



**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS VALORES DE
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO
FORNECIDO PELA CONCRETEIRA E O ESPECIFICADO EM
PROJETO**

VITÓRIA
2013

ANA CLÁUDIA FIORESE VINCO
FABRÍCIO SALVIANO RAMOS

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS VALORES DE
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO
FORNECIDO PELA CONCRETEIRA E O ESPECIFICADO EM
PROJETO**

Projeto de Pesquisa desenvolvido para
apresentação de Trabalho de Conclusão
do Curso de Pós Graduação em
Gerenciamento e Execução de Obras
para obtenção do grau de especialista.
Orientador: Prof. Fábio de Almeida Có.

VITÓRIA
2013

ANA CLÁUDIA FIORESE VINCO
FABRICIO SALVIANO RAMOS

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS VALORES DE
RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO
FORNECIDO PELA CONCRETEIRA E O ESPECIFICADO EM
PROJETO**

Projeto de Pesquisa desenvolvido para apresentação de Trabalho de Conclusão do Curso de Pós Graduação em Gerenciamento e Execução de Obras para obtenção do grau de especialista.

Aprovado em 20 de dezembro de 2013.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Fábio de Almeida Có
Orientador

Prof. Luis César Siqueira De Luca

Engº. Leonardo Roncetti

AGRADECIMENTOS

Aos nosso pais, pelo apoio, carinho e compreensão durante todo o curso de Gerenciamento e Execução de Obras, sempre dispostos a nos ajudar em todas as dificuldades.

Aos amigos profissionais que, direta ou indiretamente, contribuíram para nossa aperfeiçoamento no decorrer do curso.

Aos professores pelo embasamento técnico que nos deu direcionamento à execução desse trabalho.

A todos nossos amigos de pós graduação, que de alguma maneira, contribuíram para alcançar a tão sonhada especialização. Amizades que guardaremos para toda vida.

Muito obrigado.

Ana Cláudia Fiorese Vinco e Fabrício Salviano Ramos

“A felicidade não se resume na ausência de problemas, mas sim na sua capacidade de lidar com eles.”

Albert Einstein

RESUMO

O controle tecnológico do concreto visa contribuir para a qualidade das construções, devendo ser considerado como parte integrante das mesmas. O objetivo deste trabalho é comparar se o concreto fornecido pela concreteira possui a resistência realmente indicada pelo fornecedor, verificando se o concreto atende às normas técnicas vigentes. Contextualiza-se qualidade e controle no âmbito da indústria da construção civil e divide-se os mecanismos de controle de qualidade em controle de produção e de aceitação. Aborda-se também a resistência à compressão do concreto, sua importância e campo de aplicação, pois é o principal parâmetro considerado para o controle de qualidade. Discute-se o tratamento estatístico a ser aplicado aos resultados dos ensaios de resistência, a fim de considerar os efeitos de sua variabilidade e representá-los em um único valor final com certo nível de significância. Além disso, comenta-se sobre os fatores que afetam a resistência à compressão e sua relação com a resistência do concreto a outros esforços. Detalha-se também os procedimentos e requisitos necessários ao controle de produção e de aceitação do concreto. Para o controle de produção, define-se os procedimentos a serem realizados para o controle tecnológico dos materiais componentes, bem como as condições exigidas para o concreto dosado em central. Já o controle de aceitação é dividido em aceitação do concreto fresco, avaliada segundo o ensaio de abatimento de tronco de cone, e aceitação do concreto endurecido, avaliada através dos resultados de resistência à compressão. Divide-se então os resultados em lotes e estima-se sua resistência característica, de acordo com o tipo de controle adotado, total ou parcial, para enfim ser comparada à resistência característica de projeto e se proceder a aceitação ou rejeição do lote de concreto fornecido. Este trabalho apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão do concreto e aplica o procedimento descrito e discutido para verificação da conformidade, ou não, com as especificações de projeto.

Palavras-chave: Concreto. Controle de qualidade. Resistência à compressão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da distribuição da resistência à compressão do concreto	21
Figura 2 - Zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento (G)=agregado, (C)=pasta de cimento.	23
Figura 3 - Resistência à compressão em função da relação água/cimento.	26
Figura 4 - Curvas de correlação entre a resistência do concreto e a resistência do cimento para relações água/cimento fixas.	27
Figuras 5 e 6 - Baías de estocagem de agregados	28
Figuras 7 e 8 - Baías de estocagem de agregados	29
Figura 9 - Tanque de armazenamento de aditivo	30
Figura 10 - Ensaio de abatimento de tronco de cone	38
Figura 11 - Moldagem dos corpos de prova	46
Figura 12 - Cura dos corpos de prova	46
Figura 13 - Equipamento de ensaio para teste de resistência à compressão	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto, medida no ensaio de controle	25
Tabela 2 - Redução do tamanho da amostra	35
Tabela 3 - Coeficiente d_2	37
Tabela 4 - Desvio padrão	37
Tabela 5 - Coeficiente de variação	37
Tabela 6 - Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova analisados	44
Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela concreteira	47
Tabela 8 - Resultado da resistência média à compressão aos 28 dias dos corpos de prova	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	PROBLEMA	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo Geral.....	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	JUSTIFICATIVAS.....	13
1.4	HIPÓTESE	14
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	QUALIDADE E CONTROLE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	16
2.1.1	Qualidade	16
2.1.2	Controle	17
2.1.3	Controle de qualidade na construção civil	17
2.1.4	Mecanismos de controle da qualidade	18
2.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	19
2.2.1	Definição.....	19
2.2.2	Importância.....	20
2.2.3	Resistência característica à compressão	20
2.2.4	Fatores que afetam a resistência.....	22
2.2.4.1	Relação água/cimento	26
2.2.4.2	Tipo de cimento.....	27
2.2.4.3	Agregado.....	28
2.2.4.4	Adições	29
2.2.4.5	Aditivos.....	29
2.2.4.6	Condições de cura	30
2.3	CONTROLE TECNOLÓGICO	31

2.3.1	Controle de Produção.....	32
2.3.2	Concreto produzido em central.....	33
2.3.2.1	Análise estatística	35
2.3.2.2	Determinação da média e do desvio-padrão.....	35
2.3.2.3	Desvio padrão	36
2.3.2.4	Coeficiente de variação dentro do ensaio	36
2.3.2.5	Análise dos resultados	37
2.3.2.6	Inspeção.....	37
2.3.2.7	Aceitação e rejeição	38
2.3.3	Controle de Aceitação	39
2.3.3.1	Ensaio de controle de aceitação	39
2.3.3.2	Ensaio de consistência.....	40
2.3.3.3	Ensaio de resistência à compressão	41
3	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	44
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	46
4.1	RESULTADOS OBTIDOS.....	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6	REFERÊNCIAS	58
	Anexo A.....	60

1 INTRODUÇÃO

Devido à sua alta resistência, grande versatilidade e baixo custo, o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo. Os avanços tecnológicos das últimas décadas contribuíram para a melhoria de seus materiais constituintes, métodos construtivos e ampliação do campo de utilização. A complexidade dos projetos elaborados, redução no consumo de energia e do desperdício e menor impacto ambiental são outros benefícios que também foram obtidos com tais avanços na indústria da construção civil.

Com isso, observa-se um contínuo aumento na demanda por esse material, e por conseguinte, faz-se necessário garantir que o produto atenderá a um nível de qualidade pré-estabelecido em projeto, pois essa qualidade determina diretamente a segurança e durabilidade da estrutura.

A busca constante da qualidade, a necessidade de redução de custos e a racionalização dos canteiros de obra, fazem que o concreto dosado em central, seja cada dia mais utilizado.

Neste contexto, insere-se o controle de qualidade, não para elevar ou baixar o nível de qualidade do concreto, mas para assegurar que o padrão de qualidade especificado seja cumprido.

O controle tecnológico é um mecanismo introduzido com o objetivo de obter dados sobre a uniformidade do concreto, assim como fornecer parâmetros para melhorar a homogeneidade dessa produção.

Quando realizado sobre a produção, o controle tecnológico é a atividade na qual se verifica e corrige continuamente os principais parâmetros que possam afetar a qualidade do produto final. No caso do controle de recebimento, constitui o parâmetro mais apropriado para julgar a adequação ou não de certo lote de concreto aplicado na obra.

Na construção civil, ocasionalmente, ocorrem desvios na resistência do concreto, com resultados menores e, às vezes, maiores do que o especificado no projeto estrutural. Sendo assim, considera-se como procedimento mínimo de

controle de qualidade, que deve ser parte integrante da construção, o acompanhamento da resistência à compressão do concreto utilizado. Com isso, pretende-se detectar eventuais não-conformidades e tomar as devidas providências para solucioná-las antes que se tornem uma ameaça à integridade física dos usuários.

O conhecimento e divulgação das práticas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento da atividade da construção, ocasionando seguidos descuidos nas obras, e reduzindo a capacidade do concreto em proteger armaduras contra corrosão. A tecnologia de fabricação foi avançando, com utilização de aditivos, adições e ligantes, com redução significativa nas seções das peças de concreto armado em função do aumento das resistências mecânicas, no entanto, a execução nas obras não acompanhou tais avanços, resultando em um produto final de qualidade inferior.

Até o final da década de 80, a resistência à compressão ainda era, praticamente, o único parâmetro de avaliação da qualidade do concreto. Com isto, veio ocorrendo uma degradação mais acelerada nas estruturas de concreto, obrigando a comunidade que trabalha com este material a definir novos parâmetros, de forma a garantir sua performance. Estes novos parâmetros vem com intuito de estudar a capacidade do concreto em resistir às intempéries e aos demais processos de degradação, tais como mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos e, às vezes, a junção deles.

Outro ponto é que nas últimas décadas os grandes centros urbanos vêm apresentando um expressivo aumento na construção de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos. Essa esbeltez sempre crescente dos edifícios, vem colocando os projetistas em situações desafiadoras, para definição de sistemas estruturais que permitam compatibilizar os requisitos de arquitetura com as condições necessárias a estabilidade. Os edifícios esbeltos possuem estruturas mais sensíveis a efeitos normalmente não considerados em edifícios correntes e, por isso, devem ter seu comportamento verificado a partir de métodos mais completos, incluindo análises estáticas e dinâmicas, lineares e não-lineares geométricas e físicas.

É dentro desta conceituação que este trabalho irá se enquadrar, procurando mostrar as técnicas de controle de qualidade que permitem primeiramente comprovar se a resistência mecânica do concreto está adequada ao valor especificado no projeto estrutural, para que, posteriormente, possa-se proceder as correções de dosagem, a fim de adequar o produto quanto aos aspectos técnicos e econômicos.

1.1 PROBLEMA

Dado o contexto descrito na introdução, este trabalho procura responder à seguinte situação problema: “O concreto fornecido pelas concreteiras possuem realmente a resistência indicada fornecedor?”.

