561,3	0,8	-
19	1200	463	442	444	449,7	654	593	630	625,7	1,0	-
20	1300	511	483	488	494,0	727	666	694	695,7	1,2	-
21	1400	558	527	528	537,7	806	739	770	771,7	1,5	-
22	1500	606	570	573	583,0	894	815	844	851,0	1,8	-
23	1600	653	616	611	626,7	985	898	926	936,3	2,2	-
24	1700	709	663	660	677,3	1097	999	1026	1040,7	2,7	-
25	100	150	143	145	146,0	275	243	270	262,7	1,2	-
26	0	104	94	91	96,3	191	159	185	178,3	0,8	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

² Deformação específica na armadura e no concreto – valor positivo indica encurtamento.

Tabela 7 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd14-NA-1

Data: 07/10/09

Idade: 29 dias (37,0MPa; 25,2GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deslocamento ¹ (mm)	Observação
0	0	0,00	-
1	100	-0,18	-
2	200	-0,08	-
3	300	0,43	-
4	100	0,42	-
5	200	0,41	-
6	300	0,48	-
7	400	0,70	-
8	100	0,61	-
9	200	0,60	-
10	300	0,64	-
11	400	0,72	-
12	500	0,76	-
13	600	0,79	-
14	700	0,83	-
15	800	0,89	-
16	900	0,94	-
17	1000	1,02	-
18	1100	1,08	-
19	1200	1,19	-
20	1300	1,27	-
21	1400	1,38	-
22	1500	1,51	-
23	1600	1,63	-
24	1700	1,84	-
25	27,30	1,17	-
26	0	2,42	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

Tabela 8 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd14-NA-2

Data: 04/11/09

Idade: 8 dias (25,8MPa; 20,3GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deslocamento ¹ (mm)	Observação
0	0	0,00	-
1	100	-0,19	-
2	200	-0,19	-
3	300	0,02	-
4	100	-0,03	-
5	200	-0,03	-
6	300	0,04	-
7	400	0,21	-
8	100	0,15	-
9	200	0,17	-
10	300	0,17	-
11	400	0,24	-
12	500	0,27	-
13	600	0,30	-
14	700	0,34	-
15	800	0,40	-
16	900	0,45	-
17	1000	0,53	-
18	1100	0,62	-
19	1200	0,71	-
20	1300	0,87	-
21	1400	1,01	-
22	1500	1,17	-
23	1600	1,39	-
24	1700	1,63	-
25	100	0,97	-
26	0	1,28	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

Tabela 9 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd14-NA-3

Data: 05/11/09

Idade: 9 dias (27,4MPa; 20,9GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deslocamento ¹ (mm)	Observação
0	0	0,00	-
1	100	-0,23	-
2	200	-0,29	-
3	300	-0,32	-
4	100	-0,27	-
5	200	-0,30	-
6	300	-0,34	-
7	400	-0,32	-
8	100	-0,24	-
9	200	-0,25	-
10	300	-0,30	-
11	400	-0,32	-
12	500	-0,26	-
13	600	-0,15	-
14	700	-0,05	-
15	800	0,03	-
16	900	0,14	-
17	1000	0,24	-
18	1100	0,39	-
19	1200	0,53	-
20	1300	0,67	-
21	1400	0,83	-
22	1500	1,02	-
23	1600	1,22	-
24	1700	1,46	-
25	100	0,71	-
26	0	0,09	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

Tabela 10 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd14-AR-1

Data: 10/11/09

Idade: 14 dias (30,6MPa; 22,4GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deformação específica ² na armadura (10 ⁻⁶)				Deformação específica ² no concreto (10 ⁻⁶)				Deslocamento ¹ (mm)	Observação
		EA1	EA2	EA3	Média	EC1	EC2	EC3	Média		
0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	-
1	100	25	35	30	30,0	15	15	20	16,7	1,6	-
2	200	55	65	65	61,7	30	50	35	38,3	1,5	-
3	300	90	100	100	96,7	60	75	70	68,3	1,5	-
4	100	45	50	50	48,3	20	30	25	25,0	1,6	-
5	200	60	70	70	66,7	35	55	45	45,0	1,5	-
6	300	100	105	100	101,7	60	8	70	70,0	1,5	-
7	400	130	150	135	138,3	85	110	100	98,3	1,5	-
8	100	45	60	55	53,3	20	30	30	26,7	1,7	-
9	200	65	80	80	75,0	35	50	50	45,0	1,7	-
10	300	100	110	110	106,7	60	80	75	71,7	1,6	-
11	400	130	150	130	136,7	90	110	100	100,0	1,5	-
12	500	175	175	170	173,3	115	140	130	128,3	1,5	-
13	600	210	210	210	210,0	150	175	150	158,3	1,4	-
14	700	255	250	235	246,7	185	235	180	200,0	1,3	-
15	800	295	290	270	285,0	220	255	210	228,3	1,2	-
16	900	350	330	300	326,7	260	310	250	273,3	1,2	-
17	1000	400	380	360	380,0	315	360	300	325,0	1,2	-
18	1100	435	410	380	408,3	350	400	330	360,0	1,3	-
19	1200	475	450	410	445,0	395	450	375	406,7	1,3	-
20	1300	530	500	450	493,3	445	500	415	453,3	1,4	-
21	1400	575	550	500	541,7	510	550	460	506,7	1,5	-
22	1500	625	595	540	586,7	555	605	515	558,3	1,6	-
23	1600	670	640	580	630,0	610	660	560	610,0	1,8	-
24	1700	730	690	625	681,7	665	720	610	665,0	2,0	-
25	100	150	160	135	148,3	140	135	110	128,3	2,2	-
26	0	100	95	80	91,7	90	100	75	88,3	-0,6	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

² Deformação específica na armadura e no concreto – valor positivo indica encurtamento.

Tabela 11 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd14-AR2

Data: 09/11/09

Idade: 13 dias (29,4MPa; 22,1GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deformação específica ² na armadura (10 ⁻⁶)				Deformação específica ² no concreto (10 ⁻⁶)				Deslocamento ¹ (mm)	Observação
		EA1	EA2	EA3	Média	EC1	EC2	EC3	Média	D	
0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	-
1	100	45	35	35	38,3	40	40	40	40,0	0,0	-
2	200	60	65	60	61,7	85	75	75	78,3	0,0	-
3	300	100	100	100	100,0	130	110	110	116,7	-0,1	-
4	100	40	40	45	41,7	65	55	55	58,3	0,1	-
5	200	70	70	75	71,7	100	85	85	90,0	0,0	-
6	300	110	100	100	103,3	135	1	115	121,7	0,0	-
7	400	135	140	135	136,7	180	160	150	163,3	-0,1	-
8	100	55	50	50	51,7	70	60	60	63,3	0,1	-
9	200	70	75	80	75,0	105	90	90	95,0	0,0	-
10	300	100	105	110	105,0	145	130	130	135,0	0,0	-
11	400	140	140	140	140,0	185	165	160	170,0	-0,1	-
12	500	180	175	170	175,0	230	200	190	206,7	-0,2	-
13	600	210	210	205	208,3	275	235	225	245,0	-0,3	-
14	700	250	250	240	246,7	320	275	260	285,0	-0,4	-
15	800	290	290	270	283,3	370	320	290	326,7	-0,5	-
16	900	345	335	310	330,0	430	370	340	380,0	-0,5	-
17	1000	385	375	340	366,7	485	420	390	431,7	-0,5	-
18	1100	430	420	380	410,0	550	470	440	486,7	-0,4	-
19	1200	470	455	420	448,3	610	540	490	546,7	-0,3	-
20	1300	520	510	450	493,3	675	595	550	606,7	-0,2	-
21	1400	560	550	500	536,7	745	655	600	666,7	0,0	-
22	1500	600	590	530	573,3	810	715	660	728,3	0,1	-
23	1600	650	630	575	618,3	885	780	725	796,7	0,3	-
24	1700	700	685	615	666,7	970	860	800	876,7	0,6	-
25	100	140	150	130	140,0	230	205	185	206,7	0,6	-
26	0	90	95	85	90,0	150	130	115	131,7	0,2	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

² Deformação específica na armadura e no concreto – valor positivo indica encurtamento.

Tabela 12 – Ensaio de compressão excêntrica – Pd14-AR-3

Data: 06/11/09

Idade: 10 dias (28,6MPa; 21,5GPa)

Etapa	Carga (kN)	Deformação específica ² na armadura (10 ⁻⁶)				Deformação específica ² no concreto (10 ⁻⁶)				Deslocamento ¹ (mm)	Observação
		EA1	EA2	EA3	Média	EC1	EC2	EC3	Média	D	
0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	-
1	100	20	30	30	26,7	30	30	30	30,0	-0,01	-
2	200	50	65	60	58,3	65	70	70	68,3	-0,02	-
3	300	90	95	100	95,0	105	115	115	111,7	-0,06	-
4	100	40	45	50	45,0	45	50	50	48,3	-0,01	-
5	200	60	70	70	66,7	70	75	80	75,0	-0,04	-
6	300	90	100	100	96,7	110	115	115	115,0	-0,06	-
7	400	130	135	130	131,7	150	160	155	155,0	-0,07	-
8	100	40	50	50	46,7	50	55	60	55,0	-0,02	-
9	200	65	70	80	71,7	80	90	90	86,7	-0,05	-
10	300	100	105	110	105,0	125	135	130	130,0	-0,07	-
11	400	130	130	135	131,7	160	170	160	163,3	-0,08	-
12	500	170	165	160	165,0	200	210	200	203,3	-0,07	-
13	600	215	205	190	203,3	260	260	235	251,7	-0,04	-
14	700	255	240	225	240,0	310	310	275	298,3	0,00	-
15	800	300	280	250	276,7	370	360	310	346,7	0,05	-
16	900	350	310	285	315,0	425	405	355	395,0	0,13	-
17	1000	400	350	320	356,7	490	465	405	453,3	0,25	-
18	1100	440	390	350	393,3	550	520	450	506,7	0,38	-
19	1200	480	430	390	433,3	610	580	510	566,7	0,52	-
20	1300	530	465	430	475,0	670	630	560	620,0	0,69	-
21	1400	570	510	460	513,3	740	700	615	685,0	0,88	-
22	1500	620	550	500	556,7	805	760	670	745,0	1,09	-
23	1600	670	600	545	605,0	880	830	730	813,3	1,35	-
24	1700	725	640	585	650,0	970	910	805	895,0	1,64	-
25	100	150	140	130	140,0	210	210	190	203,3	0,83	-
26	0	100	85	75	86,7	150	140	125	138,3	0,62	-

¹ Deslocamento horizontal a meia altura do painel – valor positivo indica movimento no sentido oposto à excentricidade do carregamento.

