

1. COMPOSIÇÃO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

Os materiais e quantidades utilizadas na composição para todos os Concreto Reforçado com Fibras (CRF) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de materiais do traço PLP_2

Material		kg/m ³
Tipo	Especificação / Origem	
Cimento	CP V-ARI / CAUÊ	400
Areia	Média / Laboratório	765
Brita 1	19,0mm / Laboratório	1014
Água	-	200
Aditivo	Powerflow 4001 / MC BAUCHEMIE	Conforme a dosagem de fibras
Fibras	TTOGO FSE 50	3,5; 4,5 e 5,5

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

2. PREPARAÇÃO DO CONCRETO E DOS CORPOS DE PROVA

A mistura do concreto foi realizada utilizando um misturador de eixo inclinado intermitente, conforme a Figura 1

Figura 1 - Misturador utilizado



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

A sequência de colocação dos materiais no misturador foi feita da seguinte maneira:

- 1) Adição de todo o agregado graúdo seco dentro do misturador;
- 2) Adição de 1/3 do volume de água e metade das fibras de maneira uniforme e misturar por 3 minutos;
- 3) Adição do cimento, de 1/3 do volume de água;
- 4) Adição de todo o agregado miúdo e do restante de água;
- 5) Adição do restante das fibras de maneira uniforme e do aditivo.

Figura 2 - Cimento, agregados, água e fibras



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 3 - Corpos de prova moldados



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

A Tabela 2 apresenta o slump adquirido para cada traço depois da adição do aditivo.

Figura 4 – Avaliação de abatimento (“Slump”)



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Tabela 2 - Abatimento (“Slump”) dos traços

Traço	Betonada	Aditivo (%)	Slump (mm)
PLP_2 - 3,5kg/m ³	1	0,10	50
		0,20	110
	2	0,10	50
		0,10	120
PLP_2 - 4,5kg/m ³	1	0,10	20
		0,30	110
	2	0,20	10
		0,40	160
PLP_2 - 5,5kg/m ³	1	0,30	80
		0,40	160
	2	0,30	110

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

O adensamento da mistura foi realizado por meio de uma mesa vibratória.

Após as desmoldagens, os corpos de prova foram identificados e armazenados dentro de uma câmara úmida com temperatura de $23^{\circ} \pm 2$ e umidade relativa do ar de 95%

As quantidades dos corpos de prova foram feitas conforme mostra a Tabela 3 e os ensaios foram realizados nas datas conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 3 - Produção dos corpos de prova

Traço	Data de moldagem	Dosagem	Corpos de prova moldados (medidas em mm)	
			φ100x200	φ150x150
PLP_2 - 3,5kg/m ³	27/09/2019	TTOGO FSE 50	4	12
PLP_2 - 4,5kg/m ³	02/10/2019	TTOGO FSE 50	4	12
PLP_2 - 5,5kg/m ³	04/10/2019	TTOGO FSE 50	4	12

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Tabela 4 - Ensaio dos corpos de prova

Traço	Data de ensaio	Equipamentos de ensaio	
		φ100x200	φ150x150
PLP_2 - 3,5kg/m ³	25/10/2019	MFL SYSTEME	INTERMETRIC IM750SRV
PLP_2 - 4,5kg/m ³	30/10/2019	MFL SYSTEME	INTERMETRIC IM750SRV
PLP_2 - 5,5kg/m ³	01/11/2019	MFL SYSTEME	INTERMETRIC IM750SRV

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

3. ENSAIOS

Os ensaios de compressão axial ($\phi 100 \times 200$), conforme a ABNT NBR 5739 foram realizados em laboratório de empresa contratada pela EVOLUÇÃO Engenharia. O equipamento utilizado foi uma prensa estática MFL SYSTEME, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Prensa estática MFL SYSTEME



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Os ensaios de resistência à tração por duplo puncionamento ($\phi 150 \times 150$) para a obtenção do limite de proporcionalidade e residual, foram realizados no laboratório da EVOLUÇÃO Engenharia. O equipamento utilizado foi uma prensa dinâmica INTERMETRIC IM750SRV, conforme mostra a Figura 6.

