



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA - CT

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DANILO HENRIQUE MEDEIROS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS POBRES COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA-PB**

JOÃO PESSOA - PB

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA - CT

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – DECA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DANILO HENRIQUE MEDEIROS DE OLIVEIRA

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS POBRES COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA-PB**

Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, apresentado como requisito para obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azerêdo.

JOÃO PESSOA - PB

2018

Catálogo na publicação

Seção de Catalogação e Classificação

O48e Oliveira, Danilo Henrique Medeiros de.
ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS POBRES COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA-PB / Danilo Henrique
Medeiros de Oliveira. - João Pessoa, 2018.
60 f. : il.

Orientação: GIVANILDO ALVES DE AZEREDO.
TCC (Especialização) - UFPB/TECNOLOGIA.

1. CONCRETO; TEOR DE ARGAMASSA; RESISTÊNCIA. I.
AZEREDO, GIVANILDO ALVES DE. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE JULGAMENTO

**DANILO HENRIQUE MEDEIROS DE OLIVEIRA
ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS POBRES COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA-PB**

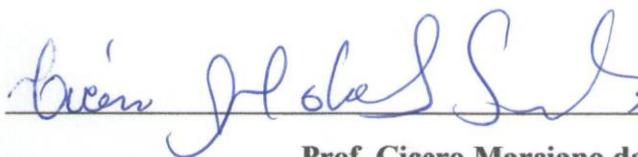
Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 01/11/2018 perante a seguinte Banca

Julgadora:

 APROVADO

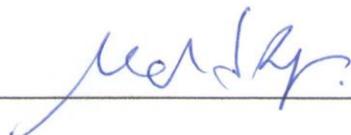
Prof. Givanildo Alves de Azeredo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

 APROVADO

Prof. Cicero Marciano da Silva Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia IFPB

 APROVADO

Prof. Marcos Alyssandro Soares dos Anjos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia IFPB



Prof.a Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Matrícula Siape: 1668619

Dedico, em primeiro lugar, a Deus, pois sem ele não seria possível a realização deste trabalho. Dedico também a todos os familiares, amigos e professores que de alguma forma, mesmo que indiretamente, contribuíram para me tornar apto a transformar este trabalho em realidade.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por tudo que ele fez e faz por mim, pois é graças a ele que eu tive a oportunidade de vir ao mundo, ter tido desenvolvimento físico e mental e a oportunidade de fazer o curso que almejei.

Aos meus pais e irmãos, por sempre estarem presentes me dando incentivo e ajuda.

A Raimundo Neto e Pedro Siqueira, pois me acompanharam de perto, ajudando-me e incentivando-me, ao longo de todo caminho necessário para realização deste trabalho

A Keroly Andrade, pois sempre esteve ao meu lado me ajudando da forma que podia.

Aos técnicos do Laboratório de materiais e estruturas – LABEME, em especial a Delby, Sebastião e Otoniel pela ajuda e atenção dada durante a execução dos ensaios.

Aos meus amigos da vida pessoal e acadêmica, pois me ajudaram em momentos difíceis que surgiam no transcorrer do curso.

Agradeço ao Laboratório de materiais e estruturas – LABEME da UFPB pelo espaço cedido.

Agradeço ao meu professor orientador, Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo pela paciência e ajuda ao longo dessa jornada e por sempre querer o melhor para a realização deste trabalho.

RESUMO

O concreto é o material mais utilizado na indústria da construção civil, por isso há a necessidade de estudar o seu comportamento, pois mesmo sendo um material amplamente utilizado, possui uma complexidade enorme. Dessa forma, o presente trabalho visou trazer um estudo na dosagem de concreto numa faixa considerada pobre em consumo de cimento com teores de argamassa variando de 0,52 até 0,62. Foram consideradas duas situações. A primeira, utilizando apenas água para chegar a uma trabalhabilidade suficiente para a moldagem de corpos de prova. A segunda, em busca de um abatimento próximo dos seis centímetros, limitando o consumo de água e acrescentando aditivo. Foram realizados ensaios para a caracterização do concreto e dos seus agregados. Para os agregados do concreto, foram realizados os ensaios estabelecidos por norma para cada um deles. Já para o concreto, decidiu-se priorizar a análise de sua consistência, através do ensaio de abatimento e da sua resistência à compressão axial. Com os resultados dos ensaios, observou-se um comportamento oscilatório na resistência à compressão do concreto, quando se varia o seu teor de argamassa, diferentemente do esperado que seria a existência de um teor de argamassa ideal, apresentando maior resistência, seguido por outros teores com resistência gradativamente menores. Além disso, viu-se a influência do aditivo plastificante na trabalhabilidade do concreto sem que aconteça alteração marcante na resistência do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto; Teor de argamassa; Resistência à compressão axial.

