

**CENTRO UNIVERSITÁRIO NEWTON PAIVA
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNA LUISA DOS SANTOS
GIULIA MONTEIRO DE OLIVEIRA
GIULIANO DE AZEVEDO FRIZZERA
LUANA LAURINDO COUTINHO**

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO: Um estudo da
variação da relação água/cimento produzido com agregado miúdo
natural e artificial**

**BELO HORIZONTE
2016**

Bruna Luisa dos Santos
Giulia Monteiro de Oliveira
Giuliano de Azevedo Frizzera
Luana Laurindo Coutinho

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO: Um estudo da
variação da relação água/cimento produzido com agregado miúdo
natural e artificial**

Trabalho de Conclusão de Curso de apresentado
ao curso de Graduação em Engenharia Civil da
Faculdade Ciências Exatas e Tecnológicas, do
Centro Universitário Newton Paiva, como requisito
parcial à obtenção de título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de Concentração: Materiais de Construção
Civil

Orientador Metodológico: Vanderléa Martins da
Rocha

Orientador de Conteúdo: Urias Eduardo Bistene
Cordeiro

BELO HORIZONTE

2016

Bruna Luisa dos Santos
Giulia Monteiro de Oliveira
Giuliano de Azevedo Frizzera
Luana Laurindo Coutinho

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO: Um estudo da
variação da relação água/cimento produzido com agregado miúdo
natural e artificial**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade Ciências Exatas e Tecnológicas, do Centro Universitário Newton Paiva, como requisito parcial à obtenção de título de Bacharel em Engenharia Civil. Área de Concentração: Materiais de Construção Civil.

Prof. Urias Eduardo Bistene Cordeiro (Orientador de Conteúdo)

Prof. Me. Gelmo Chiari Costa – Centro Universitário Newton Paiva

Belo Horizonte, 01 de Julho de 2016.

Aos nossos familiares pela força, paciência, carinho e compreensão. Com o apoio de vocês estamos realizando o nosso sonho que não teria se concretizado sem a confiança e o amor de cada um de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos proporcionar a oportunidade de concluirmos mais um sonho em nossas vidas e por nos dar força, direção e ajudar a superarmos todas as nossas dificuldades.

Ao orientador Urias Eduardo Bistene Cordeiro, pela dedicação, apoio, empenho e por compartilhar seus conhecimentos, direcionando nossos estudos e pesquisas para a conclusão deste trabalho.

À professora Vanderlea Martins da Rocha, pela paciência e orientação que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Construção Civil da Newton Paiva, Igor e Maria Célia, pela paciência e boa vontade em nos ajudar em todos os ensaios que foram realizados.

Ao professor Gelmo Chiari Costa, por ter aceitado o convite para compor a banca.

Aos nossos amigos, por compartilharem experiências e conhecimentos.

Aos nossos familiares pelo total apoio para que este trabalho fosse realizado. A compreensão de vocês nos fortaleceu para buscarmos a concretização do nosso sonho.

*“As pessoas que vencem neste mundo
são as que procuram as circunstâncias de
que precisam e, quando não as
encontram, as criam.”*

George Bernard Shaw

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Água/Cimento
C	Consumo de Cimento
C_{nat}	Consumo de Areia Natural
C_{art}	Consumo de Areia Artificial
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CB	Consumo de Agregado Graúdo
Cw	Consumo Aproximado de Água
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
CP	Corpo de Prova
CP	Cimento Portland
CP II E	Cimento Portland Composto com Escória de Alto Forno
CP II F	Cimento Portland Composto com Fíler Calcário
CP II Z	Cimento Portland com Cinza Volante
CP III AF	Cimento Portland de Alto-forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
Dmax	Dimensão Característica Máxima
DMC	Dimensão Máxima Característica
G	Gramas
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
INT	Instituto Nacional de Tecnologia

IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPT/EPUSP	Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ISO	Organização Internacional de Normalização
Kg	Kilo Gramas
MF	Módulo de Finura
MG	Minas Gerais
mm	Milímetro
Mpa	Mega Pascal, Unidade de Tensão
Mu	Massa Unitária do Agregado Graúdo Compactado
M ³	Metro cúbico
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
Va	Volume de Areia Artificial
Vap	Volume Aparente Compactado de Agregado Graúdo Seco

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Construção Egípcia: Pirâmide Escalonada de Djeser	26
FIGURA 2 – Evolução média de Resistência à Compressão dos Distintos Tipos de Cimento Portland.....	28
FIGURA 3 – Gráfico para a determinação da relação água cimento em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade	44
FIGURA 4 – Comparação das Leis de Abrams, Lyse e Molinari.....	46
FIGURA 5 – Pasta do mesmo cimento Portland com diferentes relações água/cimento: da esquerda para direita e de cima para baixo: 0,60, 0,50, 0,40 e 0,30.	48
FIGURA 6 – Gráfico da Resistência à Compressão em Relação ao Fator Água/Cimento.....	50
FIGURA 7 – Curva de Abrams dos Cimentos – ABCP	62

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Granulometria da Areia Artificial	58
GRÁFICO 2 – Granulometria da Areia Natural	59
GRÁFICO 3 – Granulometria do Agregado Graúdo	61
GRÁFICO 4 – Ensaio de Resistência à Compressão - Resultados obtidos no Laboratório Newton Paiva	67
GRÁFICO 5 – Ensaio de Resistência à Compressão - Resultados obtidos no Laboratório Externo	67

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Classificação e Utilização do Agregado Miúdo.....	32
QUADRO 2 – Classificação e Utilização do Agregado Graúdo.....	33
QUADRO 3 – Principais Fatores que Influenciam o Resultado da Resistência à Compressão	40
QUADRO 4 – Classificação geral das características e Propriedades do Concreto Endurecido (Adaptado)	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Composição dos Cimentos Portland.....	28
TABELA 2 – Composição Granulométrica da Areia Artificial.....	58
TABELA 3 - Composição Granulométrica da Areia Natural.....	59
TABELA 4 – Caracterização dos agregados miúdos.....	60
TABELA 5 – Caracterização dos agregados graúdos	60
TABELA 6 – Composição Granulométrica da Brita 1 (50%) e Brita zero (50%)	61
TABELA 7 – Consumo Aproximado de Água	63
TABELA 8 – Volume do Agregado Graúdo Compactado por m ³	63
TABELA 9 – Traço do Concreto	64
TABELA 10 - Ensaios de resistência à compressão x relação água/cimento – ABNT 5739:2007, com agregado miúdo natural	65
TABELA 11 - Ensaios de resistência à compressão x relação água/cimento – ABNT 5739:2007, com agregado miúdo natural	66
TABELA 12 – Comparação dos Resultados dos Ensaios de resistência obtidos para os dois tipos de agregado miúdo.....	66

RESUMO

O baixo custo de produção, a disponibilidade de seus constituintes, a fácil manipulação e aplicação, além das características técnicas, tais como a trabalhabilidade, a resistência mecânica e a durabilidade, tornaram o concreto o material de construção civil mais utilizado no mundo. O desempenho das estruturas produzidas com a utilização de concreto está diretamente relacionado aos procedimentos aplicados durante a sua confecção. Porém, os concretos produzidos nos canteiros de obras, nem sempre atendem as especificações dos projetos estruturais e aos limites mínimos preconizados pelas normas que relacionam o assunto, comprometendo o nível de segurança e a durabilidade das construções. Um exemplo é o desrespeito à dosagem de concreto pré-estabelecida, sendo muito comum presenciar nos canteiros de obras, a adição sem controle de água para melhorar a trabalhabilidade, alterando a relação água/cimento do concreto. Diante disso, o presente trabalho busca verificar e analisar a influência sobre a resistência à compressão do concreto, com a alteração da relação água/cimento pré-estabelecida no traço original, mantendo as demais proporções de cimento e agregados. Além disso, como uma das novas tendências técnicas e sustentáveis de fabricação do concreto, compara o comportamento do concreto produzido com o uso de areia artificial e areia natural.

Palavras-chave: Concreto. Resistência à compressão. Dosagem. Relação água/cimento. Areia artificial. Areia natural.

ABSTRACT

Low production cost, availability of components, easy handling and application, in addition to the technical characteristics, such as the workability, mechanical strength and durability, become concrete, the building material most used in the world. The performance of structures made with concrete is directly related to procedures applied during your preparation. However, the concrete produced at construction sites, neither always agree with specifications of structural projects and minimum limits prescribed by rules that are responsible for this, compromising the security and durability of buildings. It is common, for example, in construction sites, the workers add water without any control, just to get better for them. This a disrespect with concrete dosage, changing water/cement ratio concrete. Thus, this study verify and analyze the influence on the strength to concrete compression, with changing water cement ratio pre-established in the original trace, keeping the others proportions of cement and aggregates. Furthermore, new technical and sustainable trends manufacturing of concrete, compares the behavior of manufactured concrete using artificial and natural sand.

Keywords: Concrete. Compressive strength. Dosage. Water to cement ratio. Natural sand. Artificial sand.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Tema	19
1.2 Problematização	19
1.3 Objetivo Geral	20
1.4 Objetivos Específicos	20
1.5 Análise de Situação	20
1.6 Justificativa	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 Concreto	25
2.1.1 História do Concreto	25
2.2 Componentes do Concreto	27
2.2.1 Aglomerante: Cimento Portland	27
2.2.2 Agregados	28
2.2.2.1 Principais Propriedades dos Agregados	28
2.2.2.2 Composição Granulométrica	30
2.2.2.3 Classificação dos Agregados	30
2.2.2.3.1 Agregado Miúdo	30
2.2.2.3.2 Agregado Graúdo	32
2.2.2.3.3 Material pulverulento	33
2.2.3 Água de Emassamento	33
2.3 Características e Propriedades do Concreto	34
2.3.1 Propriedades do Concreto Fresco	35
2.3.1.1 Trabalhabilidade	35
2.3.1.1.1 Fatores que Afetam a Trabalhabilidade	36
2.3.1.2 Perda de Abatimento	37

2.3.1.3 Segregação e Exsudação	38
2.3.2 Propriedades do Concreto Endurecido	38
2.3.2.1 Resistência Mecânica.....	38
2.3.2.1.1 Fatores que influenciam a Resistência.....	39
2.3.2.2 Durabilidade	41
2.3.2.3 Permeabilidade	41
2.3.2.4 Outras Características e Propriedades.....	42
2.4 Dosagem de Concretos	42
2.4.1 Leis Básicas de Dosagem de Concreto.....	43
2.4.1.1 Lei de Abrams	43
2.4.1.2 Lei de Inge Lyse	45
2.4.1.3 Lei de Molinari	45
2.4.2 Métodos de Dosagem de Concreto	46
2.4.2.1 Método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).....	47
2.4.3 Estudo da Relação Água/Cimento no Comportamento do Concreto	47
2.4.3.1 Influência da Relação Água/Cimento na Resistência Mecânica.....	49
2.4.3.2 Influência da Relação Água/Cimento na Durabilidade	50
2.5 Controle de Qualidade dos Concretos	51
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
3.1 Pesquisa Bibliográfica	52
3.2 Estudo de Caso	52
3.2.1 Caracterização da Empresa para o Estudo de Caso	53
3.3 Ensaios.....	53
4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS.....	56
4.1 Estudo de Caso	56
4.2 Caracterização dos materiais.....	57
4.2.1 Agregados miúdos	57

4.2.2 Agregado graúdo.....	60
4.2.3 Concreto.....	62
4.2.3.1 Dosagem racional do concreto – Método ABCP	62
4.2.3.2 Ensaio laboratorial	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6 REFERÊNCIAS.....	72
ANEXOS	80

1 INTRODUÇÃO

Pedroso (2009)¹ afirma que o concreto é um material construtivo de uso amplamente disseminado no mundo. Para Bastos (2002)², as características presentes no concreto explicam tamanho “sucesso” na construção civil: alta resistência à compressão, trabalhabilidade em seu estado fresco e durabilidade em seu estado endurecido. Além disso, possui baixo custo de produção, disponibilidade de seus constituintes e a fácil manipulação e aplicação.

Nos dias atuais, seja nacionalmente ou mundialmente, a construção civil tem se caracterizado por uma grande preocupação com a qualidade e a durabilidade das edificações e obras em geral (ADES, 2015)³. Para isso, os construtores tiveram que adotar formas de controle tecnológico em suas obras, que vão muito além dos procedimentos tomados apenas nos canteiros de obras, pois somam-se a esses todos os procedimentos do processo de produção, manipulação, transporte e ensaios necessários (PEREIRA, 2008)⁴.

Fortes e Merighi (2004)⁵ afirmam que a causa principal dos insucessos na execução de obras de engenharia civil reside no fato da aplicação deficiente ou da falha do controle de qualidade. Diante dos problemas apresentados nas edificações e do grande número de vidas expostas, fica notória a importância de um bom controle dos materiais empregados na construção, principalmente nas estruturas, onde o concreto é fabricado em obra e o controle tecnológico é bastante deficiente na maioria dos casos (ADES, 2015).

Basicamente, o concreto é um material de construção resultante da mistura de três componentes básicos: aglomerante, agregados e água (RODRIGUES, 1983)⁶. Sua produção é uma das atividades que mais demandam a utilização de matéria-prima. De acordo com Menossi (2004)⁷, grande quantidade dos concretos estruturais são

¹ http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf

² <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84274/212200.pdf?sequence=1>

³ <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013703.pdf>

⁴ http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3988/1/2008_MikedaSilvaPereira.pdf

⁵ http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/08_656.pdf

⁶ http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/34aRTIC1983.pdf

⁷ http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90740/menossi_rt_me_ilha.pdf?sequence=1

confeccionados com agregados naturais, porém, a constante preocupação com a preservação do meio ambiente, tem incentivado a busca de diversas alternativas para a substituição desses agregados.

Dessa forma, o aproveitamento do rejeito da britagem das rochas (conhecido como pó de pedra, areia artificial ou areia de britagem) em substituição ao agregado miúdo natural utilizado na confecção do concreto, é uma alternativa interessante. Segundo Silva (1991), as areias artificiais, são obtidas por tritramento dos maciços rochosos naturais. A extração de areia natural pode ocasionar problemas aos leitos dos rios, além de tornar-se escassa com o tempo.

Os concretos produzidos com agregado miúdo artificial são menos trabalháveis e requerem maior consumo de cimento e água em comparação ao concreto tradicional (fabricado com agregado miúdo natural). A quantidade de finos encontrados nas areias artificiais é relativamente grande, por esse motivo a quantidade de água durante o processo de dosagem deve ser bem monitorada. Após o traço ser estabelecido para atender as solicitações estruturais das edificações, nenhuma alteração deve ser feita, principalmente a comum adição de água a mistura para proporcionar mais trabalhabilidade ao concreto (SILVA, 1991).

Em uma situação de falha do controle tecnológico, vivenciada em um canteiro de obras, após ocorrer adição, sem controle, de água durante a dosagem de um traço de concreto, era esperado uma redução significativa da resistência à compressão, como consequência do aumento da relação água/cimento na mistura. Porém, ensaios realizados em corpos de prova desse mesmo traço apresentaram a resistência solicitada pelo projeto. Diante disso, nesse trabalho, foi realizado um estudo de caso para investigar o atendimento da resistência requerida, mesmo depois da alteração do traço original, partindo do princípio da utilização do tipo de agregado miúdo artificial na dosagem desse concreto. Para isso, foram moldados corpos de provas com dois tipos de agregados miúdos (natural e artificial), variando a relação água/cimento nas misturas e para verificação da influência desses tipos de agregados na resistência final do concreto, foram realizados ensaios laboratoriais através das normas técnicas específicas. Também foi realizada uma análise do

custo final da produção do concreto produzido com os dois tipos de agregados miúdos.

1.1 Tema

Resistência à compressão do concreto: Um estudo da variação da relação água/cimento produzido com agregado miúdo natural e artificial.

1.2 Problematização

De acordo com Ribeiro, Pinto e Starling (2011), o concreto é um material de larga aplicação na construção civil, obtido pela composição de cimento, agregados e água. Na sua dosagem, o traço deve atender às condições requeridas de trabalhabilidade (no estado fresco) e resistência e durabilidade (no estado endurecido). Quanto menor o valor da relação água/cimento, maior é a resistência à compressão e menor é a sua permeabilidade, resultando em maior durabilidade. Por outro lado, quanto maior for essa relação, maior é trabalhabilidade do concreto e menor resistência à compressão.