A taxa de aumento do deslocamento vertical foi constante de $(0,5 \pm 0,05)$ mm/min.

Figura 6 - Prensa dinâmica INTERMETRIC IM750SRV



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

4. RESULTADOS

4.1 Resistência à compressão axial

4.1.1 PLP_2 - 3,5kg/m³

Tabela 5 - Resultados, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Resistência à compressão axial		Dimensões CP (mm): $\phi 100 \times 200$		
PLP_2 - 3,5kg/m ³				
Idade: 28 dias		Data de moldagem: 27/09/2019		Data de ensaio: 25/10/2019
Exemplar	1	2	3	4
Carga (kgf)	29376,90	28655,36	23192,29	21865,18
Tensão (MPa)	36,68	35,78	28,96	27,30
Média (MPa)	32,18			
Desvio Padrão (MPa)	4,74			
CV (%)	14,73			

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 7 - CPs: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

4.1.2 PLP_2 - 4,5kg/m³

Tabela 6 - Resultados, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Resistência à compressão axial		Dimensões CP (mm): ϕ 100x200		
PLP_2 - 4,5kg/m³				
Idade: 28 dias		Data de moldagem: 02/10/2019		Data de ensaio: 30/10/2019
Exemplar	1	2	3	4
Carga (kgf)	23024,79	26787,09	20473,64	29840,74
Tensão (MPa)	28,75	33,45	25,56	37,26
Média (MPa)	31,26			
Desvio Padrão (MPa)	5,15			
CV (%)	16,48			

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 8 - CPs: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

4.1.3 PLP_2 - 5,5kg/m³

Tabela 7 - Resultados, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Resistência à compressão axial		Dimensões CP (mm): $\phi 100 \times 200$		
PLP_2 - 5,5kg/m³				
Idade: 28 dias		Data de moldagem: 04/10/2019		Data de ensaio: 01/11/2019
Exemplar	1	2	3	4
Carga (kgf)	28346,13	28255,94	27444,21	27431,32
Tensão (MPa)	35,39	35,28	34,27	34,25
Média (MPa)	34,80			
Desvio Padrão (MPa)	0,62			
CV (%)	1,79			

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 9 - CPs: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

4.2 Resistência à tração por duplo puncionamento

4.2.1 PLP_2 - 3,5kg/m³

Tabela 8 - Resultados, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Resistência à tração por duplo puncionamento										
(fissuração e residual)										
PLP_2 - 3,5kg/m ³										
Dimensões (mm): φ150x150										
Idade: 28 dias										
Data de moldagem: 27/09/2019 Data de ensaio: 25/10/2019										
Exemplar no.	P _f (kN)	f _t (MPa)	P _{0,5} (kN)	f _{R0,5} (MPa)	P _{1,5} (kN)	f _{R1,5} (MPa)	P _{2,5} (kN)	f _{R2,5} (MPa)	P _{3,5} (kN)	f _{R3,5} (MPa)
1	128,02	3,21	70,85	1,78	39,03	0,98	28,30	0,71	22,41	0,56
2	133,44	3,32	56,61	1,41	35,91	0,89	22,71	0,57	14,83	0,37
3	122,60	*	59,48	1,49	37,96	0,95	29,54	0,74	24,69	0,62
4	135,74	3,40	48,49	1,22	39,76	1,00	33,61	0,84	28,52	0,71
5	133,35	3,36	53,99	1,36	37,77	0,95	22,72	0,57	15,59	0,39
6	144,28	3,58	43,84	1,09	28,24	0,70	16,84	0,42	9,96	0,25
7	140,07	3,52	59,94	1,51	46,28	1,16	35,97	0,90	24,86	0,63
8	141,52	3,56	51,35	1,29	32,30	0,81	23,23	0,58	18,19	0,46
9	133,61	3,37	58,74	1,48	40,36	1,02	28,10	0,71	19,56	0,49
10	141,30	3,54	20,05	*	15,92	*	13,55	0,34	10,44	0,26
11	135,14	3,37	52,26	1,30	39,70	0,99	31,53	0,79	26,26	0,65
12	144,02	3,55	58,81	1,45	44,24	1,09	36,77	0,91	30,78	0,76
Média	-	3,43	-	1,40	-	0,96	-	0,67	-	0,51
Desvio Padrão	-	0,12	-	0,18	-	0,13	-	0,18	-	0,17
CV (%)	-	3,53	-	12,91	-	13,14	-	26,91	-	33,18

