

## 4 Discussão dos Resultados

### 4.1. Resultados das resistências à compressão

Na Tabela 4.1 constam os resultados das médias mensais (Eventos mensais) das resistências à compressão dos corpos-de-prova moldados nas idades de 3, 7 e 28 dias, correspondentes a todos os eventos de moldagem das Obras 1, 2, 3, 4. A Obra n° 1 foi constituído por 57 eventos de moldagem totalizando 2.132 corpos-de-prova; a Obra n° 2 foi constituído por 36 eventos de moldagem totalizando 720 corpos-de-prova; já a Obra n° 3 foi constituído por 58 eventos de moldagem totalizando 2.388 corpos-de-prova; e a Obra n° 4 foi constituído por 59 eventos de moldagem totalizando 1.068 corpos-de-prova.

Na Tabela 4.2 constam os resultados da resistência à compressão dos corpos-de-prova extraídos nas idades de 32, 49, 56, 65, 81, 88, 95, 103 dias da obra 1, juntamente com os resultados obtidos aos 3, 7, e 28 dias nos corpos-de-prova moldados. A extração dos corpos-de-prova foi realizada de acordo com o andamento da obra e dividido em quatro grupos: Fundação, 1° Teto-Tipo, 2° Teto-Tipo e 3° Teto-Tipo, respectivamente.

Tabela 4.1 – Resistência média mensal a compressão dos corpos-de-prova moldados.

OBRA $f_{ck}$ Local	MÊS DE MOLDAGEM (mês)	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS (MPa)		
		IDADE		
		3 dias	7 dias	28 dias
01 35 MPa (Concremat)	02/2008	21,5	26,3	36,5
	03/2008	16,6	20,5	30,9
	04/2008	19,8	28,5	37,3
	05/2008	22,6	28,5	38,2
	06/2008	22,3	24,2	35,8
	07/2008	21	23,7	34,7
	08/2008	21	27,6	36,1
	09/2008	21,7	25,5	34,9
	10/2008	25,8	29,1	36,1
02 35 MPa (Falcão Bauer)	12/2009	23	32,6	41,3
	01/2010	23,4	30,3	40,1
	02/2010	26,1	32	42,6
	03/2010	24	30,2	41,7
	04/2010	17,8	25,6	36,7
	05/2010	20,6	26,2	33,2
03 35 MPa (Falcão Bauer)	08/2009	24,5	33,5	41
	09/2009	24,4	30	38,7
	10/2009	26,2	32,9	43,9
	11/2009	27,5	34,9	40,5
	12/2009	24,1	30,8	40,4
	01/2010	23,7	30,1	42,4
	02/2010	24,1	30,4	41,5
	03/2010	22,9	30,1	40,2
	04/2010	17,1	25,3	37,3
04 35 MPa (Curi Eng.)	08/2010	-	29,4	40,1
	09/2010	17,3	26,4	39,6
	10/2010	17,9	27,1	43,7
	11/2010	-	32	42
	12/2010	28,7	32,6	42
	01/2011	-	33,4	40,2
	02/2011	-	28,9	39,5
	03/2011	-	33,6	43,9
	04/2011	-	32,8	42,9
	05/2011	-	26,2	40,7
	06/2011	-	24,5	38,3

Tabela 4.2 – Resistência média a compressão dos corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos da obra 1.

Obra $f_{CK}$ Local	MÊS DE MOLDAGEM (Betoneira/ nota fiscal)	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS E TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS (MPa)											
		IDADE											
		Corpos-de-prova moldados			Testemunhos extraídos								
		3 dias	7 dias	28 dias	32 dias	49 dias	56 dias	65 dias	81 dias	88 dias	95 dias	103 dias	
01 35 MPa (Concremat) (UERJ/ Lafarge)	Fundação	35111	19,1	28,9	35,9	-	-	-	33,9	-	-	-	-
		35112	19,3	26,9	32,6	-	-	-	34,6	-	-	-	-
		35214	13,4	17,7	29,1	-	-	34,2	-	-	-	-	-
		35251	15,4	20,3	30,6	-	30,2	-	-	-	-	-	-
		35256	14,7	18,5	27,3	-	34,3	-	-	-	-	-	-
		35258	12,1	16,8	27,6	-	34	-	-	-	-	-	-
		35420	16,8	18,3	29,9	29	-	-	-	-	-	-	-
	1º Teto Tipo	36731	12,5	-	17,3	-	-	-	-	-	-	-	33,5
		36881	20,5	-	26,2	-	-	48,3	-	-	-	-	-
		36883	27,4	-	33,6	-	-	45,3	-	-	-	-	-
		36887	22,1	-	29	-	-	49,3	-	-	-	32,1	-
		36889	22,2	-	27,9	-	-	46,4	-	-	-	-	-
		36890	20,1	-	29,2	-	-	43,5	-	-	-	-	-
	2º Teto Tipo	37003	17,7	24,2	32,9	-	40,6	-	-	-	-	-	-
		37005	22	24,4	27,8	-	33	-	-	-	-	-	-
		37015	20,1	22,8	29	-	19,7	-	-	-	44,8	-	-
		37016	21,6	22,9	33,7	-	36	-	-	-	-	-	-
		37018	20	22,2	29,7	-	34	-	-	-	-	-	-
	3º Teto Tipo	37154	14,4	19	29,5	-	-	-	-	29	-	-	-
		37157	13,5	17,6	24,8	-	-	-	-	32	-	-	-
		37159	11,1	18,8	26,4	-	-	-	-	35	-	-	-
37160		14,8	18,8	28,3	-	-	-	-	31,8	-	-	-	
37161		16,8	18,4	28,9	-	-	-	-	29,3	-	-	-	
37167		14,3	16	23,7	-	-	-	-	33,9	-	-	-	
37168		11,3	17,7	27,4	-	-	-	-	32,1	-	-	-	
37169		14,2	17,8	28,1	-	-	-	-	21	-	-	-	

## 4.2. Análise dos resultados das resistências à compressão

Nas Figuras 4.1, 4.3, 4.5, 4.7 estão inseridos todos os resultados individuais obtidos para a resistência aos 3, 7 e 28 dias, ao longo do período de execução das Obras 1, 2, 3 e 4, respectivamente, com uma linha reta de tendência para cada idade.

Nas Figuras 4.2, 4.4, 4.6, 4.8 encontram-se os valores médios mensais das resistências apresentadas nas Figuras 4.1, 4.3, 4.5, 4.7, para as idades 3, 7 e 28 dias.

A Obra 1, ao longo do período de construção de fevereiro a outubro de 2008, houve resultados com grande dispersão nas três idades. Como a resistência do concreto nesse estudo refere-se à resistência potencial do concreto, medida na saída da betoneira, os fatores que influenciam na qualidade (resistência) do concreto devem-se aos materiais, à mistura e ao procedimento de ensaio. Os materiais e a mistura são fatores diretamente relacionados com a produção do concreto, mas o último está relacionado com as operações de ensaio.

A Figura 4.2 mostra que no mês de março houve uma queda nos valores médios das resistências nas três idades, e que no terceiro e quarto meses os resultados voltaram a subir e praticamente estabilizaram-se a partir do quinto mês.

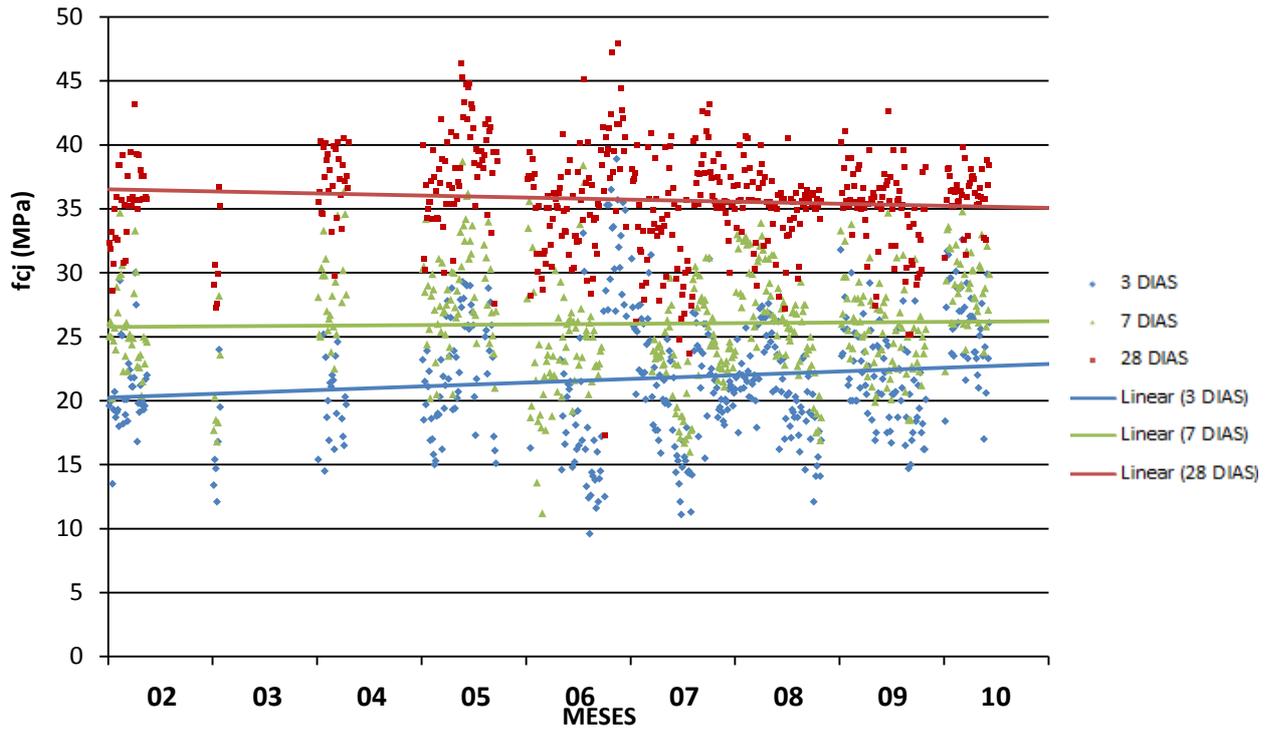


Figura 4.1 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 1.