ABSTRACT

The concrete for being the most popular material in the industry of civil building it has the extreme necessity to study your behavior because also been a material widely used has a huge complexity. In that way, the present work aimed to bring a huge study on the concrete dosing in a range considered poor in cement consumption with grout contents ranging from 0.52 to 0.62. Were considered two situations. The first using just water to arrive enough workability for molding test bodies. The second, in search of a reduction of about six centimeters, bounding the water consumption and adding additive. Were done experiments for the characterization of concrete and its aggregates. To the aggregate of the concrete were realized the established tests by a standard to each one of them. As for the concrete, was decided to prioritize the consistency of its analysis through the abatement test and its resistance to axial compression. With the results of the tests, it was observed an oscillatory behavior in the compressive strength of the concrete, when its content of mortar, different from the expected one that would be the existence of an ideal mortar content, presenting greater resistance, followed by other contents with gradually lower resistance. Beyond that, it was seen the influence of the plasticizer additive on the workability of the concrete without any marked change in the strength of the concrete.

KEYWORDS: Concrete; mortar content; Resistance to axial compression.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	<i>Objetivos</i>	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	<i>Concreto</i>	17
2.2	<i>Componentes do concreto</i>	18
2.2.1	Aglomerantes	18
2.2.2	Agregados	18
2.2.3	Água	18
2.2.4	Aditivos	18
2.3	<i>Traço</i>	19
2.4	<i>Teor de argamassa</i>	19
2.5	<i>Fator água cimento</i>	20
2.6	<i>Abatimento</i>	21
2.7	<i>Consumo de cimento</i>	22
2.8	<i>Corpo de prova de concreto</i>	23
2.9	<i>Cura</i>	24
2.10	<i>Resistência à Compressão</i>	24
2.11	<i>Ensaio de Granulometria</i>	25
2.12	<i>Ensaio de massa específica aparente do agregado seco</i>	29
2.13	<i>Teor de umidade</i>	29
2.14	<i>Método de dosagem HELENE & TERZIAN</i>	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	<i>Granulometria</i>	31
3.2	<i>Massa específica aparente do agregado seco</i>	33
3.3	<i>Teor de umidade da areia</i>	34
3.4	<i>Estudo de dosagem</i>	35
3.5	<i>Corpos de prova</i>	36

3.6	<i>Ensaio de resistência à compressão axial</i>	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	<i>Caracterização dos materiais</i>	40
4.1.1	Granulometria	40
4.1.2	Massa específica aparente do agregado seco.....	44
4.1.3	Teor de umidade da areia	44
4.2	<i>Estudo de dosagem</i>	45
4.2.1	Cálculo do traço	45
4.2.2	Volume do traço	46
4.2.3	Água cimento e aditivo no traço	48
4.2.4	Resistência à compressão	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
5.1	<i>Conclusão</i>	55
5.2	<i>Sugestões para trabalhos futuros</i>	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	APÊNDICE A – CÁLCULO DOS PARÂMETROS DOS ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS	59
	APÊNDICE B – CÁLCULOS PARA MASSA APARENTE DO AGREGADO SECO ...	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Cone de Abrams.....	21
Figura 2- Modelo de molde usado para os corpos de prova.....	23
Figura 3- Tanque para cura dos corpos de prova	24
Figura 4- Classificação quanto a curva granulométrica dos agregados.....	28
Figura 5- Conjunto de peneiras para agregado miúdo	32
Figura 6-Conjunto de peneiras para agregado graúdo	32
Figura 7 - massa do conjunto recipiente mais placa de vidro	33
Figura 8- Massa do recipiente, da placa de vidro e do agregado miúdo.....	34
Figura 9- massa do conjunto frasco mais areia mais água mais placa de vidro	34
Figura 10 - Massa final da cápsula com areia	35
Figura 11 - Medição do abatimento do concreto	37
Figura 12 - Concreto na bandeja para mistura manual	38
Figura 13 - Corpos de prova aguardando o final da pega	38
Figura 14 - Ensaio de resistência à compressão axial.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Evolução da resistência à compressão do concreto ao longo do tempo	17
Tabela 2- Consistência do concreto por elemento estrutural, para adensamento mecânico	21
Tabela 3- Tolerância para realização do ensaio.	25
Tabela 4- Série de peneiras.....	26
Tabela 5- Limites da distribuição granulométrica dos agregados miúdos	27
Tabela 6- Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	27
Tabela 7 - Ensaio de granulometria do agregado miúdo	40
Tabela 8- Ensaio de granulometria do agregado graúdo	41
Tabela 9 - Valores dos coeficientes de curvatura e de não uniformidade	43
Tabela 10- Valores obtidos após ensaio de massa específica aparente da areia	44
Tabela 11- Valores obtidos após ensaio de massa específica aparente da brita	44
Tabela 12 - Resultado obtido com ensaios de teor de umidade.....	45
Tabela 13- Quantidades de areia e brita para 1 Kg de cimento	46
Tabela 14- Dados para o cálculo do consumo de cimento	46
Tabela 15- Consumo de cimento por metro cúbico	47
Tabela 16- Massa de materiais para cada traço	48
Tabela 17- Água cimento e Abatimento na situação 1.....	49
Tabela 18- Água cimento e abatimento para a situação 2.....	49
Tabela 19 - Resistência à compressão na situação 1.....	50
Tabela 20- Resistência à compressão na situação 2.....	50
Tabela 21 - Valores máximos de resistência à compressão situação 1.....	51
Tabela 22 - Valores máximos de resistência à compressão situação 2.....	51
Tabela 23- Comparativo entre as duas situações	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Curva granulométrica da areia.....	42
Gráfico 2- Curva granulométrica da brita	43
Gráfico 3 - Teor de argamassa x Resistência à compressão na situação 1	52
Gráfico 4 - Teor de argamassa x Resistência à compressão na situação 2	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a_p = Quantidade de areia;

