

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
		0,20	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
	2	0,40	160

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	150x150x550
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	150x150x550
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 flexão ($150 \times 150 \times 550$) para a obtenção do limite de proporcionalidade e residual conforme a EN 14651, foram realizados no laboratório da EVOLUÇÃO Engenharia. O equipamento utilizado foi uma prensa dinâmica INTERMETRIC IM750SRV, conforme mostra a Figura 6.

Para realização dos ensaios de tração por flexão para obtenção das resistências à tração (f_L) e residuais (f_R), os entalhes nos corpos de prova $150 \times 150 \times 550$ foram realizados no dia anterior às datas de ensaio informadas na Tabela 4.

A taxa de aumento da medida da abertura da fissura (CMOD) foi constante de 0,05 mm/min até $CMOD=0,1$ mm. A partir de $CMOD=0,1$ mm a taxa de aumento do CMOD foi constante de 0,20 mm/min.

Nos ensaios de tração por flexão para obtenção das resistências à tração (f_L) e residuais (f_R) o vão de ensaio foi de 500 mm.

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): $\phi 100 \times 200$		
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 flexão (EN 14651)

4.2.1 PLP_2 - 3,5kg/m³

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

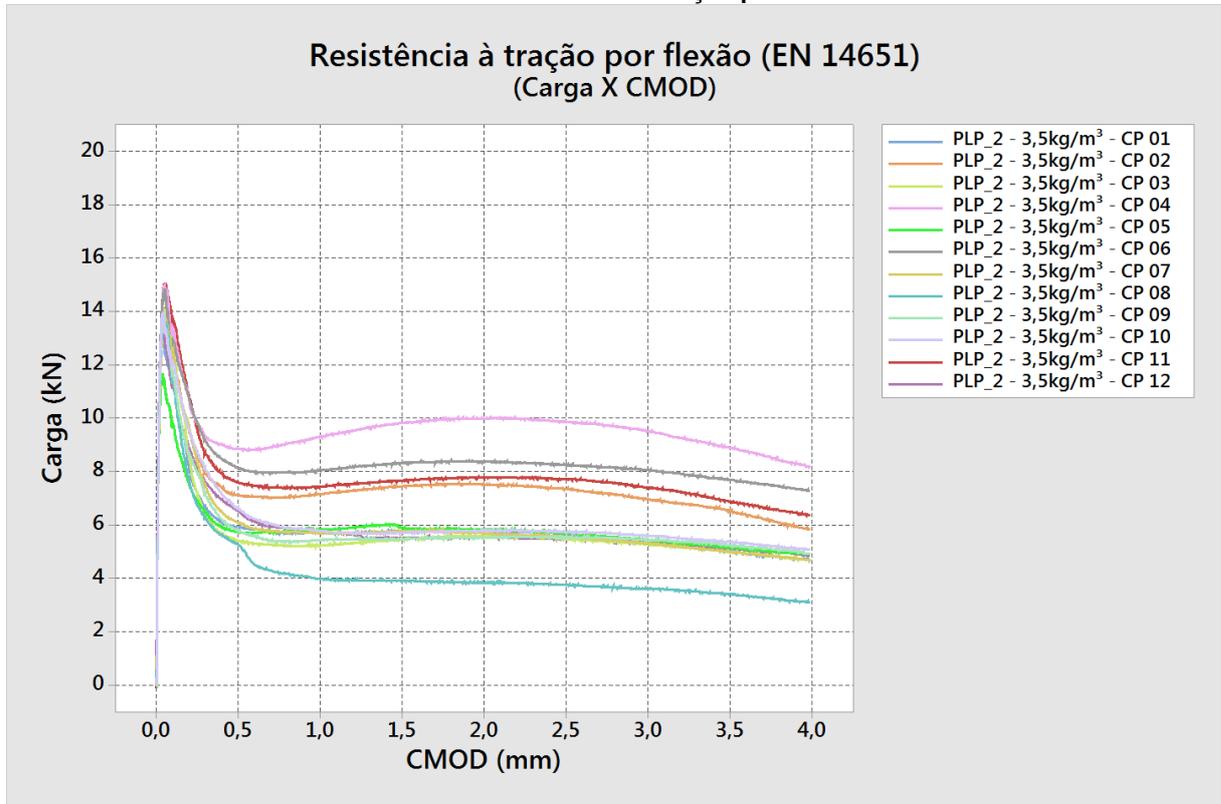
Resistência à tração por flexão (EN 14651)						Dimensões CP (mm): 150x150x550		
(limite de proporcionalidade e residual)						Vão de ensaio (mm): 500		
PLP_2 - 3,5kg/m³								
Idade: 28 dias		Data de moldagem: 27/09/2019				Data de ensaio: 25/10/2019		
Exemplar no.	f_L (MPa)	f_{R1} (MPa)	f_{R2} (MPa)	f_{R3} (MPa)	f_{R4} (MPa)	f_{R1} / f_L	f_{R3} / f_L	f_{R3} / f_{R1}
1	4,29	1,87	1,83	1,79	1,59	0,44	0,42	0,96
2	4,58	2,30	2,41	2,37	2,10	0,50	0,52	1,03
3	4,58	1,76	1,77	1,77	1,62	0,38	0,39	1,01
4	4,78	2,82	*	*	*	0,59	**	**
5	*	1,81	1,86	1,80	1,63	**	**	0,99
6	4,67	2,56	2,62	2,59	2,42	0,55	0,55	1,01
7	4,40	1,94	1,84	1,77	1,59	0,44	0,40	0,91
8	4,39	1,68	1,25	1,20	1,09	0,38	0,27	0,71
9	4,49	1,87	1,76	1,78	1,69	0,42	0,40	0,95
10	4,54	2,14	1,85	1,86	1,74	0,47	0,41	0,87
11	4,89	2,47	2,49	2,51	2,23	0,51	0,51	1,02
12	4,31	2,10	1,78	1,76	1,65	0,49	0,41	0,84
Média	4,54	2,11	1,95	1,93	1,76	0,47	0,43	0,94
Desvio Padrão	0,19	0,36	0,40	0,41	0,37	-	-	-
CV (%)	4,18	17,00	20,40	21,03	20,75	-	-	-