Na experiência em um canteiro de obras, observam-se falhas na execução dos concretos produzidos: os colaboradores que produzem e manuseiam o concreto, buscam maior trabalhabilidade do concreto e, em consequência disso, aumentam a quantidade de água dos traços estabelecidos. A quantidade de água pode influenciar na resistência final do concreto, sendo muito importante respeitar a dosagem estabelecida para atender o projeto estrutural.

Definindo-se o objeto de estudo e selecionando variáveis que possam influenciar no resultado final de resistência à compressão do concreto, será proposta como questão de investigação neste trabalho: Há influência sobre a resistência final à compressão do concreto, com a alteração da relação água/cimento pré-estabelecida no traço original, mantendo as demais proporções dos agregados miúdos e graúdos? Como o uso de diferentes tipos de agregados miúdos, natural e artificial na composição do concreto influencia a resistência final à compressão do concreto?

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo sobre o comportamento do concreto sujeito a esforços de compressão, a partir de traços produzidos com variação da relação água/cimento e com a utilização dos dois tipos de agregados miúdos: areia natural e artificial.

1.4 Objetivos Específicos

- Analisar isoladamente os agregados graúdos (brita) e miúdos (areia natural e areia artificial) que compõem o concreto, segundo as normas técnicas específicas;
- Moldar corpos de prova de concreto, produzidos com agregados miúdos, natural e artificial, com as quantidades de cimento e agregados constantes e variação apenas da quantidade de água adicionada a mistura, segundo as normas técnicas específicas;
- Verificar a resistência à compressão dos corpos de prova de concreto, moldados em idades determinadas: 7, 14 e 28 dias;
- Comparar o efeito da variação da relação água/cimento nos dois tipos de traços produzidos com agregado miúdo natural e artificial e a influência direta de cada um deles no resultado final de resistência à compressão;
- Analisar o custo final da produção dos concretos produzidos com a utilização dos diferentes tipos de agregados miúdos natural e artificial.

1.5 Análise de Situação

O concreto é um dos componentes da construção civil mais utilizado no Brasil e no mundo, sendo um dos itens que mais demandam a utilização de matéria-prima natural. A grande extração de matéria-prima natural para atender o consumo acaba esgotando o meio ambiente, sendo de grande importância o emprego do controle

tecnológico nos canteiros de obras e a adoção de materiais alternativos (BARBOSA; COURA; MENDES, 2008)⁸.

Bastos (2002) afirma que o comportamento do concreto e seus componentes vêm sendo estudados há mais de 150 anos. De acordo com Andrade e Helene (2010)⁹, houve grande investimento em pesquisas sobre o assunto nas duas últimas décadas. Como resultado, há muito material de pesquisa sobre o tema e a literatura utilizada no trabalho pode ser considerada recente, destacando os seguintes livros: Neville (2015), Recena (2015), Isaia (2011), Salgado (2011), Ribeiro, Pinto e Starling (2011), Mehta e Monteiro (2008), Bauer (2000), Petrucci (1998), Helene e Terzian (1992) e Silva (1991).

Há vários artigos acadêmicos e dissertações de mestrado que tratam o assunto, tais como: Ades (2015), Meier (2011), Gasparetto e Onuki (2013), Drago, Verney e Pereira (2009), Barbosa, Coura e Mendes (2008), Pereira (2008), Martins (2008), Menossi (2004), Bastos (2002) e Assunção (2002).

O tema é devidamente regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que foram utilizadas para a realização dos procedimentos de ensaios:

- ABNT NBR NM 45:2006 (Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios).
- ABNT NBR NM 46:2001 (Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem).
- ABNT NBR NM 52:2009 (Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente).
- ABNT NBR NM 53:2009 (Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água).
- ABNT NBR NM 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).

⁸ <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/5047/4719>

⁹ <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>

- ABNT NBR NM 248:2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica).
- ABNT NBR NM-ISO 3310-1:2010 (Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico).
- ABNT NBR 5738:2015 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova).
- ABNT NBR 5739:2007 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos).
- ABNT NBR 7211:2009 (Agregados para concreto - Especificação).
- ABNT NBR 7219:1987 (Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos).
- ABNT NBR 9479:2006 (Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova).
- ABNT NBR 9776:1987 (Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio).
- ABNT NBR 11578:1997 (Cimento Portland composto – Especificação).
- ABNT NBR 12655:2015 (Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento).

1.6 Justificativa

Nos canteiros de obras, é muito comum o desrespeito do traço de concreto que atenda as solicitações das estruturas especificadas em projetos estruturais, fazendo com que o concreto confeccionado não possua os requisitos de qualidade pré-estabelecidos. Na maior parte das obras, a execução do traço dos concretos fica por conta dos operadores de betoneiras e pedreiros e, como estes não possuem conhecimentos técnicos suficientes, não levam em consideração o atendimento das normas. Outro problema é a realização das medidas dos materiais através de carrinhos ou baldes, ao invés de serem pesados em balanças apropriadas ou padiolas fabricadas para esse fim. Além da adição de água sem controle, a fim de melhorar a trabalhabilidade, alterando diretamente na resistência final do concreto.

Observa-se que a qualidade do controle tecnológico do concreto está diretamente ligada às suas propriedades. Devem ser observadas e controladas as quantidades,

granulometria e os tipos de agregados graúdo e miúdo. Além do cimento e a água de emassamento, sendo esses, conhecidos pela relação água/cimento, em que devem ser verificados o procedimento de mistura, condições e duração de transporte e lançamento, adensamento, cura e entre outros, através de normas técnicas específicas.

A popularização do uso do concreto na construção não pode ser vista apenas pelo lado positivo. Por ser uma atividade de trabalho conhecida, o investimento em mão de obra qualificada nem sempre é utilizado. Vê-se o resultado disso em retrabalhos nos canteiros de obras, desperdícios, cronogramas comprometidos e redução da vida útil das estruturas, sendo de grande importância a fiscalização da execução para verificar se todos os parâmetros exigidos em normas estão sendo seguidos e respeitados.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2010)¹⁰, o setor oferece muitos empregos no mercado de trabalho. No entanto, se não houver mão de obra qualificada e fiscalização da execução dos serviços, os resíduos produzidos que não podem ser reaproveitados podem provocar grande impacto ambiental.

Nos últimos anos, a busca de materiais alternativos, reutilização de insumos e controle dos desperdícios nos canteiros de obras são métodos utilizados para diminuir os impactos do setor no meio ambiente. Visto isso, Menossi (2004) afirma a importância da utilização de novas tecnologias, tais como a busca de materiais alternativos, como por exemplo, a utilização da areia artificial em substituição à areia natural. Dessa forma, é possível diminuir os impactos causados pela extração desse recurso natural. Esses impactos são citados por Kuck (2003)¹¹: agressão às calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens.

Quando se propõe a utilização de novas alternativas na indústria da construção civil, tal como a substituição do agregado miúdo natural ao artificial, a análise de custo é um dos mais importantes quesitos para que essas propostas tornem-se aceitas

¹⁰ <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/068.pdf>

¹¹ <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/tecnologia/areia-artificial-reduz-impacto-ambiental-de>

pelos construtores. Além disso, vê-se que o controle tecnológico e a redução dos desperdícios nos canteiros de obras podem significar importantes números para redução de custos nas obras e ainda, atrair investimentos nas áreas de pesquisas para a aplicação de novos insumos e tecnologias de reutilizações.

A importância da exploração do tema no meio acadêmico, como ênfase em controle tecnológico, inserção e utilização de novas tecnologias sustentáveis e o controle da relação água/cimento dos concretos produzidos em obra, é essencial para assegurar o entendimento das normas quanto à importância da qualidade, durabilidade e principalmente, o atendimento das especificações estabelecidas em projeto, tal como a resistência solicitada pela edificação.

É importante que o profissional seja inserido no mercado de trabalho consciente do significado desse contexto na prática de suas atividades, incluindo novas tecnologias no ambiente de trabalho, checando em obra e em laboratórios, através de ensaios e controles, a qualidade do material que será utilizado, a fim de assegurar o bom desempenho do concreto para atuar juntamente com a construtora na escolha correta dos materiais, fiscalização da dosagem correta dos componentes do concreto e a aplicação do material durante toda a obra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

Andrade e Helene (2010, p. 920) afirmam que:

Na mistura do concreto, o Cimento Portland, juntamente com a água, forma uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se um estado capaz de ser moldado em fôrmas das mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição.

Atualmente, são utilizados vários tipos de concreto, que podem ser aplicados para diversas finalidades, podendo-se destacar o concreto bombeável, o leve, o fluido, o de alta resistência com fibras de aço, plástico ou polipropileno, o aditivado, o rolado, o micro concreto ou grout, o projetado, o colorido, o pesado, o convencional, o impermeável, o aparente e o celular (SALGADO, 2011).

2.1.1 História do Concreto

Segundo Andrade e Helene (2010), o concreto é o material estrutural e de construção civil mais importante e pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade. Os autores afirmam que a sua descoberta, no fim do século XIX, e seu intensivo uso no século XX, puderam transformar o concreto no segundo material mais consumido no mundo depois da água, evidenciando sua utilização em larga escala pelos homens.

Nos primórdios da humanidade, os egípcios foram considerados como grandes construtores e dominaram a arte de construir estruturas com blocos de rocha, como pode ser visto na Figura 1. Na idade média, esse material foi empregado para a construção de igrejas, possibilitando a exploração dos limites construtivos de estruturas em rocha. A rocha permaneceu como líder dos materiais estruturais por 4.500 anos até a chegada do aço e das estruturas metálicas, por ocasião da Revolução Industrial (1750 a 1850 d.C.) (ANDRADE; HELENE, 2010).

FIGURA 1 – Construção Egípcia: Pirâmide Escalonada de Djeser



Fonte: ANDRADE; HELENE, 2010, p. 908.

Nos últimos tempos, países como os Estados Unidos e Canadá passaram a investir cada vez mais em estudos das estruturas de concreto. Dessa forma, como resultado dos investimentos na ciência e na tecnologia do concreto, esse apresentou grande evolução nas duas últimas décadas, podendo ser considerado como revolução na arte de projetar e construir estruturas (ANDRADE; HELENE, 2010).

Para Andrade e Helene (2010), no Brasil e em outros países, o concreto é o principal e mais consumido material de construção. Para os autores, as obras de arquitetura e engenharia demonstram que as grandes mudanças na forma de construir devem-se às descobertas de materiais estruturais e ao domínio do conhecimento sobre esses materiais estruturais, evidenciando o poder e o desenvolvimento das nações ao longo dos anos.

2.2 Componentes do Concreto

2.2.1 Aglomerante: Cimento Portland

Segundo Neville (2015, p. 1)¹², “cimento, no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais na forma de uma unidade compacta.”

De acordo com Battagin (2011), o clínquer é o principal constituinte do cimento Portland. Este é resultado da calcinação (a aproximadamente 145° C) da mistura de calcário, argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera. A junção de proporções desses compostos químicos à mistura, proporcionam a formação de compostos hidráulicos e confere a propriedade ligante ao cimento Portland.

Para Oliveira (2000), são três aspectos que definem as propriedades físicas do cimento Portland: as propriedades do produto em sua condição natural, a mistura do cimento com a água de emassamento (pasta) e suas devidas proporções e, finalmente, a mistura dessa pasta com os agregados padronizados. Esses aspectos estão diretamente ligados ao processo de endurecimento por hidratação.

Quanto à classificação dos cimentos Portland, de acordo com Oliveira (2000, p. 49), “no Brasil são produzidos vários tipos de cimento, oficialmente normalizados”, conforme Tabela 1. A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002)¹³, afirma que quanto à classificação dos cimentos Portland, as siglas correspondem ao prefixo CP (cimento Portland) acrescido dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo do cimento, sendo as classes de resistência indicadas pelos números 25, 32 e 40. As classes de resistência apontam os valores mínimos de resistência à compressão, após 28 dias, como mostrado na Figura. 2.

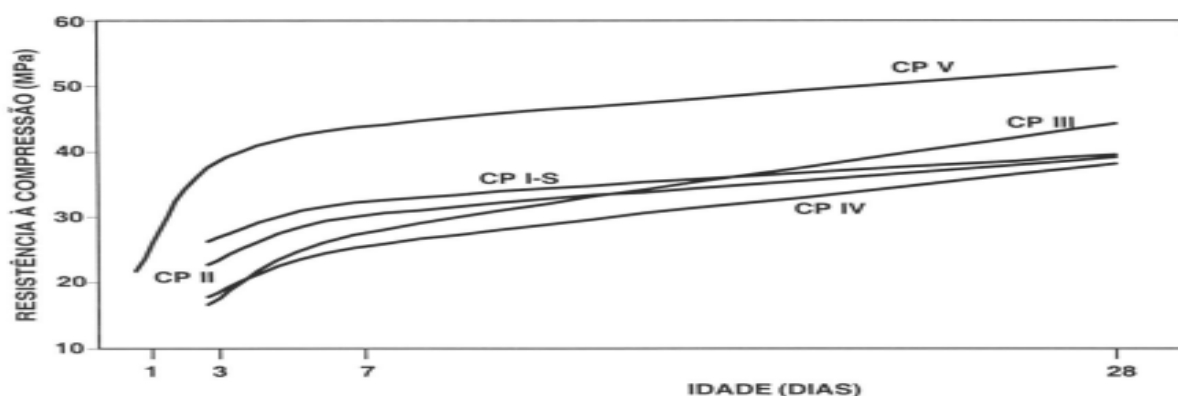
¹² https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=dYOPCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&ots=I9iMSuOqTC&sig=6P15eeU_EiDAnlfZciTnDtcsGL8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

¹³ http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf

TABELA 1 - Composição dos Cimentos Portland (Adaptação)

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Clínquer + Gesso	Escória Granulada de Alto-Forno (Sigla E)	Material Pozolânico (Sigla Z)	Material Carbonático (Sigla F)	Norma Brasileira
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CPI - S	99-95		1-5		
	CP II - E	94-56	6-34	-	0-10	
Composto	CP II - Z	94-76	-	6-14	0-10	NBR 11578
	CP II - F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95			0-5	NBR 5733

Fonte: http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf.

FIGURA 2 – Evolução Média de Resistência à Compressão dos Distintos Tipos de Cimento Portland

Fonte: http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf.

2.2.2 Agregados

De acordo com Albuquerque (2000, p.63), “o agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula e constituído de misturas cobrindo extensa gama de tamanhos.” Para Silva (1991, p.51), os agregados “se apresentam numa sequência de diferentes tamanhos, os quais, interligados por um material aglomerante, formam argamassas e concretos”.

