

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ANDRE VIEIRA DA CUNHA

CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND: ABORDAGEM DA QUALIDADE
COM ÊNFASE EM MÉTODOS ESTATÍSTICOS

FORMIGA – MG
2014

ANDRE VIEIRA DA CUNHA

CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND: ABORDAGEM DA QUALIDADE
COM ÊNFASE EM MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus de Faria e
Oliveira Barreto

FORMIGA - MG

2014

C972 Cunha, Andre Vieira da.

Concreto de cimento Portland: abordagem da qualidade com ênfase em métodos estatísticos / Andre Vieira da Cunha. – 2014. 74 f.

Orientador: Matheus de Faria e Oliveira Barreto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Centro Universitário de Formiga–UNIFOR, Formiga, 2014.

1. Concreto. 2. Qualidade. 3. Controle estatístico. I. Título.

CDD 624.1834

Andre Vieira da Cunha

CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND: ABORDAGEM DA QUALIDADE
COM ÊNFASE EM MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus de Faria e
Oliveira Barreto

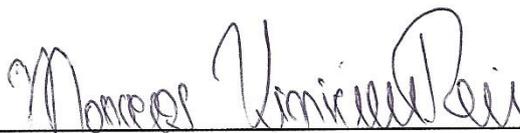
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Matheus de Faria e Oliveira Barreto
Orientador



Profª Dayana Cristina Silva Garcia
FUNEDI/UEMG



Prof. Esp. Marcos Vinícius Reis
UNIFOR

Formiga, 4 de novembro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir que eu chegasse até aqui. Agradeço a Ele pelo dom da vida e por todas as bênçãos derramadas sobre mim.

Agradeço aos meus pais José Afonso e Míria pelo amor, carinho, paciência e compreensão dispensados a mim para que este trabalho pudesse ser concluído.

Ao orientador Matheus, pela atenção e pela confiança.

À Dayana, pelo auxílio para a concretização deste trabalho.

Aos colegas de sala, pela companhia e apoio em todas as horas.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho aponta as principais características do concreto de cimento Portland. De um modo geral, o concreto é o material de construção civil mais utilizado em todo o mundo. Entretanto, este material, por ser heterogêneo e muitas vezes fabricado em obra, necessita de alguns cuidados que vão garantir o controle de qualidade na concretagem. Este trabalho descreve tanto as características dos componentes do concreto de cimento Portland, quanto as características de resistência e controle de qualidade. Também foi realizado um estudo de caso aplicando-se os métodos estatísticos para controle da resistência à compressão segundo Helene e Terzian (1992) e segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006), onde os resultados foram caracterizados e divididos em lotes para aplicação do método de cartas de valores e dos estimadores de resistência, a fim de acompanhamento da evolução da concretagem. Os métodos estatísticos aplicados se mostraram eficazes, pois se pôde constatar uma possível mudança no processo de produção do último lote avaliado, que poderia ter sofrido uma retificação a fim de diminuição de custo e homogeneidade do concreto oferecido.

Palavras-chave: Concreto. Qualidade. Controle Estatístico.

ABSTRACT

This paper points out the main characteristics of Portland cement concrete. Generally, concrete is the material most commonly used construction worldwide. However, this material because it is heterogeneous and often manufactured on site, need some care that will ensure quality control in concrete. This paper describes both the characteristics of the components of Portland cement concrete, as the strength characteristics and quality control. A case study applying statistical methods to control the compressive strength according to Helene and Terzian (1992) and according to NBR 12655 (ABNT, 2006), where results were characterized and divided into lots for the method was also performed letters of values and estimators of resistance in order to monitor the evolution of the concrete. The statistical methods used are efficient because they could see a possible change in the production process of the last batch evaluated, which could have been a rectification order to decrease cost and homogeneity of concrete offered.

Keywords: Concrete. Quality. Statistical Control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Visualização do inchamento da areia.....	25
Figura 2 - Diferentes relações água/cimento do mesmo cimento Portland com 0,60 (a), 0,50 (b), 0,40 (c) e 0,30 (d), respectivamente da esquerda para a direita e de cima para baixo.	28
Figura 3 - Abatimento do tronco de cone. Enchimento do tronco de cone (a); retirada do molde (b); medida do abatimento (c).....	33
Figura 4 - Molde e haste de compactação	34
Figura 5 - Medida do abatimento.....	35
Figura 6 - Diagrama esquemático situando o Controle de Resistência à Compressão do Concreto dentro de um contexto amplo de controle tecnológico das estruturas de concreto.....	49
Figura 7 - Curva de Gauss para resistência do concreto à compressão.....	51
Figura 8 - Fluxograma com atividades desenvolvidas.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais compostos químicos do clínquer	17
Tabela 2 - Tipos de cimento Portland e suas referidas normas ABNT	19
Tabela 3 - Densidades aparentes médias	23
Tabela 4 - Ensaio de peneiramento normal das areias	24
Tabela 5 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura	24
Tabela 6 - Classificação das britas quanto à dimensão dos grãos.....	26
Tabela 7 - Processo de adensamento.....	36
Tabela 8 - Causas da redução da durabilidade.....	38
Tabela 9 - Tipos de transporte	42
Tabela 10 - Adensamento mecânico do concreto	46
Tabela 11 - Valores para formação de lotes	50
Tabela 12 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.....	53
Tabela 13 - X^2 em função do número n de exemplares	55
Tabela 14 - Coeficiente de variação das operações de ensaio e controle (v_e).....	56
Tabela 15 - Valores de Ψ_6	57
Tabela 16 - Lotes, quantidade de exemplares e volume de concreto.	63
Tabela 17 - Tabela com resultados dos ensaios à compressão axial.	64
Tabela 18 - Tabela com todos os resultados dos ensaios de resistência à compressão devidamente enumerados	66
Tabela 19 - Tabela para plotagem da carta de valores individuais	68
Tabela 20 - Desvio padrão do processo de produção, de dosagem e limites inferior e superior	69
Tabela 21 - Resultados dos coeficientes de variação das operações de ensaio e controle (v_e).....	70
Tabela 22 - Estimadores de resistência	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre resistência do concreto e índice de vazios	44
Gráfico 2 - Carta de valores individuais.....	68
Gráfico 3 - Carta do desvio padrão	69
Gráfico 4 - Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle....	71

LISTA DE SIGLAS

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP – Cimento Portland
MF – Módulo de Finura
NBR – Norma Brasileira
 f_c – Resistência à compressão simples
 f_{ck} – Resistência característica à compressão
 $f_{ck,j}$ – Resistência característica à compressão, a j dias
 $f_{ck,est}$ – Resistência característica à compressão estimada
 f_{cm} – Resistência média à compressão do concreto
 $f_{cm,d}$ – Resistência média de dosagem
 s_d – Desvio padrão de dosagem
 s_e – Desvio padrão das operações de ensaio e controle
 v_e – Coeficiente de variação das operações de ensaio e controle

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Concreto de cimento Portland	16
3.1.1	Cimento Portland	16
3.1.1.1	Composição.....	16
3.1.1.2	Tipos de cimento Portland	18
3.1.1.3	Características físicas	19
3.1.1.4	Características químicas	20
3.1.2	Agregados	22
3.1.2.1	Agregados miúdos.....	23
3.1.2.2	Agregados graúdos	25
3.1.3	Água de amassamento	27
3.2	Propriedades do concreto de cimento Portland	29
3.2.1	Propriedades do concreto fresco	29
3.2.1.1	Trabalhabilidade.....	30
3.2.1.2	Consistência.....	31
3.2.1.3	Método de avaliação do concreto fresco	33
3.2.2	Propriedades do concreto endurecido.....	36
3.2.2.1	Resistência mecânica	37
3.2.2.2	Durabilidade e impermeabilidade	37
3.3	Produção do concreto	38
3.3.1	Dosagem do concreto.....	39
3.3.2	Mistura	39

3.3.2.1	Mistura manual	40
3.3.2.2	Mistura mecânica	40
3.3.2.3	Tempo de mistura	41
3.3.2.4	Ordem de colocação dos materiais	41
3.3.3	Transporte	42
3.3.4	Lançamento	43
3.3.5	Adensamento	44
3.3.6	Cura	46
3.4	Controle de qualidade em concretos de cimento Portland	48
3.4.1	Controle da resistência à compressão.....	49
3.4.2	Cartas de controle.....	52
3.4.2.1	Cartas de valores individuais.....	52
3.4.2.2	Carta do desvio padrão	52
3.4.2.3	Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle.....	55
3.4.3	Aceitação do concreto.....	56
3.4.3.1	Controle por amostragem parcial.....	57
3.4.3.2	Controle por amostragem total (100%)	58
3.4.3.3	Critério de aceitação	58
4	METODOLOGIA	59
4.1	Atividades desenvolvidas	59
4.2	Definição dos lotes	60
4.3	Resistência média à compressão inicial de dosagem	60
4.4	Resultado dos testes de ensaio à compressão axial.....	61
4.5	Carta de valores individuais.....	61
4.5.1	Carta do desvio padrão	61
4.5.2	Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle.....	62
4.6	Estimadores de resistência.....	62

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
5.1	Definição dos lotes	63
5.2	Resistência média à compressão inicial de dosagem	63
5.3	Resultado dos testes de ensaio à compressão axial.....	64
5.4	Cartas de valores individuais.....	66
5.5	Carta do desvio padrão	69
5.6	Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle.	70
5.7	Cálculo dos estimadores de resistência	71
6	CONCLUSÃO	72
7	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Até o século XIX, os principais materiais de construção civil eram a pedra e o tijolo. Segundo Fusco (2008), a partir da revolução industrial foi desenvolvido o cimento Portland e o aço laminado, dando origem ao então chamado de concreto armado.

Ainda de acordo com Fusco (2008), a partir do século XX começou a se difundir o concreto armado, gerando uma demanda, e conseqüentemente uma série de estudos sobre aquele que veio a ser o material de construção mais utilizado em todo o mundo.

Entretanto, pelos diversos métodos de confecção deste material e pelos diferentes tipos de estruturas, exige-se acompanhamento de profissionais especializados para que fiscalizem o processo de produção e a obra tenha todos os requisitos de segurança, garantidos em normas, aplicados *in loco*.

Este trabalho tem o intuito de abordar as principais características do concreto de cimento Portland, tanto físicas, quanto químicas, e abordar também sobre conceitos de controle estatístico de produção do concreto, que auxilia no controle tanto para quem produz, quanto para quem fiscaliza o processo.

2 OBJETIVOS

Esta seção está destinada à apresentação dos objetivos deste trabalho.

2.1 Objetivo geral

Abordar a qualidade de concretos de cimento Portland.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever as principais características de concretos estruturais;
- Analisar os principais fatores para a garantia da qualidade em concretos estruturais;
- Realizar um estudo de caso fazendo uso de métodos estatísticos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada toda a revisão bibliográfica utilizada para a confecção deste trabalho.

3.1 Concreto de cimento Portland

O material estrutural e de construção civil mais importante nos dias atuais é o concreto de cimento Portland. Segundo Helene e Andrade (2007), o concreto é uma das descobertas mais fascinantes da história da humanidade, mesmo sendo um material de construção recente, datado do século XIX e teve sua expansão no século XX.

Nos subcapítulos a seguir serão abordados os constituintes do concreto de cimento Portland, suas características e propriedades para que atinja um nível de qualidade satisfatório.

3.1.1 Cimento Portland

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), na construção civil, o cimento é o aglomerante mais utilizado, sendo mundialmente conhecido como cimento Portland. O nome Portland surgiu da semelhança com o cimento fabricado a partir da pedra de Portland, calcário extraído na cidade de *Dorset* (Inglaterra).

Bauer (2012) define cimento Portland como o produto resultante da pulverização do clínquer, que é um material de natureza granulosa, obtido através da calcinação de uma mistura constituída de silicatos hidráulicos de cálcio, com proporções de sulfato de cálcio natural, e com certas adições que trazem novas propriedades ou tornam seu uso mais acessível.

3.1.1.1 Composição

Bauer (2012) escreve que o cimento Portland é constituído fundamentalmente de cal (CaO), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃), estes constituem cerca de 95 a 96% do total de componentes óxidos, sendo então os componentes essenciais do cimento Portland. Contém também magnésia em pequena quantidade,

e em menor porcentagem, anidrido sulfúrico (SO_3), que é colocado após a fase de calcinação para que ocorra um retardo no tempo de pega do produto. Possui também outros constituintes menores, impurezas, óxido de potássio (K_2O), óxido de sódio (Na_2O), óxido de titânio (TiO_2) e outros de menor importância. A TAB. 1 mostra um resumo dos principais compostos químicos do clínquer e suas decorrentes propriedades.

Tabela 1 - Principais compostos químicos do clínquer

Compostos	Fórmula química	Abrev.	Propriedades específicas decorrentes dos compostos do clínquer
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ 50 - 65%	C_3S	Endurecimento rápido; Alto calor de hidratação; Alta resistência inicial.
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ 15-25%	C_2S	Endurecimento lento; Baixo calor de hidratação; Baixa resistência inicial.
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ 6-10%	C_3A	Pega muito rápida controlada com adição de gesso; Suscetível ao ataque de sulfatos; Alto calor de hidratação, alta retração; Baixa resistência final.
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ Fe_2O_3 3-8%	C_4AF	Endurecimento lento, resistente a meios sulfatados, não tem contribuição para a resistência, cor escura.
Cal livre	CaO 0,5-1,5%	C	Aceitável somente em pequenas quantidades; em maiores quantidades, causa aumento de volume e fissuras.

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

Como mostrado na TAB.1, o clínquer pode conter diferentes quantidades dos mesmos compostos, o que leva a diferentes tipos de cimentos.

3.1.1.2 Tipos de cimento Portland

Os cimentos são diferenciados tanto pela composição química do clínquer, quanto pelas adições de alguns materiais, tais como: pozolana, escória de alto forno, materiais carbonáticos, dentre outros, que visam acentuar determinadas características a serem consideradas, devido à finalidade do cimento. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Ribeiro, Pinto e Starling (2011) define a escória de alto forno como sendo um resíduo siderúrgico proveniente da produção do aço; as pozolanas como materiais silicosos, que quando pulverizados finamente e em contato com umidade, formam compostos aglomerantes como a microssílica, o carvão ativado, e a própria escória de alto forno. Já os materiais carbonáticos são minerais moídos, que fazem as argamassas e os concretos serem mais trabalháveis, tal como o próprio calcário, que é conhecido como fíler calcário. Fíler é definido como os materiais finos que passam na peneira ABNT 0,075 mm.