* Valores espúrios (critério CHAUVENET)

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Gráfico 1 - Resistência à tração por flexão

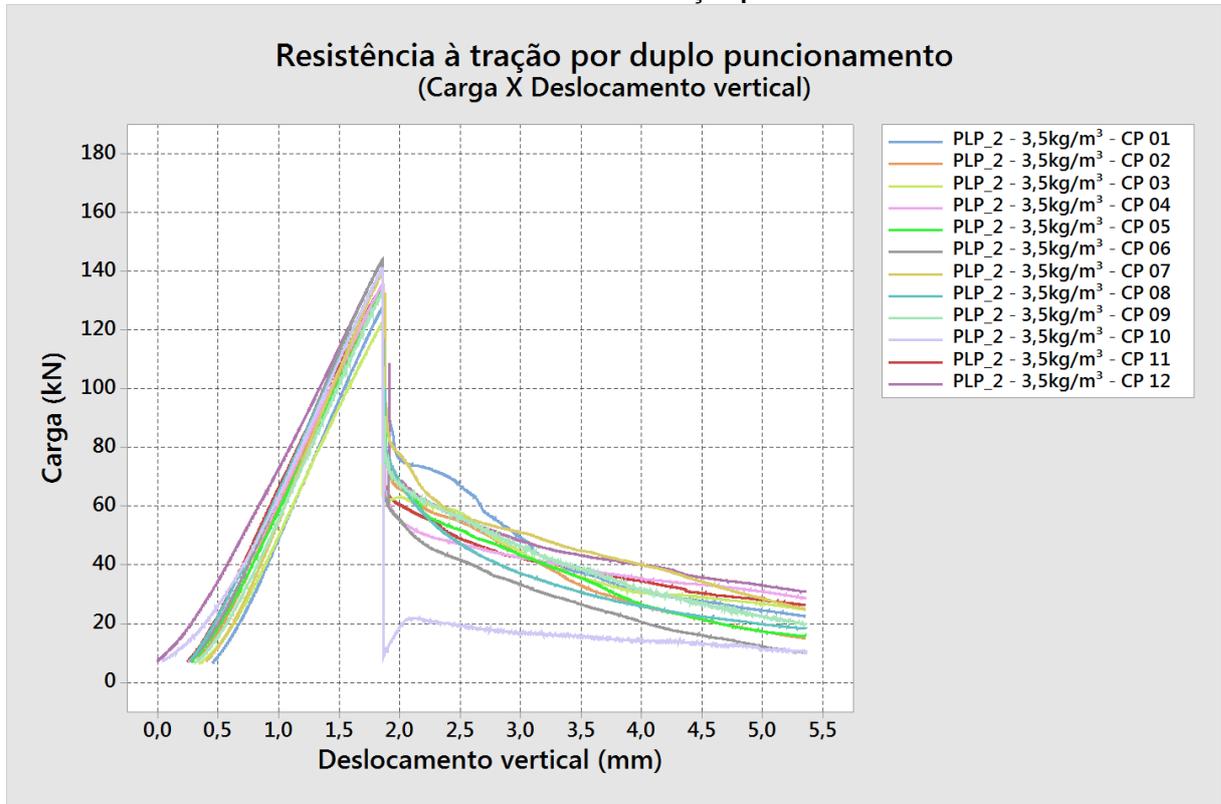


Figura 10 - Ensaio de duplo puncionamento



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 11 - CPs 01 a 06: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 12 - CPs 01 a 06: Face superior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 13 - CPs 01 a 06: Face inferior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 14 - CPs 07 a 12: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 15 - CPs 07 a 12: Face superior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 16 - CPs 07 a 12: Face inferior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

