

3 Programa Experimental

3.1. Planejamento dos experimentos

Com o objetivo de quantificar a diferença entre as resistências à compressão de corpos-de-prova moldados e de testemunhos extraídos, e de verificar as diferenças encontradas entre a resistência especificada em projeto ($f_{ck,especificada}$) e a resistência estimada ($f_{ck,estimada}$), foi elaborado o presente programa experimental, conforme detalhamento apresentado a seguir.

3.1.1. Definição dos Lotes de Concreto

Foram ensaiados quatro lotes de concreto, um produzido pela LAFARGE BRASIL S/A na central do gradim, situada na Av. Brasil, 2996 – lote 27 – Manguinhos – Rio de Janeiro – Brasil e os outros três na PREMIX CONCRETO situada na Av. Eugênio Borges km 5, 2009 – Rio D’ouro – São Gonçalo – Brasil. O lote 01 corresponde a um concreto de 35 MPa moldado no canteiro-de-obras do edifício residencial “PI” com 116 apartamentos de 3 quartos totalizando $14.200 m^2$ de obra; o lote 02 corresponde a um concreto de 35 MPa moldado no canteiro-de-obras do edifício comercial “SFO” com 51 salas e 10 lojas totalizando $4.423,12 m^2$ de obra; o lote 03 corresponde a um concreto de 35 MPa moldado no canteiro-de-obras do edifício residencial “T” com 70 apartamentos de 3 e 4 quartos totalizando $18.408 m^2$ de obra e o lote 04 corresponde a um concreto de 35 MPa moldado no canteiro-de-obras do edifício residencial “PP” com 118 apartamentos de 1, 2 e 3 quartos totalizando $10.444,75 m^2$ de obra. Todas as obras estão situadas em Niteroi – Rio de Janeiro, da construtora “X”. Nas Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, respectivamente, encontram-se as fotos das respectivas obras.



Figura 3.1 – Obra “PI”.



Figura 3.2 – Obra “SFO”.



Figura 3.3 – Obra “T”.

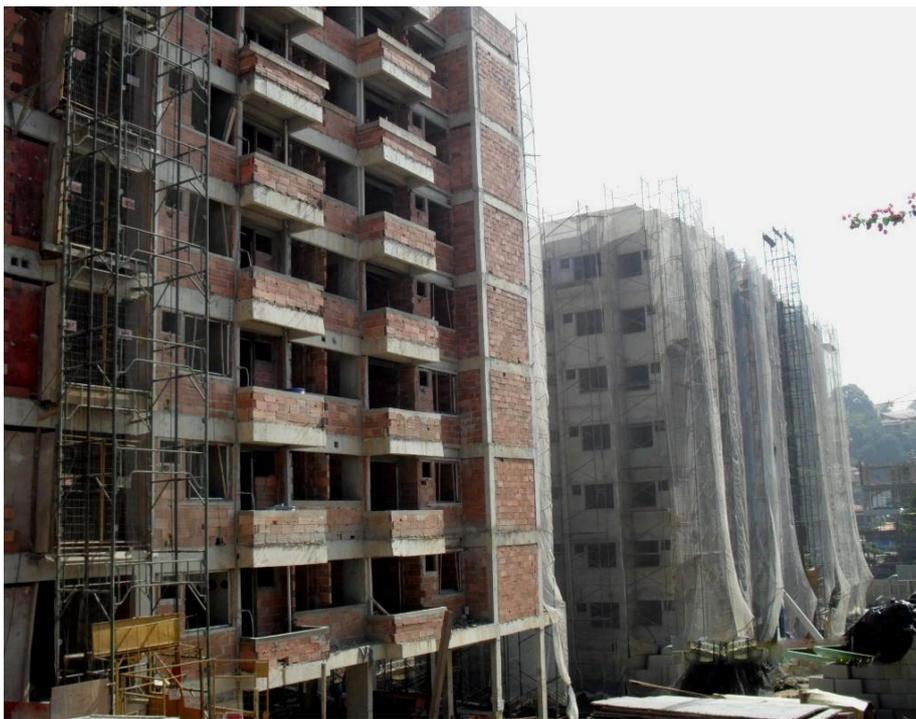


Figura 3.4 – Obra “PP”.

3.1.2. Amostragem de corpos-de-prova Moldados e Extraídos

Os lotes em estudo foram analisados pela resistência à compressão do concreto aos 3, 7 e 28 dias de idade dos corpos-de-prova moldados, e pela composição do traço utilizado pelas diferentes concreteiras. Essa resistência é referenciada como resistência à compressão característica f_{ck} .