2.2.2.1 Principais Propriedades dos Agregados

Segundo Sbrighi Neto (2011), acreditava-se que os agregados, apesar de representar 70% a 80 % do volume dos concretos, tratava-se apenas de um material

secundário na composição do concreto: um material granular, inerte e seu emprego representava apenas economia no custo final dos concretos produzidos. Porém, surgiram problemas decorrentes da seleção inadequada dos agregados e induziram a necessidade de uma melhor compreensão do papel dos agregados na resistência mecânica e durabilidade dos concretos. Dentre as principais propriedades dos agregados, destacam-se:

a) Massa Específica: Para Neville (2013)¹⁴, a massa específica deve ser cuidadosamente definida, pois os agregados possuem poros permeáveis e impermeáveis. A massa específica absoluta refere-se ao volume de material sólido, excluindo todos os poros. Caso inclua os poros impermeáveis, tem-se a massa específica real, que é utilizada para cálculos de produção do concreto ou da quantidade necessária de agregado para um determinado volume de concreto.

b) Massa Unitária: De acordo com Neville (2013, p. 51), “quando o agregado vai ser proporcionado em volume, é necessário conhecer a massa de agregado que preenche um recipiente de volume unitário”. Para o autor, esse valor é a massa unitária e serve para realizar as conversões entre massa e volume. A massa unitária depende do nível de compactação do agregado. Portanto, a massa unitária depende da granulometria e do formato das partículas, dependendo da massa específica do material (NEVILLE, 2013).

c) Porosidade e Absorção do Agregado: Segundo Neville (2013), a porosidade, a permeabilidade e a absorção dos agregados, influenciam na resistência do concreto ao gelo-degelo e na aderência entre eles e a pasta de cimento e água. Além da sua estabilidade química, resistência à abrasão e massa específica. Para o autor, os poros dos agregados apresentam grande variação de dimensões. Desses poros, alguns são totalmente internos, enquanto outros apresentam aberturas para a superfície das partículas, permitindo a entrada de água por penetração. A quantidade e a velocidade de

¹⁴ <https://books.google.com.br/books?id=cqY5AgAAQBAJ&pg=PR3&lpg=PR3&dq=engenharia+civil+neville&source=bl&ots=RVtFzEAvV1&sig=A5lh6NLK6FEh4xBsXPm1lzSxccl&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiTmZfr7cLMAhWDkpAKHSh6CZUQ6AEIUTAD#v=onepage&q=engenharia%20civil%20neville&f=false>

penetração de água nos agregados dependem do tamanho, da continuidade e do volume total de poros. A porosidade em rochas comuns varia em uma faixa entre 0 a 50% e como os agregados representam cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto, eles contribuem de forma significativa para a porosidade total do concreto. Dessa forma, a absorção de água nos agregados deve ser descontada da água total demandada pela mistura de maneira a se obter a relação água/cimento efetiva.

2.2.2.2 Composição Granulométrica

Segundo Sbrighi Neto (2011), a composição granulométrica dos agregados mostra a distribuição dos grãos e é expressa em termos de porcentagem individuais e acumuladas, retidas em cada uma das peneiras da chamada série normal ou intermediária que são estabelecidas pela ABNT NBR 7211:2009. São também utilizados como referência a dimensão máxima característica e o módulo de finura.

2.2.2.3 Classificação dos Agregados

2.2.2.3.1 Agregado Miúdo

O agregado miúdo, para a ABNT NBR 7211:2009, é definido como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, essas peneiras são definidas pela ABNT NBR NM-ISO 3310-1:2010 e o ensaio é realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003.

De acordo com Petrucci (1998, p. 28)¹⁵, tem-se a definição da areia como “material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, com dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil”. O autor ainda afirma que a areia é um agregado miúdo constituído de misturas de partículas de extensa gama de tamanhos, classificados em areia fina, média e grossa.

¹⁵ <https://pt.scribd.com/doc/83224078/Concreto-Portland-Petrucci>

As areias naturais podem ser extraídas dos rios, de cava e através de britagem. Nos leitos dos rios, as areias são retiradas dos depósitos sedimentares através de sucção, que bombeiam a água, contendo cerca de 5 a 10% de areia, para lagoas de decantação. Já as areias de cava são extraídas por escavação mecânica ou desmonte hidráulico (ALBUQUERQUE, 2000).

Petrucci (1998) descreve a areia artificial ou areia industrial como um produto derivado da rocha, que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada. Após a perfuração da rocha, de acordo com o plano de fogo, as pedras são transportadas até o conjunto de britagem até que atinjam granulometria menor que 4,8 mm. Albuquerque (2000) afirma que este material obtido nas pedreiras contém certa porcentagem de materiais finos (pulverulentos – abaixo de 0,075mm) que pode ser retirado por processo de lavagem.

Para Menossi (2004, p. 8):

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto, quer por motivos econômicos, quer por aspectos relacionados à durabilidade, vem sendo analisada e tem gerado grande interesse, não só pelos aspectos ambientais, mas também pelos aspectos econômicos, uma vez que as pedreiras poderão comercializar um produto oriundo de rejeito que não tinha valor algum, que causava transtornos no que diz respeito à estocagem e ao meio ambiente, e que passou a ser um produto com um valor final mais acessível.

Além disso, Drago, Verney e Pereira (2009)¹⁶ afirmam que o uso de areia artificial na composição de concretos vem sendo cada vez mais empregado na construção civil, sobretudo em regiões onde não são encontradas areias naturais, tornando o uso da areia artificial mais viável economicamente o uso da areia artificial.

Segundo Petrucci (1998), as melhores areias artificiais são as que provêm de granitos e pedras com grande proporção de sílica. As areias provenientes de basalto apresentam, em geral, muitos grãos em forma de placa ou agulha, que irão produzir argamassas ásperas, geralmente as menos trabalháveis, proporcionando maior aderência que a areia natural.

¹⁶ http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000300021

Para Ribeiro, Pinto e Starling (2011), quanto à granulometria, através do módulo de finura, os agregados miúdos podem ser classificados conforme apresentado no Quadro 1:

QUADRO 1 – Classificação e Utilização do Agregado Miúdo

Tipos	Módulo de Finura - MF	Utilização
Areia Grossa	$MF > 3,3$	Concreto e Chapisco
Areia Média	$2,4 < MF < 3,3$	Emboço
Areia Fina	$MF < 2,4$	Reboco

Fonte: RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011, p. 20.

Para Sbrighi Neto (2011), em geral, areias muito grossas podem produzir misturas de concretos ásperas e não trabalháveis, enquanto muito finas aumentam o consumo de água. Dessa forma, uma distribuição granulométrica equilibrada produzirá misturas de concretos mais trabalháveis e econômicas.

2.2.2.3.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo é definido pela ABNT NBR 7211:2009 como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, essas peneiras são definidas pela ABNT NBR NM-ISO 3310-1:2010 e o ensaio é realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003.

O agregado graúdo pode ser de origem natural (pedregulho ou seixo) ou de origem artificial, pela trituração mecânica de rochas (pedra britada ou cascalho). Para a obtenção dos agregados com melhor qualidade, deve-se utilizar rochas estáveis, que são inalteráveis sob a ação do ar, da água ou do gelo. Por outro lado, deve-se evitar a utilização de rochas feldspáticas ou de xisto, que se decompõem sob a ação do ar ou da água (PETRUCCI, 1998).

Para Ribeiro, Pinto e Starling (2011), quanto à granulometria, as britas podem ser classificadas comercialmente segundo faixa de peneiras normalizadas, conforme apresentado no Quadro 2:

QUADRO 2 – Classificação e Utilização do Agregado Graúdo

Classificação	Peneiras Normalizadas	Utilização
Brita 0	4,8 - 9,5 mm	Concreto Convencional
Brita 1	9,5 - 19,0 mm	Concreto Convencional
Brita 2	19,0 - 25,0 mm	Concreto Convencional
Brita 3	25,0 - 38,0 mm	Concreto Massa
Brita 4	38,0 - 64,0 mm	Concreto Massa
Pedra de Mão	> 76,0 mm	Fundação

Fonte: RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011, p. 20.

2.2.2.3.3 Material pulverulento

A ABNT NBR 7219 (1987, p. 1) define material pulverulento como “partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.”

Neville (1982 *apud* Meier, 2011, p. 23)¹⁷ afirma que uma grande quantidade de material pulverulento como, por exemplo, o silte e pó fino, prejudicam a hidratação do cimento, pois devido a sua finura e grande área superficial necessitam de mais água para molhar todas as partículas, aumentando, consecutivamente, a relação água/cimento e diminuindo a resistência do concreto.

Entretanto, Menossi (2004) verificou alta resistência em concretos produzidos com presença de materiais finos. O autor concluiu que concretos produzidos com a areia artificial, com presença de materiais pulverulentos (superior a 15% da amostra), proporcionou maior compacidade ao concreto, diminuindo sua porosidade e tornando o concreto mais resistente.

2.2.3 Água de Emassamento

Para Silva (1991, p. 67), “a água de emassamento é como se denomina a água usada na confecção do concreto.” Isaia (2011, p. 318) afirma que a água é um componente essencial para a produção de concretos, pois, “juntamente com o cimento, produz a matriz resistente que aglutina os agregados e confere a compacidade da matriz para dotar as estruturas da durabilidade e vida útil previstas

¹⁷ http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1402/1/CT_TCC_2011_2_04.pdf

em projeto.” Sobral (2000) define matriz como o conjunto pasta (grãos de cimento e solução aquosa) e espaços cheios de ar.

De acordo com Gasparetto e Onuki (2013, p. 33)¹⁸ “impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar manchas na sua superfície ou, ainda, resultar em corrosão da armadura”. Por esse motivo, Isaia (2011, p.326) relaciona a qualidade da água nas propriedades do concreto fresco e endurecido. O autor afirma que “a água é um diluente universal tendo a capacidade de dissolver grandes quantidades de substâncias ou de manter em suspensão pequenas partículas sólidas de diversas procedências.”

Diante disso, torna-se evidente a importância da qualidade da água empregada na produção do concreto, pois a presença de substâncias na água pode alterar o tempo de pega da pasta cimentícia e, em consequência da hidratação dos compostos presentes, influenciar diretamente na resistência à compressão, uma das principais propriedades esperadas dos concretos empregados nas estruturas (ISAIA, 2011).

Entretanto, para Mindess *et al.* (2003 *apud* Isaia, 2011, p.318), existe maior quantidade de concreto ruim produzido com excesso de água de boa qualidade do que concretos confeccionados com a dosagem correta de água de má qualidade. Por esse motivo, verifica-se a importância do estudo correto da dosagem de água para a produção de concretos.

2.3 Características e Propriedades do Concreto

Para Andrade e Helene (2010, p.928):

O material concreto possui duas fases distintas, sendo que a primeira fase, denominada de concreto fresco, compreende um período de tempo muito curto, em geral da ordem de 1h a 5h. Essa fase refere-se ao intervalo de tempo necessário para que o concreto possa ser misturado, transportado, lançado e adensado. A segunda fase, denominada de concreto endurecido, inicia-se com a hidratação do cimento e consequente endurecimento do concreto, estendendo-se por toda a vida da estrutura.

¹⁸ http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT_TCC_2013_1_03.pdf

As principais características que o concreto em estado endurecido deverá apresentar, normalmente, são definidas pelos projetistas estruturais. Porém, as propriedades que o concreto fresco deverá apresentar são determinadas pelos equipamentos, técnicas de execução e através das características das peças que serão concretadas (HELENE; TUTIKIAN, 2011).

2.3.1 Propriedades do Concreto Fresco

De acordo com Sobral (2000), o concreto fresco é resultado da composição de agregados miúdo e graúdo envolvidos por pasta de cimento e espaços vazios. Estes espaços vazios são cheios de ar, que podem encontrar-se envolvidos pela pasta, sob forma de bolhas ou em espaços interligados. Dessa forma, a predominância de uma dessas formas de apresentação define, respectivamente, a plasticidade ou a não plasticidade da mistura.

Os requisitos solicitados das estruturas de concreto baseiam-se na qualidade do concreto endurecido. Porém, as propriedades desejáveis para o concreto fresco são as que asseguram a obtenção de mistura de fácil manuseio, transporte, lançamento e adensamento (SOBRAL, 2000).

2.3.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade pode ser entendida como a facilidade com que uma mistura de concreto pode ser manipulada sem que haja segregação prejudicial. Uma mistura de concreto de difícil lançamento e adensamento aumenta o custo de manipulação, resultando em pouca resistência, durabilidade e aparência deficiente. Assim na dosagem do concreto deve-se buscar uma trabalhabilidade desejável, não indo além da consistência necessária no estado fresco, facilitando a aplicação, a compactação e o acabamento. Não se deve aumentar a quantidade de água a fim de melhorar a trabalhabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A trabalhabilidade envolve diretamente as considerações relativas às condições da obra e aos métodos de execução que serão adotados, pois um concreto trabalhável para peças grandes e pouco armada poderá não ser o mesmo para peças esbeltas

e muito armada. Portanto, um concreto que pode ser considerado trabalhável para uma situação, necessariamente não será em outra (SOBRAL, 2000).

Neville (2015) afirma que a trabalhabilidade é uma característica fundamental em relação ao produto final produzido com o concreto, pois a trabalhabilidade da mistura fresca deve permitir o máximo de adensamento possível com uma quantidade razoável de energia ou com a quantidade de esforço que for possível aplicar em condições específicas de cada obra.

2.3.1.1.1 Fatores que Afetam a Trabalhabilidade

a) Consistência: Para Andrade e Helene (2010, p. 929), a consistência no concreto “pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação de sua própria massa.” De acordo com Martins (2008, p. 25)¹⁹, “o termo consistência está relacionado com as características inerentes ao próprio concreto e está relacionado com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes.”

Para Araújo *et al.* (2001 *apud* Martins, 2008, p. 25), “o principal fator que influi na consistência é, sem dúvida, o teor água/materiais secos.” Sobral (2000) considera também a granulometria e os formatos dos grãos dos agregados, os aditivos incorporados à mistura e os fatores de tempo e temperatura.

Segundo Romano, Cardoso e Pillegi (2011), os conceitos de consistência e trabalhabilidade surgem da necessidade de explicar as características desejáveis dos concretos durante todas as suas etapas, tais como: mistura, transporte, lançamento, consolidação e acabamento. Por esse motivo, surgem termos conhecidos nas obras como “concreto pesado, mole, sopa, farofa, seco, chicleto, liguento, etc”.

b) Tipos de Mistura, Transporte, Lançamento e Adensamento do Concreto: Sobral (2000, p. 271) aponta os tipos de mistura, transporte, lançamento e

¹⁹ <http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTINS.pdf>

adensamento do concreto como fatores que influenciam a trabalhabilidade do concreto em estado fresco. O autor afirma que para o atendimento de cada um desses processos é necessário que o concreto “fique dentro de determinados limites, para que não haja segregação e possa ser realizada uma conveniente compactação.” E ainda acrescenta que esses processos podem não influenciar sempre no mesmo sentido, porém, é de extrema importância quando se considera o conjunto de todos eles.

c) Características das Estruturas: Outro fator que influencia a trabalhabilidade no estado fresco das misturas são as dimensões das peças e os afastamentos das armaduras. Neste conceito, os diâmetros dos agregados utilizados são considerados para a dosagem correta. Além das formas possíveis de adensamento (SOBRAL, 2000).

d) Incorporação de Ar: Para Romano, Cardoso e Pillegi (2011), a trabalhabilidade dos concretos também pode ser influenciada pela incorporação de ar às misturas, muito utilizada em locais onde a temperatura é muito baixa, devido ao aumento da resistência a ciclos de gelo-degelo.

2.3.1.2 Perda de Abatimento

Para Mehta e Monteiro (2008, p. 365):

A perda de abatimento é definida como perda de consistência do concreto fresco com o passar do tempo. Esse é um fenômeno normal para todas as misturas de concreto, porque resulta do enrijecimento gradual e pega de uma pasta de cimento Portland hidratada, que está associado à formação de produtos de hidratação, como a etringita e o silicato de cálcio hidratado. A perda de abatimento ocorre quando a água livre da mistura é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção nas superfícies dos produtos de hidratação e por evaporação.

Após os primeiros trinta minutos de adição de água à mistura, o concreto começa a perder abatimento, principalmente devidos aos fatores de tempo, temperatura e composição do cimento e dos aditivos presentes. Por este motivo, a perda do abatimento deve ser bem monitorada para garantir a consistência adequada para

todas as operações que são realizadas com o concreto em seu estado fresco (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008, p. 366), “várias falhas de desempenho do concreto têm sido atribuídas à adição inadequada da água de reamassamento que foi inadequadamente misturada ou não computada nos cálculos da dosagem inicial”.

2.3.1.3 Segregação e Exsudação

Para Silva (1991, p. 83), “chama-se segregação à separação dos diversos componentes do concreto, o que não permite a obtenção de um concreto com as características necessárias para adensamento.” Ainda para Silva (1991), a segregação aparece como consequência da diferença de massa específica e do tamanho dos grãos, mas pode ser controlada fazendo-se um traço adequado, com granulometria conveniente e cuidados nas operações de confecção do concreto.

Para Mehta e Monteiro (2008, p. 370), “define-se exsudação como um fenômeno cuja manifestação externa é o surgimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de sua pega (isto é, quando a sedimentação não pode mais ocorrer).” Silva (1991) afirma que esse fenômeno tende a diminuir a durabilidade e a aderência entre as camadas do concreto.