1.2 OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é comparar se o concreto fornecido pela concreteira possui a resistência realmente indicada pelo fornecedor.

1.2.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico é contemplar uma série de atividades relacionadas ao controle tecnológico:

- Descrever os métodos adotados atualmente para o controle tecnológico;
- Abordar os procedimentos relativos à amostragem e ensaio do material;
- Verificar as conformidades aos limites estabelecidos para quantidade e qualidade dos componentes do concreto;
- Analisar a resistência mecânica do mesmo, avaliando assim a qualidade final;

- Gerar um referencial bibliográfico que dê ao leitor subsídios sobre controle tecnológico do concreto;
- Verificar se as concreteiras podem melhorar o traço de concreto utilizado, visando melhorar a margem de lucro;
- Calcular o impacto financeiro por parte da concreteira, caso se observe que a resistência de projeto seja diferente da resistência de ensaio.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Na construção civil, é de extrema importância que haja compatibilidade entre as especificações de projeto e a estrutura realmente executada, uma vez que isso representa a segurança estrutural, segurança dos usuários da construção em questão e minimiza impactos financeiros às concreteiras, caso esse valor seja muito fora do especificado em projeto pelo fornecedor.

Contudo, muitas vezes não se dá a devida atenção a esses aspectos e essas compatibilidades não são verificadas. Para sanar estes problemas, destaca-se então a necessidade de se obter uma garantia da qualidade do processo construtivo utilizado. Neste contexto, introduz-se a escolha correta da concreteira à realização dos serviços, tendo a mesma conhecimento e cumprimento com as normas técnicas vigente sobre o concreto dosado em central, no que tange a todas as etapas na produção e execução do concreto, com o objetivo de verificar a conformidade da estrutura real aos requisitos especificados em projeto.

O controle do concreto no estado fresco é de vital importância para garantir suas propriedades no estado endurecido.

Um dos grande desafios dos tecnologistas de concreto é compatibilizar o desempenho do concreto desenvolvido em laboratório com aquele desenvolvido na obra. Isto porque estes concretos estão sujeitos a formas diferentes de manuseio, transporte, lançamento, adensamento e cura. Com isso, a garantia da qualidade desse concreto depende diretamente de uma aplicação efetuada de acordo com as práticas recomendadas e com a normalização técnica vigente.

Mesmo que o concreto especificado seja entregue seguindo todos os requisitos expressos no pedido, a aplicação inadequada pode afetar de forma irreversível a qualidade do concreto endurecido.

O controle do concreto dosado em central é exercido pela central dosadora de acordo com a NBR 7212, que inclui as operações de armazenamento de materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle da qualidade, inspeção, aceitação e rejeição.

O controle tecnológico ainda pode ser utilizado como base para as correções de dosagem de materiais componentes do concreto analisado, redução da variabilidade inerente ao processo de produção e redução do consumo de cimento por metro cúbico de concreto, contribuindo simultaneamente para a qualidade e a economia. Além disso, proporciona, tanto à central dosadora de concreto quanto ao executante da obra, uma maior confiabilidade de que o material atenderá às especificações.

1.4 HIPÓTESE

Considerando que a hipótese é uma resposta provisória a situação problema, defini-se aqui a seguinte hipótese: Embora se saiba que a resistência característica a compressão do concreto fornecido pelas Concreteiras possui 95% de probabilidade de ser maior que a resistência especificada em projeto, existem evidências de que as concreteiras forneçam o concreto com valores de resistência significativamente maiores que o f_{ck} de projeto.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente será realizada uma tomada de conhecimentos a respeito do assunto através de consultas a referências bibliográficas, normas técnicas, livros, manuais, revistas técnicas, sites institucionais e relatórios técnicos, além de informações obtidas em obra.

Essas informações servirão de base para a organização e aplicação dos conhecimentos adquiridos para a análise dos dados de resistência à compressão contidos nos relatórios técnicos fornecidos pela concreteira, a fim de realizar o controle tecnológico do concreto utilizado em suas dependências e julgar sua conformidade ou não com as especificações de projeto.

Para isso será analisado cuidadosamente os procedimentos, definições e ensaios empregados, bem como seus limites de atuação. A ferramenta estatística a ser utilizada será a análise estatística representados em um gráfico de densidade de frequência por resistência à compressão utilizando amostra de 137 corpos de prova de uma mesma obra; e por fim será avaliado sua aplicabilidade às condições reais de utilização do concreto.

1.6 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

No **Capítulo 2**, estudam-se as bases científicas, instrumentais e tecnológicas do trabalho para subsidiar o leitor no entendimento de todas as fases do trabalho.

O **Capítulo 3** enquadra-se a metodologia de pesquisa, explicando como a metodologia será feita.

Já o **Capítulo 4** apresenta a aplicação da metodologia, coletas de dados e baseado na análise estatística representados em um gráfico de densidade de frequência por resistência à compressão para chegar ao resultado esperado.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa para saber se a hipótese foi aceita ou refutada, além das recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresentará a revisão bibliográfica, dissertando sobre os requisitos exigidos para a garantia da qualidade do concreto.

2.1 QUALIDADE E CONTROLE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para que o escopo deste trabalho seja compreendido adequadamente, é conveniente introduzir alguns conceitos abordados durante seu desenvolvimento.

2.1.1 Qualidade

Tema de muitas discussões no campo da administração, o termo “qualidade” já foi definido de diversas formas. Juran e Gryna (1991), pesquisadores americanos de renome nessa área, o definem da seguinte forma: “A qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes e dessa forma proporcionam a satisfação em relação ao produto.”

De acordo com Helene e Terzian (1993), no âmbito da indústria da construção civil, mais especificamente na área do concreto, essas características compreendem, entre outras: resistência adequada, durabilidade, baixo custo de produção e manutenção. Esses fatores estão diretamente relacionados às condições exigidas pelos usuários, entre as quais se destacam a resistência estrutural adequada, a funcionalidade e habitabilidade da edificação, sua vida útil e seu preço, que deve ser acessível. Assim determina-se o nível de satisfação dos clientes e, portanto, a qualidade a ser atingida.

Na Engenharia, contudo, aponta-se a necessidade de se definir a qualidade objetivamente, através de parâmetros mensuráveis. Desse modo, nos procedimentos de projeto, seleção de materiais, execução, operação e manutenção, dá-se preferência a parâmetros quantitativos ao invés de qualitativos (HELENE e TERZIAN, 1993).

2.1.2 Controle

Helene e Terzian (1993) definem controle como “conjunto de atividades técnicas e planejadas, através das quais se pode alcançar uma meta e assegurar um nível predeterminado de qualidade”. O controle pode ser aplicado não só a produtos, como também a processos e serviços. Na construção civil, o controle de todas as etapas, iniciando do planejamento, e sucessivamente passando pelas fases de projeto, produção de materiais e componentes, execução e, por fim, utilização, resulta em uma garantia da qualidade da construção.

Para realizar o controle de qualidade, Juran e Gryna (1991) propõem um “ciclo de controle”, que consiste em três etapas:

- a) avaliação do desempenho operacional real;
- b) comparação do desempenho real com os objetivos; e
- c) tomada de atitude baseada na diferença entre o objetivo e o desempenho real.

2.1.3 Controle de qualidade na construção civil

As definições de qualidade e controle apresentadas anteriormente, apesar de sua contextualização com o quadro da indústria da construção civil, foram desenvolvidas inicialmente para a indústria mecânica e eletrônica de produtos seriados. Por isso, existe uma certa dificuldade em aplicar esses conceitos à indústria da construção, devido a características próprias da mesma que a diferem das demais; dentre as quais se destaca a produção de produtos únicos e não em série. Por essa razão, há uma resistência em implantar uma sistemática de controle de qualidade, embora sejam adotados outros tipos de controle em outras fases, como o cronograma de barras no planejamento físico da obra (HELENE e TERZIAN, 1993).

Ainda segundo Helene e Terzian (1993), o processo produtivo na indústria da construção é composto de quatro etapas básicas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes e execução; seguidas da etapa de uso, na qual são

realizadas as atividades de operação e manutenção. A execução inadequada de qualquer das etapas citadas, tanto na fase de produção quanto na de utilização, resultará em problemas patológicos, que certamente comprometerão o nível de satisfação dos usuários e conseqüentemente a qualidade da construção.

O controle de qualidade visa então estabelecer meios para eliminar possíveis falhas em cada um dos processos, a fim de obter um resultado satisfatório às exigências dos usuários, conforme ilustrado no Quadro 1.

Controle da Qualidade	Planejamento	Atender às normas gerais de desempenho, código de obras, regulamentos.
	Projeto	Atender às normas específicas de desempenho, às normas e documentos prescritos.
	Materiais	Produzir e receber de acordo com o especificado.
	Execução	Atender ao projetado e ao especificado.
	Uso	Assegurar a adequada utilização e manutenção do produto.

Quadro 1 - Metas do controle da qualidade a serem atingidas em cada etapa do processo.
Fonte: Helene e Terzian (1993).

2.1.4 Mecanismos de controle da qualidade

O controle da qualidade na construção civil abrange dois mecanismos: o controle de produção e o de aceitação, complementares e fundamentais para a confiabilidade do resultado.

O controle de produção é um controle dos fatores que interferem na qualidade, realizado internamente, sob responsabilidade de quem gera os produtos, ou seja, o produtor, em qualquer das etapas de processo: planejamento, projeto, fabricação e execução. Deve ser realizado continuamente com o objetivo de obter informações sobre a uniformidade da produção, bem como sobre o nível de qualidade atingido. Dessa forma, eventuais irregularidades podem ser notadas e corrigidas antes que se atinja o limite de tolerância para os erros ou defeitos (HELENE e TERZIAN, 1993).

Já o controle de aceitação é uma comprovação da conformidade com as características solicitadas, exercida intermitentemente por quem fiscaliza e recebe os produtos ou serviços executados durante o processo, principalmente na transição de uma etapa para outra, quando ocorre a transferência de responsabilidades. Para uma certa quantidade de produtos, ou seja, para um lote, é retirada uma amostra representativa e procede-se a verificação de conformidade ou não aos limites estabelecidos, comprovando então se a qualidade especificada foi alcançada. Cabe ainda destacar que este controle pode ser feito de modo qualitativo, através de atributos, ou de modo quantitativo, através de variáveis mensuráveis (HELENE e TERZIAN, 1993).

Segundo Meseguer, citado por Helene e Terzian (1993), o nível mais alto de controle da qualidade na construção civil ocorre quando os controles de produção e aceitação são combinados, ou seja, quando o controle sobre o processo se comunica com o controle sobre o produto, para que ambos possam identificar suas falhas não apenas isoladamente, como também em conjunto, colaborando mutuamente com o aperfeiçoamento da qualidade final atingida.