4.2.2 PLP_2 - 4,5kg/m³

Tabela 9 - Resultados, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Resistência à tração por duplo puncionamento										
(fissuração e residual)										
PLP_2 - 4,5kg/m ³										
Dimensões (mm): ϕ 150x150										
Idade: 28 dias										
Data de moldagem: 02/10/2019 Data de ensaio: 30/10/2019										
Exemplar no.	P _f (kN)	f _t (MPa)	P _{0,5} (kN)	f _{R0,5} (MPa)	P _{1,5} (kN)	f _{R1,5} (MPa)	P _{2,5} (kN)	f _{R2,5} (MPa)	P _{3,5} (kN)	f _{R3,5} (MPa)
1	148,26	3,68	56,73	1,41	38,77	0,96	25,76	0,64	16,58	0,41
2	150,78	3,78	56,21	1,41	40,84	1,02	27,68	0,69	18,19	0,46
3	162,55	4,07	51,77	1,30	38,77	0,97	26,48	0,66	20,27	0,51
4	161,59	4,06	21,20	*	18,44	0,46	14,14	0,36	9,95	0,25
5	152,38	3,82	56,90	1,43	42,04	1,05	28,86	0,72	20,50	0,51
6	159,20	4,02	25,58	0,65	19,40	0,49	15,69	0,40	13,16	0,33
7	149,24	3,73	52,64	1,32	33,36	0,83	20,90	0,52	13,69	0,34
8	156,90	3,92	60,70	1,52	48,34	1,21	39,20	0,98	30,93	0,77
9	161,22	4,07	61,45	1,55	46,84	1,18	30,87	0,78	20,66	0,52
10	161,50	4,08	50,61	1,28	31,90	0,81	22,80	0,58	16,21	0,41
11	149,70	3,74	59,48	1,49	49,58	1,24	38,12	0,95	26,31	0,66
12	162,54	4,09	62,78	1,58	42,41	1,07	31,93	0,80	25,43	0,64
Média	-	3,92	-	1,36	-	0,94	-	0,67	-	0,48
Desvio Padrão	-	0,16	-	0,26	-	0,26	-	0,19	-	0,15
CV (%)	-	4,10	-	18,81	-	27,18	-	28,56	-	31,17

* Valores espúrios (critério CHAUVENET)

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Gráfico 2 - Resistência à tração por flexão