f_{cj} = Resistência à compressão axial do concreto, na idade j ;

k_i = Constante que dependem exclusivamente do material;

m_1 = Massa do conjunto (frasco + agregado);

m_2 = Massa do conjunto (frasco + agregado + água);

m_{ar} = Massa do recipiente mais o agregado;

m_c = Massa da cápsula;

m_f = Massa após a secagem da cápsula com o material em ensaio;

m_i = Massa inicial da cápsula com o material em ensaio;

m_r = Massa do recipiente;

p_p = Quantidade de pedra;

v_a = Volume de água adicionada ao frasco;

V_s = Volume do agregado seco em estufa;

γ_a = Massa específica do agregado miúdo;

γ_c = Massa específica do concreto;

γ_h = Massa unitária do agregado com um determinado teor de umidade, h ;

γ_p = Massa específica do agregado graúdo;

γ_s = Massa unitária do agregado seco em estufa;

ρ_a = Massa específica da água;

ρ_{ap} = Massa unitária do agregado;

d_{10} = Diâmetro correspondente a 10% de material passante, também chamado de diâmetro efetivo;

d_{30} = Diâmetro correspondente a 30% de material passante;

d_{60} = Diâmetro correspondente a 60% de material passante;

f_c = Resistência à compressão;

$^{\circ}\text{C}$ = Graus Celsius;

a = Relação de agregado miúdo seco sobre a massa de cimento;

a/c = Fator água cimento;

ar = Teor de ar incorporado por metro cúbico;

C = Consumo de cimento;

CC = Coeficiente de curvatura;

CNU = Coeficiente de não uniformidade;

CP = Cimento Portland;

d = Massa específica aparente seca do agregado;

h = Teor de umidade do agregado;

m = Relação de agregados secos sobre cimento;

M = Massa da amostra seca em estufa;

mm = Milímetros;

p = Relação de agregado graúdo seco sobre a massa de cimento;

t = Idade do concreto;

v = Volume do frasco;

V = Volume do recipiente.

β_1 = Percentual da evolução da resistência do concreto;

μm = Micrometros;

D = Diâmetro do corpo de prova;

F = Força máxima alcançada;

a = Peso de areia;

b = Peso de brita;

α = Teor de argamassa.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das principais indústrias do país e é responsável pela execução de obras que objetivam trazer maior conforto, segurança, comodidade e qualidade de vida para as pessoas.

Segundo Oliveira (2013), o setor representou mais de 6% do PIB do Brasil em 2012. Além disso, empregava até o final daquele ano mais de 3,4 milhões de pessoas, porém apenas pouco mais de um quarto dessas pessoas possuíam carteira assinada.

São diversos os tipos de obras executadas pela indústria da construção civil; entre as mais importantes podem-se destacar as edificações residenciais e comerciais, a pavimentação, as obras de arte, o abastecimento de água e a coleta e tratamento de esgoto doméstico.

Para executar as obras, a engenharia civil dispõe de uma infinidade de produtos, mas, sem dúvidas, o mais utilizado entre eles é o concreto.

O concreto é um dos materiais mais antigos da construção, os romanos usavam cinza vulcânica e cal para formar uma massa que os auxiliavam a moldar e soldar grandes blocos de pedra. Mas, pode-se dizer que a origem do concreto, mais recentemente, está associada à utilização de uma argamassa calcinada desenvolvida por John Smeaton, em 1756, na construção do farol de Eddystone, na Inglaterra (ARAÚJO, RODRIGUES E FREITAS, 2000).

Os principais motivos para o concreto ser o material mais utilizado na construção são: técnica construtiva utilizada e difundida há muito tempo; facilidade de moldar e de se trabalhar, pois é um material plástico; possibilidade de atingir altíssima resistência à compressão; custo competitivo no mercado.

Mesmo sendo um material tão comum, fazer concreto é uma atividade que requer bastante atenção, visto que se trata de um material extremamente minucioso e sensível. Segundo o Grupo Pet Civil UFC (2012), é preciso ter um cuidado especial com a água durante a execução do concreto, pois, quando se tem água em quantidade insuficiente, não haverá a ativação química completa do cimento para formar uma pasta responsável por aglomerar os agregados. Por outro lado, se a quantidade de água for demasiada, haverá a formação de poros no concreto, promovendo uma diminuição de sua capacidade resistente.

O concreto por ser extremamente complexo, exige que sejam realizados estudos para caracterizar o seu comportamento em detrimento das diversas situações em que se pode encontrá-lo. Dessa forma, surgem os estudos de dosagem que visam indicar as proporções dos componentes do concreto.