A população dos lotes 01, 02, 03 e 04 foi constituída por uma amostragem de quatro corpos-de-prova por caminhão betoneira contendo $8 m^3$ de concreto cada, sendo um corpo-de-prova para a idade de 3 dias, um corpo-de-prova para a idade de 7 dias e dois corpos-de-prova para idade de 28 dias. Para cada pavimento, desde a fundação das respectivas obras, após a verificação do abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67:1998 (Figura 3.5), foram moldados nos canteiros-de-obras 2.132, 720, 2.388 e 1.068 corpos-de-prova cilíndricos padronizados de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, de acordo com a NBR 5738:2003 (Figura 3.6). No Anexo A estão todos os resultados de cada obra.



Figura 3.5 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.



Figura 3.6 – Formas padronizadas de 10 cm x 20 cm para moldagem dos corpos-de-prova.

No lote 01 foram realizados in loco extrações em algumas populações (Fundação, 1º Teto-Tipo, 2º Teto-Tipo e 3º Teto-Tipo) com diferentes idades e ensaiados em dois laboratórios: o da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e o da Concremat situado na rua Euclides da Cunha, 106 – São Cristóvão – Rio de Janeiro. Foram extraídos dois corpos-de-prova por peça estrutural de mesma população, para efeito de comparação e contornar possíveis falhas no resultado. No Anexo B encontram-se os resultados das extrações.

- *Índice de esbeltez dos testemunhos*

Para os ensaios de ruptura foi fixado para os testemunho o índice de esbeltez (razão altura/diâmetro) igual ao correspondente ao dos corpos-de-prova padronizados.

- *idades de rupturas*

Foi fixada para as rupturas dos corpos-de-prova as idades de 3, 7 e 28 dias. Para os testemunhos extraídos do lote 1, foi fixada para amostragem adicional, as idades de 32, 49, 56, 65, 81, 88, 95 e 103 dias, a título de informações complementares.

Aos 32, 49, 56, 65, 81, 88, 95 e 103 dias foram extraídos, respectivamente, 2, 16, 12, 4, 16, 3, 2 e 2 testemunhos. A disparidade referente a idade dos testemunhos e aos quantitativos dos mesmos, foi devido as condições *in loco*, visto que a obra estava em andamento.

3.1.3. Ensaios complementares

Foram realizados ensaios de esclerometria em algumas peças, definidas como pontos críticos no lote 1. A partir da definição optou-se por realizar também ensaio em algumas peças, cujos resultados apresentados foram satisfatório, a fim de comparar índices esclerométricos.



Figura 3.7 – Esclerômetro.

Tabela 3.1 – Esclerômetro.

ESCLERÔMETRO	
TIPO	SCHIMIDT
MODELO	CT-320AM
NÚMERO	C181 7011

Tabela 3.2 – Fator correção da Bigorna.

AFERIÇÃO - BIGORNA								
78	79	79	79	78	80	79	79	79
Somatória:					710			
Fator correção					1,014			

Para cálculo dos resultados levou-se em consideração a idade do concreto, utilizando-se o fator de correção (de redução), já que o concreto tinha idade superior a 28 dias.

Através do índice esclerométrico fornecido pelo aparelho, estimou-se a resistência do concreto através de tabela e curvas fornecidas pelo fabricante do aparelho, que correlaciona resistência à compressão de corpos-de-prova com seus respectivos índices esclerométricos (NBR 7584:1995). Um exemplo de curva de correlação pode ser visto na Figura 3.8.

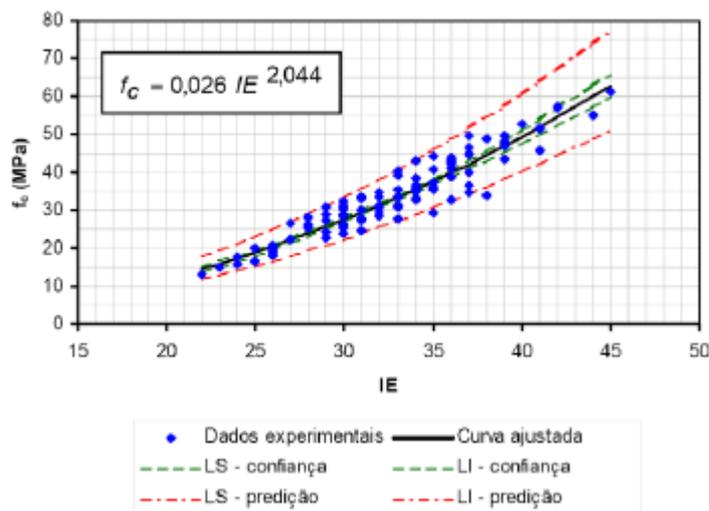


Figura 3.8 – Curva de correlação para o Ensaio Esclerométrico; MACHADO (2005)

A curva de correlação é obtida do concreto com traço conhecido, aplicando-se o IE, e conseqüentemente correlacionando com resistência à compressão estimada do mesmo. No Anexo C encontram-se os resultados de esclerometria.