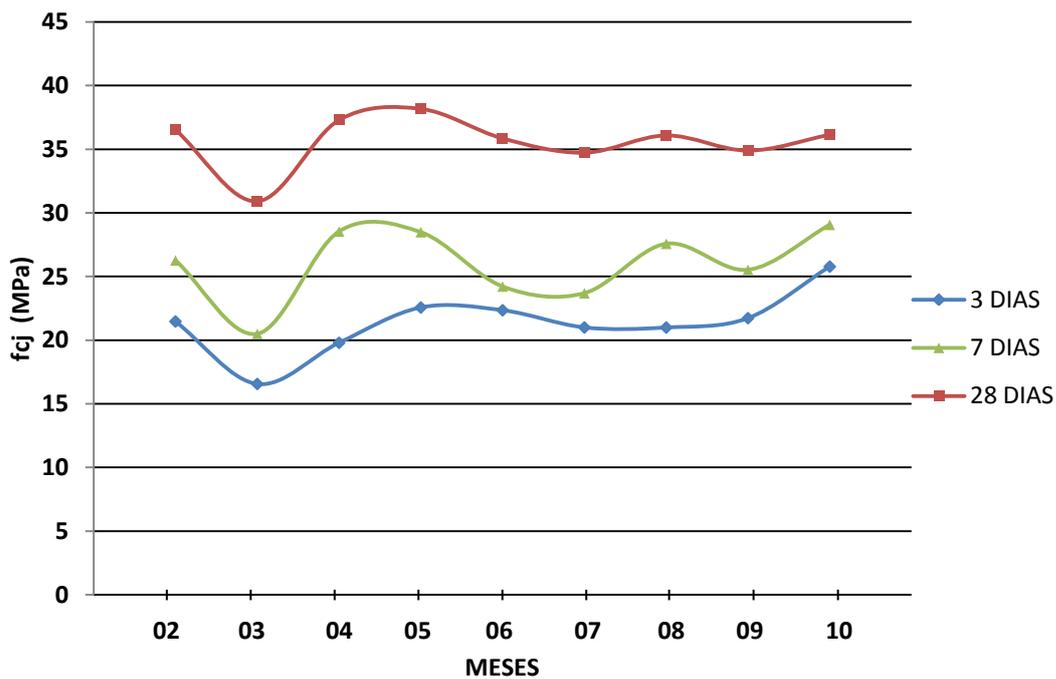


Figura 4.2 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 1.

Na Obra 2 (Figuras 4.3 e 4.4) observa-se uma diminuição contínua de sua resistência. Visto que o  $f_{c28}$  de projeto é de 35 MPa; conclui-se que esse concreto vinha sendo ajustado, devido aos resultados muito acima do esperado no mês de dezembro.

Na Obra 2 ficam evidentes dois casos:

- 1- a concreteira com seu traço produzido em laboratório e definido para essa obra, começou a produzir diariamente e enviar o concreto para as obras com um cimento “A”. Esse cimento é ensaiado pela fábrica e enviado à concreteira, ela por sua vez, quando recebe o resultado, já produziu o seu concreto. Quando o resultado do cimento está muito bom, como é o caso, a cimenteira começa a colocar um pouco mais de escoria, ajustando a resistência a cada mês de produção. A concreteira também percebeu a alta do resultado do seu concreto e reformulou o seu traço;
- 2- no decorrer dos meses apareceu um período de tempo, no qual chegou-se numa faixa de resultado muito próximo do desejado, em uma zona de risco, pois qualquer descuido o concreto não atenderia o  $f_{ck}$  de projeto, podendo ocasionar sérios problemas de resistência na estrutura. É onde começa a operação inversa, vista claramente na Figura 4.3 no mês de março.

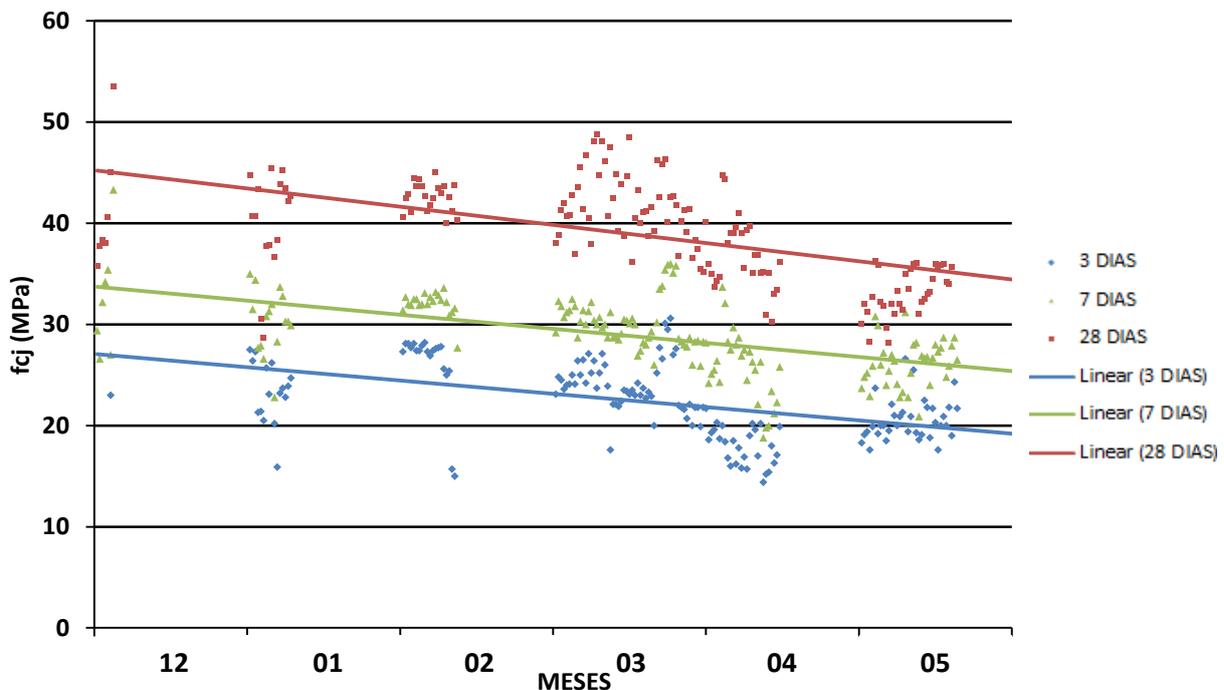


Figura 4.3 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 2.

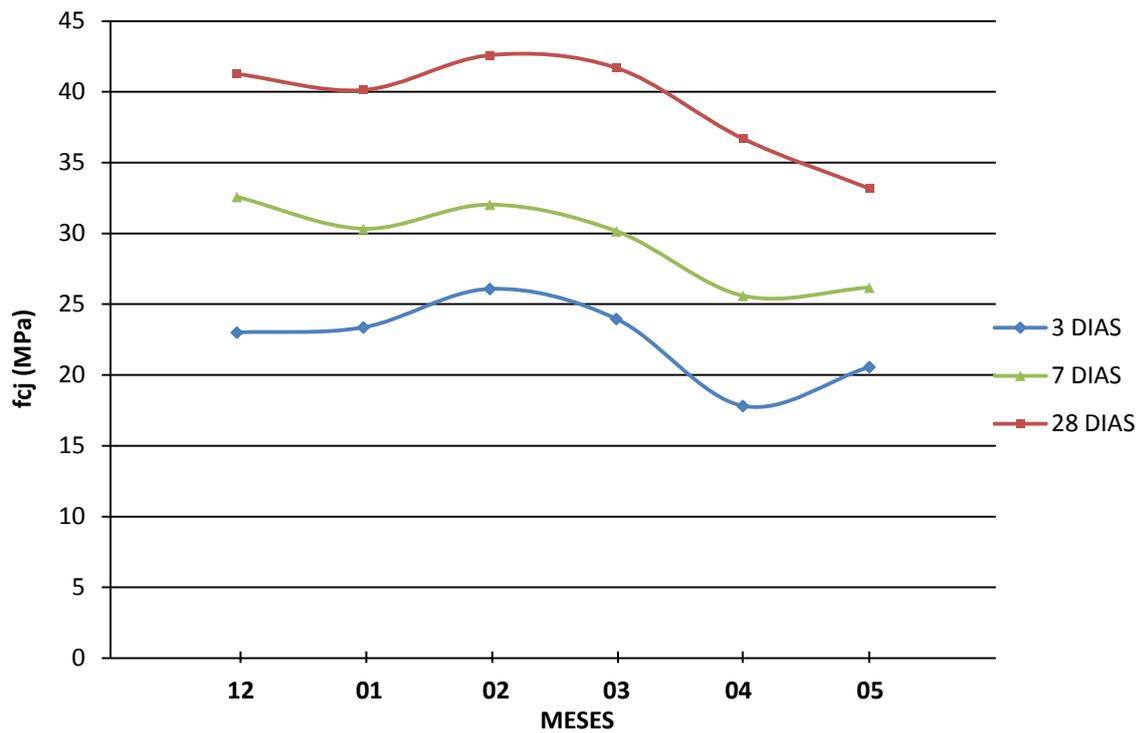


Figura 4.4 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 2.

O concreto da Obra 3 foi fornecido pela mesma concreteira da Obra 2 ao longo de um período de tempo de construção semelhante; Obra 3 – de agosto de 2009 a maio de 2010 e a obra 2 – de dezembro de 2009 a junho de 2010). Por isso os resultados relativos à Obra 3, no que se refere a diminuição da resistência média ao longo do tempo, foram semelhantes aos resultados da Obra 2.