Entre os diversos estudos de dosagem existentes, pode-se citar o desenvolvido por Helene e Terzian no livro “Manual de dosagem e controle do concreto”, de 1993, em que eles desenvolveram um método de dosagem analisando o comportamento do concreto para diferentes teores de argamassa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho apresenta como principal objetivo a elaboração de um estudo de dosagem de concreto para uma faixa considerada pobre em consumo de cimento, 1:6,5 (cimento: Agregados secos), variando o teor de argamassa e buscando uma quantidade ideal de água e aditivo para moldar corpos de prova cilíndricos de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura.

1.1.2 Objetivos específicos

- Dosar traço de concreto em faixa fixa de consumo de cimento;
- Verificar o abatimento do concreto executado;
- Verificar as resistências dos aos 7, 14 e 28 dias de idade;
- Elaborar gráficos para a análise da evolução da resistência à compressão associada à variação do teor de argamassa;
- Fazer comparativo entre a situação sem uso de aditivo e com uso de aditivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Concreto

O concreto é o resultado da mistura, em quantidades adequadas, de água, material aglomerante, agregados graúdos e miúdos, podendo conter ou não aditivos e/ou adições. Quando fresco, ele deverá apresentar uma consistência que permita a sua moldagem com uma boa trabalhabilidade e quando endurecido, é fundamental que atinja uma resistência desejada (AMBROZEWICZ, 2012).

Uma característica bastante marcante do concreto é a evolução de sua resistência ao longo do tempo. Segundo o item 12.3.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), quando não se tem valores experimentais da evolução da resistência compressiva do concreto ao longo do tempo, pode-se usar a equação (1) para verificar o percentual de evolução da resistência do mesmo.

$$\beta_1 = \text{EXP} \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (1)$$

Sendo:

- β_1 é o percentual da evolução da resistência do concreto;
- t é a idade do concreto, em dias;

A variável “s” assume os valores abaixo de acordo com o tipo de cimento utilizado.

- $S = 0,25$ para concreto de cimento CP I e II;
- $S = 0,38$ para concreto de cimento CP III e IV;
- $S = 0,20$ para concreto de cimento CP V – ARI.

Espínola (2018) transformou a equação anterior na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1- Evolução da resistência à compressão do concreto ao longo do tempo

TIPO DE CIMENTO	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
CP I / CP II	60%	78%	90%	96%	100%
CP III / CP IV	46%	68%	85%	94%	100%
CP V – ARI	66%	82%	92%	97%	100%

Fonte: ESPÍNOLA (2018)

Também é necessário frisar a importância de evitar que agentes deletérios tenham ação sobre o concreto. A NBR 14931 (ABNT, 2004), cita que na fase inicial da vida do concreto os seus principais agentes deletérios são: mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva

forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, além de choques e vibrações de intensidade suficiente para produzir fissuras ou provocar má aderência da armadura ao concreto.

2.2 Componentes do concreto

2.2.1 Aglomerantes

Segundo Araújo, Rodrigues e Freitas (2000), os aglomerantes são materiais ligantes que possuem como principal função promover a união dos agregados, formando argamassa e concreto.

O principal aglomerante utilizado para a ligação dos agregados no concreto é o cimento *Portland*, que possui diversos tipos disponíveis no mercado de acordo com as necessidades de projeto.

2.2.2 Agregados

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, naturais ou artificiais, sem forma e volume definidos, apresentando dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil (LA SERNA E REZENDE, 2009).

Para formar o concreto, utilizam-se dois tipos de agregados, o graúdo e o miúdo. Normalmente, como agregado graúdo usam-se as pedras britadas e como agregado miúdo a areia.

A brita tem como função aumentar o volume do concreto sem proporcionar perda de resistência. Enquanto a areia tem a função de melhorar a plasticidade do concreto e, conseqüentemente, a sua trabalhabilidade.

2.2.3 Água

A água é um dos fatores mais importantes quando o assunto é concreto, pois ela está ligada a vários fatores em relação ao traço, como a trabalhabilidade, a sua resistência, a ativação de reações químicas e sua vida útil. Por isso, a quantidade de água presente no traço deverá ser minuciosamente controlada.

2.2.4 Aditivos

Os aditivos são substâncias empregadas para alterar algumas propriedades do concreto tanto na fase fresca, quanto na fase endurecida de acordo com a necessidade de projeto. Entre

essas propriedades, pode-se citar: aumento de plasticidade, redução no consumo de cimento, aceleração ou retardo da pega, redução da retração e aumento da durabilidade (JUNIOR, 2013).

De acordo com Mendes (2006), os aditivos chegaram sob desconfiança no mercado brasileiro na década de 70, mas com o passar dos anos eles vêm ganhando mercado e tornou-se o quarto elemento do concreto, sendo bastante usado nas concreteiras do país.

2.3 Traço

Segundo AECWEB, 2018, traço é a indicação da proporção de cada material que irá compor o concreto desejado. Normalmente, as proporções dos traços são dadas em função do consumo de 1 quilograma de cimento *Portland* e são dados na seguinte ordem: cimento, areia e brita. Por exemplo, um traço dado por 1:2:2,5 indica que para cada parte de cimento, deverão haver 2 partes de areia e 2,5 partes de brita.