Os tipos de cimento Portland mais comuns definidos pela ABNT são:

- Cimento Portland comum – CP I;
- Cimento Portland composto – CP II (contém adição de escória, pozolana e fíler);
- Cimento Portland de alto forno – CP III (contém adição de escória de alto forno, tendo um baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland Pozolânico – CP IV (contém adição de pozolana tendo um baixo calor de hidratação)
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (contém silicato tricálcico (C_3S) em maior quantidade que provoca alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

A TAB. 2 apresenta os tipos de cimento Portland, adições, siglas e respectivas normas da ABNT.

Tabela 2 - Tipos de cimento Portland e suas referidas normas ABNT

Tipo de cimento	Adições	Sigla	Norma
Cimento Portland Comum	Escória, pozolana ou fíler (até 5%)	CP I-S 32	5732
		CP I-S 40	
Cimento Portland Composto	Escória (6-34%)	CP II-E 32	11578
		CP II-E 40	
	Pozolana (6-14%)	CP II-Z 32	
	Fíler (6-10%)	CP II-F 32	
CP II-F 40			
Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	CP III-E 32	5735
		CP III-E 40	
Cimento Portland Pozolânico	Pozolana (15-50%)	CP IV 32	5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	Materiais carbonáticos (até 5%)	CP V-ARI	5733

Fonte: Adaptado de ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (2014).

Os tipos de cimento, embora diferentes em suas composições, devem conter características físicas e químicas semelhantes, que são apresentadas a seguir.

3.1.1.3 Características físicas

As propriedades físicas do cimento Portland devem ser consideradas em três aspectos: suas propriedades em condições naturais, da mistura de cimento e água, e da mistura da pasta com agregados. As propriedades da pasta e da argamassa devem ser analisadas quando o produto está em uso, que seriam, então, suas propriedades potenciais para confecção de argamassas e concretos. (BAUER, 2012).

Finura: Ribeiro, Pinto e Starling (2011) escreve que a finura do cimento está relacionada com o tamanho dos seus grãos. Quanto mais fino o cimento, haverá um maior ganho de resistência, principalmente nas primeiras idades, melhora a trabalhabilidade, reduz a permeabilidade e provoca menor exsudação (separação da água de emassamento proveniente da diferença de densidade em relação ao cimento). Bauer (2012) complementa escrevendo que a finura é o fator que impera na velocidade de reação de hidratação e também influencia em diversas outras qualidades de pasta, concretos e argamassas.

Tempo de pega: a pega do cimento é um fenômeno que envolve o processo de endurecimento da pasta. Petrucci (1998) define o início de pega como o tempo que decorre da adição de água ao princípio das reações com os compostos de cimento, e esse fenômeno é visualizado quando a viscosidade da pasta aumenta bruscamente e ocorre aumento de temperatura. O fim da pega acontece quando a pasta encerra sua deformação para cargas pequenas e torna-se um bloco rígido. Depois a massa aumenta sua resistência e coesão, esta fase é conhecida com endurecimento.

Exsudação: o fenômeno de separação entre a água e o cimento que ocorre nas pastas é denominado exsudação. Segundo Bauer (2012) isto ocorre pela diferença de densidade da água e dos grãos de cimento, que por ação da gravidade são forçados a sedimentar quando possível, resultando em um afloramento da água expulsa da região inferior. Esta segregação não é desejável, pois interfere na uniformidade, na resistência e na durabilidade dos concretos.

3.1.1.4 Características químicas

O processo de endurecimento por hidratação está diretamente ligado às propriedades químicas do cimento Portland. Bauer (2012) escreve que ainda não se conhece com precisão as reações que acontecem na fase de endurecimento, pois é um processo complexo, e que atualmente admite-se que este processo se desenvolva em dissolução na água, precipitações de cristais e gel com hidrólises e hidratação dos compostos do cimento.

Expansibilidade: segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), depois do fim da pega, começa outro fenômeno denominado expansibilidade. Bauer (2012) escreve que é uma expansão volumétrica indesejável, resultante da hidratação de cal e magnésia livre, que na fase de endurecimento, aumenta seu volume, criando tensões internas que levam a uma microfissuração. Quando a temperatura, na fabricação do clínquer, ultrapassa 1900°C ocorre a supercalcinação da cal. O óxido formado hidrata-se lentamente conduzindo à indesejável expansão posteriormente ao endurecimento.

Calor de hidratação: Ribeiro, Pinto e Starling (2011) define calor de hidratação como sendo a quantidade de calor resultante das reações de hidratação, na fase de endurecimento do cimento. Petrucci (1998) comenta que as reações de pega e

endurecimentos dos concretos são exotérmicas e que a quantidade de calor liberado depende da composição do clínquer. O método mais utilizado para a determinação do calor de hidratação é o da medida da diferença entre os dois valores de calor de dissolução de duas amostras de cimento, uma hidratada e outra anidra, numa mistura de ácidos fluorídrico e nítrico.

Bauer (2012) escreve que o grande interesse do conhecimento do valor do calor de hidratação é devido ao estudo do comportamento térmico de grandes concretagens. O cálculo do calor depende de vários fatores que podem intervir no fenômeno, como velocidade de reação, a variação do calor específico devido à grande concretagem, o coeficiente de condutibilidade térmica do concreto, dentre outros.

Resistência aos agentes agressivos: quando os concretos estão em contato com a água e a terra, podem acontecer reações químicas indesejáveis entre o concreto e o meio. Segundo Bauer (2012), a água e a terra podem conter substâncias que podem reagir com alguns componentes do cimento. Os silicatos de cálcio e principalmente a cal hidratada, são os componentes mais suscetíveis aos ataques. As águas puras atacam a cal existente no cimento por dissolução e dissolvem os próprios aluminatos e silicatos. As águas ácidas, como a água de chuva, com gás carbônico (CO_2) em concentrações baixas, atacam a cal. O produto desta reação é o carbonato de cálcio, que por apresentar baixa solubilidade obstrui os poros e protege o concreto contra futuros ataques. Entretanto se a concentração de (CO_2) dissolvido for mais elevada, o carbonato será dissolvido em bicarbonato, dando continuidade ao ataque até que haja completa exaustão da cal. A água sulfatada ataca o cimento por reação do sulfato com aluminato, que resulta em um sulfoaluminato (etringita), que gera grande aumento de volume, ocasionando fissuras e facilitando o ataque.

Reação álcali-agregado: reação álcali-agregado é a formação de produtos gelatinosos que acarretam grande expansão de volume, e ocorre pela combinação dos álcalis do cimento com a sílica ativa presente nos agregados. (BAUER, 2012).

Depois de analisadas as propriedades do cimento, serão analisados agora, os atributos dos agregados utilizados na confecção de concretos.

3.1.2 Agregados

Em relação aos agregados, Petrucci (1998) os define como sendo material granular sem volume e forma definidos, com atividades químicas praticamente inertes, e com propriedades específicas para o uso em engenharia.

Ainda de acordo com Petrucci (1998), os agregados são componentes importantes do concreto tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista técnico e exercem grande influência sobre algumas características, como: a diminuição da retração e melhor resistência à abrasão. Isto sem comprometer a resistência aos esforços mecânicos, uma vez que, os agregados apresentam melhores propriedades do que as pastas de cimento, como, por exemplo, resistência mecânica mais elevada.

Bauer (2012) classifica os agregados da seguinte maneira:

a) Segundo a origem:

- Naturais: os que se encontram já particulados na natureza, como areia e cascalho;
- Industrializados: os que são obtidos através de processos industriais, a matéria prima pode ser: rocha, escória de alto-forno e argila.

b) Segundo as dimensões das partículas:

Para a utilização em concretos, são divididos em:

- Miúdo: as areias, por exemplo;
- Graúdo: os cascalhos e as britas, por exemplo.

Esta classificação será mais bem estudada no decorrer deste capítulo.

c) Segundo o peso específico aparente:

De acordo com a densidade do material, os agregados são divididos em leves, médios e pesados. A TAB. 3 apresenta alguns valores aproximados das densidades aparentes médias.

Tabela 3 - Densidades aparentes médias

Leves		Médios		Pesados	
vermiculita	0,3	calcário	1,4	barita	2,9
argila expandida	0,8	arenito	1,45	hematita	3,2
escória granulada	1,0	cascalho	1,6	magnetita	3,3
		granito	1,5		
		areia	1,5		
		basalto	1,5		
		escória	1,7		

Fonte: Bauer (2012).

Os agregados leves são muito utilizados quando se deseja que o concreto seja de enchimento, não necessitando necessariamente que o concreto seja estrutural, ou com propriedades térmicas ou acústicas. Bauer (2012) ainda escreve que agregados médios são utilizados em concretos convencionais. Já os pesados são utilizados em concretos densos, e estes tem a propriedade de absorver radiações, sendo muito utilizados em usinas nucleares e salas de raio-x em hospitais.

3.1.2.1 Agregados miúdos

Segundo Fusco (2008), agregado miúdo é aquele que apresenta dimensão igual ou inferior a 4,8 mm, podendo ser de origem natural, como as areias quartzosas, ou artificiais. Ao passo que, agregado graúdo apresenta diâmetro superior a 4,8 mm, sendo proveniente do processo de britagem de rochas estáveis.

Segundo Helene e Terzian (1992), as principais características que devem ser observadas nos agregados miúdos são:

- a) Granulometria: é a proporção relativa expressa em porcentagem que se encontram os grãos. Esta propriedade tem grande influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compactação e na resistência. Segundo Fusco (2008), o ensaio de peneiramento é utilizado para o conhecimento da composição granulométrica do agregado miúdo. Nesse tipo de ensaio são utilizadas sete peneiras, cujas porcentagens que ficam retidas são especificadas conforme a TAB. 4.

Tabela 4 - Ensaio de peneiramento normal das areias

Peneiras aberturas nominais em mm (série normal ABNT)	Porcentagens acumuladas	
	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0
4,8	3-5	0-3
2,4	29-43	13-29
1,2	49-64	23-49
0,6	68-83	42-68
0,3	83-94	73-83
0,15	93-98	88-93

Fonte: Fusco (2008).

- b) Módulo de finura: o módulo de finura segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011) é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras dividida por 100. Quanto a esta propriedade os agregados miúdos são classificados em areia grossa, média, e fina de acordo com a TAB. 5 que representa, também, a utilização do agregado conforme o módulo de finura.

Tabela 5 - Classificação das areias quanto ao módulo de finura

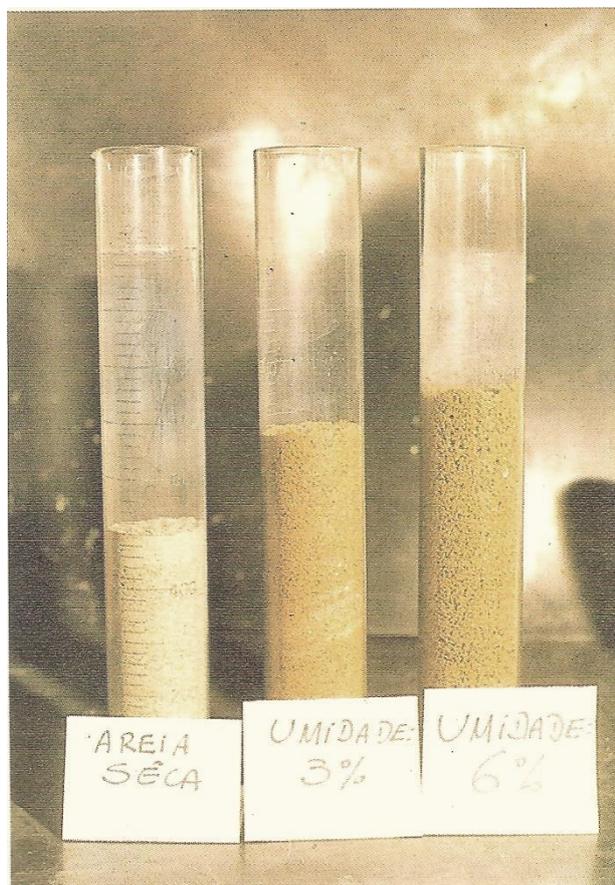
Tipos	Módulo de finura - MF	Utilização
Areia grossa	MF > 3,3	Concreto e chapisco
Areia média	2,4 > MF > 3,3	Emboço e concreto
Areia fina	MF < 2,4	Reboco

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

- c) Inchamento: o inchamento é a expansão volumétrica da massa de agregados ocasionada pela absorção de água. Esta propriedade é de fundamental importância na fase de dosagem do concreto, pois estes são medidos em volume, e de acordo com a umidade obtém-se diferentes massas para um mesmo volume de dosagem, levando a uma correção do traço. (HELENE; TERZIAN, 1992).

A FIG. 1 apresenta três amostras que contém a mesma massa de areia seca, e com o acréscimo de 3% e 6% de água, modificou o seu volume aparente úmido.

Figura 1 - Visualização do inchamento da areia.



Fonte: Helene e Terzian (1992).

- d) Apreciação petrográfica: segundo Helene e Terzian (1992) é de extrema importância o conhecimento da origem dos agregados que vão constituir o concreto, pois mesmo sendo considerados como inertes podem possuir características físicas e químicas que podem interferir no comportamento do concreto.

3.1.2.2 Agregados graúdos

Segundo Helene e Terzian (1992), as principais características que devem ser observadas nos agregados graúdos devem ser:

- a) Granulometria: como já foi dito, a composição granulométrica é a proporção relativa expressa em porcentagem em que se encontram os grãos do agregado, exercendo grande influência na qualidade do

concreto, atuando na compactação e resistência. (HELENE; TERZIAN, 1992).

- b) Dimensão máxima característica: quanto maior a dimensão do agregado, mais econômico será o concreto. Todavia, deve ser observado outro aspecto: a trabalhabilidade do concreto fresco. Quanto maior a dimensão do agregado, menor a trabalhabilidade. A dimensão máxima dos agregados fica dependente do espaçamento utilizado entre as armaduras, das fôrmas, e do processo de transporte do concreto. (HELENE; TERZIAN, 1992).

