



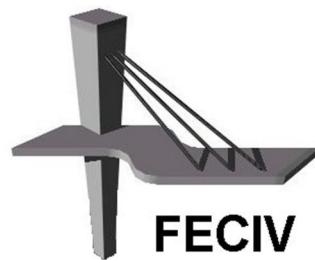
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO GRAU DE  
CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS À  
COMPRESSÃO DO CONCRETO EFETIVADOS EM  
LABORATÓRIOS**

**SALMEN SALEME GIDRÃO**

**UBERLÂNDIA, Setembro 2014**



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**Salmen Saleme Gidrão**

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO GRAU DE  
CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS Á COMPRESSÃO DO  
CONCRETO EFETIVADOS EM LABORATÓRIOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos**

Uberlândia, Setembro 2014.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

G453a Gidrão, Salmen Saleme, 1960-  
2014 Avaliação experimental do grau de confiabilidade dos ensaios á compressão do concreto efetivados em laboratórios / Salmen Saleme Gidrão. - 2014.  
158 f. : il.

Orientador: Antônio Carlos dos Santos.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia Civil - Teses. 2. Concreto - Teses. I. Santos, Antônio Carlos dos. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

---

CDU: 624



## ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA Nº:** 131/2014

**CANDIDATO:** Salmen Saleme Gidrão

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos

**TÍTULO:** "Avaliação do grau de confiabilidade dos ensaios à compressão do concreto efetivados em laboratórios"

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Estruturas e Construção Civil

**LINHA DE PESQUISA:** Estruturas

**DATA DA DEFESA:** 01º de setembro de 2014

**LOCAL:** Sala de Projeção Prof. Celso Franco de Gouvêa

**HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA:** 14h10 - 17h00

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

() APROVADO

() REPROVADO

OBS:

---

---

---

---

---

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. José Samuel Giongo – EESC/USP**

Membro: **Prof.ª Dr.ª Leila Aparecida de Castro Motta – FECIV/UFU**

Uberlândia, 01 de Setembro de 2014.

---

*A meu filho Gustavo de Miranda Saleme Gidrão e a  
sua motivação pela engenharia. A minha esposa e a  
meus pais pela presença constante em minha vida.*

---

---

# **AGRADECIMENTOS**

---

À Deus, pela vida, energia, inspiração e lucidez intelectual.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil por meio de seu programa de Pós Graduação, que forneceram o apoio necessário à realização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Antônio Carlos dos Santos, pelas ideias, cobranças, empenho e suporte no desenvolvimento de toda a pesquisa e dissertação desenvolvida.

Aos professores do Programa de Mestrado da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia pelo trabalho desenvolvido na construção de meu conhecimento.

Aos meus colegas do Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, que participaram de forma direta e indireta no desenvolvimento deste trabalho.

Aos profissionais do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos que contribuíram para o desenvolvimento da parte experimental.

Ao amigo George Oda pela companhia durante a caminhada.

Ao professor Camilo Sivelli pelas palavras motivadoras e valiosas indicações de leitura relativas à qualidade.

---

---

Gidrão, Salmen. S. Avaliação experimental do grau de confiabilidade dos ensaios à compressão do concreto efetivados em laboratórios. 158.p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

---

## RESUMO

---

As medições de uma grandeza física invariavelmente envolvem erros e incertezas. Os resultados de um ensaio de resistência à compressão do concreto, não estão livres desta regra. Medir é um ato de comparação cujo grau de precisão pode depender de instrumentos, operadores e do próprio processo de medida. Neste trabalho foram analisadas questões que envolvem os fatores intervenientes da qualidade dos resultados dos ensaios de compressão do concreto, e avaliado o grau de confiabilidade dos ensaios realizados por diversos laboratórios. O foco são os erros de medida. Sua organização envolveu uma revisão conceitual sobre “qualidade” e sua relação com as construções em concreto; na sequência, foi organizada uma aplicação de ensaios para a verificação da confiabilidade dos seus resultados por meio de dois caminhos complementares. O primeiro, para a análise das dispersões de resultados por métodos distintos; e de forma principal pelo método do ensaio referencial, estabelecido a partir de um resultado fixado como padrão; e o outro de maneira a caracterizar os tipos de erros produzidos. Seus resultados, irrefutáveis quanto à metodologia adotada para a produção de seus corpos-de-prova, e significativos quanto à estratégia utilizada para a prospecção de dados, permitiram identificar um estado indesejável para as condições que definiram o grau de sua confiabilidade. Classificados como não coerentes, um número considerável dos laboratórios avaliados em três etapas distintas da verificação experimental, apresentaram como resultados de sua medição, números inadequados para a resistência do concreto, não atendendo as expectativas de precisão desejáveis para este importante procedimento do controle de qualidade de sua produção.

---

**Palavras-chave:** Concreto; Ensaio de compressão; Qualidade; Ensaios de referência.

---

---

Gidrão, Salmen. S. Experimental evaluation the degree of trustworthiness of assays concrete compressive made effective in laboratories. 158 p. Msc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2014.

---

## ABSTRACT

---

The measurements of a physical quantity invariably involve errors and uncertainties. The results of the testing of compressive strength of concrete are not exempt from this rule. Measure is an act of comparison whose degree of accuracy can depend on instruments, operators and the measurement process itself. In this work were analyzed questions that involving the intervening factors of the quality of the concrete compressive results, and, been tested the trustworthiness with which these assays have been produced by several laboratories. The focus is on the measurement errors. Your organization has involved a conceptual review of "quality" and its relation to the constructions in concrete; sequentially, has organized an application of tests to verify the trustworthiness of their results through two complementary ways. The first, to analyze the dispersion of results by different methods; and the main form of the reference test, established from a result set as the default method; and the other in order to characterize the types of errors produced. Their results, irrefutable regarding the methodology used for the production of his bodies of evidence and significant for the strategy used for data searching allowed to identify an undesirable state for conditions that defined the level of its reliability. Classified as inconsistent, a considerable number of laboratories evaluated in three different stages of experimental verification, presented as the results of their measurement, inadequate numbers to the strength of concrete, not meeting the expectations of desirable accuracy for this important procedure of quality control production.

---

*Key-Words:* Concrete; Compression test; Quality; Reference tests.

---

---

# SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

---

## SÍMBOLOS

%	Porcentagem
<	Menor
=	Igual
>	Maior
±	Mais ou menos
≥	Maior ou igual
Cl.	Ión Cloro
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
C <sub>Ve</sub>	Coeficiente de variação de ensaio
E	Modulo de elasticidade
END	Ensaio não destrutivo
f <sub>1</sub>	Menor valor do ensaio à compressão
f <sub>c</sub>	Resistência à compressão
f <sub>cd</sub>	Resistência de cálculo do concreto à compressão
f <sub>ck</sub>	Resistência característica do concreto
f <sub>ck,est</sub>	Resistência característica do concreto estimada
f <sub>cm</sub>	Resistência média à compressão do concreto
f <sub>cmj</sub>	Resistência média do concreto à compressão prevista para a idade de j dias
Fe	Ferro
n	Tamanho da amostra
RAA	Reação álcali agregado

---

$s_d$	Desvio padrão
Si	Silício
$x_{inf}$	Limite inferior da distribuição gaussiana
$x_{sup}$	Limite superior da distribuição gaussiana
$\mu (\rho \%)$	Valor crítico da variável normal reduzida para um intervalo $\rho\%$ de confiança
$\rho (\%)$	Intervalo de confiança
$\sigma$	Desvio padrão da população

## SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standards
CEB	Comité Euro-International du Beton
CP I	Cimento Portland Comum
CP II	Cimento Portland Composto
CP III	Cimento Portland de Alto Forno
CP III	Cimento Portland de escória de Alto Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V ARI RS	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CPB	Cimento Portland Branco
DIN	Deutsche Industrie Norm
FECIV	Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia
GEQ	Gestão estratégica da qualidade
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
NBR	Norma Brasileira Registrada
PBPQH	Programa Brasileiro da Produtividade e Qualidade do Habitat
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

---

---

## **UNIDADES DE MEDIDAS**

cm	centímetro
$\text{g}/\text{cm}^3$	grama por centímetro cubico
GPa	gigapascal
kg	quilograma
$\text{kgf}/\text{cm}^2$	quilograma força por centímetro quadrado
L	litros
$\text{m}^3$	metros cúbicos.
mm	milímetro
$\text{mm}^2$	milímetro quadrado
MPa	megapascal
Pa	pascal
$^\circ \text{C}$	graus célsius
$\mu\text{m}$	Micrometro

---

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Clientes temporários .....	35
Figura 2 - O ciclo da qualidade na construção civil .....	40
Figura 3 - Processo de fabricação do cimento Portland .....	46
Figura 4 - Produção de cimento.....	46
Figura 5 - Efeitos da relação água - cimento .....	52
Figura 6 - A qualidade do concreto e as propriedades dos agregados.....	59
Figura 7 - Principais funções para o uso de aditivos e adições minerais.....	61
Figura 8 - Fatores influentes das propriedades mecânicas do concreto. ....	63
Figura 9 - Referências para a produção de concreto com qualidade. ....	66
Figura 10 - Fatores influentes do ensaio à compressão .....	79
Figura 11 - Distribuição de Gauss para o ensaio de compressão .....	82
Figura 12 - Elipse de confiança .....	87
Figura 13 - Variáveis envolvidas nos resultados dos ensaios à compressão .....	92
Figura 14 - Desenvolvimento experimental. ....	93
Figura 15 - “Layout” de circulação .....	97
Figura 16 - Distribuição das fôrmas .....	98
Figura 17 - Local da verificação da consistência .....	99
Figura 18 - Imagens de etapas dos procedimentos de cura. ....	101
Figura 19 - Ondas de distribuição dos corpos-de-prova.....	102
Figura 20 - Delimitação geográfica .....	103
Figura 21 - Preparo dos corpos-de-prova para ensaio de referência .....	107
Figura 22 - Equipamento utilizado no ensaio de referência .....	107
Figura 23 - Ensaios nas ondas de avaliação .....	110
Figura 24 - Processo de avaliação de resultados .....	111
Figura 25 - Análise pelo ensaio de referência .....	112

---

Figura 26 - Faixa de valores admissíveis – Onda I.....	115
Figura 27 - Posicionamento relativo dos resultados dos laboratórios – Onda I .....	116
Figura 28 - Discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência - Onda I .....	117
Figura 29 - Faixa de valores admissíveis – Onda II .....	118
Figura 30 - Posicionamento relativo dos resultados dos laboratórios – Onda II .....	119
Figura 31 - Discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência - Onda II.....	119
Figura 32 - Faixa de valores admissíveis – Onda III.....	122
Figura 33 - Posicionamento relativo dos resultados dos laboratórios – Onda III.....	122
Figura 34 - Discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência - Onda III ....	123
Figura 35 - Elipse de confiança por resultados médios .....	125
Figura 36 - Elipse de confiança On2 x On1 .....	127
Figura 37 - Elipse de confiança On3 x On1 .....	128
Figura 38 - Elipse de confiança On3 x On2 .....	129
Figura 39 - Aceitação do concreto por amostragem total .....	132
Figura 40 - Ensaios à compressão do concreto – Onda I.....	138
Figura 41 - Ensaios à compressão do concreto – Onda II .....	138
Figura 42 - Ensaios à compressão do concreto – Onda III .....	139
Figura 43 - Verificação da condição de outliers .....	141
Figura 44 - Reprocessamento da verificação de resultados “outliers” .....	142
Figura 45 - Amplitudes médias nas ondas de avaliação .....	142
Figura 46 - Flutuação de resultados (I).....	144
Figura 47 - Flutuação de resultados (II) .....	144
Figura 48 - Flutuação de resultados (III) .....	144
Figura 49 - Flutuação de resultados (IV).....	145
Figura 50 - Flutuação de resultados (V) .....	145

---

# ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Da inspeção à Garantia da Qualidade .....	31
Quadro 2 - Dimensões da qualidade.....	34
Quadro 3 - Estrutura organizacional em função da qualidade.....	38
Quadro 4 - Composição dos cimentos Portland de alto-forno e pozolânico .....	47
Quadro 5 - Composição de cimento Portland de alta resistência inicial .....	47
Quadro 6 - Influência do tipo de cimento nas argamassas e concreto.....	48
Quadro 7 - Propriedades e aplicações do cimento.....	49
Quadro 8 - Água retida na pasta de cimento hidratada .....	52
Quadro 9 - Propriedades dos agregados em função de seus fatores determinantes .....	58
Quadro 10 - Ensaios para o controle de qualidade do concreto .....	72
Quadro 11 - Ensaios para a qualidade dos materiais do concreto .....	73
Quadro 12 - O Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de acordo com a ABNT NBR 5739:2007 .....	78
Quadro 13 - Fatores influentes dos ensaios à compressão .....	84
Quadro 14 - Concreto para moldagem dos corpos de prova .....	95
Quadro 15 - Intervalos de tempo da moldagem .....	100
Quadro 16 - Controle de temperatura ambiente .....	100
Quadro 17 - Distribuição de laboratórios. ....	102
Quadro 18 - Códigos corpos-de-prova .....	104
Quadro 19 - Configuração do procedimento experimental – moldagem dos corpos-de-prova .....	108
Quadro 20 - Configuração do procedimento experimental - equipe e local.....	109
Quadro 21 - Parâmetros dos ensaios de referência.....	109
Quadro 22 - Propriedades do concreto dos corpos-de-prova – controle de aceitação.....	132

---

# **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 - Ensaios a compressão - Coeficientes de Variação Experimental.....	83
Tabela 2 - Resultados dos ensaios de referência .....	113
Tabela 3 - Resultados dos ensaios à compressão .....	114
Tabela 4 - Resultados dos ensaios - Onda I.....	115
Tabela 5 - Discrepância percentual relativa – Onda I .....	116
Tabela 6 - Resultados dos ensaios – Onda II.....	118
Tabela 7 - Discrepância percentual relativa – Onda II .....	119
Tabela 8 - Resultados dos ensaios – Onda III .....	121
Tabela 9 - Discrepância percentual relativa – Onda III.....	122
Tabela 10 - Analise de resultados pelo controle de aceitação do concreto .....	134
Tabela 11 - Avaliação pelo teste de Cochran .....	140
Tabela 12 - Amplitudes de resultados nas ondas de avaliaçao.....	143
Tabela 13 - Mapa de positividade.....	146
Tabela 14 - Frequênci a de resultados .....	146

---

# SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	10
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	12
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	13
<b>SUMÁRIO .....</b>	14
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	18
1.1 A IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
1.3 OBJETIVO.....	21
1.3.1 Objetivo geral.....	21
1.3.2 objetivos específicos.....	21
1.4 MÉTODO .....	22
1.5 APRESENTAÇÃO.....	23
<b>CAPÍTULO 2 – ELEMENTOS DA QUALIDADE .....</b>	25
2.1 UM BREVE HISTÓRICO DA FUNÇÃO QUALIDADE.....	25
2.2 O CONCEITO FILOSÓFICO DE QUALIDADE .....	28
2.3 A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE QUALIDADE.....	30
2.4 AS DIMENSÕES DO CONCEITO DE QUALIDADE .....	32
2.5 CLIENTES TEMPORÁRIOS .....	34
<b>CAPÍTULO 3 – CONSTRUÇÃO CIVIL – ABORDAGEM DA QUALIDADE .....</b>	36
3.1 A QUALIDADE E A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	36
3.2 A QUALIDADE E AS OBRAS DE ENGENHARIA .....	38

---

3.3 SISTEMAS DE NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO.....	40
3.4 A QUALIDADE E AS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	42
<b>CAPÍTULO 4 – A QUALIDADE DO CONCRETO.....</b>	<b>44</b>
4.1 O CONCRETO.....	44
4.2 FATORES INTERVENIENTES.....	45
4.2.1 Cimento.....	45
4.2.2 Água .....	50
4.2.3 Agregados .....	55
4.2.4 Aditivos e adições .....	59
4.2.5 Substâncias deletérias.....	62
4.2.6 Dosagem .....	63
4.2.7 A produção do concreto.....	65
4.2.7.1 Mistura e manipulação.....	66
4.2.7.2 Cura.....	69
<b>CAPÍTULO 5 - O CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE DO CONCRETO .....</b>	<b>71</b>
5.1 ANÁLISE DA QUALIDADE DO CONCRETO.....	71
5.2 ENSAIOS DA QUALIDADE DO CONCRETO.....	72
5.3 A QUALIDADE PELO ENSAIO DE COMPRESSÃO .....	75
5.4 FATORES INFLUENTES DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO.....	76
5.5 FATORES INFLUENTES NO ENSAIO DE COMPRESSÃO .....	77
5.6 A ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS À COMPRESSÃO.....	80
5.7 O CONTROLE DE QUALIDADE DOS ENSAIOS .....	82
5.8 FORMATO DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....	83
5.9 A CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS À COMPRESSÃO .....	83
5.9.1 Fatores de variabilidade de resultados .....	84
5.9.2 Procedimentos de análise de resultados de ensaios .....	86
5.9.2.1 Elipse de confiança.....	87

---

---

5.9.2.2	Outliers .....	88
5.9.2.3	Teste de cochran e dixon.....	89
5.9.2.4	Ensaio de referência.....	89
<b>CAPÍTULO 6 – PROGRAMA EXPERIMENTAL</b>	.....	<b>91</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	91
6.2	MÉTODO .....	92
6.3	ETAPAS DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	93
6.4	ELEMENTOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM.....	94
6.4.1	Concreto .....	94
6.4.2	Fôrmas .....	95
6.4.3	Corpos de prova.....	96
6.4.4	Moldagem .....	96
6.4.5	Equipe de moldagem.....	96
6.4.6	Área de moldagem .....	97
6.4.7	Plano de movimento.....	97
6.4.8	Recebimento do concreto.....	98
6.4.9	Adensamento.....	99
6.4.10	Tempos do processo de moldagem .....	100
6.5	CURA .....	100
6.6	CORPOS DE PROVA - TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO .....	101
6.7	ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA .....	102
6.7.1	Seleção e identificação dos corpos-de- prova .....	103
6.8	OS ENSAIOS DE REFERÊNCIA .....	106
6.9	OS ENSAIOS NAS ONDAS DE AVALIAÇÃO .....	109
<b>CAPÍTULO 7 – RESULTADOS E ANÁLISES</b>	.....	<b>111</b>
7.1	MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE RESULTADOS .....	111
7.2	A CONFIABILIDADE PELOS ENSAIOS DE REFERENCIA.....	112

---

---

7.2.1	Resultados dos ensaios de referência .....	113
7.2.2	Verificações pelos ensaios de referência .....	114
7.2.2.1	Onda I.....	115
7.2.2.2	Onda II .....	118
7.2.2.3	Onda III .....	121
7.3	ANÁLISE PELA ELIPSE DE CONFIANÇA .....	125
7.3.1	Verificação pela elipse de confiança .....	126
7.4	CONFIABILIDADE PELA ACEITAÇÃO DO CONCRETO .....	130
7.4.1	Verificação pela aceitação do conceto .....	131
7.5	UNIFORMIDADE DOS SERVIÇOS DOS LABORATÓRIOS .....	137
7.5.1	Verificação da sistematização de erros .....	137
7.5.2	Teste de Cochran .....	140
7.5.3	Verificação de resultados “outliers” .....	140
7.5.4	Amplitudes dos ensaios.....	142
7.5.5	Flutuação de resultados.....	143
7.6	MAPA DE POSITIVIDADE .....	145
<b>CAPÍTULO 8 – CONCLUSÃO .....</b>		147
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		153

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 A IMPORTÂNCIA DO TEMA

O concreto é um material de extrema relevância para a indústria da construção civil e destacado grau de utilização, em virtude de suas propriedades transitórias e distintas assumidas entre o instante inicial de sua produção, e aquele relativo à sua idade no processo contínuo de seu endurecimento. É um material que cumpre seu papel de forma satisfatória quando produzido e tratado de forma adequada, mas, ainda assim sujeito a patologias que reduzem sua vida útil e da estrutura onde está aplicado gerando, nestes casos, problemas cuja solução nem sempre é de fácil equacionamento. Nas obras do mercado imobiliário, por exemplo, onde sua utilização é frequente, a aplicação incorreta deste material pode favorecer o desenvolvimento de problemas técnicos cujas consequências podem se estender até a posição de seu usuário final, que deve contar com a qualidade do produto adquirido, quando na condição de consumidor.

A execução de uma obra em concreto envolve procedimentos construtivos de abrangência multifatorial, os quais, quando mal conduzidos, podem resultar em situações imprevistas; não sendo, portanto prudente, tratar o desenvolvimento de seus projetos de forma impensada ou completamente empírica. A compreensão do grau de importância que cada uma das etapas de seu processo construtivo exerce sobre seus produtos e a adoção de um procedimento para controlar tecnologicamente a sua produção de forma a confirmar os parâmetros de sua qualidade, são posturas que se fazem necessárias.

Em Engenharia, a concepção de uma ideia tecnicamente calcada em fundamentos científicos, o cuidado com seu desenvolvimento, e a aplicação correta de seus elementos

nas ações de sua materialização, são atos de vital importância para a busca da qualidade; e isto envolve também os trabalhos para a construção das estruturas em concreto. Em verdade, a complexidade do processo produtivo que caracteriza a construção de uma obra desta natureza exige um tratamento estrategicamente organizado que permita o equacionamento dos problemas a ela pertinentes, inclusive aqueles relacionados à qualidade de seus materiais.

Neste contexto, insere-se o ensaio de compressão do concreto que deve assumir o seu relevante papel no cenário do controle de qualidade das obras da construção civil. O ensaio de compressão do concreto corresponde a um importante procedimento de seu controle tecnológico. Sua correta aplicação favorece o trabalho em prol da qualidade das estruturas em concreto, podendo de forma indireta minimizar a condição de retrabalho para a sua recuperação e da conservação ambiental relativa a sua demolição. Com sua aplicação podem ser estabelecidos parâmetros que melhorem as ações produtivas de sua fabricação e minimizem os efeitos indesejáveis por não atender a resistência especificada.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A vida útil de uma obra de engenharia tem fortes ligações com a qualidade dos materiais nela empregados e com as técnicas utilizadas em sua aplicação. Excluídas as deficiências de projeto, quando uma estrutura de concreto, por exemplo, reflete uma condição patológica, existirão em princípio duas hipóteses básicas para explicar tal estado: o material aplicado não é de boa qualidade ou houve erro em sua aplicação. Uma estrutura deste material será “durável” quando, juntamente com outros materiais, for produzida de forma conveniente.

Por sua vez, também a qualidade dos materiais depende de seus elementos constituintes e da forma com que foram produzidos, sendo isto um fato incontestável para o concreto. Um aumento exagerado da relação água-cimento é capaz de danificar a mistura ou corromper a sua qualidade de forma irreversível. De forma que, se o concreto utilizado em uma estrutura, não se comporta de forma eficiente ou não tem a propriedade esperada, seja isto em virtude de aspectos ligados à sua composição, ou ainda, àqueles relacionados com os seus processos de preparo, manipulação e aplicação, então a sua qualidade poderá estar comprometida.

Obras incorporam estruturas. Estruturas incorporam materiais e estes podem intervir na qualidade final das obras que os contêm. A engenharia não tem dúvidas acerca destas ideias e também da necessidade do controle tecnológico de seus materiais. Entretanto, há que se considerar a hipótese delineada a seguir.

Os mecanismos de produção do concreto e a origem diversa de seus materiais são elementos suficientes para contribuir que as medidas de suas propriedades físicas apresentem valores distintos. Por sua vez, dispersões, podem ter origem nos procedimentos de sua medição. Medir é um ato de comparação capaz de incorporar erros e incertezas, cuja procedência pode envolver os instrumentos necessários, seus instrumentadores e o próprio processo de medida. E isto engloba o ensaio à compressão do concreto, cuja aplicação permite avaliar a sua resistência potencial sob um estado de tensões.

Mesmo sendo, o concreto um material cujo processo de fabricação se materializa de forma bastante acessível se comparado com os de outros materiais, ele, o concreto, não está livre de interferências capazes de alterar as suas propriedades, e de forma consequente, a qualidade das estruturas, em que foi utilizado; condição esta, que envolve, para suas condições de trabalho, os quesitos de resistência e durabilidade. Assim, para certificar as definições de seus projetos, são necessários ensaios que verifiquem seu estado de conformidade.

Há, entretanto, nesta condição um item a considerar. Ainda que os erros sejam inerentes aos processos de medição, e que o concreto esteja sujeito a interferências em sua linha de produção, é desejável que os resultados da verificação de suas propriedades sejam uniformes e confiáveis; pois, para verificar os propósitos e definições de seu projeto estrutural, são necessárias medições que cumpram efetivamente com o seu papel de agente verificador do estado de conformidade, para assim, por seu intermédio sejam possíveis as tomadas de decisão pertinentes à sua produção.

Em verdade, o resultado de qualquer processo de medição deve limitar-se a uma faixa de valores aceitáveis. As dispersões eventualmente constatadas, não podem ser de maneira tal, que se possa invalidar o processo de comparação. São necessárias condições de equivalência entre as medidas de uma determinada grandeza física para que seus resultados retratem com precisão a grandeza que esta sendo avaliada no instante de sua medição.

Há um limite tolerável para as dispersões de valores, cuja importância se traduz na teoria das medidas e erros por meio de um parâmetro fundamental relacionado à sua confiabilidade.

A confiabilidade dos resultados de um ensaio à compressão do concreto constitui-se tema significativo para engenheiros e projetistas de estruturas. Como parte integrante do controle tecnológico do concreto, este ensaio deve ser capaz de avaliar a qualidade intrínseca deste material nos itens relacionados com sua resistência. Sujeito à interferência de fatores diversos este ensaio deve ser desenvolvido de forma tecnicamente precisa para que por intermédio seja possível confirmar as expectativas de qualidade para as quais o concreto foi projetado.

## **1.3 OBJETIVO**

### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é apresentar uma investigação experimental desenvolvida para avaliar o grau de confiabilidade das medições realizadas por laboratórios executores de ensaios à compressão do concreto.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir os objetivos gerais foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- avaliação dos resultados dos ensaios à compressão por uma metodologia que envolva um ensaio referencial;
- avaliação dos resultados dos ensaios à compressão por métodos alternativos para a comparação de resultados;
- avaliação da consistência dos resultados dos ensaios à compressão expressos por cada laboratório;
- avaliação dos resultados dos ensaios à compressão para verificação do seu grau de discrepância;
- avaliação dos resultados dos ensaios à compressão para a verificação identificação do tipo de erro cometido na medição; e;
- avaliação do conjunto de resultados para identificação de sua uniformidade.

## **1.4 MÉTODO**

O método adotado para o desenvolvimento deste trabalho considerou uma abordagem capaz de estabelecer a análise e discussão dos fatores intervenientes da qualidade do concreto e dos seus ensaios de compressão. Por ela foi condicionada a formação de um juízo de valor preciso para cada uma das variáveis condicionantes dos resultados deste trabalho investigativo. Seus princípios foram tratados como um problema permanente que justificaram as leituras e reflexões efetivadas em seu desenvolvimento. De maneira firme e consistente, foram estabelecidas ações para o tratamento minucioso de cada um dos parâmetros envolvidos, de forma tal fosse possível a correção de rota quando necessário. Foram consideradas as situações problema apresentadas no item 1.1 e justificadas em 1.2 com o desenvolvimento dos tópicos listados a seguir:

- Pesquisa bibliográfica e reflexão sobre o tema.
- Configuração do conceito de qualidade
- Configuração do desenvolvimento histórico do conceito de qualidade.
- Configuração do conceito de qualidade aplicado nas obras de Engenharia.
- Análise dos processos de controle de qualidade nas obras de Engenharia.
- Análise dos processos de controle de qualidade nas obras de concreto.
- Configuração de avaliação estatística acerca do controle de qualidade.
- Definição e delimitação do espaço amostral para o desenvolvimento experimental.
- Definição dos processos para o desenvolvimento experimental.
- Formação de equipe para o desenvolvimento experimental.
- Treinamento de equipe para o desenvolvimento experimental.
- Preparação de procedimentos para o desenvolvimento experimental.
- Organização de elementos para aplicação do desenvolvimento experimental.
- Aplicação do procedimento experimental.
- Tabulação dos dados e condicionamentos estatísticos.
- Análise e interpretação dos resultados experimentais.
- Desenvolvimento de relatório conclusivo.

## **1.5 APRESENTAÇÃO**

Oito capítulos organizam a apresentação deste trabalho experimental que envolveu a avaliação do grau de confiabilidade dos resultados produzidos pelos laboratórios executores dos ensaios à compressão.

### **Capítulo 1: Introdução**

No capítulo 1 são apresentados os elementos que compõem esta dissertação evidenciando os itens indicativos da importância do tema, os objetivos da pesquisa e de seu conteúdo e as justificativas necessárias ao seu desenvolvimento.

### **Capítulo 2: Elementos da qualidade**

O capítulo 2 está reservado para a discussão do conceito qualidade e seus elementos. São abordados temas relacionados a seu histórico, a sua conceituação e evolução. Nele, são apresentadas as principais dimensões da qualidade enquanto sua abordagem de forma característica, e também, a do conceito de cliente temporário, para que de forma significativa se possa analisar a aplicação destes conceitos nas obras de engenharia em concreto.

### **Capítulo 3: Construção civil - abordagem da qualidade.**

No capítulo 3 estão inseridos os temas relativos à abordagem da qualidade nas obras construção civil. São trabalhados os conceitos de qualidade no contexto de sua indústria e em obras de sua engenharia. São levantadas questões acerca da importância dos sistemas de normalização com o foco na qualidade das estruturas de concreto.

### **Capítulo 4: A qualidade do concreto.**

O capítulo 4 apresenta os fatores capazes de interferir na qualidade do concreto. São trabalhados os temas relacionados às propriedades de seus materiais constituintes e sua dosagem; na sequencia, são avaliados os tópicos de sua produção com destaque às ações que envolvem a sua mistura, manipulação e procedimentos de cura.

**Capítulo 5: O Controle estatístico da qualidade do concreto.**

No capítulo 5 são revisados tópicos necessários ao tratamento estatístico dos ensaios à compressão do concreto. Sua abordagem considera uma análise da qualidade do concreto e dos ensaios utilizados no seu controle. São levantadas questões envolvendo os fatores indutores de resultados do ensaio de compressão e, dos elementos estatísticos aplicados no seu tratamento.

**Capítulo 6: Programa Experimental.**

No capítulo 6 estão registrados os elementos pertinentes ao procedimento experimental. São descritas as ações desenvolvidas em busca das respostas que motivaram sua aplicação. A abordagem apresenta os objetivos do programa, suas ações e justificativas para cada uma das decisões tomadas durante o procedimento experimental.

**Capítulo 7: Resultados e Análises.**

Neste capítulo são trabalhados os resultados da parte experimental. São apresentadas as medições de cada laboratório em comparação com os valores de um ensaio configurado e controlado como um ensaio de referência; são estabelecidas comparações por meio de resultados de métodos de análise distintos e registradas as discrepâncias identificadas no processo de investigação. Foi analisada a consistência dos resultados laboratoriais de maneira a estabelecer a busca pela confiabilidade que também foi verificada pelo tipo de erro de medição e pela uniformidade de todo o conjunto de resultados.

**Capítulo 8: Conclusão**

Finalmente, no capítulo 8, são expostas as conclusões do trabalho e algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros envolvendo o tema abordado.

# **CAPÍTULO 2**

## **ELEMENTOS DA QUALIDADE**

Nos itens a seguir são apresentados os temas relativos ao conceito de qualidade e sua evolução; são abordados aspectos de seu conceito referencial e de suas dimensões com destaque para uma importante definição, a de cliente temporário. A abordagem inicia-se por um breve histórico da função da qualidade antes mesmo que sua definição. A estrutura delineada para a apresentação do assunto é capaz de circunstanciar o conceito de qualidade a partir de sua evolução histórica favorecendo sobremaneira seu desenvolvimento que engloba os conceitos necessários ao estudo da confiabilidade dos ensaios à compressão.

### **2.1 UM BREVE HISTÓRICO DA FUNÇÃO QUALIDADE**

A função produção de qualquer sistema produtivo deve ser entendida como um conjunto de atividades que levam a transformação de um bem tangível em outro com maior utilidade (LAUGENI; MARTINS, 2005).

Sua origem remonta os primórdios da História da Civilização no período em que “ferramentas” e “utensílios” eram produzidos para atender as necessidades básicas de sobrevivência e defesa. Nessa época, a fabricação de produtos mantinha uma estreita e limitada relação de dependência com o ato de consumo. Cada grupo ou indivíduo consumia aquilo que produzia; e só produzia, quando possível, aquilo que necessitava, pois, a matéria prima e habilidade manual para o desenvolvimento de um produto eram fatores limitantes de sua produção e por consequência de seu consumo. Quando estes grupos ou indivíduos, representados por aqueles mais habilidosos e capacitados na arte de fabricar, passaram a produzir uma maior quantidade de produtos com o principal objetivo de atender as necessidades de terceiros, surgiu então um intenso processo de

desenvolvimento das atividades produtivas no qual a figura central era o artesão. A partir de então tiveram origem formas de produção bastante organizadas e cuja evolução propiciaram a criação das associações de artesãos de forma regulamentada por meio das corporações de ofício. Ainda assim, era restrito o universo de trabalho dos artesãos, pois, de forma relativa, este só atendia uma quantidade limitada de pessoas interessadas em seus produtos. Com o crescimento do número de encomendas e da responsabilidade quanto ao cumprimento de prazos de entrega houve a necessidade da expansão e aprimoramento do processo produtivo cujo declínio só ocorreu efetivamente com o advento da Revolução Industrial, sendo alterados substancialmente os conceitos da produção artesanal.

Na Revolução Industrial a força humana no mundo do trabalho foi substituída pela força da máquina e os produtos passaram a ser fabricados de uma nova forma. A padronização destes produtos e seus processos de fabricação passaram a ser exigidos e a habilitação da mão de obra e seu treinamento passaram a ser tratadas com um método até então não verificado. Estratégias produtivas passaram a fazer parte do cotidiano das fábricas e com elas novos conceitos para a produção foram velozmente inseridos em um mundo extremamente dinâmico se comparado com seus antecessores. A força das pressões sociais, a velocidade com que as mudanças tecnológicas se processavam além da disputa pela eficiência era fato neste momento histórico e estimulavam de forma crescente a modificação dos cenários produtivos conhecidos até então. Com o modelo de produção em massa, idealizado por Henry Ford (1910), uma nova carga de inovação foi aplicada a ação das cadeias produtivas. Na condição de procedimento de racionalização, estes conceitos como as linhas de montagem, os postos de trabalho ou ainda os fluxogramas de processo permitiram a obtenção de resultados mais uniformes para a produtividade e também para a qualidade, cuja avaliação principal era técnica de controle estatístico.

Em relação à ideia de qualidade Laugeni e Martins (2005) destacam ainda que ao longo desse processo de modernização cresceu a importância da figura do consumidor, principalmente em virtude da configuração mercadológica e estratégica implantada pelas indústrias japonesas no período pós-guerra com objetivos de exportação de seus produtos.

Segundo Contador et al.(1998), após a Segunda Grande Guerra Mundial, nações e empresas foram obrigadas a conquistar mercados e criar uma maior quantidade de empregos.

Surgiram então importantes contribuições para a qualidade por meio de trabalhos teóricos de um grupo de técnicos cujos nomes e ações pioneiras são por eles destacados, e, com o intuito de um registro histórico, são por eles relacionados:

- **Deming**, o mais conhecido destes nomes, popularizou o controle de qualidade no Japão no início dos anos 50 desenvolvendo um sistema para o controle estatístico de qualidade. Segundo eles, sua contribuição no âmbito das questões relativas a este assunto é considerada de vital importância;
- Os trabalhos **de Joseph Juran** analisaram os mecanismos gerenciais de planejar, organizar e controlar;
- **Armand Feigenbaum** estudou um sistema para desenvolver, manter e aprimorar a qualidade contemplando principalmente a inibição da propagação das falhas o qual denominou Controle de Qualidade Total;
- **Philip Crosby** estabeleceu um programa de prevenção para a qualidade conhecido como “zero-defeitos” cuja conceituação e metodologia valorizavam a “prevenção” em relação à “detecção e correção” das falhas da linha de produção;
- E com uma visão oriental, **Kaoru Ishikawa** reconhecia a criação do controle de qualidade como invenção americana condicionando, entretanto, o fator de seu sucesso a participação “pacienciosa e meticulosa” dos consultores e técnicos japoneses em sua indústria.

“O método de Kaoru Ishikawa ajuda a identificar as raízes dos problemas de qualidade fazendo e respondendo questões relativas a eles, *com o objetivo de obtenção de qualidade total.*” (LAUGENI; MARTINS, 2005, p.7).

“W. E. Deming é um dos grandes nomes do gerenciamento da qualidade. Seus modelos de gestão de qualidade são utilizados por indústrias e *empresas diversos setores, hoje em dia*”. (LAUGENI; MARTINS, 2005, p.498).

“Deming foi um dos principais idealizadores das técnicas de qualidade. Ele idealizou técnicas de gerenciamento para se obter a *qualidade*.” (LAUGENI; MARTINS, 2005, p.549).

De acordo com Gomes (2004) o professor Willian Edwards Deming (1900-1993), um estudioso da eficiência dos processos produtivos nos Estados Unidos durante a Segunda

Guerra Mundial, foi recrutado em 1947 pelo Supremo Comando das Forças Aliadas para apoiar o desenvolvimento de um recenseamento conduzido por especialistas em estatística para avaliar a qualidade da produção de bens manufaturados no Japão visando a exportação de seus produtos. Da fusão entre os resultados deste trabalho, de suas conversas com os gestores de empresas, e também de sua experiência pessoal na análise das técnicas de qualidade, Deming estabeleceu a ideia que para a qualidade é imprescindível o empenho continuado da gestão de topo. Sem uma estrutura adequada, que não possibilite a transformação da própria organização, de nada servem os esforços dos trabalhadores em busca pela qualidade. A propósito, Gomes (2004) aborda a qualidade como uma orientação primária às necessidades do cliente cuja abordagem mais profunda é possível a partir do estudo das ideias de David Garvin, um renomado estudioso cuja contribuição filosófica é considerada substancial no estudo da evolução do conceito de qualidade relativamente às contribuições filosóficas anteriores.

“Garvin analisou e desenvolveu um léxico de qualidade que ganha valor a medida que se utiliza de forma mais comum a palavra *qualidade...Garvin descreve diferentes dimensões de qualidade.*” (GOMES, 2004, p.15).

## **2.2 O CONCEITO FILOSÓFICO DE QUALIDADE**

No dizer de Iniesta (1996), a função de qualidade de uma empresa está integrada a um conjunto de responsabilidades destinadas a assegurar que os produtos por ela oferecidos sejam apresentados com níveis ótimos de qualidade correspondentes à expectativa dos consumidores. Por sua expressão, a qualidade de um produto tem origem na etapa de projeto por meio das especificações que estabelecem regras para criação, utilização e sua manutenção e que de forma bem definida, deve atender as necessidades do usuário. Sendo insuficientes, ou não refletindo seus anseios poucas serão as chances do produto atingir um grau de excelência. Neste sentido, um projetista deve ser o intérprete das necessidades e dos gostos do cliente devendo conhecer todas as limitações do processo produtivo para assim estabelecer um conjunto de especificações que evite posições controversas em relação à questão de qualidade. Quanto à empresa, destaca Iniesta (1996), ser necessária uma política de qualidade que inclua os objetivos de cada uma de suas áreas de atividade e alguns programas de atuação para alcançar seus objetivos.

Deming (1990), relativiza a definição de qualidade com a posição de seu avaliador destacando que com frequência esta ação é comprometida pela posição ocupada por seu julgador. Na cadeia do processo produtivo, operários e administradores têm visões diferentes sobre o assunto. Enquanto o operário é impelido à avaliação pelo sentimento de orgulho daquilo que produziu o administrador avalia a qualidade relacionando-a com especificações e quantidade. Por sua vez, o consumidor busca mensurar qualidade através da conversão de suas necessidades futuras e valores a elas imposta.

Considerando a definição da qualidade em função de sua dependência em relação ao referencial pelo qual é avaliada, Queiroz (1995) apresenta cinco possíveis abordagens para utilizar a qualidade como poderosa arma estratégica:

- A primeira denominada **Definição Transcendental** e pela qual a qualidade é tida como algo universalmente conhecido e que se reconhece unicamente pelo uso e experiência anterior;
- A segunda, a **Definição Baseada no Produto**, que atribui à qualidade a condição de uma variável mensurável a partir de seus componentes constituintes e onde as variações na qualidade são vistas como diferenças nas quantidades de algum ingrediente ou atributo possuído pelos produtos;
- A terceira, a **Definição Baseada no Usuário** que condiciona o consumidor como referencial necessário para a abordagem da qualidade atribuindo às suas preferências e necessidades o papel qualificador do produto e através da qual se imprime a ideia de que quanto menor a satisfação do usuário menor a qualidade;
- A quarta, a **Definição Baseada na Produção**, e a propósito, linha básica da expressão de Iniesta (1986), que aborda a qualidade como decorrência das ações de engenharia. Por ela o nível de qualidade é função do grau de desvio “das especificações de projeto”, pois, uma vez que tenha sido estabelecido um “projeto” qualquer desvio da “conformidade” representará uma redução na qualidade e;
- Finalmente, a **Definição Baseada no Valor** por meio da qual a qualidade é encarada como a medida do desempenho do produto em termos de custos e preços aceitáveis.

## 2.3 A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE QUALIDADE

Conforme Alves et al.(1995) durante muito tempo o conceito de qualidade esteve restrito aos limites da empresa e só recentemente passou a ser incluído como uma Prioridade Competitiva na Produção exigindo a associação de seu conceito ao grau de satisfação dos clientes em relação aos produtos adquiridos.

Quase todas as modernas abordagens da qualidade foram surgindo aos poucos, através de uma evolução regular, e não de inovações marcantes. São produtos de uma série de descobertas que remontam há um século atrás. (GARVIN, 2002, p.3).

Deming (1990) diz que a indústria está em constante processo de desenvolvimento quer pela inserção de novos materiais com os quais se pode trabalhar ou pelo atendimento de novas necessidades do consumidor sendo, portanto extremamente complexa a administração da qualidade que exige a melhoria contínua de produtos e processos.

No dizer de Garvin (2002) as abordagens acerca da qualidade resultam de uma evolução histórica que remonta o século XIX. Para ele, o desenvolvimento de seu conceito e da forma pela qual é abordada, Quadro 1, pode ser catalogado em quatro fases distintas denominadas "eras da qualidade":

- a da inspeção;
- a do controle estatístico da qualidade;
- a da garantia da qualidade;
- e da gestão estratégica da qualidade.