2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

2.2.1 Definição

A resistência é a capacidade do material resistir à tensão aplicada até a ruptura. Para a maioria dos materiais estruturais, a ruptura é identificada pelo surgimento de fissuras. Porém, antes mesmo de ser submetido a tensões externas, o concreto possui microfissuras originadas durante o seu endurecimento. A ruptura é então relacionada à fratura do material, ou à fissuração interna muito avançada, quando o mesmo não é capaz de suportar uma tensão maior sem fraturar-se. Esse valor máximo de tensão é admitido como sendo a resistência do material àquele tipo de solicitação (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

No concreto, a resistência à compressão é adquirida através do processo de hidratação do cimento, que ocorre de forma relativamente lenta. Por isso, para fins

de projeto, tradicionalmente, é utilizada a resistência atingida aos 28 dias, período a partir do qual os incrementos de resistência variam pouco com o tempo (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.2.2 Importância

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência à compressão é a principal característica do concreto, muito mais significativa que sua resistência a qualquer outro tipo de tensão, e o qualifica como o material mais adequado para resistir à compressão no projeto de estruturas. Por isso, é a propriedade geralmente especificada para o dimensionamento dos elementos estruturais.

Além disso, é relativamente simples de ser ensaiada. Apesar do concreto na prática estar submetido a uma combinação de tensões de compressão, cisalhamento e tração em duas ou mais dimensões, o ensaio de compressão uniaxial é mais facilmente executado em laboratório e a partir de seu resultado pode-se estimar o comportamento do concreto aos outros esforços. Várias outras propriedades do concreto também são diretamente relacionadas à resistência, como o módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries, incluindo águas agressivas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Além disso, trata-se de uma propriedade bastante sensível às variações de dosagem, natureza e uniformidade dos materiais, bem como às variações relativas à mistura, transporte, lançamento, adensamento e método de cura. Dessa forma, a resistência à compressão constitui um indicativo da qualidade do concreto (HELENE e TERZIAN, 1993; SOUZA JÚNIOR, 2005).

2.2.3 Resistência característica à compressão

Conforme dito anteriormente, a resistência à compressão do concreto depende de uma série de fatores, desde a produção até a ruptura dos corpos de prova. Consequentemente, obtém-se um valor de resistência diferente para cada corpo de prova ensaiado, ou seja, os resultados são dispersos. Mas, para efeito de projeto estrutural e de controle tecnológico, é preciso definir um valor de referência

que seja representativo dos resultados obtidos através dos ensaios, sem contudo desconsiderar a dispersão (HELENE e TERZIAN, 1993).

De acordo com Helene e Terzian (1993) e Souza Júnior (2005), para um concreto fabricado sob condições constantes, do qual foram retirados n corpos de prova, submetidos ao ensaio de compressão axial após 28 dias; desde que o coeficiente de variação dos resultados seja inferior a 25%, a distribuição da resistência à compressão pode ser representada pela curva de Gauss, para uma população composta de $n \rightarrow \infty$ valores. Dessa forma, a população passa a ser descrita em termos da média e do desvio padrão. Para coeficientes de variação superiores a 25%, a distribuição mais adequada é a log-normal, entretanto esse valor raramente é atingido.

Admitindo a curva de densidade de probabilidade da resistência à compressão como normal, define-se a resistência característica à compressão do concreto, denominada f_{ck} , como o valor que apresenta uma probabilidade de 95% de ser atingido ou superado aos 28 dias. Esse valor é usado como base de cálculo para efeitos de projeto estrutural (HELENE e TERZIAN, 1993; SOUZA JÚNIOR, 2005).

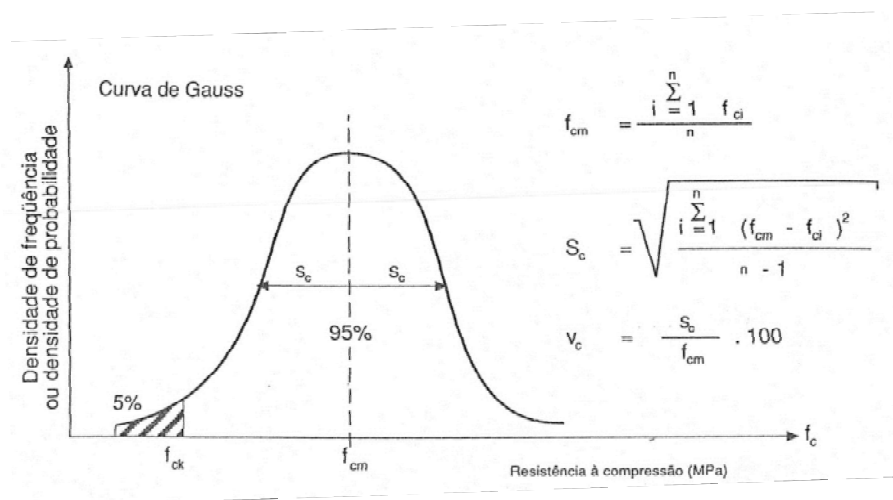


Figura 1 - Representação da distribuição da resistência à compressão do concreto

Fonte: Helene e Terzian (1993, p.108)

A resistência característica engloba a média e a dispersão dos resultados dos ensaios, e permite definir a resistência à compressão do concreto em um único valor, conforme apresentado na Figura 1, através de uma medida estatística com

apenas 5% de probabilidade de não ser atingida, ou seja, com 95% de confiabilidade (HELENE e TERZIAN, 1993; SOUZA JÚNIOR, 2005).

Da curva de distribuição de Gauss, tem-se que (Equação 1) :

$$f_{ck} = f_{cm28} - 1,65 S_d \quad \text{Equação (1)}$$

onde f_{cm28} é a resistência média à compressão aos 28 dias e S_d é o desvio padrão.

É importante ressaltar que o desvio padrão é independente dos valores de resistência obtidos através dos ensaios. Ele representa a dispersão dos valores, ou seja, a variabilidade dos resultados obtidos, decorrente apenas da uniformidade dos processos envolvidos na produção e amostragem do concreto. Quando não há dados suficientes para que seja calculado, a NBR 6118 (ABNT, 2003)¹ fixa os valores que se deve adotar para o desvio padrão, para que se possa especificar o f_{ck} de projeto (SOUZA JÚNIOR, 2005).

A resistência de dosagem do concreto deve ser calculada conforme Equação 2, de acordo com o f_{ck} definido em projeto, como uma resistência f_{cm28} maior que f_{ck} , com o objetivo de que 95% do volume de concreto tenha resistência superior a f_{ck} (SOUZA JÚNIOR, 2005).

$$f_{cm28} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad \text{Equação (2)}$$

2.2.4 Fatores que afetam a resistência

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto responde de maneiras diferentes de acordo com a solicitação na qual é submetido. Essa resposta depende não apenas do tipo de tensão aplicada, mas também da uniformidade do material e principalmente da porosidade adquirida após o endurecimento.

A porosidade, por sua vez, depende das propriedades dos componentes, sua uniformidade, proporção, grau de adensamento e tipo de cura, e é inversamente proporcional à resistência. No concreto as zonas críticas por onde se desenvolve o caminho de ruptura são os poros da pasta de cimento e as zonas de transição entre

¹ A versão atual da NBR 6118 data do ano de 2007, porém só tivemos acesso à versão 2003.

a pasta e o agregado gráudo. Isso ocorre porque a resistência está baseada na parte sólida do material, portanto os vazios são prejudiciais (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A zona de transição é a parte mais fraca do concreto endurecido (PAULON e MONTEIRO, 1991). Segundo Dourado e Costa (2009), é a porção da pasta de cimento em contato com o agregado gráudo, caracterizada por ser uma região com maior porosidade e heterogeneidade do que o restante da pasta. Esta porosidade é decorrente da elevação da relação água/cimento na mistura e do filme de água que se forma em torno do agregado gráudo. A presença de cristais orientados de hidróxido de cálcio também contribuem para que a zona de transição possua alta porosidade. Os cristais de hidróxido de cálcio possuem forma geométrica que dificulta a homogeneidade da pasta.

A presença de microfissuras na zona de transição já existe antes mesmo que o material concreto seja submetido à cargas constantes. Essas microfissuras se originam da falta de aderência e da incompatibilidade de diferentes materiais (agregado gráudo e pasta de cimento), conforme ilustrado na Figura 2. Com isso, as reações químicas provenientes da hidratação dos compostos do cimento favorecem o surgimento dessas microfissuras na região da zona de transição. A fraca resistência à tração do concreto também pode ser explicada pela presença dessas microfissuras e pela direção do esforço de tração, que fazem com que as microfissuras aumentem de tamanho e profundidade.

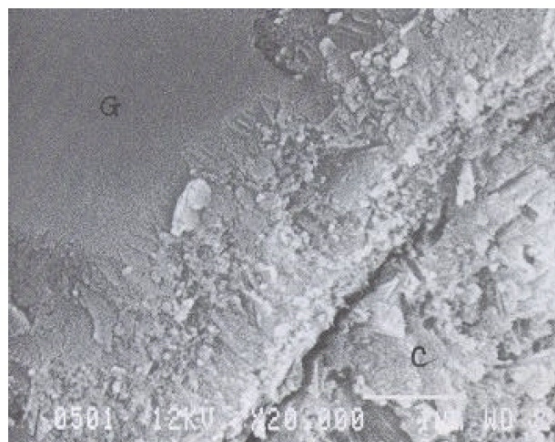


Figura 2 - Zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento (G)=agregado, (C)=pasta de cimento.

Fonte: Moranville-Regourd (1992, p.13).

Cada um dos fatores relacionados à produção contribui para a resistência do concreto obtido, de forma que suas variações também acarretarão diferenças no produto final, sob a forma de dispersões em torno de um valor médio de resistência (HELENE e TERZIAN, 1993).

Por outro lado, os procedimentos relativos aos ensaios laboratoriais, a amostragem, moldagem, cura, capeamento e ruptura dos corpos de prova, também são passíveis de provocar dispersões na resistência obtida. Entretanto essas variações não representam a desuniformidade do concreto da estrutura, mas a dificuldade de tratar todos os corpos de prova de maneira exatamente igual (HELENE e TERZIAN, 1993).

A fim de evitar que os resultados dos ensaios expressem erroneamente a variabilidade do concreto na estrutura, deve-se fazer um controle freqüente, visando determinar o grau de confiabilidade desses resultados.

Além disso, as condições de carregamento reais diferem daquelas reproduzidas em laboratório durante o ensaio de compressão, por isso é interessante conhecer a relação entre as resistências em ambos os casos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O Quadro 2 apresenta os principais fatores que afetam a resistência à compressão, separando-os em fatores associados às quantidades e propriedades dos materiais constituintes e fatores associados aos métodos de ensaio.