Na TAB. 6 temos a classificação comercial das britas, suas dimensões e locais de possíveis aplicações.

Tabela 6 - Classificação das britas quanto à dimensão dos grãos

Classificação	Peneiras normalizadas	Utilização
Brita 0	4,8 - 9,5 mm	Concreto convencional
Brita 1	9,5 - 19,0 mm	
Brita 2	19,0 - 25,0 mm	
Brita 3	25,0 - 38,0 mm	Concreto massa
Brita 4	38,0 - 64,0 mm	
Pedra de mão	> 76 mm	Fundação

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

- c) *Apreciação petrográfica*: é indispensável o conhecimento da natureza do agregado para constituir o concreto, pois sendo inertes, podem possuir características físicas e químicas que podem interferir no comportamento do concreto. (HELENE; TERZIAN, 1992).
- d) *Mistura de agregados graúdos*: para se reduzir o custo do concreto, pode-se compor ou misturar agregados graúdos. Helene e Terzian (1992) escreve que se pode obter esta mistura de modo simples e prático, sem a necessidade de cálculos complexos ou de traçados de curvas granulométricas.

3.1.3 Água de amassamento

Segundo Petrucci (1998), toda a água que serve para beber, também serve para confeccionar concretos. Esta afirmação não possui reciprocidade, pois águas que podem ser utilizadas no amassamento, podem não ser próprias para o consumo humano.

Ainda de acordo com Petrucci (1998), os principais problemas com relação à água de amassamento, não são os elementos que nela estão contidos, mas com o excesso da quantidade empregada.

A proporção entre os constituintes é obtida através da tecnologia do concreto, que visam atender às propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade, além de favorecer a trabalhabilidade (propriedade necessária para o transporte, lançamento e adensamento do concreto). (HELENE; ANDRADE, 2007).

A fluidez da pasta de cimento fica dependente da quantidade de água utilizada e da distribuição granulométrica dos grãos de cimento. Segundo Helene e Andrade (2007), esta relação é conhecida como relação água/cimento. Quanto mais fluida a pasta, maior será a relação. Na FIG.2 é mostrado um exemplo de diferentes relações água/cimento com 0,60 (a); 0,50 (b); 0,40 (c) e 0,30 (d).

Figura 2 - Diferentes relações água/cimento do mesmo cimento Portland com 0,60 (a), 0,50 (b), 0,40 (c) e 0,30 (d), respectivamente da esquerda para a direita e de cima para baixo.



Fonte: Helene e Andrade (2007).

Helene e Andrade (2007) escreve que as quatro pastas acima, quando endurecidas, possuem desempenho bem distintos, sendo crescente com a redução da relação água/cimento. A pasta com relação água/cimento de 0,30 (d) terá uma resistência mecânica bem superior à da pasta com 0,60 (a).

Esta forte correlação entre a relação água/cimento e a resistência à compressão foi experimentalmente descoberta por René Féret, na França em meados do século XIX, e também, principalmente, por Abrams, nos Estados Unidos, sendo ainda considerado o principal parâmetro para a definição da resistência e durabilidade do concreto. (HELENE; ANDRADE, 1992).

Abrams (1919) definiu a equação para relacionar resistência e relação água/cimento conforme equação 1.

$$S = \frac{A}{B^x} \quad (1)$$

Na equação acima, Abrams (1919) definiu que a resistência à compressão (S , hoje chamada de f_c) era dependente da relação água/cimento ($x = a/c$) e de outros fatores que diziam respeito ao tipo de cimento utilizado, a idade do concreto e as condições de cura (A e B).

Embora outros fatores influenciem também para a resistência final da mistura, os parâmetros utilizados para direcionar o proporcionamento da mesma definem que o fator água/cimento e o teor de ar incorporado (porosidade) são os fatores que imperam nessa relação. Então se torna necessário o conhecimento do teor de umidade presente nos agregados que comporão o concreto a fim de corrigir a quantidade de água que será empregada na mistura. (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

Depois de conhecidas as propriedades dos constituintes do concreto de cimento Portland, referentes ao controle tecnológico, os subcapítulos a seguir irão abordar sobre propriedades do concreto, tanto no seu estado fresco, quanto no seu estado endurecido.

3.2 Propriedades do concreto de cimento Portland

Para Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), as propriedades do concreto de cimento Portland devem ser avaliadas sob duas condições, sendo o concreto no estado fresco e no estado endurecido.

3.2.1 Propriedades do concreto fresco

O material concreto na fase inicial, conhecida como concreto fresco, é compreendido por um tempo bastante curto, variando de 1 hora a 5 horas. Helene e Andrade (2007) descreve esta fase como o intervalo de tempo para que o concreto seja misturado, transportado, lançado e adensado. As propriedades do concreto fresco que devem ser levadas em consideração estão representadas pela trabalhabilidade e pela consistência.

3.2.1.1 Trabalhabilidade

Petrucci (1998) escreve que a trabalhabilidade é a mais importante característica do concreto fresco, porém, conceituá-la não é uma tarefa das mais fáceis.

A noção de trabalhabilidade torna-se mais subjetiva que física. Bauer (2012) escreve que o componente da trabalhabilidade de maior importância é a consistência (que será apresentada no próximo subitem deste capítulo), traduzindo, então, em fatores intrínsecos ao concreto.

Estes fatores, segundo Helene e Andrade (2007), estão ligados à relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento, traço, teor de argamassa, forma, textura e tamanho dos agregados.

Petrucci (1998) resume a trabalhabilidade como sendo a maior ou menor aptidão de seu emprego, com certa finalidade, sem perder sua homogeneidade.

Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) escreve que o concreto torna-se trabalhável em seu estado fresco quando a consistência e as dimensões máximas dos agregados são adequadas ao tipo de obra e ao seu destino, referenciando às dimensões das peças, e às distribuições das armaduras. Também ressalta que os métodos de transporte, lançamento e adensamento que são adotados também influem para que o concreto se torne trabalhável ou não.

Petrucci (1998) cita os principais fatores que influem na trabalhabilidade:

a) Fatores internos

- Consistência: pode ser definida pelo fator água/cimento;
- Traço;
- Granulometria do concreto: compreendida pela proporção de agregados miúdos e graúdos;
- Formatos dos agregados: que geralmente depende da obtenção, agregado natural ou britado;
- Aditivos que geralmente interferem na trabalhabilidade, chamados de plastificantes.

b) Fatores externos

- Modo de preparo, sendo manual ou mecanizado;
- Tipo de transporte: sendo vertical ou horizontal, por guinchos, calhas ou bombas;
- Lançamento: de pequena ou grande altura;
- Adensamento: manual ou vibratório;
- Dimensões e armaduras das peças que serão executadas.

Como exemplo, Petrucci (1998) cita a seguinte situação: para melhorar a trabalhabilidade, nem sempre adicionar água é a melhor opção, pois a partir de certo teor, quando o concreto for vibrado, haverá segregação, tornando o concreto não trabalhável.

3.2.1.2 Consistência

Helene e Andrade (2007) descreve a consistência do concreto fresco como sendo a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação de sua própria massa.

Bauer (2012) escreve que o concreto deverá ter consistência adequada para cada tipo de situação, pois este é o fator mais importante que influi sobre a trabalhabilidade.

Ainda de acordo com Bauer (2012) são quatro fatores que afetam a consistência:

- a) Teor de água/mistura seca: é o fator determinante da consistência, escrito em porcentagem da água com relação à mistura de cimento e agregados, ambos em peso. Salienta-se que através do teor de água/mistura seca verifica-se indiretamente a influência do fator água/cimento.
- b) Granulometria e forma dos agregados: fixando o teor água/mistura seca e modificando a granulometria (relação agregado

graúdo/agregado miúdo), obtém-se uma alteração na consistência do concreto. Se a superfície específica do agregado diminui, o concreto passa a ser mais plástico, no caso oposto, torna-se menos plástico. Quando se busca uma consistência desejada ao concreto, a granulometria, o teor de água/materiais secos e, indiretamente, o fator água/cimento devem ser levados em consideração como um conjunto. Estudos comprovaram que para um alto fator água/cimento, a relação areia/pedra deve ser também elevada para se obter um concreto mais plástico. Todavia, deve ser observado que para determinadas consistências, existe uma relação areia/pedra que necessita de menor teor de água/mistura seca. Aconselha-se que os agregados graúdos e miúdos sejam uniformemente graduados, pois granulometrias descontínuas devem ser ensaiadas para que atendam as condições de aplicação. A respeito da forma do grão, sabe-se que os que fornecem mais plasticidade ao concreto são os arredondados, que os angulares, lamelares ou aciculares, que também são responsáveis pela maioria da porcentagem dos vazios do concreto.

- c) Aditivos: concretos plásticos com dosagem correta não necessitam de aditivos, já que estes são necessários apenas para concretos ásperos e pobres. Ainda salienta que o uso incorreto dos aditivos podem trazer efeitos indesejáveis ao concreto.
- d) Tempo e temperatura: o enrijecimento das misturas de concreto, que não deve ser confundido com a pega do cimento, é resultado da água que é perdida nas reações de hidratação iniciais, da evaporação, principalmente se o concreto estiver exposto ao vento e ao sol, e absorção por parte do agregado. A consistência só é interessante no momento do lançamento, aconselha-se verificar a mistura após certo tempo, quinze minutos, por exemplo. A temperatura ambiente também interfere na consistência da mistura, inclusive modificando a temperatura do próprio concreto. Este fator determina diferentes quantidades de água que são necessárias para uma mesma consistência.

3.2.1.3 Método de avaliação do concreto fresco

Helene e Andrade (2007) escreve que o principal método de avaliação da consistência do concreto fresco é o ensaio de abatimento do tronco de cone, conhecido também como *slump test*, conforme FIG. 3, definido pela NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS [ABNT], 1996), porém sua última revisão é a de 1998.

Figura 3 - Abatimento do tronco de cone. Enchimento do tronco de cone (a); retirada do molde (b); medida do abatimento (c)



Fonte: Téchne, 2010.

Segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), este método é aplicável aos concretos coesivos e plásticos que possuem assentamento superior ou igual a 10 mm, e este método não se aplica a concretos que apresentem agregados graúdos cujas dimensões máximas superem 37,5 mm. Quando a dimensão nominal máxima é superada, realiza-se o ensaio sobre a fração de concreto que passa na peneira de 37,5 mm, que se obtém pela NBR NM 36: Concreto fresco – Separação de agregados grandes por peneiramento.

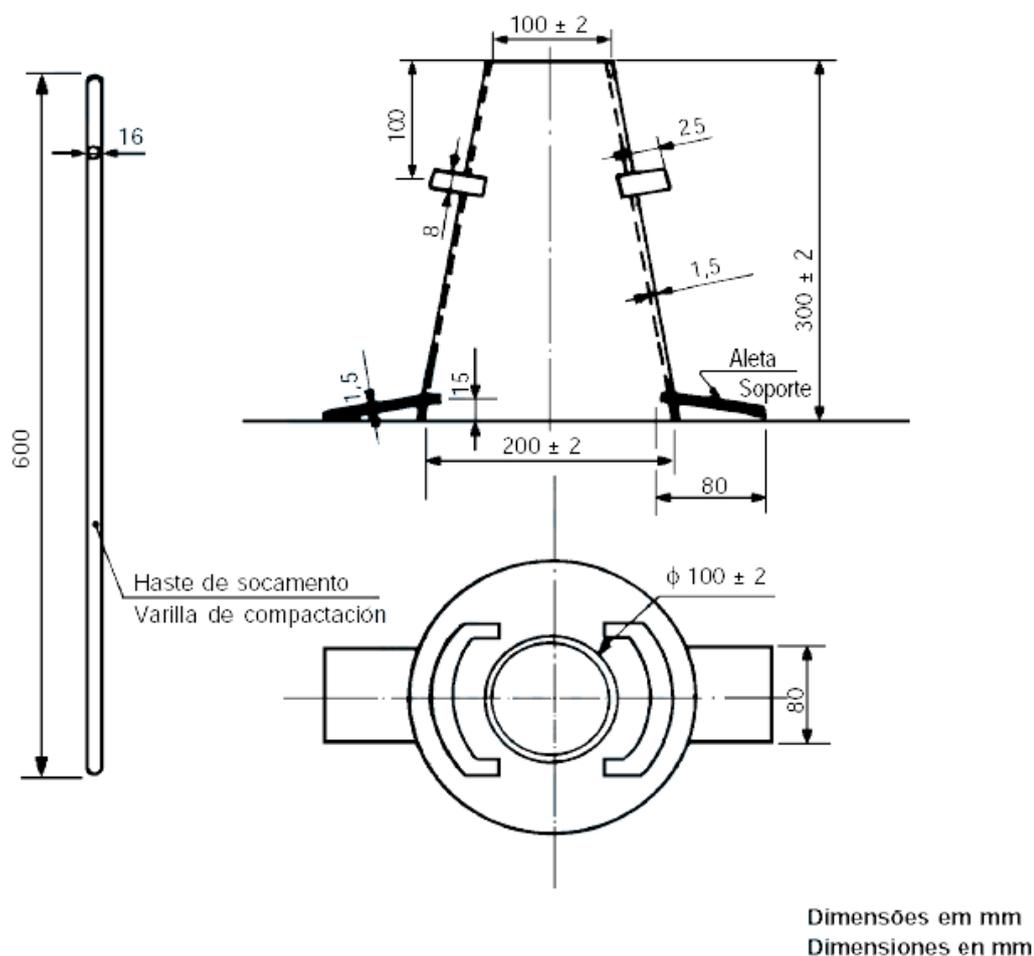
Para o ensaio são utilizados os seguintes materiais:

- a) Molde para o corpo de prova: deve ser de metal, com forma de um tronco de cone oco, com diâmetro da base inferior de $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$; diâmetro da base superior de $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ e altura de $300 \text{ mm} \pm 2$

mm. Na parte superior deve conter duas alças que devem estar localizadas a dois terços de sua altura e na parte inferior deve conter duas aletas para a estabilidade do tronco de cone, conforme FIG. 4;

- b) Haste de compactação: é uma barra reta, de seção circular, de aço ou material equivalente, com 16 mm de diâmetro, comprimento de 600 mm e suas extremidades devem ser arredondadas;
- c) Placa de base: a placa é metálica, quadrada ou retangular, plana, com dimensões não inferiores a 500 mm.