2.4 Teor de argamassa

O teor de argamassa é um valor que correlaciona as quantidades e proporções de agregados graúdos e miúdos de um traço (RESENDE, 2013).

De acordo com Helene e Terzian (1993), um traço com falta de argamassa irá gerar um concreto muito poroso e com falhas na concretagem, já um traço com muita argamassa terá uma boa aparência, mas poderá sofrer com o risco de fissuração por origem térmica ou por retração de secagem.

O teor de argamassa é dado pela equação abaixo descrita.

$$\alpha = \frac{(1+a)}{(1+a+b)} \quad (2)$$

Em que:

- α é o teor de argamassa;
- a é o peso de areia;
- b é o peso de brita.

2.5 Fator água cimento

Segundo Guerra, 2013, o fator água cimento é a relação entre a massa de água adotada no traço sobre a sua massa de cimento. É um dos fatores mais importantes a ser analisado no estudo de dosagem do concreto, pois a água é responsável pela ativação química do cimento.

Há uma relação entre o fator água cimento e a resistência do concreto. Dentro de certos limites, quanto menor o fator água cimento, maior será a resistência do concreto.

Conforme Guerra (2013), quem primeiro demonstrou a dependência da resistência do concreto em relação ao seu fator água cimento foi Abrams em um trabalho publicado em 1919. Nesse trabalho, ele demonstrou que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, sendo essa uma relação direta do fator água cimento.

A equação abaixo, conhecida como “Lei de Abrams” correlaciona a resistência à compressão axial do concreto com o seu fator água cimento.

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad (3)$$

Onde:

- f_{cj} é a resistência à compressão axial do concreto, na idade j , em Mega Pascal;
- k_1 e k_2 são constantes que dependem exclusivamente dos materiais;
- a/c é o fator água cimento.

Também há como correlacionar o fator água cimento com a relação de agregados secos sobre cimento através da equação da “Lei de Lyse”, apresentada a seguir.

$$m = k_3 + k_4 \times a/c \quad (4)$$

Onde:

- m é a relação de agregados secos sobre cimento, em quilograma por quilograma;
- k_3 e k_4 são constantes que dependem exclusivamente dos materiais;

2.6 Abatimento

Ensaio de abatimento ou *slump test* é o nome dado ao ensaio que tem por objetivo identificar a consistência do concreto. A Tabela 2 mostra os valores de abatimento indicados para cada elemento estrutural.

Tabela 2- Consistência do concreto por elemento estrutural, para adensamento mecânico

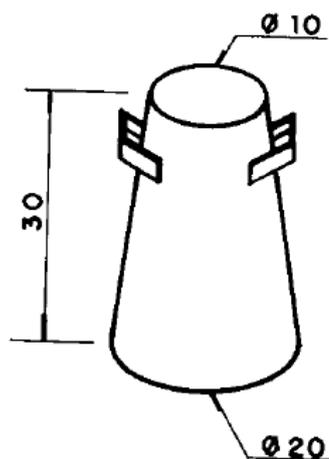
Elemento Estrutural	Abatimento (mm)	
	Pouco Armada	Muito Armada
Laje	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 70 \pm 10$
Viga e Parede Armada	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 80 \pm 10$
Pilar do edifício	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 80 \pm 10$
Paredes de fundação, sapatas e tubulões	$\leq 60 \pm 10$	$\leq 70 \pm 10$

Quando o concreto for bombeado a consistência deverá estar entre 70 e 100 mm.

Fonte: HELENE e TERZIAN (1993)

Para realizar o ensaio é necessário o uso de um cone de Abrams, com diâmetro da base de 20 centímetros, diâmetro superior de 10 centímetros e altura de 30 centímetros, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Cone de Abrams



Fonte: Araújo, Rodrigues e Freitas (2000)

A norma que rege a maneira que o ensaio de abatimento deverá ser realizado é a ABNT NM 67, de 1998.

2.7 Consumo de cimento

O consumo de cimento é o valor que representa a quantidade de cimento, em quilogramas, que será necessário para produzir um volume correspondente a 1 metro cúbico de concreto. É de grande importância saber o consumo de cimento de um traço de concreto, pois quanto maior o consumo de cimento, mais caro será o concreto.

O consumo de cimento pode ser considerado em três faixas distintas. A primeira faixa é a considerada rica, pois possui um consumo de cimento alto. A segunda é a considerada normal, possuindo um consumo razoável de cimento. A terceira faixa é a considerada pobre, pois possui baixo consumo de cimento.

A faixa rica possui uma relação de 1 quilograma de cimento consumido para cada 3,5 quilogramas de agregados. A faixa normal apresenta a relação de consumo de 1 quilograma de cimento para cada 5 quilogramas de agregados. Enquanto que a faixa considerada pobre apresenta a relação de 6,5 quilogramas de agregados para cada quilograma de cimento consumido (HELENE e TERZIAN, 1993).

A equação (5) é utilizada para o cálculo do consumo de cimento.