A **inspeção formal** cujo objetivo era descobrir os erros e assegurar a qualidade durante a fabricação do produto passou a ser necessária com o surgimento da produção em massa. Anteriormente, durante a produção artesanal, séculos XVIII e XIX, a qualidade percebida era função dos atributos de desempenho, utilidade e durabilidade do produto, sendo as peças ajustadas manualmente umas às outras por artesãos qualificados de uma forma prática, informal e descartável.

Durante a **era do controle estatístico**, na década de 1930, a abordagem para a qualidade passa a considerar a variabilidade probabilística dos parâmetros produtivos que envolvem

matéria prima e mão de obra. Por esta condição, admitia-se a hipótese que um produto não seja produzido rigorosamente como outro, mas dentro de certos limites considerados admissíveis.

Na **fase da garantia de qualidade**, os instrumentos de ação expandiram-se além da estatística das linhas de produção; e quatro elementos distintos (a quantificação dos custos da qualidade, o controle total da qualidade, a engenharia da confiabilidade e “zero defeito”) passaram a fazer parte dos processos produtivos exigindo que as atividades relativas a projeto, engenharia e planejamento fossem consideradas tão importantes quanto os demais controles da linha de produção.

Na quarta era da evolução, a **Gestão Estratégica de Qualidade (GEQ)**, o problema relativo à questão de qualidade é enfrentado de forma diferenciada. Enquanto na fase anterior, a qualidade permanece com uma ênfase defensiva na prevenção de defeitos, na Gestão Estratégica ela deve: estabelecer uma ligação forte entre qualidade e lucratividade; definir a qualidade pelo ponto de vista do consumidor; e comprometer a alta gerencia com a qualidade.

Quadro 1 - Da inspeção à Garantia da Qualidade

Características Identificadoras	Inspeção	Controle Estatístico	Garantia de Qualidade
Objetivo Primário	Verificação	Controle	Coordenação
Visão da qualidade	Um problema a ser resolvido	Um problema a ser resolvido	Um problema a ser resolvido, mas que seja atacado pró-ativamente.
Ênfase	Uniformidade dos produtos	Uniformidade dos produtos com inspeção reduzida	Toda a cadeia de produção, do projeto ao mercado, contribuição de todos os grupos funcionais.
Métodos	Calibração e Medição	Ferramentas e técnicas estatísticas	Programas e sistemas
Papel do profissional de qualidade	Inspeção, Qualificação e Contagem.	Solução de problemas e métodos estatísticos	Medição e planejamento da qualidade
Quem tem responsabilidade pela qualidade	Departamento de inspeção	Departamento de engenharia e manufatura	Todos os departamentos, embora alta gerência esteja envolvida somente perifericamente no projeto, planejamento e execução das políticas de qualidade.
Orientação e Abordagem	Qualidade se inspeciona.	Qualidade se controla	Qualidade se constrói

Fonte: Garvin (2002)

## **2.4 AS DIMENSÕES DO CONCEITO DE QUALIDADE**

Contador et al.(1998) diz: é preciso reconhecer que a evolução do conceito de qualidade, até a segunda metade dos anos 1970, esta marcada predominantemente pela filosofia japonesa da qualidade calcada em quatro prioridades fundamentais:

- completa satisfação do cliente;
- qualidade como prioridade absoluta;
- melhoria contínua;
- e, participação com o comprometimento de todos os colaboradores.

Enquanto a concorrência das empresas japonesas não se havia intensificado, não eram muitas as organizações ocidentais que procuravam praticar efetivamente a qualidade.

Quando as empresas do ocidente perceberam que a vantagem competitiva da indústria japonesa vinha da qualidade, resolveram considerá-la, introduzindo técnicas e ferramentas sucedidas no Japão (CONTADOR et al., 1998, p.184).

Conforme Garvin (1987), as empresas americanas não acompanharam as inovações de controle de qualidade da mesma maneira e em mesmo número com que as empresas de concorrentes estrangeiras o fizeram. Em uma pesquisa realizada em 1981, os consumidores relataram que a qualidade dos produtos dos EUA havia declinado e não era de todo confiável. Então, para alcançar ganhos de qualidade seria necessário que os gestores impusessem uma nova maneira de pensar sendo necessário para isso estabelecer:

- uma ponte conceitual sob o ponto de vista do consumidor;
- e, obviamente, estudos de mercado adquirindo uma nova importância neste contexto;
- e uma revisão cuidadosa dos produtos concorrentes.

“Garvin percebeu que a qualidade deveria ser pensada como uma combinação de várias categorias, as quais ele deu o nome de dimensões de qualidade” (QUEIROZ, 1995, p.27).

No dizer de Garvin (1987) oito dimensões críticas ou categorias de qualidade podem servir como um quadro de análise estratégica para comparar objetivamente a qualidade total de um produto geralmente delineada por meio da combinação de uma ou mais

abordagens destas dimensões; e para pensar a qualidade desta forma, propõe-sejam consideradas as suas distintas acepções:

- Durabilidade;
- Qualidade induzida;
- Desempenho;
- Confiabilidade;
- Conformidade;
- Características secundárias;
- Capacidade de receber assistência técnica;
- Estética.

A **qualidade induzida** reflete a influência que a propaganda e a imagem de seu fabricante transferem ao produto. O **desempenho** é a capacidade de o produto responder às solicitações para as quais foi projetado. Por sua vez, a **confiabilidade** é a probabilidade deste não falhar em um período específico de tempo, em determinadas condições de operação. A **conformidade** é o grau com que um produto atende os padrões preestabelecidos para as dimensões nominais especificadas e características de operação enquanto que, as **características secundárias**, representam as propriedades suplementares de funcionamento básico do produto que também deve considerar a **possibilidade de receber assistência técnica** além de atender os anseios subjetivos princípios impostos pela dimensão da **estética**.

Para Queiroz (1995), a postura de Garvin imprime uma conotação comparativa ao conceito de qualidade em relação aos competidores em vez de traduzir padrões internos. A palavra final sobre a qualidade dos produtos e serviços é dada pelos consumidores e por isso a ideia de atender as especificações de projeto é um objetivo secundário. Primeiro deve-se entender precisamente o que o cliente deseja e depois produzir uniformemente.

De acordo com Gomes (2004), a proposta de Garvin além de propiciar discussões mais frutíferas sobre qualidade, encorajou as organizações a considerá-la como um elemento estratégico e, fundamental em seu posicionamento de mercado. A busca da qualidade extrapola os limites da produção devendo as organizações busca-la em tudo o que fazem e não somente com o objetivo de atender os seus clientes finais.

## **Capítulo 2 – Elementos da qualidade**

---

No Quadro 2 são apresentadas as oito dimensões da qualidade de Garvin (1987). Nele são destacadas as condições de inspeção e definidas as responsabilidades por seu controle.

Quadro 2 - Dimensões da qualidade

<b>CARACTERÍSTICAS IDENTIFICADORAS</b>	<b>INSPEÇÃO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
<b>Performance</b>	Conformidade operacional do produto	Projeto
<b>Recursos</b>	Características operacionais secundárias	Projeto
<b>Confiança</b>	Probabilidade de ruptura dentro de um determinado período	Projeto
<b>Conformidade</b>	Grau de atendimento as especificações de projeto	Produção
<b>Durabilidade</b>	Medida do ciclo de vida funcional do produto	Projeto
<b>Manutenção</b>	Facilidade de manutenção	Projeto e pós-vendas
<b>Estética</b>	Aparência do Produto	Projeto
<b>Qualidade percebida</b>	Valor do produto percebido pelo cliente	“Marketing” e Projeto

Fonte: Garvin (1987)

## **2.5 CLIENTES TEMPORÁRIOS**

De acordo com Deming (1990) a análise crítica da qualidade envolve questões cuja solução oferece um alto grau de imponderabilidade quanto a riscos e prejuízos. A primeira refere-se à dificuldade em descobrir que características são importantes para o cliente e que elementos provocam a sua insatisfação em relação à qualidade de qualquer produto ou serviço. A segunda, concernente à previsão dos custos envolvendo a solução de problemas gerados por clientes insatisfeitos.

“O custo de substituição de um produto defeituoso na linha de produção é fácil de ser estimado, mas o custo de substituição de um item defeituoso que é entregue a um cliente desafia qualquer medida. As mercadorias retornam os clientes não.” (DEMING, 1990, p.130).

E, finalmente, a questão relativa à definição acerca da efetiva figura do consumidor. Tecnicamente, para Deming (1990), o consumidor não necessariamente é o cliente final de

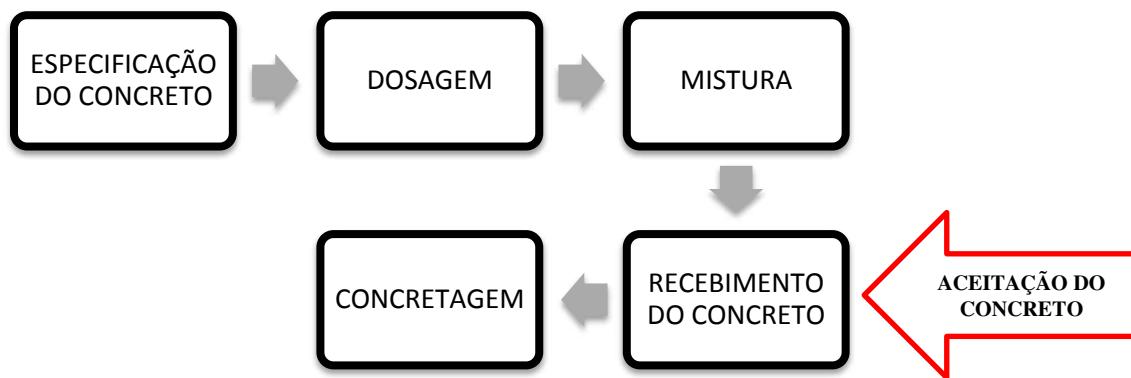
## Capítulo 2 – Elementos da qualidade

um produto ou serviço, sendo possível a instituição da figura de um consumidor temporário ou transitório que assume em um período a condição de crítico de qualidade passando a ser por ela seu julgador e responsável.

“O cliente de um tambor de selênio para uma máquina copiadora é o técnico, o homem que atende um chamado de conserto, ou que faz a manutenção regular da máquina copiadora. Ele é a pessoa que decide se o tambor de selênio é de boa qualidade.” (DEMING, 1990, p.130).

Na Figura 1 é representado um segmento do fluxograma da utilização de concreto usinado em uma obra. Por ela é possível compreender a condição de cliente temporário. O responsável pela aceitação do concreto é quem deve avaliar seu abatimento nos procedimentos que envolvem o ensaio do tronco de cone para então, a partir de seus resultados, orientar as providencias no sentido de sua correção.

Figura 1 - Clientes temporários



Fonte: Gidrão e Santos (2013)

# **CAPÍTULO 3**

## **CONSTRUÇÃO CIVIL**

## **ABORDAGEM DA QUALIDADE**

Nos itens a seguir são apresentados temas envolvendo a abordagem da qualidade na construção civil. São trabalhados os seus conceitos no contexto de sua indústria e de suas obras. São discutidas questões acerca da importância dos sistemas de normalização com o foco na qualidade das estruturas de concreto.

### **3.1 A QUALIDADE E A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

“A discussão dos conceitos de qualidade e aqueles que os induzem ou, daí derivam deve ser encarada, no setor da construção civil, de forma particular, tomando sua realidade estrutural como referência, o que exige um ajuste de conceitos já disseminados para os demais setores da *indústria*.” (ROCHA, 1993, p.1).

No dizer de Rocha (1993), o conceito de qualidade fundamentado em uma referência relativa e abstrata, e cuja excelência exige uma adequação de procedimentos para atender as expectativas dos consumidores, está associado a um custo que deve ser convenientemente trabalhado de forma a permitir que a empresa atinja seus objetivos de mercado. Para atender aos padrões de receptividade impostos pelos consumidores, o produto deve ser desenvolvido com um tratamento universalizado capaz de auscultar os anseios do usuário e de forma a estabelecer os vetores determinantes de seus atributos, inclusive aqueles relativos à sua parte monetária, para atender o estado latente de consumo considerando a capacidade aquisitiva de seus compradores. Para a indústria da construção civil, destaca Rocha (1993) que este tratamento, exige uma angulação estratégica própria;

sendo possível estabelecer suas ações, em duas frentes de ataque. A primeira naquilo que afeta os aspectos administrativos e gerenciais das empresas e relacionados com seu planejamento estratégico e suas diretrizes básicas, e a segunda, relativa aos sistemas de produção e que envolvem a qualidade intrínseca do produto. Neste aspecto, salienta Rocha (1993) a importância e a necessidade que este mercado tem de poder contar com produtos cujo padrão referencial garanta as suas qualidades intrínsecas, ressaltando assim, o valor assumido pela normalização e certificação dos produtos nas ações de validação da qualidade, por um conhecimento mais profundo acerca da temática imposta.

Não se pode prescindir o mercado de sistemas reconhecidos como de normalização da produção, que são concebidos pela sociedade para poder estabelecer padrões mínimos de estado de diversos atributos de cada produto ou de seus componentes, no sentido de que se produza a partir de um padrão de qualidade para cima. (ROCHA 1993, p.14).

Em consonância com estas ideias, Picchi e Agopyan (1993) afirmam que os ciclos dos sistemas da qualidade da indústria da construção civil, devem ser estruturados de forma a equilibrar seus dois possíveis enfoques: o técnico e o organizacional. O técnico para programar e orientar todos os procedimentos de obra e seu controle, e o organizacional, para estruturar a empresa e direciona-la em busca da aplicação de programas de qualidade capazes de abordar todos seus níveis de enfoque como, por exemplo: projetos, materiais utilizados e mão de obra.

Para Picchi e Agopyan (1993), o enfoque da gestão de qualidade evoluiu de uma visão corretiva baseada na inspeção, para um enfoque sistêmico e normalizado que leva em conta todas as etapas do processo produtivo; assim, se faz possível a definição de um sistema de qualidade, que pode ser representado em um diagrama denominado “ciclo de qualidade” e que tem por objetivo o equacionamento de todas as etapas que afetam a qualidade do produto, razão pela qual a qualidade, deve ser definida objetivamente pela estruturação de uma política que envolva todos os seus níveis organizacionais.

O Quadro 3 apresenta a estrutura organizacional de uma empresa construtora de edifícios proposta por Picchi e Agopyan (1993) com base em um sistema de qualidade. A qualidade definida objetivamente por sua política e organização tem destaque em toda a estrutura organizacional.

Quadro 3 - Estrutura organizacional em função da qualidade.

<b>Estrutura Organizacional</b>	<b>Características</b>
<b>Política e Organização</b>	Definição da qualidade adotada pela empresa e seus objetivos.
<b>Rercursos Humanos</b>	Ações para a minimização de fatores de interferencia na qualidade.
<b>Planejamento do empreendimento e vendas</b>	Mecanismos para análise de mercado.
<b>Projeto</b>	Ações para o desenvolvimento de produtos por meio de projetos compatibilizados durante todo o desenvolvimento do produto.
<b>Suprimentos</b>	Critérios para especificação de materiais, qualificação de fornecedores e controle da qualidade dos materiais envolvendo seu recebimento, seu desempenho e sua durabilidade bem como controle de manuseio e armazenamento.
<b>Execução</b>	Qualificação dos processos de execução através de planejamento e controle de procedimentos.
<b>Serviços ao cliente e assistência técnica</b>	Estruturação de serviços de atendimento ao cliente e manual de orientação de utilização do produto adquirido.

Fonte: Adaptado de Picchi e Agopyan (1993)

## **3.2 A QUALIDADE E AS OBRAS DE ENGENHARIA**

Para Souza (2009) a grande diversidade de ações dos seres intervenientes e de produtos parciais gerados ao longo dos processos produtivos do setor da construção civil é capaz de incorporar diferentes condições de qualidade ao seu produto final. Sua cadeia produtiva é bastante complexa e heterogênea e para seu desenvolvimento, com o foco na qualidade, são necessárias ações que promovam uma melhoria como um todo. Além de uma estrutura organizacional preparada, capaz de aplicar uma política de qualidade que considere a normalização técnica, a adoção de programas de gestão e certificação de sistemas e produtos, se faz necessário, um longo e meticoloso trabalho de articulação para englobar os processos, os produtos, os agentes do sistema e a linha de produção.

Para Picchi e Agopyan (1993), este trabalho que se inicia com a formalização de uma política de qualidade, deve receber via recursos humanos, um tratamento capaz de motivar, integrar e treinar toda a equipe responsável pela aplicação da mão de obra necessária, de

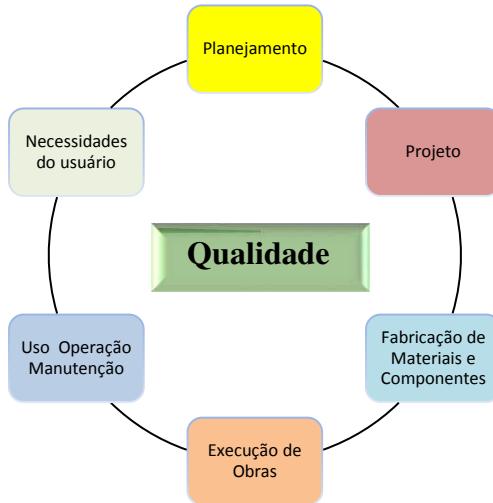
forma a minimizar os fatores que possam interferir negativamente na qualidade; e também por esta razão, receber um tratamento, que oriente as ações do planejamento e desenvolvimento de projetos como pontos de partida para a sua obtenção. A especificação de materiais, a descrição minuciosa de seus processos de aplicação e os controles de produção representam, ainda que de forma intangível, os primeiros fundamentos da qualidade das obras da construção civil.

Para Picchi e Agopyan (1993), o controle e a garantia de qualidade devem se estender aos diversos estágios da linha de produção da indústria da construção e também de suas obras. Empreiteiros e subempreiteiros, equipamentos e materiais, definições e procedimentos; tudo deve ser verificado para estar controlado. Neste sentido, as ações de gerenciamento, de coordenação das atividades de projeto, e também o controle de sua produção, por meio de procedimentos sistematizados, favorecem o alcance das metas da realização de obras com a qualidade desejada.

Já para Novaes (2001) é preciso estabelecer um conjunto de ações destinadas ao controle e garantia da qualidade dos projetos, devendo seus enfoques considerar aspectos de seus produtos e processos. Por sua visão, é possível conceituar um projeto sob duas premissas. A primeira referente ao projeto como produto, em qual devem constar os elementos com a função de atender às necessidades da etapa de produção. A outra, que confere ao projeto um sentido de processo capaz de permitir a compatibilização de suas soluções. Neste sentido, os projetos estarão condicionados a dois tratamentos; o primeiro de caráter tecnológico que engloba soluções de natureza técnica; e o segundo de natureza gerencial e em que se condiciona a presença de um conjunto de participantes, com específicas responsabilidades, devendo por esta razão ser analisado tanto pelo enfoque de melhoria de suas soluções, quanto pelo da melhoria da qualidade do processo.

Na Figura 2 foi representada a proposta de Souza (2009) para o ciclo de qualidade no setor da construção civil. Sua leitura facilita a visualização da complexidade que envolve o tratamento de qualidade nas obras de engenharia e a compreensão dos fatores a serem trabalhados na sua busca. O conhecimento, o planejamento e o controle de cada um dos fatores nela representados, propiciam sobremaneira a construção eficiente de uma obra com o foco nos conceitos de sua excelência, assumindo para esta condição, o controle de qualidade para os seus processos, uma importante função.

Figura 2 - O ciclo da qualidade na construção civil



Fonte: Adaptado de Souza (2009)

### 3.3 SISTEMAS DE NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO

Na visão de Rocha (1993), os sistemas de normalização da produção tem o objetivo de estabelecer padrões mínimos de estado dos diversos atributos possíveis para cada um dos componentes de um produto e de forma mais ampla de seu todo. Sua função precípua é a da proteção do mercado uma vez que a aferição da qualidade nem sempre é possível por parte do comprador.

Por seu dizer, a verificação dos atributos inerentes à qualidade de um produto, inclusive e principalmente aquelas de natureza intrínsecas de sua produção, exige uma capacitação técnica inúmeras vezes não presentes na formação de um comprador. Assim, o que se espera das normas é que ela atue como elemento disciplinador da ação de produção e a consequente proteção do mercado.

*“O que é esperado das normas é que disciplinem os tópicos que não estão ao alcance da avaliação direta dos agentes de mercado.”*  
(ROCHA, 1993, p.15).

Nesta linha de raciocínio, Rocha (1993), afirma que um sistema de normalização não pode servir de agente de descontrole ou de elitização do mercado, pois a relação qualidade-preço tem sua origem no seio do próprio mercado, devendo por esta razão buscar uma condição de equilíbrio que o satisfaça.

“As normas não podem sugerir critérios de produção que condicionem os produtos a um padrão de qualidade que impeça o acesso de determinadas faixas de renda, ou então, que leve o sistema produtivo a não encontrar qualidade para produzir (rentabilidade) nos preços que o *mercado seja capaz de pagar.*” (ROCHA, 1993, p.14).

Para Melhado e Oliveira (2009) a eficiência de um sistema de normalização é medida pela uniformidade e padronização das exigências relativas à qualidade de insumos, componentes e processos que orienta, podendo os seus benefícios ser formalizados nos aspectos qualitativos e quantitativos da produção. Quanto mais estruturado e eficaz for este sistema de normalização maior será o grau de desenvolvimento da qualidade de um setor. A exigência de padrões mínimos de projeto, execução e avaliação durante o desenvolvimento de produtos e serviços alavancam a qualidade, que em seu dizer, deve estar calcada na responsabilidade de profissionais capacitados e também em sua liberdade para a decisão da adoção de padrões acima dos mínimos.

Quanto à avaliação de resultados para todo este contexto, Rocha (1993) justifica a fiscalização da produção no sentido da aferição dos atributos do produto para identificação de seu estado final e a certificação das regras estabelecidas na normalização. O produtor deve exercitar o controle de qualidade, pois o comprador não tem acesso ao produto quando no circuito de produção, e o encontro de desconformidades só se dará quando o produto estiver em uso.

Sistemas de certificação de qualidade, a partir da aferição do ajuste do produto aos padrões mínimos impostos por normalização, protegem o mercado naquilo em que ele tecnicamente não tem capacidade de avaliar, porque não são características transparentes... (ROCHA, 1993, p.6).

“**Uma norma técnica** é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um *dado contexto.*” (ABNT, 2013).

Neste contexto, Melhado e Oliveira (2009), destacam o valor da pesquisa científica como um instrumento para identificação e compreensão dos diversos sistemas de normalização adotados em outros países e cuja adaptação à realidade individual de um povo favorece o seu desenvolvimento.

### **3.4 A QUALIDADE E AS ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Para Brandão e Pinheiro (1999) a qualidade das estruturas de concreto tem relação com a sua durabilidade; por sua vez esta dimensão da qualidade, esta ligada a agressividade ambiental. Por seus conceitos, a adoção de critérios apropriados ainda na fase de projeto garante, com grau apropriado de confiabilidade, que as estruturas apresentem desempenho satisfatório em serviço e resistam adequadamente aos agentes externos sem mostrar sinais precoces de deterioração. Por sua visão, as exigências de qualidade de uma estrutura devem atender um conjunto de requisitos que refletem completamente as expectativas de sua utilização, devendo neste sentido considerar os três grupos distintos de avaliação e referentes, respectivamente, à segurança, ao bom desempenho em serviço e à durabilidade.

Pela ótica da ABCP (2006) as normas técnicas exercem um papel de vital importância para todo processo produtivo, oferecendo as referências de qualidade e desempenho reconhecidas pelo meio técnico e aceitas pelo mercado. Assim, neste contexto, os critérios gerais que envolvem a qualidade de uma estrutura em concreto e a avaliação da conformidade de seu projeto devem atender a ABNT NBR 6118:2007, considerando suas orientações tanto para as fases de construção quanto para a de serviço.

Nas questões relativas à qualidade estrutural, deve avaliar sua capacidade resistente, seu desempenho em serviço e sua durabilidade, devendo estes aspectos ser trabalhados, de forma integrada às demais áreas comprometidas com seu desenvolvimento, desde as fases iniciais do projeto. Quanto a estes, devem considerar a sua conformidade e a de sua própria condição de existência.

De acordo com os preceitos da ABNT NBR 6118:2007, a durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforços coordenados de todas as partes envolvidas nos processos de sua criação, e isto além do projeto, a construção e a sua utilização. Por seu conceito, seus projetos devem proporcionar as informações necessárias à execução da estrutura de forma clara e consistente, devendo formalmente contextualizar as premissas e diretrizes relativas à sua durabilidade de forma a prolongar sua vida útil e de cada uma de suas partes. Neste contexto, a ABNT NBR 12655: 2006, que fixa as condições exigíveis para o preparo, controle e recebimento de concreto destinado à execução das estruturas deste material, favorece esse trabalho.

### **Capítulo 3 – Construção civil – abordagem da qualidade**

---

As ações de avaliação da conformidade do projeto e aquelas relativas à durabilidade da estrutura, prescritas pela ABNT NBR 6118:2007 abarcam uma relação de proximidade com as oito dimensões de qualidade propostas por Garvin (1987); e da mesma forma qualificam as propostas de Rocha (1993) quanto à garantia intrínseca dos produtos e da estruturação dos ciclos dos sistemas de qualidade da construção civil, proposta por Picchi e Agopyan (1993).

# CAPÍTULO 4

## A QUALIDADE DO CONCRETO

Os fatores capazes de interferir na qualidade do concreto são apresentados nos itens a seguir. São considerados aspectos relacionados às propriedades de seus materiais constituintes e sua dosagem. Na sequencia são avaliados tópicos de sua produção. Algumas análises acerca da microestrutura do concreto estão inseridas nestas abordagens com o objetivo de acurar a visão para os efeitos indesejáveis de determinadas substâncias sobre a durabilidade do concreto.

### 4.1 O CONCRETO

Na visão de Pedroso (2009), o concreto é um material que se comporta como uma pedra artificial capaz de se adaptar a inventividade construtiva do homem em face das duas propriedades básicas que o destacam frente às demais; a resistência a água no estado endurecido; e a sua plasticidade no estado fresco, que possibilita a obtenção de formas construtivas inusitadas, e em dimensões bastante variadas. É um material que consiste de um meio aglomerante no qual estão inseridas partículas de diferentes naturezas, e capaz de incorporar, no estado inicial de sua produção, outras substâncias, com o intuito de alterar algumas de suas propriedades básicas, de forma a adequar seu uso a inúmeras outras possibilidades construtivas. Com uma resistência similar às das rochas naturais, é um elemento construtivo que apresenta vantajosas “soluções aplicacionais” e considerável facilidade operacional, graças ás propriedades intrínsecas de seus materiais constituintes.

Sob o ponto de vista de Callister (2008), e segundo os preceitos das ciências dos materiais, é um material de partículas grandes, em que as fases matriz e dispersa são agregadas em um corpo sólido, por meio de um material ligante: os cimentos; o Portland, empregado

extensivamente como material estrutural na construção civil ou ainda, o cimento asfáltico, cuja aplicação básica a título de exemplo é o concreto desta mesma natureza, utilizado em pavimentações. É um material que deve ser fabricado com ingredientes adequadamente dosados de forma a possibilitar a obtenção de uma condição de resistência ótima e uma “trabalhabilidade” necessária.

“As características e propriedades do concreto dependem da qualidade e proporções dos materiais com que *são compostos*. “ (ABCP, 2002, p.5).

## **4.2 FATORES INTERVENIENTES**

Para a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, ABESC (2007), a qualidade do concreto como domínio de função de sua resistência e durabilidade requer uma série de cuidados que envolvem a escolha de seus materiais e a determinação de seu traço; a homogeneização da mistura e sua correta aplicação considerando aditivamente os aspectos de seu adensamento e cura para garantir respectivamente sua compacidade e a perfeita hidratação do cimento.

### **4.2.1 CIMENTO**

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002) as propriedades do concreto são influenciadas pela qualidade e proporções do cimento constantes em sua mistura, sendo ele, o principal responsável pela transformação de seus elementos constituintes no produto final desejado.

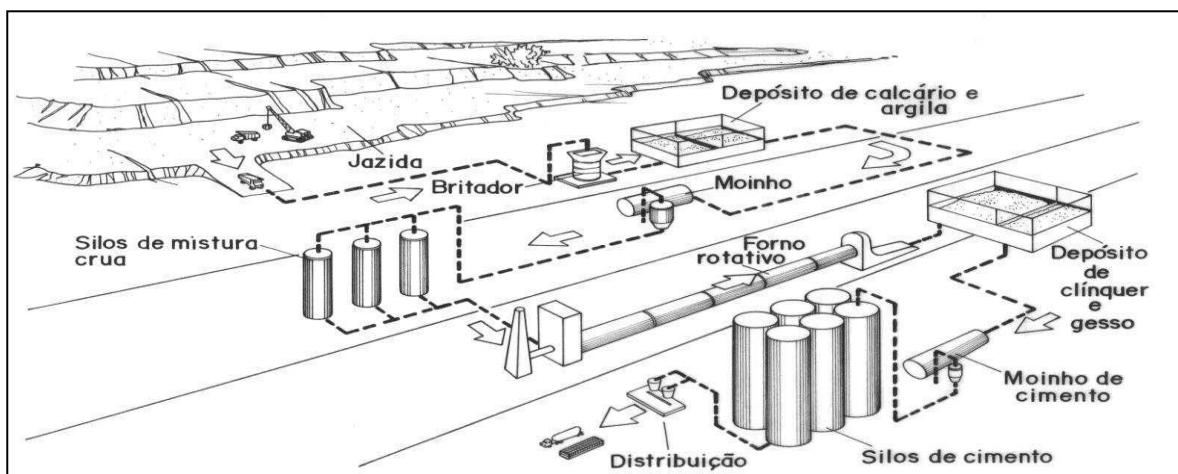
No dizer de Pedroso (2009) o segredo do comportamento do concreto está na presença do cimento; uma mistura de compósitos inorgânicos a base de calcário e argila, finamente moída, suscetíveis a reações de hidratação e cujo produto final no seu estado endurecido, apresenta uma série de propriedades influenciadas por seus elementos estruturantes. As reações químicas entre os minerais do cimento e a água resultam em uma pasta que se solidificará com o tempo, resultando para si e também para o caso do concreto, em um material de comportamento dependente de sua composição química.

De acordo com a ABCP (2002) esta condição tem relação com o processo de fabricação do cimento que engloba a utilização do clinquer e suas adições. O clinquer é o principal componente de todos os tipos de cimento Portland; e as adições, produtos que a ele são

incorporados na fase de moagem, determinando seu comportamento diverso. Em presença da água o clinquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica faz dele um ligante hidráulico muito resistente, e é sua propriedade mais importante. As substâncias comumente incorporadas ao clinquer são: o gesso, a escória de alto forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

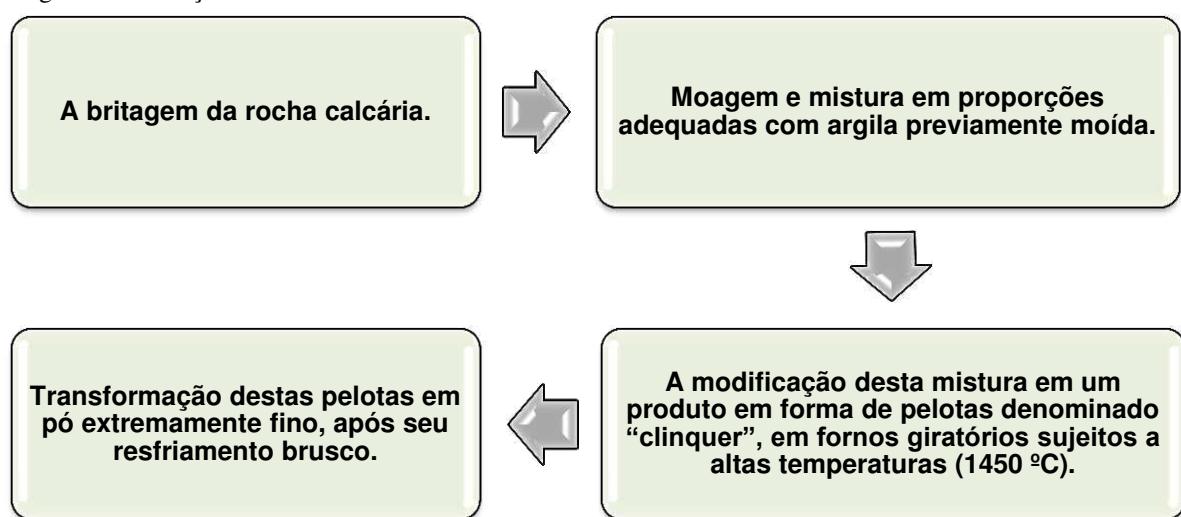
Na Figura 3 e na Figura 4 foi esquematizado o processo de produção do cimento com o intuito de enfatizar a diversidade de parâmetros capazes de interferir em sua produção.

Figura 3 - Processo de fabricação do cimento Portland



Fonte: Araújo et al.(2000)

Figura 4 - Produção de cimento



Fonte: Araújo et al.(2000)

## Capítulo 4 – A qualidade do concreto

---

A alteração de qualquer elemento envolvido em seu processo de fabricação implica em uma modificação do produto. Os ensaios para a verificação da qualidade do cimento, na condição de elemento constituinte do concreto estão relacionados na seção relativa ao seu controle.

**Cimento portland** é a denominação convencionada mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento. (ABCP, 2002, p.1).

O Quadro 4 e o Quadro 5 apresentam informações inerentes à composição de alguns tipos de cimento. Alterações em sua composição implicam em variações nas propriedades do concreto; condição pela qual, sob o ponto de vista da qualidade, deve ser considerado como um dos elementos definidores das propriedades do concreto, ainda durante a fase de projeto das obras de engenharia.

Quadro 4 - Composição dos cimentos Portland de alto-forno e pozolânico

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: ABCP (2002)

Quadro 5 - Composição de cimento portland de alta resistência inicial

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material carbonático	
Alta Resistência inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte: ABCP (2002)

Silva e Liborio (2005) avaliando a importância de materiais para concretos de elementos estruturais submetidos à ação de cloretos indicam: a seleção de materiais assume um papel de extrema importância na confecção de concretos, principalmente quando esta retrata a busca de sinergia entre os materiais a serem utilizados. A utilização de um material deve considerar suas melhores propriedades de forma a garantir a durabilidade, economia, sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

## **Capítulo 4 – A qualidade do concreto**

---

O emprego do CP V ARI RS, por exemplo, cimento composto com 30% de escória de alto forno, e a utilização da sílica de Fe-Si ou silício metálico no teor de 10% em substituição volumétrica ao cimento melhora o desempenho dos concretos, quando submetidos a ambientes marinhos, enquanto o CP V ARI Plus, promove uma maior durabilidade.

O Quadro 6 indica a influência do tipo de cimento nas argamassas e no concreto. Sua leitura reforça a importância do conhecimento das propriedades do cimento para a aplicação correta nas obras correntes da engenharia.

Quadro 6 - Influência do tipo de cimento nas argamassas e concreto

Tipo de cimento	Propriedade		
	Resistência à compressão	Calor gerado na reação do cimento com a água	Impermeabilidade
Portland	Padrão	Padrão	Padrão
Comum e Composto	Padrão	Padrão	Padrão
Alto forno	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor	Padrão
Pozolânicos	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor	Padrão
Alta resistência Inicial	Muito maior nos primeiros dias	Maior	Padrão
Resistente a sulfatos	Padrão	Padrão	Padrão
Branco Estrutural	Padrão	Maior	Padrão
Baixo Calor de Hidratação	Menor nos primeiros dias e padrão no final da cura	Menor	Padrão

Fonte: ABCP (2002)

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, ABESC (2007), a qualidade de uma obra em concreto depende da correta definição do concreto a ser utilizado, da garantia de condições de sua fabricação e observância das normas reguladoras.

O Quadro 7 apresenta um resumo das principais propriedades e aplicações do cimento.

## Capítulo 4 – A qualidade do concreto

Quadro 7 - Características e aplicações do cimento

Cimento	Características	Recomendação	Normalização
<b>Cimento Portland Comum (CP I)</b>	Cimento Portland sem quaisquer adições, exceto gesso, usado para controlar a pega.	Construções de concreto em geral sem exigências de propriedades especiais para o cimento.	ABNT NBR 5732
<b>Cimento Portland Composto (CP II)</b>	Adições de escória, pozolana ou fíler em pequenas proporções.	Maioria das aplicações usuais. Desempenho equivalente ao CP I, apresentando, em muitos casos, vantagens adicionais.	ABNT NBR 11578
<b>Cimento Portland de Alto-Forno (CP III)</b>	Pode conter escória de alto-forno variando de 35 a 70% de sua massa. Apresenta maior impermeabilidade e durabilidade. Baixo calor de hidratação e alta resistência a sulfatos.	Obras de concreto-massa, tais como a construção de barragens.	ABNTNBR 5735
<b>Cimento Portland Pozolânico (CP IV)</b>	Possui pozolana em quantidade que varia de 15 a 50% de sua massa.	Obras expostas à ação de água corrente e para ambientes agressivos por suas propriedades de baixa permeabilidade, alta durabilidade, alta resistência à compressão a idades avançadas.	ABNTNBR 5736
<b>Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI)</b>	Atinge altas resistências já nos primeiros dias de aplicação graças à utilização de uma dosagem específica de calcário e argila na produção de clinquer e pela moagem mais fina do cimento.	Cimento adequado para fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, de tubos, lajes, meio-fio, mourões, postos e de elementos arquitetônicos pré-moldados, que necessitam de um cimento de elevada resistência inicial para a rápida desforma.	ABNT NBR 5733
<b>Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)</b>	Os cinco tipos de cimento expostos anteriormente podem ser resistentes a sulfatos, caso observarem os parâmetros para essa propriedade.	Obras em ambientes agressivos, tais como: redes de esgotos e obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas.	ABNT NBR 5737
<b>Cimento Portland Branco (CPB)</b>	A cor branca é conseguida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês e por condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto.	Projetos arquitetônicos de concreto aparente e para composição de argamassas para rejunte de azulejos e outras aplicações não estruturais.	ABNT NBR 12989
<b>Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)</b>	Dissipação mais prolongada do calor gerado durante a hidratação do cimento.	Grandes concretagens em que é indispensável o controle de fissuras de origem térmica, como em obras hidráulicas.	ABNT NBR 13116

Fonte: Pedroso (2009)

Na visão de Pedroso (2009) o tipo de cimento utilizado contribui de forma evidente com os aspectos de durabilidade que envolve a qualidade de uma estrutura em concreto.

#### **4.2.2 ÁGUA**

De acordo com Souza e Ripper (1998) a vida útil de uma estrutura de concreto está ligada a durabilidade dos materiais a ela aplicados e as técnicas de manutenção e programas de controle de deterioração a ela imposta. Para que uma estrutura seja durável um conjunto de decisões e procedimentos devem ser adotados de forma a garantir que os materiais que a compõem tenham um desempenho satisfatório ao longo de todo o seu período de utilização. Neste contexto, a água assume um papel duplamente importante. O primeiro, na fase de conformação do produto a ser utilizado nestas estruturas e depois como elemento fundamental no controle de patologias.

Souza e Ripper (1998) afirmam que a quantidade de água utilizada na produção do concreto é uma variável capaz de reger algumas das propriedades fundamentais do concreto como sua densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além de sua resistência mecânica, que, por sua vez, são indicadores de qualidade do material e, condição de durabilidade. Por suas palavras, a durabilidade das construções em concreto sofre influência direta da porosidade e permeabilidade deste material, em função de sua capacidade de transporte interno de água, gases e outros agentes agressivos. Quanto mais permeável for um concreto a este tipo de transporte, maior será a probabilidade de sua degradação.

No dizer de Mehta e Monteiro (2008) o cimento anidro é um pó cinza composto de partículas angulares que variam normalmente de 1 a 50  $\mu\text{m}$ . Quando disperso em água, seus principais compostos químicos, formados a altas temperaturas durante seu processo de fabricação, entram em um estado de solução, que rapidamente se faz saturada com a presença de várias espécies de íons, e cuja interação começa a produzir cristais de etringita.

Em sua evolução, poucas horas mais tarde, cristais prismáticos de hidróxido de cálcio e pequenos cristais fibrosos de silicato de cálcio hidratado começam a preencher os espaços vazios antes ocupados por água e partículas de cimento em dissolução, alterando de forma significativa as propriedades da mistura água-cimento. Estruturalmente, o produto desta mistura não se distribui de maneira uniforme e também não apresenta uniformidade interna

no tamanho e morfologia de seus elementos. A heterogeneidade estabelecida, e agora definida por uma complexa distribuição de sólidos e vazios na estrutura da pasta, pode acarretar formas e efeitos diversos; por meio das quais é possível explicar algumas das propriedades do concreto, inclusive àquelas pertinentes a sua resistência ou de suas outras propriedades mecânicas. Por seus ensinamentos, a resistência, a estabilidade dimensional e durabilidade do concreto, são influenciadas não apenas pela proporção dos materiais, mas também pelas propriedades da pasta de cimento hidratada, que, por sua vez, depende da distribuição de sólidos e vazios em sua estrutura. A resistência se encontra na parte sólida de um material sendo, portanto os vazios para ela prejudiciais e estes por suas vezes dependem da quantidade de água adicionada no início da hidratação e de seu grau de hidratação. Quanto maior o volume de vazios da pasta, maior sua porosidade e menor sua resistência.

Helene (1997), afirma que o transporte de líquidos e gases agressivos nos meios porosos do concreto são fatores que influenciam sua durabilidade. Por seu dizer, embora o gás carbônico CO<sub>2</sub> e o cloreto Cl-, não sejam agressivos ao concreto estes compostos se constituem nos principais agentes agressivos das armaduras do concreto armado atacadas a partir dos processos de despassivação do aço.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o volume de vazios de uma pasta de cimento está relacionado com a água utilizada no seu preparo. Uma parte da água adicionada ao cimento serve para hidratá-lo; outras, distribuídas em condições distintas, estão retidas na pasta de cimento. A permeabilidade, definida como a facilidade com que um fluido pode escoar sim, através de um sólido, tem relação com a continuidade dos poros na estrutura dos sólidos. Entretanto, segundo sua afirmação, deve-se compreender que a porosidade representada pelos espaços interlamelares do C-S-H e pequenos capilares não contribuem para a permeabilidade da pasta. Embora haja um aumento considerável no volume de poros, por causa do espaço interlamelar do C-S-H e pequenos capilares, com o aumento do grau de hidratação, a permeabilidade é acentuadamente reduzida e isto porque o sistema de poros, formado principalmente de pequenos poros, tende a se tornar descontínuo.