Figura 4 - Molde e haste de compactação

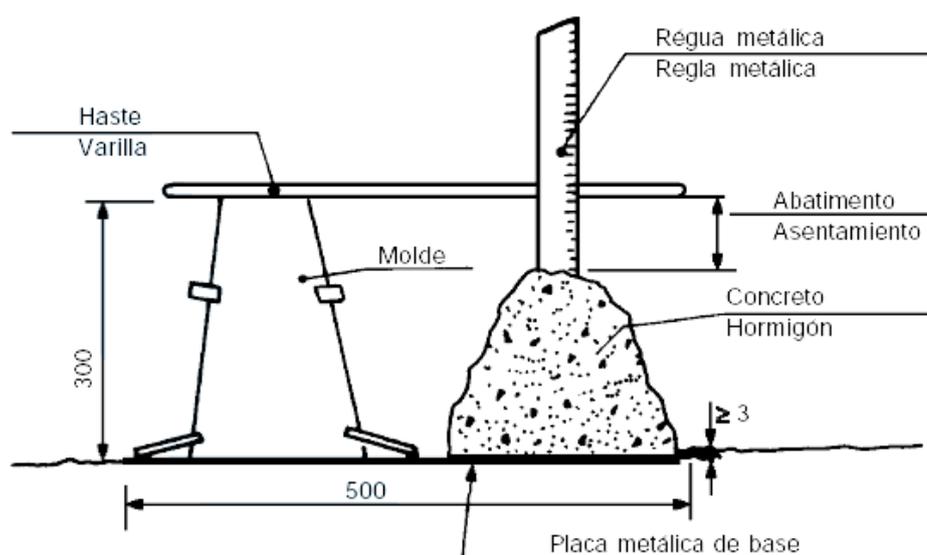


Fonte: NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Ainda de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), o procedimento consiste em umedecer o molde e a placa de base, e colocar o molde sobre a placa de base. Os pés do operador devem estar sobre as aletas, para que o molde se mantenha

estável. Deve-se encher o molde rapidamente com o concreto a ser analisado, dividindo em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde. Cada camada deve ser compactada com 25 golpes da haste de compactação distribuídos uniformemente sobre a área de cada camada. Após a compactação da última camada deve-se rasar a superfície de concreto com uma desempenadeira e com movimentos rolantes da haste de compactação. Após rasar a última camada, deve-se retirar o molde, erguendo-o cuidadosamente. Imediatamente após a retirada do molde o abatimento do concreto deve ser medido, observando a diferença de altura do eixo do corpo de prova e a altura do molde conforme FIG. 5.

Figura 5 - Medida do abatimento



Dimensões em mm
Dimensiones en mm

Fonte: NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Caso ocorram desmoronamentos ou deslizamentos, e estes impeçam a mensuração do abatimento, a NBR NM 67 (ABNT, 1998) recomenda desconsiderar o ensaio e realizar uma nova determinação com outra porção do concreto a ser analisado. Caso os desmoronamentos ou os deslizamentos persistam, o concreto não é necessariamente plástico e coeso para a aplicação do ensaio de abatimento.

Segundo Bauer (2012), apesar das limitações, o ensaio de abatimento, ou *slump test*, é um importante fator para concretos de *slump* conhecidos, pois uma variação no seu abatimento pode servir de alerta para quem opera a situação, no sentido de corrigi-la.

Outra utilidade para o teste de abatimento é para o processo de adensamento do concreto. Ribeiro, Pinto e Starling (2011) caracteriza o processo de adensamento segundo o abatimento conforme TAB. 7.

Tabela 7 - Processo de adensamento

Abatimento - mm	Processo de adensamento
Abatimento < 20	Vibração
20 < abatimento < 60	Manual ou vibração
Abatimento > 60	Manual

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

Decorridas as propriedades do concreto no estado fresco, no próximo subcapítulo será discutido sobre propriedades do concreto no estado endurecido.

3.2.2 Propriedades do concreto endurecido

Com o decorrer da hidratação do concreto, este passa de um estado fluido para um estado plástico, e posteriormente a um estado sólido. Assim, endurecido, o concreto está apto a suportar cargas como um material estrutural. (LI, 2011).

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), as características que um concreto deve apresentar depois do seu endurecimento são: resistência, durabilidade, impermeabilidade e aparência. A relação água/cimento aplicada corretamente melhora sensivelmente estas propriedades, exceto a aparência.

Estas propriedades e características, quando em conjunto qualificam o concreto. Todavia devem ser consideradas em termos relativos, obedecendo à qualidade exigida para um determinado fim de construção. Por exemplo, com relação à durabilidade, pode ser admissível quando a estrutura se encontra perfeitamente protegida da ação dos elementos, e se tornar inapropriada quando exposta diretamente à ação dos agentes agressores; outro exemplo é a impermeabilidade que é uma característica dos concretos utilizados em estruturas

hidráulicas, e não sendo requisito prioritário para concretos que irão compor a estrutura dos edifícios, quando as exigências indispensáveis a estas obras são resistência mecânica e rigidez. (BAUER, 2012).

Nos tópicos a seguir serão discutidas as principais propriedades do concreto endurecido.

3.2.2.1 Resistência mecânica

Segundo Giongo e Jacintho (2010), a resistência mecânica do concreto é influenciada pela granulometria e resistência mecânica dos agregados, pelo tipo de cimento e pela sua quantidade em relação à água de amassamento. Outros fatores também influenciam o comportamento mecânico do concreto, sendo eles: tipo de solicitação, velocidade do carregamento, relação água/cimento, idade do concreto, forma e dimensões dos corpos de prova. O concreto pode conter ainda adições que incorporam ao concreto uma melhora de desempenho em uma propriedade específica, tal como o aumento de resistência à compressão. Nesta situação, por exemplo, adiciona-se sílica ativa no processo de dosagem, e como o fator água/cimento deve ser minimizado, pode-se fazer uso de plastificantes.

Outro fator que afeta a resistência mecânica é a porosidade, definido por Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) como a quantidade de vazios presentes no concreto. A resistência mecânica é decrescente em relação ao aumento da porosidade, esta última que é totalmente dependente da relação água/cimento e do processo de adensamento.

3.2.2.2 Durabilidade e impermeabilidade

Conceituar durabilidade é uma tarefa difícil segundo Newman e Choo (2003), pois a durabilidade não é uma propriedade do concreto, mas sim um comportamento, um desempenho de uma estrutura de concreto em condições de exposição determinadas.

A durabilidade do concreto está relacionada, então, com a resistência às condições em que foi aplicado, sem deteriorar-se por um longo período. Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011) as principais causas da redução da durabilidade estão apresentadas na TAB. 8.

Tabela 8 - Causas da redução da durabilidade

Causas externas	Físicas	Intempéries, ocorrência de temperaturas extremas
	Químicas	Ataques por líquidos ou gases, naturais ou artificiais
	Mecânicas	Abrasão, erosão e cavitação
Causas internas	Inerentes ao próprio concreto: reação álcali-agregado, permeabilidade	

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

Segundo Fusco (2008) vale ressaltar que a preocupação devida à durabilidade deve ser especificada ainda na fase de projeto, seguindo as recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014) sobre os cobrimentos mínimos estabelecidos para cada tipo de meio onde o concreto será inserido.

Outro fator determinante na durabilidade do concreto é a impermeabilidade, pois um concreto impermeável dificulta o acesso de agentes agressivos. Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) os fatores que influenciam na impermeabilidade do concreto estão listados a seguir:

- Porosidade da pasta: a porosidade depende de dois fatores: da relação água/cimento e do grau de hidratação da pasta. A estrutura da pasta é definida pela relação água/cimento, quanto menor a relação, mais próximos estarão os grãos de cimento e menor será a porosidade da pasta; os produtos da hidratação tendem a ocupar um volume maior que o cimento, portanto à medida que a hidratação evolui, a porosidade diminui;
- Retração hidráulica: resultado da retração da pasta de cimento, que ao sofrer modificação de volume, acaba exercendo tensões sobre o agregado, fissurando o concreto e aumentando a permeabilidade.

Depois de abordadas as propriedades do concreto fresco e endurecido, partir-se-á detalhes do processo de produção do concreto.

3.3 Produção do concreto

Conhecidas as propriedades do concreto fresco e endurecido, agora o processo de produção do concreto pode ser detalhado. Segundo Araújo, Rodrigues

e Freitas (2010), o processo de produção do concreto deve seguir uma linha de operações, que ao final obtém-se o concreto desejado.

As operações a serem seguidas são:

- Dosagem;
- Mistura;
- Transporte;
- Lançamento;
- Adensamento;
- Cura.

3.3.1 Dosagem do concreto

Dosar o concreto significa obter na melhor proporção os materiais construtivos do concreto. Essa proporção é também conhecida como traço, que pode ser dado em massa ou em volume. (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

A proporção citada acima deve atender às condições requeridas de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, que são itens de extrema relevância para o concreto, além de torná-lo viável economicamente. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) existem atualmente diversos métodos de dosagem aceitos no Brasil. Todavia esta variedade não pode ser considerada contraditória, pois muitos métodos consideram condições específicas de aplicação.

O processo de dosagem não será abordado detalhadamente, pois não consta como objetivo deste trabalho. Mas após definido o processo de dosagem e a quantidade de seus constituintes, parte-se ao processo de mistura dos mesmos.

3.3.2 Mistura

Mistura ou amassamento do concreto tem a finalidade de fazer com que os materiais componentes estabeleçam contato íntimo entre si para que se obtenha um recobrimento de pasta de cimento entre os agregados. (AZEREDO, 1997).

A exigência primordial relacionada à mistura é que seja homogênea, pois a falta de homogeneidade pode determinar um sensível decréscimo na resistência mecânica e na durabilidade do concreto. (PETRUCCI, 1998).

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), a produção do concreto pode ser feita de duas maneiras: da forma manual ou mecânica.

3.3.2.1 Mistura manual

Previsto para obras de pequeno porte, onde o volume utilizado e a qualidade que é exigida do concreto não justificam o uso de equipamentos mecânicos. A sequência de operação é bastante simples, devendo ser realizada sobre um estrado de madeira ou alguma superfície plana e impermeável. (AZEREDO, 1997).

Petrucci (1998) recomenda misturar a seco agregados miúdos e cimento, de forma que a coloração após a mistura fique uniforme. Depois é adicionado o agregado graúdo e mistura-se tudo. A seguir deve-se abrir uma cratera no centro da mistura para que a água seja adicionada, e continua-se a misturar até que o concreto esteja homogêneo e tenha condições de ser transportado e lançado nas formas.

Como a mistura manual é somente indicada para obras de pequeno porte, é recomendável que o volume de concreto misturado de uma só vez não ultrapasse uma quantidade de cimento maior que 50 kg, o correspondente a 1 saco de cimento por traço. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

3.3.2.2 Mistura mecânica

A mistura mecânica é feita em equipamentos chamados de betoneira, que são constituídos por um tambor ou cuba, fixo ou móvel em torno de um eixo, passando pelo seu centro, que por meio de pás, podendo ser fixas ou móveis, efetuam a mistura. Bauer (2012) classifica as betoneiras de acordo com o processo de mistura da seguinte maneira:

- a) Betoneiras de gravidade ou de queda livre: com a rotação do tambor, as pás internas elevam o material até a parte superior e de lá caem,

por gravidade ou por queda livre, obtendo-se lentamente a homogeneização da mistura;

- b) Betoneiras de mistura forçada: o movimento da cuba e/ou das pás, faz com que a mistura dos materiais constituintes do concreto aconteça, arrastando todo o material e o força a ter um contato rápido e mais completo.

3.3.2.3 Tempo de mistura

O tempo de mistura do concreto deve ser de modo que se obtenha, ao final dela, uma massa homogênea, e já é sabido que o concreto pode ser misturado na obra ou através de dispositivos mecânicos. (NBR 12655, ABNT, 2006).

Ainda de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2006), se o concreto for misturado com equipamentos mecânicos, o tempo de mistura deve seguir as especificações do fabricante, porém ela ressalta que o tempo mínimo deve ser de 60 segundos, aumentado em 15 segundos para cada metro cúbico de capacidade nominal da betoneira, ou de acordo com especificações do fabricante.

3.3.2.4 Ordem de colocação dos materiais

Não existe regra geral para a colocação dos materiais na betoneira, porém existem recomendações que devem ser seguidas, testadas e adotadas. Isto vale para betoneiras pequenas onde o carregamento dos materiais é manual. (BAUER, 2012).

Petrucci (1998) recomenda colocar, primeiramente, parte do agregado graúdo mais parte da água de amassamento, depois o cimento e o restante da água e a areia, e como último passo, colocar o restante do agregado graúdo.

Bauer (2012) explica que não se deve colocar o cimento primeiro, pois, com a betoneira seca, perde-se parte dele, e se estiver úmida formará uma camada de cimento revestindo internamente as paredes da betoneira. Deve-se colocar a água e o agregado graúdo primeiro para que estes materiais retirem a argamassa acumulada da betonada anterior. Em seguida é colocado o cimento, pois com a água e o agregado graúdo, haverá boa distribuição de água para cada partícula de cimento. Por fim deve-se colocar o agregado miúdo.

Após a mistura do concreto, deve-se proceder ao processo de transporte do mesmo.

3.3.3 Transporte

O local de amassamento e o local de lançamento do concreto são fatores que vão interferir no sistema de transporte. Este que deve ser feito o mais rapidamente possível, antes que as reações de início de pega (hidratação do cimento) se iniciem. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

A principal condição a que o sistema de transporte deve obedecer é a de que se mantenha a homogeneidade, evitando-se a segregação do material. A segregação se dá pelo fato do concreto ser uma mistura heterogênea, com materiais de diferentes densidades e dimensões, então, os esforços internos, após a fabricação do concreto, começam a atuar e a separar os materiais. Essa situação deve ser evitada, e jamais endireitada após seu acontecimento. (BAUER, 2012).

Quanto ao tipo de transporte, dependerá do local de aplicação. Na TAB. 9 estão listados os tipos de transporte e os principais equipamentos para cada tipo.