² Deformação específica na armadura e no concreto – valor positivo indica encurtamento.

Gráfico 1

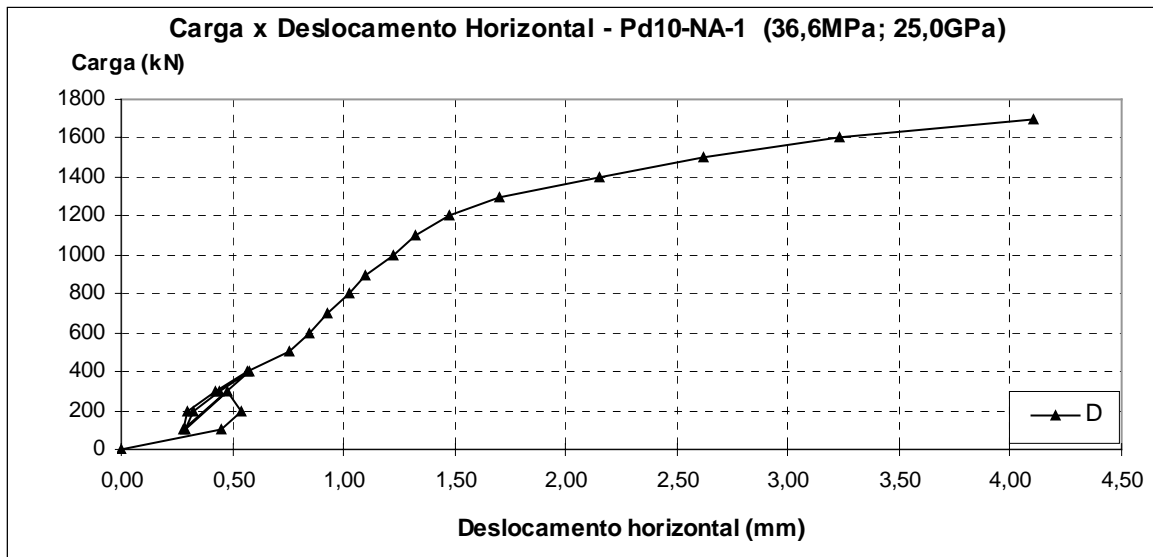


Gráfico 2

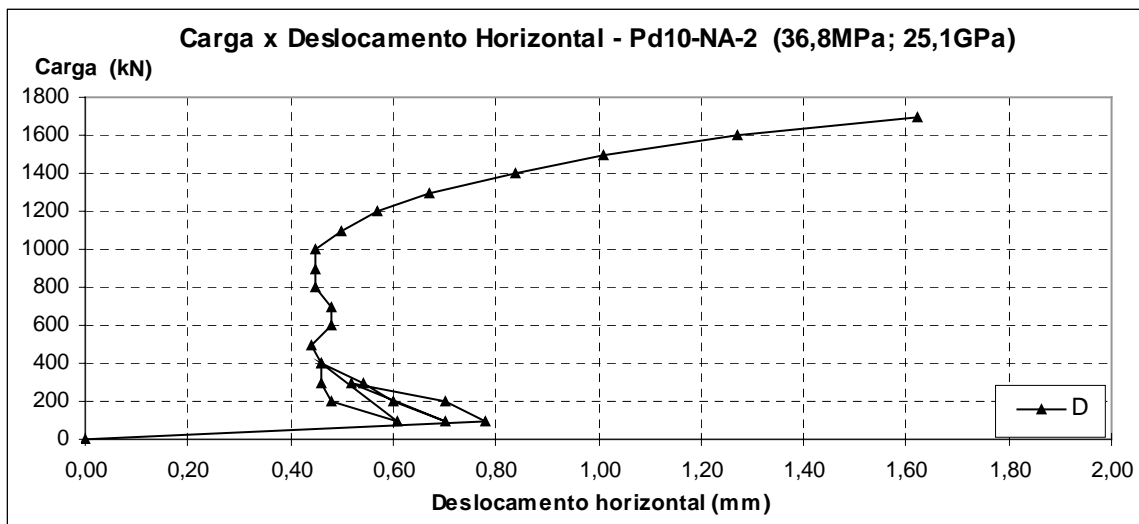


Gráfico 3

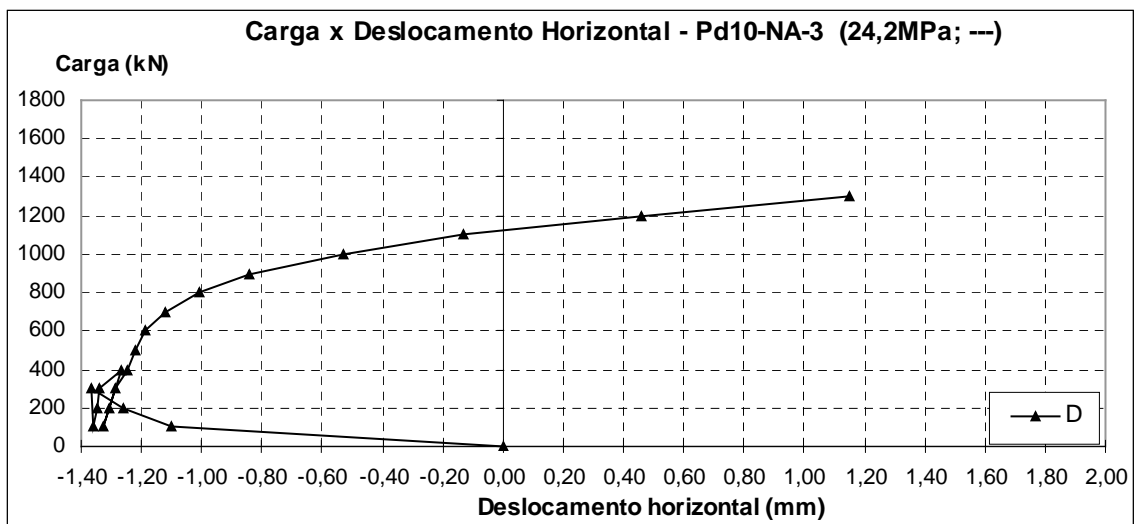


Gráfico 4a

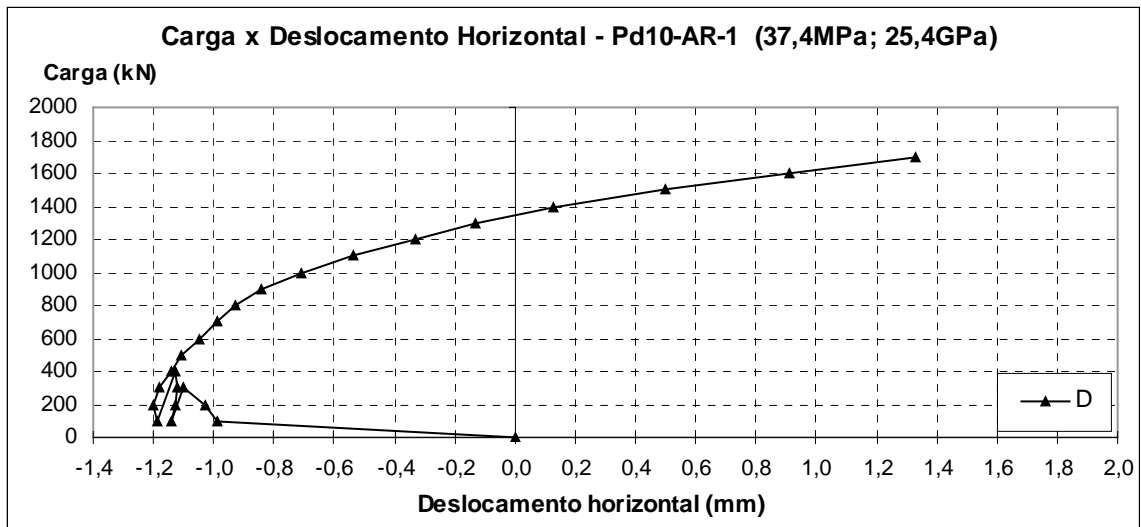