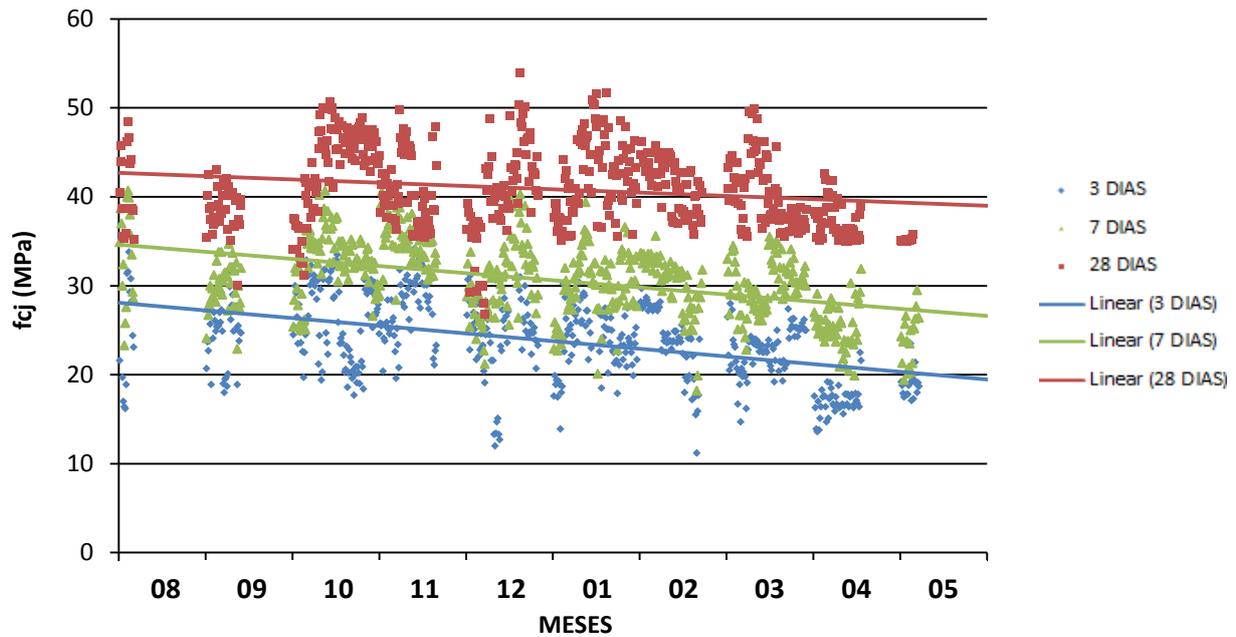


Figura 4.5 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 3.

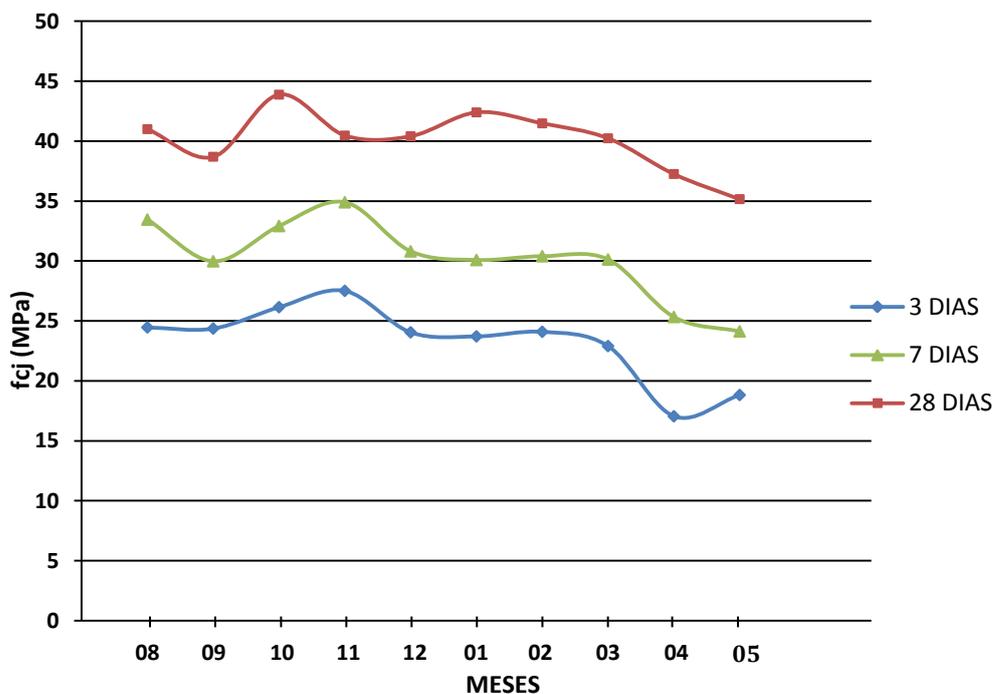


Figura 4.6 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 3.

A seguir, na Obra 4, por ser da mesma concreteira 'PREMIX' das Obras 2 e 3 e estar continuando a linha do tempo das anteriores, (agosto de 2010 a julho de 2011) o processo de análise referente aos dias de rompimento foi modificado ao longo da obra, dando enfoque nos resultados de 7 e 28 dias (Figuras 4.7 e 4.8) e o pequeno número de resultados de 3 dias. Com isso, com seus 1.068 corpos-de-prova, na sua maioria de 7 e 28 dias, conseguiu-se

evidenciar que ao longo desses anos uma eficaz no processo produtivo do concreto, mostrando uma qualidade, regularidade e certeza nos seus resultados.

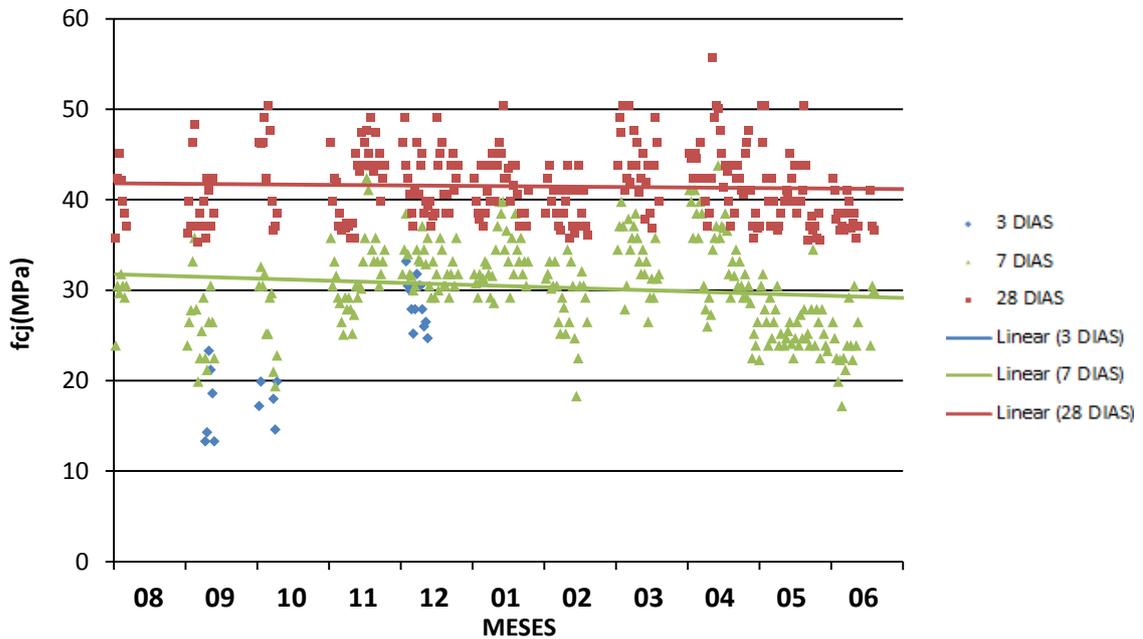


Figura 4.7 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 4.

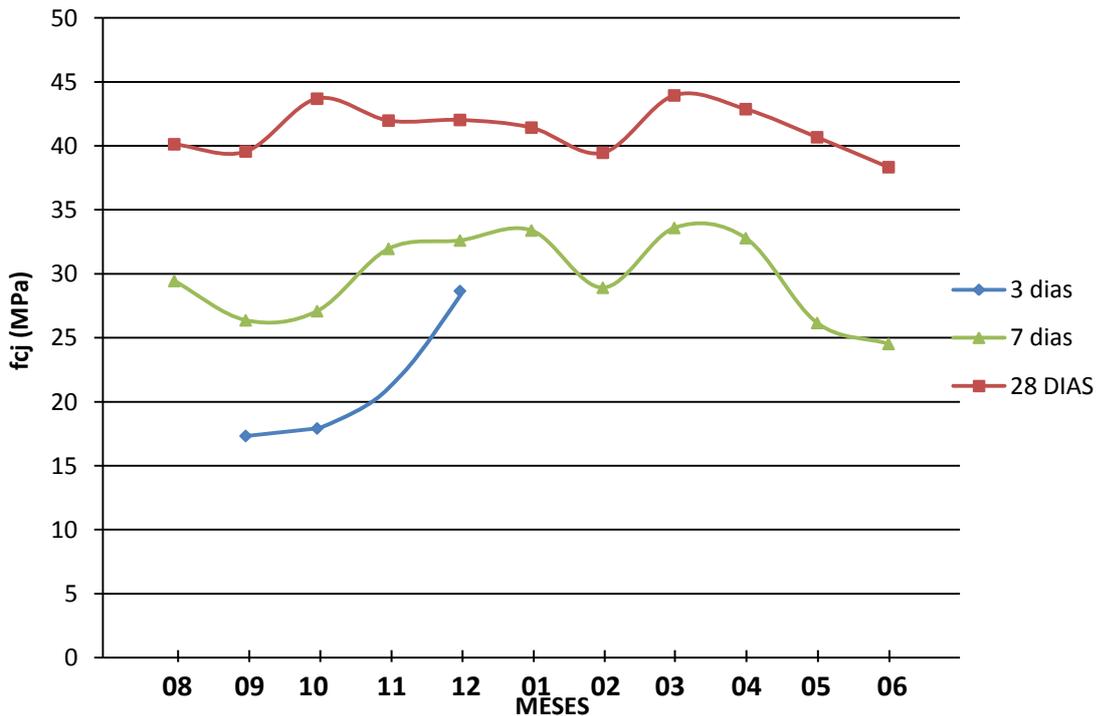


Figura 4.8 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 4.

Afim de justificar a constatação feita nas Obras 2 e 3, nas Figuras 4.9 e 4.10 estão demonstrados os resultados do cimento em 3, 7 e 28 dias, em quatro

meses (janeiro de 2010 a abril de 2010). No Anexo E constam os ensaios químicos e físicos do cimento nesse período.

Apesar dos resultados terem sido fornecidos pela fábrica de cimento, fica exposta a tendência de baixa no decorrer dos meses. Observa-se que o último mês, abril de 2010, está diretamente correlacionado com os resultados do concreto na Obra 2 e Obra 3, em seus respectivos meses de abril, sendo a baixa da resistência nesse mês, um indício do problema.