O Quadro 8 apresenta a classificação da água da pasta de cimento hidratada. A permeabilidade do concreto tem relação com sua porosidade e esta por sua vez está limitada pelas condições de continuidade de sua estrutura.

## Capítulo 4 – A qualidade do concreto

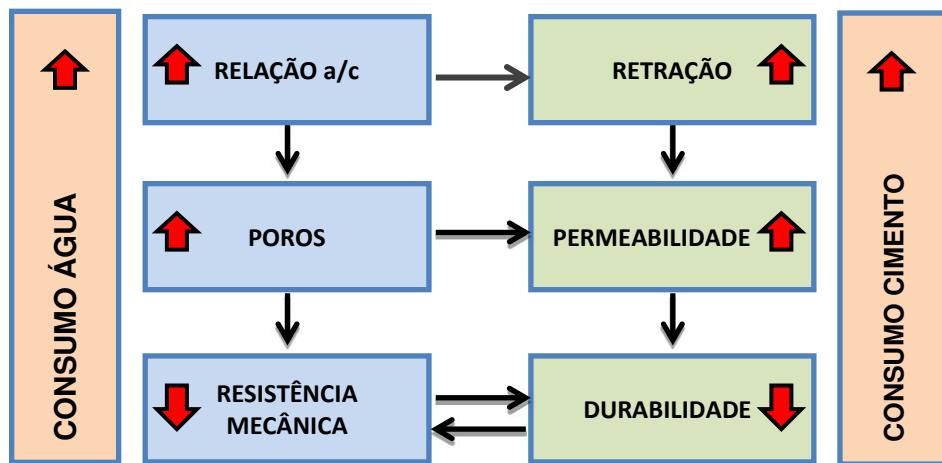
Quadro 8 - Água retida na pasta de cimento hidratada

<b>Capilar</b>	Interior dos polos capilares, dividindo-se em água livre e água retida por tensão capilar.
<b>Adsorvida</b>	Água que se encontra próxima a superfície do sólido. "Retração da pasta de cimento hidratada".
<b>Interlamelar</b>	Presa entre as lâminas das estruturas C-S-H.
<b>Quimicamente combinada</b>	Água que integra parte da microestrutura de vários produtos da hidratação do cimento. Moléculas de $H_2O$ combinadas com silicatos e aluminatos do cimento formando cristais sólidos. "Liberada quando os hidratos se decompõem por aquecimento"

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008)

A Figura 5 apresenta esquematicamente os efeitos da relação água – cimento sobre algumas das propriedades da pasta de cimento.

Figura 5 - Efeitos da relação água - cimento



Fonte: Adapatado de Mehta e Monteiro (2008)

Dentre as medidas preventivas para o controle de deterioração prematura das estruturas pela ação da água encontram-se os tratamentos superficiais do concreto (MEDEIROS E HELENE 2008), cujos princípios gerais de proteção estão fundamentados nas classes de produtos descritos a seguir:

- os “Formadores de película”, divididos entre tintas e vernizes que se convertem em uma película sólida após sua aplicação em uma camada delgada;

- “Os Hidrofugantes de superfície”, que impedem ou dificultam a adsorção da água no concreto;
- e os ”Bloqueadores de poros”, que penetram nos poros superficiais formando juntamente com a portlandita o C-S-H, que tornam a camada menos porosa na superfície da peça alterando a condição da penetração de água.

Para Medeiros (2008), é necessário conhecer o mecanismo de penetração da umidade na estrutura a ser protegida de forma a escolher o sistema de proteção mais adequado. A água enquanto elemento carreador de substâncias pode promover o transporte de cloretos e íons para o interior da massa de concreto em diferentes momentos da vida útil da estrutura.

Medeiros e Helene (2008) avaliando os processos para especificação dos sistemas de proteção em ambientes marítimos sugerem a verificação de parâmetros complementares para a estruturação das definições necessárias. A investigação prévia da contaminação da estrutura, a exposição de radiação ultravioleta, e a avaliação de outros mecanismos de degradação tais como: ataque por sulfatos, carbonatação, chuva acida, ataque por microrganismos, processos eletroquímicos entre outros, são procedimentos indicados.

Para Brandão e Pinheiro (1999) três são as formas possíveis de deterioração do concreto por influência química. Genericamente, ela pode ocorrer na sua pasta, no seu agregado, ou ainda de ambos, embora na prática a primeira situação seja apontada como causa principal, face à maior resistência do agregado aos ataques químicos. Quanto ao transporte dos elementos indutores da deterioração: a difusão, a sucção capilar, ou a pressão hidráulica, é possível estabelecer que sua ocorrência possa se dar a partir das fissuras superficiais da estrutura ou, pelas condições de permeabilidade e capacidade de absorção do concreto. Por seu dizer, o fluxo de água dentro do concreto não se realiza apenas através dos poros capilares da pasta, mas também através das microfissuras internas e das interfaces porosas entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

Brandão e Pinheiro (1999) destacam ser importante considerar que a estrutura dos poros e a configuração das fissuras nas proximidades das superfícies expostas da massa de concreto, são os principais fatores intervenientes da velocidade, da extensão e dos efeitos dos mecanismos de transporte dos agentes agressivos no interior do concreto. A permeabilidade e a capacidade de absorção são propriedades do concreto relacionadas

com sua porosidade e, portanto, refletem na resistência ao ataque químico da pasta de cimento. A quantidade de cimento, sua composição, finura, a relação água-cimento, a aderência entre a pasta e agregado, as adições e aditivos, e também a qualidade de seu preparo e moldagem, definem a porosidade do concreto, e por consequência sua permeabilidade, capacidade de absorção e ataque químico.

Quanto a questão da fissuração, Brandão e Pinheiro (1999), ressaltam que de igual modo, esta proporciona facilidades para que os agentes agressivos penetrem no concreto e iniciem sua ação destruidora. A ocorrência de fissuras, esta condicionada aos casos em que a tensão no concreto é maior que a resistência à tração, dividindo-se basicamente em duas classes. As primeiras, que ocorrem antes do endurecimento de sua massa resultando em um assentamento plástico diferencial ou de retração plástica superficial e; a segunda para aquelas que ocorrem após o endurecimento da massa de concreto, e ligada a fatores outros que incluem as reações álcali agregado, a corrosão das armaduras, os ciclos gelo e degelo, os ciclos alternados de molhagem e secagem, e os recalques diferenciais do solo de fundação. Neste tipo de situação, destaca-se o fenômeno da exsudação que se caracteriza pelo deslocamento de água da mistura em direção a superfície do concreto com velocidade igual à de sua evaporação, sendo seu controle de fundamental importância para a durabilidade das estruturas.

Ainda em relação aos efeitos da estrutura porosa condicionada pela água de amassamento do concreto, Cunha e Helene (2001) destacam os efeitos da carbonatação na corrosão das armaduras. A carbonatação é um fenômeno decorrente da reação entre alguns constituintes ácidos com o líquido intersticial existente nos poros do concreto que se encontra saturado por hidróxido de cálcio e outros compostos na hidratação do cimento, capaz de provocar uma alteração de alcalinidade do concreto com a redução de seu pH, para valores menores que 10,5, ocasionando a susceptibilidade das armaduras no que tange a sua corrosão.

Quanto à qualidade da água utilizada para o amassamento do concreto, Mehta e Monteiro (2008), afirmam que a presença de impurezas quando excessivas podem influenciar no seu comportamento e propriedades. A queda de resistência, a alteração do tempo de pega, a ocorrência da eflorescência, o aparecimento de manchas e a corrosão da armadura são alguns dos efeitos a serem considerados. Por sua afirmação, a água sugerida para o amassamento é a água potável; entretanto, a água imprópria para beber não

necessariamente precisa ser descartada para a mistura do concreto. Condições nas quais a água seja levemente ácida, alcalina, salgada, salobra, turva ou mal cheirosa não deve ser fator para rejeição imediata, devendo nestes casos realizar ensaios considerando o tempo de pega, e a resistência de corpos-de-prova de argamassa com a água desconhecida e com a água limpa, como elemento de referência.

Quanto à qualidade da água do mar, Mehta e Monteiro (2008) reforça, embora não necessariamente seja prejudicial à resistência do concreto, ela deve ser restringida para as condições da utilização de concreto armado ou protendido em função da corrosão da armadura, devendo ser evitada nestes casos.

#### **4.2.3 AGREGADOS**

No dizer de Mehta e Monteiro (2008) algumas das propriedades do concreto endurecido têm uma relação intrínseca com as características físicas dos agregados a ele incorporados. Sua composição mineralógica, seu tamanho, sua forma, textura superficial e porosidade influenciam diretamente na resistência mecânica do concreto em várias situações, quer pela alteração de seu módulo de elasticidade, quer pela alteração de sua massa específica.

De acordo com seus estudos, existe uma relação inversa entre a porosidade das rochas e a sua densidade sendo isto, de forma genérica, elemento suficiente para alterar o módulo de elasticidade do concreto e de forma considerável o seu desempenho uma vez que a rigidez de um material está diretamente relacionada com a sua porosidade.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) a quantidade de poros na matriz da pasta de cimento também exerce uma influência no módulo de elasticidade do concreto e seus valores estão relacionados com a relação água-cimento, com o volume do ar incorporado a mistura, ao grau de hidratação do cimento e com as eventuais adições minerais e de aditivos incorporados a sua massa; isto porque a pasta do concreto apresenta um comportamento elástico heterogêneo determinado pelas frações volumétricas de suas diversas fases que envolvem valores diferenciados para a massa específica e para o módulo de deformação de seus diferentes materiais constituintes e de suas zonas de transição; entretanto, os módulos de deformação do concreto estão fortemente relacionados com seus agregados em uma relação direta com sua proporção. Agregados densos apresentam pequenas deformações, por consequência, maior será seu módulo de elasticidade.

Quanto à durabilidade do concreto em função das condições impostas pelos agregados, Silva e Kupeiman (2008) afirmam ser necessárias avaliações acerca da reação álcali-agregado (RAA) uma vez ser ela capaz de produzir fenômenos patológicos consideráveis. De acordo com sua definição a reação álcali-agregado é uma reação química em que alguns constituintes do agregado reagem com os hidróxidos alcalinos dissolvidos na solução dos poros do concreto. Em presença da umidade são formados produtos expansíveis capazes de provocar a fissuração do concreto, a perda de sua resistência, e um aumento da deformação capaz de interferir na durabilidade da estrutura. As reações ocorrem quando da dissolução dos álcalis na própria água de amassamento do concreto e, posteriormente, na água contida nos poros do concreto. A solução alcalina reagirá com alguns compostos dos agregados, dando início a RAA.

Em conformidade com estas ideias atrelam-se os requisitos gerais de qualidade dos agregados impostos pela ABNT NBR 7211:2009. Por sua especificação, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos e estáveis e sua utilização deve garantir a durabilidade do concreto por meio de cuidados que protejam a armadura em relação à corrosão; e a parte externa dos elementos estruturais onde estará aplicado. São necessárias ações que analisem e certifiquem a limpeza do material de forma a garantir a ausência de substâncias cuja natureza possa alterar o processo de hidratação do cimento e de seu endurecimento.

Sob este foco de análise Petrucci (2005) destaca que as areias contendo impurezas orgânicas, normalmente formadas por partículas de húmus, influenciam negativamente a pega e o endurecimento das argamassas e concreto, pois uma porção acida do húmus neutraliza parte da água alcalina da mistura e outra, envolve os grãos de areia formando uma película sobre eles. Por sua vez, a película formada impede a perfeita aderência entre o cimento e as partículas de agregado, de forma que argamassas e concretos preparados com areia que contenham uma proporção elevada de matéria orgânica tem pouca resistência. Da mesma forma relata que: torrões de argila, gravetos, materiais carbonosos e sais podem prejudicar a resistência e durabilidade do concreto; partículas de pequena densidade são inclusões inconvenientes quanto à questão de resistência e condições de abrasão; tecnicamente, os agregados do concreto exercem influência benéfica na retração e no aumento da resistência ao desgaste sem prejuízo das ações mecânicas.

Para Mehta e Monteiro (2008), a resistência do agregado não é fator limitante da resistência do concreto, pois à exceção do agregado leve, a partícula deste elemento é várias vezes mais resistente que a matriz da pasta de cimento e a zona de transição na sua interface. De forma geral a resistência do concreto é raramente influenciada pelos valores da resistência do agregado cujo fator determinante é sua porosidade e cujos reflexos se estendem até o módulo de deformação do concreto. Quanto maior a quantidade de agregado graúdo com módulo de deformação alto em uma mistura de concreto, maior será o módulo de elasticidade do concreto.

Na expressão de Callister (2008), o módulo de elasticidade de um material ou de deformação para caso do concreto, é expresso pela relação entre a tensão a ele aplicada e sua deformação dentro de um limite de proporcionalidade e cuja interpretação considera a rigidez de um material ou sua resistência à deformação elástica. Quanto maior o módulo, tanto mais rígido é o material, ou menor é a deformação elástica que resulta da aplicação de uma dada tensão.

Araújo (2001) diz que, o concreto apresenta um comportamento não linear, quando submetido a tensões de certa magnitude, sendo esse comportamento explicado em função da micro fissuração progressiva que ocorre na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento. Por seu dizer, experimentalmente verifica-se que o módulo de deformação longitudinal é função do valor da resistência à compressão do concreto, cuja correlação tem sido avaliada em diversos trabalhos de pesquisa e algumas das quais são objetos de recomendações normativas, a exemplo das tratativas incorporadas pelo código Modelo do CEB-FIP(1990) e pelo ACI 318; e ABNT NBR 6118:2007.

Dentre os fatores que parametrizam a qualidade do concreto, Mehta e Monteiro (2008), destacam o efeito da variabilidade do tamanho das partículas da mistura cuja ocorrência pode alterar sua trabalhabilidade. O tamanho das partículas influencia o índice de volume de vazios totais da mistura de agregados. Diferentes tamanhos de agregados, quando misturados resultam em um índice de volume de vazios menor que aquele relativo à mistura de agregados com mesmas dimensões. Para a trabalhabilidade, o volume de vazios ótimo é um pouco maior que o mínimo possível. Os agregados que possuem granulometria contínua, isto é, que não tem uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho de partícula, em especial, produzem misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas,

## **Capítulo 4 – A qualidade do concreto**

---

condição que na prática é configurada pelo módulo de finura do agregado. O módulo de finura é um parâmetro empírico calculado com dados da análise granulométrica pela soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado em cada uma das peneiras de uma série especificada e capaz de caracterizar este agregado, de acordo com sua distribuição granulométrica definida pela ABNT NBR 7211:2009.

Para Helene e Terzian (1995) o módulo de finura é um parâmetro relacionado com a área superficial do agregado capaz de alterar a quantidade de água de molhagem para uma determinada consistência, e que deve ser mantido constante dentro de certos limites para evitar a alteração do traço. Por sua afirmação, a composição granulométrica do agregado exerce influência considerável na qualidade dos concretos, agindo parâmetros condicionadores de sua compacidade e resistência.

Quanto à dimensão máxima característica do agregado, destacam Helene e Terzian (1995) estão envolvidas questões de ordem econômica e de limitação de tamanho, que englobam os elementos nos quais será utilizado. Por sua afirmação, quanto maior a dimensão do agregado graúdo, mais econômico é o concreto, entretanto o tamanho das formas, o espaçamento das armaduras, são fatores limitantes de suas dimensões.

O Quadro 9 possibilita a compreensão da variabilidade das propriedades intrínsecas do concreto enquanto função das propriedades de seus agregados.

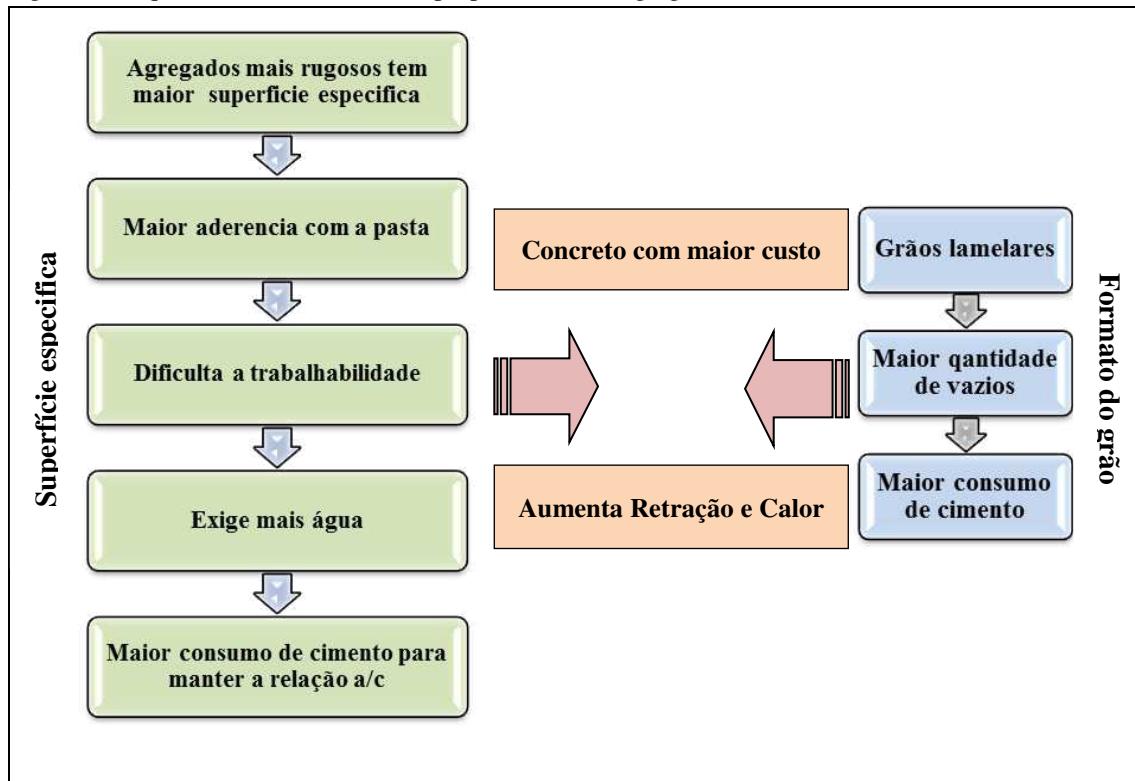
Quadro 9 - Propriedades dos agregados em função de seus fatores determinantes

<b>Fator determinante</b>	<b>Características e Propriedades</b>				
<b>Porosidade</b>	Massa Específica	Absorção de água	Resistência	Dureza	Módulo de elasticidade
<b>Condições de exposição e Condicionantes de fabricação</b>	Tamanho	Forma	Textura das partículas	—	—
<b>Composição química e mineralógica</b>	Resistência	Dureza	Módulo de elasticidade	Substâncias deletérias	—

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008)

Com o auxílio da Figura 6 é possível visualizar a relação de interdependência da qualidade do concreto, com as propriedades de seus agregados, com o custo resultante de sua produção.

Figura 6 - A qualidade do concreto e as propriedades dos agregados



Fonte: Adaptado de Helene e Terzian (1995)

#### 4.2.4 ADITIVOS E ADIÇÕES

Os aditivos são substâncias intencionalmente incorporadas ao concreto para melhorar algumas de suas características (PETRUCCI 1978).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), várias são as aplicações para um aditivo e muitas são as variações de sua composição química. Sua utilização é muito frequente e justificável quando se constata a necessidade de obter concretos com características especiais. Os aditivos têm a capacidade de alterar propriedades do concreto no seu estado fresco ou endurecido, e apesar da complexidade de classificação de acordo com suas funções, seus principais fundamentos são o da ampliação de suas qualidades e o da minimização de suas deficiências.

Brandão e Pinheiro (1999) afirmam que a utilização dos aditivos plastificantes reduz a permeabilidade do concreto, uma vez que sua utilização favorece o menor consumo de água na mistura para uma mesma trabalhabilidade.

Hartmann e Helene (2003) afirmam que o uso de aditivos superplastificantes se constitui em um dos mais importantes avanços na tecnologia do concreto, pois sua utilização

permite entre outros, a produção de concretos duráveis, de alta resistência e de concretos fluidos. Os aditivos superplastificantes constituídos em princípio, por diversos tipos de elementos, são capazes de produzir alterações diversificadas nas propriedades dos concretos. Os superplastificantes, por exemplo, quando utilizados na mistura, podem evidenciar o efeito de retardo de tempo de pega e incorporar grandes quantidades de ar ao concreto; da mesma forma, aditivos utilizados como elemento indutor de redução de água na mistura podem propiciar bons resultados na resistência à compressão e alterações não desejáveis para determinadas propriedades do concreto ainda no estado fresco, entretanto sem prejuízo para outras quando no estado endurecido.

Quanto à tecnologia da produção de concreto destacada por Hartmann e Helene (2003), Tutikian e Helene (2011) consideram que os aditivos são importantes elementos para a produção de concretos especiais. Por sua definição, concretos especiais são aqueles que apresentam propriedades específicas para atender necessidades das obras onde os concretos convencionais não podem ser aplicados. Eles melhoram as deficiências do concreto convencional ou incorporam propriedades não usuais ao material utilizado. Por seu dizer há inúmeros tipos de concretos que cumprem este papel: o concreto de alta resistência, de alto desempenho, o auto adensável e também aqueles que incorporam adições especiais como a exemplo da adição mineral.

No dizer de Mehta e Monteiro (2008) as adições minerais utilizadas no concreto permitem uma redução do custo e ganho da trabalhabilidade do concreto fresco, podendo melhorar a resistência do concreto à fissuração térmica, à expansão causada pela reação álcali-agregado e ao ataque por sulfato. Os materiais pozolânicos naturais e subprodutos industriais, como cinzas volantes e escórias são exemplos de adições minerais normalmente utilizadas em grandes quantidades.

As propriedades do concreto nestas condições também são passíveis de alterações. Brandão e Pinheiro (1999) destacam que a permeabilidade do concreto pode ser reduzida com de cimentos pozolânicos e de alto forno.

Hoppe e Cincotto (2008) em um estudo sobre os sistemas cimento Portland, cinza volante e cal hidratada, afirmam que: em aplicações práticas, a adição de cal hidratada ao concreto com alto teor de pozolana é importante porque aliam, em longo prazo, os benefícios da atividade pozolânica, o refinamento da microestrutura e a diminuição da interconectividade

## **Capítulo 4 – A qualidade do concreto**

---

da rede capilar, com o maior teor remanescente de portlandita o que garante a passivação das barras de aço e a durabilidade do concreto armado.

Silva e Helene (1993) comprovaram a eficiência da adição de sílica ativa em melhorar algumas propriedades do concreto projetado, ampliando suas potencialidades em relação à durabilidade e a resistência à compressão.

Na ABNT NBR 11768:2011 são apresentados os requisitos para aditivos químicos destinados ao preparo do concreto de cimento Portland.

A Figura 7 favorece a visualização de algumas das principais funções dos aditivos e adições minerais. Sua interpretação deve considerar a influência que estes elementos podem exercer na qualidade final do concreto.

Figura 7 - Principais funções para o uso de aditivos e adições minerais.



Fonte: Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008)

No dizer de Mehta e Monteiro (2008), faz-se necessária uma avaliação de condições para utilização dos aditivos e adições. Para cada situação existem aditivos específicos que devem ser aplicados com cautela. A aplicação em doses corretas, nos momentos oportunos e com controle de sua aplicação e efeitos colaterais minimizam os riscos de redução da qualidade do concreto, pois não raramente a aplicação de um aditivo pode ocasionar efeitos colaterais indesejáveis ao estado do concreto em idades mais avançadas.

Tutikian e Helene (2011) destacam a importância e a necessidade da avaliação da presença dos aditivos e adições nos procedimentos de dosagem do concreto, pois sua utilização é capaz de alterar o grau de hidratação do cimento.

#### **4.2.5 SUBSTÂNCIAS DELETÉRIAS**

Sob o ponto de vista de Mehta e Monteiro (2008) a durabilidade de uma estrutura de concreto sofre influências em presença das substâncias deletérias. Determinadas substâncias quando incorporadas aos agregados podem exercer um efeito nocivo sobre o concreto com o desenvolvimento de fenômenos capazes de estabelecer patologias e consequências diversas. Por seu dizer, as substâncias deletérias que podem estar presentes minoritariamente tanto nos agregados graúdos quanto nos miúdos, são capazes de prejudicar algumas das propriedades do concreto. Sua trabalhabilidade, sua pega, seu endurecimento e por consequência seu desempenho final podem ser afetados pela presença desta espécie substâncias que alteram o comportamento do concreto em função da alteração das propriedades de seus elementos.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), há três grandes categorias de substâncias deletérias:

- Impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento;
- Películas que impedem a aderência efetiva entre o agregado e a pasta de cimento hidratada;
- E partículas fracas ou não sãs.

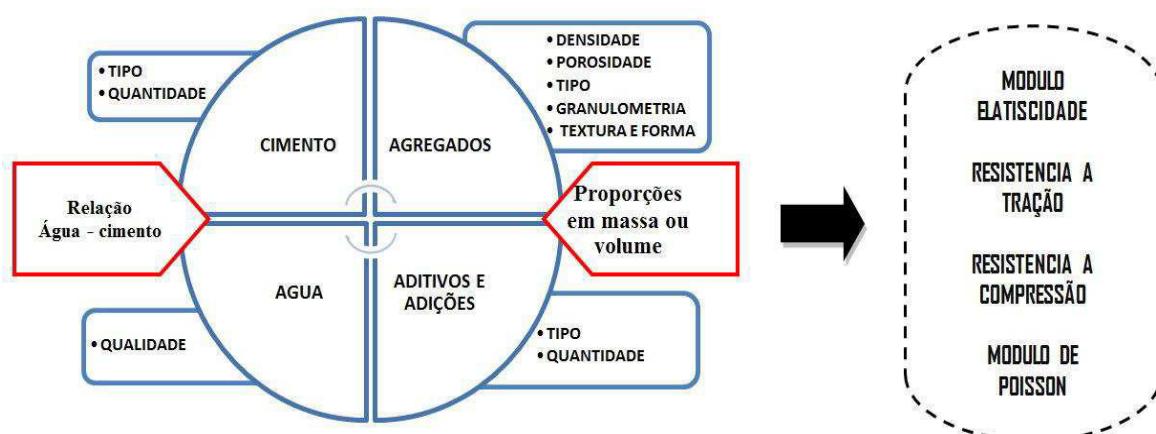
A ABNT NBR 7211:2009, fixa os limites aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo com relação à massa do material. São estabelecidos valores percentuais da quantidade máxima relativa à massa do agregado graúdo e que protejam a mistura do concreto quanto à presença: de torrões de argila e materiais friáveis, materiais carbonosos e materiais pulverulentos, todos capazes de interferir de alguma forma na qualidade do concreto.

Na ABNT NBR 7211:2009 também são destacados os ensaios considerados necessários ao controle destes elementos nas condições que envolvem a sua utilização, e onde se destacam a utilização do concreto aparente e de concretos sujeitos a desgastes superficiais; e tudo conforme as orientações normativas da: ABNT NBR NM 46:2003, que fixa para os agregados, a determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por

lavagem; da ABNT NBR 7218:2010, que fixa a determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis; e da ASTM C 123:2013 que fixa as condições para os materiais carbonosos.

A Figura 8 apresenta um conjunto de fatores capazes de influenciar as propriedades mecânicas do concreto, favorecendo a compreensão do grau de importância que as propriedades e a variabilidade de seus elementos exercem sobre a qualidade final do concreto.

Figura 8 - Fatores Influentes das propriedades mecânicas do concreto.



Fonte: Gidrão e Santos (2013)

#### 4.2.6 DOSAGEM

De acordo com Petrucci (1978) a qualidade do concreto no seu estado endurecido é função primeira da qualidade de seus materiais constituintes, sendo a uniformidade um fator a ser posto em evidência. De posse dos materiais qualitativamente selecionados é necessário misturá-los em proporções adequadas. Os estudos de dosagem do concreto tem a finalidade de estabelecer a proporção ideal entre suas partes constituintes, devendo-se considerar a relação entre cimento e agregado, a divisão do agregado em miúdo e graúdo e principalmente, a relação entre a água empregada e os seus materiais secos, que de forma usual é expressa pela relação água-cimento.

No dizer de Callister (2008), as condições de resistência ótima de um concreto e sua trabalhabilidade necessária tem relação com as proporções de materiais que o constituem, pois estão relacionadas com o empacotamento denso do agregado e com o contato interfacial de suas partículas constituintes. As partículas finas de areia devem preencher os

espaços vazios entre as partículas de brita e, ordinariamente, esta última assumir um volume compreendido entre 60% e 80% do volume total da massa de concreto produzido. A quantidade da pasta “cimento-água” incorporada ao produto deve ser suficiente para cobrir todas as partículas de areia e brita garantindo uma ligação eficiente entre cada uma das partes de mistura. A ligação efetiva entre os compostos do concreto depende da adição correta da quantidade de água à mistura, na qual a sua falta, conduz a situação de ligação incompleta e seu excesso, em elevada porosidade da pasta, o que em ambos os casos refletem uma condição de resistência final menor que a ótima.

Na visão de Araújo et al.(2000) um procedimento de dosagem tem início com as definições da qualidade do concreto a ser aplicado, para então, ser definido de forma a considerar as questões de ordem econômica e disponibilidade de materiais. Por seu dizer, é necessário conhecer as propriedades do concreto endurecido para então, a partir de materiais disponíveis, obter o concreto pretendido. Quando o concreto é dosado corretamente, apresenta além da resistência, vantagens de pequeno custo, facilidade de execução, economia e durabilidade.

Na visão de Pedroso (2009) os procedimentos relativos á dosagem concreto, assumem um caráter de extrema importância no contexto da qualidade. Uma ação de dosagem tem reflexo nas propriedades transitórias e finais do concreto e por este motivo sua padronização e normalização se faz necessária.

Para a ABNT NBR 12655:2006 o estudo de dosagem deve ser aplicado em sua forma racional e experimental com antecedência em relação ao início da concretagem considerando a utilização dos mesmos materiais e condições da obra e tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução; devendo ser refeito cada vez que ocorrer uma mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

Neste contexto, cabe ao tecnologista do concreto, segundo as palavras de Helene e Terzian (1995), a tarefa de conciliar os dois principais problemas que regem os objetivos e a metodologia geral de dosagem. As principais propriedades do concreto endurecido são impostas pelo projetista da estrutura, enquanto que as propriedades do concreto fresco pelas técnicas de execução e cujas condições ótimas devem considerar a satisfação de ambas as partes de forma mais econômica possível. No desempenho desta função, segundo

seus preceitos devem ser consideradas condições que atendam a compatibilidade entre as características ótimas do concreto fresco para uma dada situação e aquelas exigidas quando do seu estado endurecido. Para tal entendem que o desenvolvimento de seu trabalho deva considerar:

- as exigências de projeto advindas do dimensionamento estrutural que considera as condições mínimas de resistência, impermeabilidade e deformação;
- as condições de exposição e operação que devem considerar as características de agressividade dos produtos em contato com a estrutura;
- as tipos de agregado disponíveis localmente e que atendam as condições de utilização de forma econômica;
- as técnicas de execução relacionadas ao transporte do concreto, lançamento e seu adensamento, considerando-se literalmente as condições de trabalhabilidade, plasticidade, coesão, e indiretamente as questões envolvidas com as dimensões máximas características dos agregados graúdos;
- e, finalmente as questões concernentes aos custos envolvidos e que englobam a avaliação das quantidades de cimento, as dimensões dos agregados, e a qualidade dos materiais empregados.

#### **4.2.7 A PRODUÇÃO DO CONCRETO**

O concreto fresco representa uma fase transitória, porém de enorme influência nas características do concreto endurecido. (ARAUJO et. al., 2000, p.50).

Para a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil, ABESC (2007), a obtenção de um concreto com qualidade envolve: a homogeneização da mistura, sua correta aplicação, adensamento e cura adequada de forma a garantir a perfeita hidratação do cimento. Dosagem, equipamentos e mão de obra são elementos a serem controlados durante todo o processo de sua produção. Seu controle garante o aumento da vida útil do concreto e das estruturas que o contém.

A Figura 9 esquematiza o processo de produção do concreto. Os estágios nela indicados representam as referências condicionantes de sua qualidade.

Figura 9 – Referências para a produção de concreto com qualidade.



Fonte: Gidrão e Santos (2013)

O processo produtivo do concreto, conceitualmente classificado como sequencial, não é passível de correção devendo ser controlado ao longo de todo o seu desenvolvimento.

#### **4.2.7.1 MISTURA E MANIPULAÇÃO**

De acordo com Araújo et al.(2000), é indispensável manipular corretamente a mistura de agregados e pasta de cimento para que se consiga um conjunto monolítico e resistente que garanta a qualidade de uma obra em concreto.

O completo aproveitamento dos três fatores indutores básicos da resistência mecânica do concreto: a resistência do agregado, a resistência da pasta e a resistência da ligação entre a pasta e o agregado; só é possível, quando as operações de produção do concreto e seu controle recebem um tratamento adequado durante todo o seu desenvolvimento. No contexto da qualidade, é impossível compensar um erro de execução de uma obra em concreto, com cuidados especiais em fases posteriores àquelas pertinentes a cada etapa de sua produção.

Por sua visão, as operações necessárias à obtenção de um concreto endurecido de boa qualidade, capaz de resistir aos esforços solicitantes em face das diversas condições de carregamento e que apresente condições eficazes de durabilidade devem além dos procedimentos de dosagem eficiente, considerar:

- os parâmetros que envolvem a sua mistura;
- os elementos que envolvem seu transporte;
- o lançamento cuidadoso de sua massa;
- o correto adensamento;
- e, um processo de cura capaz de garantir a hidratação necessária.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), durante a fase de mistura, o concreto deve apresentar propriedades que garantam seu lançamento, sua moldagem, seu adensamento e acabamento em sua totalidade. Deve assumir uma relativa plasticidade que lhe permita ser trabalhado eficientemente de forma a garantir as propriedades de resistência e durabilidade esperadas. Estas imposições, relacionadas com sua trabalhabilidade e cuja medida determina a facilidade com a qual um concreto pode ser manipulado sem a segregação de suas partes, exercem influência direta em sua qualidade final e custos. Misturas com algum grau de segregação e exsudação implicam em um produto final com menor durabilidade, resistência e frequentemente com aparência indesejável.

Neville (1997) indica que a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, medida por sua consistência, é influenciada por fatores inerentes a seus componentes. A quantidade de água, o teor de cimento, a granulometria dos agregados, a presença de aditivos são fatores de interferência sendo, portanto tecnicamente controláveis.

A ABNT NBR 14931: 2004, diz que a trabalhabilidade do concreto deve ser compatível com as dimensões da peça a ser concretada, com a distribuição da armadura em seu interior e com os processos de lançamento e adensamento utilizados durante a fase de sua moldagem. Para estes últimos, e também para o seu transporte, condiciona a ABNT NBR 14931: 2004 que deverão ser tomadas precauções para que não haja segregação dos materiais; e no caso do adensamento a formação de vazios (nínhos) que comprometam a sua aderência com as armaduras do concreto armado. Durante e imediatamente após o lançamento do concreto nas fôrmas, são necessárias ações de vibração de maneira contínua e enérgica, contudo de modo cuidadoso, para que o concreto preencha todos os espaços vazios do molde a ser fundido.

De acordo com Neville (1997) a função do adensamento, por ações de adensamento ou apiloamento é a eliminação do ar aprisionado até uma condição de acomodação máxima possível dos elementos de uma determinada mistura. Internamente, a massa de concreto fresco está sujeita a uma condição de atrito interno entre suas partículas constituintes, e do mesmo modo entre elas e as superfícies das fôrmas e das armaduras do concreto, e isto exige a aplicação de uma energia necessária a sua acomodação. A segregação é a separação dos grãos de agregado da pasta de cimento que poderá ocorrer durante a fase de adensamento do concreto e eventualmente também nas fases de transporte e lançamento.

A ABESC (2002) indica que dentre principais causas de defeitos e problemas que surgem nos concretos, como sua baixa resistência, suas trincas e fissuras, ou ainda a corrosão das armaduras para o caso do concreto armado, encontram-se os processos de lançamento e adensamento. Aplicá-los de forma correta durante os processos de moldagem, constitui-se em uma ação de extrema e fundamental importância para o controle de qualidade do concreto endurecido e ao combate às patologias deste material. Segundo suas orientações, uma boa concretagem deve garantir que a massa do concreto utilizado chegue às suas fôrmas de maneira coesa, e que seja capaz de preencher todos os seus espaços vazios, incluindo seus cantos e armadura, devendo para tal, ser adequadamente vibrado.

Quando bem executado, o adensamento melhora a resistência mecânica e aumenta a impermeabilidade, a resistência a intempéries e a aderência do concreto à armadura. (ARAUJO et al., 2000, p.69).

Ainda no contexto da produção do concreto, e independentemente da modalidade escolhida para a sua confecção, a ABNT NBR 12655:2006, condiciona alguns fundamentos elementares que envolvem a sua qualidade. As operações de execução do concreto, desde o armazenamento de seus materiais, sua medida e mistura, assim como a verificação das quantidades utilizadas de seus elementos constituintes, exigem um tratamento capaz de garantir o atendimento ao traço especificado e as suas variações durante o processo construtivo.

De acordo com a ABNT NBR 12655:2006, o armazenamento dos agregados deve ser efetivado de maneira tal que evite o contato com o solo e impeça a contaminação com outros sólidos ou líquidos prejudiciais ao concreto. Com mesma ênfase, os equipamentos devem receber cuidados especiais que garantam o seu perfeito desempenho. As betoneiras, por exemplo, devem ser submetidas à comprovação da uniformidade da mistura, sempre que apresentarem, durante a descarga, sinais de heterogeneidade de composição ou consistência, em amostras de concreto coletadas durante os primeiros 20 min de descarga.

Da mesma forma, a ABNT NBR 14931:2004, para a garantia da qualidade intrínseca do concreto, considera a importância da verificação das condições operacionais dos equipamentos disponíveis no local de trabalho e sua adequabilidade ao volume de concreto a ser produzido e transportado. Por sua orientação são necessárias ações de verificação das condições e quantidades disponíveis de equipamentos necessários ao lançamento e ao

adensamento do concreto e tudo para garantir a sua utilização dentro dos limites de seu tempo de aplicação.

No contexto desta discussão e fundamentalmente para o condicionamento da qualidade do concreto no seu estado endurecido, a ABNT NBR 7212:2012, define os requisitos para a produção do concreto dosado em central considerando, dentre outros, alguns cuidados necessários para obtenção de um produto dentro das especificações esperadas. Segundo seus preceitos a aplicação do concreto deve, por exemplo, respeitar a faixa de temperatura de 5°C e 30°C estabelecida pela ABNT NBR 14931:2004, e cuja desatenção pode ocasionar a ocorrência de fissuração térmica. Por seus preceitos, a qualidade do concreto está sujeita à interveniência de inúmeros fatores que envolvem sua produção também nas centrais produtoras de concreto. A fixação de condições para os mecanismos de produção refletem uma padronização de procedimentos em função da minimização de eventos capazes de alterar a qualidade do concreto.

#### **4.2.7.2 CURA**

A Associação Brasileira de Empresas de Concretagem ABESC (2007) indica que a cura do concreto é uma etapa importante da produção do concreto, pois evita a evaporação prematura da água e o desenvolvimento de fissuras no concreto.

No dizer de Araújo et al. (2000), os procedimentos de cura estabelecem um conjunto de condições capaz de evitar a evaporação da água da mistura nas primeiras idades de seu estado endurecido e cujas consequências envolvem a resistência do concreto a partir do processo de hidratação do cimento.

Por sua visão, compete ao executor da obra, fabricar e garantir um concreto que satisfaça as condições do projeto da estrutura; considerando os fatores influentes de sua resistência e que envolvem a homogeneidade de seus materiais, a precisão de sua dosagem e sua cura. Para garantir a resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) é calculada uma resistência de dosagem superior ao valor daquela adotada em um projeto, considerando os fatores que possam influenciar a resistência do material.

Araújo et al. (2000) afirmam que os procedimentos de cura devem favorecer o processo de hidratação pelo controle de temperatura e do movimento da água de dentro para fora e de fora para dentro do concreto. As condições de umidade e temperatura, principalmente em

suas primeiras idades, tem importância fundamental para as propriedades do concreto no seu estado endurecido.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2007, durante os sete primeiros dias após o lançamento do concreto é necessária aplicação de uma proteção contra a sua secagem prematura de sua superfície mantendo-a umedecida ou protegendo-a com uma película impermeável. Enquanto o concreto não atingir endurecimento satisfatório ele deverá ser protegido contra a ação de diversos agentes, e que englobam: as mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agente químico, choques e vibrações de intensidade tal que possa produzir fissuração na massa do concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura.

No dizer de Mehta e Monteiro (2008) a cura, cujos principais objetivos são o impedimento da perda de água precoce pelo concreto e o seu controle da temperatura, deve ser mantida durante um período que garanta o alcance da resistência. Por seu dizer, quando a temperatura ambiente encontra-se suficientemente acima da temperatura de congelamento da água, a cura pode ser efetivada por represamento ou imersão, pelo uso de revestimentos saturados de água que retenham sua umidade ou pela aplicação de manta de papel impermeável, mantas de polietileno, ou compostos formadores de membranas de cura. Por seu dizer a taxa de crescimento da resistência pode ser acelerada curando-se o concreto com ajuda de vapor de água.

“Após o endurecimento do concreto, este, continua a ganhar resistência, mas para que isto ocorra deve-se iniciar o último, mas não o menos importante, procedimento da fase de concretagem de uma peça de concreto: *a cura*. “ (ABESC, 2005, p.7).

## **CAPÍTULO 5**

# **CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE DO CONCRETO**

Este capítulo apresenta alguns elementos do tratamento estatístico dos resultados de ensaios à compressão do concreto. Seu desenvolvimento tem início com uma análise acerca da qualidade do concreto e dos ensaios utilizados para o seu controle. Na sequência são trabalhados os itens pertinentes aos fatores indutores de resultados do ensaio à compressão.