2.3.2 Propriedades do Concreto Endurecido

Oliveira (2000) define concreto como um material sólido a partir da pega em perpétua evolução, pois é sensível às modificações das condições ambientais, físicas, químicas, mecânicas, com reações geralmente lentas registradas de certo modo nas suas características.

2.3.2.1 Resistência Mecânica

Silva (1991, p. 85) afirma que a resistência mecânica “é a principal propriedade dos concretos.” Para Helene e Tutikian (2011, p. 416), “a resistência mecânica do concreto é o parâmetro mais frequentemente especificado. A resistência à

compressão é a mais utilizada, embora a resistência à tração por flexão também seja muito comum em projetos de pavimentos de concreto.”

2.3.2.1.1 Fatores que influenciam a Resistência

a) Relação Água/Cimento: Para Silva (1991), é o principal fator de influência à resistência mecânica dos concretos, pois os vazios deixados em seu interior causado pela evaporação de água (se colocada em excesso na mistura), será diretamente responsável pela queda de resistência.

b) Tipo de Cimento: Andrade e Tutikian (2011, p. 625) afirmam que o tipo de cimento adotado exerce influência significativa na resistência do concreto. Para os autores, “existem várias propriedades tanto físicas (finura, superfície específica) quanto químicas (teores de aluminatos e silicatos de cálcio) características de cada cimento que vão influenciar na resistência do concreto para uma dada idade.”

De acordo com Andrade e Tutikian (2011, p. 625), “quanto mais fino for o cimento, maior será a velocidade de reação com consequente ganho de resistência a menores idades.”

A resistência do cimento está diretamente relacionada à presença de adições minerais que são incorporados em sua fabricação. Os cimentos Portland produzidos no Brasil “apresentam substituição do clínquer por subprodutos industriais são os cimento compostos com escória de alto-forno (CP II E), com fíler calcário (CP II F) e com cinza volante (CP II Z); o cimento de alto-forno (CP III AF) e o cimento pozolânico (CP IV).” Além desses cimentos, o CP V ARI é o mais fino e apresenta maior resistência inicial (entre 1 e 3 dias) (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011, p. 625).

c) Agregados: Para Andrade e Tutikian (2011, p. 624), a resistência mecânica no concreto também está relacionada aos agregados. “Verificou-se que algumas formas de ruptura poderiam ocorrer nos agregados. Desta forma, o estudo da influência das propriedades do agregado na resistência do concreto

é de extrema relevância”. Os autores afirmam que essa influência está diretamente ligada a natureza do agregado, pois os agregados naturais apresentam uma forma mais arredondada e uma textura superficial mais lisa, diferentemente dos agregados britados, que possuem uma forma irregular e textura superficial rugosa. Desta forma, agregados britados proporcionam maior resistência (tanto à compressão quanto à tração) em função da maior ligação física existente entre o agregado e a pasta de cimento endurecida.

Segundo Helene e Terzian (1992), quando houver variação da granulometria e da quantidade de agregados para duas masseiras diferentes, porém conservando o mesmo traço, pode ocorrer alterações significativas na consistência do concreto fresco e na quantidade de água requerida para a trabalhabilidade. Assim, os agregados interferem na resistência a compressão através da alteração água/cimento por exigências de trabalhabilidade do concreto fresco.

d) Outros Fatores que Influenciam a Resistência - Quantificação dos Fatores: No Quadro 3 são apresentados fatores que podem influenciar na resistência a compressão dos concretos, segundo Helene e Terzian (1992):

QUADRO 3 – Principais Fatores que Influenciam o Resultado da Resistência à Compressão

Causa da variação	Efeito máximo no resultado
A- Materiais	
* Variabilidade da resistência do cimento	+/- 12%
* variabilidade da quantidade total de água	+/- 15%
*variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	+/- 8%
B - Mão de obra	
* variabilidade do tempo e procedimento de mistura	- 30%
C - Equipamentos	
* ausência de aferição de balanças	- 15%
* mistura inicial, sobre carregamento, correias, etc	- 10%
D - 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
* ruptura (velocidade de carregamento)	-50% para conectividade

Fonte: HELENE; TERZIAN, 1992, p. 135

2.3.2.2 Durabilidade

Quanto à durabilidade, Helene e Tutikian (2011) salientam que durante toda a vida útil dos concretos, esses devem ser duráveis frente às solicitações que serão expostos. Para os autores, a durabilidade dos concretos depende de diversos fatores, tais como: tipo de cimento, relação água/cimento, adições e aditivos empregados em sua confecção e aos esforços mecânicos que serão solicitados da estrutura. Além disso, são expostos a presença de sais, maresia, chuvas ácidas e umidade relativa. Para Oliveira (2000), a ação desses fatores leva a um processo de desenvolvimento progressivo, normalmente lento, de desagregação completa da estrutura.

De acordo com Helene e Tutikian (2011, p. 417), “a durabilidade é considerada um tema muito complexo que depende de muitas variáveis e, por isso, ainda não tem um método consensual para ser medida.” Para os autores, a normalização brasileira busca assegurar a durabilidade “para cada uma das condições de exposição previstas a que estarão submetidos os elementos estruturais de uma obra ao longo de sua vida útil”.

2.3.2.3 Permeabilidade

Para Oliveira (2000, p. 310), o concreto é um material poroso. Os vazios estão presentes nos concretos por causas diversas, tornando o concreto permeável aos líquidos e gases. A importância do conhecimento da permeabilidade baseia-se na durabilidade da estrutura diretamente relacionada a esta propriedade, pois pode ser ameaçada pela ação de agentes agressivos. O autor estabelece que “quanto melhor o concreto, menos permeável ele é”.

Segundo Oliveira (2000), a redução da relação água/cimento, a proporção adequada de finos presentes na mistura, os procedimentos de cura, os empregos de aditivos ou camadas superficiais de proteção são fatores que promovem o crescimento da impermeabilidade do concreto.

2.3.2.4 Outras Características e Propriedades

Para Oliveira (2000), as características e propriedades do concreto endurecido (produzidos com cimento Portland), são classificadas no Quadro 4:

QUADRO 4 – Classificação geral das características e Propriedades do Concreto Endurecido (Adaptado)

Características e Propriedades	Aspectos e Relações
Densidade	Conc. Leves-isol, térmico Conc. Pesados-blindagem Radioatividade
Atrito	Pavimentos, tubulações
Absorção	Aparência; durabilidade-oxidação
Permeabilidade líquidos	Impermeabilização; durabilidade-corrosão
Permeabilidade gases	Durabilidade-oxidação
Calor específico	Aquecimento na cura
Dilatação térmica	Fissuramento térmico; juntas de dilatação
Condutibilidade térmica	Cálculos estáticos; Aquecimento na cura
Condutibilidade do som	Ensaio não destrutivo
Condutibilidade elétrica	Corrosão Eletroquímica
Adesão	Restauração
Absorção do som	Insonorização
Transmissão do som	Insonorização
Absorção de radioatividade	Proteção contra Radiações
Resistência ao fogo	Sobrevivência a sinistros
Deformação espont.	Fissuramento
Deformação elástica	Cálculos estruturais
Deformação plástica	Cálculos estruturais
Deformação lenta	Aparência das estruturas; Cálculos estruturais
Ruptura	Ensaio
Resistência à ação dos agentes clima, águas puras, carbônicas, mar, etc.	Durabilidade
Resistência aos agentes químicos	Durabilidade
Reação álcali-agregado	Durabilidade
Corrosão das armaduras	Durabilidade
Aderência	Segurança; Fissuramento
Fissuramento	Permeabilidade; Durabilidade

Fonte: OLIVEIRA, 2000, p. 285.

2.4 Dosagem de Concretos

A seleção dos materiais para a dosagem do concreto deve ser bem criteriosa para que se obtenha um concreto com determinadas características de desempenho. A

dosagem do concreto é o processo de obtenção da quantidade correta dos seus componentes, cimento, agregados, água, adições e aditivos para que o concreto obtenha o desempenho desejado. A dosagem torna-se de grande importância, pois pode influenciar no custo e em importantes propriedades como trabalhabilidade e durabilidade, tanto no estado fresco como no estado endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para Neville (2015), o consumo de cimento, a durabilidade, a trabalhabilidade, a dimensão máxima, a granulometria e o tipo do agregado, são os principais fatores que direcionam a dosagem dos concretos, além da relação água/cimento.

2.4.1 Leis Básicas de Dosagem de Concreto

Segundo Menossi (2004), “o concreto é um dos elementos fundamentais das estruturas, e, por esse motivo, necessita ser adequadamente dosado para garantir estruturas seguras e duráveis.” Por isso, foram demonstradas as três leis básicas de dosagem de concreto, sendo elas: a Lei de Abrams, a Lei de Inge Lyse e a Lei de Molinari.

2.4.1.1 Lei de Abrams

Em 1918, Abrams propôs uma modificação na fórmula apresentada por Fuller e por Ferét fornecendo nova expressão para determinação da resistência em função da relação água/cimento. Além disso, utilizou o módulo de finura para comparar os concretos e concluiu que os concretos preparados com o mesmo módulo de finura apresentam a mesma resistência (BAUER; NORONHA, 2000).

De acordo com Menossi (2004, p. 27):

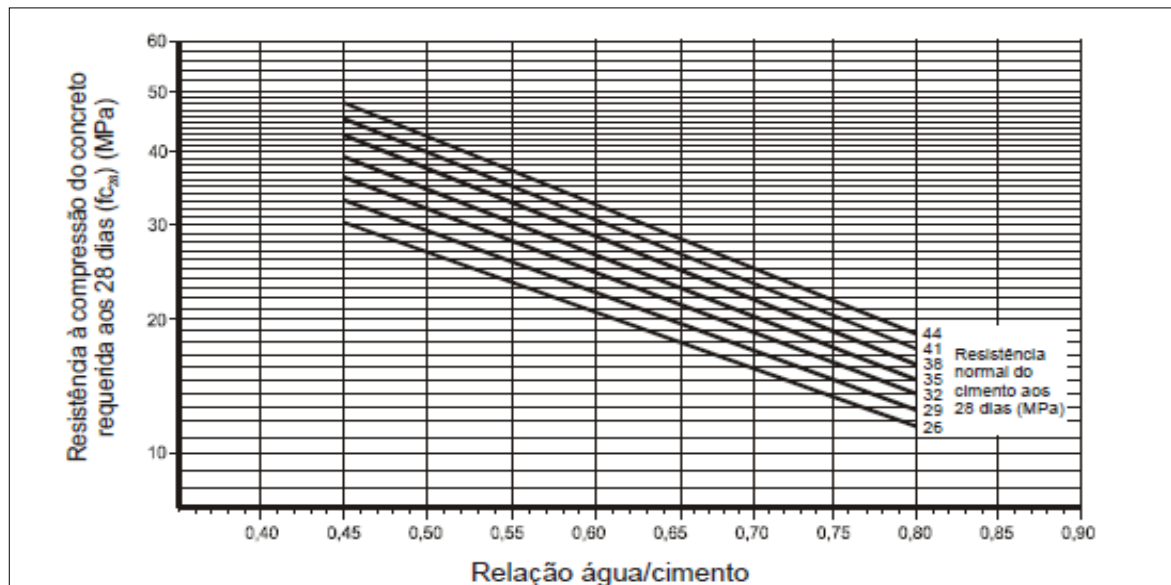
A curva de Abrams é a relação entre as resistências à compressão e as respectivas relações água/cimento. É de grande importância o formato dessa curva, pois ela pode indicar tendências e ser utilizada para futuras dosagens de concreto. A Lei de Abrams admite que a resistência de um concreto é inversamente proporcional à sua relação água/cimento, segundo a fórmula:

Onde:

$$f = A/B^x$$

f = resistência;
 x = relação água/cimento;
 A e B = constantes empíricas.

FIGURA 3 – Gráfico para a determinação da relação água cimento em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade



Fonte: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>

De acordo com Recena (2015, p. 21):

O estabelecimento da curva de Abrams parte do conhecimento da relação de água/cimento e da resistência mecânica de três ou mais traços de um mesmo concreto, produzidos com a mesma trabalhabilidade medida, em geral, pelo slump.

A regressão pelo método dos mínimos quadrados permite estabelecer a equação logarítmica que representa o comportamento daquele concreto estudado para uma determinada idade, sendo válida, em tese, apenas quando forem empregados os mesmos agregados, mesmo cimento, água, e, se for o caso, mesmos aditivos e mesmas adições.

Helene e Terzian (1992, p.58) afirmam sobre a teoria de Abrams: “Dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades do concreto endurecido variam na relação inversa da relação água/cimento”. Para os autores, este modelo matemático mostrou-se válido sem necessidade de ajuste sempre que a quantidade de pasta de cimento é suficiente para preencher a quantidade de vazios dos agregados, sempre que os agregados forem de elevada resistência e também sempre que o concreto fresco estiver perfeitamente adensado.

2.4.1.2 Lei de Inge Lyse

De acordo com Recena (2015, p. 21), “a relação entre a percentagem de água sobre os materiais secos e a trabalhabilidade da mistura, medida pelo “slump”, é, até certo ponto, modelada pela lei de Inge Lyse.”

Menossi (2004, p. 28) afirma que:

A Lei de Lyse, utilizada no Brasil, enuncia que a consistência de um concreto, medida pelo abatimento do tronco de cone (slump), permanece constante independentemente da riqueza da mistura caso sejam mantidos constantes o tipo e a graduação dos agregados, o teor de argamassa e a relação água / materiais secos (H). A partir desta consideração, o método admite que a relação entre a variação do traço (m) em função da relação água/cimento é linear, apresentando uma reta para cada valor de H.

Segundo Helene e Terzian (1992), a resistência do concreto é calculada em função da relação a/c, através da seguinte fórmula:

$$m = k_3 / k_4 (a/c)$$

Onde:
 m = resistência relação agregados secos/cimento, em massa (kg/kg);
 a/c = relação água/cimento, em massa (kg/kg);
 Ki = depende exclusivamente dos materiais empregados

De acordo com Helene e Terzian (1992, p.58):

Inge Lyse defendeu a ideia de que dentro de certos limites é possível considerar a massa de água por unidade de volume de concreto como a principal determinante da consistência do concreto fresco, qualquer que seja a proporção dos demais materiais da mistura.

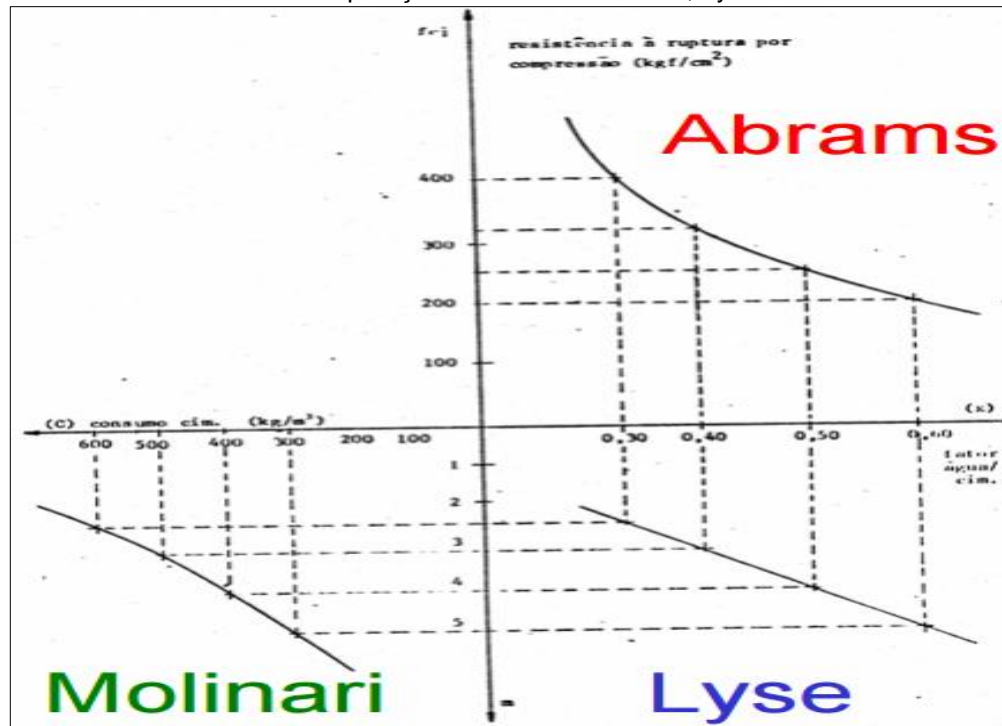
Desta forma, Helene e Terzian (1992) afirmam que essa “verdade se verifica sempre que sejam mantidos materiais de mesma natureza, com grãos de mesma forma, textura e dimensão característica.” Segundo os autores, Lyse sugeriu empregar na Lei de Abrams a relação água/cimento em massa e não em volume.