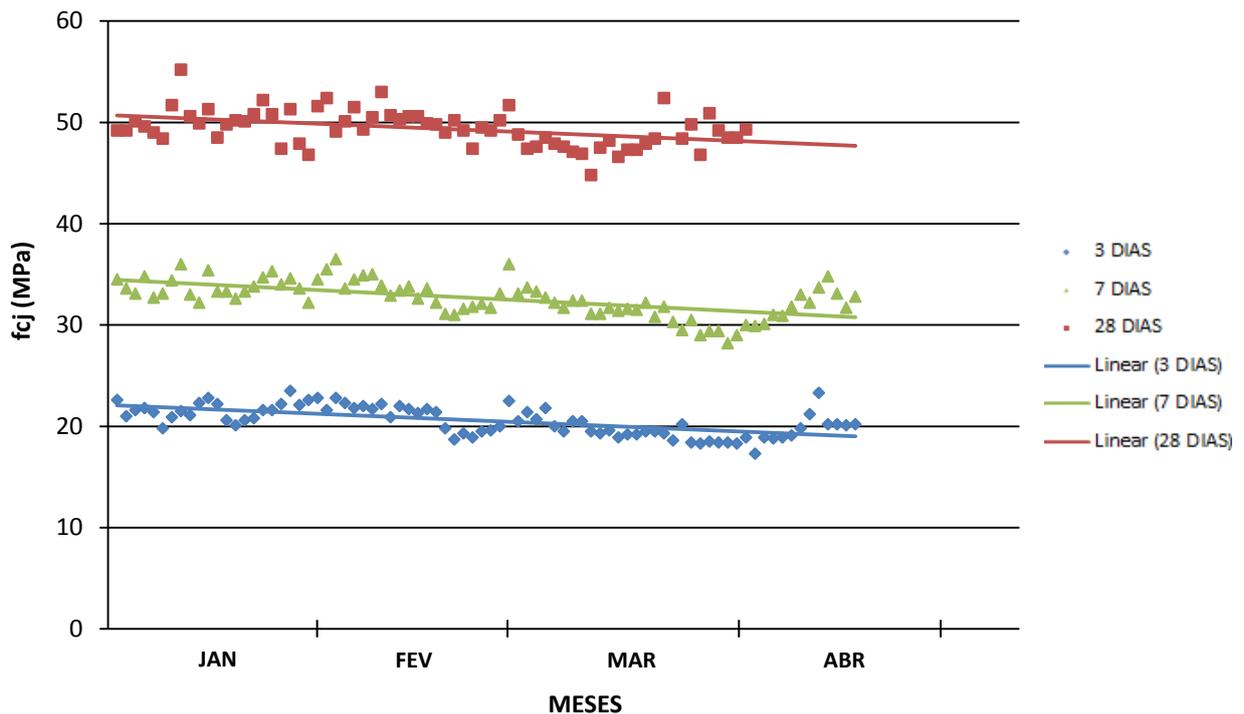


Figura 4.9 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo do cimento (janeiro a abril de 2010).

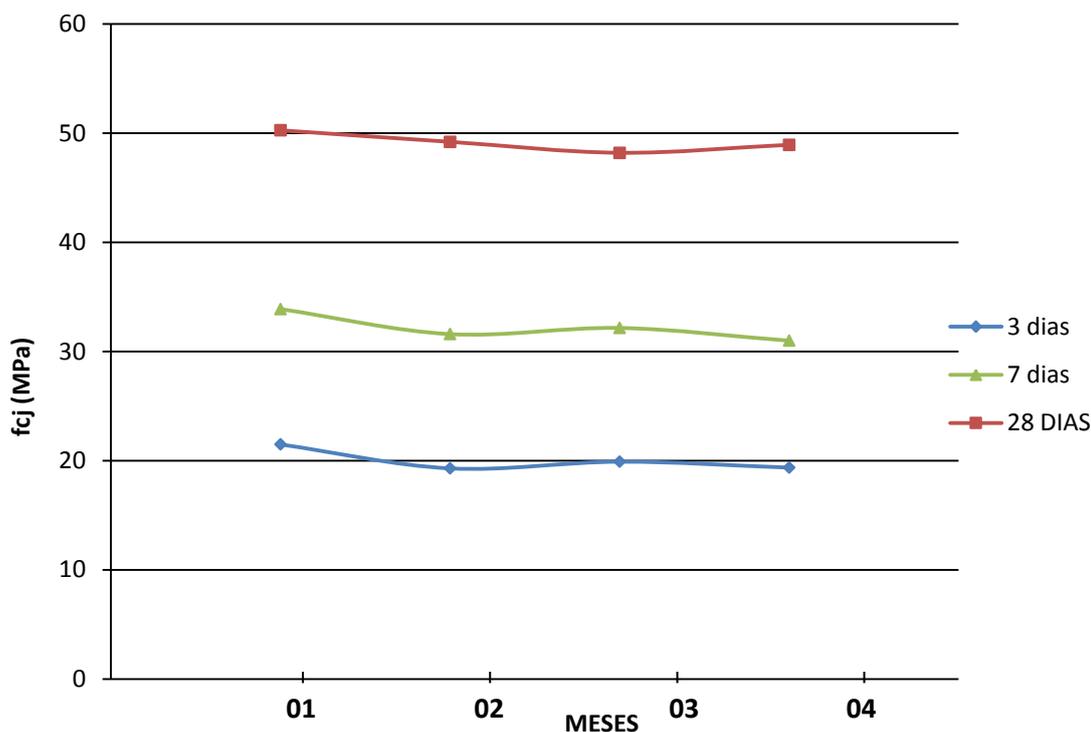


Figura 4.10 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo do cimento.

Para retratar os resultados anteriores, nas Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 estão demonstrado conforme dito acima, a equação da NBR 6118:2003 ao longo do tempo com 3, 7, 14, 21 e 28 dias e as médias mensais das obras respectivamente.

A Figura 4.11 esclarece a descontinuidade e incertezas nos resultados obtidos, onde no primeiro mês (fevereiro de 2008) a curva coincide com a expressão da NBR 6118:2007 e no segundo (março de 2008) fica nítido o fraco crescimento da resistência. No terceiro mês (abril de 2008), após reclamações e estudos, testes esclerométricos e inícios das extrações de corpos-de-prova (Figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20) obteve-se um aumento da resistência muito acima da expressão da NBR 6118:2007. Nos meses seguintes ocorreram resultados poucos convencionais, pois as curvas tenderam para uma linha reta (meses de junho e julho), aumentando pouco nos primeiros dias mas na média atingindo o  $f_{c28}$ .

## MÉDIAS MENSAIS

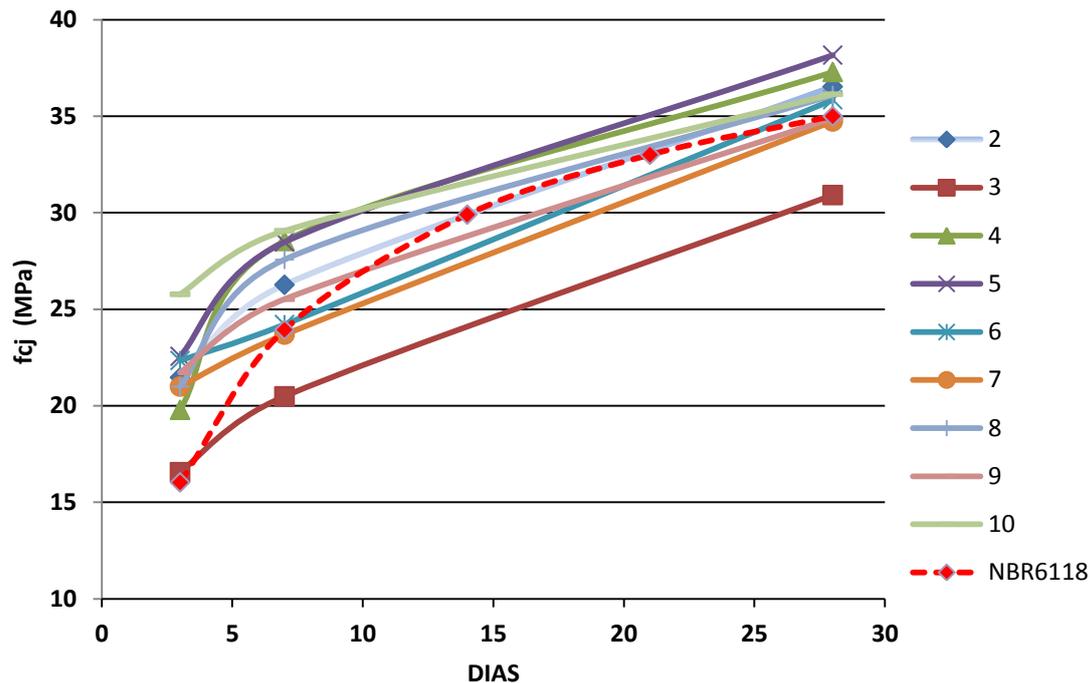


Figura 4.11 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da Obra 1.

Observando-se as referidas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14, verifica-se inicialmente uma grande semelhança no comportamento dessas três obras, característica indicativa de um bom grau de confiabilidade dos resultados gerais dos ensaios.

De outra parte observa-se que não há grandes discrepâncias entre as resistências nas idades ensaiadas das obras. Levando-se em consideração um número bastante expressivo de corpos-de-prova em condições normais, desde a produção, o transporte, o lançamento e a cura, em função de uma linha de tempo de três anos e quatro meses, os resultados são bastante confiáveis e dentro do esperado, com as curvas de crescimento das médias mensais bastante equalizadas.

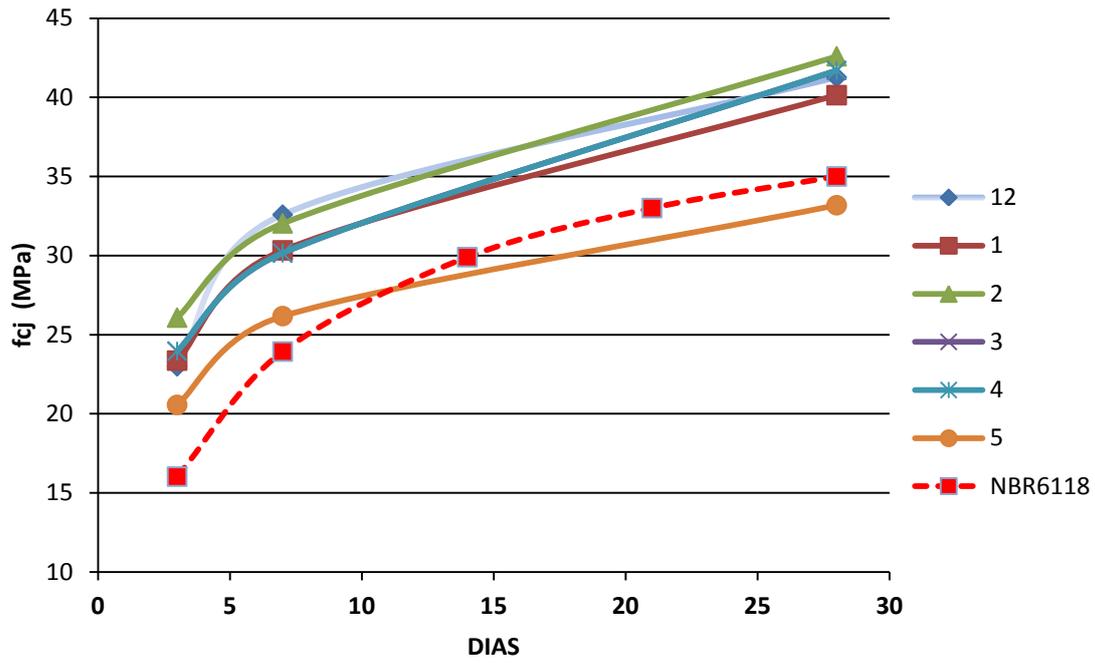


Figura 4.12 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da Obra 2.