### **5.1 ANÁLISE DA QUALIDADE DO CONCRETO**

Para Mehta e Monteiro (2008) um programa de garantia de qualidade envolvendo o concreto e suas estruturas deve observar que o elemento acabado de concreto seja estruturalmente adequado a finalidade para qual foi projetado. Para a verificação de sua conformidade, os procedimentos de controle de sua produção, os métodos de ensaio escolhidos, e a análise estatística de seus resultados, devem considerar que a qualidade de uma estrutura de concreto está intimamente ligada à qualidade de seus materiais constituintes, e à dos processos de sua fabricação.

As várias operações a que o concreto está sujeito em suas primeiras idades, e dentre as quais se relacionam: seu lançamento, adensamento, acabamento e cura, exercem forte influência nas propriedades do concreto endurecido; da mesma forma, as propriedades de seus materiais que incluem: o cimento, os agregados e aditivos condicionam singularmente suas propriedades, devendo, por esses parâmetros serem orientadas as análises que envolvem sua qualidade e de suas estruturas.

De acordo com Helene e Terzian (1995) o desenvolvimento de uma estrutura de concreto traz embutido desde a concepção estrutural, o seu dimensionamento, a concepção do processo construtivo como um todo; e de forma consequente a necessidade de avaliação se o que esta sendo produzido corresponde ao que foi previamente adotado como referencial de trabalho. Neste sentido, para a abordagem da qualidade das estruturas de concreto, é essencial que se considere um controle não só da resistência de seus elementos, mas também dos itens envolvidos em sua construção, e tudo, com a quantificação de seus fatores e medida de suas variabilidades. Por seu exemplo, e para o caso do concreto, na prática, as técnicas de dos ensaios à compressão, permitem comprovar, se a resistência mecânica do material está adequada ao valor especificado no projeto estrutural; para assim proceder às correções necessárias, quando por algum motivo forem desalinhados os seus processos produtivos.

## **5.2 ENSAIOS DA QUALIDADE DO CONCRETO**

No Quadro 10 e no Quadro 11 foram relacionados alguns ensaios utilizados para o desenvolvimento de ações ligadas ao controle de qualidade do concreto e de seus materiais, respectivamente. A complexidade que envolve a utilização deste material na Engenharia de Estruturas justifica sua aplicação. São apresentados ensaios normalizados para a verificação das propriedades de seus materiais, e da qualidade de sua produção, em investigações “in loco” durante as fases de preparo e moldagem e também, para as ações de certificação, no estado endurecido. Cada ensaio configura uma ação de controle, com o objetivo de melhor qualificar o produto final do complexo universo das estruturas de concreto. A descrição destes ensaios não é foco deste trabalho, entretanto por estratégia de domínio de conteúdo são efetivadas algumas considerações.

Quadro 10 - Ensaios para o controle de qualidade do concreto

<b>FRESCO</b>	<b>ENDURECIDO</b>	
Ar incorporado	Absorção por Capilaridade	Ultrassom
Consistência	Massa específica	Compressão diametral
Massa específica	Módulos de deformação	Resistência à compressão
Tempo de início e fim de pega	Permeabilidade	Resistência à tração na flexão
Teor de ar	Porosidade	Resistividade Elétrica
Reconstituição de traço	Esclerometria	Resistência à tração

## Capítulo 5 - Controle estatístico da qualidade do concreto

---

Quadro 11 - Ensaios para a qualidade dos materiais do concreto

CIMENTO	AGREGADOS
	Absorção de água
Superfície específica	Análise química cloretos e sulfatos
Índice de finura do cimento Portland.	Avaliação das impurezas orgânicas
Início e fim de pega	Composição Granulométrica
Massa específica	Dimensões máximas características.
Resistência à compressão e à tração	Massa unitária do agregado graúdo no estado compactado
Resistência à tração na flexão	Massa unitária do agregado miúdo e graúdo no estado solto
Pasta de consistência normal	Módulo de finura

O ensaio de abatimento do tronco de cone normalizado pela ABNT NBR NM 67:1998, aplicado durante a fase de produção do concreto, permite a avaliação da consistência do concreto. Com ele é possível controlar a uniformidade da produção de concretos plásticos e coesivos. Sua aplicação consiste no preenchimento de um tronco de cone com o concreto a ser aplicado na estrutura, em três camadas de igual altura, e com a aplicação para cada camada de 25 golpes com uma haste padrão. A verificação da uniformidade do concreto, neste ensaio, é obtida pela medida do valor do abatimento que representa a medida do adensamento do concreto logo após a retirada do molde cônico cujas dimensões são descritas em norma.

Nos ensaios de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos normalizados pela ABNT NBR 5739:2007 são obtidas informações que permitem avaliar o comportamento do concreto sob um estado de tensões. Para sua aplicação são necessários corpos-de-prova que podem ser moldados durante a fase de produção do concreto, e alternativamente extraídos da estrutura investigada. Embora danifiquem a amostra não permitindo a realização de uma nova avaliação, estes ensaios tem sido amplamente utilizado nos processos de certificação do concreto.

A determinação do módulo estático de elasticidade e o traçado dos diagramas tensão-deformação, para o caso em que forem necessárias estas informações, são normalizados pela ABNT NBR 8522:2008. Para sua aplicação são utilizados três corpos-de-prova da

mesma betonada de concreto moldados segundo os procedimentos normatizados pela ABNT NBR 5738:2003, ou ainda testemunhos extraídos do mesmo elemento estrutural e do qual se deseja obter estas informações.

Segundo Silva et al.(2011) nos casos em que se faz necessária a preservação da integridade dos elementos de concreto, os ensaios não destrutivos (END) constituem-se uma alternativa bastante atraente para monitoramento do estado das estruturas e a investigação da qualidade das mesmas. Empregando técnicas próprias e protocolos específicos estes ensaios, com satisfatória capacidade de diagnóstico, facilitam a investigação do estado de conservação do concreto contribuindo para o sucesso das ações de controle de deterioração das suas estruturas e de garantia de sua segurança.

Os ensaios de avaliação da dureza superficial com o esclerômetro de reflexão, desta classe de ensaios, fornecem elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. Seus procedimentos estão normalizados pela ABNT NBR 7584:2012.

O método de resistência à penetração, ACI 228:1989, que utiliza o penetrômetro de Windsor, possibilita avaliar a resistência à compressão do concreto. O penetrômetro dispara um pino contra o concreto; o comprimento do pino que fica exposto serve de medida da resistência à penetração. Nesta mesma classe de experimentos, há ainda, métodos capazes de avaliar os defeitos internos do concreto por meio de princípios físicos de propagações de onda e calor.

Com método da Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica, normalizado pela ABNT NBR 8802:2013, é possível verificar a homogeneidade do material e detectar suas eventuais fissuras internas, além de analisar a profundidade de fissuras e outras imperfeições.

De acordo com Aguiar e Marques (2011) a termografia infravermelha é um ensaio não destrutivo capaz de detectar imperfeições nas estruturas dos materiais. Pela análise do fluxo de calor através da massa do material analisado é possível diagnosticar com boa precisão suas fissuras internas. Nestes processos, câmeras termográficas captam e medem a radiação térmica através de um padrão de cores.

No dizer de Geyer e Sá (2006), inúmeras vezes e de forma equivocada o controle tecnológico do concreto fica restrito apenas aos ensaios de resistência à compressão, como

se este parâmetro, isoladamente, pudesse garantir a qualidade do concreto. A qualidade das estruturas acabadas está intimamente ligada à qualidade do concreto no seu estado fresco, determinando ou não, a presença de erros de concretagem, segregação, exsudação e vazios no concreto. O controle do teor de ar incorporado é um dos exemplos fundamentais ao controle da qualidade do concreto, quer seja para verificar limites máximos e mínimos desejáveis de ar incorporado, ou para identificar teores de vazios de ar no concreto.

### **5.3 A QUALIDADE PELO ENSAIO DE COMPRESSÃO**

Na visão de Helene e Terzian (1995) a resistência à compressão do concreto definida por ocasião do dimensionamento da estrutura é a propriedade do concreto que o melhor qualifica. Qualquer modificação na uniformidade, natureza e dosagem de seus materiais poderá ser prontamente identificada por meio de uma variação de resultados em seus ensaios. Por seu dizer, o controle da resistência à compressão pode assumir distintas missões na busca pela qualidade das obras em concreto. Ele pode atuar durante sua fase de produção, ou ainda nos procedimentos relativos à aceitação desse concreto para a finalidade a que se destina.

Pacheco e Helene (2013) dizem que as operações de controle da resistência à compressão do concreto não raramente são entendidas como operações de controle de qualidade do concreto. O controle da resistência à compressão do concreto é apenas uma parte do importante controle tecnológico das estruturas. Essa interpretação errônea se deve ao método estatístico utilizado para sua análise, que a compara com a do controle de qualidade de produtos nas indústrias. O controle de resistência à compressão é parte integrante da introdução da segurança no projeto estrutural, sendo indispensável a sua permanente comprovação.

A ABNT NBR 5739:2007, normaliza o ensaio à compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Em sua estrutura se destacam os aspectos ligados ao desenvolvimento deste ensaio e os temas relacionados à sua qualidade. Aspectos envolvendo a sua aparelhagem, o preparo de seus corpos-de-prova, a execução do ensaio propriamente dito e o tratamento dos resultados, são elementos incorporando ao seu escopo. Na seção relativa a seus anexos, estão incluídos os tipos de ruptura dos corpos-de-prova e procedimentos para avaliação estatística de seu desempenho.

A ABNT NBR 5738:2003 prescreve o procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto. São normalizados os elementos relativos à aparelhagem necessária ao desenvolvimento experimental incluindo os moldes, haste de adensamento, vibradores, amostragem, abatimento, dimensões, preparação e moldagem e adensamento dos corpos-de-prova, sua cura, manuseio e transporte, apresentando ainda as providências necessárias à preparação das bases dos corpos-de-prova, retificação e capeamento.

## **5.4 FATORES INFLUENTES DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO**

De acordo com Helene e Terzian (1995), vários são os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto. A diversidade de eventos possíveis envolvendo sua produção e as condições heterogêneas de seus materiais são elementos por si só suficientes para fazer flutuar de forma considerável os valores de sua resistência.

Mehta e Monteiro (2008), ressaltando a condição do concreto enquanto um material polifásico, condicionam estes fatores à relação água-cimento, capaz de influir na porosidade da matriz e de sua zona de transição, uma vez ser a porosidade, o resultado da distribuição heterogênea do volume de vazios na pasta de cimento e cuja origem se remete a sua fase de hidratação. Entretanto, fatores como adensamento, cura, dimensões e mineralogia do agregado, aditivos, geometria e condições de umidade do corpo-de-prova, tipo de tensão, velocidade de carregamento podem também ter um efeito importante nos valores de resistência.

Silva e Souza (2011), em estudo sobre a influência dos processos de cura na resistência mecânica de concretos produzidos com cimento portland cinza e cimento branco estrutural concluíram que o tipo de cura adotado exerce influência na resistência dos concretos conforme o avanço das idades; sendo que o cimento branco estrutural apresentou melhor desempenho que o cimento Portland cor cinza com escória em todos os tipos de cura empregados, ficando evidenciada a importância da cura adequada e sendo este um procedimento que contribui para aumentar a durabilidade das estruturas.

Mascolo et al.(2013) em estudo da variação de resistência à compressão ao longo da descarga do caminhão betoneira, afirma que as dispersões de valores quanto a seus resultados ficam concentrados na faixa de 5%, com a distribuição do número de

ocorrências acima e abaixo em relação a um ponto de referência representado em seus trabalhos por uma determinada central fornecedora de concreto. Para o tratamento da variabilidade da resistência do concreto a ABNT NBR 12655:2006 recomenda submeter procedimentos de comprovação de uniformidade da mistura, sempre que as betoneiras apresentarem sinais de heterogeneidade de composição ou consistência durante sua descarga.

Com o mesmo princípio considera que a resistência de dosagem ( $f_{cj}$ ) deve atender as condições de variabilidade prevalecentes durante a construção. Por suas orientações a variabilidade medida pelo desvio padrão, ( $s_d$ ) é levada em conta no cálculo da resistência de dosagem de acordo com a Equação (1):

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$f_{cj}$  -é a resistência média à compressão do concreto prevista para a idade j dias, em MPa

$f_{ck}$  - é a resistência característica à compressão do concreto, em MPa;

$s_d$  - é o desvio-padrão da dosagem, em MPa.

## **5.5 FATORES INFLUENTES NO ENSAIO DE COMPRESSÃO**

No dizer de Geyer et al.(2012) é necessário compreender os conceitos relativos às prescrições e as variáveis que exercem influência nos ensaios à compressão para interpretar seus resultados e descartar possíveis discrepâncias ocasionadas por deficiências do equipamento de ensaio ou do operador.

O Quadro 12 foi estruturado em conformidade com a ABNT NBR 5739:2007. Nele foram relacionados os itens pertinentes ao ensaio à compressão do concreto.

Por sua leitura é possível estabelecer o grau de complexidade que envolve a confiabilidade de um ensaio desta natureza e cuja execução exige uma série de cuidados.

Os procedimentos devem respeitar os preceitos normativos para a execução do ensaio e considerar os temas relativos à aparelhagem utilizada e o preparo dos corpos-de-prova que englobam em sua estruturação, as ações de sua moldagem e cura.

## Capítulo 5 - Controle estatístico da qualidade do concreto

Quadro 12 - O Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de acordo com a ABNT NBR 5739:2007

Elemento	Temas Estruturados
Aparelhagem	Classe das máquinas de ensaio. Estrutura de aplicação de força. Posicionamento do corpo-de-prova Açãoamento e fonte de energia Taxa de aplicação de força Sistemas de ajuste e medição de força Calibragem e condições de utilização
Preparo dos corpos-de-prova	Moldagem Testemunhos Cura
Execução do ensaio	Procedimentos
Resultados	Cálculo da resistência Apresentação dos resultados
Anexos	Tipos de ruptura Avaliação estatística de desempenho do ensaio

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 5739:2007

Pacheco e Helene (2013) afirmam que a produção dos corpos-de-prova deve atender um rigoroso procedimento de moldagem e cura para que se garanta a qualidade dos ensaios produzidos. Em princípio, cada molde de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura deve ser preenchido em duas camadas, com 12 golpes por camada, quando o adensamento é feito com soquete manual, ou em uma camada quando se utiliza vibrador eletro - mecânico com diâmetro da agulha de, no máximo, 25 milímetros.

Para o ensaio de ruptura devem ser observados os procedimentos normalizados pela ABNT NBR 5739:2007, com a preparação dos topes dos corpos-de-prova, cuja condição ideal, segundo o seu texto, é aquela caracterizada pela chamada “retificação” dos topes, face as atuais condições de sustentabilidade que desaconselham a pasta à base de enxofre e, por dificuldades operacionais, a argamassa ou pasta de cimento.

Pacheco e Helene (2013) recomendam que para este procedimento devam ser evitados a utilização de neoprene, escovas ou outros produtos e artifícios equivalentes ainda não considerados nas normas e cujos efeitos são a redução potencial da resistência do concreto, comparativamente ao procedimento com topo retificado.

Os cuidados devem se estender também às maquinas de ensaio, cuja calibração do sistema de medição de força deve respeitar a ABNT NBR NM ISO 7500-1:2004. O ajuste da velocidade de carga, variável em função do diâmetro do corpo-de-prova a ser ensaiado deve respeitar os limites especificados pelo método sendo neste contexto muito importante considerar: velocidades muito rápidas podem aumentar falsamente a resistência à compressão e velocidades muito lentas, reduzi-las.

Quanto aos operadores responsáveis pela aplicação do ensaio, Pacheco e Helene (2013) destacam ser necessária a sua habilitação para a realização de serviços de ensaios. As operações de ensaio exercem um papel decisivo na confiabilidade dos resultados e que possa ser tomado como característico de um determinado lote de concreto.

A Figura 10 apresenta os fatores de influência do ensaio à compressão do concreto por meio de corpos-de-prova cilíndricos. A ABNT NBR 5739:2007 orienta o tratamento da verificação estatística dos resultados e avaliação do desempenho dos ensaios. O desvio padrão por ela estimado, e o coeficiente de variação de resultados para a medida da eficiência por ela definidos, devem se apresentar dentro dos limites estabelecidos como aceitáveis.

Figura 10 - Fatores influentes do ensaio à compressão do concreto



Fonte: Gidrão e Santos (2013)

## 5.6 A ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS À COMPRESSÃO

No dizer de Araújo et al.(2000) dificilmente os ensaios à compressão do concreto apresentarão uniformidade de resultados. A variabilidade de condições que envolvem os mecanismos de sua produção e a origem diversa de seus de materiais constituintes são elementos suficientes para contribuir com esta situação. Adicionalmente, as ações envolvendo os ensaios à compressão também são passíveis de erros e contribuem de certa forma para o aumento da variabilidade de resultados para a resistência sem, contudo tenha havido alterações na qualidade do próprio concreto. Mesmo que durante a produção de um concreto, sejam resguardadas as condições que envolvem seus materiais, equipamentos e mão de obra, os resultados dos ensaios à compressão para amostras de diferentes betonadas dificilmente apresentarão resultados iguais. Entretanto, estatisticamente, esses resultados devem se agrupar em torno de um valor médio denominado tendência central e cuja dispersão e variância podem ser avaliadas. Dependendo da uniformidade e características dos materiais que constituem o concreto e do rigor do processo de fabricação a ele imposto, os valores obtidos poderão, em sua maioria, se concentrar em torno deste valor médio ou então dele se afastar, indicando distribuições com maior ou menor dispersão.

A resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) é a resistência utilizada para dimensionamento de uma estrutura; correspondendo estatisticamente ao valor de resistência do concreto à compressão que garanta que somente 5% dos valores obtidos no ensaio à compressão, sejam inferiores a resistência característica adotada.

De acordo com Helene e Terzian (1995), o tratamento da resistência do concreto de maneira estatística considera os conceitos teóricos pertinentes à curva de distribuição normal e seus limites de confiança no intervalo de variação do desvio padrão populacional. Por seus ensinamentos esses limites, para grandes e pequenas amostras devem obedecer às Equações (2) e (3), e cuja avaliação numérica detalhada foi desconsiderada no escopo deste trabalho em virtude de sua extensibilidade e efetiva aplicabilidade imediata, ressaltando, entretanto a sua utilização no contexto normativo da análise dos ensaios à compressão.

$$s_c - \mu(\rho\%) \cdot \frac{s_c}{\sqrt{2(n-1)}} \leq \sigma \leq s_c + \mu(\rho\%) \cdot \frac{s_c}{\sqrt{2(n-1)}} \quad \text{Equação (2)}$$

$$s_c \sqrt{\frac{n-1}{x_{\text{sup}}^2}} \leq \sigma \leq s_c \sqrt{\frac{n-1}{x_{\text{inf}}^2}} \quad \text{Equação (3)}$$

onde:

$s_c$  Desvio padrão;

$\mu (\rho \%)$  Valor crítico da variável normal reduzida para um intervalo  $\rho\%$  de confiança;

$\rho (\%)$  Intervalo de confiança;

$n$  Tamanho da amostra;

$\sigma$  Desvio padrão da população;

$x_{\text{sup}}$  Limite superior da distribuição;

$x_{\text{inf}}$  Limite inferior da distribuição.

De seu desenvolvimento resultam as condições impostas pela ABNT NBR 6118:2007, para o tratamento e análise dos resultados para os ensaios a compressão e cuja definição e postura teórica se fundamentam no tratamento estatístico e probabilístico de seus elementos.

No dizer de Helene e Terzian (1995) inúmeras pesquisas comprovam experimentalmente que a variabilidade das propriedades mecânicas dos materiais de construção obedece a processos aleatórios de ocorrência, admitindo, portanto os procedimentos adotados pela ABNT NBR 6118:2007, como eficazes.

A Figura 11 apresenta a curva de distribuição de Gauss aplicada aos tópicos da avaliação estatística dos ensaios à compressão e ao conceito de resistência característica à compressão do concreto. Com seu auxílio é possível compreender a definição de cada um dos elementos que compõem a Equação (4).

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s_d \quad \text{Equação (4)}$$

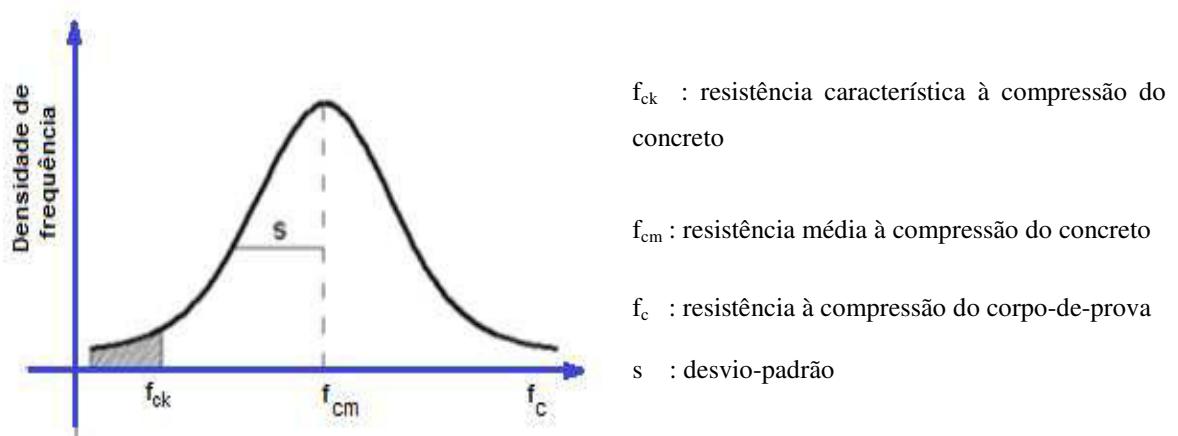
O valor de  $f_{cm}$  representa a média aritmética dos valores da resistência à compressão ( $f_c$ ), determinados para um conjunto de corpos-de-prova, expressos no diagrama de Gauss.

O desvio padrão  $s_d$  corresponde à distância entre a abscissa de  $f_{cm}$  e a do ponto de inflexão da curva , ponto em que ela muda de concavidade.

Por sua vez, o valor de  $f_{ck}$  corresponde ao valor da resistência característica à compressão do concreto que tem 5% de probabilidade de não ser alcançada, em ensaios de corpos-de-prova de um determinado lote.

Neste contexto, o valor 1,65 corresponde ao quartil de 5%, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-prova possuem uma resistência à compressão  $f_c$  menor que o valor da resistência característica  $f_{ck}$ , ou, ainda, 95% dos corpos-de-prova possuem  $f_c \geq f_{ck}$ .

Figura 11 - Distribuição de Gauss para o ensaio de compressão



Fonte: Montgomery (1991)

## 5.7 O CONTROLE DE QUALIDADE DOS ENSAIOS

Para a avaliação da qualidade dos ensaios à compressão a ABNT NBR 5739:2007, estabelece o cálculo do coeficiente de variação experimental ( $Cv_e$ ) cuja determinação dentro do ensaio é obtido dividindo-se o valor do desvio padrão dos resultados obtidos pela resistência média dos exemplares da amostra, de acordo com a Equação (5):

$$Cv_e = \frac{s}{f_{cm}} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$f_{cm}$  - resistência média à compressão;

$s$  - desvio padrão.

A avaliação da eficiência das operações de ensaio deve ser feita considerando os conceitos atribuídos ao coeficiente de variação do ensaio conforme valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaios a compressão - Coeficientes de Variação de Ensaio

Coeficiente de Variação ( $cv_e$ )				
Nível 1 <b>(Excelente)</b>	Nível 2 <b>(Muito bom)</b>	Nível 3 <b>(Bom)</b>	Nível 4 <b>(Razoável)</b>	Nível 5 <b>(Deficiente)</b>
$CV_e \leq 3,0$	$3,0 < CV_e \leq 4,0$	$4,0 < CV_e \leq 5,0$	$5,0 < CV_e \leq 6,0$	$CV_e > 6,0$

Fonte: ABNT NBR 5739:2007

## **5.8 FORMATO DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

A ABNT NBR 5738:2003 estabelece uma forma para apresentação de resultados de um ensaio à compressão. O seu texto deve conter as seguintes informações:

- número de identificação do corpo-de-prova;
- data de moldagem;
- idade do corpo-de-prova;
- data do ensaio;
- dimensões dos corpos-de-prova;
- tipo de capeamento empregado;
- classe da máquina de ensaio segundo nbr-nm-iso-7500-1:2004;
- resultado da resistência à compressão individual dos corpos-de-prova e do exemplar;
- tipo de ruptura do corpo-de-prova (opcional).

## **5.9 A CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS À COMPRESSÃO**

As medidas de uma grandeza física invariavelmente envolvem erros e incertezas. Os resultados de um ensaio de resistência à compressão, não estão livres desta regra. Medir é um ato de comparação cujo grau de precisão pode abranger instrumentos, operadores e o próprio processo de medição. Com um ensaio à compressão do concreto deve ser possível verificar a resistência adotada pelos projetistas para certificar se esta propriedade intrínseca atende os requisitos de trabalho, fato este, de importância significativa para a segurança de suas estruturas.

Em função daquilo que representa para o conjunto de princípios de segurança do projeto estrutural, este ensaio precisa ser confiável; uma vez constituir-se em uma das ferramentas básicas do controle de sua produção para as estruturas de concreto.

Garvin (2002) diz que a confiabilidade é uma das oito dimensões da abordagem da qualidade que deve ser tratada de forma cuidadosa e continua.

Para seu tratamento, segundo Fortes et.al (2004) são necessários procedimentos que envolvam o controle sistêmico de verificação de resultados e a retroalimentação de informações, de forma a garantir e adequar a eficiência dos processos investigativos.

### **5.9.1 FATORES DE VARIABILIDADE DE RESULTADOS**

No Quadro 13, estruturado segundo os preceitos normativos da ABNT NBR 5739:2007 e ABNT NBR 5738:2003, foram registrados alguns dos parâmetros de influência dos ensaios à compressão do concreto.

Por sua leitura é possível caracterizar a complexidade que envolve a variabilidade de seus resultados e que englobam os tópicos da conformação de seus corpos-de-prova, dos equipamentos utilizados e da capacitação da mão de obra para as suas medições.

Quadro 13 - Fatores influêntes dos ensaios à compressão

Fase	Parâmetros interferentes		
<b>Moldagem</b>	Ferramentas inadequadas	Fôrmas	Numero de camadas
<b>Amostragem</b>	Ponto de descarga	Instante da amostragem	
<b>Manipulação</b>	Transporte em idades precoces	Armazenamento	Transporte na fase endurecida
<b>Cura</b>	Cura deficiente		
<b>Tratamento de superfície</b>	Capeamento	Correção de topos	
<b>Ruptura</b>	Posicionamento do corpo-de-prova	Erro no ensaio	
<b>Equipamento</b>	Calibração	Velocidade de carga	

Para Geyer et al. (2012) o conhecimento das variáveis influentes dos ensaios à compressão permitem interpretar seus resultados para descartar suas possíveis discrepâncias.

Para Mehta e Monteiro (2008) a resistência do concreto está relacionada não só com a resposta do concreto às tensões aplicadas, mas também com o tipo de solicitação e com a

combinação de fatores físico-químicos decorrentes da mistura de seus elementos e que envolvem as propriedades de seus materiais. Na composição do concreto a granulometria, a porosidade de seus agregados, o tipo de cimento, a presença de aditivos, a qualidade da água, são fatores capazes de alterar sua resistência.

Na visão de Neville (1997) a resistência à compressão está diretamente relacionada com a estrutura da pasta de cimento hidratado.

Zanetti (2010) afirma que os procedimentos de moldagem e cura dos corpos-de-prova são fatores interferentes das propriedades do concreto, sendo possível por eles, explicar parte da variabilidade da resistência verificada nos ensaios à compressão.

A ABNT NBR 5738:2003 fixa os parâmetros para a moldagem dos corpos-de-prova estabelecendo suas dimensões e tolerâncias permitidas. Aborda a geometria de seus moldes e a inspeção periódica para um controle geométrico. As variações de dimensões destes elementos, a perpendicularidade relativa de seu eixo longitudinal em relação aos seus planos de bordas, a rigidez de seu material, e sua estanqueidade são fatores intervenientes de resultados dos ensaios à compressão.

Para Pacheco e Helene (2013) os erros decorrentes do processo de moldagem são fatores de dispersão de resultados devendo por esse motivo, sua produção, considerar procedimentos que garantam sua qualidade. No âmbito do laboratório, outros cuidados são necessários. A falta de ortogonalidade entre a superfície dos topos e a geratriz do corpo-de-prova é capaz de acarretar uma concentração de tensões em uma pequena região da peça, levando à ruptura de forma precoce.

Para Bezerra (2007) as superfícies dos corpos-de-prova devem ser planas e regulares de forma a não permitir uma excentricidade da força durante a realização do ensaio, cuja aplicação deve ocorrer de maneira uniforme. Para que isso ocorra são necessários procedimentos que proporcionem o nivelamento das superfícies, sem o comprometimento da resistência da amostra.

Bezerra (2007) destaca que esta tarefa pode ser realizada por diversas técnicas: capeamento com enxofre, corte da superfície de forma a mantê-la lisa e nivelada e utilização de anéis com neoprene; todas elas sujeitas a distorções procedimentais com consequências sobre os resultados dos ensaios.

De acordo com Zanetti (2010) uma fonte considerável de dispersão de resultados reside na aplicação do ensaio propriamente dito. Os valores medidos têm relação com os procedimentos utilizados como, por exemplo, a velocidade de aplicação da força. Velocidades muito rápidas aumentam falsamente a resistência do corpo-de-prova.

Para o controle deste tipo de ocorrência e a minimização dos seus efeitos colaterais a ABNT NBR 5739:2007 apresenta em suas disposições normativas os fundamentos para o desenvolvimento dos ensaios.

Neste universo, a capacitação da mão de obra também deve ser considerada como fator indutor de dispersão de resultados. De acordo com Pacheco e Helene (2013) são necessárias ações que permitam a habilitação dos operadores para a aplicação de qualquer tipo de ensaio, uma vez que a eficiência das operações exerce um papel decisivo na obtenção de um valor confiável que possa ser tomado como característico em um determinado lote de concreto.

O INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - IBRACON, por meio de seu Núcleo de Qualificação e Certificação de Pessoal (NQCP), tem desenvolvido uma atividade capaz de agregar valores a cadeia produtiva do concreto, assegurando por esta ação o conceito de qualidade total.

### **5.9.2 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE RESULTADOS DE ENSAIOS**

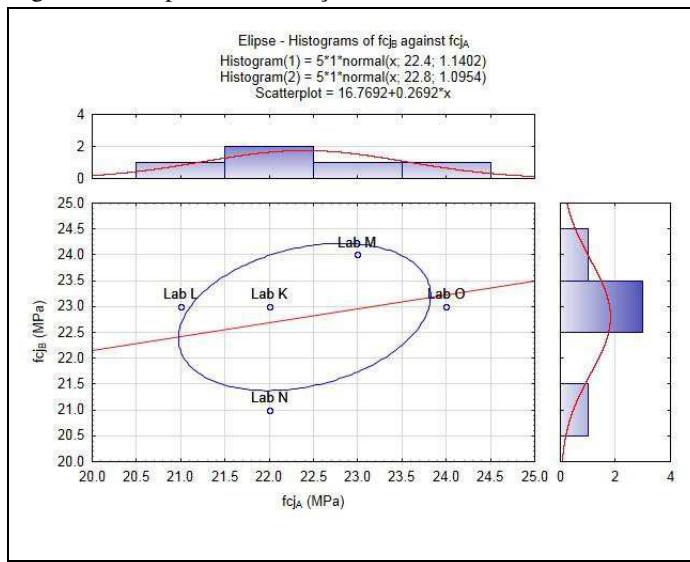
Para verificar as definições de um projeto estrutural acerca da resistência do concreto são necessários ensaios que cumpram efetivamente com o seu papel de agente verificador de um estado de conformidade. Ainda que a condição de erro seja inerente aos processos de medição, e que no caso do concreto esteja sujeita a interferências de sua linha de produção, é desejável que os resultados dos ensaios indiquem para esta propriedade do concreto um valor confiável e coerente, devendo-se limitar-se a uma faixa de valores aceitáveis. As dispersões eventualmente constatadas nos processos de medição não podem ser de maneira tal, que se possa invalidar o processo de comparação.

Medir é um ato de comparação que para o caso do concreto possibilita avaliar a sua resistência potencial sob um estado de tensões. Assim para comparar resultados entre diversos agentes executores de ensaios são necessários os procedimentos estatísticos para análise de resultados.

### 5.9.2.1 ELIPSE DE CONFIANÇA

A elipse de confiança é um procedimento estatístico cuja utilização envolve o desenho de pares ordenados representativos de grandezas em um plano cartesiano, e no qual, é traçada uma elipse com o objetivo de posicionar relativamente aos seus limites, os pontos desenhados no diagrama, Figura 12.

Figura 12 - Elipse de confiança



Fonte: Adaptado de Montgomery (2004)

Para sua construção são considerados os conceitos da curva de distribuição normal em um plano cartesiano, de tal modo que a intersecção dos resultados distribuídos nas suas duas direções principais tenha uma probabilidade de estar dentro da elipse; e cujo valor de forma geral, para o caso das medidas de resistência do concreto corresponde a 95% de confiança, sendo o centro da elipse determinado pelo par ordenado correspondente à média dos valores do conjunto de medidas desenhadas.

De acordo com Olivieri (2004) na interpretação de seus resultados deve ser observado o posicionamento relativo dos pontos da elipse e de seus eixos. Pontos situados fora da elipse representam laboratórios cujos procedimentos de ensaio não foram convenientemente aplicados sendo a posição de seu ponto representativo em relação aos eixos da elipse, indicações dos tipos de erros cometidos. Os erros sistemáticos são identificados quando os pontos estão localizados próximos do eixo maior da elipse; equipamentos não calibrados, procedimentos não observados e sistematicamente não instrumentalizados são os fatores representativos deste tipo de erro. Os erros aleatórios, cuja origem tem natureza diversa,

englobam em sua caracterização, medidas com uma taxa de variação expressiva em relação aos seus demais resultados. Ainda quanto à interpretação, e para o caso dos ensaios à compressão do concreto, em que cada ponto representa um laboratório e seus pares ordenados, os valores de sua medição, é importante salientar que a posição relativa dos pontos sinaliza uma condição de eficiência procedural.

Dividindo-se a elipse a partir de seu centro em quatro quadrantes em direções que passam por seu centro e pelos valores médios representados em seu eixo cartesiano pode-se verificar se a variabilidade representada é aceitável ou insatisfatória. Pontos encontrados nos quadrantes, superior direito e inferior esquerdo representam laboratórios que possam estar incorrendo em erros sistemáticos de medição. Quando somente erros aleatórios estão presentes, os pontos devem estar distribuídos de modo uniforme em todos os quadrantes.

Numericamente para as grandezas medidas por um par de amostras pode-se considerar uma das seguintes condições de ocorrência: os valores médios expressos são aproximadamente iguais; os erros sistemáticos são iguais; e os erros aleatórios iguais ou diferentes para as duas amostras. No caso em que os erros aleatórios podem ser considerados iguais, a elipse estará posicionada no plano cartesiano com o seu eixo maior a 45° em relação ao eixo das abscissas; sendo que a dispersão dos pontos ao longo do eixo maior (quadrantes impares) está associada à ocorrência de erros sistemáticos, enquanto que em torno do eixo menor (quadrantes pares), associada a erros aleatórios.

### **5.9.2.2 OUTLIERS**

Não raramente um conjunto de dados estatísticos pode apresentar valores tão discrepantes de seus pares que, não recaiam sobre eles suspeitas de algum erro ou anormalidade na aplicação do teste; ou ainda a condição de que seus resultados não pertençam ao conjunto de estudo que os contêm. Denominados “outliers” estes valores, tão diferentes dos demais podem alterar os resultados indicativos da média do conjunto, da variância e do desvio padrão, comprometendo as análises pertinentes.

Ainda assim, mesmo que retirados do conjunto de análise, de forma a não comprometer a avaliação em curso, seus valores devem ser analisados para que possa descobrir a razão de sua existência. Suas causas geradoras englobam os erros analíticos, a contaminação, tratamento e interpretação dos resultados. Uma simples transcrição de dados ou um erro de

digitação ou de classificação podem estabelecer um resultado estatisticamente comprometido, merecendo por esta razão, este tipo de resultado, uma especial atenção de forma a não comprometer o trabalho de pesquisa.

#### **5.9.2.3 TESTE DE COCHRAN E DIXON**

Os conjuntos de valores dispersos que compõem os universos de resultados dos ensaios participantes de um programa de avaliação de resultados laboratoriais são passíveis de tratamentos estatísticos cuja finalidade principal é a redução de efeitos da discrepância sobre seus conjuntos solução.

Com o teste de Dixon é possível verificar a existência de valores dispersos nas extremidades do conjunto a ser interpretado identificando seus valores máximos e mínimos e cuja indicação se aplica a resultados individuais segundo recomendação da ISO 5725:1994.

Com o teste de Cochran (ISO 5725:1994), é possível identificar a ocorrência de “outliers” verificando se a variância dos resultados obtidos por um laboratório é diferente da variância dos demais laboratórios. Sua análise não recai sobre o resultado individual de um ensaio obtido pelo laboratório, mas, pela variância obtida por cada laboratório ao emitir dois ou mais resultados para o mesmo ensaio ao contrário do teste estatístico de Dixon que avalia se o resultado individual é considerado disperso ou não.

#### **5.9.2.4 ENSAIOS DE REFERÊNCIA**

Um ensaio de referência constitui-se em um importante procedimento para o desenvolvimento das análises de resultados laboratoriais deste trabalho; foi estruturado com o objetivo de permitir a comparação de resultados de distintos laboratórios e sua completa parametrização será oportunamente descrita.

Conceitualmente fundamentado nos princípios estabelecidos pela Equação (1), é um procedimento de análise que consiste em produzir um ensaio para ser aplicado simultaneamente aos ensaios dos laboratórios avaliados, entretanto, de forma rigorosamente controlada, para assim estabelecer um padrão de análise confiável. Para sua utilização devem ser observadas todas as orientações normativas pertinentes ao ensaio à compressão e, garantida a condição de calibração do equipamento. Todos os procedimentos devem ser rigorosamente controlados de forma a se tornar um ensaio

confiável. Com seus resultados são avaliados os valores expressos por outros laboratórios e construídos gráficos que permitem a visualização das discrepâncias de medidas.

Para a construção dos gráficos são utilizados os preceitos da ABNT NBR 12655:2006 naquilo que se refere à proposta do valor da resistência do concreto para a sua dosagem. Por suas orientações, a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalecentes durante a construção das estruturas de concreto sendo esta variabilidade medida pelo desvio-padrão ( $s_d$ ) levada em conta no cálculo da resistência de dosagem conforme indicado na Equação (1).

Assim, para cada ensaio de referência é determinado um valor de resistência à compressão,  $f_{cR}$ , denominado “resistência à compressão referencial” utilizado como valor central do conjunto de resultados aceitáveis para as medições realizadas por cada laboratório avaliado e cuja eficiência de trabalho fica condicionada pelo posicionamento relativo do valor de sua medição nos limites superior e inferior da faixa de valores desejáveis. Resultados apresentados dentro dos limites da faixa de valores aceitáveis indicam uma coerência de resultados com os valores dos ensaios de referência, sendo os limites superior e inferior do conjunto de resultados desejáveis obtidos por meio do desvio padrão referencial normalizado em 4,0 MPa, para o controle rigoroso de produção do concreto, para mais e para menos do valor de resistência referencial  $f_{cR}$ .

# **CAPÍTULO 6**

## **PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Neste capítulo são apresentados os elementos do programa experimental. São descritos os itens relativos a seu desenvolvimento destacando-se as justificativas para os procedimentos adotados.

### **6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A qualidade de um ensaio de resistência à compressão do concreto, enquanto resultado de um processo de medição, pode ser associada a um determinado grau de incerteza que envolve entre outros fatores influentes a qualidade de seus corpos-de-prova e a eficiência da aplicação do processo com foco no controle de sua exatidão. A variabilidade de condições ou a falta de rigor técnico durante a produção dos corpos-de-prova e a aplicação do ensaio, que inclui entre outros, os cuidados com os procedimentos de moldagem, cura, regularização das superfícies, capeamento, e velocidade de aplicação da força, são entre outros, parâmetros capazes de alterar os resultados dos ensaios. Este trabalho, cujos fundamentos respeitam estes princípios, foi elaborado com o intuito de avaliar as incoerências dos resultados laboratoriais nos ensaios de resistência à compressão do concreto, de forma a verificar as discrepâncias existentes entre os valores expressos por seus agentes executores, em condições que envolvem um grupo de ensaios comparativos; Seu objetivo é verificar o grau de uniformidade com que estes ensaios têm sido realizados, para então, de maneira mais abrangente, estabelecer o grau de sua “confiabilidade”. O desenvolvimento envolve a realização de ensaios à compressão de corpos-de-prova de concreto, cuidadosamente moldados e curados, de forma a garantir uma inferência estatística com seus resultados.

Suas conclusões constituem-se em uma importante contribuição para o aperfeiçoamento técnico dos diversos processos de controle de qualidade, que envolvem este importante material da engenharia estrutural.

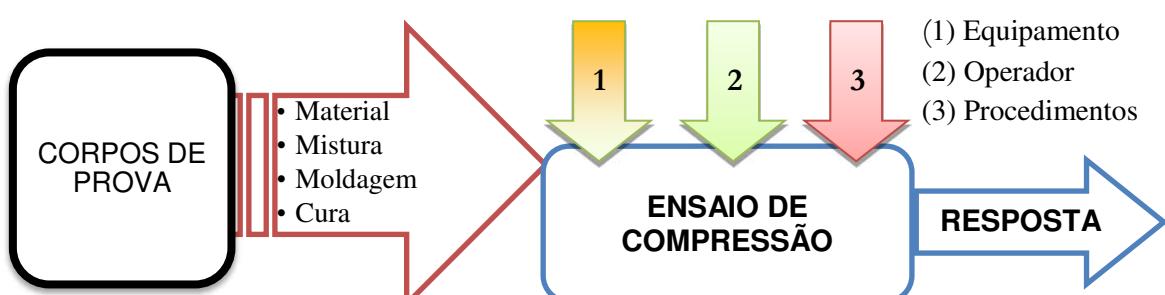
## **6.2 MÉTODO**

O método adotado para o desenvolvimento experimental considerou um planejamento capaz de delinear uma abordagem em que fosse possível homogeneizar alguns dos fatores influentes dos resultados dos ensaios à compressão e o controle rigoroso de outros, que pudessem interferir no processo de sua avaliação. As respostas acerca da qualidade destes ensaios devem estar desvinculadas das condições que envolvem a produção do concreto, a moldagem e cura de seus corpos-de-prova, de forma a possibilitar uma leitura precisa acerca da realidade observada, devendo os corpos-de-prova, apresentarem condições similares de análise.