2.4.1.3 Lei de Molinari

Menossi (2004, p. 28) afirma que a Lei de Molinari relaciona o consumo de cimento por metro cúbico com o traço utilizado para os concretos.

A Figura 4, da ABCP, faz uma comparação entre Abrams, Lyse e Molinari:

FIGURA 4 – Comparação das Leis de Abrams, Lyse e Molinari



Fonte: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/75/anexo/2relac.pdf>

2.4.2 Métodos de Dosagem de Concreto

De acordo com Helene e Tutikian (2011, p. 416):

Apesar dos métodos de dosagem diferirem entre si, certas atividades são comuns a todos como, por exemplo, o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com relação água/cimento para determinado tipo de cimento.

Rodrigues (1998 *apud* Assunção, 2002)²⁰ aponta quatro métodos diferentes de dosagem de concreto, que são bastante empregados nas mais diversas regiões do Brasil, sendo eles: método da Fundação da Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (CIENTEC), o método do Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro (INT), o método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

²⁰ <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83112/226913.pdf?sequence=1>

2.4.2.1 Método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland)

De acordo com Silva (1991, p.101), a base do método ABCP é a relação que existe entre a proporção agregado/cimento e a relação água/cimento, a qual foi deduzida teoricamente e confirmada experimentalmente.

Segundo Menossi (2004, p.25), “este é um método bastante simples, onde se conjugam tabelas prévias e ensaios de verificação. Caracteriza-se por obter a dosagem em função da resistência desejada e das massas específicas dos agregados disponíveis.”

Rodrigues (1983), afirma que o método de dosagem ABCP é dividido em três fases distintas. Durante a primeira etapa da dosagem é realizada a caracterização dos materiais constituintes do concreto. Nessa fase, determina-se a resistência à compressão do cimento que será utilizado (aos 28 dias), dimensão máxima característica, massa unitária e absorção dos agregados graúdos, módulo de finura e absorção do agregado miúdo e a massa específica dos três componentes do concreto. Posteriormente, na segunda etapa de dosagem, são fixadas as características esperadas do concreto em seu estado fresco (trabalhabilidade) e endurecido (resistência química e mecânica). Na última etapa, através dos resultados obtidos nas fases anteriores, são determinados os consumos de cimento, água, areia e brita.

2.4.3 Estudo da Relação Água/Cimento no Comportamento do Concreto

Segundo Isaia (2011, p. 326), a água no concreto promove:

(...) a diminuição do atrito por meio de película envolvente aos grãos, promovendo a aglutinação do agregado por intermédio da pasta de cimento, fornecendo a coesão e consistência necessárias para que o concreto no estado plástico possa ser produzido, transportado e colocado nas formas sem perda da sua homogeneidade.

Isaia (2011) afirma que assim como no concreto fresco, as propriedades do concreto endurecido dependem direta ou indiretamente da água. Uma vez que o comportamento do concreto inicia-se pelas reações de hidratação do cimento e as

diversas transformações físico-químicas decorrentes, tais como o início e fim de pega, calor de hidratação, retração, entre outras.

O cimento só adquire a propriedade de aglomerante quando misturado com água por meio da reação química conhecida como processo de hidratação do cimento. Desta forma, resultam produtos que possuem características de pega e endurecimento (METHA; MONTEIRO, 2008). Segundo Isaia (2011), para que a hidratação do cimento aconteça de forma ideal, deve haver quantidade de água suficiente para que as reações se processem integralmente. Para isso, adota-se a relação de massa de cimento e a água adicionada a mistura, termo conhecido mundialmente na construção civil como relação água/cimento (a/c). Para o autor, a relação a/c dever ser aproximadamente 0,40.

Andrade e Helene (2010, p. 920) afirmam que a fluidez da pasta de cimento e água, depende da distribuição granulométrica do cimento e da quantidade de água adicionada, que é expressa pela relação água/cimento. “Quanto maior essa relação, mais fluída é a pasta.” Os autores demonstraram pastas com quatro relações água/cimento distintas de 0,60; 0,50; 0,40 e 0,30, como mostrado na Figura 5:

FIGURA 5 – Pasta do mesmo cimento Portland com diferentes relações água/cimento: da esquerda para direita e de cima para baixo: 0,60, 0,50, 0,40 e 0,30.



Fonte: ANDRADE; HELENE, 2010, p. 920.

Diante disso, Andrade e Helene (2010), concluíram que nas quatro pastas mostradas na Figura 4, revelam o “desempenho bem distintos quanto endurecidas, sendo crescente com a redução da relação água/cimento. A pasta de 0,30 de

relação água/cimento possui uma resistência mecânica muito superior à pasta de 0,60”.

2.4.3.1 Influência da Relação Água/Cimento na Resistência Mecânica

De acordo com Isaia (2011, p. 331), a resistência mecânica dos concretos está diretamente vinculada à qualidade e a quantidade de teor de sólidos representados pelos compostos hidratados da pasta cimentícia. O autor afirma que os produtos resultantes da hidratação desta pasta, “especialmente os silicatos hidratados, possuem área específica muito pequena e se entrelaçam com os aluminatos, ferro-aluminatos hidratados e outros compostos, formando um conjunto resistente e fortemente aderido entre si”.

Como visto, Isaia (2011) conclui que para a hidratação completa da pasta cimentícia é necessário uma relação água/cimento de 0,40. Quando esta relação é mais elevada, como é usual na produção dos concretos, ocorre alojamento da água em excesso nos interstícios dos produtos de hidratação promovendo vazios. Dessa forma, a maior quantidade de vazios ocasiona menor resistência mecânica do concreto.

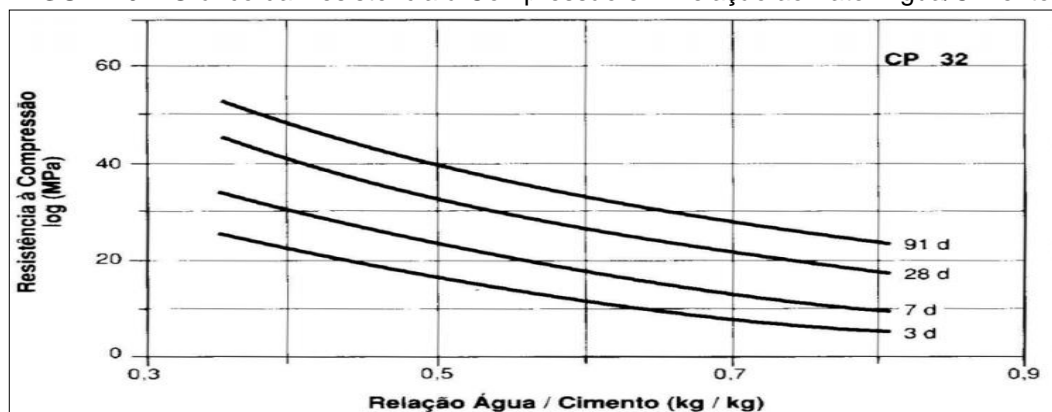
Silva (1991, p.85) afirma que o excesso de água colocado a fim de facilitar o amassamento provoca a maioria dos defeitos de resistência mecânica dos concretos, uma vez que “a água não necessária à hidratação do cimento e que irá evaporar, deixando vazios no interior, os quais serão diretamente responsáveis pela queda de resistência”.

Segundo Recena (2015), a lei formulada por Abrams declara que a resistência mecânica do concreto é inversamente proporcional à relação a/c, segundo uma função logarítmica. Por isso, Isaia (2011) afirma que para melhorar as características do concreto endurecido, é fundamental verificar a relação água/cimento adotada na dosagem do concreto, pois através delas cumpre-se o desempenho esperado das estruturas.

Como nem sempre é possível diminuir a quantidade de água na dosagem do concreto por questões de trabalhabilidade, Isaia (2011) afirma que ocorre a incorporação de aditivos plastificantes aos concretos, de acordo com a quantidade de água que se deseja retirar da mistura, a fim de aumentar a durabilidade do produto final do concreto. Para Andrade e Tutikian (2011, p. 622), o crescente emprego de aditivos plastificantes tornou possível o proporcionamento de misturas com baixas relações a/c e com elevada fluidez. Os autores afirmam que essas adições “combinam características de facilidade de execução de obra, elevada resistência mecânica e valores de vida útil diferenciados.”

A Figura 6 representa as curvas da resistência média em função da relação água cimento e idade para os cimentos CP32:

FIGURA 6 – Gráfico da Resistência à Compressão em Relação ao Fator Água/Cimento



Fonte: HELENE; TERZIAN, 1992, p. 129.

2.4.3.2 Influência da Relação Água/Cimento na Durabilidade

Para Silva (1991), para que haja maior durabilidade, o volume de vazios no interior da massa deve ser o mínimo possível, pois com isso sua permeabilidade é diminuída, dificultando a penetração de substâncias agressivas.

Por este motivo, a durabilidade do concreto é diretamente relacionada ao fator água/cimento. Esta relação em concretos, dependendo do tipo de exposição e das dimensões das peças devem ser bem observadas, para promover contribuição satisfatória a durabilidade da estrutura (SILVA, 1991).

2.5 Controle de Qualidade dos Concretos

Recena e Pereira (2011, p. 573) afirmam que “na produção do concreto, é de grande importância saber como proceder para controlar de forma eficiente e válida, à luz das normas brasileiras, a qualidade do concreto que está sendo consumido em obra”. Para os autores, o assunto está diretamente relacionado ao controle de qualidade do concreto produzido.

Ao final de cada obra executada em concreto, espera-se resistência mecânica, acabamento e durabilidade, aspectos relacionados diretamente à facilidade de execução e custos. Desta forma, o controle de qualidade dos concretos significa “atender aos requisitos estabelecidos em projeto, ao menor custo possível” (RECENA; PEREIRA, 2011, p. 573).

Para Recena e Pereira (2011), o controle de qualidade do concreto pode ser desenvolvido em nível de produção ou em nível de recebimento. Sendo assim, as operações de concretagem devem ser monitoradas, uma vez que podem ocorrer problemas ou manifestações patológicas oriundas dos processos de dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

Para Recena e Pereira (2011), o controle de qualidade dos concretos significa seguir critérios para a escolha correta dos materiais necessários à mistura: cimento Portland, agregados, água de emassamento e aditivos: cuidados quanto à escolha dos tipos para que atendam aos requisitos dos traços estabelecidos, atendimento às normas quanto aos ensaios e as faixas granulométricas, massa específica, massa unitária e umidade dos agregados e a qualidade da água empregada. Além disso, o armazenamento dos materiais componentes do concreto, a dosagem da mistura realizada em carrinhos ou padiolas fabricadas para o proporcionamento correto, mistura adequada, transporte, lançamento, planejamento da concretagem, rastreabilidade do concreto, adensamento e cura evidenciam e garantem o controle da qualidade dos concretos produzidos.

Neste capítulo foi apresentada a teoria que embasará as análises a serem realizadas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização desse trabalho foram feitas pesquisa bibliográfica, ensaios laboratoriais e estudo de caso.

3.1 Pesquisa Bibliográfica

De acordo com Lakatos e Marconi (2015, p. 57), pesquisa bibliográfica são publicações avulsas, boletins, jornais, pesquisas, monografias e teses, como também são meios de comunicação oral, rádios, gravações em fita magnética, filmes e televisão que abrangem bibliografias já tornadas públicas em relação ao tema estudado. A finalidade da pesquisa bibliográfica é “colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto.”

Para Manzo (1971, p. 32 *apud* Lakatos e Marconi, 2015, p. 57):

A bibliografia pertinente oferece meios para definir, resolver, não somente problemas já conhecidos, como também explorar novas áreas onde os problemas não se cristalizaram suficientemente, e tem por objetivo permitir ao cientista o reforço paralelo na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações.

Dessa forma, o trabalho foi fundamentado em pesquisas bibliográficas a fim de proporcionar embasamento teórico ao tema. Foram utilizados livros, artigos acadêmicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e Normas Técnicas da ABNT.

3.2 Estudo de Caso

O estudo de caso, segundo Lakatos e Marconi (2009, p. 273), “é a metodologia qualitativa (...) e se caracteriza por dar atenção especial a questões que podem ser conhecidas por meio de casos”. Para as autoras, o estudo de caso foi criado por La Play para estudar famílias operárias europeias.

Ainda segundo Lakatos e Marconi (2009, p. 274), existem motivos intrínsecos, instrumentais e coletivos para estudar os casos. Os intrínsecos são “representação

de traços particulares”, os instrumentais são “esclarecimentos de traços sobre algumas questões” e os coletivos são “abordagens de vários fenômenos conjuntamente”.

Lakatos e Marconi (2009, p.274) afirmam que estudo de caso:

Refere-se ao levantamento com mais profundidade de determinado caso ou grupo humano sob todos os seus aspectos. Entretanto, é limitado, pois se restringe ao caso que estuda, ou seja, um único caso, não podendo ser generalizado. (...) Reúne o maior número de informações detalhadas, valendo-se de diferentes técnicas de pesquisa, visando aprender uma determinada situação, e descrever a complexidade de um fato.

Lakatos e Marconi (2009) definem que a observação, a entrevista e a história de vida são as técnicas fundamentais dos estudos de caso, representando a metodologia qualitativa.

3.2.1 Caracterização da Empresa para o Estudo de Caso

A Construtora Mendes Azevedo, fundada em 2005, atua no ramo de edificações multifamiliares, com vários projetos executados na região metropolitana de Belo Horizonte/MG.

O presente estudo de caso relata um fato ocorrido em canteiro de obras da Construtora Mendes Azevedo, no bairro Manacás, em Belo Horizonte, quando em uma vistoria rotineira do Sistema de Controle de Qualidade do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), foi observado um grande acréscimo no volume de água adicionado ao concreto produzido na obra, sem que provocasse uma redução significativa da resistência à compressão do concreto aos 28 dias.

3.3 Ensaaios

Com a finalidade de comprovar as teorias demonstradas na pesquisa bibliográfica e forma de investigação do estudo de caso, ensaios foram realizados de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras relacionadas à caracterização dos agregados e o

comportamento do concreto. Para isso, foram realizados os seguintes ensaios e procedimentos:

- Ensaio para verificação da massa unitária dos agregados: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR NM 45:2006 (Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios).
- Ensaios para verificação da massa específica dos agregados miúdos e graúdos: Realizados conforme estabelecido pela ABNT NBR NM 52:2009 (Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente) e ABNT NBR 53:2009 (Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água).
- Ensaio para verificação de materiais pulverulentos da amostra: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR NM 46:2001 (Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm por lavagem).
- Ensaio para verificação da composição granulométrica da amostra: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR NM 248:2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica), com a utilização das peneiras especificadas na norma ABNT NBR NM-ISO 3310-1:2010.
- Ensaio para verificação do teor de umidade da amostra de agregado miúdo: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR 9775:2011 (Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio).
- Ensaio de avaliação da consistência do concreto (método do *Slump Test*): Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR NM 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).

- Procedimentos para confecção do traço de concreto: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR 12655:2015 (Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento).
- Procedimentos para moldagem dos corpos de prova de concreto: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR 5738:2015 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova).
- Procedimentos para armazenamento e cura dos corpos de prova de concreto: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR 9479:2006 (Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova).
- Procedimentos para rompimento de corpos de provas de concreto: Realizado conforme estabelecido pela ABNT NBR 5739:2007 (Concreto- Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos).