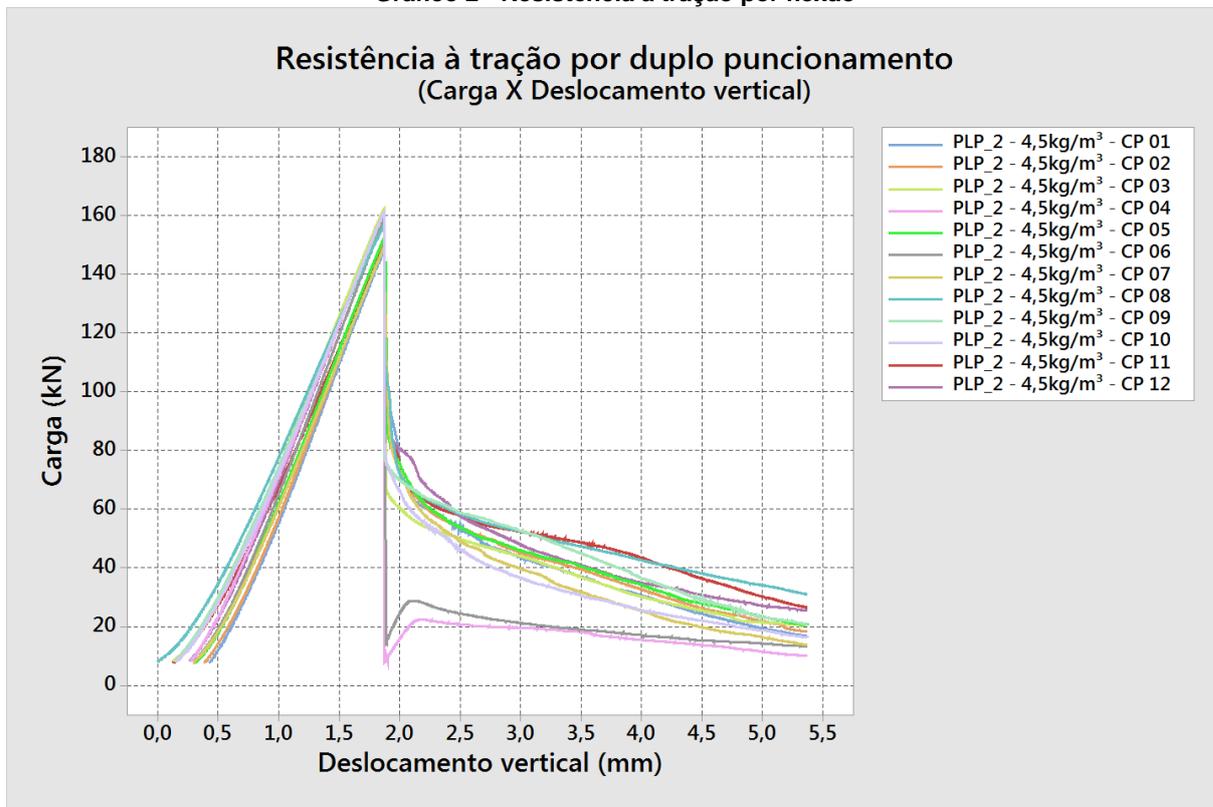


Figura 17 - Ensaio de duplo puncionamento



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 18 - CPs 01 a 06: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 19 - CPs 01 a 06: Face superior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 20 - CPs 01 a 06: Face inferior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 21 - CPs 07 a 12: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 22 - CPs 07 a 12: Face superior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 23 - CPs 07 a 12: Face inferior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

4.2.3 PLP_2 - 5,5kg/m³

Tabela 10 - Resultados, média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)

Resistência à tração por duplo puncionamento										
(fissuração e residual)										
PLP_2 - 5,5kg/m³										
Dimensões (mm): ϕ 150x150										
Idade: 28 dias										
Data de moldagem: 04/10/2019 Data de ensaio: 01/11/2019										
Exemplar no.	P_f (kN)	f_t (MPa)	P_{0,5} (kN)	f_{R0,5} (MPa)	P_{1,5} (kN)	f_{R1,5} (MPa)	P_{2,5} (kN)	f_{R2,5} (MPa)	P_{3,5} (kN)	f_{R3,5} (MPa)
1	161,68	4,04	71,21	1,78	48,48	1,21	28,02	0,70	18,62	0,47
2	158,81	3,94	66,18	1,64	51,94	1,29	41,34	1,03	32,71	0,81
3	140,72	3,50	55,86	1,39	39,62	0,99	29,16	0,73	22,96	0,57
4	157,62	3,98	64,28	1,62	46,41	1,17	31,42	0,79	21,20	0,54
5	153,53	3,86	65,36	1,64	45,94	1,16	30,69	0,77	22,59	0,57
6	161,55	4,05	68,20	1,71	54,43	1,36	46,60	1,17	38,23	0,96
7	148,61	3,75	85,82	*	63,96	*	49,44	1,25	32,56	0,82
8	161,40	4,05	77,62	1,95	45,80	1,15	28,27	0,71	19,01	0,48
9	150,73	3,75	74,92	1,87	54,90	1,37	47,12	1,17	36,22	0,90
10	145,59	3,66	66,18	1,66	46,27	1,16	40,75	1,02	36,53	0,92
11	165,36	4,10	66,17	1,64	43,03	1,07	29,33	0,73	22,62	0,56
12	148,26	3,72	72,52	1,82	53,63	1,34	41,35	1,04	26,96	0,68
Média	-	3,87	-	1,70	-	1,21	-	0,93	-	0,69
Desvio Padrão	-	0,19	-	0,15	-	0,12	-	0,21	-	0,18
CV (%)	-	4,91	-	8,86	-	10,13	-	22,42	-	26,29