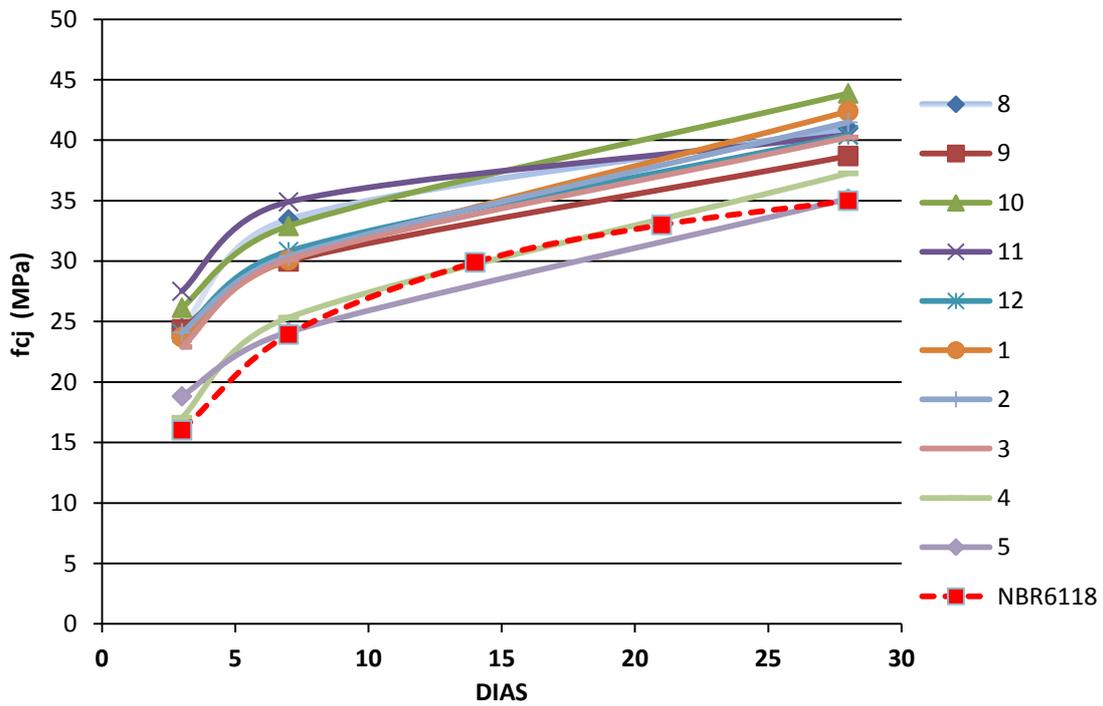


Figura 4.13 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da Obra 3.

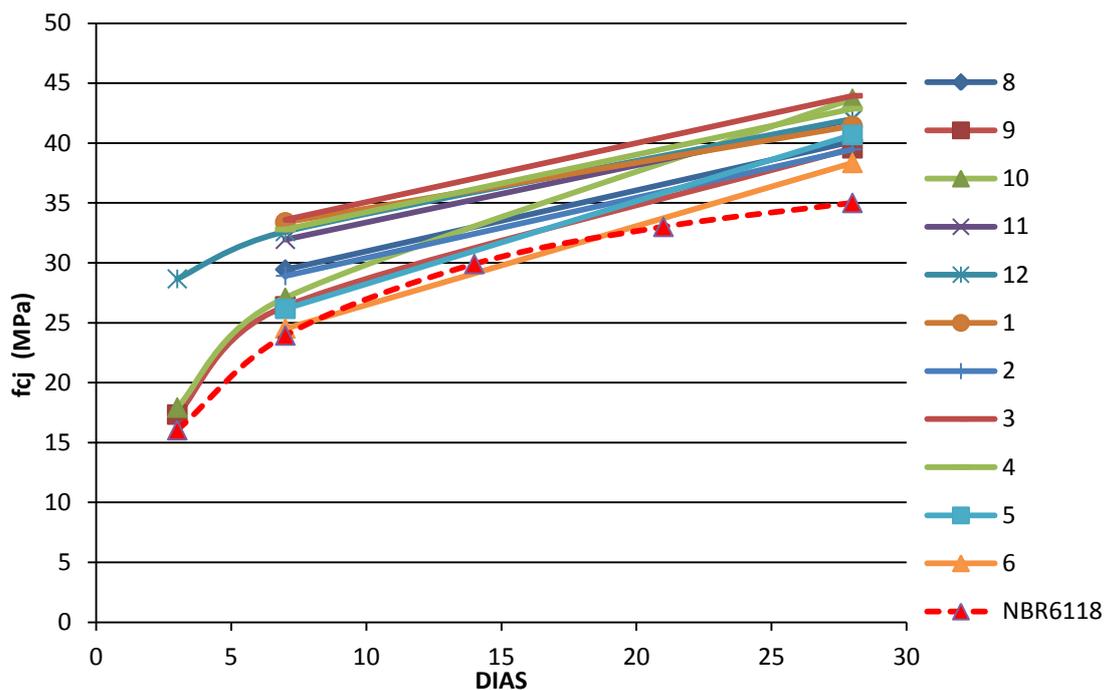


Figura 4.14 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da Obra 4.

No tocante as médias gerais das obras e sua comparação com o resultado da expressão da NBR 6118:2007, observa-se nas Figuras 4.15 e 4.16 a evolução dos concretos estudados e suas particularidades de uma maneira geral ao longo dos 3, 7 e 28 dias.

Fica evidente a eficácia dos concretos das Obras 2, 3 e 4 e o controle, desde a empresa produtora dos agregado ao produto final. Enquanto na Obra 1 fica explícito a deficiência, irregularidades, falta de controle e de qualidade da empresa cimenteira e concreteira.

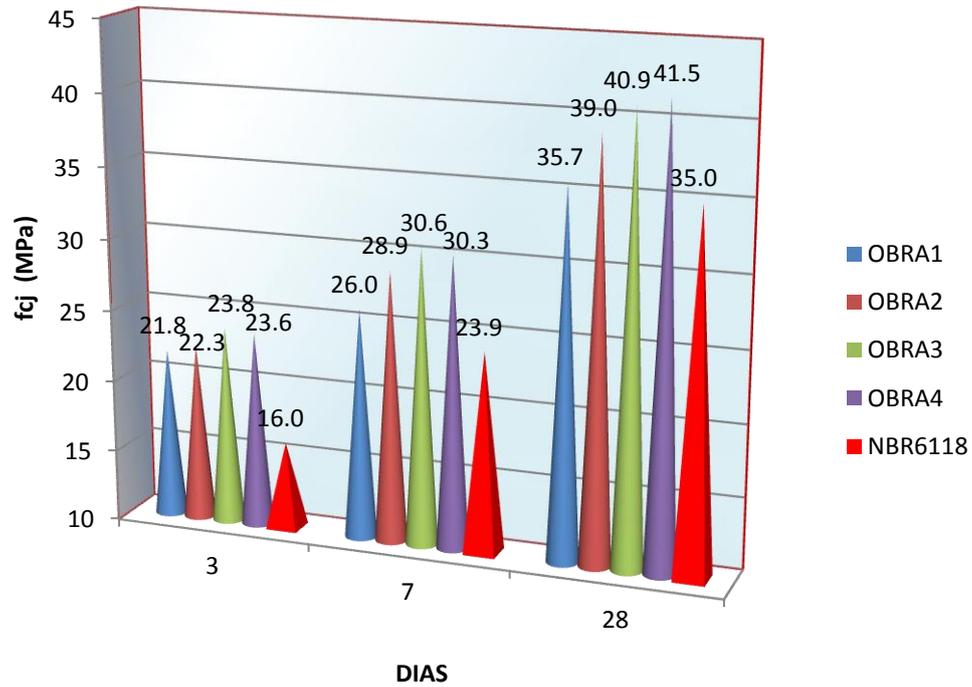


Figura 4.15 – Resistências médias à compressão dos corpos-de-prova moldados.

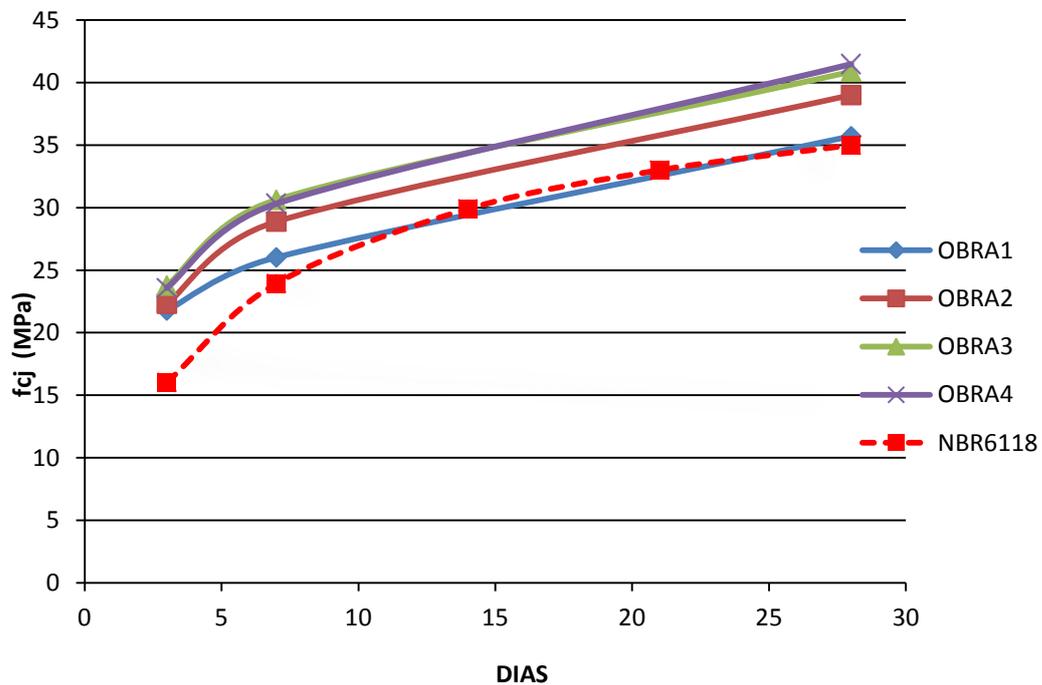


Figura 4.16 – Evolução da resistência à compressão da média ao longo do tempo das obras.