* Valores espúrios (critério CHAUVENET)

** Cálculos prejudicados

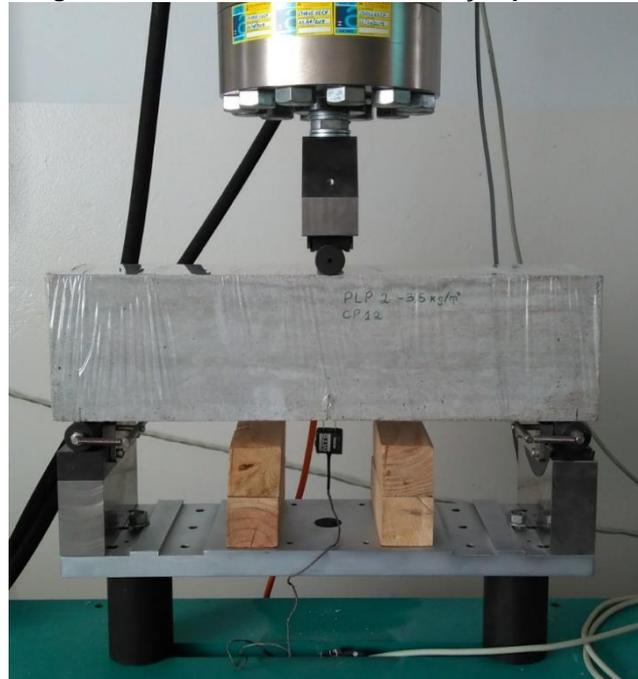
Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Gráfico 1 - Resistência à tração por flexão



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 10 - Ensaio de resistência à tração por flexão



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 11 - CPs: Vista lateral



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 flexão (EN 14651)
(limite de proporcionalidade e residual)