* Valores espúrios (critério CHAUVENET)

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Gráfico 3 - Resistência à tração por flexão

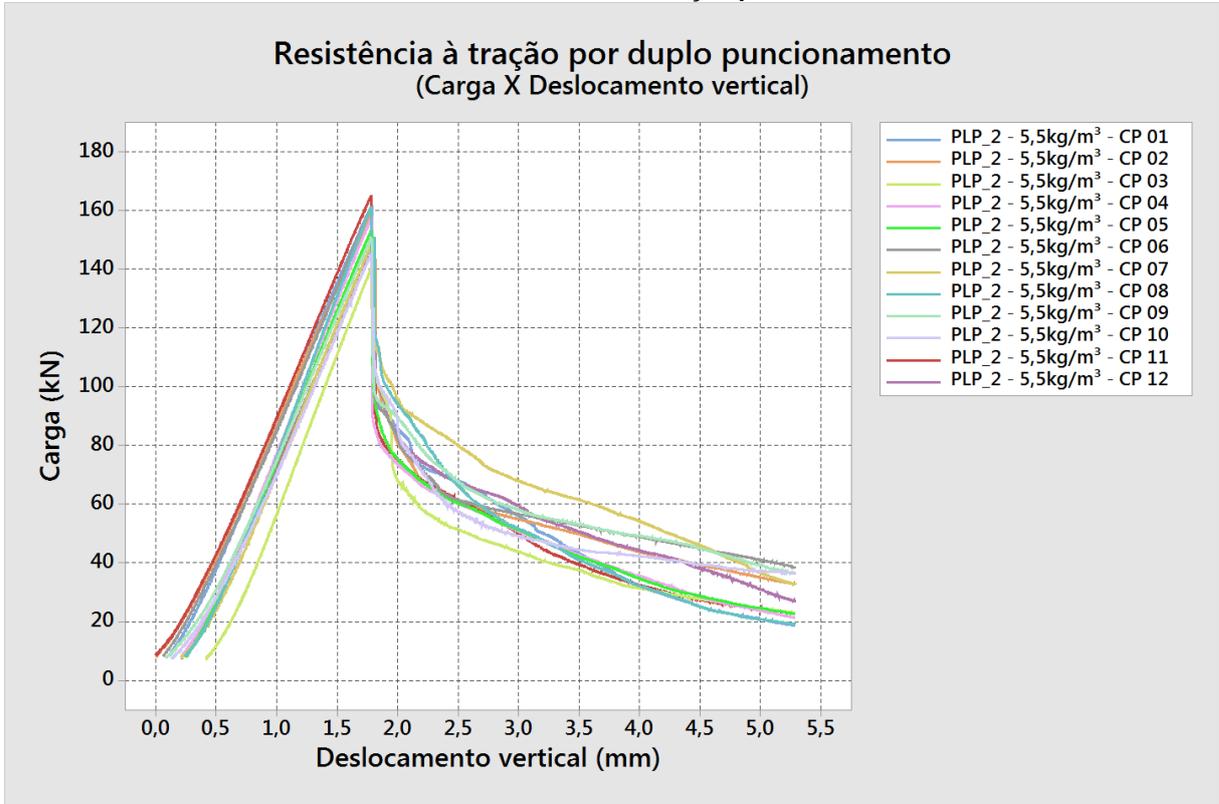


Figura 24 - Ensaio de duplo puncionamento



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 25 - CPs 01 a 06: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 26 - CPs 01 a 06: Face superior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 27 - CPs 01 a 06: Face inferior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 28 - CPs 07 a 12: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 29 - CPs 07 a 12: Face superior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 30 - CPs 07 a 12: Face inferior



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Marco Antonio Carnio
Eng. Civil – CREA 060.149.387.9