Na Figura 13 estão representadas as variáveis envolvidas nos resultados de um ensaio à compressão. Os números (1), (2) e (3) indicados nas setas verticais representam os fatores atrelados à aplicação do ensaio no contexto laboratorial. A sua esquerda estão relacionados os fatores intervenientes relativos à produção dos corpos-de-prova.

A estratégia adotada pelo planejamento experimental considerou a hipótese da minimização dos fatores relativos à produção dos corpos-de-prova, por meio da uniformização, homogeneização e controle dos procedimentos necessários a sua confecção, transferindo para o ensaio de compressão propriamente dito, a responsabilidade pela discrepância dos resultados obtidos.

Figura 13 -Variáveis envolvidas nos resultados dos ensaios à compressão



Fonte: Gidrão e Santos (2013)

Por esse tratamento, os elementos (1), (2) e (3) destacados na Figura 13 assumiram implicitamente o papel de um “elemento qualificador da confiabilidade de resultados” e pelos quais os laboratórios, deveriam responder com eficácia, às exigências de precisão experimental por meio dos resultados de suas ações laboratoriais.

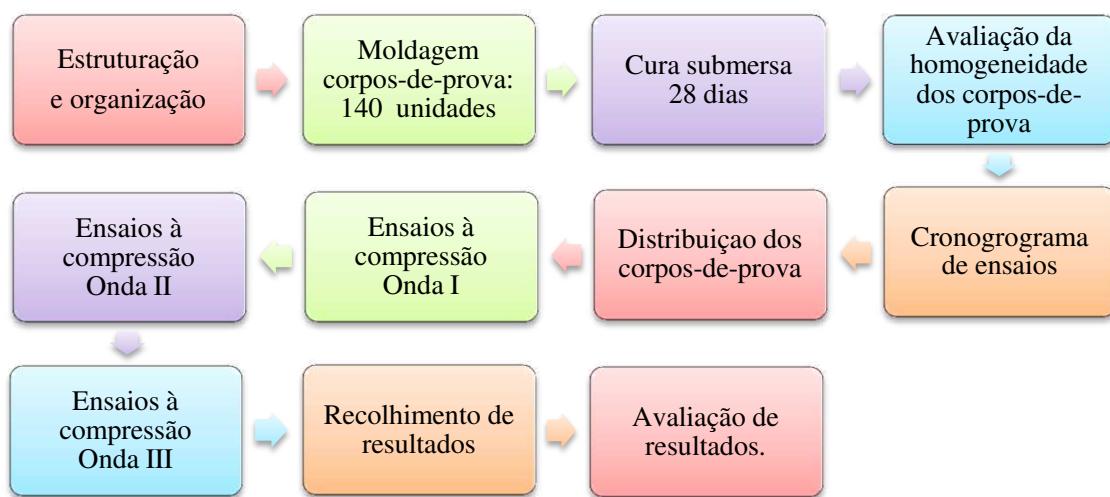
Em seu desenvolvimento foram produzidos corpos-de-prova para serem ensaiados simultaneamente em diversos laboratórios; e cujas análises estatísticas comparativas de resultados contaram com os “ensaios de referência”.

Os ensaios de referência, oportunamente discutidos, foram produzidos nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia com o objetivo de balizar a faixa de resultados esperados, sendo sua aplicação desenvolvida nas datas previstas para os ensaios de avaliação com os demais laboratórios. Seu conceito é parte da estrutura metodológica deste trabalho, tendo seus fundamentos sido estabelecidos como procedimento de análise comparativa de resultados.

### **6.3 ETAPAS DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

O fluxograma representativo do procedimento experimental está registrado na Figura 14.

Figura 14 - Desenvolvimento experimental.



Nele estão sintetizados os procedimentos aplicados para a realização desta pesquisa que analisou os resultados dos ensaios à compressão em três etapas distintas, denominadas “ondas de avaliação” e cujo objetivo é a determinação de seu grau de confiabilidade.

Sua estrutura resume a descrição dos procedimentos que envolveram a moldagem de 140 corpos-de-prova com concreto produzido em central; manipulados, adensados e curados, em iguais condições de tratamento; e sua distribuição entre diversos laboratórios para a realização dos ensaios à compressão nas três ondas de avaliação; cada qual, com o mesmo número de amostras e exemplares, e em idênticas datas de rompimento.

Os procedimentos de moldagem e cura dos corpos-de-prova foram tratados como pontos críticos do desenvolvimento experimental uma vez ter sido necessária a produção de um elevado número de elementos para a aplicação dos ensaios à compressão.

A materialização do planejamento proposto exigiu a definição e organização de uma estrutura de suporte capaz de promover as ações de moldagem e cura dos corpos-de-prova que incluiu: a constituição e treinamento de uma equipe de desenvolvimento, a definição e o contato com os laboratórios avaliados, as definições e providências em relação ao concreto utilizado, e a preparação do local para os procedimentos de moldagem.

## **6.4 ELEMENTOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM**

Em função das peculiaridades desta pesquisa, o encaminhamento do procedimento experimental considerou para o tratamento dos parâmetros de moldagem as seguintes imposições operacionais:

- favorecimento da produção de um número suficiente de corpos-de-prova em condições de atender as questões relativas à similaridade dos elementos avaliados;
- homogeneização de procedimentos minimizando a variabilidade das condições de moldagem e cura em condições adequadas.

### **6.4.1 CONCRETO**

O concreto utilizado para o desenvolvimento do procedimento experimental foi produzido de forma a garantir a moldagem dos corpos-de-prova em condições similares de avaliação.

Sua produção considerou a utilização de uma mistura em volume suficiente, que possibilitasse a moldagem do conjunto de corpos-de-prova necessários ao desenvolvimento da pesquisa, e quantificado em 140 unidades de uma única vez. Todos os corpos-de-prova utilizaram um mesmo concreto produzido em uma central produtora, em uma faixa de

## Capítulo 6 – Programa experimental

---

valores de resistência desconhecida pelo aplicador do ensaio; motivo este que garantiu a constatação da efetiva realização do ensaio à compressão por parte do laboratório e minimizou a hipótese de ocorrência de respostas diversas para os resultados dos ensaios, a partir do conhecimento prévio da faixa de valores esperados.

Em função das condições especiais de moldagem e dos fatores de sua homogeneização, no processo de produção dos corpos-de-prova, foi considerada a utilização de um retardador de pega para garantir o processo dentro do intervalo de tempo disponível em relação ao tempo de início de pega. A utilização do concreto na forma proposta, não consistiu em um fator determinante da diferença de resultados para os ensaios do concreto quando no seu estado endurecido.

A utilização do concreto em volume suficiente para a moldagem dos corpos-de-prova e aquele concernente ao volume mínimo possível do caminhão betoneira, estabelecido em função da uniformidade da mistura, segundo a ABNT NBR 7212:2012, exigiu um descarte de um volume de concreto.

No Quadro 14 estão apresentados os dados relativos ao concreto adquirido em central produtora com valor de resistência característica à compressão de 40 MPa. Em traço produzido por seu departamento técnico foi utilizado o cimento CP III – 40.

Quadro 14 - Concreto para moldagem dos corpos-de-prova

<b>Volume do Concreto Produzido</b>	2 m <sup>3</sup>	Brita 1	1,60 m <sup>3</sup>
<b>Volume do Concreto utilizado</b>	0,22 m <sup>3</sup>	Areia	1,40 m <sup>3</sup>
<b>f<sub>ck</sub></b>	40 MPa	Relação água/cimento	0,40
<b>Tipo</b>	Convencional	Cimento	CPIII-40
<b>Abatimento</b>	45 mm	Mistura	Caminhão Betoneira
<b>Cimento</b>	712,50 kg	Descarte de concreto inicial	600 litros

### 6.4.2 FÔRMAS

As fôrmas metálicas utilizadas na moldagem dos corpos-de-prova foram inspecionadas, no sentido de garantir a sua condição geométrica e receberam a aplicação de um elemento

desmoldante de maneira a impedir a aderência do concreto às suas faces facilitando os procedimentos de desmoldagem e melhorando o aspecto superficial dos corpos-de-prova.

#### **6.4.3 CORPOS-DE-PROVA**

O número de corpos-de-prova produzidos para o desenvolvimento desta pesquisa tem relação com o conjunto de laboratórios avaliados, com as imposições estatísticas da amostragem populacional e com as quantidades necessárias à aplicação dos ensaios inclusive para a substituição de corpos-de-prova defeituosos ou em discordância com suas medidas padrão e condições de tolerância relativas à sua altura e diâmetro. Foram moldados corpos-de-prova de dimensões 10 cm x 20 cm, que caracterizam a grande maioria dos ensaios das obras correntes, na região geográfica abrangida por esta pesquisa.

#### **6.4.4 MOLDAGEM**

A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada de maneira a garantir as ações de homogeneização de sua produção dentro do limite de tempo disponível em relação ao tempo de início pega. Foram adotados os seguintes protocolos procedimentais:

- a preparação do local para sua moldagem;
- o controle eficaz de temperatura ambiente;
- o planejamento do percurso do caminhão betoneira até o local de moldagem;
- a formação e treinamento de uma equipe para sua produção;
- um planejamento operacional englobando a disposição dos moldes e a circulação interna de pessoal e equipamentos;
- os procedimentos de adensamento e o seu tempo de aplicação;
- os trabalhos de recebimento de concreto;
- a verificação e correção da trabalhabilidade;
- os procedimentos para acabamento;
- as providências necessárias à cura para as primeiras horas;
- o descarte de concreto antes dos procedimentos de moldagem e ao seu final.

#### **6.4.5 EQUIPE DE MOLDAGEM**

Para a moldagem dos corpos-de-prova foi instituída uma equipe de operadores. Com o objetivo de promover um procedimento homogêneo foram estabelecidas ações com foco

na padronização de tarefas. A equipe, composta por operadores de transporte, moldagem, vibração, arrasamento, acabamento e também operadores de suporte, foi orientada e treinada para a execução cuidadosa de cada uma de suas tarefas. Na fase de seu treinamento foram estruturadas palestras com o objetivo de fazer compreender a importância da regularidade de suas ações no desenvolvimento do trabalho experimental. Foram estabelecidas seções de treinamento individuais e em grupo de forma a permitir simulações envolvendo o controle de tempo disponível para moldagem. Durante os procedimentos de moldagem dos corpos-de-prova, o trabalho dos operadores ocorreu de forma sequencial, cuidadosa e tudo conforme treinamento aplicado.

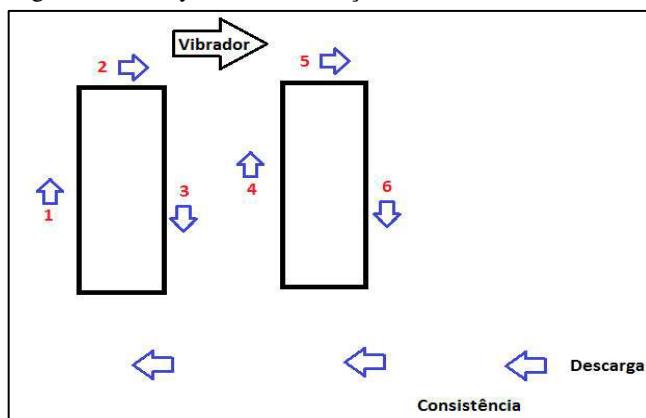
#### **6.4.6 ÁREA DE MOLDAGEM**

O local escolhido para moldagem dos corpos-de-prova foi um espaço onde funciona o Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Livre da interferência de elementos capazes de alterar o estado de repouso necessário ao endurecimento inicial do concreto, o local também permitiu o controle de fenômenos envolvendo a variação de temperatura, umidade relativa do ar, insolação, ventos e tráfego de pessoas e equipamentos que pudessem intervir na uniformidade do produto e em sua qualidade final.

#### **6.4.7 PLANO DE MOVIMENTO**

Um estudo de circulação dos agentes de produção e dos equipamentos foi aplicado durante o processo de moldagem com o intuito de permitir uma movimentação de trabalho capaz de garantir o cumprimento das tarefas de forma racional e segura dentro do tempo disponível para sua efetivação, sendo sua configuração representada na Figura 15.

Figura 15 – “Layout” de circulação



No plano de movimento estabelecido, a disposição dos equipamentos e sua circulação tiveram um tratamento que considerou os problemas relativos a interferências quando deslocados de maneira inadequada. Os moldes foram posicionados de forma a permitir uma interação racional entre pessoas e equipamentos e sua efetivação garantiu o sincronismo de ações que favoreceram a uniformidade do processo.

Os moldes dos corpos-de-prova foram dispostos em dois blocos com setenta unidades cada. Sua disposição em linhas e colunas permitiu que ações de moldagem de cada operador fossem desenvolvidas de forma contínua e sequencial.

A Figura 16 mostra a disposição dos moldes metálicos no local utilizado para os trabalhos de moldagem. Eles ocuparam as posições formatadas para a busca da uniformização do processo.

Figura 16 - Distribuição das fôrmas



#### **6.4.8 RECEBIMENTO DO CONCRETO**

Para o desenvolvimento do processo de moldagem foram avaliados todos os parâmetros pertinentes ao deslocamento do caminhão betoneira entre a central produtora do concreto e o centro de operações de moldagem.

O tempo de percurso estabelecido e as condições de descarga não se constituíram em fatores limitadores da uniformidade de produção dos corpos-de-prova.

O programa de moldagem dos corpos-de-prova considerou a aplicação do ensaio de consistência, conforme a ABNT NBR NM 67:1998, atendendo a prescrição da ABNT NBR 12655:2006.

A Figura 17 mostra o conjunto para abatimento do tronco de cone “Slump test” sobre a placa de aço nivelada e estrategicamente posicionada entre o local de recebimento do concreto e o local de moldagem. Os procedimentos da avaliação de consistência exigiram um ajuste na quantidade de água do concreto corrigida de maneira satisfatória e em volume considerado na relação água-cimento do Quadro 14. Para sua aplicação, procedeu-se um descarte de volume de concreto garantindo a uniformidade da amostra utilizada.

Figura 17 - Local da verificação da consistência



#### **6.4.9 ADENSAMENTO**

O trabalho de adensamento do concreto no interior dos moldes representou um dos pontos críticos na produção dos corpos-de-prova face às implicações decorrentes de uma aplicação descuidada e de suas consequências na porosidade do concreto e sua resistência. O adensamento foi desenvolvido com a aplicação de vibrador mecânico em conformidade com as especificações da ABNT NBR 5738:2003.

A moldagem dos 140 corpos-de-prova exigiu método capaz de garantir a uniformidade do procedimento em um limitado intervalo de tempo compatível com o do início de pega.

Para a sua aplicação foram necessários estudos de tempo de vibração ideal e desenvolvimento de mecanismos de seu controle. Foram aplicadas simulações operacionais com medidas de tempo visando à uniformidade do procedimento.

Foram estabelecidas as condições de inserção e retirada do vibrador do interior dos moldes com velocidade compatível ao adensamento. Durante a fase de execução o tempo de aplicação do adensamento foi registrado em 6 segundos.

#### **6.4.10 TEMPOS DO PROCESSO DE MOLDAGEM**

O Quadro 15 apresenta os dados pertinentes aos tempos de desenvolvimento experimental na fase de modelagem dos corpos-de-prova. A utilização de um retardador de pega garantiu a moldagem dos corpos-de-prova no tempo disponível para a execução da tarefa sem a condição da pressão estabelecida pelo fator de tempo limitante.

Quadro 15 - Intervalos de tempo da moldagem

	<b>Percorso do caminhão</b>	<b>Recebimento do concreto</b>	<b>Moldagem dos corpos-de-prova</b>
<b>Hora de início</b>	08h45min	09h00min	09h15min
<b>Hora de finalização</b>	09h00min	09h15min	10h13min
<b>Tempo Gasto</b>	15 min	15 min	58 min

Durante todo o processo de moldagem a temperatura ambiente, registrada no Quadro 16, não apresentou nenhum tipo de variação capaz de alterar a similaridade dos corpos-de-prova.

Quadro 16 - Controle de temperatura ambiente

<b>Temperatura início dos trabalhos</b>	<b>24º C</b>	<b>Temperatura ambiente no final dos trabalhos</b>	<b>24º C</b>
---	--------------	--	--------------

### **6.5 CURA**

As imagens da Figura 18 apresentam alguns detalhes dos procedimentos de cura adotados para a solução dos problemas de homogeneização da produção dos corpos-de-prova e aqueles pertinentes ao processo de hidratação do cimento necessário ao regime ideal para o desenvolvimento da resistência do concreto.

De acordo com Neville (1997), uma cura adequada garante para o concreto, não apenas as resistências satisfatórias para o tipo de cimento utilizado, mas também uma resistência mais alta. O tempo ideal para a hidratação do cimento corresponde a um período de 28 dias, a partir do qual o ganho de resistência é considerado pequeno frente ao valor incorporado em suas idades iniciais.

Figura 18 - Imagens de etapas dos procedimentos de cura.



O desenvolvimento da cura inicial ocorreu em condições favoráveis atendendo as orientações da ABNT NBR 5738:2003. Durante este período, não foram registradas variações de temperatura consideráveis e que pudessem intervir de forma substancial na qualidade do concreto. Foram utilizadas lonas plásticas para manter a umidade retida no seu interior e aspergidos regularmente em intervalo de duas horas, água suficiente para o desenvolvimento do processo de cura.

A partir da vigésima quarta hora relativamente ao início de moldagem os corpos-de-prova foram cuidadosamente desmoldados e transferidos para o interior do tanque de cura, onde permaneceram totalmente submersos durante 28 dias.

Com os procedimentos de cura adotados, para todo o conjunto de corpos-de-prova deste procedimento experimental, foram solucionadas as questões envolvendo os efeitos do processo de cura na resistência do concreto, ou na pior das hipóteses minimizados os seus efeitos enquanto papel de fator indutor da variabilidade de resultados.

## **6.6 CORPOS-DE-PROVA - TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO**

Após o período de cura, todos os corpos-de-prova foram armazenados em local protegido até a data de sua transferência para os laboratórios avaliados. Para a sua manipulação e transporte, foram garantidas as condições de efeitos contra choques. O transporte entre o local de armazenamento e o destino de entrega, laboratórios dos agentes executores dos ensaios, foi efetivado por meio da utilização de caixas contendo serragem.

## 6.7 ENSAIOS DOS CORPOS-DE-PROVA

O diagrama da Figura 19 simboliza o envio dos corpos-de-prova para os laboratórios incluídos no desenvolvimento deste programa experimental. Foram avaliados onze diferentes laboratórios por meio da comparação de seus resultados com os correspondentes produzidos pelo laboratório de referência, nas três Ondas de avaliação especificadas.

O intervalo de tempo entre as idades adotadas para a avaliação da resistência e o término do processo de cura submersa, possibilitou a distribuição dos corpos-de-prova entre os laboratórios escolhidos.

Figura 19 - Ondas de distribuição dos corpos-de- prova



O Quadro 17 apresenta a distribuição de laboratórios em função de sua localização. A escolha aleatória de cada unidade envolvida na pesquisa considerou a identificação de empresas habilitadas e localizadas em cidades dos estados de Minas Gerais e São Paulo.

Quadro 17 - Distribuição de laboratórios.

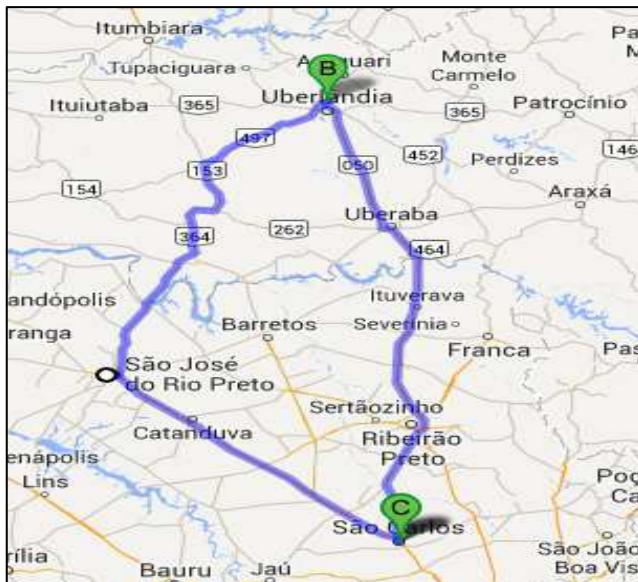
Laboratórios	Estado – Cidade	Número de Laboratórios	Total
Avaliados	MINAS GERAIS	Uberlândia	5
		Uberaba	
		Frutal	
	SÃO PAULO	Barretos	
		Ribeirão Preto	
		Cravinhos	
		São José do Rio Preto	6
		São Carlos	
Laboratório de referência	UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA		

## Capítulo 6 – Programa experimental

O método para a escolha das cidades considerou três eixos fictícios de ligação entre Uberlândia - MG e São Carlos – SP, reconhecidos polos de ensino e pesquisa da Engenharia Civil por meio das Faculdades de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia e Universidade Federal de São Carlos e da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC- USP.

Os laboratórios escolhidos não participam de nenhum programa de controle de qualidade de resultados e pertencem a uma região que totaliza uma população estimada em 2,5 milhões de habitantes em cidades pequenas, médias e de grande porte, distantes de até 500 quilômetros da Universidade Federal de Uberlândia, polo gerador desta pesquisa, estando sua localização apresentada na delimitação geográfica destacada na Figura 20.

Figura 20 - Delimitação geográfica



Fonte: Google Maps

### 6.7.1 SELEÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Para o envio dos corpos-de-prova para os laboratórios foram perpetradas ações no sentido de garantir uma condição de aleatoriedade que favoreceram em sua essência a distribuição de erros de moldagem entre os laboratórios avaliados:

- após o período de cura com exatos vinte e oito dias em tanque submerso os corpos-de-prova foram armazenados em ambiente de laboratório durante um período de tempo necessário à sua secagem;

## Capítulo 6 – Programa experimental

---

- foram inspecionados superficialmente para verificação da presença de imperfeições que pudessem comprometer os resultados dos ensaios à compressão;
- como medida de verificação de sua aceitabilidade os corpos-de-prova foram submetidos a um rigoroso processo de medição de suas dimensões e de sua massa;
- após a formação de lotes, procedida de maneira aleatória, cada um dos corpos-de-prova recebeu um código de controle para a avaliação do procedimento experimental efetivado pelos laboratórios;
- a estrutura do código aplicado considerou uma designação capaz de localizar o corpo-de-prova em um determinado ensaio a partir de um registro que consta sequencialmente os dados relativos ao estado, a cidade, o laboratório e a ordem de rompimento nas datas pré-fixadas.

O Quadro 18 apresenta os códigos dos corpos-de-prova enviados aos laboratórios.

Quadro 18 – Códigos dos corpos-de-prova

Unidade Experimental	Código Unidade Experimental	Código do corpo de prova	Unidade Experimental	Código Unidade Experimental	Código do corpo de prova
<b>LAB 001</b>	COD 01 MG 01	ON1 P25A	<b>LAB 007</b>	COD 04 SP 01	ON1 P25A
	COD 01 MG 01	ON1 P25B		COD 04 SP 01	ON1 P25B
	COD 01 MG 01	ON1 P25C		COD 04 SP 01	ON1 P25C
	COD 01 MG 01	ON2 V25A		COD 04 SP 01	ON2 V25A
	COD 01 MG 01	ON2 V25B		COD 04 SP 01	ON2 V25B
	COD 01 MG 01	ON2 V25C		COD 04 SP 01	ON2 V25C
	COD 01 MG 01	ON3 L25A		COD 04 SP 01	ON3 L25A
	COD 01 MG 01	ON3 L25B		COD 04 SP 01	ON3 L25B
	COD 01 MG 01	ON3 L25C		COD 04 SP 01	ON3 L25C
	COD 01 MG 02	ON1 P25A	<b>LAB 008</b>	COD 04 SP 02	ON1 P25A
<b>LAB 002</b>	COD 01 MG 02	ON1 P25B		COD 04 SP 02	ON1 P25B
	COD 01 MG 02	ON1 P25C		COD 04 SP 02	ON1 P25C
	COD 01 MG 02	ON2 V25A		COD 04 SP 02	ON2 V25A
	COD 01 MG 02	ON2 V25B		COD 04 SP 02	ON2 V25B
	COD 01 MG 02	ON2 V25C		COD 04 SP 02	ON2 V25C
	COD 01 MG 02	ON3 L25A		COD 04 SP 02	ON3 L25A
	COD 01 MG 02	ON3 L25B		COD 04 SP 02	ON3 L25B
	COD 01 MG 02	ON3 L25C		COD 04 SP 02	ON3 L25C

**Capítulo 6 – Programa experimental**

Unidade Experimental	Código Unidade Experimental	Código do corpo de prova	Unidade Experimental	Código Unidade Experimental	Código do corpo de prova
<b>LAB 003</b>	COD 01 MG 03	ON1 P25A	<b>LAB 009</b>	COD 05 SP 01	ON1 P25A
	COD 01 MG 03	ON1 P25B		COD 05 SP 01	ON1 P25B
	COD 01 MG 03	ON1 P25C		COD 05 SP 01	ON1 P25C
	COD 01 MG 03	ON2 V25A		COD 05 SP 01	ON2 V25A
	COD 01 MG 03	ON2 V25B		COD 05 SP 01	ON2 V25B
	COD 01 MG 03	ON2 V25C		COD 05 SP 01	ON2 V25C
	COD 01 MG 03	ON3 L25A		COD 05 SP 01	ON3 L25A
	COD 01 MG 03	ON3 L25B		COD 05 SP 01	ON3 L25B
	COD 01 MG 03	ON3 L25C		COD 05 SP 01	ON3 L25C
<b>LAB 004</b>	COD 02 MG 01	WV1 P25A	<b>LAB 010</b>	COD 06 SP 01	ON1 P25A
	COD 02 MG 01	WV1 P25B		COD 06 SP 01	ON1 P25B
	COD 02 MG 01	WV1 P25C		COD 06 SP 01	ON1 P25C
	COD 02 MG 01	WV2 V25A		COD 06 SP 01	ON2 V25A
	COD 02 MG 01	WV2 V25B		COD 06 SP 01	ON2 V25B
	COD 02 MG 01	WV2 V25C		COD 06 SP 01	ON2 V25C
	COD 02 MG 01	WV3 L25A		COD 06 SP 01	ON3 L25A
	COD 02 MG 01	WV3 L25B		COD 06 SP 01	ON3 L25B
	COD 02 MG 01	WV3 L25C		COD 06 SP 01	ON3 L25C
<b>LAB 005</b>	COD 02 MG 02	WV1 P25A	<b>LAB 011</b>	COD 08 SP 01	ON1 P25A
	COD 02 MG 02	WV1 P25B		COD 08 SP 01	ON1 P25B
	COD 02 MG 02	WV1 P25C		COD 08 SP 01	ON1 P25C
	COD 02 MG 02	WV2 V25A		COD 08 SP 01	ON2 V25A
	COD 02 MG 02	WV2 V25B		COD 08 SP 01	ON2 V25B
	COD 02 MG 02	WV2 V25C		COD 08 SP 01	ON2 V25C
	COD 02 MG 02	WV3 L25A		COD 08 SP 01	ON3 L25A
	COD 02 MG 02	WV3 L25B		COD 08 SP 01	ON3 L25B
	COD 02 MG 02	WV3 L25C		COD 08 SP 01	ON3 L25C
<b>LAB 006</b>	COD 03 MG 01	WV1 P25A	<b>LAB 012</b>	COD 07 SP 01	ON1 P25A
	COD 03 MG 01	WV1 P25B		COD 07 SP 01	ON1 P25B
	COD 03 MG 01	WV1 P25C		COD 07 SP 01	ON1 P25C
	COD 03 MG 01	WV2 V25A		COD 07 SP 01	ON2 V25A
	COD 03 MG 01	WV2 V25B		COD 07 SP 01	ON2 V25B
	COD 03 MG 01	WV2 V25C		COD 07 SP 01	ON2 V25C
	COD 03 MG 01	WV3 L25A		COD 07 SP 01	ON3 L25A
	COD 03 MG 01	WV3 L25B		COD 07 SP 01	ON3 L25B
	COD 03 MG 01	WV3 L25C		COD 07 SP 01	ON3 L25C

## **6.8 OS ENSAIOS DE REFERÊNCIA**

Os ensaios de referência foram produzidos nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia com o objetivo de estabelecer a faixa de resultados admissíveis para os ensaios à compressão realizados pelos laboratórios avaliados. As datas de sua aplicação correspondem com aquelas pertinentes aos ensaios à compressão efetivados pelos laboratórios analisados, tendo sido os seus procedimentos, rigorosamente controlados. Para o seu desenvolvimento foram perpetradas ações de controle a seguir hifenizadas.

- determinação das massas dos corpos-de-prova em balança analítica;
- determinação das dimensões básicas dos corpos-de-prova, incluindo as medidas de diâmetros e alturas para verificação das dimensões padrão de todas as unidades de análises experimentais;
- aplicação de capeamento em enxofre considerando a regularização da superfície dos corpos-de-prova segundo os preceitos normalizados;
- a calibração do equipamento com célula de carga por técnico responsável por sua operação;
- a avaliação dos diagramas tensão-deformação do concreto.

Na idade de 28 dias, após o preparo dos corpos-de-prova retirados do tanque de cura, foi realizado o primeiro ensaio de referência. Seu objetivo restringiu-se a confirmação dos parâmetros fixados na condição inicial de planejamento. Com os seus resultados foi possível avaliar se as estratégias estabelecidas em busca da similaridade dos corpos-de-prova atingiram resultados favoráveis durante o processo de moldagem. Os ensaios realizados em conformidade com as orientações da ABNT NBR 5739: 2007 em uma máquina da linha digital da marca EMIC, modelo DL60000, monitorada por um sistema de controle de dados tipo Tesc – Versão 3.01 – com método de ensaio à compressão com velocidade constante, calibrada convenientemente no início dos ensaios referenciais, responderam favoravelmente a esta questão.

A preparação dos corpos-de-prova para a realização dos ensaios mecânicos de referência incluiu o capeamento dos topes com a aplicação de revestimento de enxofre derretido, com objetivo de regularizar suas superfícies de forma a distribuir uniformemente a força

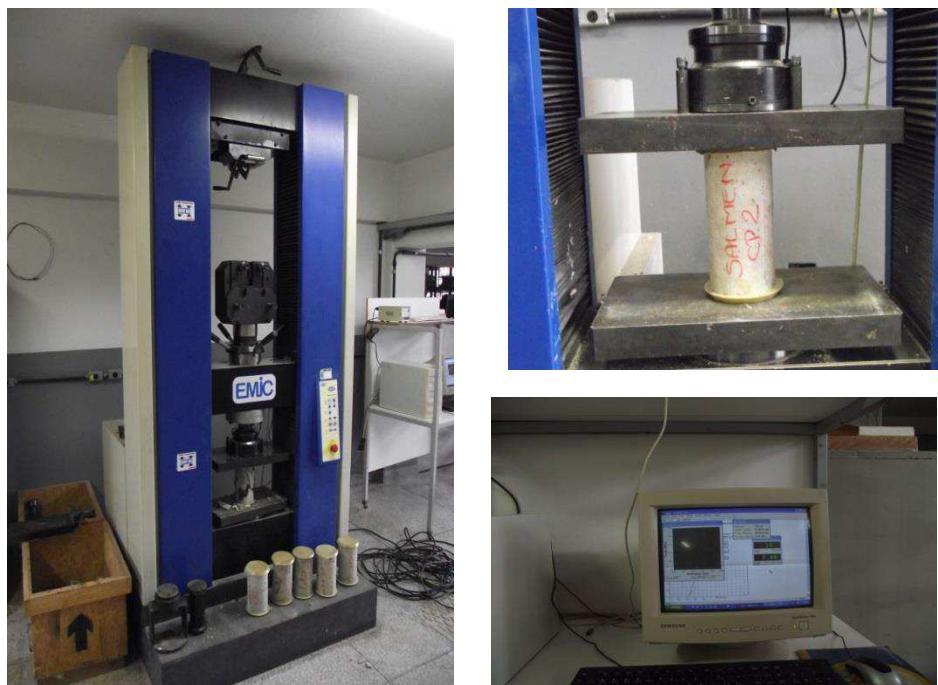
## **Capítulo 6 – Programa experimental**

durante o ensaio de resistência à compressão. A Figura 21 destaca a determinação das massas dos corpos-de-prova e o resultado da aplicação de capeamento de enxofre durante o desenvolvimento dos ensaios de referência. A Figura 22 mostra o equipamento utilizado para a realização dos ensaios de referência.

Figura 21- Preparo dos corpos-de-prova para ensaio de referência



Figura 22 - Equipamento utilizado no ensaio de referência



Nos Quadros 19 e 20 foram resumidas as ações estruturadas para os trabalhos de moldagem dos corpos-de-prova e execução dos ensaios de referência com a apresentação das justificativas do procedimento adotado.

## Capítulo 6 – Programa experimental

Quadro 19 - Configuração do procedimento experimental – moldagem dos corpos-de-prova

	<b>Item</b>	<b>Exigências</b>	<b>Justificativa</b>
CONCRETO	Origem	Produzido em central	Uniformidade do volume de concreto utilizado
	Volume	Garantir a completa moldagem e ensaios e atender as condições mínimas de operação do caminhão betoneira.	Uniformidade de volume de concreto utilizado
	$f_{ck}$	Estrutural. Obras Correntes sem especificação nominal	Sigilo experimental
	Relação água/cimento	$0,38 < a/c < 0,5$	Trabalhabilidade
	Tempo de transporte	Não exceder a 15 minutos	Tempo de início de pega
	Uniformidade	Garantir a uniformidade de sua massa durante o transporte e mistura no caminhão betoneira.	Uniformidade dos corpos-de-prova
CORPOS-DE-PROVA	Início de pega	Incorporar retardador de pega para garantir a efetiva moldagem dos corpos-de-prova em condições de igualdade.	Tempo necessário à moldagem dos corpos-de-prova
	Quantidade	140 unidades	Imposições estatísticas de amostragem.
	Dimensão	10 cm x 20 cm	Obras correntes
	Medidas Tolerâncias	1% para os valores relativos ao diâmetro 2% para os valores relativos à sua altura	Condições de tolerância previstas em norma
FÔRMAS	Estado geral	Verificação minuciosa	
	Condição Geométrica	Os planos das bordas circulares extremas do molde devem garantir a perpendicularidade ao eixo principal	Normalização e garantia da condição de uso.
	Desmoldante	Aplicação cuidadosa e uniforme	
ADENSAMENTO	Tipo	Mecânico	Padronização de adensamento
	Tempo	Estabelecer tempo ideal e padronizar	
MOLDAGEM	Procedimentos	Estruturar a circulação de equipamentos, pessoas, lançamento do concreto e controle de tempo de moldagem.	Padronização de procedimentos para a minimização de riscos
CURA	Tipo	Submersa	Uniformização da cura
	Período	28 dias	

## Capítulo 6 – Programa experimental

Quadro 20 - Configuração do procedimento experimental – equipe e local

Item	Exigências	Justificativa	
EQUIPE	Palestra técnica para capacitação	Padronização de procedimentos para a minimização de riscos	
	Treinamento		
	Simulação		
LOCAL	Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil da Fundação Educacional de Barretos		
	Princípios normativos quanto ao ambiente propício à moldagem dos corpos-de-prova.		

O Quadro 21 apresenta os parâmetros dos ensaios de referência em seus principais tópicos de ocorrência e verificação.

Quadro 21 - Parâmetros dos ensaios de referência

Local	Laboratório de Estruturas – Faculdade Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia.
Ensaios	À compressão
Idades:	28 dias (Referência zero) Onda 1 (63 dias) Onda 2 (65 dias) Onda 3 (70 dias)
Tratamento	Capeamento – Enxofre Medida de massa: sim Medidas de diâmetro: sim Medidas de altura: sim
Equipamento	Máquina: <b>Emic DL60000</b> Programa: <b>Tesc versão 3.01</b> Método de Ensaio: <b>Força de compressão constante</b> Calibragem: Sim

## 6.9 OS ENSAIOS NAS ONDAS DE AVALIAÇÃO

A Figura 23 apresenta o fluxograma do encaminhamento da realização de ensaios nos laboratórios avaliados. Nas idades definidas para a avaliação, 63 dias, 65 dias e 70 dias, três corpos-de-prova foram ensaiados por cada um dos laboratórios. A análise de seus resultados constitui-se o tema principal deste trabalho.

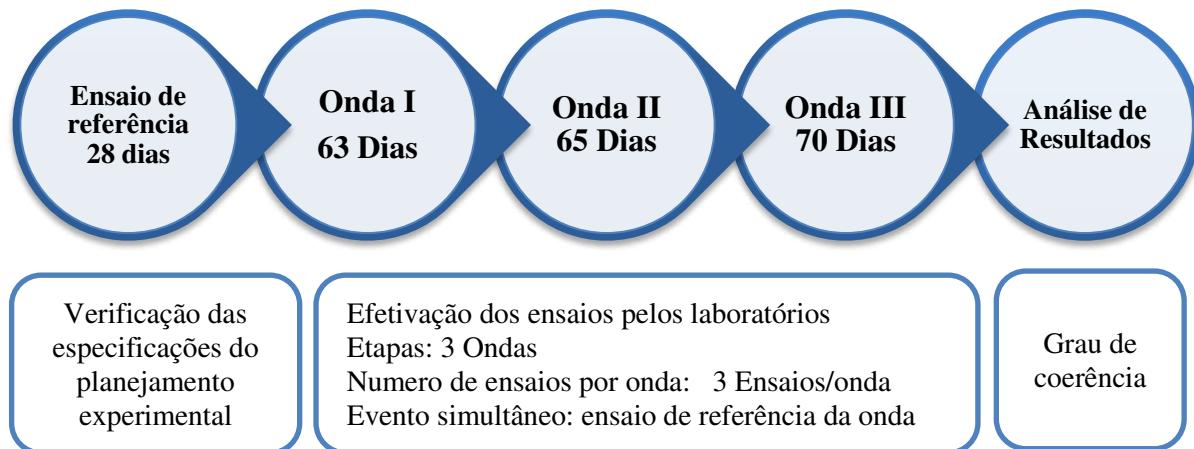
## Capítulo 6 – Programa experimental

---

Com os seus resultados serão trabalhadas as questões que motivaram o desenvolvimento desta pesquisa. Para a sua avaliação serão consideradas as respostas efetivamente apresentadas por seus relatórios de ensaio.

Os procedimentos de cada ensaio são de responsabilidade exclusiva de cada um dos agentes executores das medições.

Figura 23 - Ensaios nas ondas de avaliação



# **CAPÍTULO 7**

## **R ESULTADOS E A NÁLISES**

Neste capítulo são apresentados os itens que compilam o tratamento dos resultados do procedimento experimental. Sua abordagem principal está alicerçada na aplicação dos ensaios de referência. De forma complementar são aplicadas técnicas alternativas para analisar os resultados e estabelecer a verificação do grau de confiabilidade dos ensaios à compressão do concreto.

### **7.1 MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE RESULTADOS**

As análises da confiabilidade dos ensaios à compressão do concreto foram basicamente desenvolvidas a partir dos conceitos delineados para os ensaios de referência. Com intuito de tornar confiáveis as suas constatações, sequencialmente, foram estruturadas outras formas de análise, cujas descrições para efeito de redação, foram posicionadas, nos itens pertinentes. Foram desenvolvidos estudos comparativos e análises estatísticas para verificar o comportamento dos laboratórios. O objetivo foi compreender de forma mais localizada os focos de dispersão de resultados enquanto agentes indutores da confiabilidade dos ensaios à compressão. A Figura 24 apresenta a sequência de abordagem.

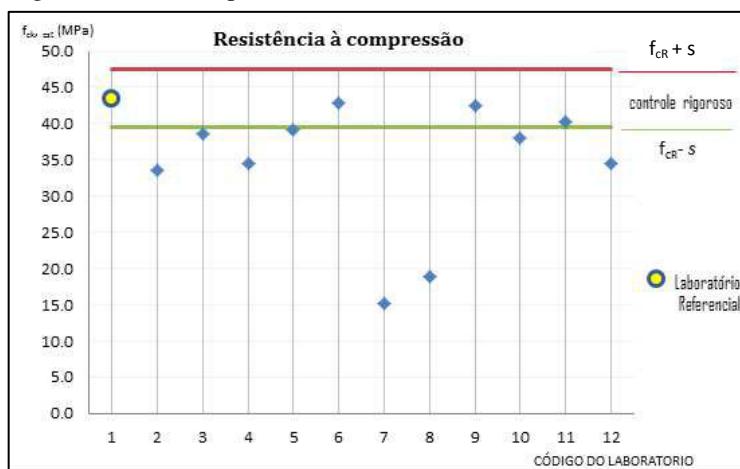
Figura 24 - Processo de avaliação de resultados



## 7.2 A CONFIABILIDADE PELOS ENSAIOS DE REFERÊNCIA

A análise da confiabilidade pela técnica dos ensaios de referência considerou os preceitos da ABNT NBR 12655:2006 naquilo que se refere à proposta do valor da resistência do concreto para a sua dosagem. Por seus fundamentos normativos, a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalecentes durante a construção das estruturas de concreto sendo esta variabilidade medida pelo desvio-padrão,  $s_d$ , levada em conta no cálculo da resistência de dosagem. O método de análise assumiu a condição de trabalho representada na Figura 25 e seu desenvolvimento apresentado nos parágrafos seguintes.

Figura 25 – Análise pelo ensaio de referência



- Simultaneamente aos ensaios à compressão pelos laboratórios, foram aplicados os ensaios de referência com o objetivo de estabelecer um padrão de comparação.
- Com os seus resultados foram determinadas as resistências à compressão de referência ( $f_{cR}$ ) na idade correspondente e os limites da faixa de controle por meio da aplicação do valor do desvio padrão referencial normativo de 4,0 MPa, para mais e para menos, e que envolve o controle rigoroso de produção do concreto.
- Com os resultados dos ensaios à compressão dos laboratórios foram verificadas as condições de ocorrência dentro da faixa de resultados de desejáveis.
- Para os resultados dos ensaios de referência, aplicados nas etapas de avaliação, é importante salientar ter sido imposta a condição que os procedimentos experimentais devessem resultar em números que atendessem as condições de desvio padrão previsto

pela ABNT NBR 12655:2006, menores que 4,0 MPa e do limite máximo do coeficiente de variação experimental da ABNT NBR 5739:2007, igual a 6 % .