4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

4.1 Estudo de Caso

O presente estudo de caso tem por objeto um fato ocorrido em 21/05/2014, em canteiro de obras da Construtora Mendes Azevedo, no bairro Manacás, em Belo Horizonte/MG. Nesta data, o Sistema de Controle de Qualidade da construtora realizou uma vistoria de rotina no processo de produção de concreto e argamassa durante a concretagem do piso da garagem do Edifício Roma. Foi observado que, para aumentar a fluidez do concreto, adequando sua trabalhabilidade ao serviço que era executado, o operador de betoneira, por conta própria, aumentou o volume de água adicionado ao concreto produzido na obra. O traço padronizado requeria o volume de 24 litros de água (1,5 lata de 16 litros), entretanto, foram utilizados 56 litros de água (3,5 latas de 16 litros). Como parte da área já havia sido concretada, e para atestar a conformidade estrutural do piso, foi realizada a coleta de amostras do concreto fluido produzido. Também foi produzido concreto de acordo com o traço padronizado pelas instruções de trabalho da construtora e amostras foram coletadas. Os corpos de prova foram encaminhados para ensaio resistência à compressão, conforme ABNT NBR 5739:2007, em laboratório externo.

Conforme Menossi (2004), “a Lei de Abrams admite que a resistência de um concreto é inversamente proporcional à sua relação água/cimento.” Assim, era esperada uma perda considerável da resistência à compressão do concreto fluido em relação ao traço padronizado, tendo em vista o aumento da relação água/cimento de 0,46 para aproximadamente 1,12. Entretanto, o resultado do ensaio de compressão revelou que ambos os traços alcançaram a resistência de 34 MPa aos 28 dias.

Visto isso, o presente estudo de caso tem por objetivo analisar a resistência à compressão do concreto, a partir de traços produzidos com variação da relação água/cimento.

Como o agregado miúdo utilizado pela construtora é artificial, originário da britagem de rochas de gnaiss, serão analisados agregados miúdos naturais e artificiais para estabelecer um parâmetro de comparação de sua resistência à compressão.

Para o desenvolvimento do estudo, um traço de concreto com proporções próximas ao traço utilizado na obra foi elaborado pelo método da ABCP. Foram elaborados 4 traços, com alteração apenas da quantidade de água de amassamento, para modificar arbitrariamente a relação água/cimento, mantendo-se os agregados miúdos, grãos e cimento em quantidades fixas. Para efeito de comparação, foram elaborados 4 traços utilizando areia natural como agregado miúdo e 4 traços com areia artificial. Serão analisados os efeitos sobre a resistência à compressão do concreto da variação da relação água/cimento e da substituição do agregado miúdo artificial pelo agregado miúdo natural.

Corpos de prova dos traços de concreto produzidos foram objetos de ensaio de resistência à compressão, conforme ABNT NBR 5739:2007. Os ensaios a 7, 14 e 28 dias de idade, foram realizados no laboratório externo. Para efeito de comparação, corpos de prova também foram ensaiados nas instalações do Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto Newton Paiva aos 28 dias de idade.

4.2 Caracterização dos materiais

Com a finalidade de comprovar as teorias demonstradas na pesquisa bibliográfica e forma de investigação do estudo de caso, ensaios foram realizados de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras relacionadas à caracterização dos agregados e o comportamento do concreto, demonstrados abaixo.

4.2.1 Agregados miúdos

As Tabelas 1, 2 e 3 e os Gráficos 1 e 2 mostram os resultados da composição granulométrica da areia artificial originada da britagem de rocha de gnaiss, proveniente da Mineração Martins Lana, no município de Contagem/MG e da areia natural, extraída do leito do Ribeirão dos Macacos, no município de Cachoeira da Prata/MG. Amostras desses agregados foram utilizadas em todos os ensaios,

conforme ABNT NBR NM 248:2003. Foram utilizadas peneiras da série normal e série intermediária com malhas de aço conforme especificações contidas na norma ABNT NBR NM-ISO 3310-1:2010.

TABELA 2 – Composição Granulométrica da Areia Artificial

Normal	Peneiras Interm.	Nº	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
75 mm	-	3"		0,0	0,0
-	63 mm	2 1/2"		0,0	0,0
-	50 mm	2"		0,0	0,0
37,5 mm	-	1 1/2"		0,0	0,0
-	31,5 mm	1 1/4"		0,0	0,0
-	25 mm	1"		0,0	0,0
19 mm	-	3/4"		0,0	0,0
-	12,5 mm	1/2"		0,0	0,0
9,5 mm	-	3/8"		0,0	0,0
-	6,3 mm	1/4"		0,0	0,0
4,75 mm	-	4		0,0	0,0
2,36 mm	-	8	1,4	0,2	0,2
1,18 mm	-	16	89,2	14,9	15,1
600 µm	-	30	151,6	25,3	40,4
300 µm	-	50	88,2	14,7	55,1
150 µm	-	100	121,6	20,3	75,4
		Fundo	148	24,6	100,0
TOTAL			600		
Módulo de Finura				1,9	
Dimensão Máxima Característica				2,36 mm	
Umidade				2,0 %	

GRÁFICO 1 – Granulometria da Areia Artificial

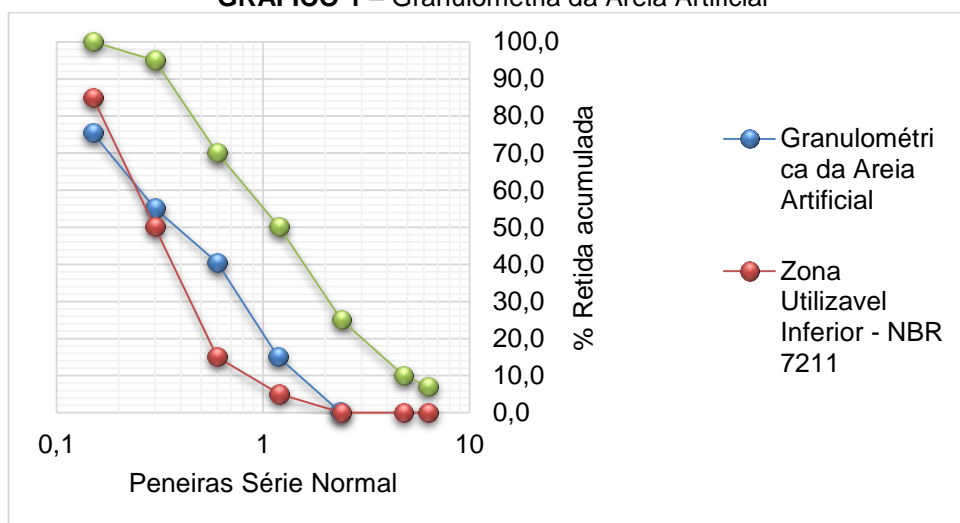


TABELA 3 - Composição Granulométrica da Areia Natural

Normal	Peneiras Interm.	Nº	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
75 mm	-	3"		0,0	0,0
-	63 mm	2 1/2"		0,0	0,0
-	50 mm	2"		0,0	0,0
37,5 mm	-	1 1/2"		0,0	0,0
-	31,5 mm	1 1/4"		0,0	0,0
-	25 mm	1"		0,0	0,0
19 mm	-	3/4"		0,0	0,0
-	12,5 mm	1/2"		0,0	0,0
9,5 mm	-	3/8"		0,0	0,0
-	6,3 mm	1/4"	6,1	1,0	1,0
4,75 mm	-	4	2,8	0,5	1,5
2,36 mm	-	8	13,2	2,2	3,7
1,18 mm	-	16	62,1	10,4	14,1
600 µm	-	30	286,6	47,8	61,9
300 µm	-	50	170,8	28,3	90,2
150 µm	-	100	46,1	7,7	97,9
		Fundo	12,3	2,1	100,0
TOTAL			600		
Modulo de Finura				2,7	
Dimensão Máxima Característica				2,36 mm	
Umidade				4,7%	

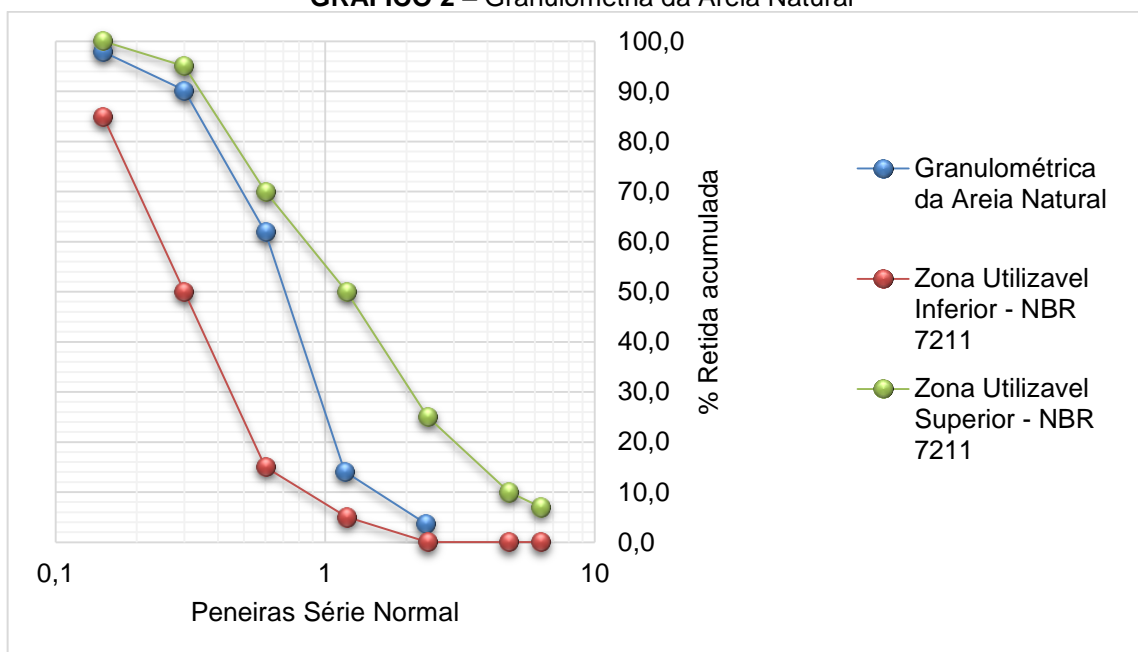
GRÁFICO 2 – Granulometria da Areia Natural

TABELA 4 – Caracterização dos agregados miúdos

Ensaio	Natural	Artificial	Norma ABNT
Massa unitária (real)	1.380 kg/m ³	1.586 kg/m ³	NBR NM 45:2006
Massa específica do agregado seco (absoluta, ou aparente)	2.487 kg/m ³	2.645 kg/m ³	NBR NM 52:2009
Material pulverulento	-	26,16%	NBR NM 46:2003
Dimensão Máxima Característica (DMC)	2,36 mm	2,36 mm	NBR NM 248:2003

4.2.2 Agregado graúdo

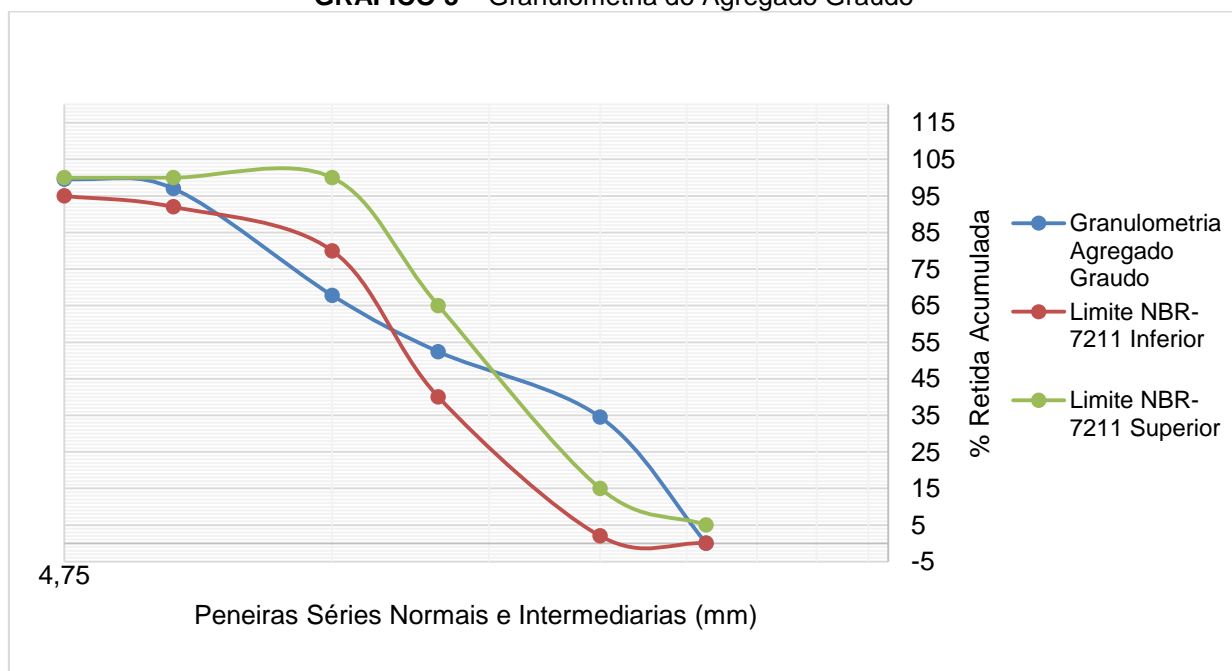
As Tabelas 4 e 5 e o Gráfico 3 mostram os resultados da composição granulométrica do agregado graúdo proveniente da Mineração Martins Lana, no município de Contagem/MG, utilizado em todos os ensaios, conforme ABNT NBR NM 248:2003. Foram utilizadas peneiras da série normal e série intermediária com malhas de aço conforme especificações contidas na norma ABNT NBR NM-ISO 3310-1:2010. Foi adotada a composição de 50% de brita zero e 50% de brita nº 1, em respeito à proporção utilizada pela Construtora Mendes Azevedo em seu traço original.

TABELA 5 – Caracterização dos agregados graúdos

Ensaio	Brita zero (50%) Brita 1 (50%)	Norma ABNT
Massa unitária (real)	1.425 kg/m ³	NBR NM 45:2006
Massa específica do agregado seco (absoluta ou aparente)	2.450 kg/m ³	NBR NM 53:2009
Material pulverulento	-	NBR NM 46:2003
Dimensão Máxima Característica (DMC)	25 mm	NBR NM 248:2003

TABELA 6 – Composição Granulométrica da Brita 1 (50%) e Brita zero (50%)

Normal	Peneiras		Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
	Interm.	Nº			
75 mm	-	3"	0	0,0	0,0
-	63 mm	2 1/2"	0	0,0	0,0
-	50 mm	2"	0	0,0	0,0
37,5 mm	-	1 1/2"	0	0,0	0,0
-	31,5 mm	1 1/4"	0	0,0	0,0
-	25 mm	1"	0,9	0,0	0,0
19 mm	-	3/4"	1720,7	34,5	34,5
-	12,5 mm	1/2"	894,5	17,9	52,4
9,5 mm	-	3/8"	770,8	15,4	67,8
-	6,3 mm	1/4"	1457	29,2	97,0
4,75 mm	-	4	131	2,6	99,6
2,36 mm	-	8	16,3	0,3	99,9
1,18 mm	-	16	0,3	0,0	99,9
600 µm	-	30	0,5	0,0	99,9
300 µm	-	50	0,1	0,0	99,9
150 µm	-	100	0,5	0,0	99,9
		Fundo	7,4	0,1	100,0
TOTAL			5000		
Modulo de Finura				7	
Dimensão Máxima Característica				25 mm	

GRÁFICO 3 – Granulometria do Agregado Graúdo

4.2.3 Concreto

4.2.3.1 Dosagem racional do concreto – Método ABCP

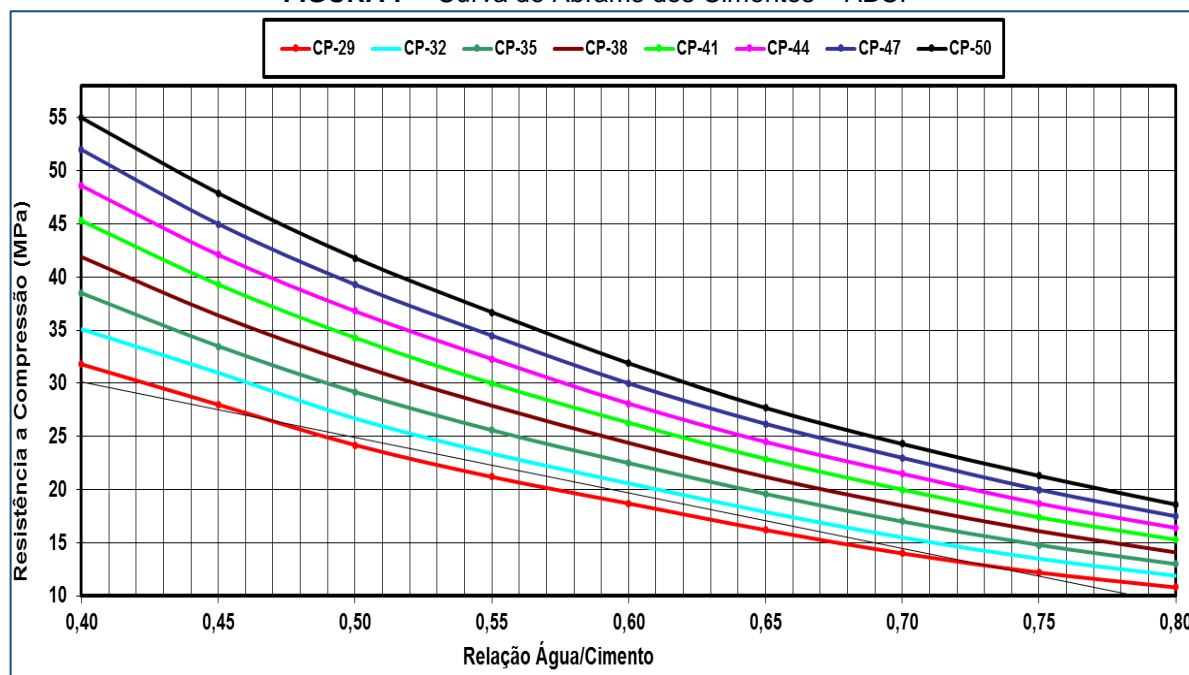
Os traços de concreto elaborados para este estudo baseiam-se no método desenvolvido pela ABCP, conforme Rodrigues (1983).

