

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Diogo Rodrigues Mota**

**Estudos das Alterações da Resistência do Concreto  
durante a Construção de Edificações**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães

Rio de Janeiro, setembro de 2011



**Diogo Rodrigues Mota**

**Estudos das Alterações da Resistência do Concreto  
durante a Construção de Edificações**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães**

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Marta de Souza Lima Velasco**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. Emil de Souza Sánchez Filho**

Universidade Federal Fluminense

**Prof<sup>a</sup>. Lídia da Conceição Domingues Shehata**

Universidade Federal Fluminense

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2011.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Diogo Rodrigues Mota**

Graduou-se em Engenharia Civil na PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) em 2003. Coursou iniciação científica na PUC-Rio de 2000 à 2002 publicando dois artigos. É certificado pela Fundação Vanzolini como auditor em ISO 9001/PBQP-H Nível A. Coursou MBA em Controladoria e Finanças na UFF (Universidade Federal Fluminense). É gerente de obras da Pinto de Almeida Engenharia S/A.

#### Ficha catalográfica

Mota, Diogo Rodrigues

Estudos das alterações da resistência do concreto durante a construção de edificações / Diogo Rodrigues Mota ; orientador: Giuseppe Barbosa Guimarães. – 2011.

192 f. il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Resistência do concreto. 3. Controle tecnológico. 4. Testemunhos de concreto. I. Guimarães, Giuseppe Barbosa. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD:624

**“Existem homens que lutam um dia e são bons.  
Existem outros que lutam um ano e são melhores.  
Existem aqueles que lutam muitos anos e são muito bons.  
Entretanto, existem aqueles que lutam por toda a vida.  
Esses são os imprescindíveis.”**

**BERTOLT BRECHT**

## Agradecimentos

Este trabalho é fruto de muita luta e perseverança. A realização deste só foi possível graças ao apoio de inúmeras pessoas, logo gostaria de deixar o meu sentimento de profunda gratidão.

Ao professor Giuseppe Barbosa Guimarães, pelos valiosos e inestimáveis ensinamentos, pela orientação, atenção e dedicação para realização deste trabalho.

À minha esposa pelo apoio, incentivo e companheirismo em todos os momentos.

Aos funcionários do laboratório de estrutura da PUC-Rio.

Em especial ao estimado professor Raul Rosas e Silva pela confiança e apoio na volta aos meus estudos.

Aos professores Marta de Souza Lima Velasco, Djenane C. Pamplona, Deane de Mesquita Roehl e Paulo Batista Gonçalves pela força e estímulo ao longo do meu caminho acadêmico.

Ao professor Khosrow Ghavami pela ajuda no meu desenvolvimento durante os anos de iniciação científica.

À querida Rita do departamento de engenharia civil da PUC-Rio pela atenção, gentileza e incentivo constante.

Às empresas Concremat, Lafarge, Premix e ao laboratório de materias da UERJ.

Ao grande amigo e pai de consideração o engenheiro Rui Matoso Ribeiro Gomes.

Ao programa de excelência acadêmica CAPES-Proex pela bolsa de isenção.

Finalmente, a todos que de uma maneira ou de outra, contribuíram para que este objetivo fosse alcançado.

## Resumo

Mota, Diogo Rodrigues; Guimarães, Giuseppe Barbosa. **Estudos das alterações da resistência do concreto durante a construção de edificações**. Rio de Janeiro, 2011. 192p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho é realizada uma pesquisa de campo sobre a resistência a compressão do concreto em estruturas reais, com o objetivo de se estabelecer a correlação entre resistência especificada em projeto ( $f_{ck,especificada}$ ) e a resistência estimada ( $f_{ck,estimada}$ ). Foram analisados os resultados obtidos nos ensaios de 6.312 corpos-de-prova moldados e extraídos, e também de ensaios de esclerometria. A pesquisa de campo se estendeu por um período de obras de até nove meses. No programa de ensaios foram estudados concretos produzidos por duas centrais dosadoras, com resistência a compressão especificada aos 28 dias de 35 MPa, fornecidos para quatro obras diferentes. Diversos parâmetros foram analisados: aumento da resistência com a idade do concreto; diferença entre os valores da resistência especificada e a resistência do concreto fornecido ao longo do tempo de execução das obras; correlação entre os valores da resistência obtida em corpos-de-prova moldados e extraídos. Os resultados mostraram que existe uma diferença entre os valores da resistência especificada e da resistência estimada no início da obra, e que essa diferença tende a diminuir ao longo da execução da obra. Os resultados mostraram ainda que o coeficiente de correção dos efeitos de broqueamento em testemunhos recomendado pela NBR 6118:2007 é adequado. Finalmente são dadas sugestões sobre o número adequado de testemunhos a serem extraídos quando há divergências a serem dirimidas.