3.2. Características dos concretos e dos materiais constituintes

Conforme mencionado anteriormente os lotes de concreto foram produzidos pela LAFARGE BRASIL S/A e pela PREMIX CONCRETO. Os traços empregados foram de uso das referidas centrais, fabricados com materiais de utilização corrente.

- *Lafarge Brasil S/A (Lote 1)*

- Cimento: Portland CPIII-40RS da marca MATOZINHOS.
- Agregado Miúdo: areia de constituição quartzosa proveniente de depósito fluvial da AREMINAS; areia artificial da PO SPAR.
- Agregado Graúdo: pedra britada granítica de central de britagem da ESTRELA.
- Água de amassamento: proveniente de poço de abastecimento da própria central, devidamente analisada e aprovada.
- Aditivos: superplastificantes da marca CHRYSOPLAST 213 (0,30%).

- *Premix Concreto (Lote 2,3 e 4)*

- Cimento: Portland CPIII-40RS da marca NASSAU.
- Agregado Miúdo: areia de constituição quartzosa proveniente de depósito fluvial da SANIMERA.
- Agregado Graúdo: pedra britada granítica de central de britagem da ESTRELA.
- Água de amassamento: proveniente de poço de abastecimento da própria central, devidamente analisada e aprovada.
- Aditivos: superplastificantes da marca RHEOTEC TEC-MULT 870.

Os traços empregados na produção dos concreto são apresentados na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Traços e materiais utilizados.

Lote	f_{ck} (MPa)	Cimento (kg/m^3)	Areia artificial (kg/m^3)	Areia natural (kg/m^3)	Pedra1 (kg/m^3)	Água (l/m^3)	Aditivo (ml/m^3)
1	35	380	325	461	989	190	1140
2	35	409	0	799	972	182	2454
3	35	409	0	799	972	182	2454
4	35	409	0	799	972	182	2454

3.3.Procedimentos e métodos de ensaios utilizados

Nas Tabelas 3.4 e 3.5 estão relacionados os procedimentos e ensaios utilizados para caracterização dos materiais constituintes e dos concretos.

Tabela 3.4 – Ensaio e procedimentos com materiais constituintes do concreto.

N°	ENSAIOS E PROCEDIMENTOS	Normas (ABNT)
1	Cimento Portland – determinação da resistência a compressão	NBR 7215:1996
2	Cimento Portland – determinação dos tempos de pega	NBR 11581
3	Cimento Portland – determinação da área específica	NBR 7224:1993
4	Cimento Portland – determinação da expansibilidade Le Chatelier	NBR 3435:1991
5	Análise química de cimento portland	NM 10:2004
6	Agregado – determinação da composição granulométrica	NM 248:2003
7	Agregado – determinação do teor de argila em torrões	NBR 7218:1987
8	Agregado – determinação do teor de materias pulverulentos	NBR 7219:1987
9	Agregado – determinação de impurezas orgânicas químicas em agregados miúdos	NM 49:2003
10	Agregado em estado solto – determinação da massa unitária	NBR 7251:1982
11	Agregado em estado compacto – determinação da massa unitária	NM 45:2006
12	Agregado – determinação do teor de partículas leves	NBR 9936:1987
13	Agregado – determinação da massa específica de agregados miúdo por meio do frasco de Chapman	NM 52:2003
14	Agregado para concreto – determinação de sais, sulfatos e cloretos solúveis	NBR 9917:1987
15	Agregado – determinação da absorção e massa específica de agregado graúdo	NM 53:2006
16	Agregado – determinação da abrasão “Los Angeles”	NBR 6465:1984
17	Água – análise química para concreto	NM 137:1997
18	Aditivos – ensaios de compatibilidade	NBR 10908:1990

Tabela 3.5 – Ensaios e procedimentos realizados com o concreto no estado fresco e endurecido.

N°	ENSAIOS E PROCEDIMENTOS	Normas (ABNT)
1	Ensaios de dosagens experimentais na central	NBR 12655:2006
2	Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	NM 67:1998
3	Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos	NBR 5738:2003
4	Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão	NBR 7584:1995
5	Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto	NBR 7680:2007 NM 69:1996
6	Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto	NBR 5739:2007

3.4.Extração e preparo dos testemunhos

A extração dos testemunhos de concreto foram executadas por meio de uma sonda rotativa com coroa diamantada resfriada por água (Figura 3.9).