Tipo do cimento: CP II-E 32

Massa específica real: 3.000 kg/m^3

Resistência à compressão do cimento: 32 MPa. Conforme a norma ABNT NBR 11578:1991, “as classes 25, 32 e 40 representam os mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em MPa”.

FIGURA 7 – Curva de Abrams dos Cimentos – ABCP



Fonte: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/05/curvas-de-abrams.html>

Analisando-se a Figura 7, relativo à curva de Abrams, para o cimento portland CP II-E 32 será utilizada a relação água/cimento 0,46, o que permite a formulação de um concreto com 30 MPa, características próxima ao traço original de obra estudada.

TABELA 7 – Consumo Aproximado de Água

Abatimento do Tronco de Cone (mm)	Dimensão Máxima Característica do Agregado Graúdo (mm)			
	9,5	19,0	25,0	32,0
40 a 60	215	185	180	175
60 a 80	220	190	185	180
80 a 100	225	195	190	185

Fonte: RODRIGUES, 1983, p. 22.

Abatimento do tronco de cone: 80 a 100 mm

Consumo aproximado de água (DMC = 25 mm): $C_w = 190 \text{ kg/m}^3$

Consumo de cimento (C): 413 kg/m^3

$$C = \frac{C_w}{a/c} = \frac{190}{0,46} = 413 \text{ kg/m}^3$$

Consumo de agregado graúdo:

TABELA 8 – Volume do Agregado Graúdo Compactado por m^3

$\begin{matrix} D_{\text{max}} \\ \text{MF} \end{matrix}$	9,5	19,0	25,0	32,0
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660

Fonte: RODRIGUES, 1983, p. 24.

Módulo de Finura da areia artificial: MF = 1,9 (será adotado 2,2)

Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo: DMC = 25 mm

Volume aparente compactado de agregado graúdo seco: $V_{ap} = 0,755 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Massa unitária do agregado graúdo compactado: $\mu_u = 1.425 \text{ kg/m}^3$

Consumo de agregado graúdo: C_b

$$C_b = \mu_u \times V_{ap} = 1.425 \text{ kg/m}^3 \times 0,755 \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad C_b = 1.075 \text{ kg/m}^3$$

Volume de areia artificial : (V_a)

$$V_a = 1 - (C/P_c + C_b/P_b + C_w)$$

$$V_a = 1 - (413/3000 + 1.075/2450 + 190/1000)$$

$$V_a = 0,233 \text{ m}^3$$

Consumo de areia artificial : Ca_{art}

$$Ca_{art} = Pa_{art} \times V_{a_{art}} = 2645 \times 0,233$$

$$Ca_{art} = 616 \text{ kg / m}^3$$

Consumo de areia natural : Ca_{nat}

$$Ca_{nat} = Pa_{nat} \times V_{a_{nat}} = 2.487 \times 0,233$$

$$Ca_{nat} = 580 \text{ kg / m}^3$$

Traço em relação à massa de cimento:

$$1 : Ca_{art}/C : C_b/C \quad 1 : (616/413) : (1.075/413) \quad 1 : 1,5 : 2,6$$

$$1 : Ca_{nat}/C : C_b/C \quad 1 : (580/413) : (1.075/413) \quad 1 : 1,4 : 2,6$$

TABELA 9 – Traço do Concreto

Material	1 m ³	Saco cimento (50 kg)
Cimento	413	50
Areia Artificial	616	75
Areia Natural	580	70
Brita nº 1	1075	130
Água	190	23

4.2.3.2 Ensaios laboratoriais

Ao ser produzido, cada traço de concreto passou pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, conforme preconiza a ABNT NBR NM 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone) para verificação de sua consistência.

Para cada traço, foram produzidos 6 corpos de prova, conforme ABNT NBR 5738:2015 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova), em moldes cilíndricos de 20 cm de altura por 10 cm de diâmetro. Os corpos de prova foram devidamente armazenados e curados conforme estabelecido pela ABNT NBR 9479:2006 (Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova).

Para o laboratório externo foram encaminhados 4 corpos de prova de cada traço para realização do ensaio de resistência à compressão. Nas idades de 7 e 14 dias, foi ensaiado um corpo de prova de cada um dos 8 traços estabelecidos apenas com o intuito de acompanhar a evolução da resistência à compressão do concreto. Na idade de 28 dias, foram rompidos 2 corpos de prova de cada traço, conforme demonstrado nas tabelas abaixo.

TABELA 10 - Ensaio de resistência à compressão x relação água/cimento – ABNT 5739:2007, com agregado miúdo natural

T r a ç o	C P	S L U M P	Resistência (MPa)		Traço para 50 kg de cimento					A/C
			Newton Paiva	Laboratório Externo	Água de amassamento (kg)	Areia Natural (kg)	Água Umidade 2% (kg)	Água Total (kg)	Cimento (kg)	
1	A	60	28,8	27,5	20	70	1,4	21,4	50	0,43
1	B	60	26,8	26,9	20	70	1,4	21,4	50	0,43
2	A	150	25,0	24,0	23	70	1,4	24,4	50	0,49
2	B	150	27,8	22,5	23	70	1,4	24,4	50	0,49
3	A	250	22,7	23,2	30	70	1,4	31,4	50	0,63
3	B	250	19,5	25,0	30	70	1,4	31,4	50	0,63
4	A	280	18,4	18,5	35	70	1,4	36,4	50	0,73
4	B	280	18,9	20,1	35	70	1,4	36,4	50	0,73

TABELA 11 - Ensaio de resistência à compressão x relação água/cimento – ABNT 5739:2007, com agregado miúdo natural

T r a ç o	C P	S L U M P	Resistência (MPa)		Traço para 50 kg de cimento					
			Newton Paiva	Laboratório Externo	Água de amassamento (kg)	Areia Artificial (kg)	Água Umidade 4,7% (kg)	Água Total (kg)	Cimento (kg)	A/C
5	A	60	31,1	26,4	23	75	3,5	26,5	50	0,53
5	B	60	33,6	26,6	23	75	3,5	26,5	50	0,53
6	A	180	24,5	24,5	30	75	3,5	33,5	50	0,67
6	B	180	23,5	25,0	30	75	3,5	33,5	50	0,67
7	A	230	20,3	23,4	35	75	3,5	38,5	50	0,77
7	B	230	24,7	22,9	35	75	3,5	38,5	50	0,77
8	A	280	20,5	18,5	40	75	3,5	43,5	50	0,87
8	B	280	18,7	19,8	40	75	3,5	43,5	50	0,87

TABELA 12 – Comparação dos Resultados dos Ensaio de resistência obtidos para os dois tipos de agregado miúdo

NEWTON PAIVA		LABORATÓRIO EXTERNO	
Resistência x relação a/c		Resistência x relação a/c	
Agregado Natural		Agregado Natural	
Resistência (MPa)	Relação a/c	Resistência (MPa)	Relação a/c
28,8	0,47	27,5	0,47
27,8	0,53	24,0	0,53
22,7	0,67	25,0	0,67
18,9	0,77	20,1	0,77
Agregado Artificial		Agregado Artificial	
Resistência (MPa)	Relação a/c	Resistência (MPa)	Relação a/c
33,6	0,49	26,6	0,49
24,5	0,63	25,0	0,63
24,7	0,73	23,4	0,73
20,5	0,83	19,8	0,83

Nos Gráficos 4 e 5 foram correlacionados os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão com as respectivas relações de água/cimento de cada traço. Esta mesma correlação foi extraída da curva de Abrams.

GRÁFICO 4 – Ensaio de Resistência à Compressão - Resultados obtidos no Laboratório Newton Paiva

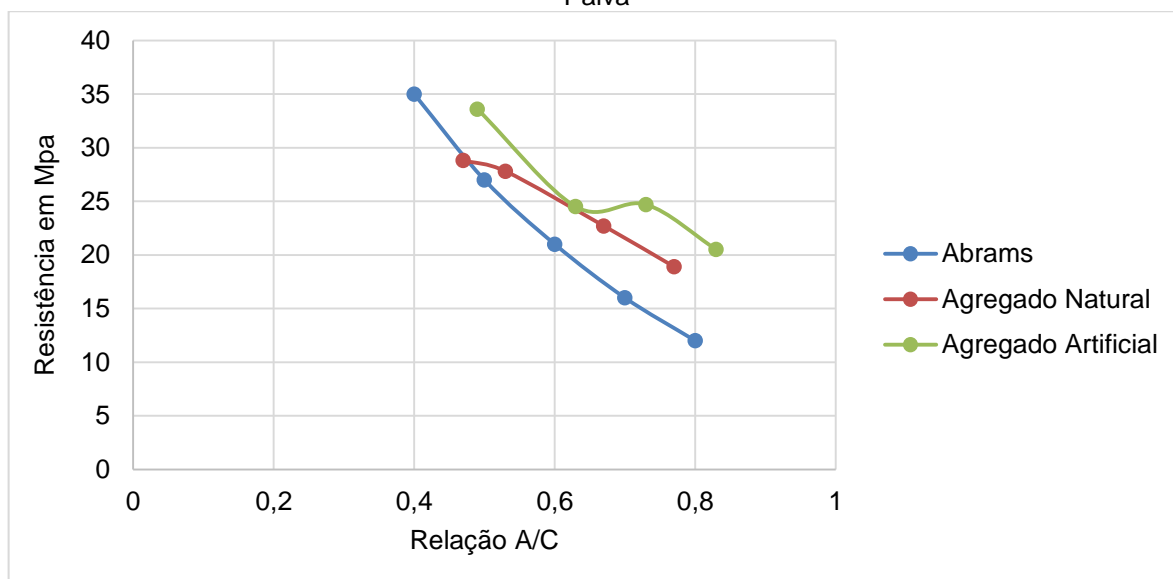
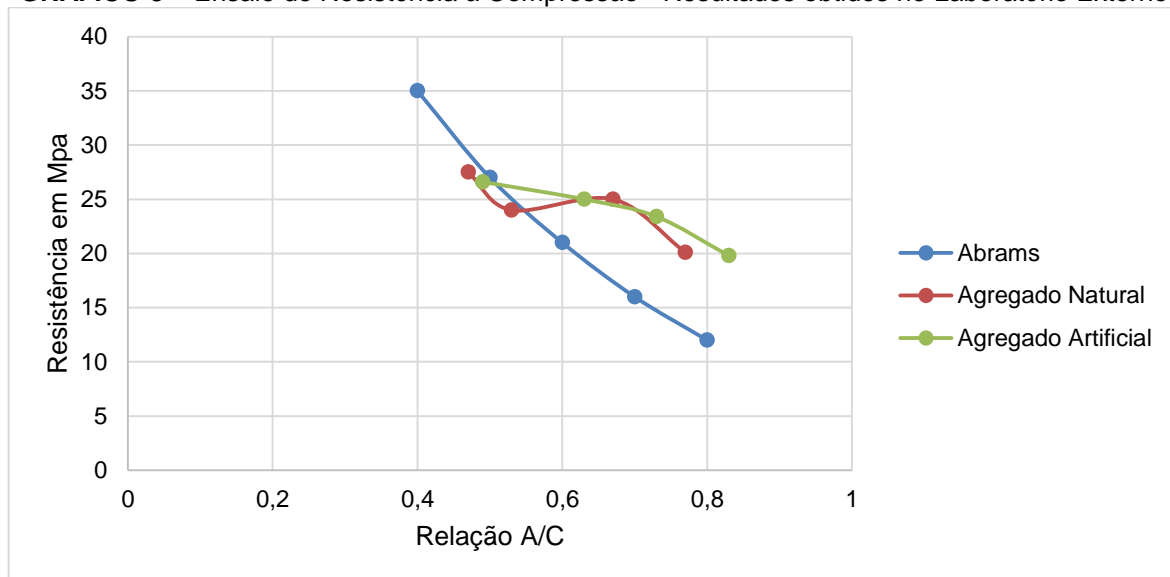


GRÁFICO 5 – Ensaio de Resistência à Compressão - Resultados obtidos no Laboratório Externo



Pode-se observar pelos Gráficos 4 e 5 que, o aumento da água de amassamento na produção dos concretos e, conseqüente aumento da relação água/cimento, provocou a redução da resistência à compressão do concreto.

Os corpos de prova examinados no laboratório do Instituto Newton Paiva apresentaram uma redução de na resistência à compressão da ordem de até 34,4% para o agregado miúdo natural e de até 39,0% para o agregado miúdo artificial.

Os corpos de prova examinados no laboratório externo apresentaram uma redução de na resistência à compressão da ordem de até 26,9% para o agregado miúdo natural e de até 25,6% para o agregado miúdo artificial.

Esta redução de resistência já era prevista pela curva de Abrams, conforme Menossi (2004), entretanto, pode-se verificar que esta curva apresenta um aspecto quase linear, enquanto que as curvas elaboradas neste trabalho apresentam um aspecto mais sinuoso, até mesmo com pontos de inflexão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo analisou o comportamento do concreto sujeito a esforços de compressão, a partir de traços produzidos com variação da relação água/cimento e com a utilização dos dois tipos de agregados miúdos: areia natural e artificial. Para isso, todas as etapas propostas nos objetivos específicos foram cumpridas.

Através da análise de corpos de prova em ensaios de resistência à compressão constatou-se a redução da resistência dos concretos, fato já previsto na curva de Abrams e também no método de dosagem racional de concreto da ABCP.

Entretanto, as curvas de resistência à compressão x relação água/cimento elaboradas neste trabalho não apresentam a mesma previsibilidade da curva de Abrams, denotada pela sua forma quase linear.

Tal fato se deve à diferença de metodologias adotadas na produção das amostras de concreto para realização dos ensaios. Abrams, segundo Recena (2015), manteve constante a trabalhabilidade dos diversos traços de concretos analisados em seu estudo, através da fixação de um valor para o ensaio de abatimento do tronco de cone (ABNT NBR NM 67:1998), também conhecido como “slump”. Já neste trabalho, adotou-se a alteração dos valores de “slump” como método de produção de traços de concreto diferentes entre si.