Gráfico 4b

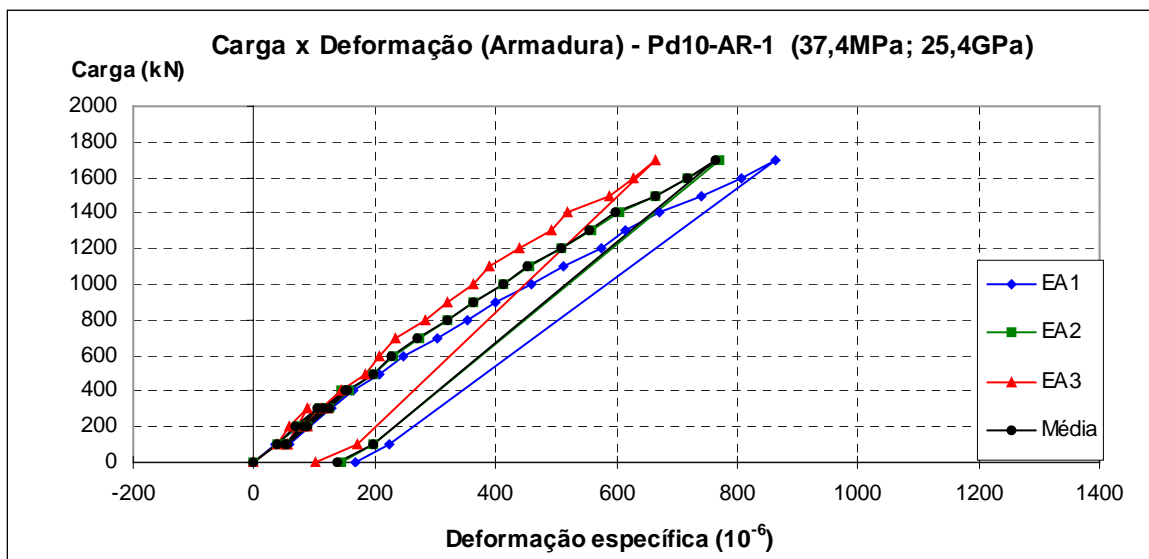


Gráfico 4c

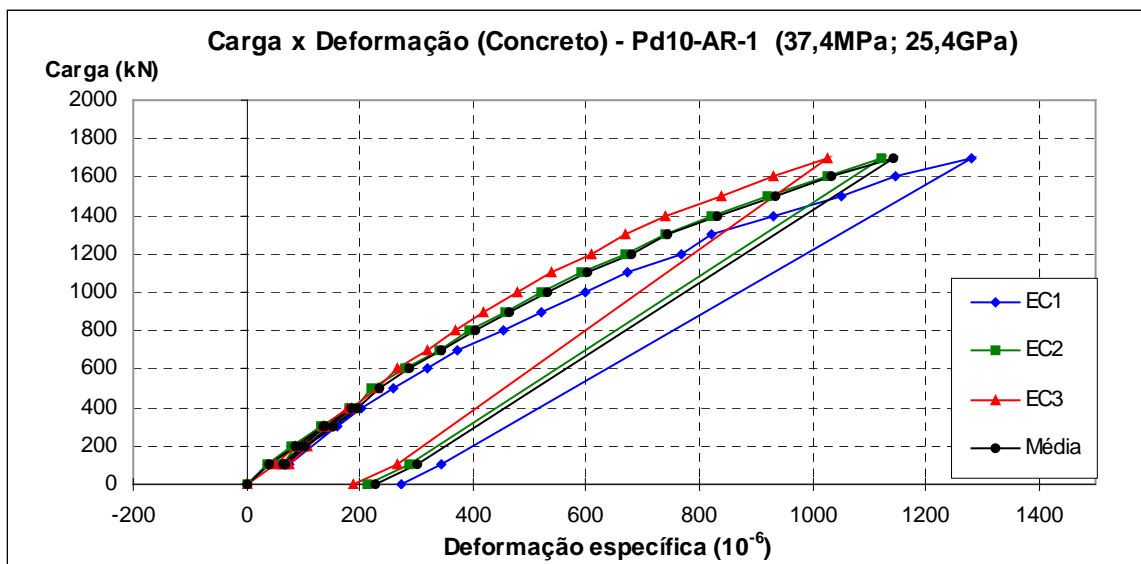


Gráfico 5a

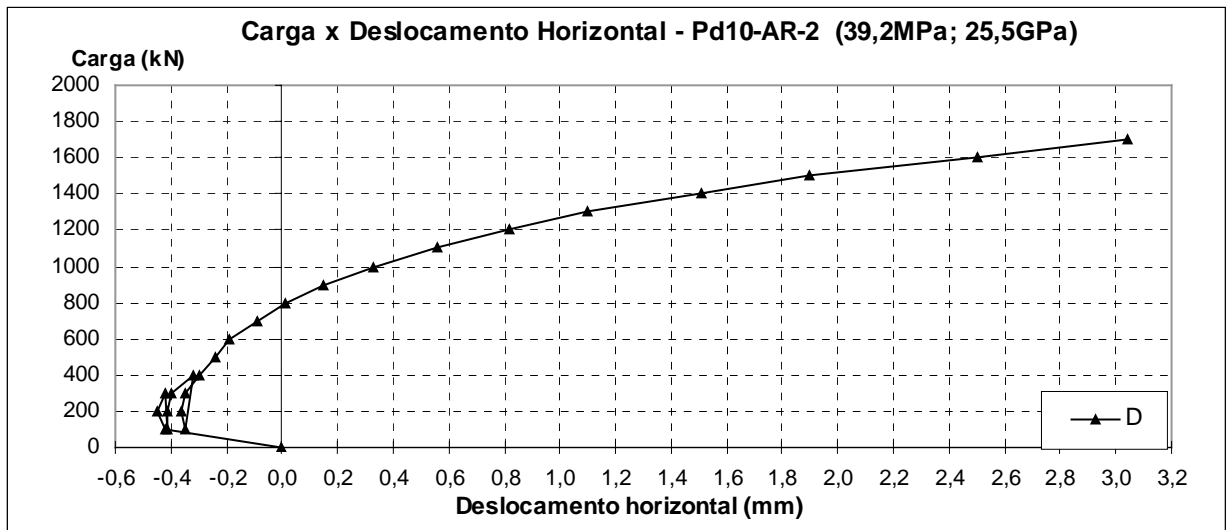


Gráfico 5b

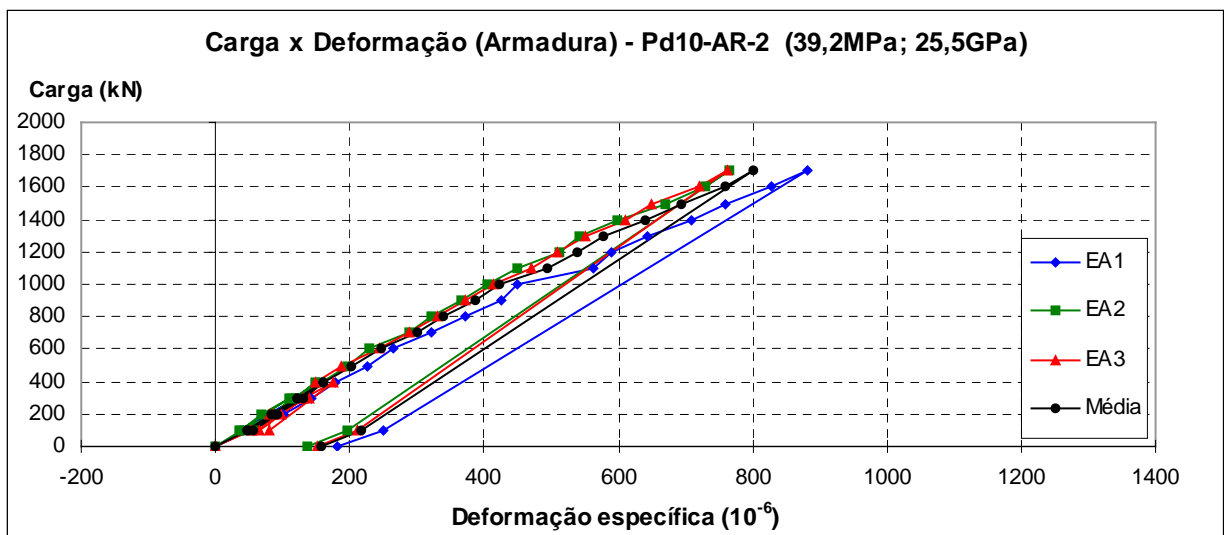


Gráfico 5c

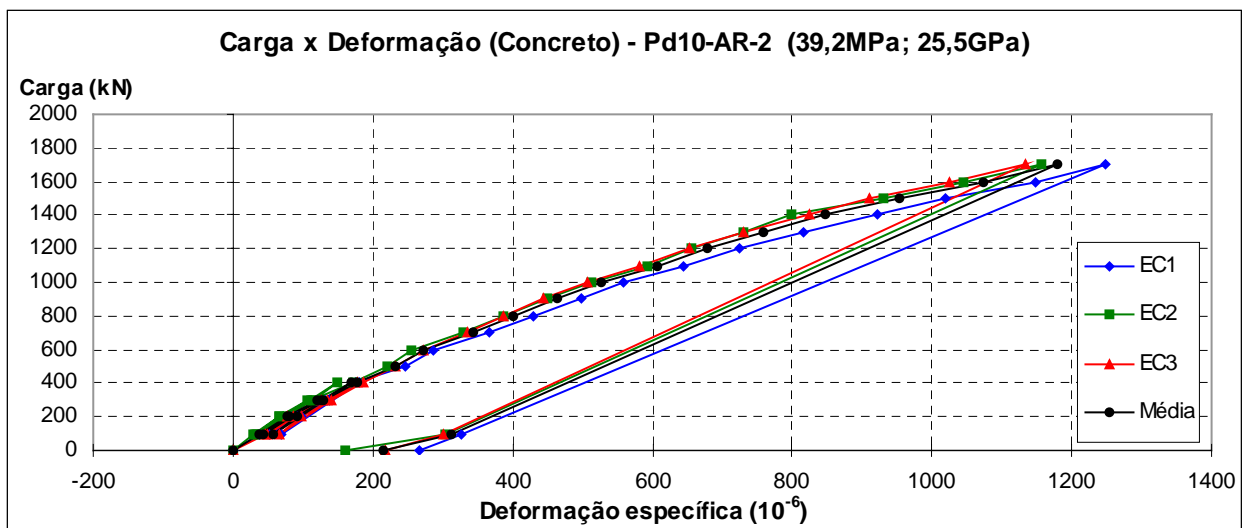