#### 4.2.1. Controle Tecnológico conforme a NBR 12655

Nas Tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 constam os dados das quatro obras divididas em lotes conforme a NBR 12655 (Tabela 2.5 – Valores para formação de lotes de concreto). Estão também os  $f_{ck\ est}$  de cada lote seguindo o critério abaixo:

- *Controle do concreto por amostragem total (100%):*

Consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto e aplica-se a casos especiais. Nesse caso não há limitação para o número de exemplares do lote e o valor estimado da resistência característica é dado por:

a) para  $n < 20$ ,  $f_{ck\ est} = f_1$

b) para  $n > 20$ ,  $f_{ck\ est} = f_i$  sendo:  $i = 0,05n$  adotando-se no caso de  $i$  fracionário o número inteiro imediatamente superior.

Como se tem um exemplar para cada amassada aos 28 dias em todas as obras e cada amassada equivale a um caminhão betoneira contendo  $8\text{m}^3$ , foi utilizado  $f_{ck\ est} = f_1$ , onde  $f_1$  é o menor valor dos exemplares do lote.

Estatisticamente tem-se no final de cada tabela a seguir, a porcentagem de lotes que *a priori* estão aceitos ou rejeitados pelo critério.

$$f_{ck\ est} \geq f_{ck}$$



Tabela 4.4 – Lotes de concreto – obra 2

OBRA 2					
LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$
LOTE 1	35,8	LOTE 16	37,9	LOTE 31	30,3
LOTE 2	38,0	LOTE 17	40,7	LOTE 32	28,3
LOTE 3	45,0	LOTE 18	47,5	LOTE 33	28,2
LOTE 4	40,7	LOTE 19	38,7	LOTE 34	31,0
LOTE 5	28,7	LOTE 20	36,2	LOTE 35	31,0
LOTE 6	37,8	LOTE 21	38,7	LOTE 36	32,2
LOTE 7	36,7	LOTE 22	41,6	LOTE 37	34,0
LOTE 8	42,2	LOTE 23	39,2		
LOTE 9	40,6	LOTE 24	36,8		
LOTE 10	41,2	LOTE 25	35,5		
LOTE 11	43,0	LOTE 26	35,2		
LOTE 12	40,0	LOTE 27	33,7		
LOTE 13	40,3	LOTE 28	38,0		
LOTE 14	38,0	LOTE 29	35,6		
LOTE 15	37,0	LOTE 30	30,9		
COUNT	10	27	Total		
	27,03%	72,97%	37		

Tabela 4.5 – Lotes de concreto – obra 3

OBRA 3							
LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$
LOTE 1	40,5	LOTE 31	43,7	LOTE 61	35,1	LOTE 91	35,8
LOTE 2	35,3	LOTE 32	38,2	LOTE 62	35,6	LOTE 92	35,5
LOTE 3	38,7	LOTE 33	39,2	LOTE 63	35,7	LOTE 93	42,5
LOTE 4	38,5	LOTE 34	37,7	LOTE 64	39,2	LOTE 94	42,7
LOTE 5	35,2	LOTE 35	36,3	LOTE 65	43,1	LOTE 95	36,4
LOTE 6	37,5	LOTE 36	39,3	LOTE 66	40,9	LOTE 96	37,1
LOTE 7	35,8	LOTE 37	45,0	LOTE 67	40,5	LOTE 97	37,9
LOTE 8	36,9	LOTE 38	39,4	LOTE 68	47,9	LOTE 98	37,4
LOTE 9	37,2	LOTE 39	44,6	LOTE 69	36,6	LOTE 99	35,5
LOTE 10	36,3	LOTE 40	35,5	LOTE 70	39,0	LOTE 100	37,7
LOTE 11	35,1	LOTE 41	36,2	LOTE 71	37,9	LOTE 101	36,1
LOTE 12	30,1	LOTE 42	35,4	LOTE 72	37,0	LOTE 102	36,9
LOTE 13	39,0	LOTE 43	35,9	LOTE 73	35,5	LOTE 103	35,9
LOTE 14	34,1	LOTE 44	38,5	LOTE 74	41,7	LOTE 104	36,5
LOTE 15	31,2	LOTE 45	29,3	LOTE 75	35,8	LOTE 105	35,1
LOTE 16	41,6	LOTE 46	29,4	LOTE 76	39,2	LOTE 106	35,3
LOTE 17	36,4	LOTE 47	29,9	LOTE 77	42,8	LOTE 107	37,0
LOTE 18	38,7	LOTE 48	26,8	LOTE 78	42,3	LOTE 108	36,3
LOTE 19	38,3	LOTE 49	39,5	LOTE 79	41,3	LOTE 109	35,1
LOTE 20	43,8	LOTE 50	37,6	LOTE 80	41,2	LOTE 110	35,0
LOTE 21	41,0	LOTE 51	37,3	LOTE 81	38,8	LOTE 111	35,0
LOTE 22	45,3	LOTE 52	36,2	LOTE 82	37,8	LOTE 112	35,1
LOTE 23	43,6	LOTE 53	39,1	LOTE 83	37,1	LOTE 113	35,2
LOTE 24	44,9	LOTE 54	38,7	LOTE 84	37,0	LOTE 114	35,0
LOTE 25	46,4	LOTE 55	39,3	LOTE 85	37,3	LOTE 115	35,0
LOTE 26	44,1	LOTE 56	46,2	LOTE 86	37,4	LOTE 116	35,2
LOTE 27	46,4	LOTE 57	41,7	LOTE 87	35,8		
LOTE 28	44,7	LOTE 58	38,2	LOTE 88	37,1		
LOTE 29	44,1	LOTE 59	40,2	LOTE 89	39,6		
LOTE 30	42,8	LOTE 60	44,1	LOTE 90	39,3		
COUNT	7	109	Total				
	6,03%	93,97%	116				

Tabela 4.6 – Lotes de concreto – obra 4

OBRA 4					
LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$	LOTE	$f_{ck\ est}$
LOTE 1	35,8	LOTE 31	39,8	LOTE 61	39,8
LOTE 2	42,4	LOTE 32	43,8	LOTE 62	38,5
LOTE 3	42,2	LOTE 33	42,4	LOTE 63	35,5
LOTE 4	38,5	LOTE 34	39,8	LOTE 64	35,5
LOTE 5	36,3	LOTE 35	37,1	LOTE 65	36,6
LOTE 6	46,4	LOTE 36	41,1	LOTE 66	36,6
LOTE 7	35,3	LOTE 37	39,8	LOTE 67	35,8
LOTE 8	37,1	LOTE 38	36,6	LOTE 68	41,1
LOTE 9	35,8	LOTE 39	35,8	LOTE 69	36,6
LOTE 10	37,1	LOTE 40	36,3		
LOTE 11	38,5	LOTE 41	36,1		
LOTE 12	46,2	LOTE 42	43,8		
LOTE 13	42,4	LOTE 43	41,1		
LOTE 14	39,8	LOTE 44	41,9		
LOTE 15	36,6	LOTE 45	37,9		
LOTE 16	37,1	LOTE 46	36,9		
LOTE 17	35,8	LOTE 47	39,8		
LOTE 18	35,8	LOTE 48	42,4		
LOTE 19	43,2	LOTE 49	42,4		
LOTE 20	43,2	LOTE 50	37,1		
LOTE 21	39,8	LOTE 51	55,7		
LOTE 22	46,4	LOTE 52	41,4		
LOTE 23	37,1	LOTE 53	37,1		
LOTE 24	40,6	LOTE 54	42,4		
LOTE 25	38,5	LOTE 55	40,6		
LOTE 26	37,1	LOTE 56	41,1		
LOTE 27	38,5	LOTE 57	35,8		
LOTE 28	38,5	LOTE 58	37,1		
LOTE 29	43,8	LOTE 59	36,6		
LOTE 30	37,1	LOTE 60	39,8		
COUNT	0	69	Total		
	0,00%	100,00%	69		

A seguir serão analisados os resultados da resistência a compressão aos 28 dias por outro parâmetro da NBR 12655.

- *Controle estatístico do concreto por amostragem parcial*

b) para lotes com número de exemplares  $n > 20$ :

$$f_{ck\ est} = f_{cm} - 1,65S_d$$

sendo:

- $f_{cm}$  é a resistência média dos exemplares do lote em MPa;
- $S_d$  é desvio-padrão do lote para  $n-1$  resultados em MPa.

chega-se aos seguintes resultados

- Obra 1 –  $f_{ck\ est} = 29,4$  MPa.
- Obra 2 –  $f_{ck\ est} = 30,9$  MPa.
- Obra 3 –  $f_{ck\ est} = 33,5$  MPa.
- Obra 4 –  $f_{ck\ est} = 34,9$  MPa.

#### 4.2.2. Análise dos resultados de Extração da obra 1

Nesta pesquisa experimental pretende-se também com a extração dos corpos-de-prova “*in loco*” analisar a relação entre a resistência dos corpos-de-prova padrão moldados, denominada resistência potencial, e a resistência dos testemunhos extraídos, que representa a resistência efetiva do concreto na estrutura. Essa relação, quando obtida de corpos-de-prova e testemunhos de mesmas dimensões, quantifica os efeitos causados pelo processo de broqueamento na resistência dos testemunhos.