Enquanto Abrams procurou estabelecer uma regra previsível para o cálculo de traços com resistência à compressão pré-definida, nesse trabalho procurou-se analisar as consequências de um erro de procedimento na produção de concreto em obra pela adição, não prevista no traço original, de água de amassamento, alterando a relação água x cimento pré-estabelecida.

Constatou-se que a granulometria dos agregados influencia o grau de redução da resistência dos concretos provocada pelo aumento da água de amassamento. Segundo Menossi (2004), o formato mais cúbico e lamelar do agregado miúdo artificial, com maior percentual de material fino, requer um volume maior de água de amassamento para se alcançar a mesma trabalhabilidade. Para o slump 60 mm, o

acréscimo do volume de água de amassamento entre os agregados natural (21,4 litros) e artificial (26,5 litros), chega a 23,8%.

De acordo com Recena (2015), “sobre a massa de materiais secos que compõem o concreto, usa-se, em geral, algo em torno de 9,5% de água”. Segundo o método de dosagem racional do concreto da ABCP, a quantidade de agregado miúdo somente é definida após o cálculo das quantidades de água, cimento e agregados graúdos. Assim, um simples acréscimo de água de amassamento acima do traço pré-estabelecido altera todas as proporções adequadas de cimento, e agregados. Na verdade, torna-se um novo traço de concreto, de comportamento imprevisível no ato de fabricação do concreto, quanto à resistência à compressão que atingirá e demais características físicas. Por este motivo, este procedimento muito comum em canteiros de obras deve ser sempre evitado.

Os valores de resistência à compressão obtidos com o mesmo volume de água de emassamento para o agregado artificial chegam a ser ligeiramente superiores aos valores obtidos com o agregado natural. Todavia, as divergências entre os valores obtidos pelos laboratórios para um mesmo traço não permitem uma conclusão exata a respeito.

Vale ser destacado que, segundo Menossi (2004), o aumento da relação água/cimento reduz a resistência à compressão do concreto, mas também altera sua porosidade, permeabilidade, durabilidade, dentre outras características físicas.

Com relação ao resultado do ensaio de resistência à compressão que resultou o estudo de caso, percebe-se que o traço original e o traço com acréscimo de água, obtiveram a mesma resistência com a idade de 28 dias. Entretanto, o traço com acréscimo de água apresentou-se com menor resistência aos 7, 14 e 56 dias. Esse comportamento discrepante dos resultados encontrados nesse trabalho pode ser resultado de variações na granulometria do agregado miúdo artificial, principalmente devido ao teor de materiais pulverulentos.

Em relação ao custo para aplicação dos agregados miúdos naturais e artificiais na composição do concreto, no mercado de Belo Horizonte/MG em maio de 2016, a

areia natural média lavada peneirada pode ser encontrada no valor de R\$ 42,73/tonelada. Já a areia artificial média lavada gnaisse pode ser encontrada pelo valor de R\$ 52,00/tonelada.

Entretanto, a areia artificial apresenta vantagens em relação à areia natural que compensam o seu custo financeiro mais elevado, conforme afirmado por Menossi, 2004:

- Redução do impacto ambiental da exploração de jazidas para extração de areia natural, especialmente de rios, reduzindo ainda os rejeitos da produção;
- Os materiais finos presentes na areia artificial melhoram a trabalhabilidade e a resistência à compressão do concreto quando comparados com concretos sem a presença de finos;
- Redução do consumo de cimento, especialmente em misturas mais pobres;
- Produz concretos de maior durabilidade, com maior compacidade e menor permeabilidade.

A areia artificial apresenta ainda menor teor de argila e materiais orgânicos prejudiciais ao concreto, tendo em vista ser produzida por processo industrializado de britagem de rocha.

Como o presente trabalho limitou-se à análise da resistência à compressão do concreto pela alteração da relação água / cimento, diversos outros assuntos podem ser estudados a partir de suas conclusões, tais como a análise da porosidade, desgaste à abrasão e uso de aditivos plastificantes em substituição à adição de água.

6 REFERÊNCIAS

ADES, Andréa Zebulun. **A Importância do Controle Tecnológico na Fase Estrutural em Obras de Edificações**. 2015. 89 p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC Engenharia Civil) – da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013703.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. Agregados. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000, cap. 6, p. 63-120.

ANDRADE, Tibério; HELENE, Paulo. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1 ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2010. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wpcontent/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2016.

ANDRADE, Tibério; HELENE, Paulo. **Construção Egípcia: Pirâmide Escalonada de Djoser**. 2010, p. 908. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wpcontent/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2016.

ANDRADE, Tibério; HELENE, Paulo. **Pasta do mesmo cimento Portland com diferentes relações água/cimento**: da esquerda para direita e de cima para baixo: 0,60, 0,50, 0,40 e 0,30. 2010, p. 920. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wpcontent/uploads/2014/07/lc48.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2016.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira; TUTIKIAN, Bernardo F. Resistência Mecânica do Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 17, p. 615-652.

ARAÚJO, F. E. *et al.* **Influência da Sequência de Mistura dos Materiais na Betoneira na Resistência do Concreto de Alto Desempenho**. In: Foz do Iguaçu: 43º. Congresso Brasileiro de Concreto, 2001. v. 1. p. 21-33. *apud* MARTINS, Paulo Benjamim Moraes. **Influência da Granulometria Agregado Miúdo na Trabalhabilidade do Concreto**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTINS.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Boletim Técnico - Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. 28 p. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Composição dos Cimentos Portland**. 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Evolução Média de Resistência à Compressão dos Distintos Tipos de Cimento Portland**. 1996. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 46. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009 .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248. Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM-ISO 3310-1. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739. Concreto- Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211. Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7219. Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9479. Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9776. Agregados – Determinação da massa específica por meio do frasco de Chapman.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11578. Cimento Portland composto – Especificação.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12655. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSUNÇÃO, José Wilson. **Curvas de Dosagem para Concretos Convencionais e Aditivados Confeccionados com Materiais da Região Noroeste do Paraná.** 2002. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83112/226913.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 31 maio 2016.

BARBOSA, Maria Teresa Gomes; COURA, Cláudia Valéria Gávio; MENDES, Larissa de Oliveira. **Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto.** 2008. 60 f. Artigo publicado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/5047/4719>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

BASTOS, Sandra Regina Bertocini. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais.** 2002. 119 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84274/212200.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 6, p. 185-232.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão; NORONHA, M. A. Azevedo. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção.** 5.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000, cap. 7, p. 186-239.

COMUNIDADE da Construção. **Comparação das Leis de Abrams, Lyse e Molinari.** Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/75/anexo/2relac.p>>. Acesso em: 15 maio 2016.

CLUBE DO CONCRETO. **Curva de Abrams dos Cimentos – ABCP**. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/05/curvas-de-abrams.html>>. Acesso em: 24 maio 2016.

CLUBE DO CONCRETO. **Gráfico para a determinação da relação água cimento em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade**. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>>. Acesso em: 4 abr. 2016.

DRAGO, Cristina; VERVEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Fernanda Macedo. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000300021>. Acesso em: 11 mar. 2016.

FORTES, Rita Moura; MERIGHI, João Virgílio. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, 2004. **Controle Tecnológico e Controle de Qualidade – Um Alerta Sobre sua Importância**. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/08_656.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2016.

GASPARETTO, Patrycia Alberton; ONUK, Michele Akemi Fatiga. **Comparativo das Propriedades do Concreto no Estado Fresco e Endurecido com Adição de Fibras de Aço e de Polipropileno**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT_TCC_2013_1_03.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2016.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Gráfico da Resistência à Compressão em Relação ao Fator Água/Cimento**. 1992, p. 129.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1992. 332 p.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Principais Fatores que Influenciam o Resultado da Resistência à Compressão Potencial do Concreto Medida no Ensaio de Controle**. 1992, p. 135.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 12, p. 415-452.

ISAIA, Geraldo Cechella. A Água no Concreto. In: _____. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 9, p. 311-346.

KUCK, Denis Weisz. Areia artificial reduz impacto ambiental de construção civil. **Ciência Hoje Online**. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/tecnologia/areia-artificial-reduz-impacto-ambiental-de>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostragens e Técnicas de Pesquisa, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 7. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2015, 277 p.

MANZO, Abelardo J. **Manual para la Preparacion de Monografias**: una guía para presentar informes y tesis. 2 ed. Buenos Aires. Editora Humanitas, 1973. *apud* LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas, Amostragens e Técnicas de Pesquisa, Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 7. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2015, 277 p.

MARTINS, Paulo Benjamim Moraes. **Influência da Granulometria Agregado Miúdo na Trabalhabilidade do Concreto**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTINS.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2016.

MEIER, Denis. **Análise da Qualidade do Agregado Miúdo Fornecido em Curitiba e Região Metropolitana**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Ecoville, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1402/1/CT_TCC_2011_2_04.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2016.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do Pó de Pedra Basáltica em Substituição à Areia Natural do Concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90740/menossi_rt_me_ilha.pdf?sequence=1>. Acesso em: 8 mar. 2016.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3 ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2008. 674 p.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARVIWIN, D. **Concrete**. Upper Saddle River, Pretince Hall, 2 ed, 2003. *apud* ISAIA, Geraldo Cechella. A Água no Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011. 1946 p.

NEVILLE, A. M; BROOKS J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2013. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=cqY5AgAAQBAJ&pg=PR3&lpg=PR3&dq=engenharia+civil+neville&source=bl&ots=RVtFzEAvV1&sig=A5lh6NLK6FEh4xBsXPm1lzSxccl&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwiTmZfr7cL>>

MAhWDkpAKHSh6CZUQ6AEIUTAD#v=onepage&q=engenharia%20civil%20neville&f=false>. Acesso em: 05 abr. 2016.

NEVILLE, Adam M. Tad. S. G. **Propriedades do Concreto**. São Paulo, PINI, 1982. *apud* MEIER, Denis. **Análise da Qualidade do Agregado Miúdo Fornecido em Curitiba e Região Metropolitana**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Ecoville. Curitiba, 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1402/1/CT_TCC_2011_2_04.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5.ed. São Paulo: Bookman, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=dYOPCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&ots=l9iMSuOqTC&sig=6P15eeU_EiDAnlfZciTnDtcsGL8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 5 abr. 2016.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Cimento Portland. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000, cap. 3, p. 35-62.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. **Classificação geral das características e Propriedades do Concreto Endurecido (Adaptado)**. 2000, p. 285.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Propriedades do Concreto Endurecido. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000, cap. 10, p. 284-313.

PEDROSO, Luís Fábio. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e Construções – IBRACON: Instituto Brasileiro de Concreto**. São Paulo, v.53, 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

PEREIRA, Mike da Silva. **Controle da Resistência do Concreto: Paradigmas e Variabilidades – Estudo de Caso**. 2008. 107 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3988/1/2008_MikedaSilvaPereira.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2016.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/83224078/Concreto-Portland-Petrucchi>>. Acesso em: 5 maio 2016.

PRODUTIVIDADE da Construção Civil Brasileira. Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/068.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. 3. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015. 120p.

RECENA, Fernando A. P.; PEREIRA, Fernanda Macedo. Produção e Controle de Concreto em Obras. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 15, p. 537-584

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Parâmetros da Dosagem Racional do Concreto**. In: 34ª Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1983. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/34aRTIC1983.pdf>. Acesso em: 29 maio 2016.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998, *apud* ASSUNÇÃO, José Wilson. **Curvas de Dosagem para Concretos Convencionais e Aditivados Confeccionados com Materiais da Região Noroeste do Paraná**. 2002. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83112/226913.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 31 maio 2016.

ROMANO, Roberto Cesar de O.; CARDOSO, Fábio A.; PILLEGI, Rafael G. Propriedades do Concreto no Estado Fresco. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 13, p. 453-500.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Classificação e Utilização do Agregado Graúdo**. 2011, p. 20

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Classificação e Utilização do Agregado Miúdo**. 2011, p. 20.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG - Escola de Engenharia da UFMG, 2011. 112 p.

SALGADO, Júlio Cesar Pereira. **Técnicas e Práticas Construtivas para Edificação**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2011. 320 p.

SBRIGHI NETO, Claudio. Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2011, cap. 7, p. 233-260.

SILVA, Moema Ribas. **Materiais de Construção**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1991. 267p.




SOBRAL, Ernani Sávio. Propriedades do Concreto Fresco. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000, cap. 9, p. 267-282.

ANEXOS

ANEXO I

Resultado do ensaio de resistência à compressão do concreto com dosagem alterada no Canteiro de Obras - Estudo de Caso

Resultado dos ensaios de resistência à compressão do concreto realizados com corpos de prova produzido na Construtora Mendes Azevedo para o traço alterado no canteiro de obras – Estudo de Caso.

Relatório Nº 4060-14 Pag 1/1	 					
ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CONCRETO (NBR 5739 ABNT)						
INTERESSADO: CONSTRUTORA MENDES AZEVEDO LTDA OBRA: ED. ROMA						
CARACTERÍSTICAS CONCRETO						
FCK-MPa	30,0	Procedência	VIRADO EM OBRA			
Volume (m³)	16,0	Cimento	HOLCIM CP II E-32			
Data Concretagem	21/05/2014	Agregados	AREIA ARTIFICIAL BRITA 1			
Moldador	INTERESSADO	Aditivo	NAO ESPECIFICADO			
Peça Concretada: PISO GARAGEM.;						
RESULTADOS - Tipo Corpo de Prova: 10 x 20 cm						
Corpo Prova Nº	Hora Moldagem	Slump (mm)	Data Ruptura	Idade (dias)	Resistência (MPa)	NF
15-1	11h00min	-	28/05/2014	07	32,2	
15-2	11h00min	-	04/06/2014	14	33,0	
15-3	11h00min	-	18/06/2014	28	34,3	
15-4	11h00min	-	18/06/2014	28	33,5	
15-5	11h00min	-	16/07/2014	56	46,9**	
15-6	11h00min	-	16/07/2014	56	47,8**	
16-1	11h00min	-	28/05/2014	07	20,8	
16-2	11h00min	-	04/06/2014	14	25,5	
16-3	11h00min	-	18/06/2014	28	34,7	
16-4	11h00min	-	18/06/2014	28	30,1	
16-5	11h00min	-	16/07/2014	56	40,0**	
16-6	11h00min	-	16/07/2014	56	38,7**	
**RESULTADOS SATISFATÓRIOS NA IDADE DE 56 DIAS.						
Observações:						
Notas: - Tipo de preparo das faces do corpo de prova: retifica horizontal para corpo de prova de concreto. - Classe da máquina de ensaio: prensa hidráulica de acionamento elétrico para ensaio de concreto (Classe I), certificado(s) de calibração nº 09421/14 e 09423/14.2. - Este documento somente poderá ser reproduzido com autorização prévia e na íntegra, sendo proibida a sua reprodução parcial. - Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada.					Belo Horizonte, 19/08/2015  (Reprodução Digital) Rubens José Pedrosa Reis RT CREA 11409/D	
PEDROSA E NASCIMENTO ENGENHARIA E CONSULTORIA SOCIEDADE SIMPLES LTDA Rua Niágara 249 A, Jardim Canada, Nova Lima-MG CEP 34.000-000 Telefax: (31) 3581-3458 E-mail: concreto@consultarelaboratorio.eng.br www.consultarelaboratorio.eng.br						

ANEXO II

Registro Fotográfico dos Ensaios

Registro fotográfico dos ensaios de verificação da composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos realizados no Laboratório de Construção Civil da Newton Paiva.



Registro fotográfico do ensaio para verificação da massa específica de agregados miúdos, realizado no Laboratório de Construção Civil da Newton Paiva.



Registro fotográfico do ensaio para verificação da massa unitária dos agregados, realizados no Laboratório de Construção Civil da Newton Paiva.



Registro fotográfico do ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (método do *Slump Test*), realizado no canteiro de obras da Construtora Mendes Azevedo.



Registro fotográfico dos procedimentos para moldagem dos corpos de prova de concreto, realizado no canteiro de obras da Construtora Mendes Azevedo.



Registro fotográfico dos procedimentos para armazenamento e cura dos corpos de prova de concreto, realizado no Laboratório de Construção Civil da Newton Paiva.



Registro fotográfico dos procedimentos para ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, realizado no Laboratório de Construção Civil da Newton Paiva.