### **7.2.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE REFERÊNCIA**

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de referência destacando-se as resistências à compressão nas idades previstas e também números pertinentes a cada amostra. Para efeito de registro, são apresentados os números de sua resistência média, desvio padrão, coeficientes de variação de ensaio, os valores máximos e mínimos anotados em cada onda de avaliação e a resistência de referência ( $f_{cR}$ ) definida como padrão de comparação.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de referência

ENSAIOS DE REFERÊNCIA - RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)				
IDADE	28 DIAS	Onda I (63 dias)	Onda II (65 dias)	Onda III (70 dias)
Número de corpos-de-prova	6	3	3	3
Mínimo	37,5	48,9	50,6	51,2
Máximo	47,9	50,6	54,9	55,6
Amplitude	10,4	1,7	4,3	4,4
$f_{cm}$ (MPa)	42,6	50,6	52,1	53,0
Desvio Padrão	3,5	0,9	2,5	2,3
Coeficiente de variação ensaio (%)	8,3	1,9	4,7	4,3
$f_{cR}$ (MPa)	<b>36,0</b>	<b>43,4</b>	<b>45,5</b>	<b>46,4</b>

Pelo ensaio de referência da idade de 28 dias, foi confirmada a condição do valor de resistência desejável do concreto definido para o processo experimental e a eficiência da estratégia adotada para a moldagem dos corpos-de-prova quanto aos procedimentos em busca do estado de uniformidade do objeto de ensaio. Os valores expressos por seus resultados se mostraram significativos e confirmaram a continuidade do processo sem a necessidade de mudança de procedimento exceto para a situação apresentada a seguir.

Na idade de 28 dias, o valor do coeficiente de variação experimental, registrado em 8,3 %, e avaliado como impróprio para a ABNT NBR 5739:2007, tornou necessária uma ação preventiva para aplicação dos ensaios à compressão com o intuito de garantir a qualidade dos ensaios de referência, sendo para tal revisados os fundamentos da aplicação dos

ensaios à compressão. Tal atitude pode ser compreendida pela importância que o ensaio de referência assume no desenvolvimento deste trabalho e pela hipótese da aplicação incorreta do ensaio na idade de 28 dias, uma vez terem sido confirmadas nesta idade as condições de calibração do equipamento para a sua aplicação.

Com os valores de resistência de referência, obtidos pelos ensaios da Onda I, Onda II e Onda III de avaliação, foram extintas todas as incertezas quanto às questões que envolveram o ensaio de referência da idade de 28 dias.

Importante ainda é destacar, que após a retirada dos corpos-de-prova dos tanques de cura e sua secagem, foram avaliadas as massas de cada elemento e verificadas as suas dimensões por meio da utilização de balança e paquímetro digital; sendo nesta oportunidade, inspecionados minuciosamente cada um dos corpos-de-prova, para identificação de eventuais problemas no processo de sua moldagem.

### **7.2.2 VERIFICAÇÕES PELOS ENSAIOS DE REFERÊNCIA**

A Tabela 3 apresenta os registros A, B e C dos ensaios à compressão e as médias dos resultados de cada laboratório L nas ondas de avaliação. Os números do laboratório L01 correspondem às medidas dos ensaios de referência.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios à compressão

Laboratórios	Resistência à compressão (MPa)											
	ONDA 1				ONDA 2				ONDA 3			
	$f_{cj\ 1A}$	$f_{cj\ 1B}$	$f_{cj\ 1C}$	Média	$f_{cj\ 2A}$	$f_{cj\ 2B}$	$f_{cj\ 2C}$	Média	$f_{cj\ 3A}$	$f_{cj\ 3B}$	$f_{cj\ 3C}$	Média
<b>L01</b>	50,6	50,6	48,9	50,6	50,7	50,6	54,9	52,1	51,2	52,4	55,6	53,0
<b>L02</b>	41,3	45,7	33,3	40,1	36,3	47,7	46,8	43,6	46,3	47,1	46,1	46,5
<b>L03</b>	46,9	44,4	44,1	45,1	45,3	46,7	47,0	46,3	40,1	39,8	30,3	36,7
<b>L04</b>	40,7	41,1	41,3	41,0	42,2	43,1	43,4	42,9	44,7	44,9	45,1	44,9
<b>L05</b>	45,4	46,8	44,9	45,7	46,0	47,1	44,9	46,0	44,8	45,3	46,2	45,4
<b>L06</b>	55,9	39,2	53,2	49,4	50,7	50,1	49,7	50,2	55,0	34,8	49,4	46,4
<b>L07</b>	22,3	21,3	21,7	21,8	26,8	24,2	23,9	25,0	21,9	22,3	22,7	22,3
<b>L08</b>	25,9	25,0	25,5	25,5	28,0	25,7	26,8	26,8	27,0	28,5	26,5	27,3
<b>L09</b>	49,5	50,2	47,4	49,0	50,4	44,9	46,3	47,2	47,5	47,7	47,5	47,6
<b>L10</b>	42,6	44,0	47,0	44,5	50,8	45,4	50,8	49,0	54,5	52,7	49,0	52,1
<b>L11</b>	45,5	47,6	47,6	46,9	49,8	49,9	46,8	48,8	49,8	50,1	50,5	50,1
<b>L12</b>	37,0	44,1	42,3	41,1	49,4	46,8	42,3	46,1	49,4	46,8	37,0	44,4

### **7.2.2.1 ONDA I**

Na Tabela 4 foram registrados os resultados dos ensaios à compressão realizados na idade de 63 dias, Onda I de avaliação; foram anotados os resultados do ensaio de referência na idade, e do conjunto de laboratórios avaliados.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios - Onda I

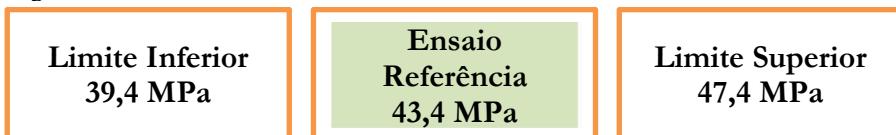
Idade	CP	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
Valores em MPa 63 dias	CP1	50,6	41,3	46,9	40,7	45,4	55,9	22,3	25,9	49,5	42,6	45,5	36,9
	CP2	50,6	45,7	44,4	41,1	46,8	39,2	21,3	25,0	50,2	44	47,6	44,0
	CP3	48,9	33,3	44,1	41,3	44,9	53,2	21,7	25,5	47,4	47	47,6	42,2
	$f_{cm}$	50,6	40,1	45,1	41,0	45,7	49,4	21,8	25,5	49,0	44,5	46,9	41,1
	$s_d$	0,9	6,3	1,5	0,3	1,0	9,0	0,5	0,5	1,5	2,2	1,2	3,7
	$f_{ck,est}$	43,4	33,5	38,5	34,4	39,1	42,8	15,2	18,9	42,4	37,9	40,3	34,5
$C_{ve} (%)$		1,9	15,7	3,4	0,7	2,2	18,1	2,3	1,8	3,0	5,0	2,6	9,0

Com estes resultados de resistência à compressão, foram determinados os valores da resistência característica estimada do concreto à compressão e do coeficiente de variação experimental do ensaio para cada laboratório, sendo os números de L01 pertinentes à condição de laboratório de referência.

A resistência à compressão do concreto anotada em 43,4 MPa para L01 como resistência à compressão de referência ( $f_{cr}$ ) e o valor do coeficiente de variação experimental igual a 1,9% atendem as condições limitadoras de valores de resistência desejável fixada em 40,0 MPa por ocasião da moldagem dos corpos-de-prova e aquelas pertinentes aos limites do coeficiente de variação experimental da ABNT NBR 5739:2007.

Para esta onda de avaliação a faixa de valores admissíveis para a verificação dos resultados de cada um dos laboratórios avaliados foi indicada na Figura 26, estando os seus limites atrelados ao desvio padrão de dosagem, igual a 4,0 MPa.

Figura 26 –Faixa de valores admissíveis – Onda I



Com a faixa de valores admissíveis foi avaliado o grau de confiabilidade dos ensaios à compressão realizados por cada um dos laboratórios por meio do posicionamento relativo

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

expresso na Figura 27 e de maneira complementar com o percentual de discrepância relativa apresentados na Tabela 5 e Figura 28.

Figura 27 - Posicionamento relativo dos resultados dos laboratórios – Onda I

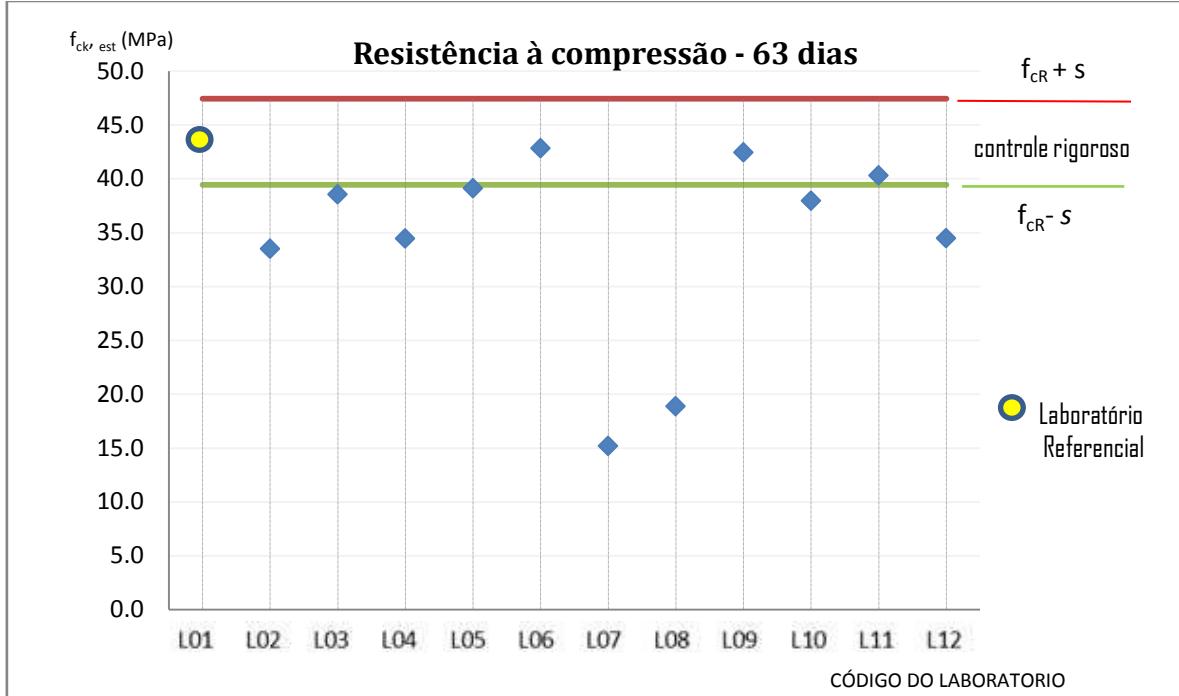
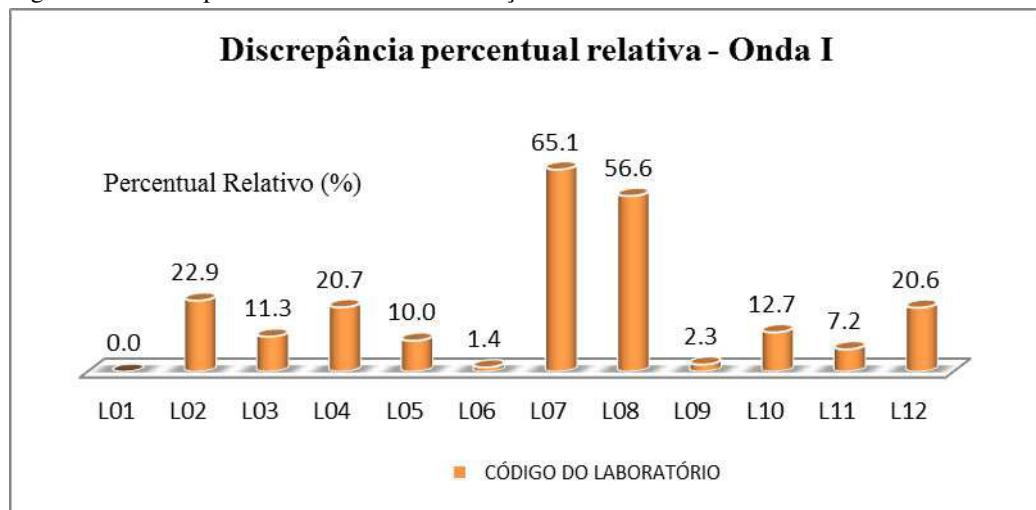


Tabela 5 - Discrepância percentual relativa - Onda I

Onda 1 – Valores de $f_{ck, est}$ e discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência												
Laboratório	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
$f_{ck, est}$ 63 (MPa)	43,4	33,5	38,5	34,4	39,1	42,8	15,2	18,9	42,4	37,9	40,3	34,5
Variação (%)	0,0	22,9	11,3	20,7	10,0	1,4	65,1	56,6	2,3	12,7	7,2	20,6

Observando estes resultados é possível constatar que os números apresentados por uma parcela considerável dos laboratórios encontram-se acentuadamente dispersos do resultado fixado como referência ficando fora da faixa admissível de análise de confiabilidade e cujo elemento regulador é o desvio padrão normativo 4,0 MPa fixado para o controle rigoroso da produção do concreto. Nesta observação, é importante destacar que a faixa de valores admissíveis estabelecida a partir do ensaio de referência para mais e para menos de seu valor médio equivale, para fins comparativos, a 10% da resistência característica estimada à compressão do concreto e definida em 40 MPa para a moldagem dos corpos-de-prova.

Figura 28 - Discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência - Onda I



Assim, no contexto das análises de resultados desta onda de avaliação deve-se observar que os resultados dos laboratórios L06, L09 e L11 apresentaram resultados significativos, para a faixa de valores admissíveis, entretanto pelo coeficiente de variação experimental, o resultado de L06, foi classificado como “deficiente” pela ABNT NBR 5739:2007.

Pela Onda I de avaliação os resultados de L09 e L11 atenderam satisfatoriamente as imposições da faixa de valores admissíveis e de seus coeficientes de variação experimental sendo confiáveis, portanto os seus resultados. A discrepância percentual relativa ao ensaio de referência não excedeu a 10 % e os valores resultantes de seus ensaios, compatíveis com os resultados do ensaio de referência.

De forma geral os resultados dos demais laboratórios encontram-se comprometidos quanto a sua confiabilidade, ora pela ocorrência de valores fora da faixa admissível, com excessiva discrepância percentual relativa, ora por comprometimento de seu coeficiente de variação experimental.

Os resultados de L02 e L12 encontram-se fora da faixa de valores desejáveis e os seus coeficientes de variação experimental tornaram seus resultados, não confiáveis. A taxa de discrepância percentual relativa ao ensaio de referência é excessivamente alta e equivalente entre si, na faixa de 20% superior ao ensaio de referência.

Os resultados dos laboratórios L03, L04, L05 e L10, apresentaram um coeficiente de variação experimental satisfatório de acordo com a ABNT NBR 5739:2007, estando,

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

entretanto os seus resultados posicionados fora da faixa admissível, fato este que configura por esta razão em uma condição de comprometimento de resultados em relação à sua confiabilidade.

A indicação favorável de um coeficiente de variação experimental não garante a qualidade dos resultados de um laboratório, apenas a uniformidade da aplicação do método de ensaio.

A maior discrepância de resultados foi apresentada por L07, embora seu coeficiente de variação experimental tenha registrado a condição de “excelência”, situação esta também registrada para L08. As variações percentuais relativas desses laboratórios são excessivamente discrepantes para a condição de confiabilidade de resultados.

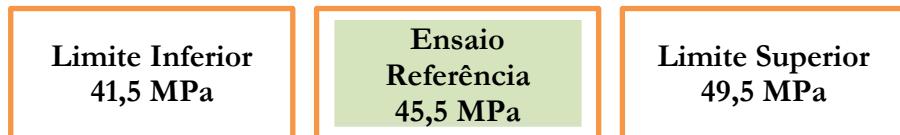
### 7.2.2.2 ONDA II

Os dados da Onda II foram registrados na Tabela 6 e a faixa de valores admissíveis na Figura 29. Para esta idade, resistência à compressão de referência ( $f_{cR}$ ), determinada pelo ensaio de referência, registrou o valor de 45,5 MPa; ficando a faixa de valores de resistência desejáveis para a avaliação da coerência dos resultados limitados em 41,5 MPa para seu limite inferior e 49,5 MPa para seu limite superior.

Tabela 6 - Resultados ensaios – Onda II

Idade		CP	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
Valores em MPa	65 dias	CP1	50,7	36,3	45,3	42,2	46	50,7	26,8	28	50,4	50,8	49,8	49,4
		CP2	50,6	47,7	46,7	43,1	47,1	50,1	24,2	25,7	44,9	45,4	49,9	46,8
		CP3	54,9	46,8	47,0	43,4	44,9	49,7	23,9	26,8	46,3	50,8	46,8	42,3
	$f_{cm}$	52,1	43,6	46,3	42,9	46,0	50,2	25,0	26,8	47,2	49,0	48,8	46,1	
		s	2,5	6,3	0,9	0,6	1,1	0,5	1,6	1,2	2,9	3,1	1,8	3,6
	$f_{ck,est}$	45,5	37,0	39,7	36,3	39,4	43,6	18,4	20,2	40,6	42,4	42,2	39,5	
$C_{ve} (%)$		4,7	14,5	2,0	1,5	2,4	1,0	6,4	4,3	6,1	6,4	3,6	7,8	

Figura 29 - Faixa de valores admissíveis – Onda II



Na Figura 30 foi representado o posicionamento relativo dos laboratórios na Onda II estando as discrepâncias percentuais relativas apresentadas na Tabela 7 e Figura 31.

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Figura 30 - Posicionamento relativo dos resultados dos laboratórios – Onda II

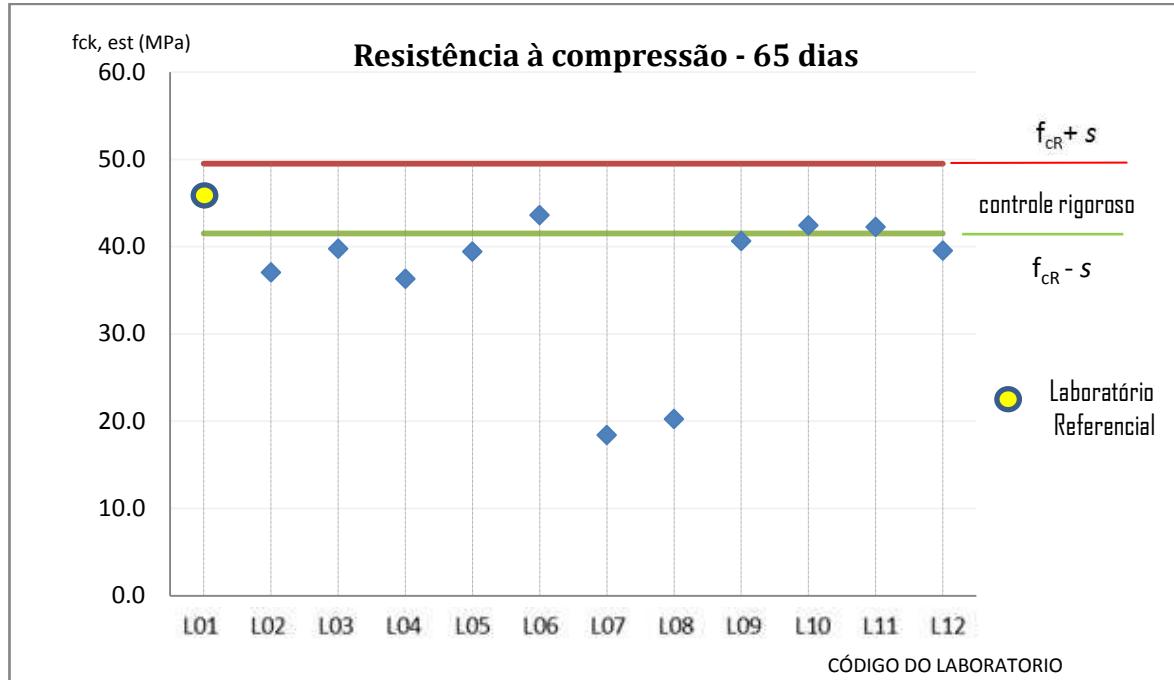
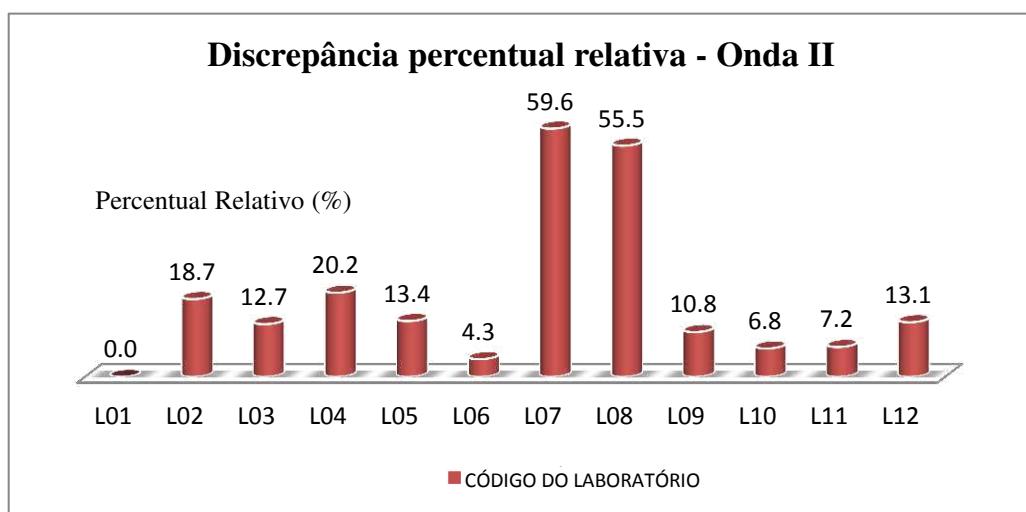


Tabela 7 - Discrepância percentual relativa - Onda II

Onda 2 – Valores de f <sub>ck</sub> e discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência												
Laboratório	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
f <sub>ck, est</sub> 65 (MPa)	45.5	37.0	39.7	36.3	39.4	43.6	18.4	20.2	40.6	42.4	42.2	39.5
Variação (%)	0,0	18,7	12,7	20,2	13,4	4,3	59,6	55,5	10,8	6,8	7,2	13,1

Figura 31- Discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência - Onda II



Nesta onda de avaliação, os laboratórios L06 e L11 voltaram a expressar os resultados de seus ensaios à compressão de maneira desejável, tendo apresentado L06, uma melhora considerável no coeficiente de variação experimental. Os valores registrados para este coeficiente, em 18,1%, na Onda I e em 1,0% na Onda II, sugere a ocorrência de erro aleatório de medição por ocasião da aplicação do ensaio na Onda I.

Quanto à variação percentual relativa, registrada na Figura 31, os valores anotados para L06 e L11, confirmaram a condição desejável para o estado de sua confiabilidade. Para o caso específico dos registros de L11 é importante destacar a repetição da taxa relativa de discrepância na Onda I e Onda II, e registrada nas duas etapas de avaliação em 7,2% dos valores expressos pelo ensaio de referência.

Na Onda II de avaliação os resultados de L02 indicaram uma condição inadequada para o desenvolvimento de seus ensaios. Posicionado fora da faixa de valores desejáveis, com coeficiente de variação experimental inadequado pelos preceitos da ABNT NBR 5739:2007 e taxa percentual relativa de discrepância em relação ao ensaio de referência, os resultados deste laboratório foram considerados não confiáveis.

Na mesma faixa de valores da resistência característica estimada expressa pelo laboratório L02, entretanto com coeficientes de variação experimental classificado como aceitáveis segundo a análise da ABNT NBR 5739:2007, os laboratórios L03, L04 e L05, apresentaram resistência característica estimada fora do intervalo desejável, constituindo por esta razão os seus resultados, inconsistentes quanto à questão de sua confiabilidade.

A maior discrepância de resultados, para a resistência característica estimada à compressão do concreto, na Onda II foi novamente registrada para L07. Com um valor de coeficiente de variação experimental igual a 6,4 %, e classificado como “deficiente” segundo os preceitos da NBR 5739:2007, seus resultados se mostraram da mesma forma que na Onda I, não confiáveis.

Da mesma forma inconsistente, os resultados do laboratório L08, cujo coeficiente de variação experimental se adequou às imposições normativas, fizeram os resultados deste laboratório, da mesma forma, muito comprometidos. Neste sentido, vale retomar as observações anteriores acerca do papel do coeficiente de variação experimental enquanto parâmetro verificador da condição de uniformidade dos resultados experimentais.

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Na Onda II, o resultado de L09 considerado como “deficiente” pelo coeficiente de variação experimental e também pela análise do ensaio de referência, apresentou a média de suas medidas de forma muito próxima ao limite inferior da faixa de valores desejáveis; condição esta muito provavelmente justificada, pela variabilidade de seus resultados, expressa pelo coeficiente de variação experimental registrado em 6,4 % de acordo com os preceitos de determinação da ABNT NBR 5739:2007.

Quanto ao laboratório L10, este apresentou um resultado compatível com os números do ensaio de referência. Com números praticamente idênticos a L11 para os valores de resistência característica estimada, seus resultados foram posicionados na faixa de valores admissíveis, entretanto com uma avaliação insatisfatória do coeficiente de variação experimental.

Repetindo as condições de avaliação da Onda I o laboratório L12 apresentou valores de resistência à compressão e coeficiente de variação de ensaio acima dos limites considerados aceitáveis e uma taxa de discrepância percentual relativa ao ensaio de referência acima de 10%.

### 7.2.2.3 ONDA III

A Tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios à compressão do concreto na Onda III de avaliação.

Tabela 8 - Resultados ensaios – Onda III

Idade		CP	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
Valores em MPa	70 dias	CP1	51,2	46,3	40,1	44,7	44,8	55,0	21,9	27,0	47,5	54,5	49,8	49,4
		CP2	52,4	47,1	39,8	44,9	45,3	34,8	22,3	28,5	47,7	52,7	50,1	46,8
		CP3	55,6	46,1	30,3	45,1	46,2	49,4	22,7	26,5	47,5	49,0	50,5	37,0
	$f_{cm}$	53,0	46,5	36,7	44,9	45,4	46,4	22,3	27,3	47,6	52,1	50,1	44,4	
		s	2,3	0,5	5,6	0,2	0,7	10,4	0,4	1,0	0,1	2,8	0,4	6,5
	$f_{ck,est}$	46,4	39,9	30,1	38,3	38,8	39,8	15,7	20,7	41,0	45,5	43,5	37,8	
$C_{Ve} (%)$		4,3	1,1	15,2	0,4	1,6	22,5	1,8	3,8	0,2	5,4	0,7	14,8	

Para esta idade, a resistência à compressão de referência ( $f_{cR}$ ), determinada pelo laboratório L01, registrou um valor igual a 46,4 MPa. Os limites mínimos e máximos admissíveis, e iguais a 42,4 MPa e 50,4 MPa, foram registrados na Figura 32.

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Figura 32 - Faixa de valores admissíveis – Onda III



Na Figura 33 foi apresentado o posicionamento relativo dos laboratórios na Onda III. Os valores correspondentes a variação percentual relativa estão registrados na Tabela 9 e na Figura 34.

Figura 33 - Posicionamento relativo dos resultados dos laboratórios – Onda III

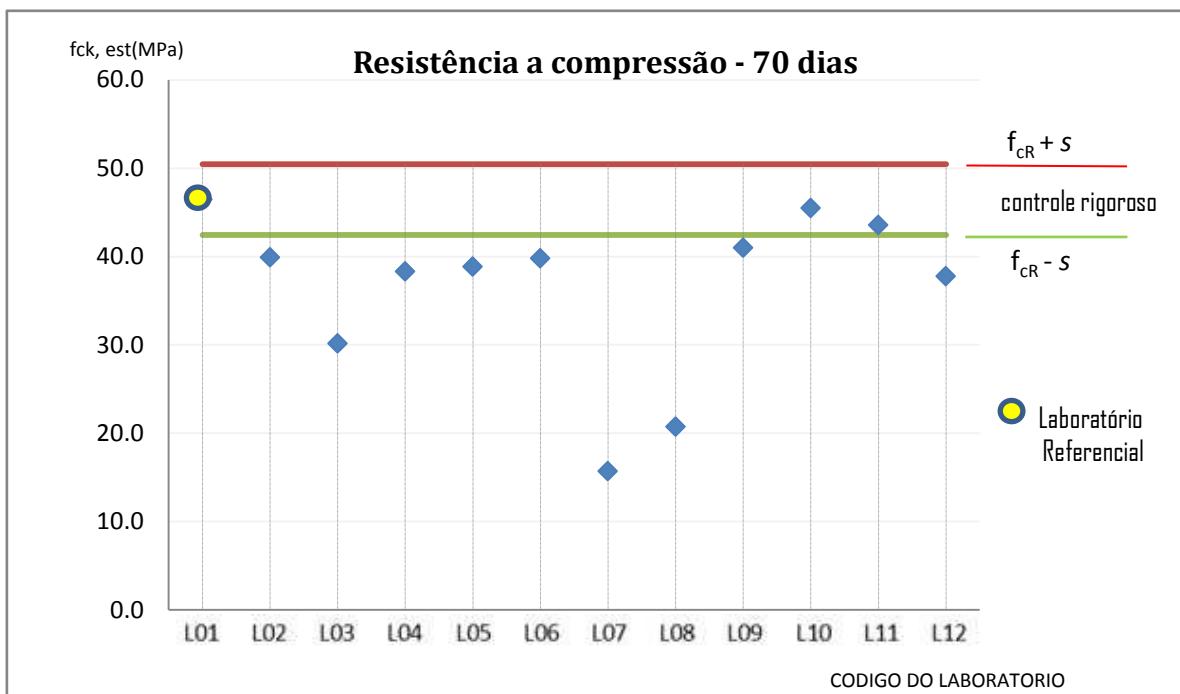


Tabela 9 - Discrepância percentual relativa - Onda III

Onda 3 – Valores de $f_{ck,est}$ e discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência												
Laboratório	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
$f_{ck,est}$ 70 (MPa)	46,4	39,9	30,1	38,3	38,8	39,8	15,7	20,7	41,0	45,5	43,5	37,8
Variação (%)	0,0	14,1	35,1	17,5	16,4	14,3	66,2	55,4	11,8	2,1	6,3	18,7

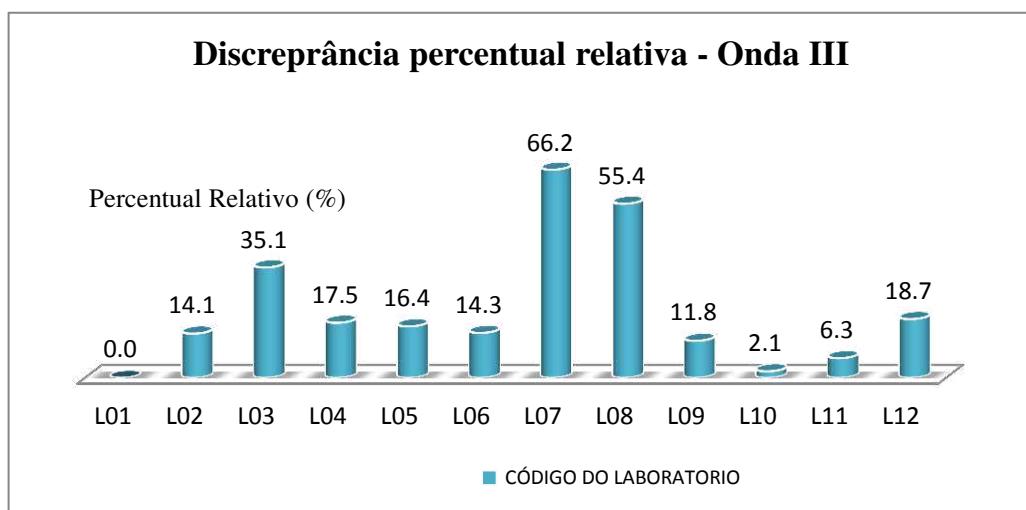
Na Onda III o posicionamento relativo de L11 confirmou o seu desempenho nas ações pertinentes a aplicação dos ensaios à compressão do concreto. Repetindo o grau de eficiência das etapas anteriores, com um coeficiente de variação experimental igual a

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

0,7%, considerado “excelente” pela avaliação da ABNT NBR 5739:2007, este laboratório condicionou por meio desta onda, uma posição altamente significativa para a avaliação da confiabilidade de seus resultados.

Com uma dispersão igual a 6,3% relativamente ao ensaio de referência da Onda III, confirmou, por meio deste resultado e de seus resultados anteriores, registrados repetidamente em 7,2%, a sua condição de laboratório gerador de resultados uniformes e confiáveis, quando julgado pelas três ondas de avaliação.

Figura 34- Discrepância de resultados em relação ao ensaio de referência - Onda III



O laboratório L10 posicionado na faixa de valores desejáveis, praticamente repetiu seu desempenho da Onda II, com uma pequena melhora de resultado nas ações verificadas pelo coeficiente de variação experimental, cujos índices se deslocaram de uma condição completamente indesejável para outra posicionada no limite de atenção. Pela análise minuciosa dos valores por ele expressos e com o olhar atendo às suas discrepâncias inclusive aos números pertinentes a taxa de variação relativa ao ensaio referencial, parece evidente que as dispersões verificadas em seus procedimentos têm origem em erros operacionais do processo de medição ocorridos e cujo controle da metodologia operacional se constitui procedimento eficaz para a sua redução. Os resultados compatíveis com o valor de referência, entretanto em algumas etapas discrepantes sinalizam esta condição. Os números resultantes de suas medições na Onda II e Onda III, em contraponto com aqueles oriundos da Onda I, e os coeficientes de variação experimental, justificam tal afirmação, caracterizando os seus resultados, portanto, como parcialmente confiáveis.

Para o laboratório L09, os resultados expressos na Onda III apresentaram-se muito próximos do limite inferior da faixa de resistências desejáveis, com um coeficiente de variação experimental considerado “excelente” pela ABNT NBR 5739:2007. Posicionado em região externa à faixa de controle, assim como na Onda II, e de forma oposta na Onda I, os resultados classificados como não confiáveis podem ser justificados pela sistematização de erros do processo, uma vez estarem alguns de seus valores inseridos nos limites das faixas de valores admissíveis ou muito próximos desta. A ocorrência de erros aleatórios, com muita probabilidade não explicam tais situações.

Na Onda III, L07 e L08 confirmam a condição de resultados dispersos, ainda que os coeficientes de avaliação experimental tenham sinalizado posições favoráveis. As dispersões por eles apresentadas justificam de forma inquestionável a classificação a eles imposta, de geradores de resultados não confiáveis e comprometedores.

Na Onda III, o laboratório L12 apresentou pela terceira vez consecutiva: valor de resistência característica estimada fora da faixa de controle, coeficiente de avaliação experimental deficiente pela ABNT NBR 5739:2007 e variação percentual relativa excessiva; condição esta que fizeram não confiáveis os seus resultados.

Nesta Onda III o resultado de L06 foi posicionado em região externa a faixa de controle de valores admissíveis contrariamente às posições ocupadas por seus resultados nas Ondas I e II. Com os valores de seus coeficientes de variação experimental é possível justificar a ocorrência de tal situação. Por estes coeficientes na Onda I, registrado em 18,6 %, e Onda III registrado em 22,5% é possível justificar a variabilidade de resultados do laboratório, muito provavelmente explicada pela ocorrência de erros aleatórios de medição provavelmente justificada pelo rigor do processo. Na Onda I o coeficiente de variação experimental ficou registrado em 1,0%.

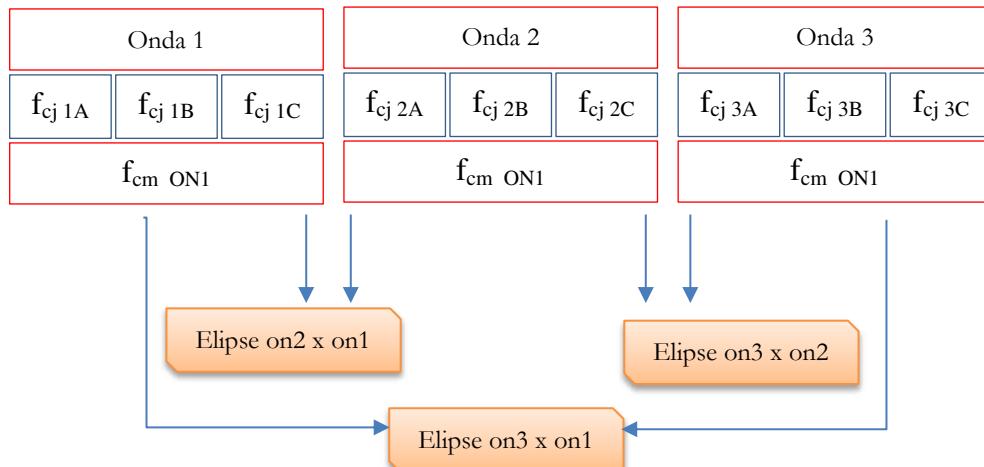
Para os resultados de L02, L03, L04, L05, na Onda III é importante destacar a inadequação dos resultados procedimentais, ainda que constatados casos de ocorrência de valores próximos ao limite inferior da faixa de controle, e também com coeficiente de variação experimental avaliado como “satisfatórios”. Para estes laboratórios, a taxa de variação percentual relativa, considerada inadequada nesta onda de avaliação, contribui conclusivamente para a definição de seus resultados como “não confiáveis”.

### 7.3 ANÁLISE PELA ELIPSE DE CONFIANÇA

A seguir são apresentados os resultados de avaliações estruturadas por intermédio do processo estatístico da elipse de confiança com o intuito de refinar as conclusões obtidas pelos ensaios de referência.

As elipses de confiança foram construídas em um plano cartesiano em que os pares ordenados representativos dos laboratórios correspondem à associação dos resultados médios dos ensaios à compressão em cada onda de avaliação. A Figura 35 apresenta a estruturação delineada para o processamento dos resultados por este procedimento.

Figura 35 - Elipse de confiança por resultados médios



A associação dos resultados médios representada nas situações específicas da Figura 35 se fez necessária uma vez estar este procedimento condicionado a formação de pares ordenados representativos do laboratório avaliado. Para cada onda de avaliação, o resultado médio de uma série de medidas de um laboratório corresponde a um elemento do par ordenado representativo do laboratório em discussão; sendo geralmente o segundo elemento deste par registrado a partir do eixo das ordenadas e o primeiro, no eixo das abcissas, estando por esta forma, sua nomenclatura designativa relacionada com a simbologia utilizada na linguagem das funções matemáticas.

Neste sentido, e de forma a facilitar a compreensão dos elementos da Figura 35, cuja interpretação estabelece os fundamentos para a análise de seus resultados, se faz interessante observar o exemplo seguinte.

Para o caso da Elipse On2 x On1 indicada na Figura 35, e construída oportunamente nos itens seguintes, deve-se considerar: “para cada laboratório foram associados os valores médios da Onda I com os valores médios da Onda II em um par ordenado que representa este laboratório; e que em conjunto com os demais, constituíram os pontos marcados no gráfico para a análise de sua eficácia por meio de seu posicionamento relativo na elipse de confiança construída On2 x On1”.

Vale destacar que em razão da obrigatoriedade da criação de pares ordenados, os resultados deste processo podem ser analisados por comparações que envolvam etapas distintas por intermédio de um de seus elementos associativos, como por exemplo, o caso da construção de On2xOn1 e da construção de On3xOn1, que mantém a Onda I como elemento comum.

Quanto a sua interpretação é importante salientar que a modificação de qualquer parâmetro exercerá uma influência sobre toda a base de dados; e também relembrar que a divisão da elipse a partir de seu centro, em quatro quadrantes, e em direções que passam por seu centro e pelos valores médios representados em seu eixo cartesiano, permite verificar se a variabilidade representada é aceitável ou insatisfatória. Pontos encontrados nos quadrantes impares representam laboratórios que possam estar incorrendo em erros sistemáticos de medição. Os erros aleatórios devem estar distribuídos de modo uniforme em todos os quadrantes.