Gráfico 6a

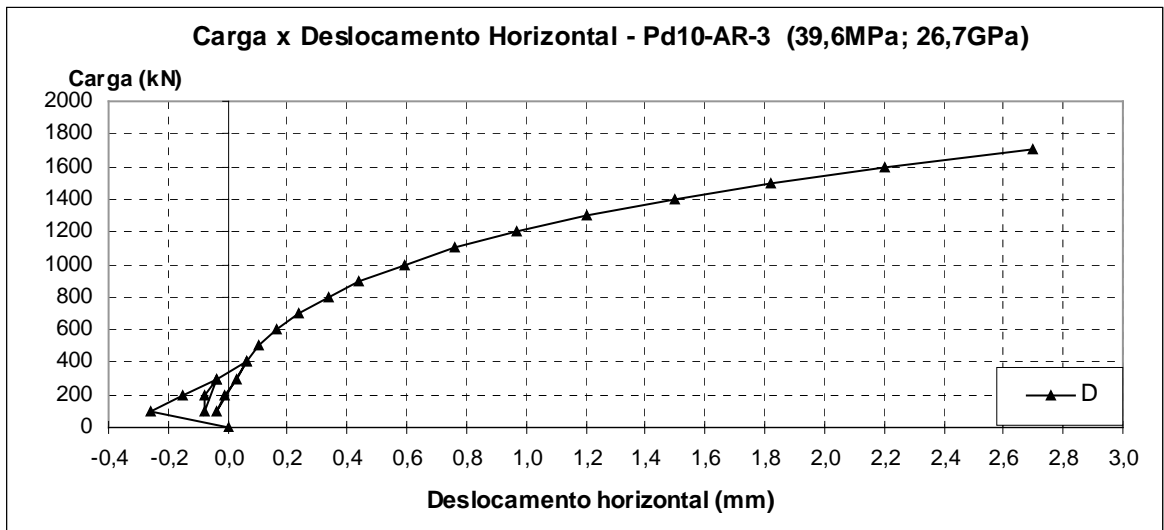


Gráfico 6b

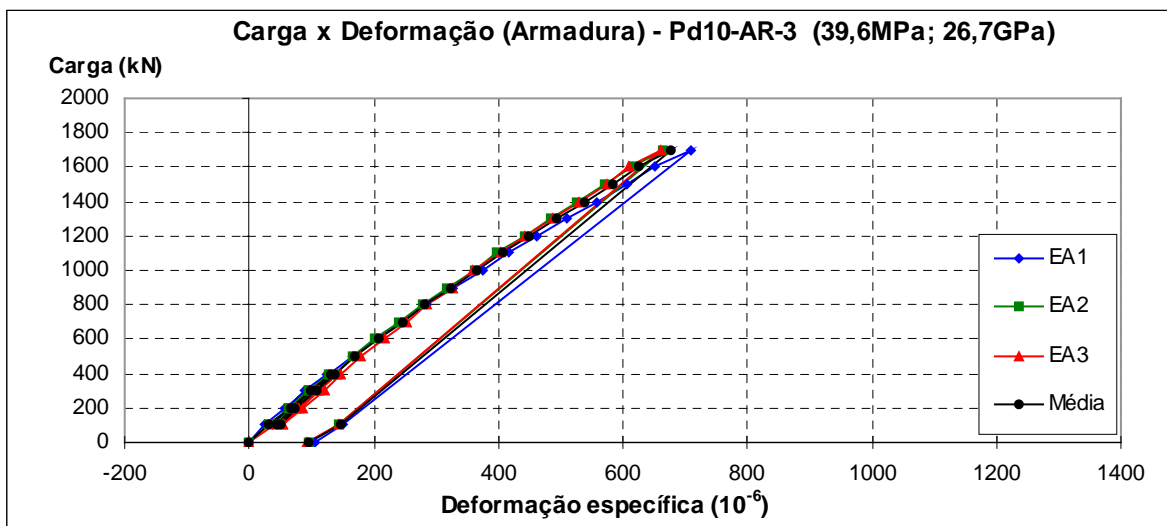


Gráfico 6c

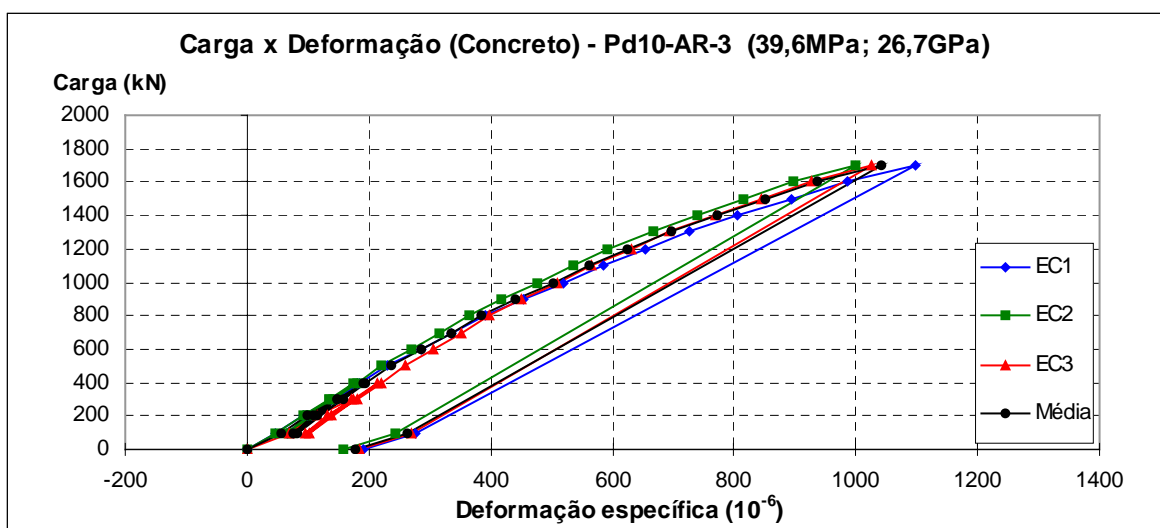


Gráfico 7

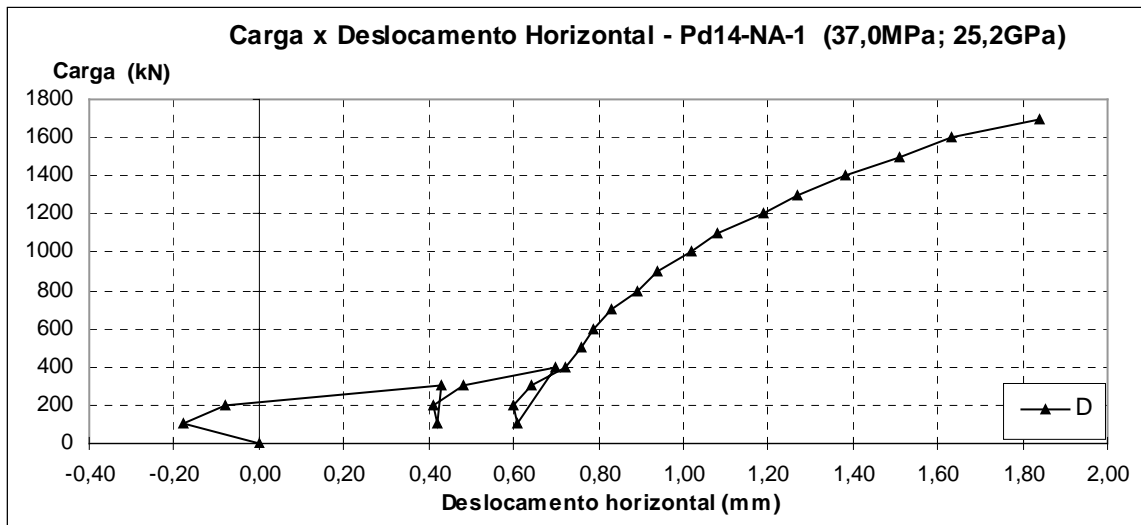


Gráfico 8

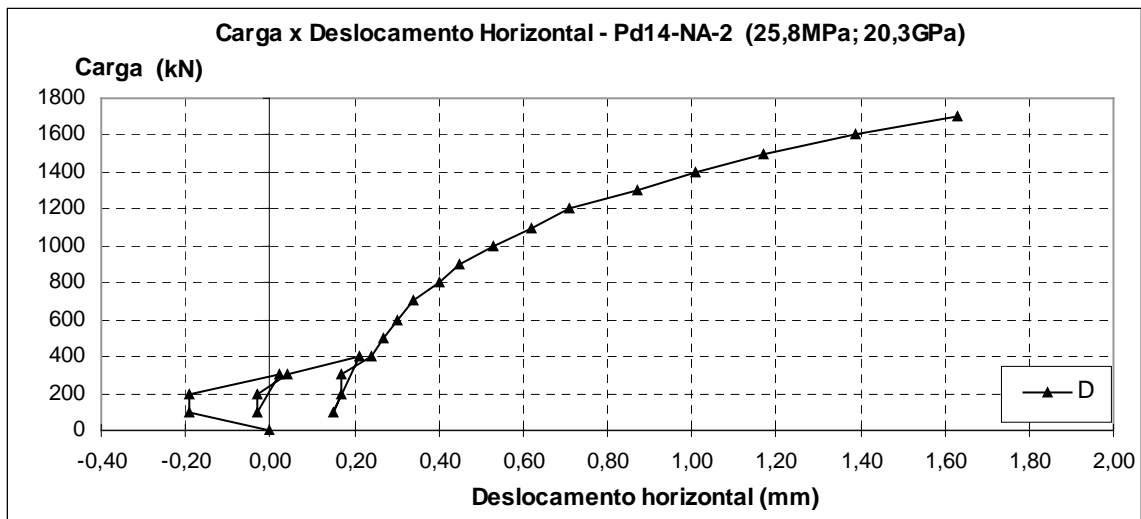