Tabela 9 - Tipos de transporte

Tipo de transporte	Equipamentos
Horizontal	Carrinhos de mão, <i>dumpers</i> e caminhões betoneiras (6m ³)
Vertical	Guinchos, gruas, e elevadores de carga
Oblíquo	Correias transportadoras, calhas e bombas

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

Definido o tipo de transporte, deve-se atentar para o processo de lançamento do concreto.

3.3.4 Lançamento

A colocação do concreto nas formas ou o lançamento do concreto compreende três etapas fundamentais: a preparação da superfície onde o concreto será depositado, a aplicação do material transportado e o modo como deve permanecer depositado para que venha a receber a compactação. (BAUER, 2012).

O lançamento do concreto deve acontecer assim que for finalizada a fase de mistura, e para concretos comuns, não é permitido um intervalo superior a trinta minutos entre a mistura e o lançamento do concreto. Já em concretos com aditivos este tempo pode variar. Também não se permite remisturar o concreto para uso posterior. (PETRUCCI, 1998).

Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) faz várias recomendações para que o concreto seja lançado de forma correta:

- Deve-se manipular o concreto de forma que não haja segregação;
- As formas fiquem livres de detritos e corpos estranhos;
- Se as formas forem em madeira, estas devem estar saturadas de água para que não absorvam a água contida no concreto;
- Não se deve arrastar o concreto por longas distâncias, pois o arrastamento pode provocar perda de argamassa, que adere na superfície dos locais por onde passa;
- A altura máxima de lançamento permitida é de aproximadamente dois metros, pois acima desta altura o choque do concreto pode formar segregação. Para as peças esbeltas, pilares, por exemplo, que possuem altura maior que a permitida, devem ser abertas janelas na face lateral das formas para o lançamento do concreto. Posteriormente estas janelas devem ser fechadas, à medida que ocorre o avanço da concretagem.

Ao término do lançamento deve iniciar outra etapa denominada adensamento.

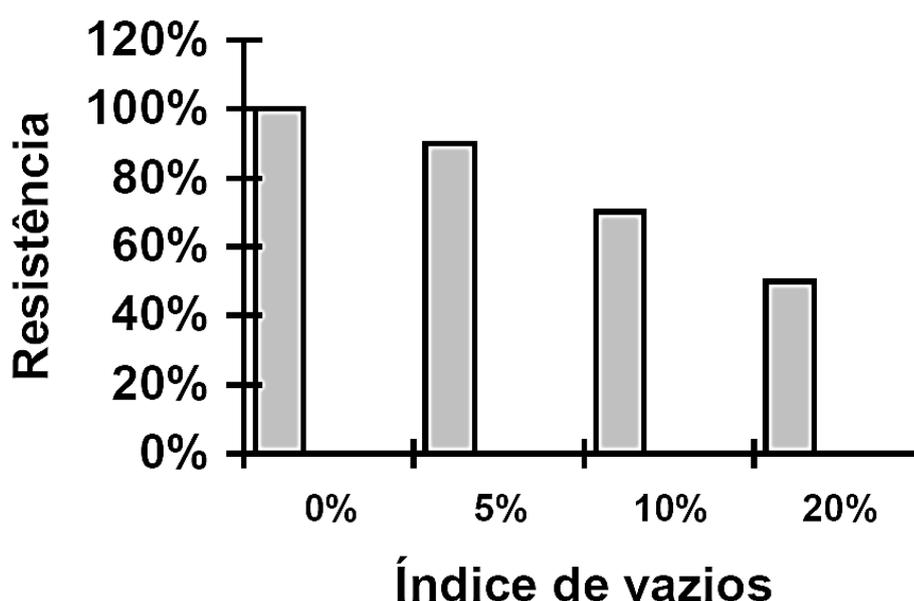
3.3.5 Adensamento

Para a minimização do teor de vazios do concreto após sua colocação nas formas é necessário que ocorra compactação. Esta compactação provoca a saída do ar, fazendo os agregados se arranjam melhor e desenvolve, também, um melhor contato do concreto com as ferragens e as formas. (BAUER, 2012).

O processo de adensamento executado de forma correta melhora a aderência do concreto à armadura, melhora também, a resistência mecânica, aumenta a impermeabilidade e a resistência a intempéries. (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2010).

Ainda de acordo com Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) há uma relação entre a resistência teórica do concreto e seus vazios. O GRAF. 1 mostra claramente que à medida que os vazios aumentam, ocorre uma diminuição da sua resistência.

Gráfico 1 - Relação entre resistência do concreto e índice de vazios



Fonte: Araújo, Rodrigues e Freitas (2010).

O processo de adensamento pode ser manual, apiloamento ou socamento, ou mecânico, feitos por vibradores ou centrífugas. (PETRUCCI, 1998).

O modo mais simples de adensamento é o manual, pois se utiliza de uma barra metálica, fina e cilíndrica, ou através de soquetes mais pesados. Para ambos

os casos a consistência do concreto deve ser bastante plástica. Quando se utiliza a barra, ela deve ir da camada superior até penetrar parcialmente na camada inferior. Já no uso de soquetes, deve-se golpear a camada de concreto repetidamente, com mais importância ao número de golpes do que a energia aplicada em cada um. (AZEREDO, 1997).

O adensamento manual deve ser realizado em camadas com espessura máxima de 20 cm. O processo deve finalizar somente após o surgimento na superfície do concreto de uma camada de cimento lisa com elementos finos. (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2010).

Ainda de acordo com Araújo, Rodrigues e Freitas (2010), o adensamento mecânico em obras de grande e médio porte é o único que se admite. Há uma variedade muito grande de tipos de adensamento mecânico que vão depender do tipo e forma de construção e execução.

O vibrador de imersão é o mais utilizado e é também denominado vibrador de agulha. Deve-se imergir um mangote, cuja extremidade possui uma agulha, e esta deve ser cravada perpendicularmente à massa obedecendo ao raio de ação do vibrador. O vibrador externo é um vibrador que se fixa às formas, tem efeito equivalente aos vibradores de agulha. Seu uso maior é em pré-moldados devido ao equipamento ter uma mobilidade trabalhosa. Os vibradores superficiais ou réguas são utilizados para adensar pequenas camadas de concreto, como por exemplo, pisos de aeroportos ou estradas. As mesas vibratórias são estruturas sobre as quais são colocadas as peças a serem adensadas, sendo de grande utilidade para produção de pequenas peças pré-moldadas (blocos, placas, pequenas vigas, por exemplo). (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2010).

A TAB. 10 mostra os principais tipos de vibradores e suas aplicações.

Tabela 10 - Adensamento mecânico do concreto

Equipamentos	Utilização
Vibrador interno ou mangote ou de imersão	Estruturas convencionais
Vibrador externo	Estruturas com grande densidade de armadura
Vibrador superficial - Réguas	Pátios de aeroportos, estradas
Mesas vibratórias	Pré-fabricados

Fonte: Ribeiro, Pinto e Starling (2011).

Deve-se atentar para algumas regras gerais quando se utilizam vibradores mecânicos tais como: o tempo de vibração, que depende de vários fatores (frequência de vibração, abatimento do concreto, forma dos agregados, e densidade de armadura); excesso de vibração, que causa segregação no concreto, respeitar os raios de ação, e não aplicar a vibração diretamente sobre a armadura, pois prejudica a aderência do concreto com a armadura criando espaços vazios entre eles. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Assim realizada a fase de adensamento do concreto, é necessário atentar-se para o processo de cura do concreto, fator extremamente importante para garantia de qualidade do concreto.

3.3.6 Cura

Petrucci (1998) define a cura do concreto como um conjunto de medidas que tendem a evitar a perda prematura de água, sendo esta essencial à hidratação do cimento.

A cura deve proteger o concreto recém-lançado da ação dos raios solares e da ação do vento, pois estes provocam a evaporação da água, além de proteger também da lixiviação causada pela chuva, do resfriamento rápido nos primeiros dias, dos gradientes térmicos elevados, da temperatura muito baixa, da vibração e impactos que possam perturbar o concreto. (NEWMAN; CHOO, 2003).

Para ter um concreto com boas qualidades (impermeabilidade, resistência ao desgaste, resistência mecânica e resistência aos ataques dos agentes agressivos), a cura é extremamente importante, pois somente com uma boa cura consegue-se chegar a estes objetivos. (BAUER, 2012).

Araújo, Rodrigues e Freitas (2010) lista os métodos de cura mais utilizados nas obras:

- a) Irrigação da superfície periodicamente: consiste em irrigar o concreto fresco deixando a superfície do concreto saturada. É o método mais simples. A normatização brasileira exige que a cura seja realizada nos sete primeiros dias a partir do lançamento do concreto, mas, para maior segurança, deseja-se que este período se estenda até o décimo quarto dia, para que haja garantia de não aparecimento de fissuras provocada pela retração do concreto.
- b) Simples recobrimento da superfície: método mais utilizado nas obras, consistindo na cobertura da superfície com areia, sacos de aniagem, ou os próprios sacos de cimento que são mantidos sempre úmidos, evitando diretamente a ação dos raios solares e do vento que ocasionariam a evaporação da água.
- c) Imersão: é um método com uma aplicação bastante restrita, porém é o método ideal. É mais utilizado na fabricação de pré-moldados, mergulhando-se as peças em tanques com água.
- d) Recobrimento total ou envolvimento da superfície: consiste em envolver ou recobrir as peças, evitando a passagem de ar. Pode ser com papel ou plásticos impermeáveis, que vão impedir a evaporação, dispensando o uso de água na cura.
- e) Manutenção da umidade das fôrmas: é somente aplicável em peças onde a madeira da fôrma proteja a maior parte da superfície, como pilares e vigas. Deve ser mantida a umidade das fôrmas molhando-as em intervalos frequentes.

Existem outros métodos de cura, porém menos usuais, como, por exemplo, aplicação de cloreto de cálcio, que provoca a absorção da água do ambiente que manterá úmida a superfície, a impermeabilização com pinturas dentre outras. (BAUER, 2012).

Acima foram listados os fatores primordiais para ter um concreto de qualidade aceitável em obra, mas o simples fato de seguir estas recomendações não indica a qualidade plena de uma estrutura de concreto, devendo, além do controle citado

acima, partir para um controle de resistência à compressão do concreto, o qual se mostra fator primordial nestes tipos de estruturas.

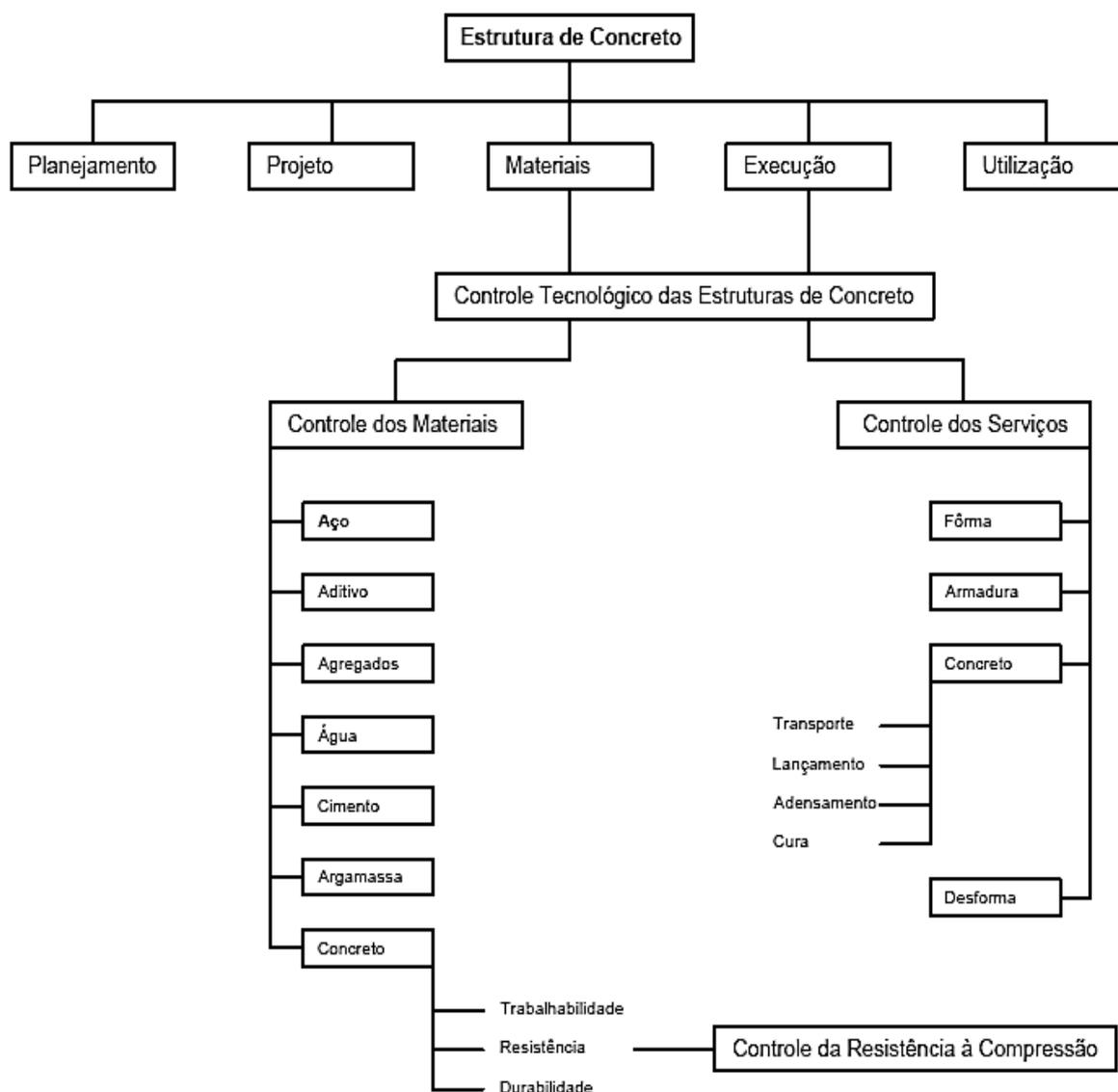
3.4 Controle de qualidade em concretos de cimento Portland

Quando se projeta estruturas de concreto armado, o engenheiro responsável fixa uma resistência característica à compressão, definindo esta como o valor de base, e faz deste valor um referencial de cálculo. Portanto, para que a estrutura atenda às solicitações de segurança, com visão estrutural, a resistência do concreto em questão deverá ser avaliada, registrada e demonstrada sistematicamente no decorrer do processo de produção. (HELENE; ANDRADE, 2007).