## Palavras chave

Resistência do concreto; Controle tecnológico; Testemunhos de concreto.

## **Abstract**

Mota, Diogo Rodrigues; Guimarães, Giuseppe Barbosa. **Study on Concrete Strength Changes during the Construction of Buildings.** Rio de Janeiro, 2011. 192p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In this work is made a fieldwork about the compressive strength of concrete in real structures in order to establish the correlation between specified strength in project ( $f_{ck}$ , specified) and estimated strength ( $f_{ck}$ , estimated). The results from tests of 6.312 molded and extracted specimens were analyzed, as well as hammer rebound tests. The fieldwork lasted a construction period of up to nine months. In the test program was studied ready mixed concrete producers by two concrete plants with the compressive strength specified of 35 MPa in 28 days, provided for four different constructions. Several parameters were analyzed: increasing strength according to concrete age; difference between the specified strength values and concrete strength provided during the constructions; correlation between the strength values obtained in molded and extracted specimens. The results showed that there is a difference between the values of specified strength and estimated strength at the beginning of the construction. The results also showed that the correction coefficient of the drilling effects on core recommended by the NBR 6118:2007 is appropriate. Finally, suggestions are given on the appropriate number of core to be taken when there are differences to be settled.

## **Keywords**

Concrete strength; Technological control; Core.

# Sumário

1	Introdução	
1.1.	Justificativa	21
1.2.	Objetivo	22
1.2.1.	Objetivo Final	22
1.2.2.	Objetivos Intermediários	23
1.3.	Relevância do Estudo	23
2	Revisão bibliográfica	
2.1.	Introdução	25
2.2 –	Fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto	26
2.2.1 –	Controle de produção do concreto	30
2.2.2 –	Controle de aceitação do concreto	32
2.3 –	Métodos de análise da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas	36
2.4 –	Extração de testemunhos de concreto, limitações e abrangências	44
2.4.1 –	Fatores intervenientes na resistência dos testemunhos	48
2.4.1.1 –	Amostragem e Extração	48
2.4.1.2 –	Dimensões dos Testemunhos	51
2.4.1.3 –	Presença de Armadura nos Testemunhos	52
2.4.1.4 –	Condições de Ruptura	53
2.4.1.5 –	Idade e Condições de Cura	55
2.4.1.6 –	Determinação da resistência característica	58
2.4.2 –	Análise da influência do capeamento de corpos-de-prova cilíndricos na resistência à compressão do concreto	59
3	Programa experimental	
3.1 –	Planejamento dos experimentos	64
3.1.1 –	Definição dos lotes de concreto	64
3.1.2 –	Amostragem de corpos-de-prova moldados e extraídos	67
3.1.3 –	Ensaio Complementares	69
3.2 –	Características dos concretos e dos materiais constituintes	71
3.3 –	Procedimentos e métodos de ensaios utilizados	72
3.4 –	Extração e preparo dos testemunhos	74
3.5 –	Ensaio de ruptura à compressão	78