Variações devido às propriedades do concreto	Variações devido aos métodos de ensaio
Alterações na relação água/cimento causadas por: • Controle inadequado da água • Variação excessiva de umidade do agregado • Reamassamento Variações na demanda de água causadas por: • Alterações da granulometria, absorção e forma das partículas do agregado • Alterações das propriedades cimentíceas da mistura • Alterações do teor de ar • Alterações do tempo de entrega e temperatura	Procedimentos de amostragem impróprios Variações devido às técnicas de fabricação: • Manuseio, armazenamento e cura dos corpos de prova recém-moldados • Formas de má qualidade, danificadas ou distorcidas Alterações de cura: • Variação de temperatura • Variação de umidade • Atrasos para levar os corpos de

Variações nas características e proporções dos ingredientes: • Agregados • Materiais cimentícios, incluindo pozolanas • Aditivos Variações na mistura, transporte, lançamento e adensamento Variações na temperatura do concreto e na cura	prova para o laboratório • Atrasos para iniciar a cura padrão Procedimentos de ensaio deficientes: • Preparação de amostras • Procedimento de ensaio • Equipamentos de ensaio descalibrados
---	---

Quadro 2 - Principais fontes de variação na resistência à compressão.

Fonte: ACI 214R-02 (2002, tradução nossa).

A Tabela 1 apresenta as participações máximas dos principais fatores que afetam a resistência à compressão do concreto na variabilidade da mesma.

Tabela 1 - Principais fatores que influenciam o resultado da resistência à compressão potencial do concreto, medida no ensaio de controle

Causas da variação	Efeito máximo no resultado
Materiais	
Variabilidade da quantidade total de água	± 15%
Variabilidade da resistência do cimento	± 12%
Variabilidade dos agregados, principalmente miúdos	± 8%
Mão-de-obra	
Variabilidade do tempo e procedimento de mistura	- 30%
Equipamentos	
Ausência de aferição de balanças	- 15%
Mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias, etc.	- 10%
Procedimento de ensaio	
Coleta imprecisa	- 10%
Adensamento inadequado	- 50%
Cura (efeito considerado a 28 dias ou mais)	± 10%
Remate inadequado dos topos	- 30% para concavidade - 50% para convexidade
Ruptura (velocidade de carregamento)	± 5%

Fonte: Helene e Terzian (1993).

A seguir, será discutida a interferência de cada fator na resistência à compressão adquirida.

2.2.4.1 Relação água/cimento

A água é essencial no concreto para hidratar o cimento e assim formar os cristais responsáveis pelo endurecimento e, portanto, pela resistência do mesmo. Contudo, o espaço ocupado pela água não é completamente preenchido pelos produtos de hidratação do cimento, resultando em poros na matriz. Quanto maior a proporção de água adicionada, ou seja, quanto maior a relação água/cimento, mais porosa será a conformação final (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A relação água/cimento é o fator mais importante para a resistência à compressão do concreto, porque ela está diretamente ligada tanto à porosidade da pasta de cimento quanto à zona de transição entre a pasta e o agregado graúdo. Em 1918, DuffAbrams, da Universidade de Illinois, nos Estados Unidos, propôs uma expressão para a resistência à compressão em função da relação água/cimento, que é aceita até os dias atuais. Sua representação gráfica se vê na Figura 3 (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

$$f_c = k_1/k_2^{a/c} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde k_1 e k_2 são constantes empíricas e a/c é a relação água/cimento.

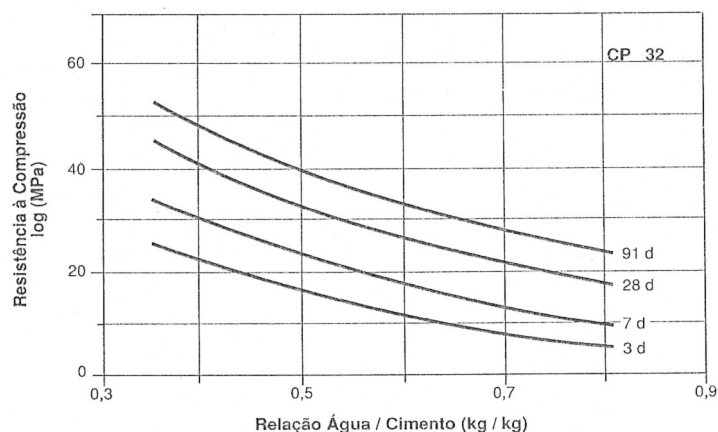


Figura 3 - Resistência à compressão em função da relação água/cimento.

Fonte: Helene e Terzian (1993, p.129)

Observa-se a progressiva queda na resistência à medida que se aumenta a relação água/cimento, devido ao enfraquecimento da pasta resultante do aumento da porosidade.

2.2.4.2 Tipo de cimento

Para uma relação água/cimento constante, a resistência à compressão passa a depender diretamente do tipo de cimento utilizado e de sua resistência (HELENE e TERZIAN, 1993). Essa dependência, no entanto, é mais significativa nas primeiras idades, devido à composição de cada tipo de cimento, pois cada uma possui uma velocidade de hidratação distinta (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Quanto menor a relação água/cimento e conseqüentemente maior a resistência do concreto, mais a variabilidade da resistência do cimento é expressiva na resistência à compressão, conforme representado na Figura 4; sem contudo nunca ser mais significativa que a própria relação água/cimento (HELENE e TERZIAN, 1993).

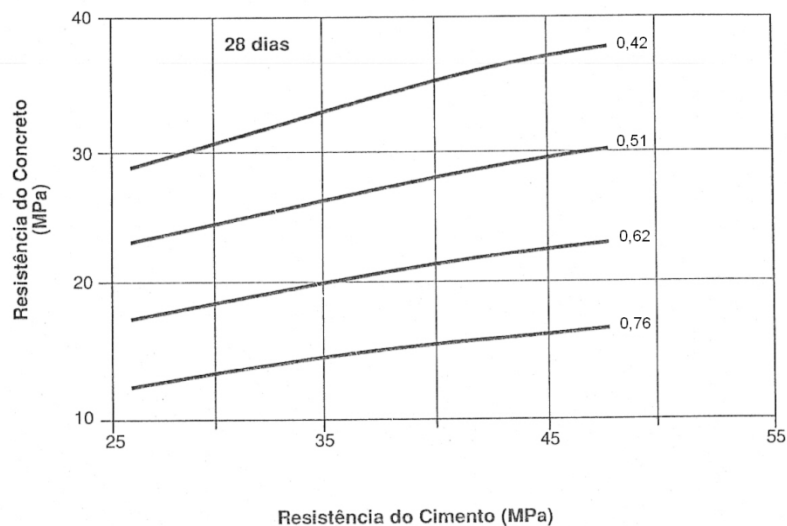


Figura 4 - Curvas de correlação entre a resistência do concreto e a resistência do cimento para relações água/cimento fixas.

Fonte: Helene e Terzian (1993)

2.2.4.3 Agregado

A resistência do agregado geralmente não é determinante para a resistência do concreto, porque os agregados usuais são mais resistentes que a pasta de cimento e a zona de transição, logo a ruptura ocorre nessas duas fases, antes que o agregado seja solicitado a ponto de se romper (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Porém, existem outros fatores relacionados aos agregados que afetam indiretamente a resistência à compressão do concreto. Alterações de distribuição granulométrica, forma, tamanho, rugosidade e quantidade acarretam mudanças na consistência do concreto fresco, de forma que pode ser necessário adequar a quantidade de água, e consequentemente a relação água/cimento, para atender a requisitos de trabalhabilidade, interferindo indiretamente na resistência à compressão (HELENE e TERZIAN, 1993).

As figuras 5,6,7 e 8 mostram as baias de estocagem de agregado das concreteira visitada.



Figuras 5 e 6 - Baias de estocagem de agregados



Figuras 7 e 8 - Baías de estocagem de agregados

2.2.4.4 Adições

Segundo Mehta e Monteiro (1994, p.56),

Quando usadas como uma substituição parcial do cimento Portland, as adições minerais normalmente reduzem a velocidade de desenvolvimento de resistência. A capacidade do aditivo mineral em reagir sob temperaturas normais com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland hidratada e formar mais silicato de cálcio hidratado pode levar a uma redução significativa da porosidade da matriz e da zona de transição. Consequentemente, uma melhora considerável na resistência final e na estanqueidade pode ser alcançada com a incorporação de aditivos minerais no concreto.

2.2.4.5 Aditivos

Os aditivos aceleradores ou retardadores de pega tem uma influência muito grande sobre a velocidade de hidratação do cimento, por conseguinte também sobre a velocidade de desenvolvimento da resistência. Os plastificantes possibilitam obter boa trabalhabilidade do concreto mesmo com relações água/cimento muito baixas, motivo pelo qual receberam a denominação de redutores de água. Eles melhoram a taxa de hidratação do cimento, conferindo ao concreto um ganho de resistência principalmente nas primeiras idades. Entretanto, tem-se observado uma tendência da resistência final ser menor quando a velocidade de desenvolvimento da resistência é alta. Já os incorporadores de ar têm efeito negativo na resistência devido ao aumento da porosidade (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A figura 9 mostra os tanques de armazenamento de aditivos da concreteira em análise.



Figura 9 - Tanque de armazenamento de aditivo

2.2.4.6 Condições de cura

A cura se refere aos procedimentos realizados para promover a hidratação do cimento imediatamente após a concretagem, considerando o tempo e as condições de temperatura e umidade presentes (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Dentre os processos de cura, destacam-se a cura úmida, com aspersão de água, mantas umidecidas ou a vapor; térmica, onde as temperaturas são elevadas e controladas com o objetivo de acelerar as reações de hidratação; e química, através de emulsão de resina acrílica (CAVALCANTI FILHO, 2010).

Os elementos constituintes do cimento iniciam sua hidratação assim que entram em contato com a água, porém à medida que os grãos de cimento são cobertos pelos produtos de hidratação, a velocidade das reações diminui. Embora as reações sejam retardadas, elas continuam a ocorrer, portanto quanto mais longo o período de exposição à cura úmida, maior a resistência final do concreto. A umidade também interfere no processo, minimizando a microfissuração proveniente da retração por secagem logo após o lançamento do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Em relação à temperatura, para um concreto lançado e curado a uma temperatura constante dentro da faixa de 4 a 46°C, tem-se observado que quanto

maior a temperatura, maior é a velocidade de hidratação do cimento, logo mais rapidamente se desenvolve a resistência até os 28 dias. Contudo, a resistência final é menor (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.3 CONTROLE TECNOLÓGICO

A indústria da construção civil é uma das mais importantes, qualquer que seja o parâmetro que se utilize: volume de inversão, capital circulante, número de pessoas empregadas, utilidade dos produtos e outros (HELENE e TERZIAN, 1993).

Com isso, vê-se a necessidade do implemento de controles tecnológicos e de qualidade na construção civil.