Dentre as condições para o alcance dessa resistência é necessário que se garanta a uniformidade dos materiais, a regularidade do proporcionamento, a qualidade da mão de obra e a eficiência dos equipamentos, como foi visto anteriormente. Segundo Helene e Terzian (1992), deve-se utilizar, também, de verificações de uniformidade do concreto ainda no estado fresco.

A comprovação do que se executa frente à obra, obedecendo ao estipulado no projeto de estruturas, finaliza com o controle da resistência à compressão do concreto. A resistência à compressão é uma propriedade bastante sensível, que é capaz de identificar as variações da qualidade do concreto. Embora seja um dos procedimentos mais importantes que devem ser executados no decorrer da obra, este não pode ser confundido com o controle tecnológico envolvido no processo de execução da estrutura. Como mostra a FIG. 6, realizar somente o controle da resistência à compressão do concreto não indica que a estrutura terá um alto teor de qualidade e que vai atender o projeto em sua totalidade, embora esta seja a mais importante técnica para controle. (HELENE; TERZIAN, 1992).

Figura 6 - Diagrama esquemático situando o Controle de Resistência à Compressão do Concreto dentro de um contexto amplo de controle tecnológico das estruturas de concreto.



Fonte: Helene e Terzian (1992).

3.4.1 Controle da resistência à compressão

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), a execução de uma estrutura em concreto armado deve sempre seguir o recomendado pela normatização. Para ilustrar melhor o controle da resistência à compressão, neste subcapítulo serão apresentadas algumas normas para que possa ser realizado este controle.

Para a formação dos lotes de amostragem para ensaios de resistência à compressão deve-se seguir a NBR 12655 (ABNT, 2006), onde estão informados os limites para as retiradas dos lotes.

A NBR NM 33 (ABNT, 1998) dá as diretrizes para a realização da coleta de amostras, sendo elas coletadas em betoneiras estacionárias ou em caminhões betoneiras. Deve-se atender então ao descrito na TAB. 11 extraída da NBR 12655 (ABNT, 2006) onde a estrutura é dividida em lotes.

Tabela 11 - Valores para formação de lotes

Limites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem ¹⁾	

¹⁾ Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de 7 dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2006).

Depois de definidos os lotes e retiradas as amostras, deve-se seguir as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003) que define os parâmetros necessários para a moldagem e cura dos corpos-de-prova.

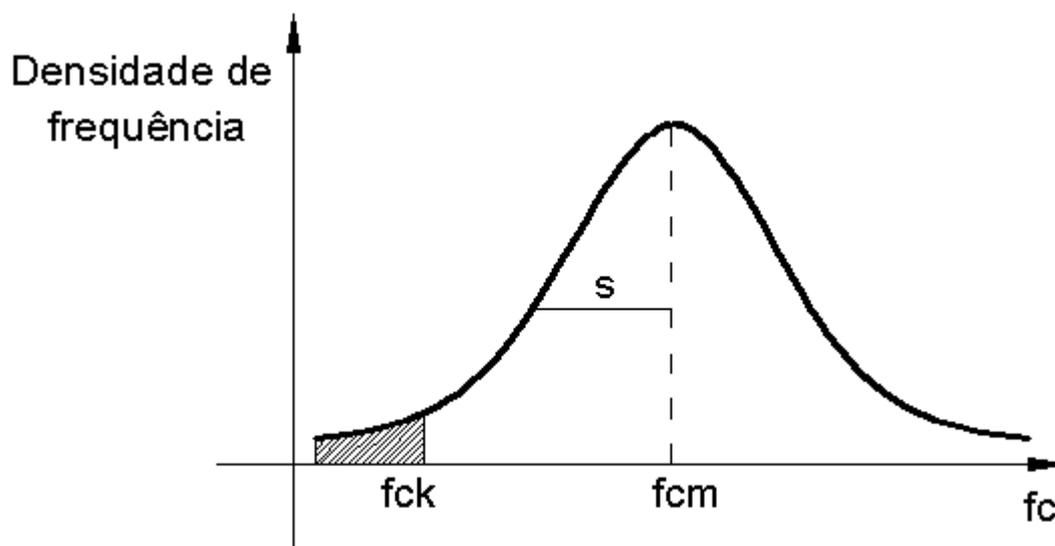
O ensaio de compressão propriamente dito deve seguir a NBR 5739 (ABNT, 2007) que mostra como o corpo de prova deve receber um tratamento na sua superfície, a aparelhagem utilizada, a execução do ensaio, e a avaliação e interpretação dos resultados.

De posse dos resultados obtidos com os ensaios, observa-se que há uma dispersão nos resultados. Então, é necessário considerar esta dispersão e medir o desvio-padrão, ou o coeficiente de variação do processo de execução e ensaio. Segundo Helene e Terzian (1992), o método que representa os resultados de maneira satisfatória é um modelo matemático conhecido como distribuição normal ou de Gauss, como mostra na FIG. 7.

Nesta curva de Gauss há dois valores de extrema importância: f_{cm} , que é a resistência média do concreto à compressão, e f_{ck} , que é a resistência característica

do concreto à compressão. A média aritmética dos valores obtidos de f_c (resistência à compressão simples) para o conjunto de corpos-de-prova é o valor f_{cm} que posteriormente será utilizado na determinação do f_{ck} . (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Figura 7 - Curva de Gauss para resistência do concreto à compressão



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos, 2004.

A curva de densidade de probabilidade, acima apresentada, mostra um intervalo que corresponde ao valor da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), este apresenta uma probabilidade de 5% de não ser alcançado, ou seja, está associada a um nível de confiança de 95%. Também chamada de resistência característica especificada ou de projeto, ao f_{ck} é aplicado um fator de minoração para que se obtenha o valor de f_{cd} , parâmetro utilizado no dimensionamento das estruturas de concreto. (NBR 12655, ABNT, 2006).

O controle da resistência à compressão do concreto tem como maior objetivo, então, encontrar um valor potencial, característico e único da resistência à compressão de um determinado volume de concreto, para que ocorra uma comparação com aquele que foi especificado no projeto. Para efetuar este controle, faz-se uso do método de cartas, que permitem o acompanhamento da eficiência e da uniformidade da produção. (HELENE; TERZIAN, 1992).

3.4.2 Cartas de controle

Segundo Helene e Terzian (1992), o método de cartas de controle tem sido utilizado como elemento auxiliar de controle de eficiência e de uniformidade de produção. Através dele é possível comparar resultados anteriores e os limites pré-estabelecidos e controlar o andamento do processo, além de estimar as tendências dos novos resultados. Mostram-se alterações no processo de produção quando os pontos determinados pelas cartas caem fora dos limites estabelecidos.

3.4.2.1 Cartas de valores individuais

O controle de produção mais comum e mais utilizado é a carta de valores individuais, onde são indicados todos os resultados obtidos. Esta carta facilita a visualização dos resultados no decorrer da obra. (HELENE, 1986).

Podem ser marcados elementos auxiliares nesta carta, tais como os valores da resistência característica que consta no projeto de estruturas (f_{ck}), o valor da resistência média de dosagem ($f_{cm,d}$), e também o valor da resistência média obtida para os respectivos lotes (f_{cm}). Estes valores marcados na carta permitem fazer uma pequena avaliação: se existirem seis pontos consecutivos que se situarem de um mesmo lado em relação ao valor médio de dosagem ou da resistência do lote, é possível ter grande probabilidade de que houve mudança no processo de produção; se em seis resultados consecutivos, dois exemplares tiverem valores de resistência abaixo da resistência característica (f_{ckj}), também pode-se considerar que houve mudança no processo de produção; e se dois ou mais resultados forem consecutivamente abaixo do f_{ckj} , 99,75% de probabilidade do concreto produzido ser deficiente, indicando uma significativa mudança no processo de produção. (HELENE; TERZIAN, 1992).

3.4.2.2 Carta do desvio padrão

Outra carta extremamente importante é a carta de acompanhamento do desvio padrão, indicado por Helene e Terzian (1992) como o aspecto mais importante do controle de qualidade do processo de produção do concreto.

Encontra-se na NBR 12655 (ABNT, 2006) o cálculo da resistência média de dosagem, que é dado pela equação 2.

$$f_{cmj,d} = f_{ckj} + 1,65 * s_d \quad (2)$$

Como f_{ckj} é um valor fixo, a resistência média de dosagem só é dependente do desvio padrão de dosagem (s_d), conforme TAB. 12, que por sua vez depende de outras variáveis das condições de preparo do concreto.

Tabela 12 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão Mpa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2006).

As condições de preparo do concreto constantes da tabela acima são definidas pela NBR 12655 (ABNT, 2006) como:

- Condição A: aplicável às classes C10 até C80, onde é medido em massa o cimento e os agregados, a água utilizada no emassamento é medida em volume ou em massa e corrigida de acordo com a umidade dos agregados;
- Condição B: aplicável às classes C10 a C25, a água de emassamento é medida em volume, o cimento é medido em massa, e os agregados medidos em uma combinação de massa com volume; aplicável às classes C10 até C20, a água é medida em volume, o cimento é medido em massa e os agregados medidos em volume. Determina-se a umidade do agregado miúdo pelo menos três vezes durante o serviço de concretagem. Corrige-se o volume de agregado miúdo através da curva de inchamento relativa ao material;
- Condição C: aplicável apenas ao concreto da classe C10 e C15, a água é medida em volume e sua quantidade é corrigida através de estimativa da

umidade dos agregados e da determinação da consistência do concreto, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), o cimento é medido em massa e os agregados são medidos em volume.

A carta de desvio-padrão trata-se, então, da construção de um gráfico onde se assinala os resultados obtidos do desvio padrão de cada lote pelos exemplares da amostra que os representa. (HELENE; TERZIAN, 1992).

Torna-se conveniente marcar nesta carta os valores de desvio padrão que foram obtidos em cada lote, em companhia com o valor do desvio que foi admitido para a dosagem, e também o intervalo de confiança que corresponde a uma probabilidade de 90% de ocorrer. Desta forma é fácil identificar se cada valor obtido está dentro do correspondente esperado, ou se há variações significativas nos parâmetros que foram considerados no processo de produção. (PEREIRA, 2008).

Os limites inferior e superior correspondentes à probabilidade de 90% de ocorrência, também chamados de barreira de advertência, podem ser estabelecidos em função de se tratar de grandes amostras, onde o número n de exemplares seja igual ou superior a 35, ou pequenas amostras. (HELENE, 1986).

Em grandes amostras calcula-se pela equação 3.

$$s_d \pm 1,65 \frac{s_d}{\sqrt{2(n-1)}} \quad (3)$$

Já para pequenas amostras o cálculo é feito através das equações 4 e 5 respectivamente.

- Limite superior = $\sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{0,05}}} * sd$ (4)

- Limite inferior = $\sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{0,95}}} * sd$ (5)

Obtém-se χ^2 em função do número n de exemplares da amostra conforme TAB. 13.

Tabela 13 - χ^2 em função do número n de exemplares

n	$\chi^2_{0,05}$	$\chi^2_{0,95}$
6	1,15	11,1
12	4,57	19,7
18	8,67	27,6
24	13,1	35,2
30	17,7	42,6

Fonte: Adaptado de Helene e Terzian (1992).

Segundo Helene e Terzian (1992), se os valores de desvio-padrão obtidos diretamente da produção (s_c) permanecerem dentro dos intervalos anteriores, não haverá necessidade de correções. Mas se observados estes valores e os mesmos estiverem abaixo do admitido na dosagem (s_d), proceder-se-á uma retificação na dosagem de forma a conseguir uma menor dispersão efetiva do processo de produção, levando também a uma economia para a obra.

3.4.2.3 Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle

Segundo Helene (1986), uma maneira interessante de controlar a eficiência das operações de ensaio e controle é acompanhar graficamente o avanço do coeficiente de variação dentro do ensaio. Sua apreciação é realizada a partir do desvio-padrão (s_e) e do coeficiente de variação (v_e), definidos pelas equações 6 e 7, respectivamente.

$$s_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n * d_2} \quad (6)$$

$$v_e = \frac{s_e}{f_{cmj}} * 100 \quad (7)$$

Onde:

s_e = desvio-padrão das operações de ensaio e controle;

n = número de exemplares considerados compostos de p corpos de prova cada;

A = diferença entre o máximo e mínimo dos resultados dos corpos de prova que representam um mesmo exemplar ($|x_{máx} - x_{mín}|$);

d_2 = coeficiente dependente do número de p corpos de prova que representam um mesmo exemplar (para $p=2$, $d_2=1,128$);

v_e = coeficiente de variação devido às operações de controle e ensaio (%);

f_{cmj} = média do total de ensaios a j dias de idade (MPa).

Após o cálculo dos coeficientes citados acima, os resultados são comparados com os apresentados na TAB. 14.

Tabela 14 - Coeficiente de variação das operações de ensaio e controle (v_e)

Padrão de controle Tipo de serviço	Excelente	Muito bom	Bom	Razoável	Deficiente
	Controle em canteiro de obras	<3,0%	3,0% a 4,0%	4,0% a 5,0%	5,0% a 6,0%
Misturas experimentais em laboratório	<2,0%	2,0% a 3,0%	3,0% a 4,0%	4,0% a 5,0%	>5,0%

Fonte: Helene e Terzian (1992).

Esta avaliação permite identificar imediatamente lotes deficientes no processo de produção a fim de corrigi-los ou tomar alguma atitude diante dessa situação.

3.4.3 Aceitação do concreto

O objetivo do controle de aceitação do concreto, segundo Pereira (2008) é analisar a conformidade do concreto tanto no seu estado fresco quanto no estado endurecido visando atender a todos os requisitos exigidos em suas respectivas normas.