Gráfico 9

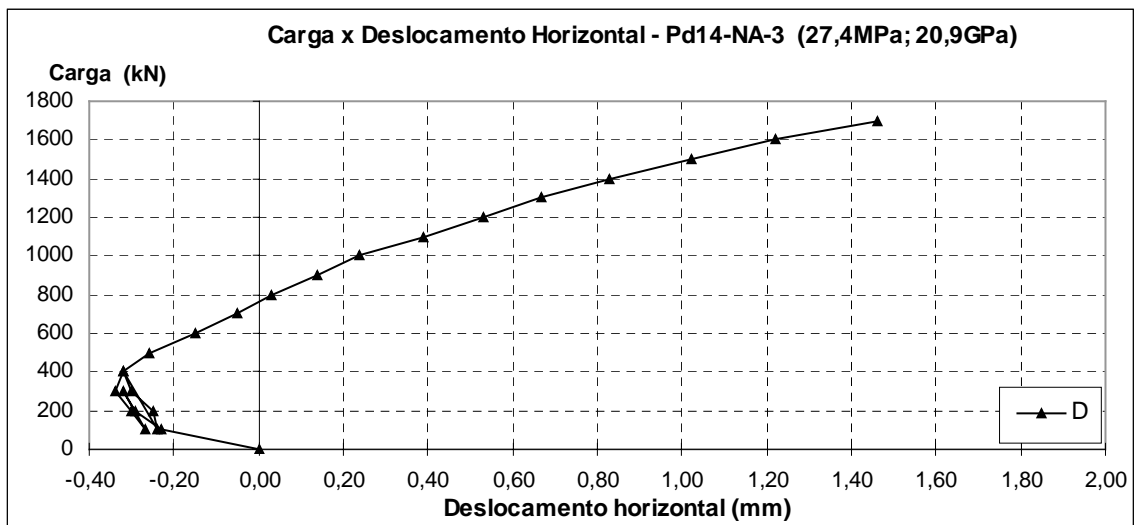


Gráfico 10a

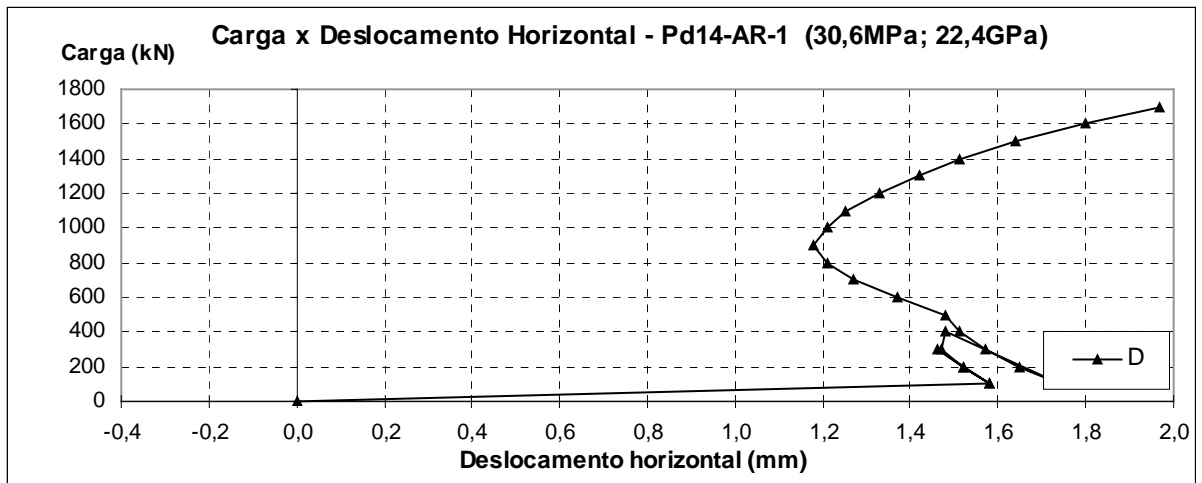


Gráfico 10b

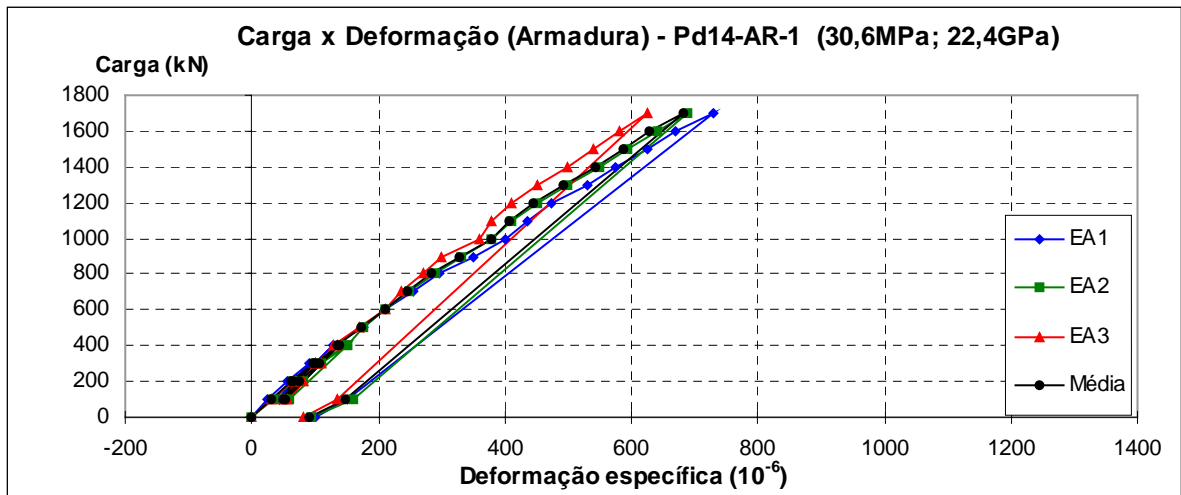


Gráfico 10c

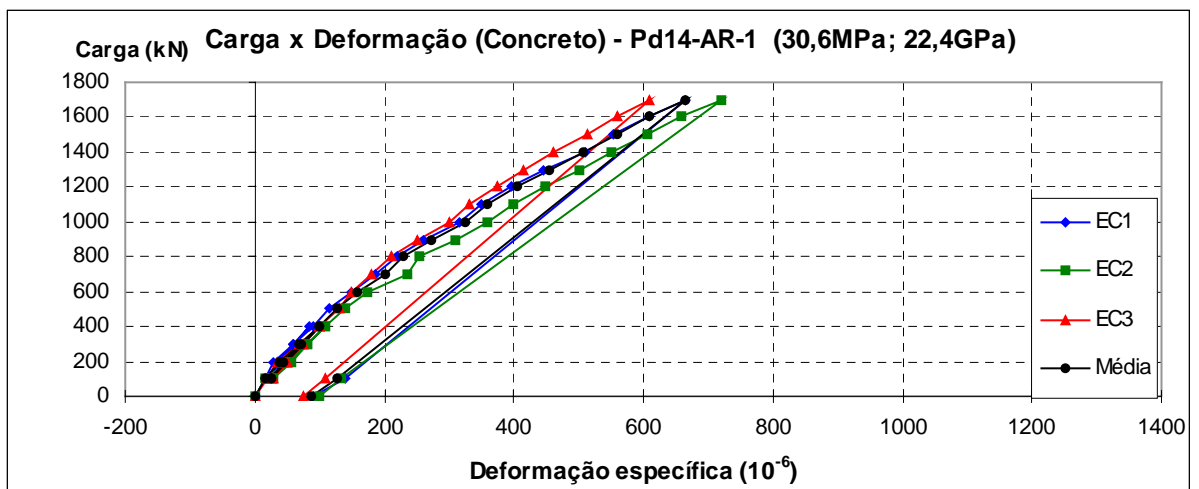


Gráfico 11a

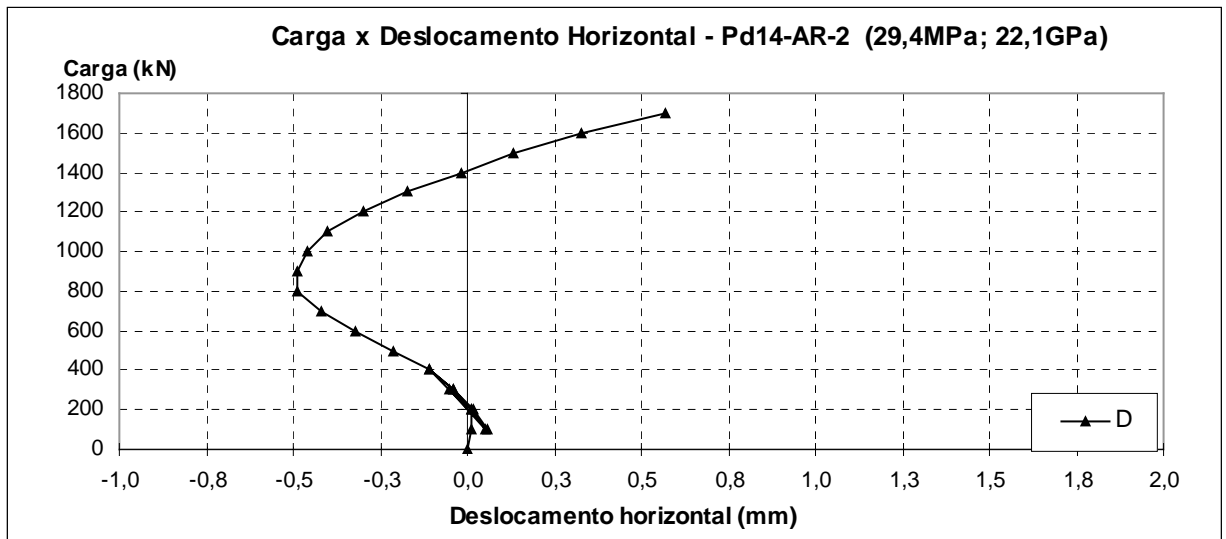


Gráfico 11b