### **7.3.1 VERIFICAÇÃO PELA ELIPSE DE CONFIANÇA**

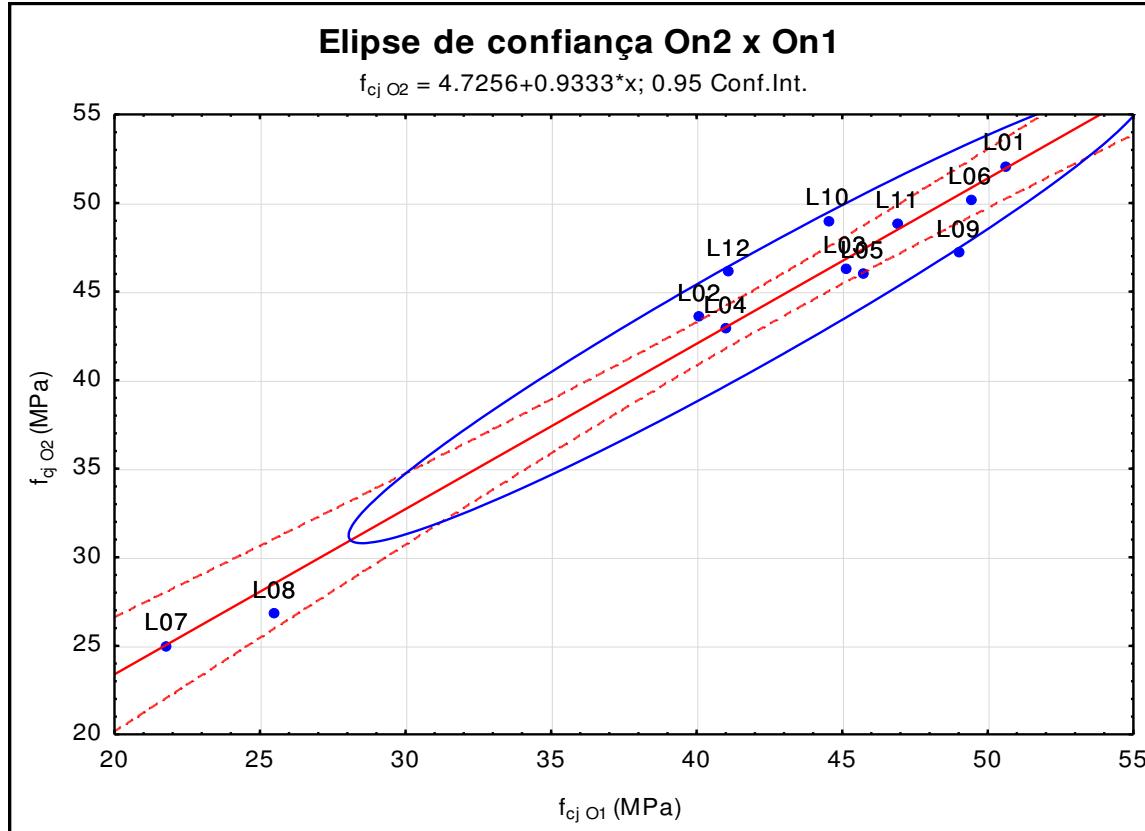
Na elipse de confiança da Figura 36, foram marcados os pares ordenados representativos da associação dos resultados médios dos ensaios à compressão obtidos da Onda I e Onda II. Os parâmetros estatísticos resultantes de seu processamento apresentaram os seguintes valores de referência:

- o par ordenado representativo do centro da elipse traçada com um índice de confiabilidade de 95% está localizado na coordenada (41,6; 43,6) MPa;
- a equação da reta que contém o centro da elipse de confiança, e que expressa o valor da resistência à compressão  $f_c$  na onda e no eixo respectivo é dada por:

$$f_{cjO2} = 4,7256 + 0,9333 * f_{cjO1} \quad \text{Equação (6)}$$

- a inclinação da reta que contém o centro da elipse de confiança foi determinada em um ângulo igual a 43,20° contados a partir do eixo das abscissas, indicando que os erros aleatórios nas duas ondas de avaliação foram praticamente iguais;

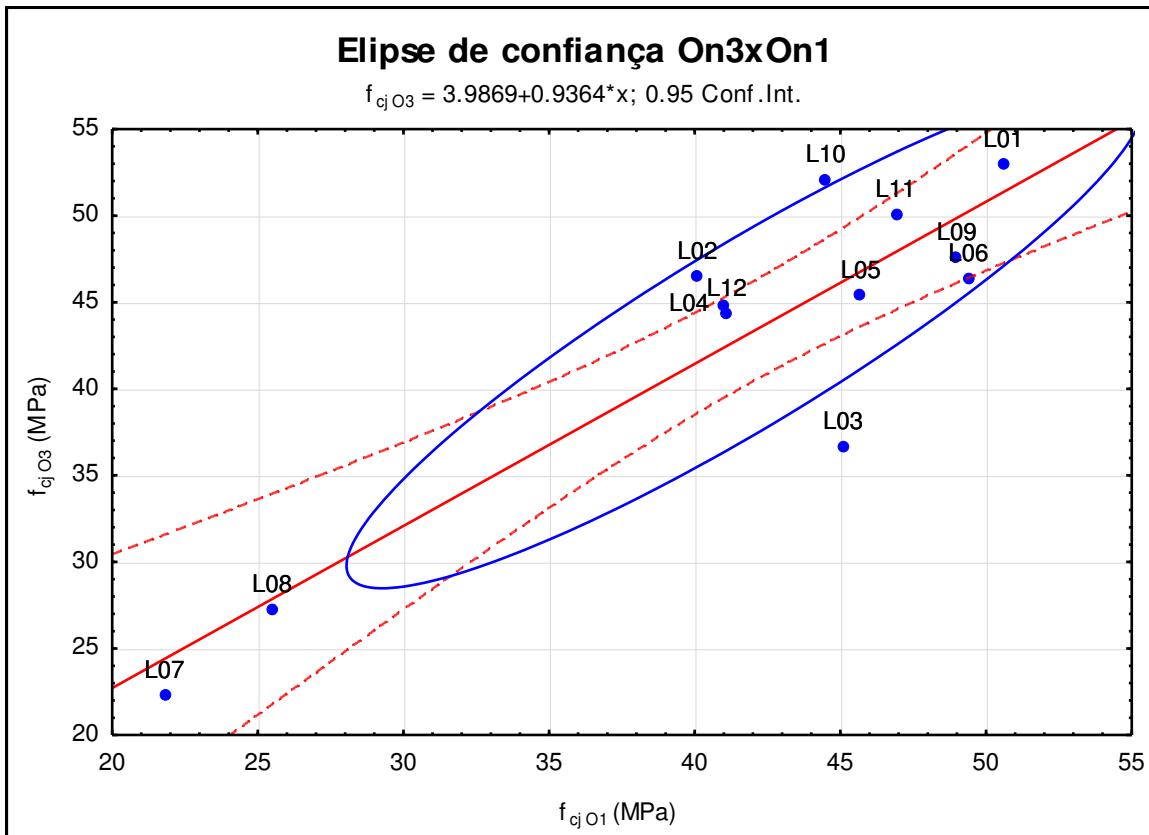
Figura 36- Elipse de confiança On2 x On1



- pela observação das posições relativas dos laboratórios L07 e L08 fica registrada a ocorrência de erros sistemáticos de medição para estes laboratórios, estando os seus resultados comprometidos relativamente a base de dados;
- pela observação das posições limítrofes dos laboratórios L09, L10, L12 ficou registrado um estado de atenção para as dispersões verificadas em seus ensaios. Os resultados de L09 na Onda II exerceram influencia na posição relativa do ponto. Para os resultados de L10 e L12 os resultados da Onda I, constituíram-se seu fator influente;
- os pontos, L01, L04 e L11 estão praticamente marcados sobre a reta que contém o centro da elipse indicando valores pouco dispersos para o conjunto de suas medições ainda que existam fatores influentes capazes de alterar a análise do conjunto.

Na elipse de confiança representada na Figura 37, foram marcados os pares ordenados representativos da associação dos resultados médios dos ensaios à compressão obtidos na Onda I e Onda III.

Figura 37 - Elipse de confiança On3 x On1



- Os parâmetros estatísticos resultantes de seu processamento apresentaram situações muito semelhantes ao tratamento dos resultados do caso On2xOn1.
- o par ordenado representativo do centro da elipse traçada com um índice de confiabilidade de 95% esta localizado na coordenada (41,7; 43,0) MPa;
- a equação da reta que contém o centro da elipse de confiança é dada por:

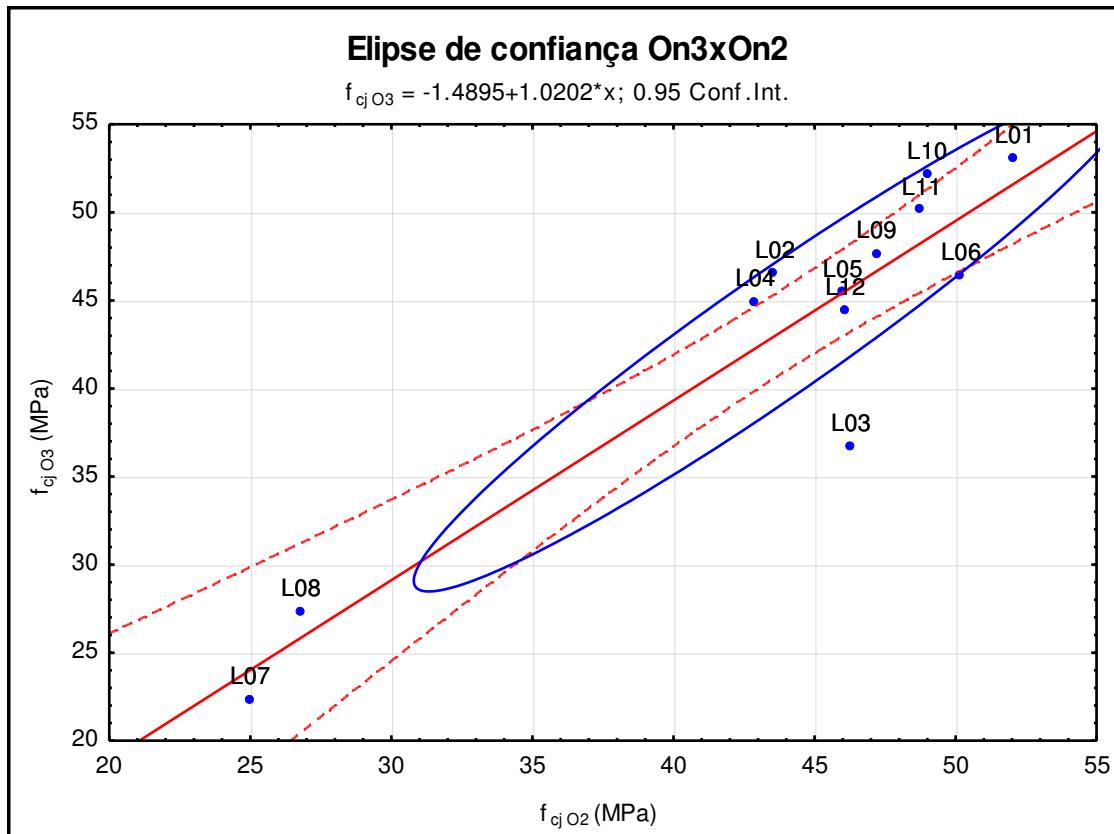
$$f_{cj03} = 3,869 + 0,364 \cdot f_{cj01} \quad \text{Equação (7)}$$

- a inclinação da reta que contem o centro da elipse de confiança foi determinada em um ângulo igual a  $43,12^\circ$  contados a partir do eixo das abscissas, indicando que os erros aleatórios nas duas ondas de avaliação foram praticamente iguais;

- pela observação das posições dos laboratórios L07 e L08 fica registrada a ocorrência de erros sistemáticos de medição, estando seus resultados comprometidos relativamente à base de dados, condição já evidenciada na elipse confiança On2xOn1;
- pela posição limítrofe ocupada pelo laboratório L10, agora em posição externa a elipse, fica confirmada a ocorrência de problemas de medição nos resultados da Onda I, uma vez ser possível por um pequeno incremento de valor de resistência na média correspondente ao eixo das abscissas, reduzir a dispersão verificada;
- os resultados do laboratório L03 se mostraram comprometidos relativamente a base de dados, em função dos resultados oriundos da Onda III.

Na elipse de confiança da Figura 38, foram marcados os pares ordenados representativos da associação dos resultados médios dos ensaios à compressão obtidos da Onda II e Onda III. Seus resultados confirmaram as condições expressas anteriormente, destacando a tendência de alguns laboratórios quanto a sistematização de seus erros.

Figura 38 - Elipse de confiança On3 x On2



Os parâmetros estatísticos resultantes de seu processamento apresentaram os seguintes valores de referência:

- o par ordenado representativo do centro da elipse traçada com um índice de confiabilidade de 95% está localizado na coordenada (43,6 ; 43,0) MPa;
- a equação da reta que contém o centro da elipse de confiança é :

$$f_{cjO3} = -1,4895 + 1,0202 * f_{cjO2} \quad \text{Equação (8)}$$

- a inclinação da reta que contém o centro da elipse de confiança foi determinada em um ângulo igual a 45,57° contados a partir do eixo das abscissas, indicando que os erros aleatórios nas duas ondas de avaliação foram praticamente iguais;
- pela observação das posições relativas dos laboratórios L07 e L08 fica confirmada a ocorrência de erros sistemáticos de medição para estes laboratórios, estando os seus resultados comprometidos relativamente a base de dados; condição esta já evidenciada pelas elipses de confiança On2xOn1 e On3xOn1;
- também em estado de confirmação de resultados inadequados, o laboratório L03, posicionado em região externa da elipse On3xOn2, ratificou a origem de seus resultados não adequados como oriundos da Onda III de avaliação. A dispersão principal de seus resultados relativa ao eixo inclinado da elipse que contém o seu centro comprova esta afirmação.

## **7.4 CONFIABILIDADE PELA ACEITAÇÃO DO CONCRETO**

O controle de aceitação do concreto para a verificação de sua conformidade em relação às definições do projeto estrutural de suas estruturas pode ser efetuado de acordo com as orientações da ABNT NBR 12655:2006. Para tal, o método de avaliação da resistência do concreto deve considerar a definição do número de exemplares que constituem as suas amostras, e para os quais deve corresponder um determinado consumo de concreto para os seus lotes. Define-se lote como sendo o volume de concreto que será avaliado. Deve ser uniforme, corresponder ao mesmo traço e dosado na mesma central. Para cada lote, deve ser obtida uma amostra, com um número de exemplares que respeitem o tipo de controle a ser aplicado e cuja avaliação de resistência pelo corpo-de-prova de concreto engloba dois

procedimentos: o do controle estatístico da resistência por amostragem parcial e do controle por amostragem total.

Assim, para favorecer a compreensão do método adotado para a avaliação da confiabilidade dos ensaios à compressão por meio do procedimento que envolve o controle de aceitação do concreto da ABNT NBR 12655:2006, foram apresentados nos itens a seguir alguns dos procedimentos normalizados:

- definição da extensão do lote que está sendo avaliado considerando-se a identificação do volume de concreto nas mesmas propriedades a serem inferidas estatisticamente por seus ensaios e o rastreamento da amostra no conjunto da obra em que está sendo analisada;
- definição do tipo de amostragem a ser adotada de forma a mapear a posição do concreto de cada amassada;
- definição do tamanho mínimo da amostra, considerando a utilização de 6 exemplares para os concretos do grupo I (Classe até C50) e de 12 exemplares para o grupo II (Classe superiores a C50) e só aplicável na condição de amostragem parcial;
- e, também, a definição do número mínimo de exemplares que permita uma estimativa “confiável” da resistência do lote segundo os preceitos de inferência estatística; normalizados pela ABNT NBR 12655:2006; em cujas orientações, permite para casos excepcionais que a amostra tenha de dois a cinco exemplares nos casos em que fiquem caracterizadas concretagens com volumes inferiores a  $10\text{ m}^3$  de concreto.

#### **7.4.1 VERIFICAÇÃO PELA ACEITAÇÃO DO CONCRETO**

No Quadro 22 foram reapresentados os parâmetros pertinentes a moldagem dos corpos-de-prova para a produção dos ensaios com o objetivo de justificar por uma breve discussão o método adotado em função do número de exemplares, tendo em vista, a condição peculiar que envolveu a moldagem dos corpos-de- prova no desenvolvimento do procedimento experimental.

De acordo com os dados apresentados no Quadro 22 e também em função do disposto na ABNT NBR 12655:2006 foi considerada aceitável e suficiente a condição que os procedimentos para a análise pelo controle de aceitação do concreto fossem desenvolvidos

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

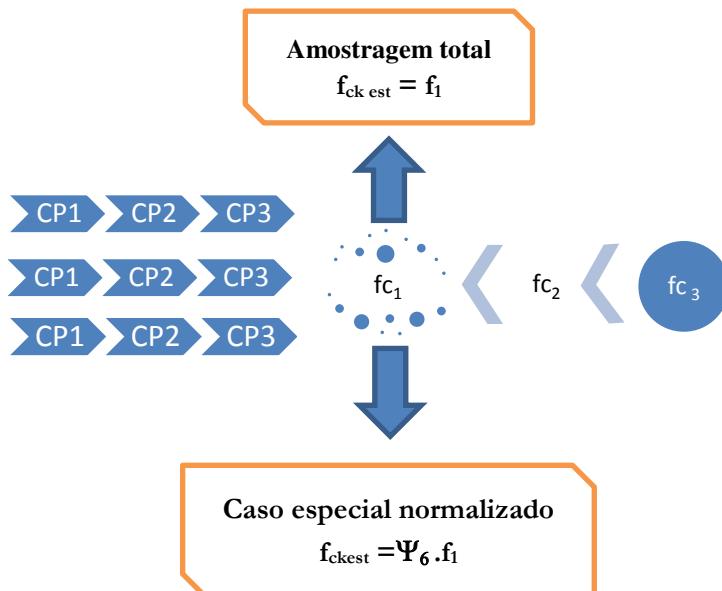
por meio dos parâmetros pertinentes à condição de amostragem total, uma vez estarem as condições de moldagem dos corpos-de-prova do experimento compatíveis com os parâmetros normalizados.

Quadro 22 – Propriedades do concreto dos corpos-de-prova – controle de aceitação

<b>Volume do Concreto Produzido</b>	2 m <sup>3</sup>	<b>Brita 1</b>	1,60 m <sup>3</sup>
<b>Volume do Concreto utilizado</b>	0,22 m <sup>3</sup>	<b>Areia</b>	1,40 m <sup>3</sup>
<b>f<sub>ck</sub></b>	40 MPa	<b>Relação água/cimento</b>	0,40
<b>Tipo</b>	Convencional	<b>Cimento</b>	CPIII-40
<b>Abatimento</b>	45 mm	<b>Mistura</b>	Caminhão Betoneira
<b>Cimento</b>	712,50 kg	<b>Descarte de concreto inicial</b>	600 litros
<b>Numero de corpos-de-prova moldados</b>	140 unidades	<b>Seção de Moldagem</b>	Única
<b>Equipe de moldagem</b>	Única	<b>Procedimento de cura</b>	Único

A Figura 39 representa a condição de amostragem total favorecendo a compreensão do método estruturado para a análise da confiabilidade pelo procedimento de controle de aceitação do concreto e cuja explicação se materializa nos parágrafos seguintes.

Figura 39 – Aceitação do concreto por amostragem total



Fonte: Adapatado de ABNT NBR12655:2006

Em casos excepcionais, indica a ABNT NBR 12655:2006, ser possível amostrar os lotes de concreto com número de exemplares que variam entre dois e cinco, desde que respeitados o limite de consumo de concreto em volume igual a 10 metros cúbicos; e cuja estimativa de resistência em seu formato estatístico, pode ser estabelecida pela Equação (9), onde,  $f_1$  é o menor dos valores apresentados pelos ensaios à compressão e  $\Psi_6$ , um parâmetro fixado em função do número de exemplares da amostra e cujo valor é igual a 0,86 para o caso constituído por três exemplares de acordo com a ABNT NBR 12655:2006.

$$f_{ckest} = \Psi_6 \cdot f_1 \quad \text{Equação (9)}$$

Há, entretanto para a sua aplicação, outro fator a considerar. De maneira geral e simplificada o procedimento para a aceitação das estruturas de concreto, normalizado pelos preceitos da ABNT NBR 12655:2006 e que traduz em sua essência um procedimento para verificar a conformidade segundo as especificações relativas ao projeto, avalia a condição materializada pelo concreto durante o seu processo de produção; entretanto nos moldes pelos quais se desenvolve a análise em curso, em que o foco de avaliação reside no procedimento do laboratório, esta condição é passível de discussão, uma vez, de maneira implícita, estar condicionada pela forma estabelecida, a hipótese que o concreto estará analisando o procedimento do laboratório.

Não se pode fazer desta hipótese uma condição inaceitável, pois pela observação atenta de cada um dos resultados dos ensaios à compressão apresentados até então, foi possível identificar com frequência considerável, medições que mostram que a produção do concreto ocorreu em conformidade com a resistência definida no Quadro 22.

Pela leitura atenta da Tabela 10 é possível verificar que alguns dos resultados dos laboratórios avaliados foram capazes de identificar o valor definido no planejamento experimental, sendo este um motivo suficiente para considerar aceitável a hipótese apresentada. Assim, foi aceita como verdadeira a condição que o concreto tenha atingido a resistência de 40 MPa para a partir de então verificar a condição expressa pelo laboratório, e por seus resultados, avaliar a qualidade de seus procedimentos. Em verdade, esta postura se justifica por se fazer necessária a definição de um parâmetro para a verificação do outro, ainda que a resistência à compressão do concreto possa ter atingido um valor superior a 40,0 MPa.

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Tabela 10 - Análise de resultados pelo controle de aceitação do concreto

Laboratórios	Onda	Resistência à compressão (MPa)			Resistência do exemplar (MPa)	$f_1$ (MPa)	$f_{ck \text{ est}}$ (MPa)	Resultado do Laboratório
<b>L01</b>	Onda 1	50.6	50.6	48.6	50.6	50.6	43.5	<b>Aprovado</b>
	Onda 2	50.7	50.6	55.0	55.0			
	Onda 3	51.2	52.4	55.6	55.6			
<b>L02</b>	Onda 1	41.3	45.7	33.3	45.7	45.7	39.3	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	36.3	47.7	46.8	47.7			
	Onda 3	46.3	47.1	46.1	47.1			
<b>L03</b>	Onda 1	46.9	44.4	44.1	46.9	40.1	34.5	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	45.3	46.7	47.0	47.0			
	Onda 3	40.1	39.8	30.3	40.1			
<b>L04</b>	Onda 1	40.7	41.1	41.3	41.3	41.3	35.5	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	42.2	43.1	43.4	43.4			
	Onda 3	44.7	44.9	45.1	45.1			
<b>L05</b>	Onda 1	45.4	46.8	44.9	46.8	46.2	39.7	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	46.0	47.1	44.9	47.1			
	Onda 3	44.8	45.3	46.2	46.2			
<b>L06</b>	Onda 1	55.9	39.2	53.2	55.9	50.7	43.6	<b>Aprovado</b>
	Onda 2	50.7	50.1	49.7	50.7			
	Onda 3	55.0	34.8	49.4	55.0			
<b>L07</b>	Onda 1	22.3	21.3	21.7	22.3	22.3	19.2	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	26.8	24.2	23.9	26.8			
	Onda 3	21.9	22.3	22.7	22.7			
<b>L08</b>	Onda 1	25.9	25.0	25.5	25.9	25.9	22.3	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	28.0	25.7	26.8	28.0			
	Onda 3	27.0	28.5	26.5	28.5			
<b>L09</b>	Onda 1	49.5	50.2	47.4	50.2	47.7	41.0	<b>Aprovado</b>
	Onda 2	50.4	44.9	46.3	50.4			
	Onda 3	47.5	47.7	47.5	47.7			
<b>L10</b>	Onda 1	42.6	44.0	47.0	47.0	47.0	40.4	<b>Aprovado</b>
	Onda 2	50.8	45.4	50.8	50.8			
	Onda 3	54.5	52.7	49.0	54.5			
<b>L11</b>	Onda 1	45.5	47.6	47.6	47.6	47.6	40.9	<b>Aprovado</b>
	Onda 2	49.8	49.9	46.8	49.9			
	Onda 3	49.8	50.1	50.5	50.5			
<b>L12</b>	Onda 1	37.0	44.1	42.3	44.1	44.1	37.9	<b>Reprovado</b>
	Onda 2	49.4	46.8	42.3	49.4			
	Onda 3	49.4	46.8	37.0	49.4			

Os resultados da avaliação experimental da confiabilidade dos ensaios à compressão pelo método do controle de aceitação do concreto foram registrados na Tabela 10.

O método utilizou o conceito de resistência característica estimada ( $f_{ck,est}$ ) normalizado pela ABNT NBR 12655:2006 e considerou todos os resultados dos ensaios à compressão do concreto realizados durante o procedimento experimental, uma vez ter sido possível considerar a idade de rompimento dos corpos-de-prova como um fator não limitante. Vale lembrar terem sido os ensaios deste procedimento experimental, realizados em três ondas de avaliação e nas idades de 63 dias, 65 dias e 70 dias; idades estas em que a variação de resistência é praticamente desprezível no universo dos resultados das medidas efetivadas.

Assim, para cada laboratório foram utilizados os nove resultados dos ensaios à compressão do concreto divididos nas três ondas de avaliação. Para cada onda, foram considerados os três resultados dos ensaios realizados ainda que a ABNT NBR 12655:2006, considere a possibilidade da aplicação de apenas dois neste tipo de procedimento.

Para cada onda foi escolhido o maior valor de resistência à compressão do concreto de forma a constituir um conjunto de resultados para seus “exemplares”, e fundamentalmente necessários para a aplicação do método, sendo, portanto cada laboratório avaliado então por três exemplares. Seus resultados foram registrados na coluna denominada “Resistência do exemplar” na Tabela 10.

Na sequencia e em acordo com o prescrito na ABNT NBR 12655:2006, foi escolhido dentre os valores dos exemplares de cada laboratório, o menor valor registrado para o ensaio à compressão para assim determinar a resistência característica estimada, conforme apresenta o esquema representado na Figura 39.

Com aplicação do coeficiente  $\Psi_6$  igual a 0,86 que corresponde ao valor de três exemplares conforme normalização da ABNT NBR 12655:2006 foi calculada a resistência característica estimada e seus resultados anotados em coluna correspondente da Tabela 10, constituíram-se no elemento verificador da confiabilidade de resultados.

Quando da avaliação recebimento do concreto o valor da resistência característica estimada deve ser maior que o valor correspondente a resistência característica definida por ocasião do projeto da estrutura.

Assim, quanto aos resultados apresentados pela aplicação do método ficou evidente que a condição classificatória quanto à confiabilidade, determinada por ocasião da aplicação dos ensaios de referência, foi em quase a sua totalidade, confirmada.

Foram aprovados pelo método em curso os laboratórios L01, na condição de laboratório de referência e também os laboratórios L06, L09, L10 e L11; e para os quais devem ser destacadas as condições de análise verificadas pelo método do ensaio de referência.

Pelo método do ensaio de referência os laboratórios L06, L09 e L10 apresentaram comportamento não satisfatório em alguns instantes da verificação experimental. Alguns de seus resultados foram posicionados externamente a faixa de controle considerada ideal para a confiabilidade testada pelo método do ensaio de referência, a exemplo do que registraram oportunamente a Figura 27, Figura 30 e Figura 34 convenientemente estruturadas durante a apresentação dos dados do método do ensaio de referência.

No contexto da avaliação pelo ensaio de referência apenas os laboratórios L01 e L11 apresentaram resultados confiáveis, de forma que, os resultados de L06, L09, L10, apresentaram condição de “resultados confiáveis” para o segundo método, entretanto “não necessariamente confiáveis” para o primeiro. De forma geral os laboratórios identificados anteriormente como geradores de resultados não confiáveis, apresentaram no procedimento em curso uma condição de trabalho insatisfatória. Assim os laboratórios L02, L03, L04, L05, L7, L08 e L12 da mesma forma se mostraram “não confiáveis”.

Assim, e ainda no contexto da discussão dos resultados do processo em curso, é importante destacar que, mesmo se as verificações aqui apresentadas fossem efetivadas pelo controle estatístico de amostragem parcial, os resultados, anteriormente classificados como indesejáveis, seriam igualmente insatisfatórios.

Vale lembrar que para o caso da verificação pelo controle estatístico de amostragem parcial, e para a condição que envolve lotes com um número de exemplares maiores que vinte, a resistência característica estatística do concreto,  $f_{ckest}$ , fixada pela ABNT NBR 12655:2006, é dada pela Equação (10); sendo em verdade os seus fundamentos, a base teórica do método dos ensaios de referência que utilizou os conceitos dela advindos para a construção da faixa de controle de resultados admissíveis.

$$f_{ckest} = f_{cm} - 1,65 * s_d \quad \text{Equação (10)}$$

## **7.5 UNIFORMIDADE DOS SERVIÇOS DOS LABORATÓRIOS**

Nos itens a seguir são apresentadas as abordagens complementares aplicadas para averiguação da confiabilidade dos resultados à compressão. Foram utilizadas análises estatísticas e comparativas em busca de elementos que pudessem apurar o sentido principal da pesquisa em desenvolvimento, a verificação do grau de confiabilidade dos resultados. Sua aplicação não interferiu nos resultados da parte principal desta pesquisa e conclusões devendo, entretanto serem avaliadas dentro do contexto apresentado por uma questão de refinamento das ações até então estabelecidas.

Enquanto resultado de uma ação de medição de uma mesma grandeza física não há como negar que um ensaio à compressão deve retratar uma mesma condição de resistência para o concreto independentemente do processo utilizado para obtê-la.

Sejam quais forem os argumentos que justifiquem a medição, a exemplo de outras grandezas físicas, devem os seus valores ser compatíveis entre si e dentro de uma faixa admissível de resultados.

Por este princípio foram consideradas as avaliações estatísticas agora apresentadas, de forma a contribuir para a investigação dos parâmetros avaliadores da confiabilidade; e ainda que se argumente não serem válidas ações desta natureza, em função da diversidade de procedimentos no desenvolvimento dos ensaios, deve-se considerar que a precisão envolvida na determinação da resistência neste trabalho equivale a 10% para mais e para menos do valor referencial, sendo este um valor bastante razoável quando analisado por tipos de medições que envolvem a Engenharia.

### **7.5.1 VERIFICAÇÃO DA SISTEMATIZAÇÃO DE ERROS**

Na Figura 40 foram marcados os resultados dos ensaios da Onda I de avaliação, na Figura 41 os números correspondem aos valores dos ensaios da Onda II e na Figura 42 as medições da Onda III de avaliação. Os gráficos foram construídos de forma a permitir a visualização dos resultados comparativamente ao ensaio referencial e também o seu posicionamento na faixa de resultados admissíveis. Eles apresentam limitações de precisão, sendo as avaliações neles registradas fundamentadas também pela análise dos seus efetivos valores. O objetivo é analisar o tipo de erro produzido pelo laboratório para avaliar a uniformidade de seus procedimentos.

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Figura 40 – Ensaios à compressão do concreto – Onda I

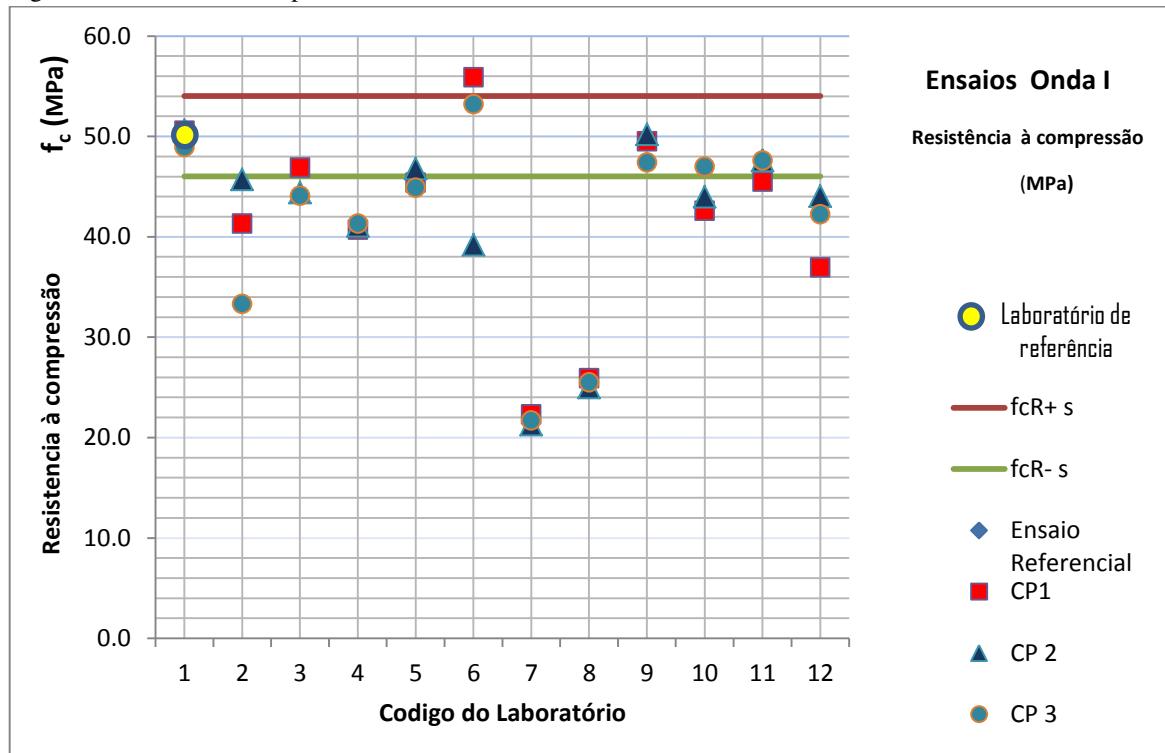
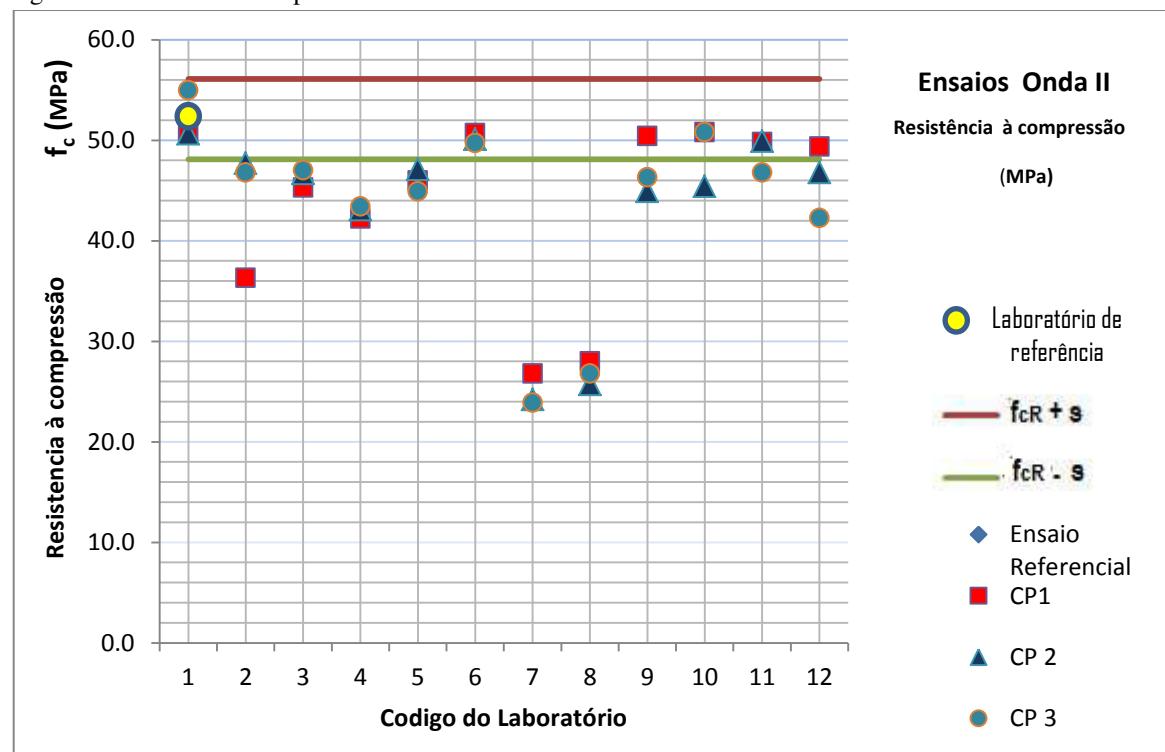


Figura 41 - Ensaios à compressão do concreto – Onda II



## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Pela observação dos pontos marcados nos gráficos da Figura 40, da Figura 41 e Figura 42 identificam-se a ocorrência de erros sistemáticos e aleatórios.

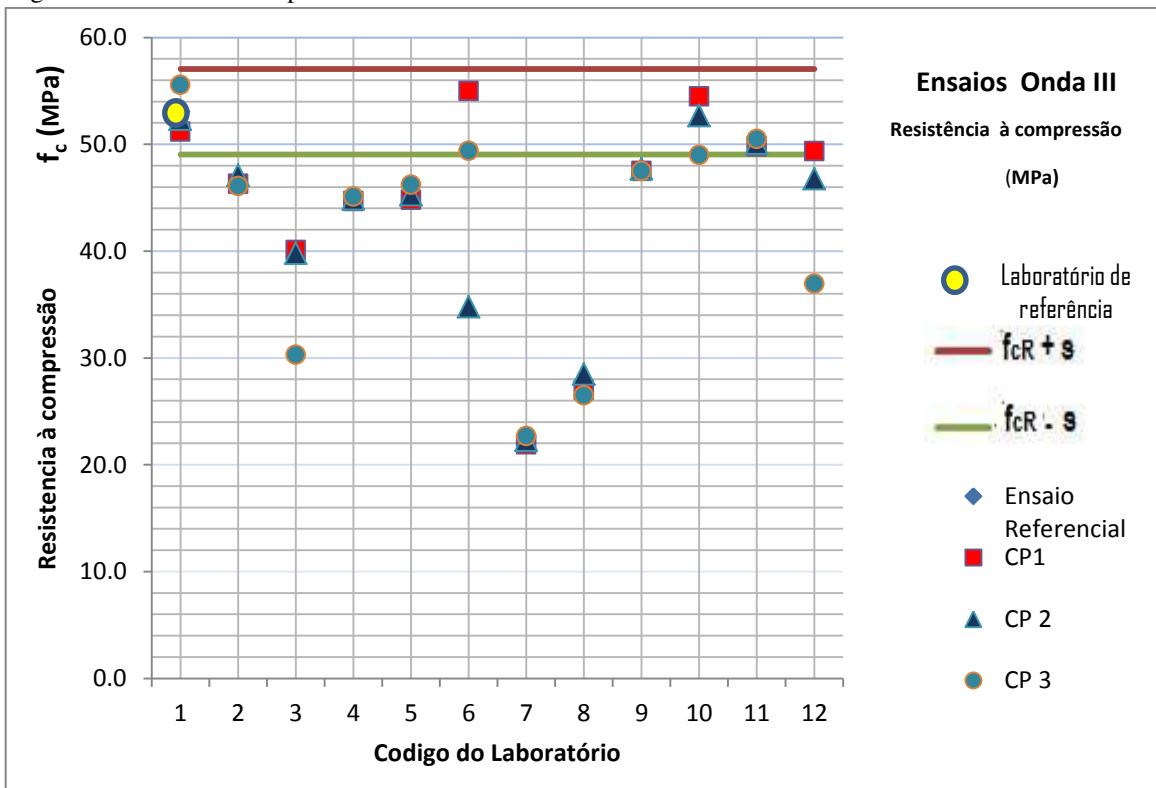
Os laboratórios L07 e L08 confirmaram sua condição de laboratórios geradores de resultados não confiáveis. Seus erros de medição repetidamente ocupam uma faixa de valores muito aquém da considerada ideal.

As posições dos laboratórios L04, L05, ocupando os seus respectivos resultados, uma repetida faixa de valores inadequados de resistência, indicam a condição de erro sistemático com necessidade de ações de realinhamento de seus procedimentos experimentais.

As posições dos laboratórios L02, L03, L06, L09, L10 e L12, indicam uma condição de procedimentos não uniformes e capazes de gerar erros aleatórios de medição.

As posições de L11 confirmam a sua condição de resultados satisfatórios. Os resultados apresentados por este laboratório são entre si, equivalentes; condição esta, retratada pelo coeficiente de variação de ensaio.

Figura 42 - Ensaios à compressão do concreto – Onda III



### 7.5.2 TESTE DE COCHRAN

Com o objetivo de testar a variabilidade das medições dos laboratórios relativamente aos demais foi aplicado o teste de Cochran.

Tabela 11– Avaliação pelo teste de Cochran

Corpos-de-prova	Resistência à compressão (MPa)											
	L 01	L 02	L 03	L 04	L 05	L 06	L 07	L 08	L 09	L 10	L 11	L 12
CP1	50,6	41,3	46,9	40,7	45,4	55,9	22,3	25,9	49,5	42,6	45,5	37,0
CP2	50,6	45,7	44,4	41,1	46,8	39,2	21,3	25,0	50,2	44,0	47,6	44,1
CP3	48,6	33,3	44,1	41,3	44,9	53,2	21,7	25,5	47,4	47,0	47,6	42,3
CP4	50,7	36,3	45,3	42,2	46,0	50,7	26,8	28,0	50,4	50,8	49,8	49,4
CP5	50,6	47,7	46,7	43,1	47,1	50,1	24,2	25,7	44,9	45,4	49,9	46,8
CP6	55,0	46,8	47,0	43,4	44,9	49,7	23,9	26,8	46,3	50,8	46,8	42,3
CP7	51,2	46,3	40,1	44,7	44,8	55,0	21,9	27,0	47,5	54,5	49,8	49,4
CP8	52,4	47,1	39,8	44,9	45,3	34,8	22,3	28,5	47,7	52,7	50,1	46,8
CP9	55,6	46,1	30,3	45,1	46,2	49,4	22,7	26,5	47,5	49,0	50,5	37,0
Media	51,7	43,4	42,7	42,9	45,7	48,7	23,0	26,5	47,9	48,5	48,6	43,9
Desvio Padrão	2,2	5,3	5,4	1,7	0,9	7,1	1,7	1,2	1,8	4,1	1,8	4,7
Variância	5,1	27,7	29,1	2,9	0,7	50,3	2,9	1,4	3,3	16,4	3,2	22,3
Homogeneidade	0,03	0,17	0,18	0,02	0,00	0,30	0,02	0,01	0,02	0,10	0,02	0,13
Cochran	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Ruim	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa

A resposta indicou uma variabilidade considerável para os resultados do laboratório L06 em relação aos números expressos pelos demais laboratórios. A variância relativa no processo de determinação da resistência à compressão é notória. Os corpos-de-prova CP2 e CP8 são os fatores geradores desta condição para o caso deste laboratório, muito provavelmente explicadas por erros aleatórios de medição e cujas causas devem ser verificadas nos procedimentos internos de cada laboratório. Erros desta natureza podem ter origem diversa, e comprometer a qualidade dos ensaios. Seu tratamento passa por ações que envolvem todos os itens dos procedimentos laboratoriais.

### 7.5.3 VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS “OUTLIERS”

A repetição de valores de L07 e L08, e os formatos por eles assumidos sugeriram a verificação do procedimento estatístico para a verificação da ocorrência de resultados “outliers”.