Porém, o controle de qualidade na indústria da construção civil não deve ficar restrito, nem ser confundido apenas com a realização de alguns ensaios em materiais e componentes. Mas deve englobar todas as atividades e etapas do processo de produção e uso das edificações.

Assim, a tecnologia do concreto visa contribuir decisivamente para o sucesso das construções de grandes obras, constituindo-se num instrumento indispensável desde o estudo de viabilidade até a concretização de um projeto (ALVES, 1982).

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos contribuíram para a melhoria dos materiais constituintes do concreto, na utilização, no controle da qualidade, nos métodos construtivos, e na ampliação dos campos de utilização do concreto, entre outros.

O controle da qualidade do concreto deve ser considerado como parte integrante da construção. Um dos principais parâmetros de avaliação do controle de qualidade é a resistência à compressão do concreto, pois o não atendimento da resistência especificada em projeto além de comprometer a segurança estrutural, afeta a durabilidade da estrutura.

O controle da qualidade do concreto pode atuar em duas fases: durante a produção do concreto ou na aceitação desse concreto para a finalidade na qual se

destina. Embora diferentes, ambos são necessários para que seja alcançado um bom resultado final (HELENE, 1986).

2.3.1 Controle de Produção

Segundo Helene e Terzian (1993, p. 165), “o controle de produção compreende um conjunto de métodos, que ajudam o fabricante de concreto a cumprir o especificado de forma mais econômica”.

O controle de produção é a atividade de controle onde se verifica e corrige continuamente os principais parâmetros de produção que possam afetar a qualidade do produto.

Um controle de produção não deve ser efetuado somente sobre as características finais do concreto, antes precisa ser efetuado um controle de qualidade e uniformidade da matéria prima utilizada. Em outras palavras, durante o controle de produção deve-se controlar os fatores que influenciam na resistência à compressão (HELENE e TERZIAN, 1993).

Para se obter uma dada resistência à compressão, é necessário controlar, ou seja, verificar e corrigir, vários parâmetros como o cimento, a água e os agregados disponíveis; assim como verificar a homogeneidade durante o amassamento, a sequência na ordem de lançamento do material e o tempo da mistura.

Helene e Terzian (1993) dizem que para se obtenha um concreto com características homogêneas é necessário assegurar a uniformidade dos materiais, a regularidade do proporcionamento, a qualidade da mão-de-obra e eficiência dos equipamentos.

Além disso, pode-se e deve-se avaliar as características do concreto fresco, como: consistência, massa específica do concreto fresco, o teor de ar aprisionado e a relação água/cimento. Essas características dão uma informação sobre as características finais do concreto endurecido.

Neste capítulo, serão apresentados os requisitos exigidos nas normas que os materiais empregados na elaboração do concreto devem atender.

2.3.2 Concreto produzido em central

A norma NBR 7212 (ABNT, 1984, p.1) define concreto dosado em central como:

“Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas”.

A busca constante da qualidade, a necessidade da redução de custos e a racionalização dos canteiros de obras, fazem com que o concreto dosado em central seja cada vez mais utilizado.

De acordo com Manual do Concreto Dosado em Central (ABESC, 2007), entre as vantagens de se aplicar o concreto dosado em central, destaca-se:

- a) Eliminação das perdas de areia, brita e cimento;
- b) Racionalização do número de operários da obra, com consequente diminuição dos encargos sociais e trabalhistas;
- c) Maior agilidade e produtividade da equipe de trabalho;
- d) Garantia da qualidade do concreto graças ao rígido controle adotado pelas centrais dosadoras;
- e) Redução no controle de suprimentos, materiais e equipamentos, bem como eliminação das áreas de estoque, com melhor aproveitamento do canteiro de obras;
- f) Redução do custo total da obra.

A utilização de concreto usinado diminui o risco de se empregar um concreto de baixa qualidade, porém não deve servir de desculpa para a não realização do controle tecnológico, sendo este indispensável (SHAQUR, 2005).

O controle do concreto dosado em central é exercido pela central dosadora de acordo com a NBR 7212 (ABNT, 1984) - Execução de Concreto Dosado em Central, que inclui as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle da qualidade, inspeção, aceitação e rejeição.

A forma mais utilizada para se pedir o concreto dosado em central é informando a resistência característica do concreto (f_{ck}) e a trabalhabilidade (abatimento). A NBR 7212 (ABNT, 1984) também especifica outras duas formas de pedir o concreto: fornecendo o “traço”, ou o “consumo de cimento” por metro cúbico.

O volume mínimo de entrega deve ser fixado de acordo com as especificações do equipamento, não se recomendando que esse volume seja inferior a 1/5 da capacidade do equipamento de mistura ou agitação, nem inferior a 1,0 m³.

E o volume máximo de entrega deve ser compatível com o equipamento de transporte, não excedendo a capacidade nominal de mistura ou agitação, conforme as indicações do fabricante.

Lembrando que os pedidos devem ser feitos em volumes múltiplos de 0,5 m³, respeitando o volume máximo e mínimo.

Na documentação de entrega, a NBR 7212 (ABNT, 1987) especifica que o documento de entrega que acompanha cada remessa de concreto, além dos itens obrigatórios pelos dispositivos legais vigentes, deve conter:

- a) quantidade de cada componente do concreto;
- b) volume de concreto;
- c) hora de início da mistura (primeira adição de água);
- d) abatimento do tronco de cone (slump);
- e) dimensão máxima característica do agregado graúdo;
- f) resistência característica do concreto à compressão, quando especificada;
- g) aditivo utilizado, quando for o caso;
- h) quantidade de água adicionada na central;
- i) quantidade máxima de água a ser adicionada na obra;
- j) menção de todos os demais itens especificados no pedido.

Para a amostragem do concreto devem ser retirados exemplares, constituídos de no mínimo dois corpos de prova para cada idade de rompimento, adotando-se o resultado maior dos valores de resistência obtidos (f_i). Os exemplares devem ser tomados aleatoriamente de concretos de mesmo traço, sendo permitido, porém não recomendado, usar concretos de traços diferentes, mas com mesma resistência de dosagem. Exige-se no mínimo um exemplar para cada 50 m³ de concreto entregue, embora este número seja insuficiente para caracterizar apropriadamente o material.

2.3.2.1 Análise estatística

O objetivo da análise estatística é a estimativa dos parâmetros da distribuição dos valores de resistência dos concretos da central.

De acordo com a NBR 7212 (ABNT, 1984), a amostra deve ser constituída de no mínimo 32 exemplares, e poderá ser reduzido conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Redução do tamanho da amostra

Desvio-padrão determinado- S_n (MPa)	Número mínimo de exemplares
$S_n > 5$	32
$5 \geq S_n > 4$	25
$4 \geq S_n$	16

Fonte: NBR 7212 (ABNT, 1984, p.6).

Já a NBR 12655 (ABNT, 2006), ao abordar o mesmo assunto, fixa o número de exemplares para a determinação do desvio padrão em 20 resultados consecutivos, obtidos no intervalo de 30 dias.

2.3.2.2 Determinação da média e do desvio-padrão

A média e o desvio-padrão são calculados com os resultados, f_i , obtidos com um concreto com uma resistência de dosagem escolhida arbitrariamente, f_r , que passará a se denominar concreto de referência; recomenda-se que essa resistência seja a de um concreto frequentemente solicitado, devendo ser igual ou superior a 22 MPa.

A amostra poderá ser constituída de resultados de ensaio de concretos com resistências de dosagem diferentes, desde que se adote o procedimento descrito a seguir:

a) quando as resistências de dosagem, f_{cj} , forem iguais ou maiores do que 22 MPa, sendo f_i os valores de resistência dos exemplares, devem ser considerados valores, f'_i , obtidos pela Equação 4:

$$f'_i = f_r + (f_i - f_{cj}) \quad \text{Equação (4)}$$

b) quando as resistências de dosagem forem menores do que 22 MPa, os valores, f'_i , a serem considerados são os obtidos pela Equação 5:

$$f'_i = f_r + (f_i - f_{cj}) \frac{22}{f_{cj}} \quad \text{Equação (5)}$$

2.3.2.3 Desvio padrão

O desvio-padrão é calculado pela expressão (Equação 6):

$$S_n = \sqrt{\frac{(f'_i - \bar{f}')^2}{n-1}} \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo $\bar{f}'$ definido pela Equação 7:

$$\bar{f}' = \frac{\sum f'_i}{n} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

n = número de exemplares

S_n = desvio-padrão da central.

2.3.2.4 Coeficiente de variação dentro do ensaio

Obtém-se uma estimativa do desvio-padrão dentro do ensaio a partir da média das amplitudes de valores de resistências dos corpos de prova de cada exemplar, divididos pelo coeficiente d_2 , conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente d_2

Número de corpos de prova do exemplar	d_2
2	1,128
3	1,693
4	1,693
5	2,326

Fonte: NBR 7212 (ABNT, 1984, p.6).

2.3.2.5 Análise dos resultados

O objetivo dessa interpretação é avaliar o concreto segundo o controle de preparo e cuidados no ensaio.

A avaliação do controle de preparo é feita com base no desvio-padrão, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Desvio padrão

Local de preparo do concreto	Desvio Padrão (MPa)			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	3	3,0 - 4,0	4,0 - 5,0	> 5,0
Laboratório	1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	> 2,5

Fonte: NBR 7212 (ABNT, 1984, p.7).

A avaliação dos ensaios é feita com base no coeficiente de variação dentro do ensaio, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficiente de variação

Local de preparo do concreto	Coeficiente de variação			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Central	3	3,0 - 5,0	5,0 - 6,0	> 6,0
Laboratório	2	2,0 - 4,0	4,0 - 5,0	> 5,0

Fonte: NBR 7212 (ABNT, 1984, p.7).

2.3.2.6 Inspeção

A empresa de serviços de concretagem deve possibilitar à contratante, ou a quem esta venha a delegar, a inspeção da central para efeito de controle de

dosagem do concreto, dos equipamentos de dosagem, mistura, transporte, da estocagem e da qualidade dos materiais.

2.3.2.7 Aceitação e rejeição

A aceitação ou rejeição do concreto será baseada nas verificações e ensaios efetuados pela contratante com o objetivo de comprovar as características do concreto e o atendimento as exigências constantes no pedido. O concreto poderá ser recusado se não atender a pelo menos uma das especificações do pedido.

a) Concreto fresco

A aceitação ou rejeição do concreto fresco compreende a verificação da consistência pelo abatimento do tronco de cone ou outro método com a mesma finalidade, desde que previamente especificado, e a comprovação da dimensão máxima característica do agregado gráúdo solicitada.



Figura 10 - Ensaio de abatimento de tronco de cone

b) Concreto endurecido

A aceitação ou rejeição do concreto endurecido compreende a verificação pela contratante do atendimento às especificações constantes no pedido.