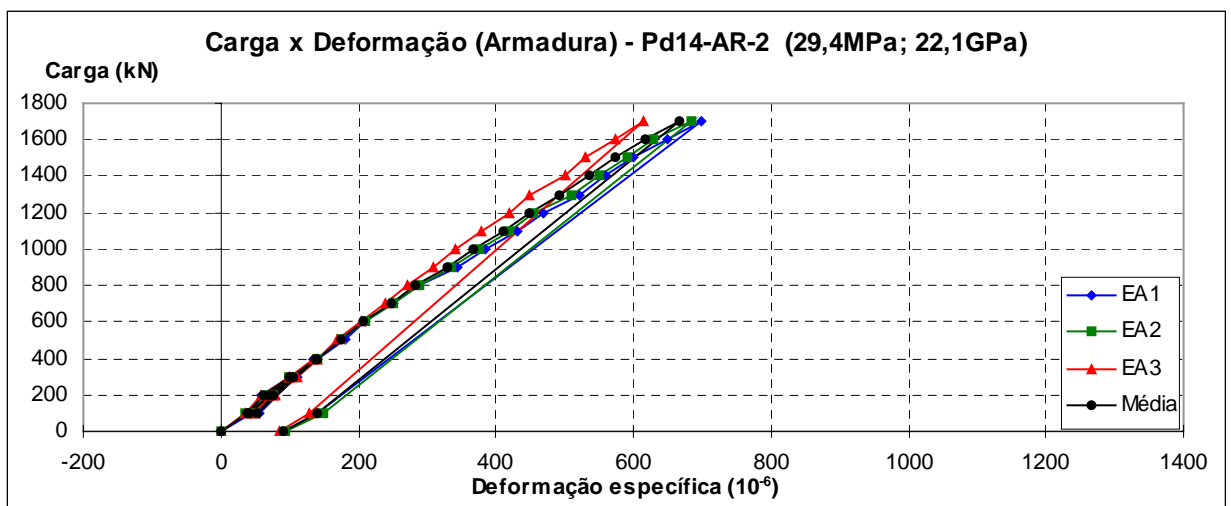


Gráfico 11c

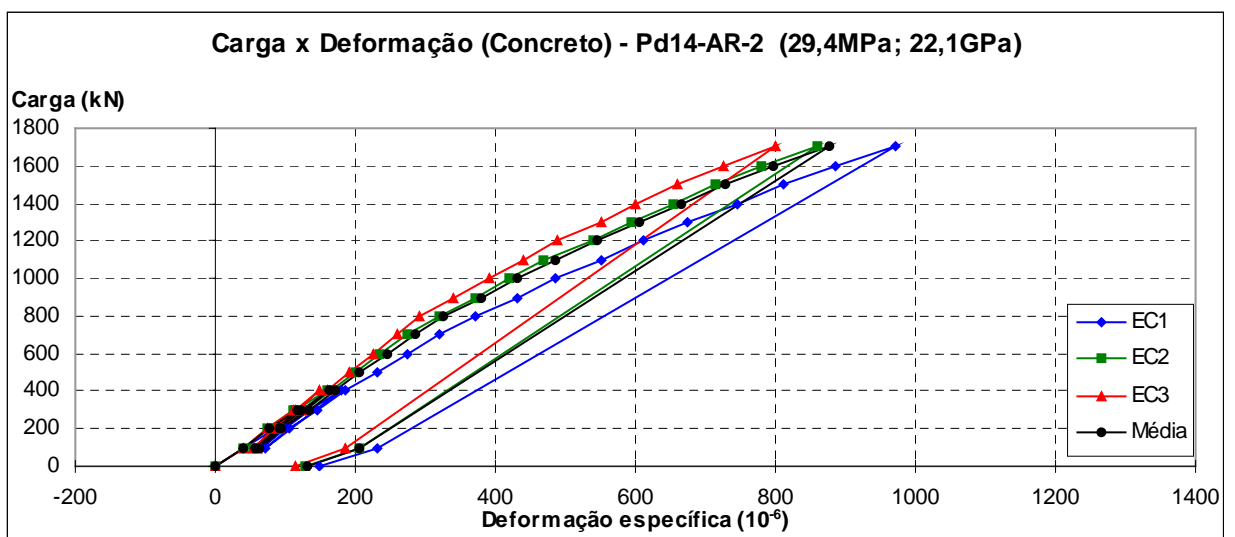


Gráfico 12a

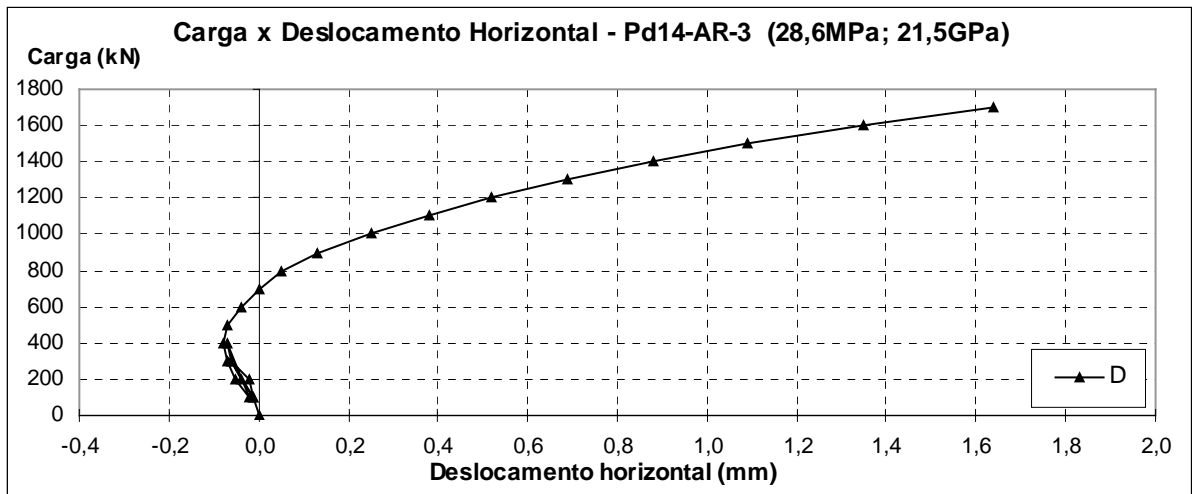


Gráfico 12b

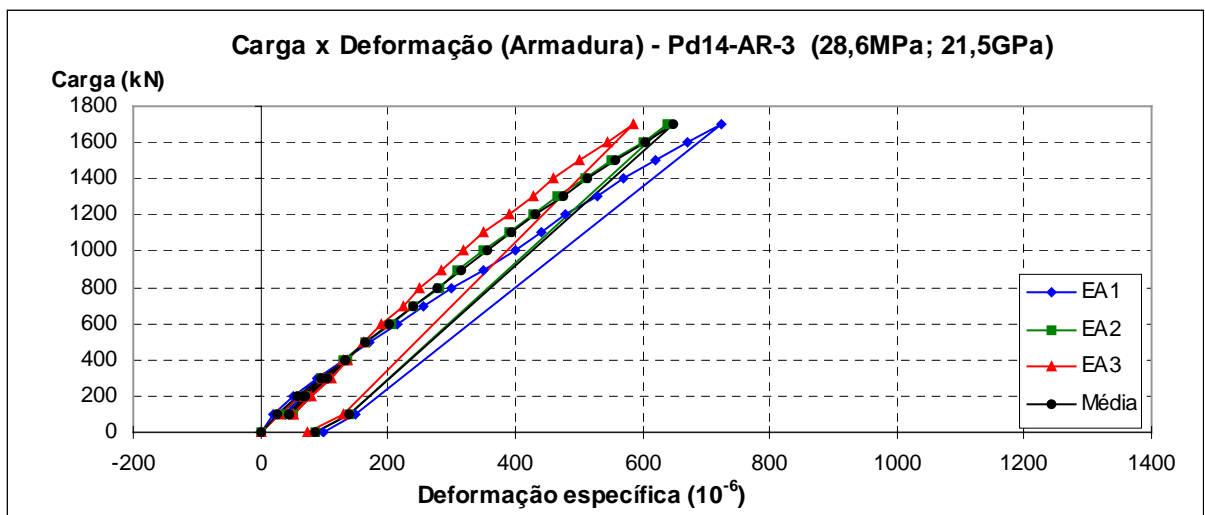


Gráfico 12c

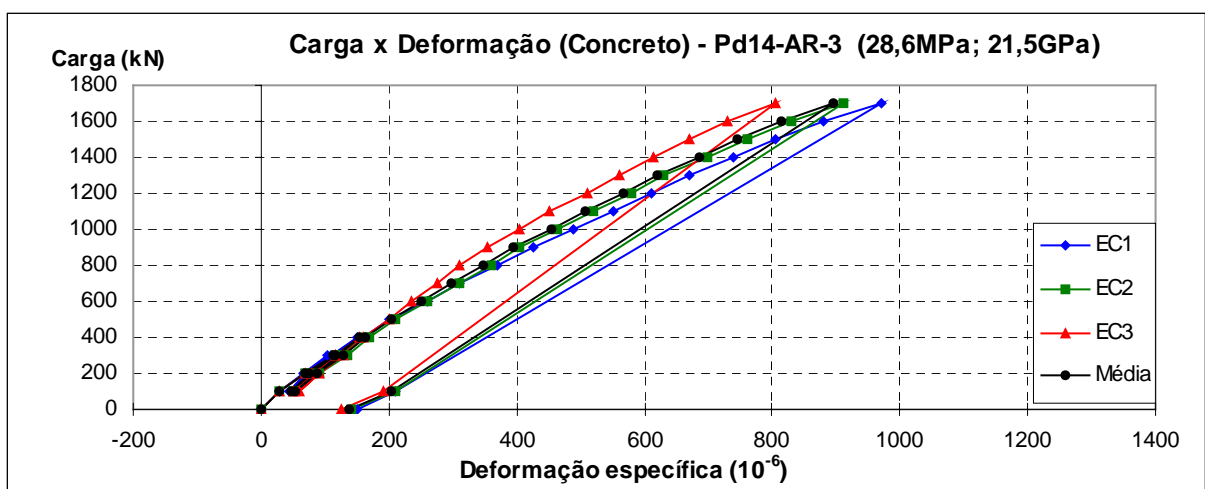


Gráfico 13a