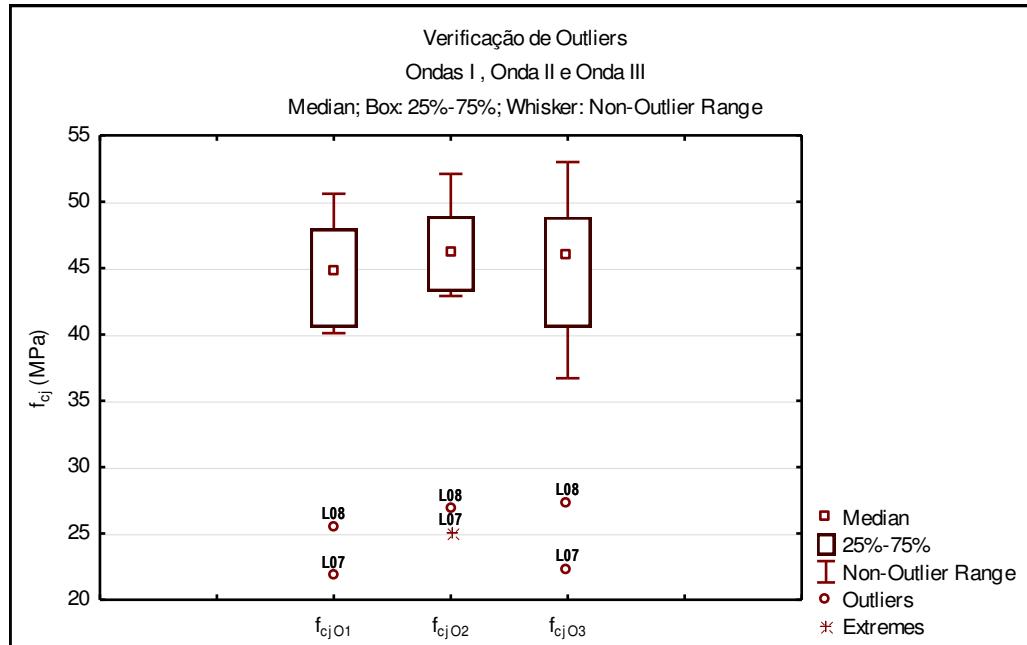
## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Os números reportados por esses laboratórios afetam o cálculo da média do conjunto e, portanto no julgamento do estado da coerência dos números representativos das medições.

A Figura 43 apresenta os resultados da análise que confirmaram os ensaios de L07 e L08 como “outliers”.

No processo para esta verificação foram utilizados os valores médios do conjunto de dados pertinentes à onda de avaliação.

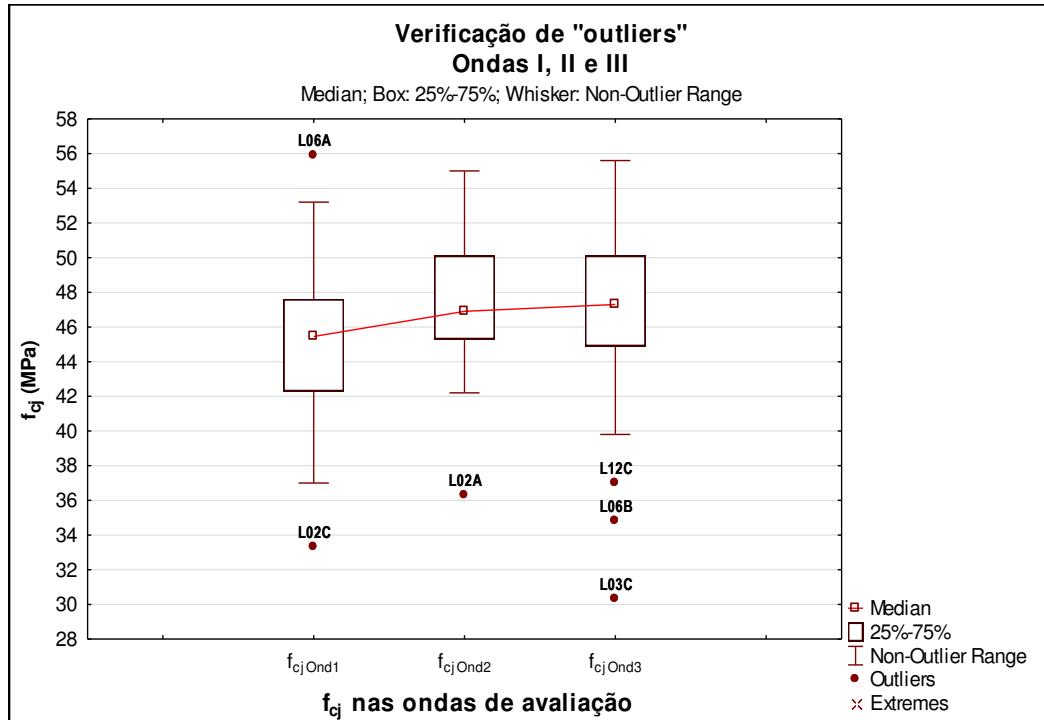
Figura 43 - Verificação da condição de “outliers”



Na Figura 44 estão registradas algumas das medidas dos outros laboratórios consideradas como resultados “outliers”. As letras A, B e C constantes dos códigos dos laboratórios, correspondem a uma forma reorganizada para a identificação dos elementos que de alguma maneira tivessem sofrido interferências nos processos de medição e que pudesse comprometer a qualidade dos serviços do laboratório.

A presença de L06A e L06B confirmou a condição referenciada pelo teste de Cochran no teste de variabilidade das medições relativamente ao grupo de laboratórios. Ainda, por esta análise, também é importante observar a presença de medidas discrepantes para L02C na Onda I; L02A na Onda II, e L03C, e L12C na Onda III, cuja observação serve de confirmação para os dados levantados pelo método do ensaio referencial.

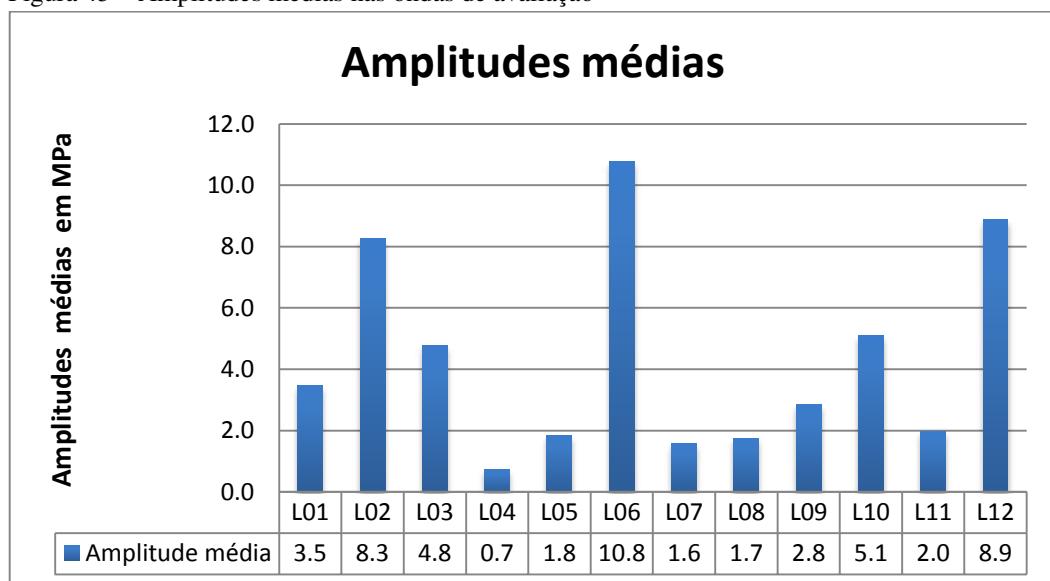
Figura 44 - Reprocessamento da verificação de resultados “outliers”



#### 7.5.4 AMPLITUDES DOS ENSAIOS

A Figura 45 apresenta a amplitude média para a análise da uniformidade de ações durante a aplicação dos ensaios. Na Tabela 12 estão registrados os valores dos ensaios à compressão utilizados na análise numérica e construção do gráfico apresentado.

Figura 45 – Amplitudes médias nas ondas de avaliação



## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Tabela 12 – Amplitudes de resultados nas ondas de avaliação

ONDA I - 63 Dias - Resistência à compressão (MPa)												
Laboratório	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
CP1	50,6	41,3	46,9	40,7	45,4	55,9	22,3	25,9	49,5	42,6	45,5	36,9
CP2	50,6	45,7	44,4	41,1	46,8	39,2	21,3	25,0	50,2	44,0	47,6	44,0
CP3	48,9	33,3	44,1	41,3	44,9	53,2	21,7	25,5	47,4	47,0	47,6	42,2
<b>Amplitude</b>	1,7	12,4	2,8	0,6	1,9	16,7	1,0	0,9	2,8	4,4	2,1	7,1
ONDA II - 65 Dias - Resistência à compressão (MPa)												
Laboratório	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
CP1	50,7	36,3	45,3	42,2	46,0	50,7	26,8	28,0	50,4	50,8	49,8	49,4
CP2	50,6	47,7	46,7	43,1	47,1	50,1	24,2	25,7	44,9	45,4	49,9	46,8
CP3	54,9	46,8	47,0	43,4	44,9	49,7	23,9	26,8	46,3	50,8	46,8	42,3
<b>Amplitude</b>	4,3	11,4	1,7	1,2	2,2	1,0	2,9	2,3	5,5	5,4	3,1	7,1
ONDA III - 72 Dias - Resistência à compressão (MPa)												
Laboratório	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	L12
CP1	51,2	46,3	40,1	44,7	44,8	55,0	21,9	27,0	47,5	54,5	49,8	49,4
CP2	52,4	47,1	39,8	44,9	45,3	34,8	22,3	28,5	47,7	52,7	50,1	46,8
CP3	55,6	46,1	30,3	45,1	46,2	49,4	22,7	26,5	47,5	49,0	50,5	37,0
<b>Amplitude</b>	4,4	1,0	9,8	0,4	1,4	20,2	0,8	2,0	2,2	5,5	0,7	12,4

### 7.5.5 FLUTUAÇÃO DE RESULTADOS

Os gráficos de flutuação de resultados foram construídos para facilitar a visualização da uniformidade de resultados dos laboratórios nos procedimentos deste trabalho experimental. Para cada laboratório foram registrados os valores de suas medições, sendo por ele possível constatar aspectos não claramente evidenciados no desenvolvimento das análises anteriores.

A Figura 46 apresenta os resultados dos laboratórios L01, L02, L04 e L07 marcados de forma a permitir a visualização da flutuação de seus resultados no processo de rompimento de cada um de seus nove corpos-de-prova.

Na Figura 47, comparativamente a L01 estão plotados L03 e L05 e na Figura 48, os pontos pertinentes a L06 e L09.

Figura 46 - Flutuação de resultados (I)

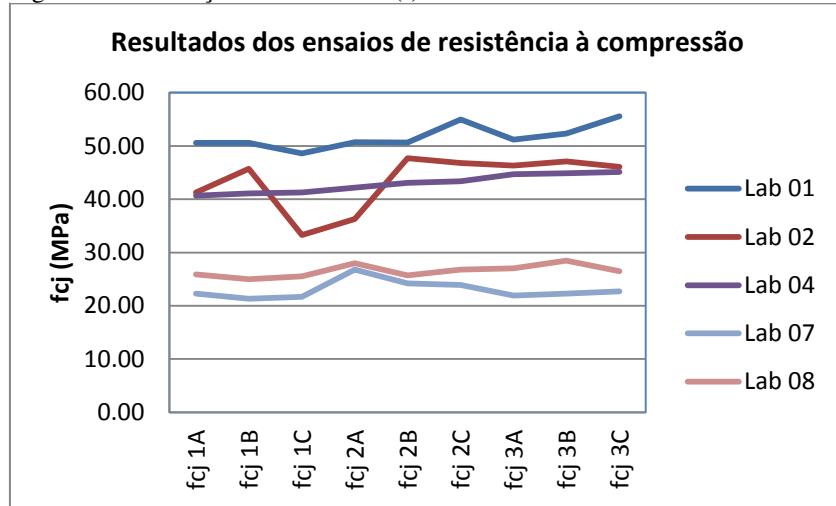


Figura 47 - Flutuação de resultados (II)

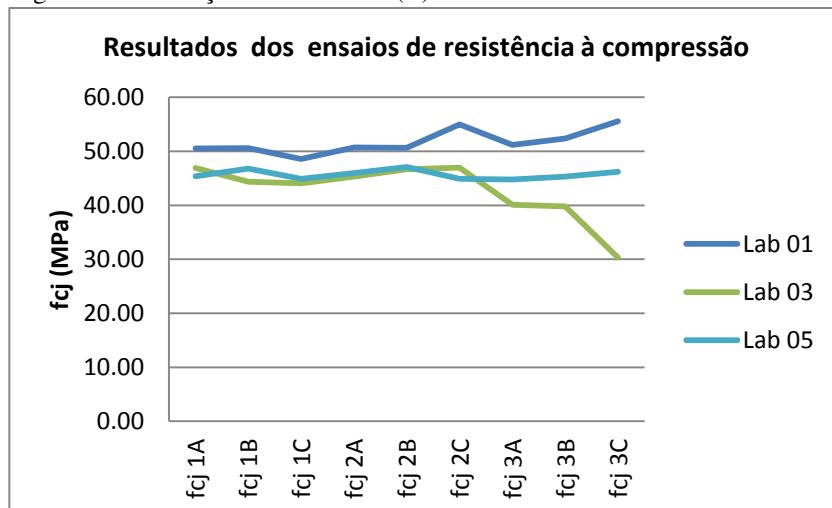
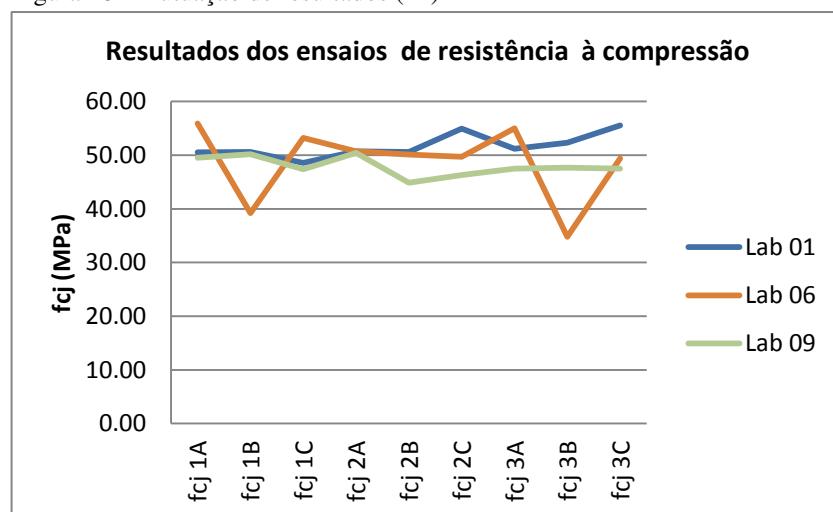


Figura 48 - Flutuação de resultados (III)



Na Figura 49 foi apresentado o diagrama de flutuação de resultados de L10 comparativamente ao resultado de L01; e na Figura 50 a condição equivalente para L11, cujos resultados se apresentaram satisfatórios.

Figura 49 Flutuação de resultados (IV)

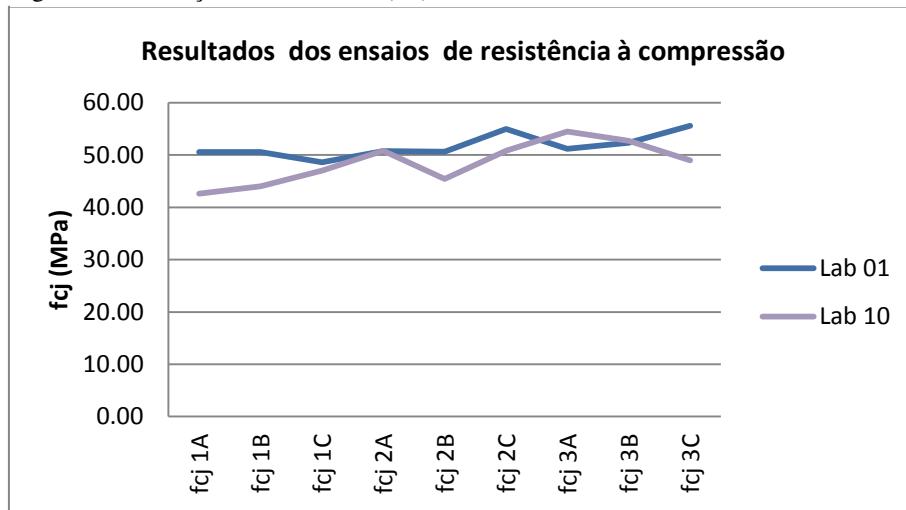
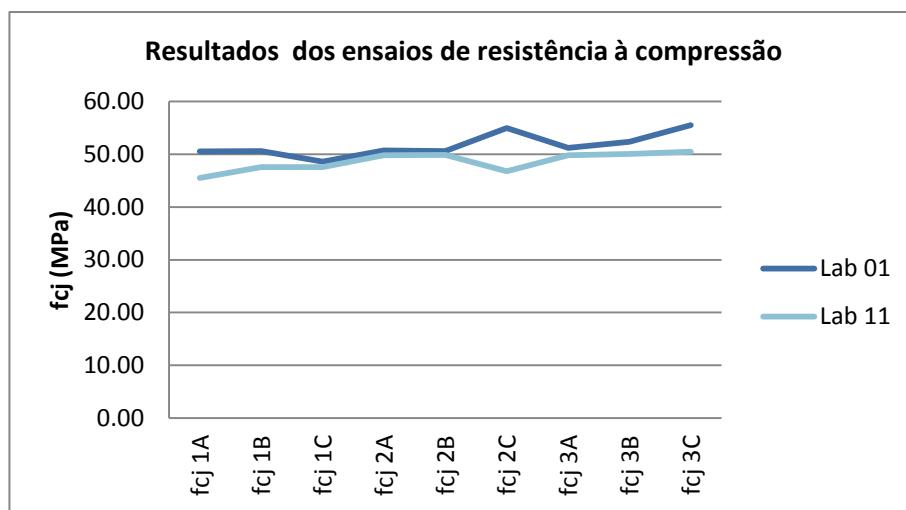


Figura 50 - Flutuação de resultados (V)



## **7.6 MAPA DE POSITIVIDADE**

A Tabela 13 compila as avaliações de positividade dos resultados apresentados. Sua função é representar o mapeamento dos aspectos positivos obtidos em cada ensaio. As letras N indicam que o laboratório não conseguiu um resultado satisfatório para a avaliação referencial. A letra S em destaque uma condição satisfatória apenas para o item avaliado.

## Capítulo 7 – Resultados e Análises

Tabela 13- Mapa de positividade de resultados relativamente ao ensaio referencial

<b><math>f_{ck,est}</math> compatível com o ensaio referencial</b>												
<b>Laboratório</b>	<b>L01</b>	<b>L02</b>	<b>L03</b>	<b>L04</b>	<b>L05</b>	<b>L06</b>	<b>L07</b>	<b>L08</b>	<b>L09</b>	<b>L10</b>	<b>L11</b>	<b>L12</b>
$f_{ck}$ (On I)	S	N	N	N	N	S	N	N	S	N	S	N
$f_{ck}$ (On II)	S	N	N	N	N	S	N	N	N	S	S	N
$f_{ck}$ (On III)	S	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	N
<b>Coeficiente de variação experimental compatível</b>												
$C_{Ve}$ 1 (On I)	S	N	S	S	S	N	S	S	S	S	S	N
$C_{Ve}$ 2 (On II)	S	N	S	S	S	S	N	S	N	N	S	N
$C_{Ve}$ 3(On III)	S	S	N	S	S	N	S	S	S	S	S	N

A Tabela 14 estabelece um quadro resumo das discussões efetivadas. Seu objetivo é o mapeamento formal dos resultados obtidos. Os números apresentados indicam a frequência de suas ocorrências, estando os resultados dos laboratórios L07 e L08 classificados como efetivamente não confiáveis.

Tabela 14 - Frequência de resultados.

	Fora da faixa de valor admissível	Posição fora da elipse	Coeficiente Variação Ensaio $C_{Ve} > 6$	Variação Percentual Relativa >10%	Amplitude Média > 4,0 MPa	Reprova no Teste de Cochran	Controle de Aceitação Aprovação	Resultados “Outliers”
<b>L01</b>	0	0	0	0	Não	0	Sim	0
<b>L02</b>	3	0	2	3	Sim	0	Não	2
<b>L03</b>	3	1	1	3	Sim	0	Não	1
<b>L04</b>	3	0	0	3	Não	0	Não	0
<b>L05</b>	3	0	0	3	Não	0	Não	0
<b>L06</b>	1	0	2	1	Sim	1	Sim	2
<b>L07</b>	3	3	1	3	Não	0	Não	9
<b>L08</b>	3	3	0	3	Não	0	Não	9
<b>L09</b>	2	0	1	2	Não	0	Sim	0
<b>L10</b>	1	0	1	1	Sim	0	Sim	0
<b>L11</b>	0	0	0	0	Não	0	Sim	0
<b>L12</b>	3	1	3	3	Sim	0	Não	1

# **CAPÍTULO 8**

## **CONCLUSÃO**

Esta dissertação de mestrado assumiu como objetivo, a avaliação do grau de confiabilidade das medições realizadas por laboratórios executores de ensaios à compressão do concreto. Para tal, seus procedimentos foram alicerçados em um conjunto de elementos que contemplam as condições fundamentais do conceito de qualidade para o desenvolvimento das obras em Engenharia e especialmente para aquelas relacionadas à produção e utilização do concreto, com base no controle de seus fatores interferentes.

Primeiramente, uma revisão conceitual foi desenvolvida, para que por seu intermédio, pudessem ser estabelecidas as condições necessárias ao desenvolvimento dos procedimentos experimentais. Sobre tais elementos foram apresentados diversos pontos conceituais e históricos, e de diversos autores que definiram o conceito de confiabilidade sob o ponto de vista do conceito relativo da qualidade. Foram apresentadas, por meio de um panorama histórico, as condições e situações que levaram à evolução o conceito de qualidade e de suas dimensões; e cujos resultados finais fundamentaram a compreensão de sua aplicabilidade às obras da Engenharia Civil, e especialmente às obras em concreto, em que se fez necessária a abordagem dos principais fatores interferentes da qualidade de sua produção, de seu material e dos parâmetros necessários à sua verificação, por meio de ensaios capazes de avaliar todo o seu potencial de resistência e durabilidade.

No processo, também foram avaliados os elementos necessários ao controle de sua qualidade, que envolveu de forma consequente, a abordagem dos fundamentos necessários à sua aplicação de forma tecnicamente correta, e que necessita de um grau de organização que garanta sua padronização, fato este destacado pelos fundamentos normativos e regras apresentadas durante o seu desenvolvimento.

Assim, tendo considerado todas as causas e efeitos, e analisados todos os seus parâmetros e perspectivas, foi desenvolvido o trabalho empírico que envolveu a aplicação de um procedimento experimental em duas etapas de ação. A primeira relativa à preparação e moldagem dos elementos com a função de exercitar o papel investigador da confiabilidade dos ensaios à compressão, os seus corpos-de-prova, que moldados sob um regime estrategicamente controlado e curados da mesma forma, produziram uma base de dados por meio da qual fosse possível, avaliar os parâmetros da confiabilidade. A segunda, relativa às investigações numéricas e estatísticas com a finalidade de avaliar as condições pelas quais os ensaios realizados seriam analisados o que exigiria um alto grau de interpretação e considerações. A origem desta condição teve os seus fundamentos alicerçados na compensadora estrutura da revisão teórica desenvolvida.

Nesta etapa foram estabelecidas avaliações matemáticas e estatísticas distintas, com o objetivo principal de avaliar a confiabilidade dos ensaios; sendo, entretanto necessário para isto, construir um modelo de avaliação fundamentado em parâmetros capazes de tornar cristalinos, os meios e processos de observação. Neste contexto, foi definido o ensaio de referência e de forma complementar e simultânea, outras regras e métodos para serem utilizadas em sua estruturação. Por eles, foram intensamente verificados os dados que estabeleceram o estado panorâmico da confiabilidade dos ensaios à compressão do concreto. Por seu intermédio, foram obtidos os princípios da busca pela confiabilidade, cuja análise e apresentação de resultados, por efeito de eficácia ocorreu de forma conjunta. Compreenda-se com esta afirmação, não ter sido encontrada um único procedimento capaz de avaliar o estado de confiabilidade dos ensaios à compressão de forma imediata e singular, uma vez ser a confiabilidade apenas uma das dimensões de um conceito referencial da qualidade, e que pode, segundo as conclusões deste trabalho efetivamente assumir pontos de vista distintos.

Quanto à confiabilidade dos ensaios à compressão verificada pelo primeiro método de análise aplicado, o do ensaio de referência, ficaram bastante evidenciadas as condições insatisfatórias para a grande maioria dos laboratórios, fato este verificado de forma eficiente em três etapas distintas de avaliação, denominados no seu contexto, por ondas de avaliação. Os resultados expressos pelos ensaios de referência fizeram denotar um estado de atenção para o desenvolvimento dos ensaios no âmbito dos laboratórios, quando os seus

## **Capítulo 8 – Conclusão**

---

responsáveis não se atentam a importância do rigor procedural necessário ao desenvolvimento de um ensaio desta natureza.

Ainda que em determinadas etapas, alguns destes laboratórios tenham apresentado resultados pouco dispersos, registre-se um estado preocupante para a realidade que envolve a construção das obras em concreto.

Pelas análises estatísticas com a elipse de confiança, também foram constatadas ocorrências desta natureza, entretanto, sob o ponto de vista prático registre-se que embora este método seja capaz de identificar casos de incongruência de resultados, e também possibilitar a avaliação de erros sistemáticos e aleatórios, ela, em verdade é um procedimento que exige cuidados para a sua aplicação; principalmente quanto utilizada isoladamente. De forma geral a elipse de confiança estabelece para um grupo de laboratórios, uma orientação acerca do tipo de erro evidenciado em seus procedimentos sendo, entretanto imprecisa na ausência de um elemento balizador da precisão inicial. Traduzindo; quando um grupo de laboratórios introduzem medidas equivocadas de uma grandeza física em uma base de dados estas, contaminam a análise do conjunto; de forma prática, seus erros interferem na média dos valores necessários à construção da elipse, interferindo na avaliação geral dos procedimentos dos laboratórios e consequentemente na avaliação da confiabilidade de seus resultados.

Por outro lado, e da mesma forma eficiente que o método do ensaio referencial, o procedimento para a verificação da confiabilidade fundamentado no controle de aceitação do concreto, registrou da mesma forma que o primeiro, resultados não confiáveis para quase a totalidade dos laboratórios, corroborando de forma decisiva a constatação de um problema de importância capital para as obras em concreto.

Por sua vez, para os testes aplicados para análise da consistência dos resultados laboratoriais, com o objetivo de avaliar o seu estado de confiabilidade, que pode se alterar em função do tipo de erro de medição, pela inconsistência do conjunto de seus resultados, e pela falta de uniformidade dos procedimentos, vale destacar, foram importantes as suas contribuições.

Uma grande parcela dos erros de medição, enquanto elementos geradores de falta de confiabilidade residem na aplicação incorreta dos procedimentos laboratoriais. Pelos

processos aplicados, puderam ser identificados casos de erros sistemáticos de medição capazes de interferir no julgamento dos fatos, ainda que a sua avaliação, nos limites de seu universo de constatação tenham sido considerados eficazes os seus valores; casos estes exemplificados pela ocorrência de coeficiente de variação experimental satisfatório, pequena dispersão de resultados, mas, entretanto, com um valor de resistência inaceitável, fato descrito oportunamente.

Quanto a estes testes, aplicados para a verificação da uniformidade dos serviços laboratoriais, há alguns destaques a efetuar.

A aplicação do procedimento para a verificação da sistematização de erros, com o intuito de identificar os resultados incorretos e a forma de sua distribuição relativamente aos ensaios de referência na faixa de controle admissível, constituíram uma importante estratégia para a verificação da confiabilidade. Por eles foi possível identificar a ocorrência de laboratórios que sistematicamente apresentaram os seus resultados em uma mesma faixa de resistência.

Por eles também foi possível identificar casos de erros aleatórios cujas amplitudes de ocorrência desarmonzam o conjunto de medições. Quanto a isto, ficou demonstrada a importância da aplicação de testes para a verificação variabilidade de resultados como o exemplo do teste de Cochran,

Em linhas gerais, os resultados inconsistentes podem interferir no processo como um todo, distorcendo as suas avaliações; razão esta que justificaram a verificação de resultados “Outliers”; e para os quais, para efeito de ponderação, é destacada a condição dos resultados inadmissíveis de dois laboratórios, que efetivaram de forma inadequada a totalidade de suas medições, e que corresponde a um percentual de 16,6 % do universo das medições efetivadas.

Ainda, e para o contexto das avaliações aplicadas com o objetivo de estabelecer a uniformidade procedural, vale destacar o grau de significância assumida pelo estudo comparativo das amplitudes das medições e pelo estudo de sua flutuação cujos resultados foram capazes de demonstrar a condição de variabilidade ocorrida durante a aplicação dos ensaios. Por elas, foi possível a exemplo da verificação da sistematização de erros

produzida com o auxílio do diagrama de dispersão de resultados, identificar procedimentos não uniformes e capazes de aniquilar a confiabilidade de seus resultados.

A vida útil de uma obra da construção civil tem fortes ligações com o seu processo produtivo e com os materiais a ela aplicados. Na busca por sua qualidade, os ensaios do controle tecnológico do concreto assumem um papel de importância indiscutível; entretanto, é importante observar que os resultados de qualquer processo de medição mesmo sujeito a erros devem ser uniformes.

Assim, de forma geral os resultados, que se apresentaram em quase toda sua totalidade, “não satisfatórios” para o conceito de uniformidade materializaram para a condição de confiabilidade o status de “não desejáveis”.

Valores diversos para os resultados do ensaio à compressão do concreto são estatisticamente previsíveis e aceitáveis, entretanto, para o foco objeto deste trabalho, a confiabilidade dos ensaios à compressão, seus resultados se mostraram excessivamente discrepantes; condição esta não aceitável para ensaios desta natureza.

As incongruências identificadas pela pesquisa e determinadas por caminhos diversos confirmaram uma condição inaceitável para um estado desejável, pois, de forma geral, o ensaio à compressão do concreto carreia além de sua condição técnica, uma relação de confiança entre técnicos da construção civil, caracterizada pela transferência de habilidade para avaliação da resistência do material; e enquanto procedimento de seu controle tecnológico deve garantir a determinação precisa de seus valores para assim favorecer as ações dele dependentes.

Quanto aos procedimentos estatísticos utilizados para a comparação de resultados, é fundamental ressaltar que por seu intermédio foi possível constatar a ocorrência dos valores dispersos; sendo elas, entretanto, incapazes de determinar os reais fatores que motivaram estas incongruências. Neste sentido, é importante salientar que o método do ensaio referencial se mostrou eficiente no trato da avaliação da confiabilidade dos resultados uma vez por seu intermédio ter sido possível verificar a condição de confiabilidade de uma forma muito coerente.

Para tudo, também é necessário registrar que estudar a qualidade dos ensaios à compressão do concreto enquanto procedimento da qualidade das obras de engenharia, em suas

## **Capítulo 8 – Conclusão**

---

diversas condições de aplicação e segundo seus preceitos normativos, exigiu intensivas ações de leitura, pesquisa, reflexão, duvidas e um profundo aperfeiçoamento na arte de analisar criticamente os dados resultantes de todo o processo experimental.

Foram necessárias inúmeras investigações para identificar a ocorrência de discrepâncias de resultados dos ensaios à compressão e refletir sobre suas principais razões.

O método adotado no seu tratamento, que considerou a abordagem de análise dos fatores interferentes da produção do concreto e de seu controle de qualidade por meio do ensaio à compressão, embora extensa e laboriosa, foi eficaz em produzir, e produziu bons resultados. As leituras efetivadas em função do desenvolvimento experimental, e os conceitos incorporados relativos à qualidade e seu controle nas configurações dos processos industriais, e com enfoque específico nas obras de engenharia, foram sobremaneira de grande importância para o estabelecimento de condições propícias à produção deste trabalho, frutífero para a ciência e para a engenharia.

E ainda que existam limitações e considerações contrárias, fica, portanto a sugestão de trabalhos futuros nos quais se desenvolvam pesquisas similares e em outros universos de avaliação, para que se possa estabelecer um mapeamento preciso acerca da qualidade dos outros ensaios do controle tecnológico do concreto. Ficam como sugestão a avaliação da confiabilidade da resistência à tração do concreto, de seu módulo de elasticidade, e também de outras formas de investigação e que permitam estabelecer verificações de procedimentos que permitam o estudo mais profundo acerca do tema de fundamental importância para as obras de concreto.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, J.E.; MARQUES, R.Q.V. **Recuperação das estruturas de chaminés de concreto em áreas industriais sem interromper a produção.** In REVISTA ALCONPAT Número 1, Enero-Abril 2011, v. 1, p. 41-51, Jan 2011.

ALVES, A.G.; PIRES, S.R.I.; VANALLE, R.M. **Sobre as prioridades competitivas da produção: compatibilidades e sequências de implementação. Gestão da Produção.** São Carlos, v. 2, n.2, ago.1995.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI-228-1R-89:** In Place Methods for Determination of Strength of Concrete, Detroit, 26pp, 1989.

ARAUJO, J.M.D. **Estruturas de Concreto: o módulo de deformação longitudinal do concreto.** Rio Grande: Dunas, 2001, Número 3.

ARAUJO, R.C.L.; RODRIGUES, E.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção.** EDUR, 2000, 203p. v.1. ISBN 8585720239

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL-ABESC. **Princípios Básicos do Concreto Dosado em Central** – São Paulo, 2002. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL-ABESC. **Concreto Dosado em Central** – São Paulo, 2005. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL-ABESC. **Manual do Concreto Dosado em Central** – São Paulo, 2007. 36p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Caderno Analítico de Normas** – Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2006.69p. Disponível em <[http://www.abcp.org.br/downloads/Caderno%20de%20Normas\\_bx.pdf](http://www.abcp.org.br/downloads/Caderno%20de%20Normas_bx.pdf)>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland.** São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_, **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

## Referências

---

- \_\_\_\_\_, **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_, **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_, **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_, **NBR 5739**: Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- \_\_\_\_\_, **NBR 7211**: Agregados para concreto-Especificação:– Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_, **NBR 7212**: Execução de Concreto dosado em central - Procedimento: Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_, **NBR 7218**: Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_, **NBR 7584**: Concreto – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_, **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- \_\_\_\_\_, **NBR 8802**: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_, **NBR ISO/IEC17043**: Avaliação de conformidade - Requisitos gerais para ensaios de proficiência. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_, **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_, **NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998..
- \_\_\_\_\_, **NM ISO 7500-1**: Máquinas de ensaio de tração/compressão - Calibração do sistema de medição wda força; Rio de Janeiro, 2004.
- ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM C 123 – Standard Test Methods for Lightweight Particles in Aggregate. In: Annual Book of ASTM Standards, 2013.
- BARROS N., B; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria** – Editora Unicamp - 2001 – Campinas-SP – ISBN 85-268-0544-4
- BEZERRA, A. C. S. (2007). Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos: Uma Análise Experimental e Computacional. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.

## Referências

---

- BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. In: **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. n.8. ed. São Carlos: 1999. p. 1-25. ISBN 1413-9928.
- BUTTON, Sérgio T. Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados. **São Paulo. Universidade Estadual de Campinas/Apostila/70p**, 2012.
- CALLISTER Jr., Willian D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total, Ann. Eugenics, 11, 47, 1941.
- CONTADOR, J.C. et al. **Gestão de operações – A engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 187 p.
- CUNHA, A.C.Q.; HELENE, P.R.L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/283, 13p. 2001 ISSN 0103-9830
- DEMING, W. E. **Qualidade: A revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques - Saraiva, 1990.
- FORTES, R. et al. (2004). Avaliação de cinco anos de programa interlaboratorial de misturas asfálticas desenvolvido no Brasil. Anais. In: 35a Reunião anual de pavimentação. Rio de Janeiro – Brasil
- GARVIN, D. A. **Gerenciando a Qualidade: A Visão Estratégica e Competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.376p.
- GARVIN, David A. "Competing on the Eight Dimensions of Quality." **Harvard Business Review (1987)**. Volume: 65, Issue: 6, Publisher: Harvard Business School Publication Corp.,Pages: 101-109 - **ISSN: 00178012**.
- GEYER, A. L. B; ARAÚJO, S. S.; GUIMARÃES, G. N. Influence of the type of measuring device in determining the static modulus of elasticity of concrete Influência do tipo de medição na determinação do módulo estático de elasticidade do concreto. 2012.
- GEYER, A.P.L.; SA, R.R; **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco**. In: Realmix - Informativo Técnico 2, Ano 2-2, Goiânia, 2006.
- GIDRÃO, S.S.; SANTOS, A.C.D.; Avaliação da Uniformidade e Qualidade do Controle Tecnológico do Concreto Efetivado em Laboratórios. In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto CBC 2013. Anais: IBRACON-2013. ISSN 2175-8182
- GOMES, P.J.P. **A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufaturados aos serviços de informação**. In Cadernos BAD. Associação Portuguesa de Bibliotecários e Arquivistas e Documentalistas, 2004. pp.6-18.

## Referências

---

- HARTMANN, Carine T. & HELENE, Paulo. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland.** São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/330, 22p. 2003. ISSN 0103-9830
- HELENE, P. R. L. Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 45-57, Jul/Dez 1997. ISSN 1415-8876.
- HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto.** São Paulo: PINI, 1995.
- HOPPE, F.J.; CINCOTTO,M.A.**Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto.** São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/503, EPUSP:2008, 16p. ISSN 0103-9830
- INIESTA, P. N. **A gestão da qualidade.** In ENCICLOPÉDIA Administração de Empresas. São Paulo: Nova Cultural, v.2,1986. pp.421-432.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON (2014). <http://hostgt.ibracon.org.br/index.php/certificacao>. Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, Brasil.
- ISO 5725-1:1994, Accuracy (trueness and precision) of Measurement Methods and Results. Part 1: General principles and definitions. Statistical methods for quality control, International Organization for Standardization, Geneva, 1994.
- LAUGENI, F. P.; MARTINS, P. G. **Administração da produção.** 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MASCOLO, R.; MASUERO, A. B. and DAL MOLIN, D. C. C..Concreto usinado: análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira. Rev. IBRACON Estrut. Mater.[online]. 2013, vol.6, n.2, pp. 194-210. ISSN 1983-4195. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952013000200003>.
- MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos com Proteção Superficial Frente à Ação de Íons Cloretos.** 2008. 218 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MEDEIROS, M.; HELENE, P.; Concreto armado x ambientes marítimo: por que proteger e o que considerar para especificar. **Concreto & Construções**, São Paulo, n. 49-Ano XXXV, p. 23-27, Mar. 2008. ISSN 1809-7197.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Ibracon, 2008
- MELHADO, Silvio B., OLIVEIRA, Otávio J. **Gestão da Qualidade Tópicos Avançados.** 1 ed. São Paulo: CENGAGE Learning. 2009, 243.p ISBN13: 9788522103867

## Referências

---

- MONTGOMERY, Douglas C.. Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade. 4<sup>a</sup>. Ed.. Rio de Janeiro: LTC 2004.
- MONTGOMERY, Douglas. C.; Some statistical process control methods for auto correlated data. Journal of Quality Technology, v. 23, n. 3, p. 179-193, 1991.
- NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 2a ed., Tradução por Salvador E.Giammuso, São Paulo: Editora Pini, 1997, 749 p.
- NOVAES, C. C. Ações para controle e garantia da qualidade de projetos na construção de edifícios. In: Workshop Nacional de Gestão do Processo de Projeto na Produção de Edifícios. Anais: USP-São Carlos, São Carlos, 2001.
- OLIVIERI, J.C; Programas Interlaboratorial - Elipse de Confiança – Interpretação de Resultados Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas, 2004.
- PACHECO, J.; HELENE, P.; **Controle da Resistência do Concreto**. In BOLETIM TECNICO 9 - ASOCIACION LATINO AMERICANA DE CONTROL DE CALID, PATOLÓGIA Y RECUPERACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN – ALCONPAT. Mexico:2013.
- PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções**, São Paulo, n. 53-Ano XXXVII , p. 14-19, Mar. 2009. ISSN 1809-7197.
- PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13a ed., revisado por Vladimir A.Paulon, Sao Paulo: Editora Globo, 1978, 299 p.
- PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 14a ed., revisado por Vladimir A.Paulon, Sao Paulo: Editora Globo, 2005, 307 p.
- PICHHI, F.A; AGOPYAN, V.: **Sistemas da qualidade na construção de Edifícios**, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/104,1993. EPUSP. São Paulo, 1993.
- PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT - PBPQ-H - Disponível em <[http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/pbqp\\_apresentacao.php](http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/pbqp_apresentacao.php)> Acesso em 15-out-2013.
- QUEIROZ, E. K. R. **Qualidade segundo Garvin**. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: ANNABLUME, 1995.118 p.
- ROCHA, L.J.J. **Qualidade na Construção Civil** - Conceitos e Referenciais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PMI, 1993. São Paulo, 1993 – ISSN 0103-9830
- ROQUE, J. A.; MORENO, A. L. J. CONSIDERAÇÕES SOBRE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DO. In: \_\_\_\_\_ **Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto**. São Paulo: [s.n.], 2006. p. Trabalho SIMP0097 - p. 946-958.
- SILVA, C. R.; SOUZA, P.S.L. Influência dos processos de cura na resistência mecânica de concretos produzidos com Cimento Portland Cinza e Cimento Branco Estrutural. In: Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto CBC 2011. Anais: IBRACON-2011. ISSN 2175-8182

---

## Referências

---

- SILVA, L. C. P. D; et al. **Estudo de caso de avaliação de estruturas de concreto através da utilização de ensaios não destrutivos.** In REVISTA ALCONPAT Número 3, Septiembre - Diciembre 2011, v. 1, p. 196-208, Dez 2011.
- SILVA, M.G; HELENE, P.R. do L Concreto Projetado com Adição de Mircossílica, São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/107 EPUSP:1993, 27p. ISSN 0103-9830
- SILVA, P.N.; KUPEIMAN, S.C. **Reação alcali-agregado nas usinas hidrelétricas do complexo Paulo Afonso/CHESF.** São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/480, 16p. 2008 ISSN 0103-9830
- SILVA,F.G; LIBORIO, J.B. L. A importancia da seleção de materiais para concreto de elementos estruturais sumetidos á ação de cloretos. In: \_\_\_\_\_ **Anais do 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado.** São Carlos: 2005. p. Trabalho SIMP0097 - p. 946-958.
- SOUZA, Roberto. **A qualidade no setor da construção.** In\_\_\_\_ Gestão da Qualidade Tópicos Avançados. 1 ed. São Paulo: CENGAGE Learning. 2009, 243.p.
- SOUZA, V. C. M. D; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.
- TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações.** Ed: GC ISAIA. São Paulo, v. 1, p. 439-471, 2011.
- ZANETTI, J.J. Falhas nos processos de controle tecnológico em laboratórios que comprometem os resultados de resistência dos concretos; **Concreto & Construções**, n.60 – Ano XXXVII,p.31-39,Out.2010, ISSN 1809-7197