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c} \quad (5)$$

Onde:

- C é o consumo de cimento, em quilogramas por metro cúbico de concreto adensado;
- ar é o teor de ar incorporado por metro cúbico, em decímetro cúbico por metro cúbico;
- γ_c é a massa específica do concreto, em quilograma por decímetro cúbico;
- γ_a é a massa específica do agregado miúdo, em quilograma por decímetro cúbico;
- γ_p é a massa específica do agregado graúdo, em quilograma por decímetro cúbico;
- a é a relação de agregado miúdo seco sobre a massa de cimento, em quilogramas por quilogramas;
- p é a relação de agregado graúdo seco sobre a massa de cimento, em quilogramas por quilogramas;

A Equação (6) abaixo representa a “Lei de Molinari” que é uma “Lei de Comportamento” do concreto que relaciona o consumo de cimento ao teor de agregados.

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \times (a+p)} \quad (6)$$

Onde:

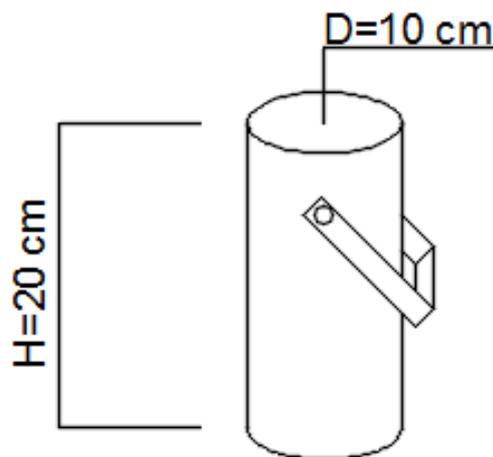
- k_5 e k_6 são constantes que dependem dos materiais.

2.8 Corpo de prova de concreto

Corpo de prova de concreto é o nome dado ao objeto com dimensões conhecidas, que servirá de amostra para a realização de ensaios que irão caracterizar o concreto estudado.

Conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos de prova cilíndricos deverão possuir altura igual ao dobro do diâmetro, sendo permitidos 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm para o diâmetro, com uma tolerância de 1% para o diâmetro e 2% para a altura. Os corpos de prova utilizados neste trabalho foram cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm como mostra a Figura 2.

Figura 2- Modelo de molde usado para os corpos de prova



Fonte: do Autor (2018)

Para moldar os corpos de prova, é necessário seguir uma orientação estabelecida pela NBR 5738:2015 que diz que o adensamento do concreto no molde deverá ser feito com uma haste cilíndrica de aço, com superfície lisa, possuindo diâmetro variando entre 14 mm e 18 mm, comprimento entre 600 mm e 800 mm, com pelo menos uma das extremidades em forma semiesférica. O adensamento deverá ocorrer em duas camadas, uma com o molde cheio pela metade e outra com o molde completamente cheio, com 12 golpes bem espalhados e uniformes, utilizando a haste de adensamento. Ao término do adensamento com a haste,

deverão ser desferidos golpes nas laterais do molde, de preferência com objeto de madeira, proporcionando uma redução de vazios no concreto do corpo de prova.

2.9 Cura

A cura é um procedimento que tem como objetivo retardar a evaporação da água empregada na preparação do concreto, fazendo com que a hidratação do cimento ocorra de forma completa (AECWEB, 2018).

Conforme a NBR 14931 (ABNT, 2004), enquanto o concreto não tiver endurecido de forma satisfatória, deverá ser curado e protegido de agentes externos para:

- Evitar perda de água pela superfície exposta;
- Assegurar uma superfície com resistência adequada;
- Assegurar a formação de uma capa superficial durável.

A cura dos corpos de prova desse trabalho foi feita através de imersão em tanque com água, como mostra a Figura 3.

Figura 3- Tanque para cura dos corpos de prova



Fonte: do Autor (2018)

2.10 Resistência à Compressão

Segundo a Enciclopédia E-civil, resistência à compressão é o resultado da capacidade de uma peça ou superfície resistir a esforços compressivos.

Como o concreto é um material que apresenta como principal característica e função a alta resistência à compressão, deve-se dar uma atenção especial à sua capacidade resistiva. A

norma que estabelece as condições de ensaios à compressão do concreto é a ABNT NBR 5739 de 2018.

De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), é necessário atentar-se à tolerância de idade dos corpos de prova, sendo essas idades medidas a partir do término de suas moldagens. As tolerâncias de idade dos corpos de prova estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Tolerância para realização do ensaio.

Idade de ensaio	Tolerância permitida (horas)
24 horas	0,5
3 dias	2
7 dias	6
28 dias	24
63 dias	36
91 dias	48

Nota: Para outras idades de ensaio, a tolerância deverá ser obtida por interpolação.

Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018)

A NBR 5739 (ABNT, 2018) indica também que o cálculo da resistência à compressão do concreto deverá ser feito de acordo com a Equação (7) mostrada a seguir.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (7)$$

Onde:

- f_c é a resistência à compressão, em Megapascal;
- F é a força máxima alcançada, em Newtons;
- D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

2.11 Ensaio de Granulometria

Granulometria é a quantificação, em peso, dos diferentes tamanhos de partículas que compõem um determinado agregado (GUERRA, 2013).