Na literatura o ACI 214.4R-203 em sua Tabela 8-1 propõe o valor de 1,06 para o coeficiente angular que representa o  $\gamma_{c2}$  para ser multiplicado pela resistência dos testemunhos em face dos *danos do broqueamento*, único coeficiente indicado explicitamente para tal fim em normas nacionais e internacionais. A Concrete Society considera como razoável que a resistência do testemunho seja de 5% a 7% inferior à resistência do corpo-de-prova moldado, sendo assim de mesma ordem de grandeza. Por sua vez o CEB atribui o valor de 1,10 para a parcela  $\gamma_{c2}$  que representa a diferença da resistência do corpo-de-prova para a estrutura. A NBR 6118:2007 admite, para verificação do estado

limite último, no caso de testemunhos extraídos da estrutura, dividir o valor do  $\gamma_c$  por 1,1. Por sua vez, a versão anterior desta norma (NBR 6118:1978), no capítulo concernente à Aceitação da Estrutura, no que se refere aos ensaios especiais, recomendava a extração pelo menos seis corpos-de-prova de 15 cm de diâmetro, corrigindo-se os resultados dos ensaios de ruptura *em virtude dos efeitos do broqueamento*, sem, no entanto *especificar o coeficiente* para tal. Em parágrafo seguinte recomendava que o valor da *resistência característica* deveria *ser aumentado de 10% (ou 15%)*, dependendo da amostragem, por se tratar da resistência do concreto na própria estrutura.

Baseando-se nos resultados de testes em testemunhos realizados por diversos pesquisadores, conforme mencionado no terceiro capítulo, MELCHERS (1987) *apud* SILVA (2002) sugere que para os lotes de concretos “*in loco*”, os valores de coeficientes de variação sejam de 10 a 20%, dependendo da sua análise quanto ao controle utilizado.

VIEIRA FILHO (2007) analisa a variação dos resultados dos corpos-de-prova 10 cm x 20 cm moldados e extraídos do concreto de 20 MPa curados úmidos e com os testemunhos extraídos, tanto dos blocos experimentais curados úmidos, quanto dos blocos experimentais curados ao ar. Em 1ª análise para o concreto de  $f_{ck} = 20$  MPa, para a idade de 28 dias o  $\gamma_{c2}$  assume os valores de resultam em valores respectivamente de 1,11 e 1,17, com valor médio de 1,14. Apesar de ter sido analisado um concreto de  $f_{ck} = 20$  MPa, produzido especificamente para tal, esse resultado é válido para comparações com as normas e com a dissertação em questão.

A seguir, as Figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20, respectivamente, constam os resultados dos corpos-de-prova moldados e extraídos da Fundação, 1º Teto-Tipo, 2º Teto-Tipo e 3º Teto-Tipo. Vale ressaltar que os corpos-de-prova extraídos não foram corrigidos por nenhuma normativa, a fim de ser possível analisar os resultados “reais” obtidos com suas devidas variáveis.

Realizando-se uma análise quanto ao tempo equivalente em que foram concretados as peças/pavimentos, observa-se nos resultados dos corpos-de-prova extraídos nas Figuras seguintes, a oscilação do problema de baixa resistência nos meses de março e julho de 2008, vista no âmbito das análises mensais da obra em questão nas Figuras 4.2 e 4.11.

A Fundação equivale ao primeiro e segundo meses de obra, respectivamente, fevereiro e março de 2008, o 1º Teto-Tipo, 2º Teto-Tipo e 3º Teto-Tipo equivale ao mês de julho de 2008. Assim, observa-se que essas corroboram com seus resultados de extrações o fraco desenvolvimento do concreto, seguindo as oscilações do concreto moldado ao longo dos meses de obra.

Salienta-se que está claro que na Fundação, que se refere ao meses de fevereiro e março, os resultados de extração ficaram na faixa dos 35 MPa ou abaixo, e que no 1º Teto-Tipo, 2º Teto-Tipo e 3º Teto-Tipo os resultados foram bem adversos, alguns acima dos 35 MPa e outros abaixo, independentemente do dia ensaio (Figura 4.18).

Quanto aos resultados extremos de alguns corpos-de-prova, como mostra a Figura 4.19, esse se deve, por diversos motivos, desde: barra de aço de 6,3 mm ortogonal ao seu eixo ou próximo a superfície, falhas de concretagem ou depressão na face lateral do próprio.

Referente a esses resultados extremos, dois realmente chamaram a atenção (Figuras 4.19 e 4.20), que poderia ser excluído dentre os demais por terem sido únicos. Só que em um deles, especificamente o mostrado na Figura 4.19, com rompimento aos 49 dias (do dia 10 de julho de 2008 – nota fiscal 37015), resolveu-se realizar novas extrações por dois motivos: o primeiro por ter sido extraído de uma peça importante da estrutura, o pilar, e o segundo para constatar por definitivo a sua resistência aos 88 dias. No Anexo B estão todos os dados com seus respectivos resultados, e esse especificamente teve seu  $f_{c88} = 44,8$  MPa.

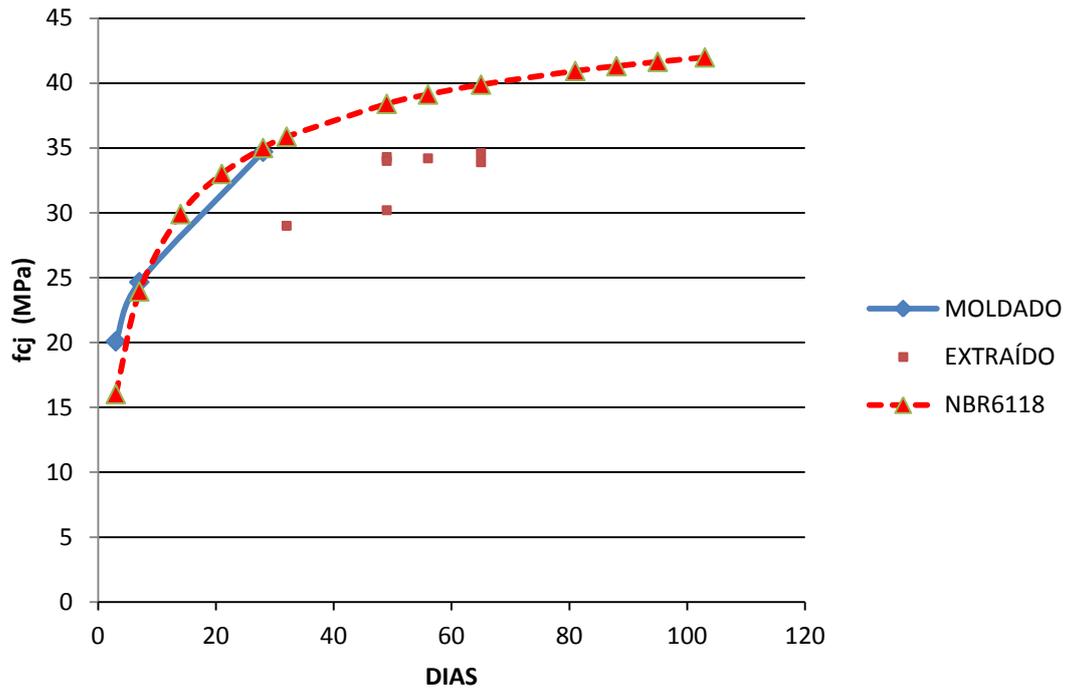


Figura 4.17 – Evolução da resistência à compressão da média da Fundação dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da Obra 1.

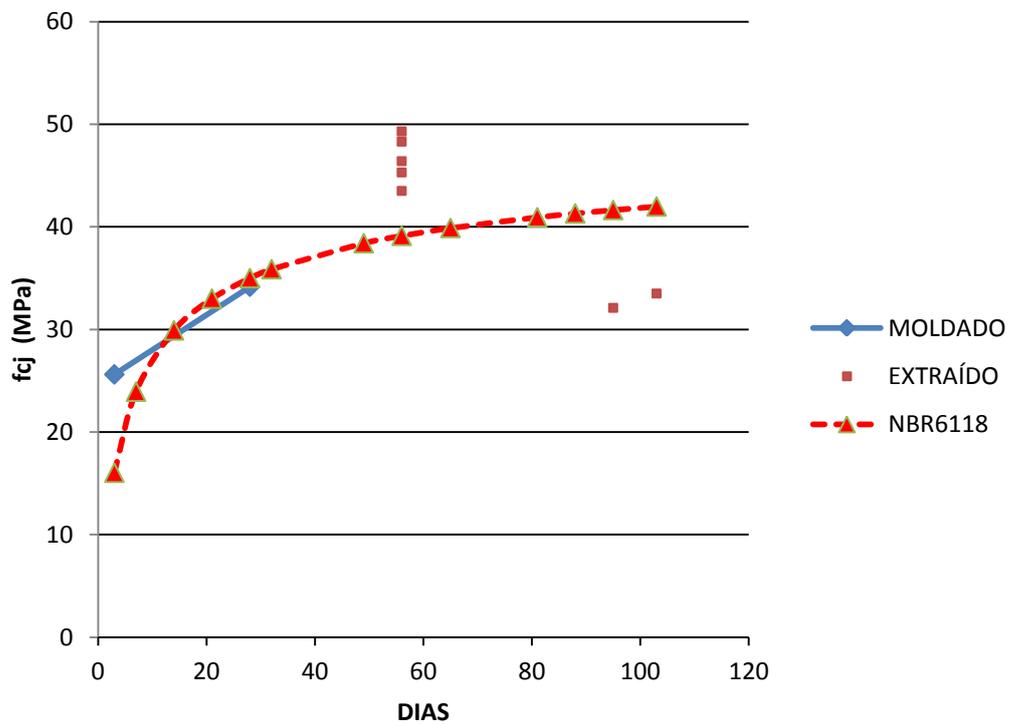


Figura 4.18 – Evolução da resistência à compressão da média do 1º Teto Tipo dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da Obra 1.