2.3.3 Controle de Aceitação

"O controle de aceitação do concreto difere do controle de produção em dois aspectos fundamentais. Primeiro, porque a finalidade da decisão é julgar simplesmente a conformidade ou não de certa porção do concreto com o que foi especificado. Não se trata, portanto, da análise da estabilidade do processo de produção, ou seja, não há o objetivo de analisar as variações que intervêm no processo de produção do concreto para se alcançar aquela qualidade. O segundo aspecto porque não envolve, em princípio, fatores econômicos da produção. Só importa em aceitar um concreto com a resistência característica atendida." (HELENE e TERZIAN, 1993, p.189).

A NBR 12655 (ABNT, 2006) diz que a aceitação do concreto consiste em duas etapas: aceitação do concreto fresco (provisória) e aceitação definitiva do concreto, efetuadas através dos ensaios de controle de aceitação do concreto.

A aceitação do concreto fresco é efetuada durante a descarga da betoneira, e consiste na verificação da conformidade das propriedades para o estado fresco. Já a aceitação definitiva do concreto consiste na verificação do atendimento a todos os requisitos especificados para o concreto endurecido.

2.3.3.1 Ensaios de controle de aceitação

A qualidade final de uma estrutura de concreto armado depende tanto do controle de suas propriedades no estado fresco como no seu estado endurecido (GEYER e SÁ, 2006).

Para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura devem ser realizados ensaios de controle previstos na NBR 12655 (ABNT, 2006), além de ensaios e determinações para o controle das propriedades especiais.

2.3.3.2 Ensaios de consistência

A consistência do concreto fresco é uma propriedade relacionada com o estado de fluidez da mistura. A consistência adequada é fundamental para garantir a trabalhabilidade do concreto, ou seja, a facilidade com que o concreto pode ser colocado num tipo de forma.

O controle do concreto no seu estado fresco é de vital importância para garantir suas propriedades no estado endurecido (ABESC, 2007).

Para o concreto preparado pelo executante da obra, devem ser realizados ensaios de consistência sempre que ocorrerem alterações na umidade dos agregados, ou nas seguintes situações:

- a) Na primeira amassada do dia;
- b) Ao reiniciar o preparo após uma interrupção da jornada de concretagem de pelo menos 2h;
- c) Na troca de operadores;
- d) Cada vez que forem moldados corpos de prova.

Já para o concreto preparado por empresa de serviços de concretagem, devem ser realizados ensaios de consistência a cada betonada.

A consistência do concreto geralmente é medida através do ensaio de abatimento do tronco de cone.

O Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone mede a consistência e a fluidez do material, permitindo que se controle a uniformidade do concreto. A principal função deste ensaio é fornecer uma metodologia simples e convincente para se controlar a uniformidade da produção do concreto em diferentes betonadas. Desde que, na dosagem, se tenha obtido um concreto trabalhável, a constância do abatimento indicará a uniformidade da trabalhabilidade (GEYER e SÁ, 2006).

2.3.3.3 Ensaios de resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto é a propriedade mecânica mais importante do concreto, pois é na compressão que o concreto trabalha predominantemente (ANDOLFATO, 2002).

A resistência à compressão dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada como parâmetro principal de dosagem e controle da qualidade dos concretos destinados às obras correntes. Isso se deve, por um lado, à relativa simplicidade do procedimento de moldagem dos corpos de prova e do ensaio de compressão axial, e, por outro lado, ao fato de a resistência à compressão ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto (HELENE e TERZIAN, 1993).

Os corpos de prova devem ser moldados conforme NBR 5738 (ABNT, 2008) – Concreto – Procedimento de moldagem e cura de corpos de prova, e consiste em introduzir o concreto no molde (cilíndrico ou prismático) em camadas de volume aproximadamente igual e adensar cada camada utilizando uma haste, que deve penetrar no concreto por um determinado número de vezes. O número de camadas e golpes variam de acordo com o tipo e dimensão do molde. Dependendo da faixa de abatimento do concreto, permite-se também o adensamento mecânico. Para um molde cilíndrico com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm, o corpo de prova deve ser moldado em duas camadas, cada uma adensada com 12 golpes.

Segundo NBR 5739 (ABNT, 2007), o cálculo da resistência à compressão, após o ensaio de compressão em corpos cilíndricos, é dado pela Equação 8:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad \text{Equação (8)}$$

onde:

f_c é a resistência à compressão, em MPa;

F é a força máxima alcançada, em N;

D é o diâmetro do corpo de prova, em mm.

Os resultados dos ensaios de resistência, realizados em amostras, devem servir para a aceitação ou rejeição dos lotes.

Os lotes de concreto devem ser aceitos, quando o valor estimado da resistência característica, calculado conforme os controles acima, satisfazer a Equação 9:

$$f_{ckest} \geq f_{ck} \quad \text{Equação (9)}$$

Caso o f_{ck} obtido a partir da análise estatística não atinja o valor especificado em projeto, diz-se que ocorreu uma não-conformidade. Helene e Terzian (1993) sugerem que se determine a resistência efetiva do concreto na estrutura através da extração de testemunhos e da realização de ensaios não-destrutivos, como esclerometria e ultra-som, antes de se admitir a não-conformidade real.

O ensaio de esclerometria é regulamentado pela NBR 7584 - Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Isaia (1988) aponta que ele não substitui outros métodos, mas fornece informação complementar, pois a resistência à compressão pode ser estimada a partir de correlações com a dureza superficial do concreto obtida no ensaio.

Já o ensaio de ultra-som, regulamentado pela NBR 8802 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica - Método de ensaio, possibilita uma avaliação da homogeneidade do concreto a partir do conhecimento das variações na velocidade de propagação do som no material. Ele não estima a resistência, porém permite detectar as regiões de heterogeneidade, normalmente responsáveis pela não-conformidade avaliada.

À constatação da não-conformidade real, a NBR 6118 (ABNT, 2003) estabelece as ações corretivas a serem tomadas:

- a) revisão do projeto estrutural, com o objetivo de verificar se a estrutura com o f_{ck} obtido é capaz de suportar as cargas previstas;
- b) se não for possível aceitá-la, deve-se extrair testemunhos, ensaiá-los conforme NBR 7680- Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto - e proceder nova verificação estrutural com a resistência obtida;

- c) na permanência da não-conformidade, recomenda-se a prova de carga da estrutura, desde que a mesma não apresente risco de ruptura frágil; ou a admissão da não-conformidade final.

A prova de carga, descrita na NBR 9607 - Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido – Procedimento, analisa o desempenho da estrutura através do monitoramento contínuo de um carregamento externo aplicado e de seu respectivo efeito na estrutura, com as devidas precauções para que ela não seja danificada irreversivelmente durante o ensaio.

Se após as verificações citadas as condições para aceitação ainda não forem satisfeitas, deve-se admitir a não-conformidade final do todo ou de parte da estrutura e tomar uma das seguintes decisões:

- a) estabelecer restrições de uso da estrutura;
- b) fazer um projeto de reforço;
- c) demolir parcialmente ou totalmente a estrutura.

É importante ainda destacar que as condições de uso da edificação, bem como sua manutenção preventiva, devem ser especificados no manual de utilização, inspeção e manutenção, elaborado por profissional devidamente habilitado e entregue aos usuários da edificação, com o objetivo de identificar e atender os requisitos necessários para a garantia da vida útil prevista para a estrutura.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente trabalho tem por objetivo verificar se o concreto fornecido pela concreteira atende as especificações demandadas pelo contratante.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão em 137 corpos de prova moldados pela Concreteira, acondicionados e rompidos aos 28 dias, de acordo com as normas vigentes e procedimentos mencionados no capítulo anterior.

De posse dos dados dos ensaios, os resultados são apresentados em uma tabela, onde está especificada a data de moldagem, o abatimento e a resistência à compressão aos 28 dias das duas amostras do concreto ensaiado.

A Tabela 6 a seguir demonstra como serão apresentados os dados de resistência à compressão obtidos através da ruptura dos corpos de prova moldados pela Concreteira.

Tabela 6 - Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova analisados

Nº de Moldes	Data da moldagem	Abatimento (mm)	Resistência à compressão aos 28 dias – f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	Exemplar
00	xx/xx/xx	xx	xx	xx	xx

onde:

CP1 é a resistência a compressão da amostra 01;

CP2 é a resistência a compressão da amostra 02;

Exemplar é a maior resistência entre as amostras 01 e 02.

A partir dos resultados apresentados nas tabelas, calculou-se a média aritmética simples dos exemplares moldados e ensaiados pela Concreteira, no qual o exemplar corresponde ao resultado de maior valor de resistência dos dois corpos de prova ensaiados. a fim de obtermos o valor médio entre todos os valores, através da equação 10.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Equação (10)

onde

x_i : valores observados

n : tamanho da amostra

Com o cálculo da média dos resultados dos corpos de prova, este trabalho avaliará o controle tecnológico do concreto fornecido pela Concreteira e julgar sua conformidade ou não com as especificações de projeto.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresentará a análise dos resultados, levando em consideração os aspectos que tenham correlação com a média de resistência dos corpos de prova, descrevendo os principais aspectos observados durante a metodologia de pesquisa.

Os corpos de prova moldados pela Concreteira são acondicionados e rompidos aos 28 dias de idade, conforme os procedimentos mencionados no capítulo 2, de acordo com as normas vigentes. Os resultados são apresentados mensalmente em um relatório técnico, que reúne os dados do mês anterior.



Foto 11 - Moldagem dos corpos de prova



Foto 12 – Cura dos corpos de prova



Foto 13 – Equipamento de ensaio para teste de resistência à compressão

O Anexo A mostra como esses dados são apresentados nos relatórios técnicos.

Avaliou-se os resultados de resistência à compressão do concreto da Concreteira, contidos nos relatórios de julho de 2010 a fevereiro de 2011, referentes aos meses de junho de 2010 a janeiro de 2011, totalizando um período de oito meses de concretagem. Em todo o período analisado, utilizou-se sempre concreto elaborado com a mesma dosagem. O parâmetro estabelecido para este concreto foi:

- $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$;

A Tabela 7 a seguir apresenta os dados de resistência à compressão obtidos através da ruptura dos corpos de prova moldados pela Concreteira.