Para a realização do ensaio, devem-se utilizar peneiras especiais com espaçamentos de malha definidos. A Tabela 4, extraída da NM 248 (ABNT, 2003) mostra as peneiras que deverão ser utilizadas para o ensaio de granulometria.

Tabela 4- Série de peneiras

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: ABNT NM 248 (2003)

Conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), agregado miúdo é aquele que passa pela peneira com malha de 4,75 mm e fica retido na peneira de 150 µm. Já o agregado graúdo é aquele que os grãos passam na peneira de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Outra definição importante é o de módulo de finura que é a “soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100” (ABNT NBR 7211:2009).

Conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), as distribuições granulométricas devem atender aos limites apresentados nas tabelas 5 e 6 para agregados miúdos e graúdos, respectivamente.

Tabela 5- Limites da distribuição granulométrica dos agregados miúdos

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTA:

O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009)

Tabela 6- Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 a 5
63 mm	-	-	-	-	5 a 30
50 mm	-	-	-	0 a 5	75 a 100
37,5 mm	-	-	-	5 a 30	90 a 100
31,5 mm	-	-	1 a 5	75 a 100	95 a 100
25 mm	-	0 a 5	5 a 25*	87 a 100	-
19 mm	-	2 a 15*	65* a 95	95 a 100	-
12,5 mm	0 a 5	40* a 65*	92 a 100	-	-
9,5 mm	2 a 15*	80* a 100	75 a 100	-	-
6,3 mm	40* a 65*	92 a 100	-	-	-
4,75 mm	80* a 100	95 a 100	-	-	-
2,36 mm	95 a 100	-	-	-	-

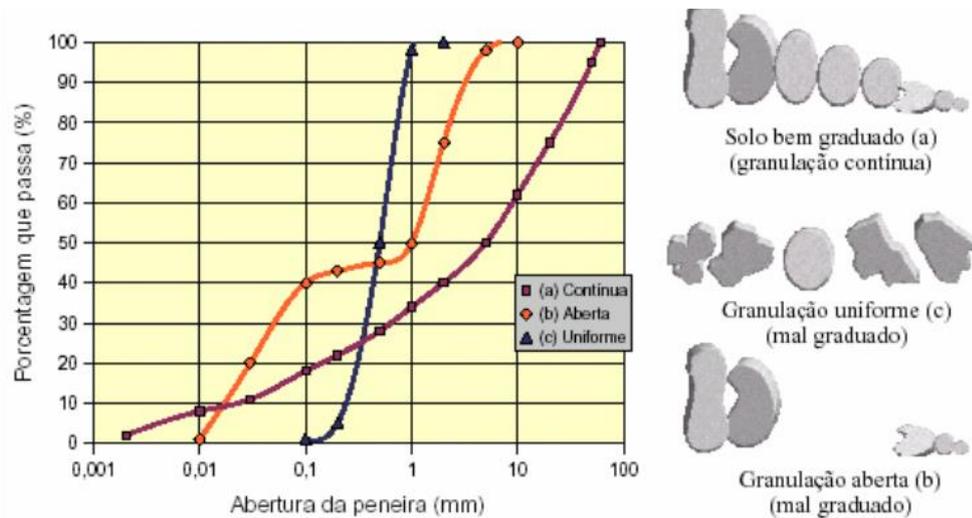
¹ Zona granulométrica correspondente a menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

*Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo 5 unidades em apenas um dos limites marcados com *.

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009)

Através do ensaio de granulometria também é possível determinar a curva granulométrica e, com ela, classificar o agregado quanto à sua graduação, como mostra a Figura (4).

Figura 4- Classificação quanto a curva granulométrica dos agregados



Fonte: VARELA [20-?]

Segundo Varela [20-?,apud HAZEN, 19-?] o coeficiente de não uniformidade do agregado é uma relação simples do diâmetro correspondente a 60% do material passante sobre o diâmetro correspondente à 10% do material passante, conforme a Equação (8).

$$CNU = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (8)$$

Onde:

- CNU é o coeficiente de não uniformidade;
- d_{60} é o diâmetro correspondente a 60% de material passante;
- d_{10} é o diâmetro correspondente a 10% de material passante, também chamado de diâmetro efetivo.

Valores de CNU abaixo de 5 indicam um material uniforme, acima de 15 indicam um material não uniforme e entre 5 e 15 indicam um material de uniformidade média.

Conforme Caputo (1988), o coeficiente de curvatura, apresentado na Equação (9), fornece uma ideia da curva e indica a graduação do agregado.

$$CC = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (9)$$

Onde:

- CC é o coeficiente de curvatura;
- d_{30} é o diâmetro correspondente a 30% de material passante.

Ainda segundo Caputo (1988), um material bem graduado apresenta coeficiente de curvatura entre 1 e 3.