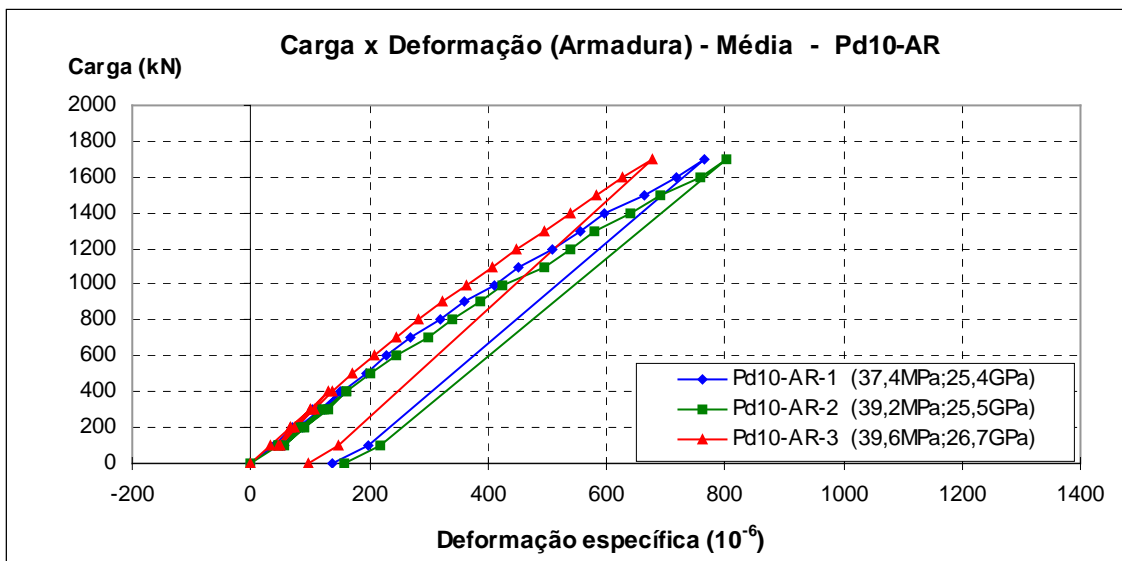


Gráfico 13b

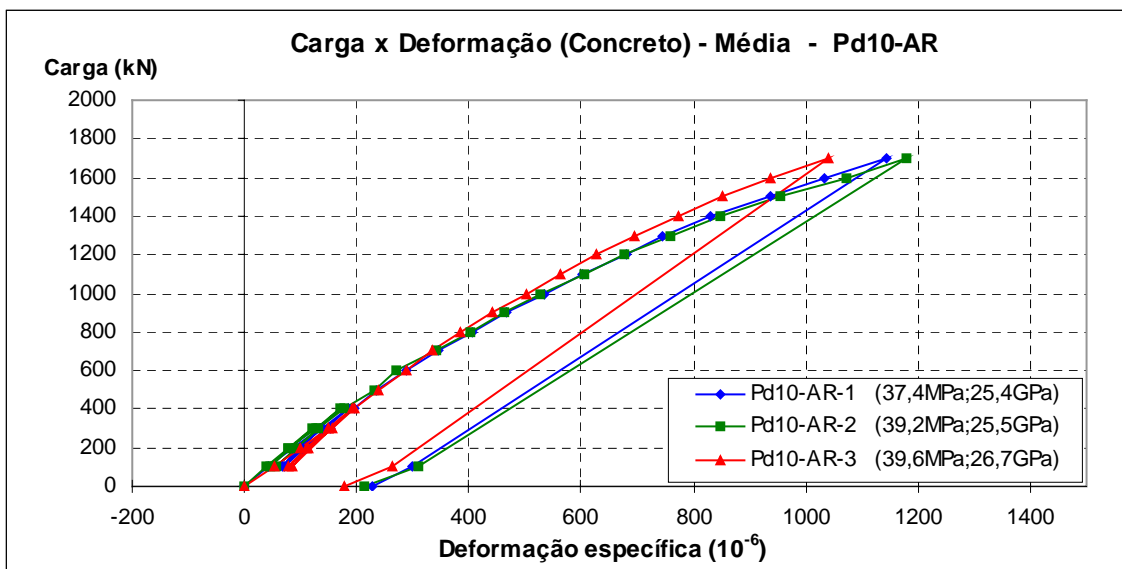


Gráfico 14a

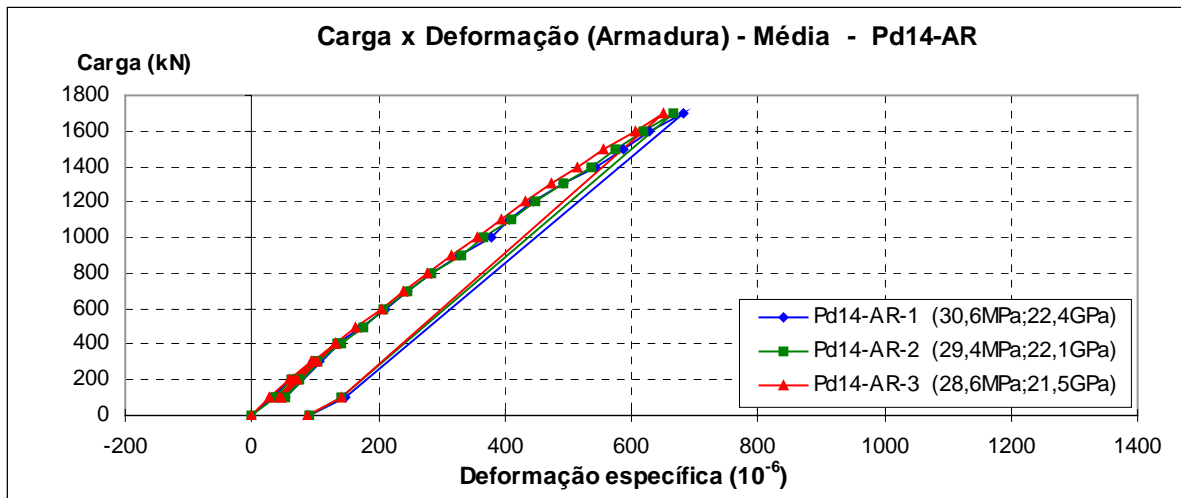
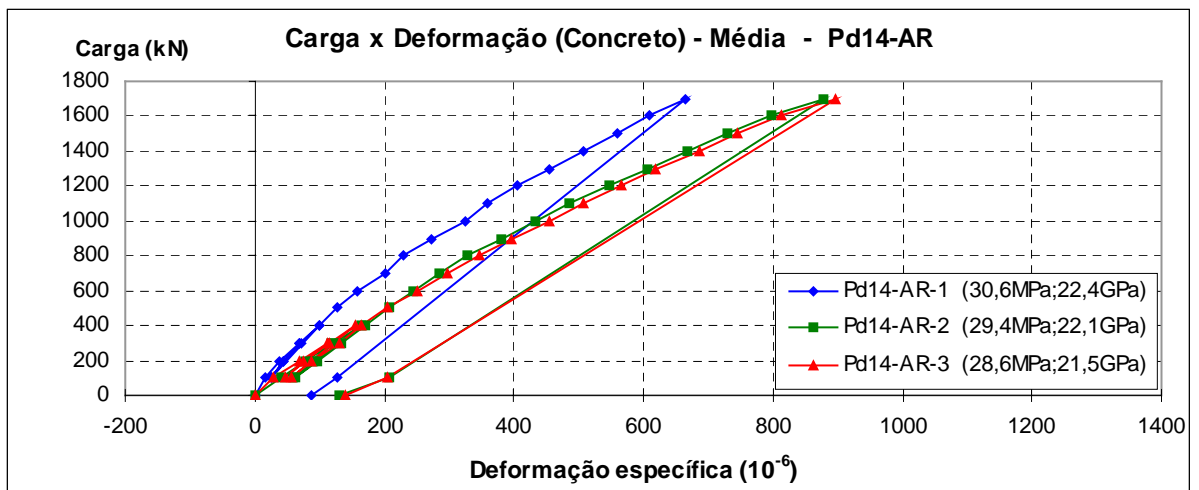
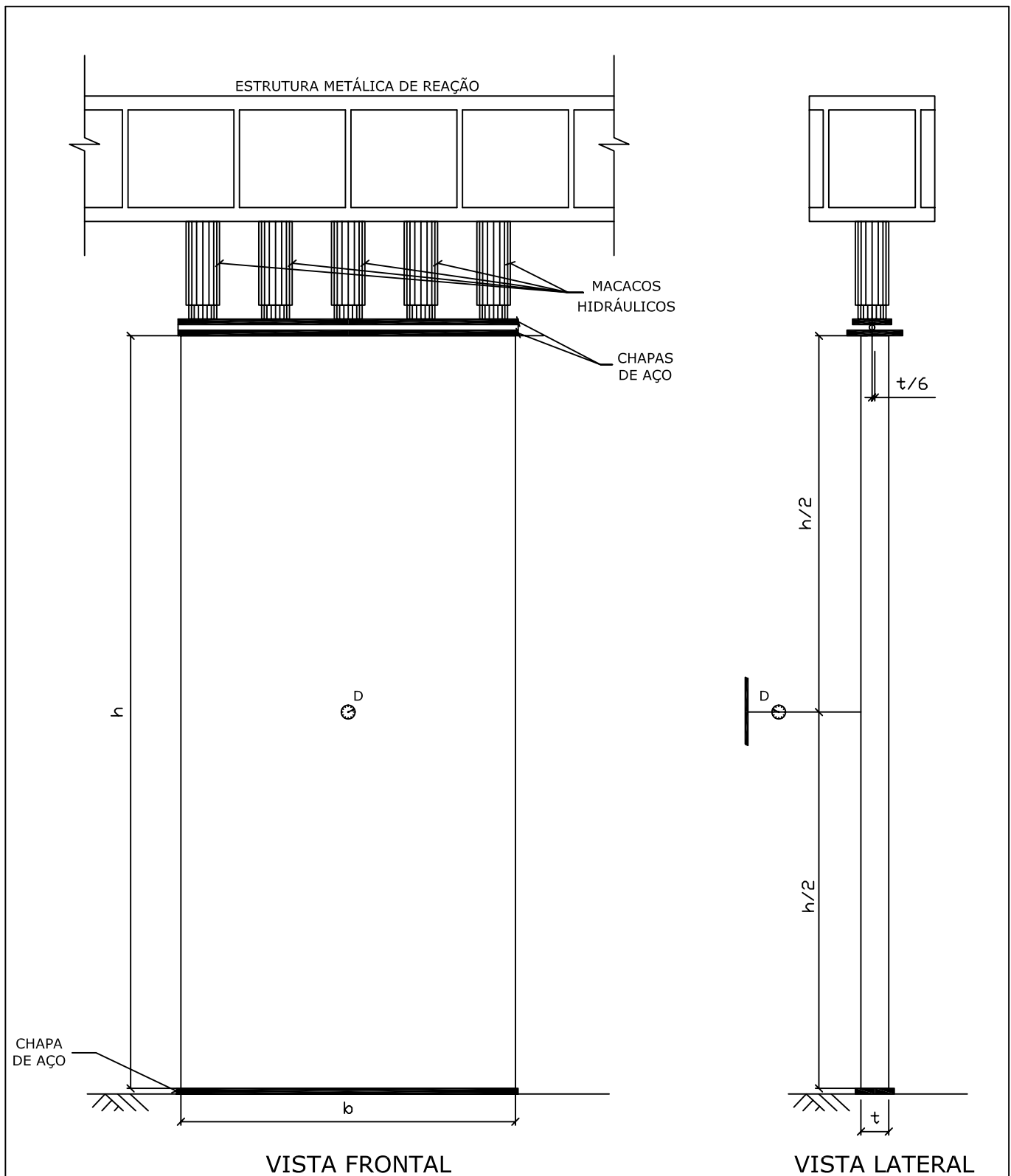


Gráfico 14b



ANEXO B

DESENHOS



LEGENDA:

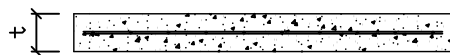
- ⊙ DEFLETÔMETRO:
- D - DESLOCAMENTO LATERAL

DIMENSÕES NOMINAIS:

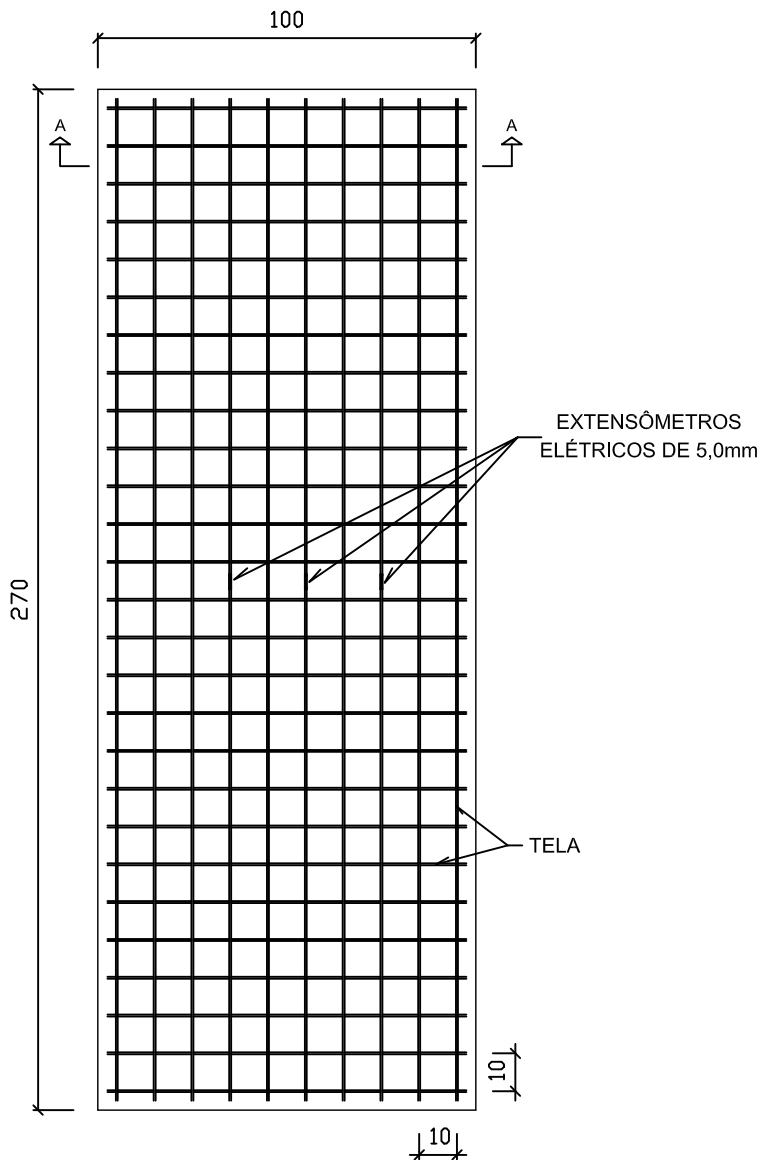
b = 1,00m
 h = 2,70m
 t = 10,0cm ou 14,0cm

OBS.
 MEDIDAS EM cm.

	CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA Seção de Vias Terrestres e Estruturas	ABCP	
	ESQUEMA DO ENSAIO DE COMPRESSÃO EXCÊNTRICA EM PAINÉIS DE CONCRETO		
	DATA : 03/11/09 ESCALA: 1:20	ENG. RESP. : C. M. F. S.	RT - 114 269-205
	ELABORAÇÃO : F.Vianna		DESENHO nº 1



CORTE A-A



Parede de t = 10cm : tela Q159 CA60 - $\varnothing = 4,5\text{mm}$


Parede de t = 14cm : tela Q196 CA60 - $\varnothing = 5,0\text{mm}$

Nota :

Na armadura: três extensômetros elétricos de 5mm.

No concreto, na face mais comprimida: três extensômetros elétricos de 70mm, nas mesmas posições dos extensômetros da armadura.

OBS.
MEDIDAS EM cm.

	CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA Seção de Vias Terrestres e Estruturas	ABCP
	INSTRUMENTAÇÃO COM EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS	
DATA : 05/11/09	ENG. RESP. :	RT - 114 269-205
ESCALA: 1:20	C. M. F. S.	DESENHO nº 2
ELABORAÇÃO : F.Vianna		

ANEXO C

FOTOS

Foto 1

Vista frontal da Parede Pd14-NA-2.



Foto 2

Vista lateral da Parede Pd14-NA-2.
Defletômetro instalado à meia altura para
medida de deslocamento horizontal (seta).



Foto 3

Saída de fios elétricos (seta) dos extensômetros instalados na parede Pd10-AR-1, para medidas de deformação na armadura.

Foto 4

Vista da Parede Pd10-AR-2. Defletômetro instalado para medida de deslocamento horizontal, e extensômetros elétricos (setas) para medidas de deformação no concreto.

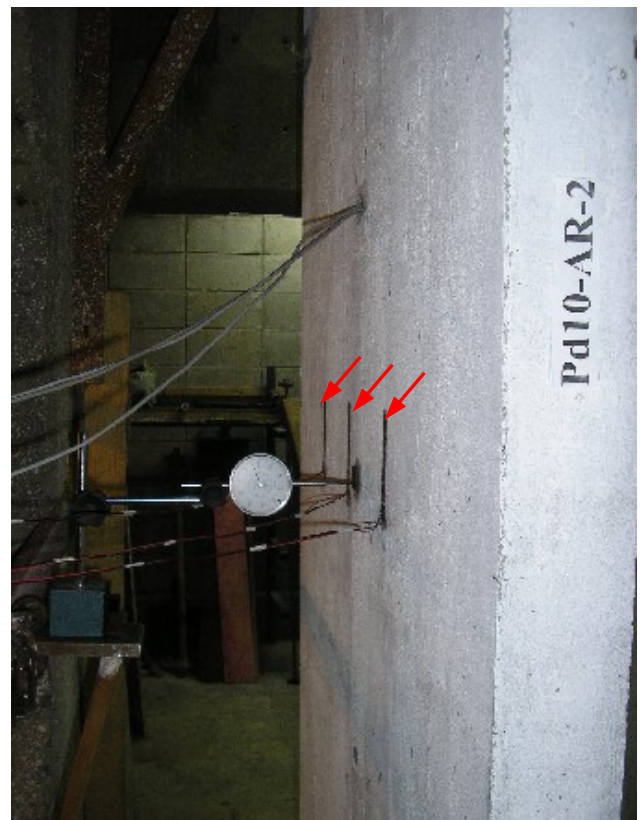


Foto 5

Detalhe da ruptura ocorrida no topo da parede Pd10-NA-3, na carga de 1400kN.



Foto 6

Danos na base da parede Pd14-NA-2, na carga máxima (1700 kN). Início da fissuração em 1600kN.

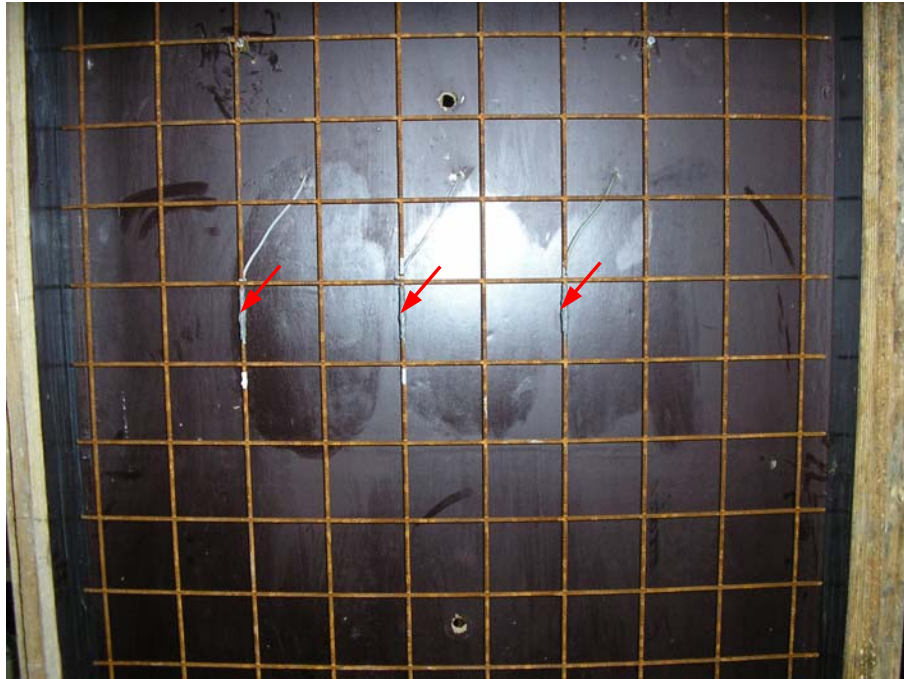


Foto 7

Extensômetros elétricos instalados em barras de aço (setas).

ANEXO D

**RESULTADOS DOS ENSAIOS DE
CORPOS-DE-PROVA**

RESUMO DO Iº ENSAIO EM PAREDES

Programação			Resultados de Ensaio Lenc	
Data de ensaio	Dias de cura	Ensaio parede	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Deformação Eci (Gpa)
15/set	7		27,3	---
5/out	27		36,6	25,0
6/out	28		36,8	25,1
7/out	29		37,0	25,2
8/out	30		37,4	25,4
9/out	31		39,2	25,5
13/out	35		39,6	26,7
Data da moldagem das paredes			08/09/09	

RESUMO DO IIº ENSAIO EM PAREDES

Programação			Resultados de Ensaio Lenc	
Data de ensaio	Dias de cura	Ensaio parede	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Deformação Eci (Gpa)
30/out	3		15,5	---
3/nov	7		24,2	---
4/nov	8		25,8	20,3
5/nov	9		27,4	20,9
6/nov	10		28,6	21,5
9/nov	13		29,4	22,1
10/nov	14		30,6	22,4
11/nov	15		32,4	22,6
12/nov	16		33,6	22,7
Data da moldagem das paredes			27/10/09	