Dimensões CP (mm): 150x150x550

Vão de ensaio (mm): 500

PLP_2 - 4,5kg/m³

Idade: 28 dias

Data de moldagem: 02/10/2019

Data de ensaio: 30/10/2019

Exemplar no.	fL (MPa)	fR1 (MPa)	fR2 (MPa)	fR3 (MPa)	fR4 (MPa)	fR1 / fL	fR3 / fL	fR3 / fR1
1	5,93	2,16	2,39	2,50	2,35	0,36	0,42	1,16
2	6,02	2,58	2,75	2,84	***	0,43	0,47	1,10
3	5,45	1,65	1,49	1,56	1,51	0,30	0,29	0,95
4	5,74	2,20	2,23	2,35	2,27	0,38	0,41	1,07
5	5,64	2,24	2,33	2,45	2,37	0,40	0,43	1,09
6	6,08	2,89	3,14	3,17	3,00	0,48	0,52	1,10
7	5,83	2,09	2,27	2,38	2,30	0,36	0,41	1,14
8	5,31	2,18	2,35	2,42	2,35	0,41	0,46	1,11
9	5,56	2,36	2,49	2,61	2,50	0,42	0,47	1,11
10	5,21	3,04	3,33	3,45	3,31	0,58	0,66	1,13
11	5,55	3,03	3,59	3,76	3,65	0,55	0,68	1,24
12	5,27	2,57	2,80	2,94	2,80	0,49	0,56	1,14
Média	5,63	2,42	2,60	2,70	2,58	0,43	0,48	1,11
Desvio Padrão	0,29	0,42	0,57	0,58	0,58	-	-	-
CV (%)	5,21	17,37	21,84	21,45	22,50	-	-	-

*** Dados prejudicados

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Gráfico 2 - Resistência à tração por flexão