4 Discussão dos resultados	
4.1 – Resultados das resistências à compressão	80
4.2 – Análise dos resultados da resistência à compressão	83
4.2.1 – Controle tecnológico conforme a NBR 12655	95
4.2.2 – Análise dos resultados de extração da obra 1	100
4.3 – Análise do resultado do ensaio complementar de esclerometria	105
5 Conclusões	
5.1 – Considerações finais	110
5.2 – Conclusões propriamente ditas	111
5.3 – Sugestões para trabalhos futuros	112
Referências Bibliográficas	113
ANEXO A – Resultados das quatro obras	117
ANEXO B – Extrações	154
ANEXO C – Ensaio Esclerométrico	175
ANEXO D – Carta de Traço dos Concretos	180
ANEXO E – Ensaio Físico e Químico do Cimento no determinado Período	184
ANEXO F – PES (Procedimento de Execução de Serviço), FVS (Ficha de Verificação de Serviço) e Rastreabilidade do Concreto	187

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Diagrama de blocos que esquematicamente situa o controle da resistência à compressão do concreto dentro da problemática mais ampla de controle tecnológico das estruturas de concreto.....	29
Figura 2.2 – Significado da resistência à compressão do concreto obtida através do controle do concreto. ....	30
Figura 2.3 – Painel de controle .....	31
Figura 2.4 – Consistência do concreto.....	33
Figura 2.5 – Esquema do ensaio de esclerometria (ACI 228,1988) .....	42
Figura 2.6 – Influência do fenômeno de exsudação e sedimentação do concreto .....	51
Figura 2.7 – Esboço dos tipos de ruptura.....	54
Figura 3.1 – Obra “PI” .....	65
Figura 3.2 – Obra “SFO” .....	65
Figura 3.3 – Obra “T” .....	66
Figura 3.4 – Obra “PP” .....	66
Figura 3.5 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone .....	67
Figura 3.6 – Formas padronizadas de 10cm x 20cm para moldagem dos corpos-de-prova.....	68
Figura 3.7 – Esclerômetro.....	69
Figura 3.8 – Curva de correlação para o Ensaio Esclerométrico.....	70
Figura 3.9 – Extração de Testemunhos .....	75
Figura 3.10 – Regularização das faces com corte na serra diamantada .....	76
Figura 3.11 – Preparo da face com pasta de enxofre.....	76
Figura 3.11a – Preparo da face com pasta de enxofre.....	77
Figura 3.11b – Preparo da face com pasta de enxofre.....	77
Figura 3.11c – Preparo da face com pasta de enxofre.....	78
Figura 3.12 – Rompimento dos corpos-de-prova .....	79
Figura 4.1 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 1 .....	84
Figura 4.2 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 1 .....	84
Figura 4.3 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 2 .....	85

Figura 4.4 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 2.....	86
Figura 4.5 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 3 .....	87
Figura 4.6 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 3.....	87
Figura 4.7 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo – Obra 4 .....	88
Figura 4.8 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo – Obra 4 .....	88
Figura 4.9 – Resultados individuais da resistência ao longo do tempo do cimento .....	89
Figura 4.10 – Valores médios mensais das resistências ao longo do tempo do cimento.....	90
Figura 4.11 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da obra 1.....	91
Figura 4.12 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da obra 2.....	92
Figura 4.13 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da obra 3.....	92
Figura 4.14 – Evolução da média mensal da resistência a compressão ao longo do tempo da obra 4.....	93
Figura 4.15 – Resistências médias à compressão dos corpos de prova moldados .....	94
Figura 4.16 – Evolução da resistência a compressão da média ao longo do tempo das obras.....	94
Figura 4.17 – Evolução da resistência a compressão da média da Fundação dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da obra 1.....	103
Figura 4.18 – Evolução da resistência a compressão da média do 1º Teto Tipo dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da obra 1.....	103
Figura 4.19 – Evolução da resistência a compressão da média do 2º Teto Tipo dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da obra 1.....	104
Figura 4.20 – Evolução da resistência a compressão da média do 3º Teto Tipo dos corpos-de-prova Moldados e Extraídos da obra 1.....	104

## Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Classes de agressividade ambiental	19
Tabela 1.2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	19
Tabela 2.1 – Classificação dos concretos para fins estruturais por classe de resistência conforme NBR 8953:1992	29
Tabela 2.2 – Classificação dos concretos quanto à resistência à compressão segundo VIEIRA FILHO (2007) por PRISKIN (1994)	30
Tabela 2.3 – Abatimento recomendado para diferentes tipos de obras	32
Tabela 2.4 – Índices de consistência do concreto em função de diferentes tipos de obras e condições de adensamento	33
Tabela 2.5 – Valores para formação de lotes de concreto	34
Tabela 2.6 – Valores de $\Psi_6$ (correspondente a tabela 3 da norma NBR 12655, p. 7)	35
Tabela 2.7 – Tensão de ruptura à compressão em função do índice esclerométrico	43
Tabela 2.8 – Variabilidade da resistência à compressão do concreto in loco	47
Tabela 2.9 – Relação entre a resistência do concreto em testemunhos extraídos em direção paralela e perpendicular à concretagem	49
Tabela 2.10 – Efeito da altura da peça na redução da resistência do concreto entre a camada superior e inferior	50
Tabela 2.11 – Correção devido a relação altura / diâmetro (h/d)	52
Tabela 2.12 – Coeficientes médios de crescimento da resistência com a idade	56
Tabela 2.13 – Ganho de resistência com tempo em função da relação a/c	57
Tabela 2.14 – Resultados do ensaio de resistência a compressão para diferentes tipos de preparação de topo de corpos-de-prova	62
Tabela 3.1 – Esclerômetro	69
Tabela 3.2 – Fator correção da Bigorna	70
Tabela 3.3 – Traços e materiais utilizados	72
Tabela 3.4 – Ensaio e procedimentos com materiais constituintes do concreto	73
Tabela 3.5 – Ensaio e procedimentos realizados com o concreto no estado fresco e endurecido	74
Tabela 4.1 – Resistência média a compressão dos corpos-de-prova Moldados	81

Tabela 4.2 – Resistência média a compressão dos corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos dos eventos da obra 1	82
Tabela 4.3 – Lotes de concreto – Obra 1	96
Tabela 4.4 – Lotes de concreto – Obra 2	97
Tabela 4.5 – Lotes de concreto – Obra 3	98
Tabela 4.6 – Lotes de concreto – Obra 4	99
Tabela 4.7 – Resistência média a compressão dos corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos e de esclerometria da Obra 1	107

## Lista de Quadros

Quadro 2.1 – Métodos que podem ser adotados para avaliar as propriedades de concretos e aços em estrutura acabadas	37
--	----

## Lista de Símbolos Abreviaturas e Siglas

$\gamma_{c2}$  – Parcela do  $\gamma_c$  que considera a diferença entre a resistência do concreto no corpo-de-prova e na estrutura

$f_c$  – Resistência à compressão do concreto

$f_{ck\ est}$  – Valor da resistência estimada

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto à compressão

a/c – Relação água / cimento

$\sigma_r$  – Tensão mínima de ruptura à compressão do concreto (NB – 1 de 1960)

$\sigma_{c\ 28}$  – Tensão média de ruptura à compressão aos 28 dias (NB – 1 de 1960)

$\rho$  – Massa específica aparente

s – Desvio padrão da amostra

$D_{m\acute{a}x}$  – Dimensão máxima característica do agregado

h/d – Relação altura/diâmetro (índice de esbeltez)

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – “American Concrete Institute”

ASTM – “American Society for Testing and Materials”

ASTM C 125 - “Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

HSC – “High Strenght Concrete”

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto

NBR – Norma Brasileira Registrada no INMETRO

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

NM – Norma Mercosul

CEB – “Comité Euro-International du Beton”

FIP – “Federation Internationale de la Precontrainte”

FIB – “Federation Internationale du Béton”

BS – Normas Britânicas - “British Standards”

DIN – Normas Alemães- “Deutsche Industrie Norm”

UNE – “Una Norma Española”

ISO – “International Standards Organization”

RILEM – “Reunión Internationale des Laboratoires d’Essais et de Recherches sur le Matériaux et les Constructions”

CP I – Cimento Portland Comum

CP II – Cimento Portland Composto

CP III - Cimento Portland de Alto Forno

CP IV - Cimento Portland pozolânico

CP V-ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

I.E. – Índice Esclerométrico

CP – Corpos de prova moldados

(M) – Moldados

(E)– Extraídos