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
01	11/06/2010	110	40,8	40,3	40,8

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
02	11/06/2010	130	37,9	39,0	39,0
03	11/06/2010	130	37,6	36,5	37,6
04	17/06/2010	120	40,6	40,3	40,6
05	17/06/2010	120	41,2	42,2	42,2
06	17/06/2010	125	47,8	47,0	47,8
07	17/06/2010	120	41,9	41,9	41,9
08	17/06/2010	130	47,1	46,3	47,1
09	24/06/2010	115	40,5	40,1	40,5
10	24/06/2010	125	40,4	39,2	40,4
11	07/07/2010	110	41,3	43,5	43,5
12	09/07/2010	100	37,4	40,5	40,5
13	09/07/2010	120	36,3	37,8	37,8
14	09/07/2010	100	45,3	48,0	48,0
15	16/07/2010	130	44,8	44,7	44,8
16	16/07/2010	120	45,1	47,9	47,9
17	16/07/2010	115	45,4	44,6	45,4
18	16/07/2010	120	42,8	44,5	44,5
19	16/07/2010	130	41,0	42,8	42,8
20	16/07/2010	140	46,7	49,3	49,3
21	16/07/2010	125	50,0	50,3	50,3
22	16/07/2010	110	49,7	50,2	50,2
23	16/07/2010	100	46,5	44,8	46,5
24	20/07/2010	120	43,7	44,0	44,0
25	20/07/2010	100	46,9	45,2	46,9
26	23/07/2010	90	44,5	40,8	44,5
27	28/07/2010	70	49,7	48,2	49,7
28	30/07/2010	105	40,1	41,4	41,4

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
29	30/07/2010	120	42,9	44,7	44,7
30	30/07/2010	140	38,4	37,0	38,4
31	30/07/2010	100	35,4	38,4	38,4
32	09/08/2010	115	40,3	42,0	42,0
33	09/08/2010	140	35,5	36,5	36,5
34	09/08/2010	110	43,5	41,3	43,5
35	09/08/2010	110	41,7	41,5	41,7
36	09/08/2010	115	45,3	44,0	45,3
37	09/08/2010	130	40,5	40,6	40,6
38	10/08/2010	130	38,3	40,1	40,1
39	10/08/2010	110	44,6	44,7	44,7
40	17/08/2010	135	38,4	42,3	42,3
41	17/08/2010	125	43,7	44,2	44,2
42	17/08/2010	105	42,0	47,4	47,4
43	18/08/2010	140	37,7	36,9	37,7
44	23/08/2010	130	41,3	41,5	41,5
45	23/08/2010	120	40,7	41,3	41,3
46	23/08/2010	105	50,8	49,8	50,8
47	30/08/2010	120	44,7	46,1	46,1
48	02/09/2010	120	43,7	45,5	45,5
49	02/09/2010	110	46,6	46,2	46,6
50	02/09/2010	120	45,0	43,7	45
51	02/09/2010	120	42,6	44,0	44
52	03/09/2010	110	38,5	36,0	38,5
53	03/09/2010	110	39,9	37,4	39,9
54	03/09/2010	120	41,3	39,0	41,3
55	03/09/2010	125	39,4	35,4	39,4

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
56	14/09/2010	110	36,5	35,0	36,5
57	16/09/2010	115	41,9	42,6	42,6
58	16/09/2010	125	45,3	44,0	45,3
59	16/09/2010	95	44,4	39,6	44,4
60	23/09/2010	100	43,9	40,1	43,9
61	24/09/2010	100	39,9	36,5	39,9
62	24/09/2010	105	47,8	49,7	49,7
63	25/09/2010	100	45,6	46,3	46,3
64	01/10/2010	110	43,7	44,3	44,3
65	01/10/2010	135	42,1	43,1	43,1
66	01/10/2010	105	48,1	46,3	48,1
67	01/10/2010	110	45,3	45,9	45,9
68	05/10/2010	110	42,3	43,1	43,1
69	05/10/2010	90	45,9	44,7	45,9
70	08/10/2010	100	38,0	37,3	38,0
71	08/10/2010	120	47,1	47,5	47,5
72	13/10/2010	115	43,3	43,3	43,3
73	13/10/2010	120	46,8	46,8	46,8
74	13/10/2010	110	53,0	49,6	53,0
75	14/10/2010	115	49,6	50,4	50,4
76	26/10/2010	130	45,5	46,4	46,4
77	26/10/2010	120	46,4	46,4	46,4
78	26/10/2010	100	50,7	51,0	51,0
79	26/10/2010	90	53,7	52,7	53,7
80	29/10/2010	130	48,8	46,9	48,8
81	29/10/2010	120	43,7	45,5	45,5
82	29/10/2010	105	48,6	45,4	48,6

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
83	29/10/2010	130	46,6	47,5	47,5
84	29/10/2010	120	46,2	42,4	46,2
85	29/10/2010	120	46,6	43,2	46,6
86	05/11/2010	120	45,7	44,5	45,7
87	05/11/2010	105	46,1	47,3	47,3
88	05/11/2010	110	46,8	46,7	46,8
89	05/11/2010	115	43,5	47,9	47,9
90	06/11/2010	135	37,2	40,6	40,6
91	08/11/2010	115	43,2	46,0	46,0
92	11/11/2010	120	39,1	36,3	39,1
93	11/11/2010	110	43,5	43,1	43,5
94	11/11/2010	130	43,5	41,3	43,5
95	05/11/2010	120	45,7	44,5	45,7
96	05/11/2010	105	46,1	47,3	47,3
97	05/11/2010	110	46,8	46,7	46,8
98	05/11/2010	115	43,5	47,9	47,9
99	06/11/2010	135	37,2	40,6	40,6
100	08/11/2010	115	43,2	46,0	46,0
101	11/11/2010	120	39,1	36,3	39,1
102	11/11/2010	110	43,5	43,1	43,5
103	11/11/2010	130	43,5	41,3	43,5
104	03/12/2010	130	42,8	42,1	42,8
105	03/12/2010	130	46,4	45,5	46,4
106	06/12/2010	90	48,6	44,9	48,6
107	06/12/2010	105	39,2	43,2	43,2
108	06/12/2010	105	46,3	45,6	46,3
109	06/12/2010	90	44,8	42,8	44,8

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
110	14/12/2010	100	41,8	41,8	41,8
111	14/12/2010	105	40,5	40,6	40,6
112	15/12/2010	100	44,2	42,2	44,2
113	15/12/2010	120	43,0	42,3	43,0
114	15/12/2010	110	43,2	43,3	43,3
115	15/12/2010	100	41,2	42,0	42,0
116	20/12/2010	90	49,0	46,7	49,0
117	07/01/2011	110	48,8	51,0	51,0
118	11/01/2011	100	49,6	44,7	49,6
119	11/01/2011	90	40,7	40,3	40,7
120	12/01/2011	95	44,9	43,6	44,9
121	12/01/2011	80	50,3	46,3	50,3
122	12/01/2011	125	49,3	46,1	49,3
123	12/01/2011	120	45,6	44,8	45,6
124	12/01/2011	110	43,7	43,7	43,7
125	18/01/2011	95	47,3	45,4	47,3
126	18/01/2011	100	48,5	48,2	48,5
127	18/01/2011	105	49,0	48,8	49,0
128	21/01/2011	125	46,6	46,9	46,9
129	22/01/2011	120	44,4	42,1	44,4
130	25/01/2011	130	43,8	45,1	45,1
131	25/01/2011	130	42,0	42,8	42,8
132	25/01/2011	120	43,2	44,0	44,0
133	25/01/2011	105	38,8	39,2	39,2
134	28/01/2011	110	47,4	47,4	47,4
135	28/01/2011	120	47,7	46,2	47,7
136	28/01/2011	105	40,5	40,5	40,5

Tabela 7 - Resultados da resistência à compressão aos 28 dias dos corpos de prova moldados e ensaiados pela Concreteira.

Nº DE MOLDES	DATA DA MOLDAGEM	ABATIMENTO (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - f_{c28} (MPa)		
			CP1	CP2	EXEMPLAR
137	28/01/2011	105	44,6	43,8	44,6

A partir dos resultados apresentados nos relatórios técnicos, calculou-se a média dos exemplares moldados e ensaiados pela Concreteira, no qual o exemplar corresponde ao resultado de maior valor de resistência dos dois corpos de prova ensaiados, assim como o desvio padrão. Os resultados são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultado da resistência média à compressão aos 28 dias dos corpos de prova

Média	Concreteira
Resistência (MPa)	44,54
Desvio Padrão	3,62

4.1 RESULTADOS OBTIDOS

A resistência média de todos os exemplares analisados por este controle foi de 44,54 MPa e o Desvio padrão de 3,62 MPa (Tabela 8).

De posse desses dados, aplica-se a seguinte equação, para o cálculo do f_{ck} :

$$f_{ck} = f_{cm28} - 1,65 S_d \quad \text{Equação (11)}$$

onde f_{cm28} é a resistência média à compressão aos 28 dias e S_d é o desvio padrão.

Assim:

$$f_{ck} = 44,54 - 1,65 \times 3,62$$

$$f_{ck} = 38,57 \text{ MPa}$$

O f_{ck} calculado com base na resistência média à compressão dos corpos de prova aos 28 dias e o desvio padrão dessas amostras, e o resultado foi de 38,57 MPa, 10,2% superior à resistência à compressão especificada em projeto, que é de 35 MPa. Os valores mínimo e máximo de resistência obtidos em corpos de prova isolados foram de 35,4 e 53,7 MPa, respectivamente os moldes 31 e 79, o que corresponde a uma amplitude de 18,3 MPa para concretos elaborados com a mesma resistência de dosagem.

O resultado do ensaio dos exemplares foi representado em um gráfico de densidade de frequência por resistência à compressão.

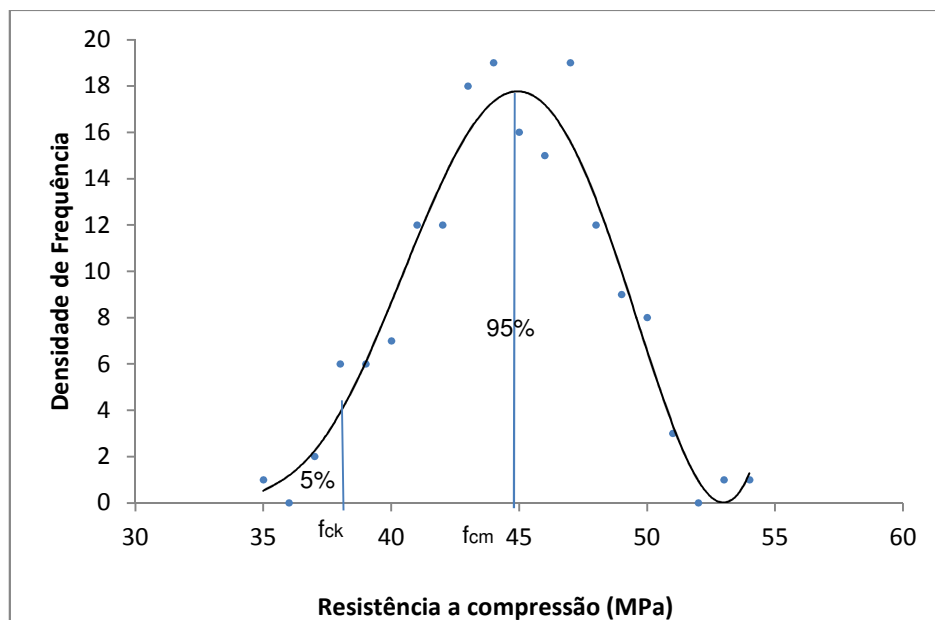


Gráfico 1 - Distribuição da resistência à compressão do concreto nos exemplares ensaiados pela Concreteira.