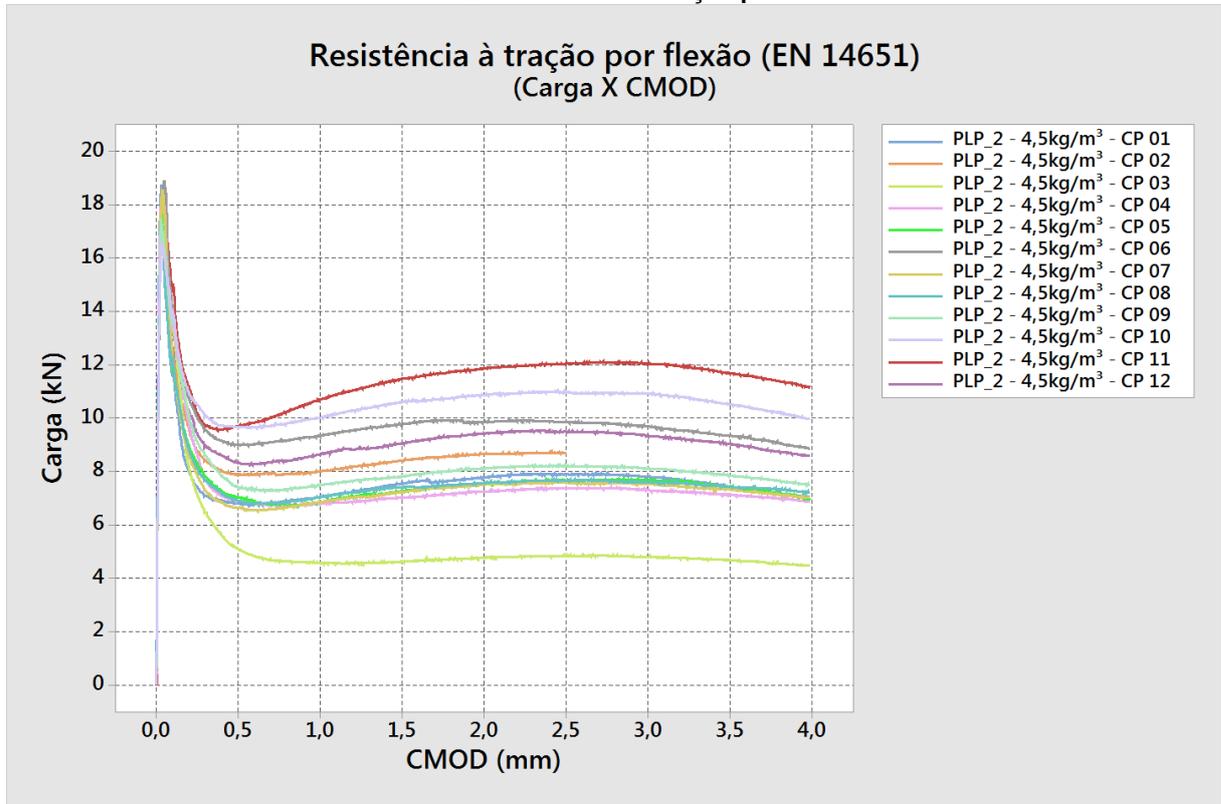
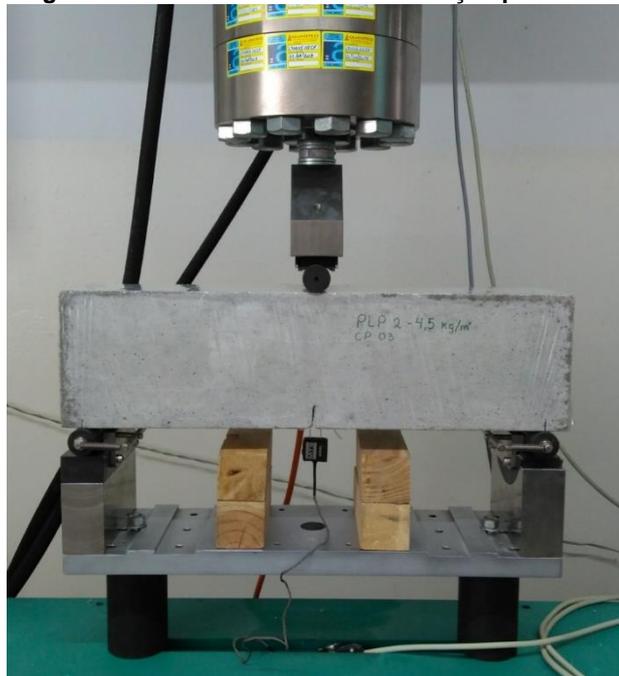


Figura 12 - Ensaio de resistência à tração por flexão



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 13 - CPs: Vista lateral



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 flexão (EN 14651)

Dimensões CP (mm): 150x150x550

(limite de proporcionalidade e residual)

Vão de ensaio (mm): 500

PLP_2 - 5,5kg/m³

Idade: 28 dias

Data de moldagem: 04/10/2019

Data de ensaio: 01/11/2019

Exemplar no.	f _L (MPa)	f _{R1} (MPa)	f _{R2} (MPa)	f _{R3} (MPa)	f _{R4} (MPa)	f _{R1} / f _L	f _{R3} / f _L	f _{R3} / f _{R1}
1	5,41	3,19	3,50	3,58	3,28	0,59	0,66	1,12
2	5,20	2,85	3,11	3,19	3,03	0,55	0,61	1,12
3	5,19	2,76	2,59	2,65	2,56	0,53	0,51	0,96
4	4,77	2,12	1,98	1,98	1,91	0,44	0,42	0,93
5	5,52	2,41	2,39	2,47	2,34	0,44	0,45	1,02
6	5,64	3,13	3,34	3,39	3,24	0,55	0,60	1,08
7	4,76	2,25	2,47	2,60	2,45	0,47	0,55	1,16
8	5,92	2,63	2,65	2,69	2,46	0,44	0,45	1,02
9	4,94	3,01	3,21	3,31	3,18	0,61	0,67	1,10
10	4,85	2,93	3,17	3,29	3,12	0,60	0,68	1,12
11	5,04	2,90	3,34	3,51	3,33	0,58	0,70	1,21
12	4,68	2,86	3,23	3,45	3,39	0,61	0,74	1,21
Média	5,16	2,75	2,92	3,01	2,86	0,54	0,59	1,09
Desvio Padrão	0,39	0,34	0,48	0,51	0,49	-	-	-
CV (%)	7,63	12,29	16,41	16,96	17,05	-	-	-

Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Gráfico 3 - Resistência à tração por flexão

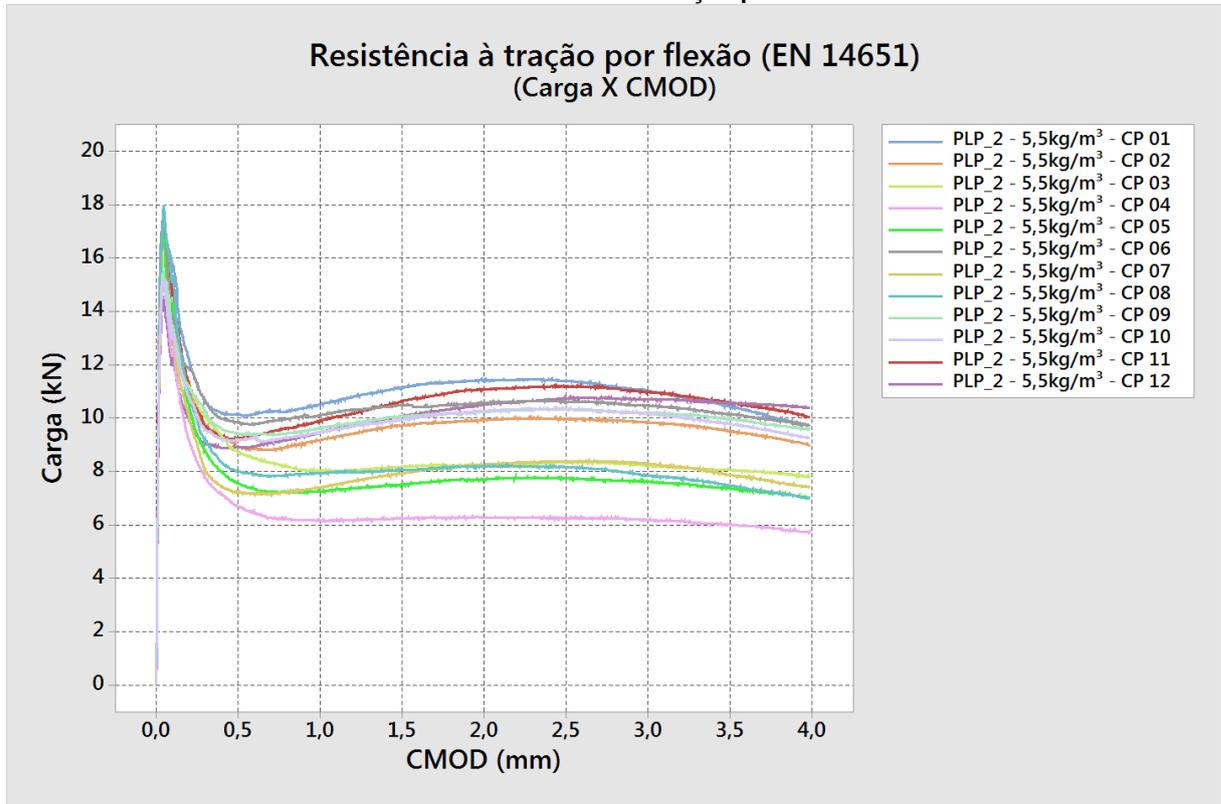


Figura 14 - Ensaio de resistência à tração por flexão



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Figura 15 - CPs: Vista lateral



Fonte: EVOLUÇÃO Engenharia

Marco Antonio Carnio
Eng. Civil – CREA 060.149.387.9