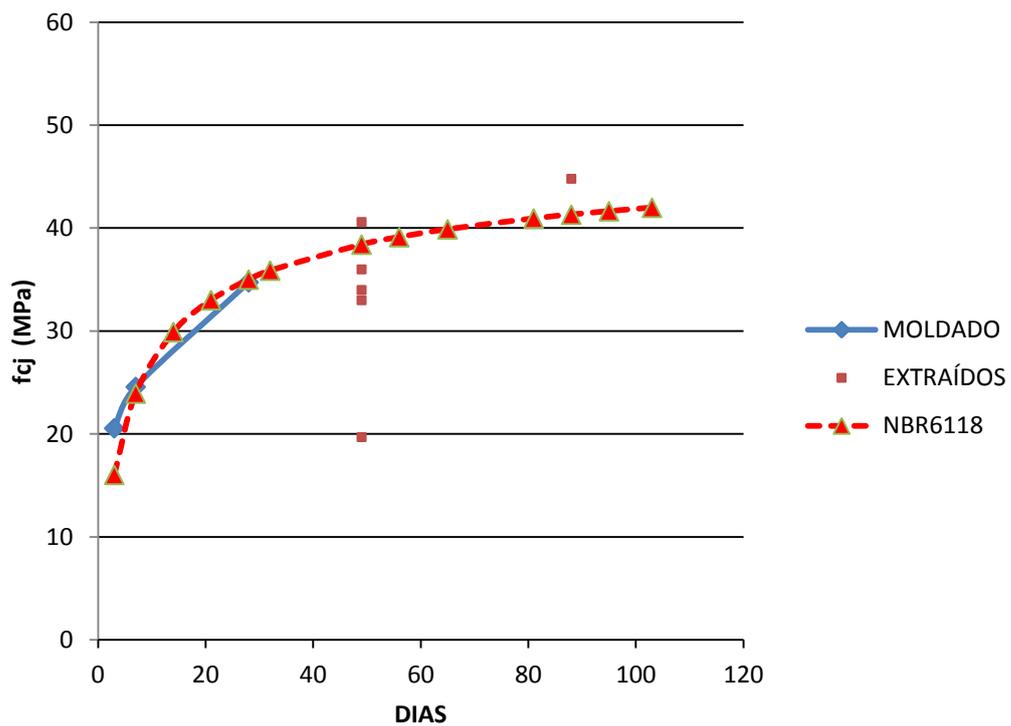


Figura 4.19 – Evolução da resistência à compressão da média do 2º Teto Tipo dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da Obra 1.

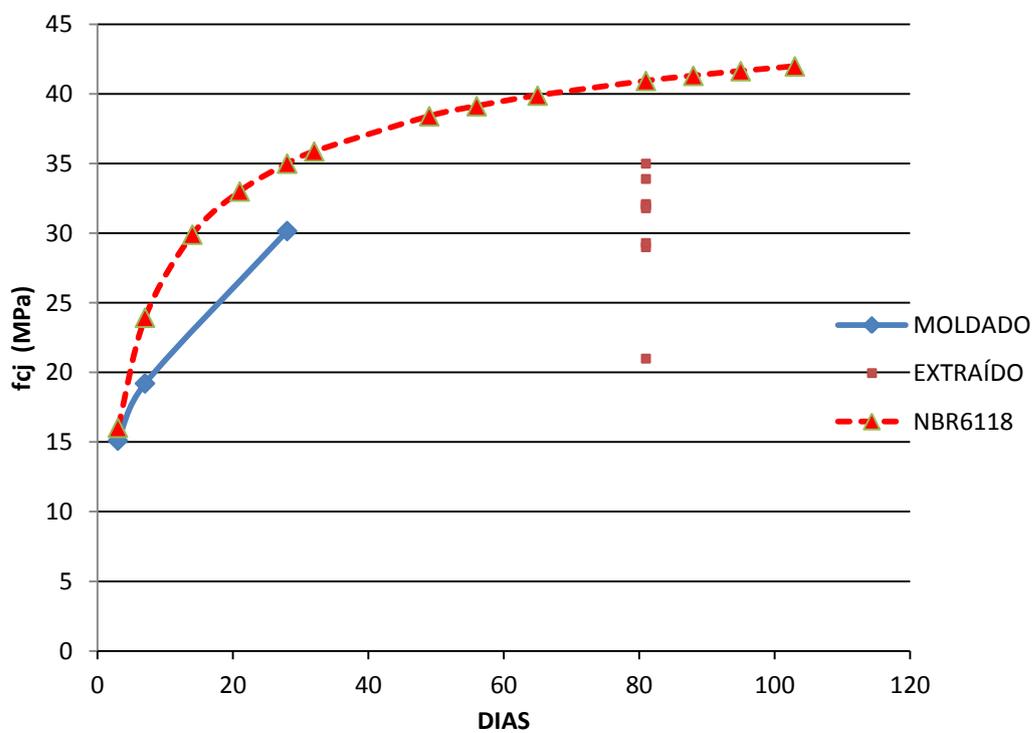


Figura 4.20 – Evolução da resistência à compressão da média do 3º Teto Tipo dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da Obra 1.

Analisando-se os resultados de extração, admitindo-se a NBR 6118:2007, com o coeficiente de ponderação das resistências no estado limite ultimo (ELU), consegue-se explicitar neste estudo o coeficiente de correção devido aos efeitos de bronqueamento em 1,10. Faz-se de grande valia essa correção, visto que foi usada na Obra 1 para aceitação da mesma, sem precisar de nenhum tipo de intervenção.

Assim, **vale registrar a coerência observada nesta pesquisa experimental**, nos resultados dos ensaios, quando se realizam as diversas análises ao longo do tempo, ora variando-se as obras, as médias mensais das mesmas, as médias gerais, a correlação com a expressão da NBR 6118:2007 e da resistência dos testemunhos extraídos mostrando as oscilações do concreto moldado ao longo dos meses de obra.

#### **4.3. Análise do resultado do ensaio complementar de esclerometria**

O ensaio complementar da dureza esclerométrica foi realizado com vista a fornecer subsídios, quanto à compatibilidade dos resultados dos ensaios efetuados com os moldados e testemunhos extraídos da Obra 1. Foram definidas *à priori* na obra algumas peças que apresentavam resultados suspeitos aos 28 dias.

De acordo com BUNGEY (1989) *apud* EVANGELISTA (2002) variações no endurecimento inicial, cura e condições de exposição do concreto influenciam a relação dureza superficial e resistência, e acrescenta-se ainda que os métodos de cura possam afetar as condições de umidade do concreto. Nessa dissertação, por se tratar de uma obra em execução, todas as peças aonde foram executados os ensaios esclerométricos, obtiveram as mesmas condições de cura e exposição.

Na Tabela 4.7 também estão os resultados dos respectivos eventos de moldagem e de seus testemunhos extraídos quando possível, a fim de ter-se algum comparativo/coerência com o resultado da esclerometria. Observa-se que os resultados de esclerometria, dentro de certos parâmetros dos ensaios não destrutivos discutidos nos capítulos anteriores, valida novamente o grau de confiabilidade do mesmo. Por exemplo, no evento de moldagem de nota fiscal

36887 e 36889, fica evidente a coerência dos resultados, visto que o primeiro teve o seu resultado de esclerometria maior que o segundo, 38,1 MPa para 35,2 MPa, mostrando que o seu resultado de moldagem também deveria ser maior, como é de 29 MPa para 27,9 MPa.

Em contrapartida, no evento de moldagem de nota fiscal 37017 e 37164 onde os resultados dos corpos-de-prova moldados aos 28 dias estavam dentro do aceitável de projeto, 39,8 MPa e 35,7 MPa, foram obtidos resultados esclerométricos, quando corrigidos, satisfatório de 37,3 MPa e 36,1 MPa.

Tabela 4.7 – Resistência média à compressão dos corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos e de esclerometria da Obra 1.

OBRA $f_{ck}$ Local	EVENTO DE MOLDAGEM (Betoneira/ nota fiscal)	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS E TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS E DE ESCLEROMETRIA (MPa)								
		IDADE								
		TIPO DE ENSAIO	28 dias	49 dias	56 dias	60 dias	67 dias	74 dias	81 dias	88 dias
01 35 MPa (Concremat/UERJ/ Lafarge)	36881	MOLDADO	26,2	-	-	-	-	-	-	-
		ESCLEROMÉTRICO	-	-	-	-	-	38,2*	-	-
		EXTRAÍDO	-	-	47,2	-	-	-	-	-
	36887	MOLDADO	29	-	-	-	-	-	-	-
		ESCLEROMÉTRICO	-	-	-	-	-	38,1*	-	-
		EXTRAÍDO	-	-	48,3	-	-	-	-	-
	36889	MOLDADO	27,9	-	-	-	-	-	-	-
		ESCLEROMÉTRICO	-	-	-	-	-	35,2*	-	-
		EXTRAÍDO	-	-	45	-	-	-	-	-
	37004	MOLDADO	33,5	-	-	-	-	-	-	-
		ESCLEROMÉTRICO	-	-	-	-	36,8*	-	-	-
		EXTRAÍDO	-	-	-	-	-	-	-	-
	37015	MOLDADO	29	-	-	-	-	-	-	-
		ESCLEROMÉTRICO	-	-	-	-	37,2*	-	-	-
		EXTRAÍDO	-	-	-	-	-	-	-	44,8
	37017	MOLDADO	39,8	-	-	-	-	-	-	-
		ESCLEROMÉTRICO	-	-	-	-	37,3*	-	-	-
		EXTRAÍDO	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Valores corrigidos para idade de 28 dias

Continuação da Tabela 4.7 – Resistência média a compressão dos corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos e de esclerometria da Obra 1.

OBRA $f_{ck}$ Local	EVENTO DE MOLDAGEM (Betoneira/ nota fiscal)	RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS E TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS E DE ESCLEROMETRIA (MPa)								
		IDADE								
		TIPO DE ENSAIO	28 dias	49 dias	56 dias	60 dias	67 dias	74 dias	81 dias	88 dias
01 35 MPa (Concremat/UERJ/ Lafarge)	37018	MOLDADO	29,7							
		ESCLEROMÉTRICO					38,8*			
		EXTRAÍDO		33,2						
	37157	MOLDADO	24,8							
		ESCLEROMÉTRICO				35,3*				
		EXTRAÍDO						32		
	37159	MOLDADO	26,4							
		ESCLEROMÉTRICO				36,9*				
		EXTRAÍDO						35		
	37164	MOLDADO	35,7							
		ESCLEROMÉTRICO				36,1*				
		EXTRAÍDO								
	37167	MOLDADO	23,7							
		ESCLEROMÉTRICO				38,2*				
		EXTRAÍDO						33,9		

\* Valores corrigidos para idade de 28 dias

Por fim, estes cruzamentos de resultados dos ensaios complementares, com os extraídos e os moldados vêm corroborar a credibilidade no conjunto de resultados como um todo. Mostra também a utilidade desse ensaio não destrutivo, conjuntamente com a extração de testemunhos, na análise de estruturas acabadas, no balizamento de resultados, bem como no mapeamento das estruturas em análise visando à redução do número de testemunhos a serem extraídos.