Para o concreto fresco, o controle a ser realizado é o *slump test*. Para o concreto endurecido, deve-se considerar o controle da resistência à compressão, que devido à variação de condições construtivas e a importância relativa das várias estruturas de concreto, a NBR 12655 (ABNT, 2006) considera dois tipos de controle da resistência à compressão: o controle estatístico por amostragem parcial e o controle estatístico por amostragem total. (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

3.4.3.1 Controle por amostragem parcial

Para o controle estatístico por amostragem parcial são definidas duas situações na NBR 12655 (ABNT, 2006):

a) O valor da resistência característica à compressão (f_{ckest}) para lotes com números de exemplares $6 < n < 20$ é dado pela equação 8.

$$f_{ckest} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m \quad (8)$$

Onde:

$m = n/2$. Desprezando o valor mais alto de n , se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m . Valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

Uma observação que a NBR 12655 (ABNT, 2006) faz, é para não tomar para f_{ckest} um valor menor que $\Psi_6 f_1$, sendo os valores de Ψ_6 os valores constantes da TAB. 15 que são em função do número de exemplares da amostra e da condição de preparo do concreto, admitindo-se interpolação linear.

Tabela 15 - Valores de Ψ_6

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,82	0,94	0,95	0,97	0,99	1	1,02
B ou C	0,75	0,8	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1	1,02

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2006).

b) Para lotes com número de exemplares $n \geq 20$ utiliza-se a equação 9.

$$f_{ckest} = f_{cm} - 1,65s_d \quad (9)$$

Onde:

f_{cm} corresponde à resistência média dos exemplares do lote;

s_d é o desvio padrão da amostra de n elementos, calculado com um grau de liberdade a menos no denominador ($n-1$), em megapascal.

3.4.3.2 Controle por amostragem total (100%)

O controle por amostragem total consiste no ensaio de exemplares de cada amassada de concreto, aplicando-se a casos especiais, ficando a critério do responsável pela obra. Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), nesse caso não se limitam o número de exemplares do lote.

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006) o valor estimado da resistência característica é dado por:

- a) Para $n \leq 20$, $f_{ckest} = f_1$;
- b) Para $n > 20$, $f_{ckest} = f_{ij}$.

Onde:

$i = 0,05n$. Adota-se o número imediatamente superior, quando o valor de i for fracionário.

3.4.3.3 Critério de aceitação

Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006), para que os lotes de concreto sejam aceitos, o valor estimado da resistência característica que foi calculado deve satisfazer a condição estabelecida na equação 10.

$$f_{ckest} \geq f_{ck} \quad (10)$$

Esta condição acima, segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2011), é um critério de aceitação automática, que quando não for satisfeita, o responsável deverá tomar uma decisão baseada em análise e revisão do projeto de estruturas; em ensaios mais específicos, e em ensaios de estrutura. Caso as verificações de segurança não sejam atendidas, deve proceder-se à demolição da parte comprometida da estrutura, ou reforçar a estrutura, ou aproveitar a estrutura restringindo seu uso e seu carregamento.

4 METODOLOGIA

O presente estudo de caso faz referência ao emprego dos métodos estatísticos no processo de produção do concreto, como requisito auxiliar no acompanhamento da evolução da concretagem, visando manter homogeneidade entre frentes de concretagem.

Para a realização deste estudo foi feita uma revisão bibliográfica acerca do assunto, com consulta a livros, normas da ABNT, dissertações e anais de congresso, a fim de levantar todos os parâmetros que se fizeram necessários para a elaboração do mesmo.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os resultados dos ensaios de compressão em corpos de prova de concreto de cimento Portland presentes em Pereira (2008).

A obra analisada segundo Pereira (2008) foi a construção de um edifício residencial, e o tipo de produção do concreto foi usinado em central.

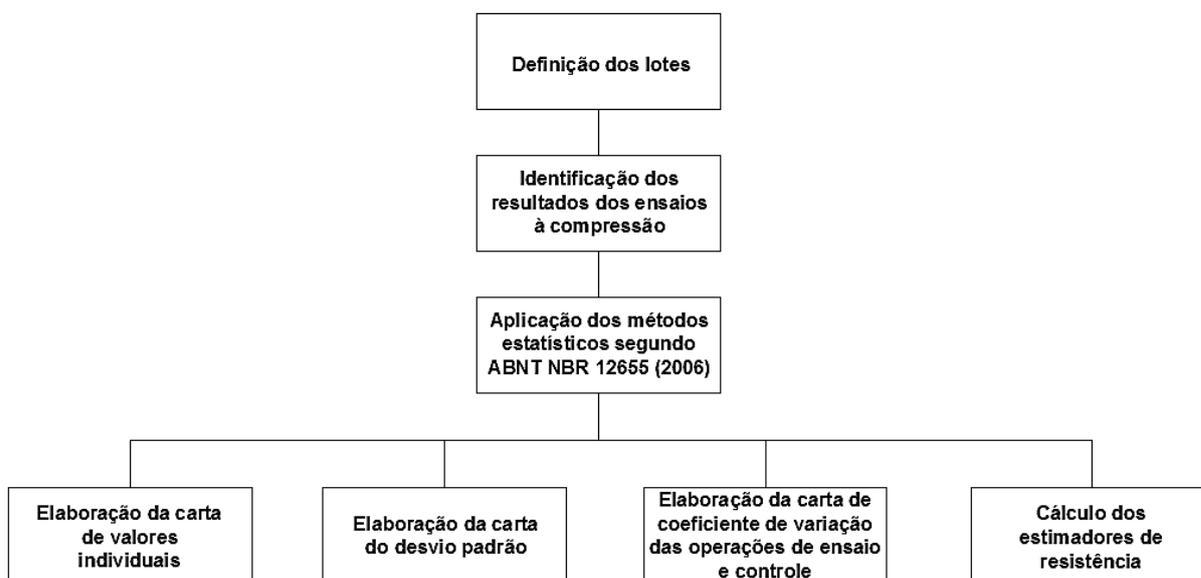
4.1 Atividades desenvolvidas

As atividades desenvolvidas na execução deste estudo foram:

- Definição dos lotes;
- Identificação dos resultados de ensaio à compressão axial;
- Aplicação dos métodos estatísticos;
- Elaboração de cartas de controle;
- Cálculo dos estimadores de resistência;

A FIG.8 mostra um fluxograma simplificado das atividades desenvolvidas.

Figura 8 - Fluxograma com atividades desenvolvidas



Fonte: O autor (2014).

O método consiste, então, em acompanhar a evolução da concretagem através dos ensaios de resistência à compressão axial por meio de cartas de valores, e gráficos gerados a partir destas.

4.2 Definição dos lotes

Para aplicação dos métodos foram definidos, primeiramente, os lotes a serem avaliados.

Os lotes de concreto foram divididos em 5 partes, contendo aproximadamente 80 m³ de concreto em cada.

4.3 Resistência média à compressão inicial de dosagem

A resistência média à compressão de dosagem do concreto foi adotada como controle tipo A e é dada pela equação 11.

$$f_{cm28,d} = f_{ck28} + 1,65 * s_d \quad (11)$$

4.4 Resultado dos testes de ensaio à compressão axial

Os resultados dos ensaios de compressão foram caracterizados de acordo com o lote a que pertencem e suas respectivas resistências, sendo dois corpos de prova representantes de um mesmo exemplar.

4.5 Carta de valores individuais

As cartas de valores individuais foram confeccionadas com a resistência à compressão de cada exemplar (f_c) devidamente enumerados.

Como elemento auxiliar para a confecção da carta de valores individuais, foi marcada a resistência média obtida de cada lote (f_{cm}), calculada pela equação 12, presente em Helene e Terzian (1992).

$$f_{cm} = \frac{i \sum_{i=1}^n 1 \left(\frac{f_{c1} + f_{c2}}{2} \right)_i}{n} \quad (12)$$

A resistência média de dosagem (f_{cm}) e a resistência característica à compressão (f_{ck}) também foram marcadas no gráfico.

4.5.1 Carta do desvio padrão

O desvio padrão do processo de produção foi calculado através da equação 13.

$$s_c = \sqrt{\frac{i \sum_{i=1}^n 1 (f_{ci} - f_{cmj})^2}{n - 1}} \quad (13)$$

A carta também foi marcada com o desvio padrão de dosagem (s_d), juntamente com os limites inferior e superior, com a finalidade de comparação de seus valores.

4.5.2 Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle

Para a carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle foram calculados os desvios padrão das operações de ensaio e controle (s_e) e o coeficiente de variação das operações (v_e) e conseqüentemente seus valores foram comparados com os limites pré-estabelecidos, conforme consta na revisão bibliográfica.

4.6 Estimadores de resistência

Os estimadores de resistência tem a função de aceitação ou rejeição do concreto. O cálculo dos estimadores obedeceu ao especificado na NBR 12655 (ABNT, 2006), sendo obtidos pelas equações 14, 15 e 16 respectivamente.

$$Est_1 = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m \quad (14)$$

$$Est_2 = \Psi_6 f_1 \quad (15)$$

$$Est_3 = f_1 \quad (16)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de acompanhar a evolução da concretagem, primeiramente foram definidos os lotes de concreto para avaliação, conforme NBR 12655 (ABNT, 2006). Depois de definidos os lotes, partiu-se, então para a análise das amostras que passaram pelo ensaio de resistência à compressão, e posteriormente para análise e aplicação dos métodos estatísticos para avaliação.

5.1 Definição dos lotes

Os lotes foram divididos conforme TAB. 16, onde também se encontra o número de corpos de prova retirados por lote e o volume do qual foram retiradas as amostras.

Tabela 16 - Lotes, quantidade de exemplares e volume de concreto.

Lote	N	Volume (m ³)
1	11	83
2	11	84,5
3	11	81
4	11	86
5	12	85,5

Fonte: Pereira (2008).

5.2 Resistência média à compressão inicial de dosagem

O f_{ck} estabelecido em projeto foi de 30 MPa, e a resistência média de dosagem foi para o controle tipo A, que, segundo a NBR 12655 (ABNT, 2006), deve ter o desvio padrão de dosagem adotado de 4,0 MPa:

$$f_{cm28,d} = f_{ck28} + 1,65 * s_d = 30 + 1,65 * 4,0 = 36,6 \text{ MPa}$$

A resistência média à compressão é equivalente, então, a 36,6 MPa.

5.3 Resultado dos testes de ensaio à compressão axial

Os resultados dos ensaios à compressão axial do concreto aos 28 dias estão expressos na TAB. 17, onde consta também a qual lote pertencem os corpos de prova, qual o volume de concreto em que foram extraídas as amostras, o número de corpos de prova representantes de um mesmo exemplar e suas respectivas resistências à compressão.

Tabela 17 - Tabela com resultados dos ensaios à compressão axial.

Lote	Nº de corpos de prova	Volume (m³)	f _c 1 (Mpa)	f _c 2 (Mpa)
1	2	7	33,64	32,07
	2	8	34,63	34,08
	2	8	33,44	32,98
	2	8	38,26	36,28
	2	7	36,28	34,96
	2	8	35,62	34,30
	2	7	37,93	37,93
	2	8	35,29	34,08
	2	7	37,27	35,95
	2	8	40,76	40,13
	2	7	33,97	33,97
2	2	8	34,96	34,96
	2	8	38,85	38,26
	2	8	37,26	37,26
	2	7	37,27	35,95
	2	8	34,08	34,08
	2	8	34,63	33,76
	2	8	36,94	35,35
	2	8	35,29	33,76
	2	7	38,54	38,26
	2	8	39,81	38,26
	2	6,5	39,17	38,26

Continua

Continuação da TAB. 17

3	2	8	34,63	34,62
	2	8	39,17	35,00
	2	7	35,62	34,63
	2	8	35,95	35,62
	2	8	37,93	35,95
	2	7	37,93	36,94
	2	8	38,85	37,95
	2	8	39,17	35,57
	2	8	39,49	38,26
	2	7	39,49	39,49
	2	4	39,81	35,62
4	2	8	36,61	33,97
	2	8	36,28	34,63
	2	7	35,95	35,95
	2	8	36,28	33,31
	2	8	36,60	35,95
	2	7	40,13	37,93
	2	8	37,93	34,30
	2	8	38,26	38,26
	2	8	40,76	38,54
	2	8	40,76	36,94
	2	8	41,72	38,54
5	2	8	36,61	35,67
	2	8	40,45	37,30
	2	8	39,81	36,61
	2	8	40,45	38,26
	2	8	41,40	40,13
	2	8	42,36	42,36
	2	7	42,99	42,68
	2	6	43,31	42,99
	2	7	43,95	42,04
	2	8	45,22	44,59
	2	8	44,59	43,31
2	1,5	45,86	39,81	

Fonte: Adaptado de Pereira (2008).

A partir dos valores acima parte-se para aplicação dos métodos para avaliação.

5.4 Cartas de valores individuais

A carta de valores individuais permitiu avaliar a resistência à compressão de cada exemplar pertencente a cada lote. A TAB. 18 lista os exemplares dentro de cada lote e sua ordem para posterior plotagem em gráfico.

Tabela 18 - Tabela com todos os resultados dos ensaios de resistência à compressão devidamente enumerados

Lote	Nº	f _c (Mpa)	Lote	Nº	f _c (Mpa)	Lote	Nº	f _c (Mpa)
1	1	33,64	2	23	34,96	3	45	34,63
	2	32,07		24	34,96		46	34,62
	3	34,63		25	38,85		47	39,17
	4	34,08		26	38,26		48	35,00
	5	33,44		27	37,26		49	35,62
	6	32,98		28	37,26		50	34,63
	7	38,26		29	37,27		51	35,95
	8	36,28		30	35,95		52	35,62
	9	36,28		31	34,08		53	37,93
	10	34,96		32	34,08		54	35,95
	11	35,62		33	34,63		55	37,93
	12	34,30		34	33,76		56	36,94
	13	37,93		35	36,94		57	38,85
	14	37,93		36	35,35		58	37,95
	15	35,29		37	35,29		59	39,17
	16	34,08		38	33,76		60	35,57
	17	37,27		39	38,54		61	39,49
	18	35,95		40	38,26		62	38,26
	19	40,76		41	39,81		63	39,49
	20	40,13		42	38,26		64	39,49
	21	33,97		43	39,17		65	39,81
	22	33,97		44	38,26		66	35,62

Continuação da TAB. 18

Lote	Nº	fc (Mpa)	Lote	Nº	fc (Mpa)
4	67	36,61	5	89	36,61
	68	33,97		90	35,67
	69	36,28		91	40,45
	70	34,63		92	37,30
	71	35,95		93	39,81
	72	35,95		94	36,61
	73	36,28		95	40,45
	74	33,31		96	38,26
	75	36,60		97	41,40
	76	35,95		98	40,13
	77	40,13		99	42,36
	78	37,93		100	42,36
	79	37,93		101	42,99
	80	34,30		102	42,68
	81	38,26		103	43,31
	82	38,26		104	42,99
	83	40,76		105	43,95
	84	38,54		106	42,04
	85	40,76		107	45,22
	86	36,94		108	44,59
87	41,72	109	44,59		
88	38,54	110	43,31		
			111	45,86	
			112	39,81	

Fonte: O autor (2014).