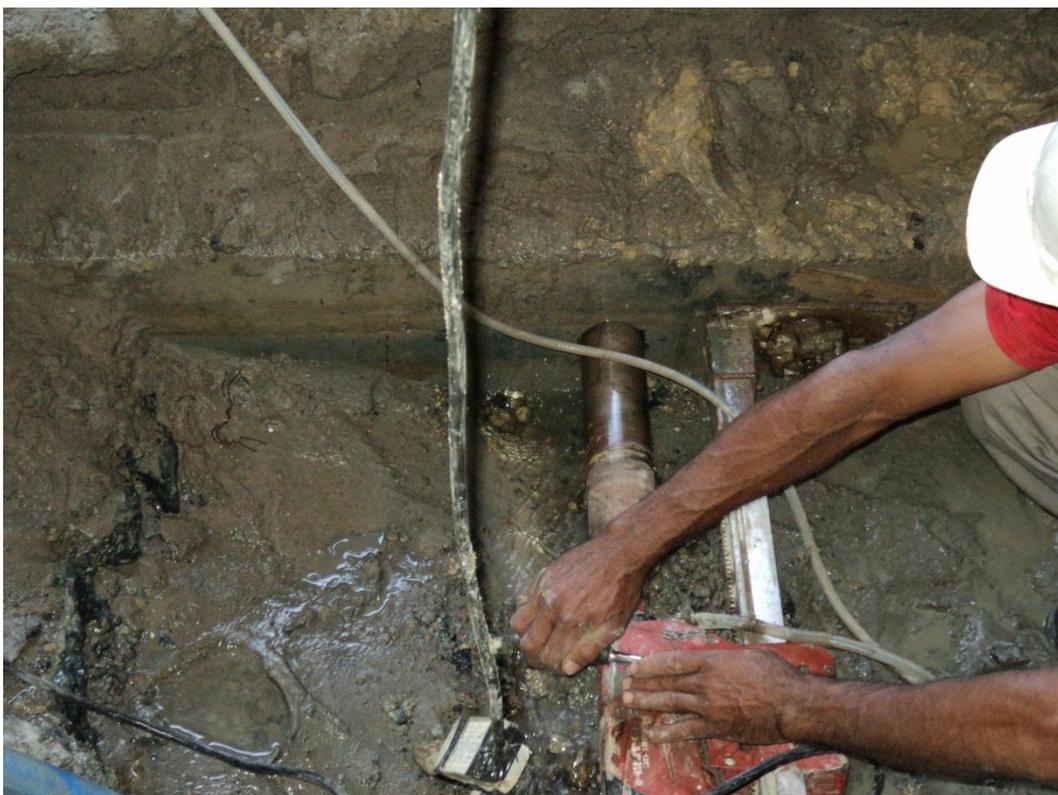


Figura 3.9 – Extração de Testemunhos.

Os testemunhos foram extraídos conforme as recomendações da NBR 7680:2007 e da NM 69:96. Para minimizar as vibrações e possíveis ondulações na extração o equipamento extrator foi fixado na direção normal à da superfície do concreto com parafusos na peça onde será extraído o corpo-de-prova. Toda preparação e execução da extração foi executado por profissionais qualificados da CONCREMAT.

Após a extração os testemunhos foram inspecionados e preparados com a regularização das faces com corte à serra diamantada, e posteriormente com pasta de enxofre, de modo que ficassem rigorosamente planas, paralelas e normais ao seu eixo vertical conforme (Figuras 3.10 e 3.11).



Figura 3.10 – Regularização das faces com corte na serra diamantada.



Figura 3.11 – Preparo da face com pasta de enxofre.



Figura 3.11a – Preparo da face com pasta de enxofre.



Figura 3.11b – Preparo da face com pasta de enxofre.



Figura 3.11c – Preparo da face com pasta de enxofre.

3.5. Ensaaios de ruptura à compressão

Os ensaios do lote 1 dos corpos-de-prova moldados foram executados no laboratório da CONCREMAT e dos corpos-de-prova extraídos, no laboratório de engenharia civil da UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro e da CONCREMAT. Os lotes 2 e 3 foram rompidos no centro tecnológico de controle de qualidade da FALCÃO BAUER, e o lote 4 no laboratório da CURI ENGENHARIA.



Figura 3.12 – Rompimento dos corpos-de-prova.