Verifica-se que a curva de densidade de frequência obtida aproxima-se da curva de distribuição normal de Gauss, conforme esperado, o que comprova a validade deste tratamento estatístico.

Diante dos fatos, verifica-se que a resistência característica do concreto fornecido pela concreteira, de aproximadamente 38,57 MPa, é 10,2% superior a resistência a compressão especificada em projeto. Em valores absolutos, a diferença é de 3,57 MPa. Tal diferença não é tão significativa em termos de resistência característica a compressão, visto que o concreto fornecido pela concreteira teve

seu lote aprovado. Porém, mesmo que as resistências características a compressão tenham seus valores aproximados, houve uma grande variabilidade nos valores das resistências dos corpos de prova isolados.

A partir desses dados, conclui-se que se houvesse um controle mais rigoroso dos fatores referentes à produção do concreto e ao ensaio dos corpos de prova, a variabilidade diminuiria e seria possível reduzir o consumo de cimento deste concreto, trazendo benefícios de ordem econômica e ambiental.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das técnicas de controle de qualidade tem aprimorado o conhecimento do comportamento do concreto, melhorando a avaliação da segurança da estrutura.

O objetivo é que o controle tecnológico seja sempre efetuado, e que seja estendido a todos os elementos da construção, para que contribua com o estabelecimento de um nível de qualidade mínimo a ser atendido em todos os serviços, materiais e componentes. Dessa forma, a qualidade final da construção seria mais homogênea e menos dispersa do que atualmente é, garantindo o atendimento às especificações de projeto e proporcionando, portanto, segurança e durabilidade às estruturas.

Com este estudo, mesmo tendo-se observado dificuldades inerentes à execução do controle de qualidade segundo os procedimentos normativos, reconhece-se a importância do controle tecnológico do concreto como medida essencial de constatação da qualidade do material utilizado nas construções civis.

Destaca-se a necessidade de ensaio do concreto ainda no estado fresco, para verificação da consistência e assim garantir as propriedades no estado endurecido. Contudo, o principal parâmetro de controle é a resistência à compressão, obtida através da amostragem do concreto e moldagem de corpos de prova para posterior rompimento à compressão, em ensaio simples e com resultados representativos da real qualidade do material.

O controle de aceitação do concreto endurecido mostrou que todos os lotes obtiveram resistência acima da especificada em projeto, portanto todos foram aprovados. Cabe ressaltar, contudo, a grande amplitude entre as resistências obtidas para concretos com mesma dosagem, atribuída ao processo de produção.

Diante dos fatos, verificou-se que a resistência característica do concreto fornecido pela concreteira, de aproximadamente 38,57 MPa, é 10,2% superior a resistência a compressão especificada em projeto. Em valores absolutos, a diferença é de 3,57 MPa. Tal diferença não é tão significativa em termos de resistência característica a compressão, visto que o concreto fornecido pela concreteira teve seu lote aprovado. Porém, mesmo que as resistências caracteriscas a compressão

tenham seus valores aproximados, houve uma grande variabilidade nos valores das resistências dos corpos de prova isolados.

Com isso, conclui-se que se houvesse um controle mais rigoroso dos fatores referentes à produção do concreto e ao ensaio dos corpos de prova, a variabilidade diminuiria e seria possível reduzir o consumo de cimento deste concreto, trazendo benefícios de ordem econômica e ambiental.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, J.D. **Manual de Tecnologia do Concreto**. Goiás: UFG, 1982.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 214R-02**: Evaluation of Strength Test Results of Concrete. Farmington Hills: 2002. 20 p.

ANDOLFATO, R.P. **Controle Tecnológico Básico do Concreto**. Ilha Solteira: Unesp, 2002. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br>>. Acesso em 5 abr. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. **Manual do Concreto Dosado em Central**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br>>. Acesso em 10 abr. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de Utilização do Cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br>. Acesso em 17 maio 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2008.

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

_____. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7212**: Execução de Concreto Dosado em Central. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 12654**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

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

CAVALCANTI FILHO, A.N. **Contribuição ao Controle Tecnológico de Concretos Estruturais de Cimento Portland em Ambientes Marítimos**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

DOURADO, A.A.; COSTA, F.N. **Avaliação da Influência do Tipo de Cimento na Absorção Capilar do Concreto**. Salvador, 2009.

GEYER, A.L.B.; SÁ, R.R. **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco**. Informativo Técnico. Aparecida de Goiânia, 2006. Disponível em <<http://www.realmixconcreto.com.br>>. Acesso em 15 maio 2011.

HELENE, P.R.L. **Controle de Qualidade do Concreto**. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Pini, 1993. 349 p.

ISAIA, G.C. **Controle de Qualidade das Estruturas de Concreto Armado**. Santa Maria: UFSM, 1988.

JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. **Controle da Qualidade**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. v. 1.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2008.

MORANVILLE-REGOURD, M. Microstructure of high performance concrete. In: MALIER, Y. **High Performance Concrete**: from material to structure. Londres: E&FN Spon, 1992.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2 ed. Trad. de Salvador E. Giamusso. São Paulo: Pini, 1997.

PAULON, V.A.; MONTEIRO, P.J.M. **Estudos da Microestrutura da Zona de Transição entre a Pasta de Cimento e o Agregado**. Boletim Técnico. São Paulo: USP, 1991.

SHAQUR, H. **Controle de Qualidade do Concreto e do Sistema de Revestimento Argamassado Realizado em Edificações de Criciúma**. Artigo. Criciúma: UNESC, 2005.

SOUZA JÚNIOR, T.F.de. **Estruturas de Concreto Armado**. Notas de aula. Lavras, 2005. Disponível em: <<http://www.dea.uem.br/disciplinas/concreto/CAP1-2CA.pdf>>. Acesso em: 7 abr. 2011.

ANEXO A

Exemplo de apresentação dos dados pela Concreteira nos relatórios técnicos.

CONTROLE ESTATÍSTICO DO CONCRETO									
NBR 12655									
Período: 16/07/2010 à 23/08/2010 Idade: 28 dias Brita: 0,1 Fck: 35,0 Mpa Abatimento: 100 +/- 20 mm									
Cimento Portland CP III-40 RS									
Data da moldagem	Nº de Séries ou N.F.	Cliente	Obra	Betoneira	Abatimento (mm)	Resistência à Compressão (MPa)			
						(X1)	(X2)	Valor exemplar	Amplitude (MPa)
16/07/2010	38717		Projeto águas limpas	316	130	44,8	44,7	44,8	00,1
16/07/2010	38722		Projeto águas limpas	597	120	45,1	47,9	47,9	02,8
16/07/2010	38723		Projeto águas limpas	332	115	45,4	44,6	45,4	00,8
16/07/2010	38726		Projeto águas limpas	304	120	42,8	44,5	44,5	01,7
16/07/2010	38730		Projeto águas limpas	316	130	41,0	42,8	42,8	01,8
16/07/2010	38733		Projeto águas limpas	528	140	46,7	49,3	49,3	02,6
16/07/2010	38738		Projeto águas limpas	332	125	50,0	50,3	50,3	00,3
16/07/2010	38740		Projeto águas limpas	304	110	49,7	50,2	50,2	00,5
16/07/2010	38747		Projeto águas limpas	322	100	46,5	44,8	46,5	01,7
20/07/2010	38788		Projeto águas limpas	332	120	43,7	44,0	44,0	00,3
20/07/2010	38791		Projeto águas limpas	434	100	46,9	45,2	46,9	01,7
23/07/2010	38860		Projeto águas limpas	316	90	44,5	40,8	44,5	03,7
28/07/2010	39019		Projeto águas limpas	332	70	49,7	48,2	49,7	01,5
30/07/2010	39060		Projeto águas limpas	304	105	40,1	41,4	41,4	01,3
30/07/2010	39069		Projeto águas limpas	322	120	42,9	44,7	44,7	01,8
30/07/2010	39071		Projeto águas limpas	315	140	38,4	37,0	38,4	01,4
30/07/2010	39077		Projeto águas limpas	316	100	35,4	38,4	38,4	03,0
09/08/2010	39306		Projeto águas limpas	316	115	40,3	41,9	41,9	01,6
09/08/2010	39318		Projeto águas limpas	595	140	35,5	36,5	36,5	01,0
09/08/2010	39324		Projeto águas limpas	302	110	43,5	41,3	43,5	02,2
09/08/2010	39241		Projeto águas limpas	304	110	41,7	41,5	41,7	00,2
09/08/2010	39244		Projeto águas limpas	302	115	45,3	44,0	45,3	01,3
09/08/2010	39246		Projeto águas limpas	332	130	40,5	40,6	40,6	00,1
10/08/2010	39343		Projeto águas limpas	332	130	38,3	40,1	40,1	01,8
10/08/2010	39352		Projeto águas limpas	597	110	44,6	44,7	44,7	00,1
17/08/2010	39436		Projeto águas limpas	322	135	38,4	42,3	42,3	03,9
17/08/2010	39437		Projeto águas limpas	332	125	43,7	44,2	44,2	00,5
17/08/2010	39443		Projeto águas limpas	316	105	42,0	47,4	47,4	05,4
18/08/2010	39488		Projeto águas limpas	595	140	37,7	36,9	37,7	00,8
23/08/2010	39642		Projeto águas limpas	595	130	41,3	41,5	41,5	00,2
23/08/2010	39645		Projeto águas limpas	315	120	40,7	41,3	41,3	00,6
23/08/2010	39658		Projeto águas limpas	597	105	50,8	49,8	50,8	01,0
RESULTADOS OBTIDOS				AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE					
Nº de exemplares	32	Desvio padrão	3,6 Mpa	Nível	2				
Desvio padrão	3,6	Abatimento:	100 +/- 20	☒ X	C	☐	NC		
Resistência média	44,0	Coef. variação	3,0	Nível	2				
Fck estimado	38,1	Fck estimado ≥ Fck	☒ X	C	☐	NC			
Abatimento médio	117	RNC	☐	Sim	☒ X	Não			
Coef. de variação no ensaio	3,0	Nº:							

Data: 18/10/2010
Resp. Técnico: _____

CONTROLE ESTATÍSTICO DO CONCRETO

NBR 12655

Período: 30/08/2010 à 03/09/2010 Idade: 28 dias Brita: 0,1 Fck: 35,0 Mpa Abatimento: 100 +/- 20 mm

Cimento Portland CP III-40 RS

[illegible]