Juntamente com os valores da tabela acima, foi calculada a resistência média de cada lote, onde os seus resultados estão expressos na TAB. 19, que também mostra o valor de f_{ck} e $f_{cm,d}$ adotados.

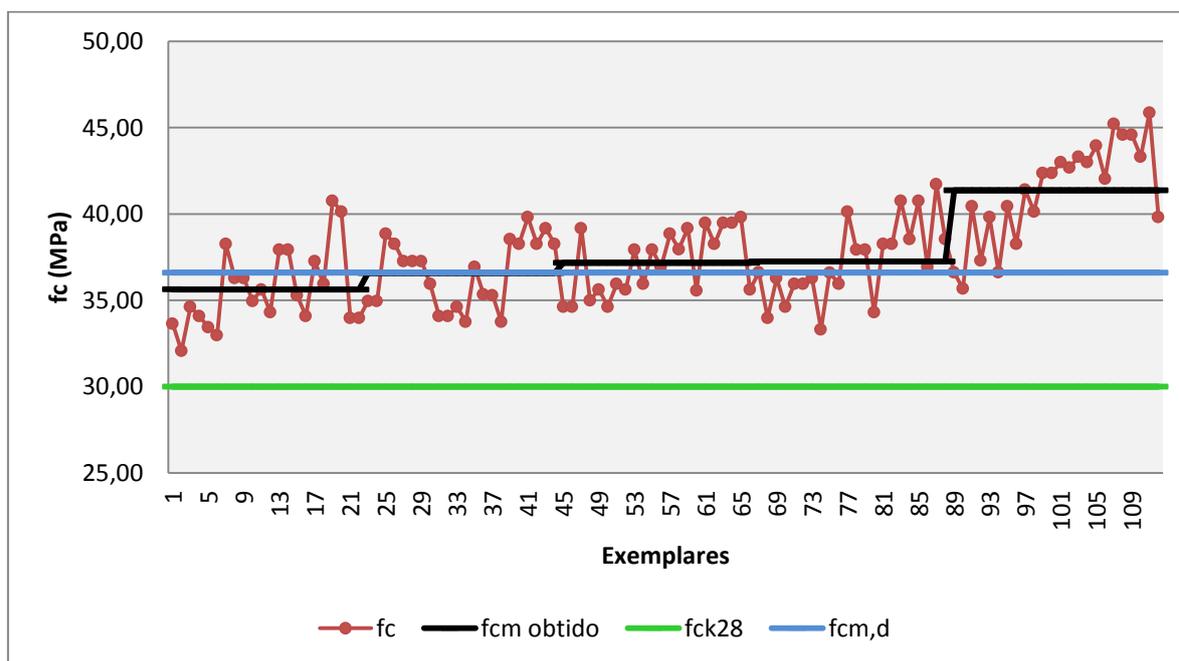
Tabela 19 - Tabela para plotagem da carta de valores individuais

Lote	Intervalo de exemplares	f_{cm} (MPa)	f_{ck28} (MPa)	$f_{cm,d}$ (MPa)
1	1 - 22	35,63	30,00	36,60
2	23 - 44	36,59		
3	45 - 66	37,17		
4	67 - 88	37,25		
5	89 - 112	41,36		

Fonte: O autor (2014).

Os resultados das tabelas plotados em gráfico estão dispostos no GRAF. 2, onde se pode observar que as resistências médias obtidas do lote 1 ao 4 mantiveram-se constantes, porém a média do lote 5 está bem acima da resistência média de dosagem inicial, podendo levantar hipóteses de que houve uma mudança na produção das amostras pertencente ao lote.

Gráfico 2 - Carta de valores individuais



Fonte: O autor (2014).

5.5 Carta do desvio padrão

O desvio padrão foi avaliado para cada lote separadamente, e os valores obtidos do desvio padrão do processo de produção (s_c), e dos limites superior e inferior são mostrados na TAB. 20.

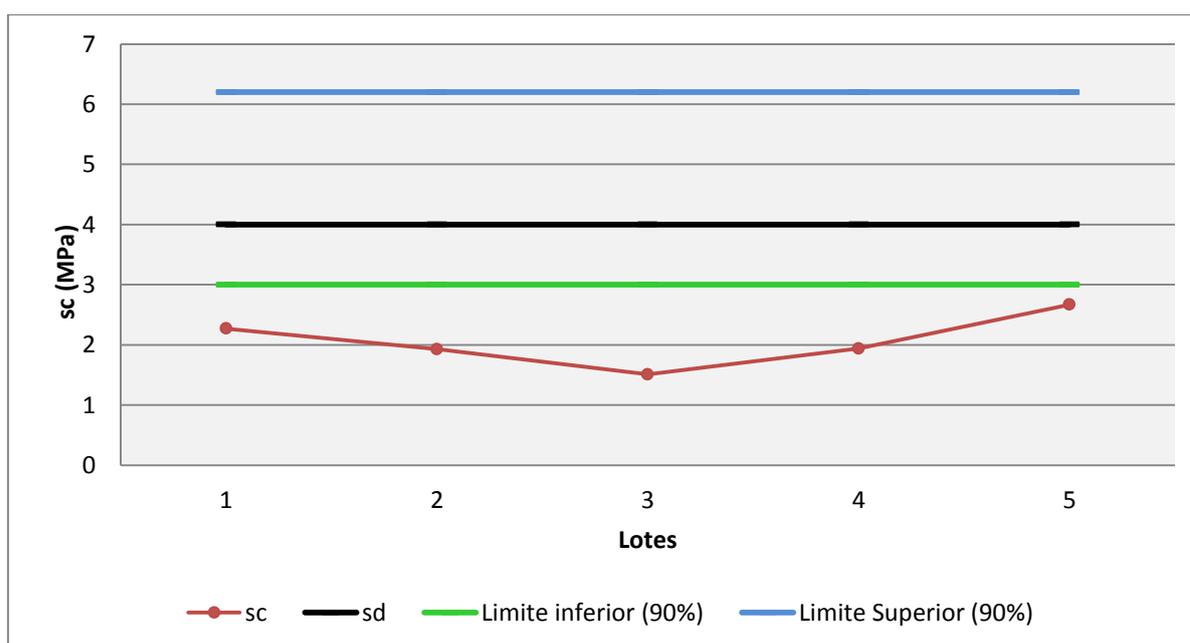
Tabela 20 - Desvio padrão do processo de produção, de dosagem e limites inferior e superior

Lote	s_c	s_d	Limite inferior	Limite Superior
1	2,27	4	3	6,2
2	1,93			
3	1,51			
4	1,94			
5	2,67			

Fonte: O autor (2014).

Os resultados acima geram a carta de controle do desvio padrão, que pode ser visualizada no GRAF. 3, onde resultados dos desvios padrão mostram que, dentro de cada lote, não houve uma tentativa de mudança no processo, mantendo a homogeneidade do processo de produção.

Gráfico 3 - Carta do desvio padrão



Fonte: O autor (2014).

Como não houve mudanças significativas no desvio padrão do processo de produção, a hipótese levantada pela carta de valores individuais levanta outra hipótese que considera que todo o lote 5 sofreu uma mudança no seu processo de produção desde a primeira amostra do lote, e quando comparados com os outros lotes não apresenta variação no processo de produção, confirmando esta hipótese.

5.6 Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle

Para verificar a eficiência das operações de ensaio foi calculado o coeficiente de variação das operações de ensaio e controle (v_e), cujos valores estão expressos na TAB. 21.

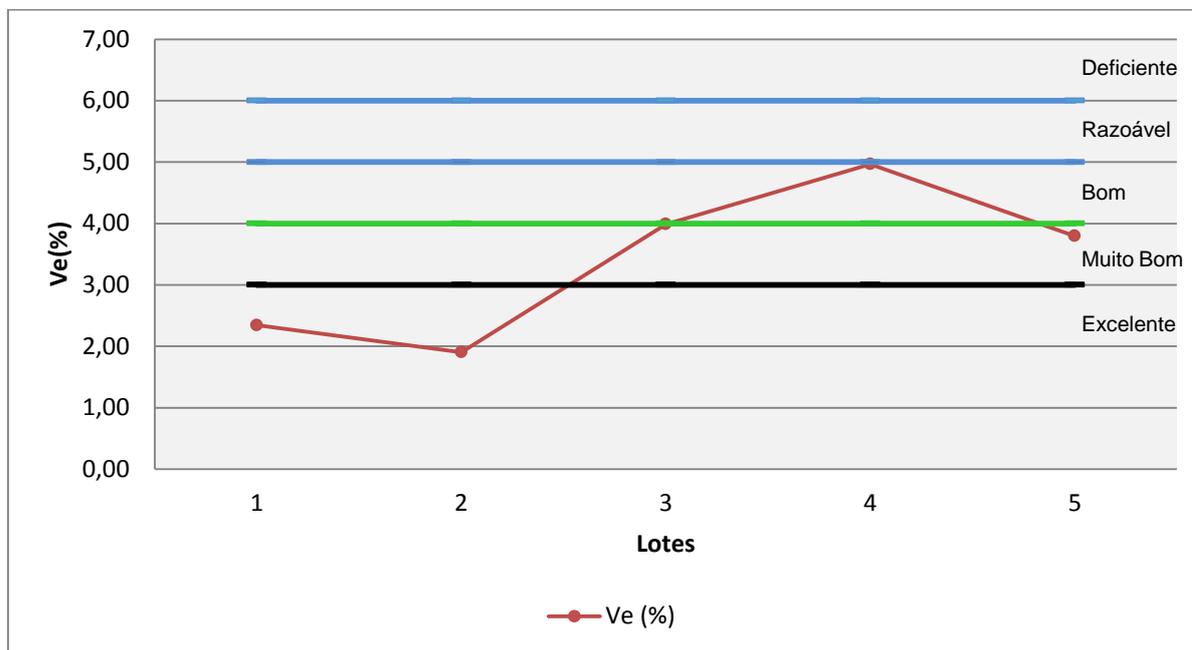
Tabela 21 - Resultados dos coeficientes de variação das operações de ensaio e controle (v_e)

Lote	v_e (%)
1	2,34
2	1,90
3	3,99
4	4,97
5	3,80

Fonte: O autor (2014).

Os resultados descritos na tabela acima compõem a carta do coeficiente da variação das operações de ensaio e controle, juntamente com os limites pré-estabelecidos. Conforme mostra no GRAF. 4, os resultados podem ser caracterizados como bons, ou seja, os resultados não sofreram uma má qualificação devido aos ensaios.

Gráfico 4 - Carta do coeficiente de variação das operações de ensaio e controle



Fonte: O autor (2014).

5.7 Cálculo dos estimadores de resistência

Os resultados do cálculo dos estimadores de resistência estão descritos na TAB. 22, onde todos os valores dos estimadores foram aceitos pelo descrito na NBR 12655 (ABNT, 2006), pois ela preconiza que os valores de f_{ckest} devem ser maiores ou iguais ao f_{ck} estabelecido em projeto. Já os estimadores para o lote 5 apontam uma resistência característica bem elevada de acordo com os demais, e acima da resistência de dosagem inicial, concluindo que o lote 5 realmente sofreu uma mudança no processo de produção.

Tabela 22 - Estimadores de resistência

Lote	Est1	Est2	Est3
1	32,55	32,77	33,44
2	32,54	33,40	34,08
3	34,14	33,94	34,63
4	35,95	35,23	35,95
5	37,13	36,24	36,61

Fonte: O autor (2014).

6 CONCLUSÃO

Mediante a este estudo realizado pode-se concluir que através de métodos simples de estatística previstos em normas é possível acompanhar o processo de produção do concreto. Este método é aplicável a maior parte dos concretos produzidos tanto em central quanto em obra.

Com relação ao estudo realizado, este se mostrou eficaz, pois se pôde constatar uma mudança no processo de produção do último lote avaliado. Caso a concretagem continuasse, deveria, então, partir para retificação do processo de produção, porque o problema provavelmente originou-se por alguma mudança na dosagem do lote 5.

Retificado o processo de produção, este traria, então, economia para a obra, visto que se trata de uma grande concretagem.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Tipos de cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/perguntas-frequentes.php?id=29>>. Acesso em: 26 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto: amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 67**: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5738**: Concreto: procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto: ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 6118**: Concreto: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento: procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABRAMS, D. A. **Design of concrete mixtures**. Chicago: Structural Materials Research Laboratory, 1919.

ARAÚJO, L.; RODRIGUES, R.; FREITAS, F. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: [s.n.], 2010.

AZEREDO, H. A. D. **O edifício até a sua cobertura**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 1997.

BAUER, F. L. A. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FIGUEIREDO, A. D. D. Piso industrial de concreto reforçado com fibras de aço. **Téchne**, Outubro 2010. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/163/como-construir-piso-industrial-de-concreto-reforcado-com-fibras-285827-1.aspx>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: Tópicos aplicados**. São Paulo: PINI, 2008.

GIONGO, J. S.; JACINTHO, A. E. P. G. D. **Concreto armado: introdução e propriedades dos materiais.** São Carlos: [s.n.], 2007.

HELENE, P. R. L. **Controle de qualidade do concreto: boletim técnico 03/86.** São Paulo: [s.n.], 1986.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Brasília: PINI, 1992.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, v. 2, 2007. Cap. 27, p. 905-944.

LI, Z. **Advanced concrete technology.** [S.l.]: Wiley, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties, and materials.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

NEWMAN, J.; CHOO, B. S. **Advanced concrete technology: concrete properties.** [S.l.]: Elsevier, 2003.

PEREIRA, M. S. **Controle da resistência do concreto: paradigmas e variabilidades: estudo de caso.** 2008. 229 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

PEREIRA, M. S. **Discussão da Variabilidade do Concreto e dos Estimadores da Resistência Característica – Estudo de Caso.** In: 49º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: IBRACON, 2007.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto.** São Carlos: [s.n.], 2004.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 12.