2.12 Ensaio de massa específica aparente do agregado seco

De acordo com a NM 52 (ABNT, 2009), massa específica aparente é a relação entre a massa seca do agregado e volume que o mesmo ocupa, incluindo seus poros permeáveis. A Equação (10) é utilizada para o cálculo da massa específica aparente do agregado.

$$d = \frac{M}{v - v_a} \quad (10)$$

Onde:

- d é a massa específica aparente seca do agregado, em gramas por centímetro cúbico;
- M é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;
- v é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;
- v_a é volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

Para chegar ao valor de v_a , deve-se utilizar a Equação 11 descrita abaixo.

$$v_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (11)$$

Onde:

- m_1 é a massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;
- m_2 é a massa do conjunto (frasco + agregado + água), em gramas;
- ρ_a é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Lembrando que a NM 52 e a NM 53 são as normas em vigor para os ensaios de massa específica aparente para agregado miúdo e graúdo, respectivamente.

2.13 Teor de umidade

O teor de umidade representa a quantidade de água presente nos agregados. Portanto, devido à relevância da quantidade de água utilizadas nos traços, é importante conhecer o teor de umidade da areia para que se possa fazer a correção do fator água cimento e da areia.

A Equação 12 é fornecida pela NBR 6467 de 2009 e é utilizada para o cálculo do teor de umidade do agregado.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

- h é o teor de umidade do agregado, em porcentagem;
- m_i é a massa inicial da cápsula com o material em ensaio, em gramas;
- m_f é a massa após a secagem da cápsula com o material em ensaio, em gramas;
- m_c é a massa da cápsula, em gramas.

2.14 Método de dosagem HELENE & TERZIAN

No livro “Manual de Dosagem e Controle do Concreto”, de 1993, Paulo Helene e Paulo Terzian desenvolveram uma metodologia de dosagem de concreto.

Nesse estudo de dosagem, considerou-se uma relação de consumo de cimento e agregados de 1:5 (cimento: agregados secos), em que para cada quilograma de cimento há cinco quilogramas de agregado miúdo mais agregado graúdo; esse traço foi chamado de normal.

A partir do traço normal, foram realizados ensaios para chegar a um teor de argamassa ideal, que apresentasse boa trabalhabilidade associada a uma boa resistência à compressão. Com os resultados para o traço considerado normal em consumo de cimento, eles realizaram ensaios para traços auxiliares, rico e pobre.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção dos corpos de prova, foi utilizado cimento CP V-ARI, brita 19, areia média e aditivo plastificante Muraplast FK97. A areia, o cimento e a brita foram cedidos pela Eletrificações Luar LTDA. Enquanto que o aditivo plastificante foi fornecido pelo Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas – LABEME da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

A brita 19 utilizada para fazer o concreto veio da indústria COMPECC, situada no município de Gurinhém, Paraíba. O cimento utilizado foi o da marca Cimento Nacional, com indústria localizada na zona rural do município de Pitimbu, Paraíba. A areia é proveniente de uma extração no Rio Paraíba, numa faixa localizada no município de Santa Rita, Paraíba.

A areia e a brita foram submetidas a ensaios de granulometria e massa específica. Não foram realizados, neste trabalho, ensaios específicos para caracterização do cimento e do aditivo plastificante utilizados.

O armazenamento da brita e da areia foram feitos em tonéis plásticos de 200 litros de volume, cada um. O cimento foi armazenado sobre paletes de madeira, em ambiente coberto e livre de umidade excessiva. O aditivo foi armazenado em ambiente seco e na própria embalagem em que é comercializado.

3.1 Granulometria

Para o ensaio de granulometria dos agregados graúdos e miúdos, utilizaram-se os seguintes materiais:

- Balança com precisão de 0,1 grama;
- Peneiras da série normal e intermediária com tampa e fundo;
- Recipientes para colocação dos materiais;
- Escova para limpeza das peneiras e recipientes.

Inicialmente, foram separadas certas quantidades de cada material para secagem em uma superfície plana e limpa. Após 24 horas, recolheu-se o material e ele foi levado para a sala onde o ensaio foi realizado.

De acordo com as peneiras indicadas para cada material, encaixou-as, formando um único conjunto, em ordem decrescente de espaçamento da malha do topo para base, além de

um fundo e uma tampa para esse conjunto. As figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, os conjuntos de peneiras para os agregados miúdos e graúdos.

Figura 5- Conjunto de peneiras para agregado miúdo



Fonte: do Autor (2018)

Figura 6- Conjunto de peneiras para agregado graúdo



Fonte: do Autor (2018)

Com as peneiras devidamente encaixadas, pesou-se uma determinada quantidade do material e a colocou sobre a primeira peneira da série, evitando formar uma camada espessa que viesse a prejudicar o ensaio. Agitou-se manualmente as peneiras para promover a separação dos grãos de tamanhos diferentes. Após a agitação retirou-se peneira por peneira, fazendo um peneiramento individual;

Por fim, pesou-se a massa de material retido em cada uma das peneiras com o auxílio de bandejas e balança. Os resultados foram anotados e organizados em planilhas para que pudessem ser analisados.

3.2 Massa específica aparente do agregado seco

Foram utilizados os seguintes materiais:

- Balança com precisão de 0,1 gramas;
- Frasco com volume conhecido;
- Estufa;
- Placa de vidro.

Os ensaios de massa específica aparente do agregado seco foram realizados seguindo os mesmos procedimentos tanto para a areia quanto para a brita. Uma vez que, para o agregado miúdo, não houve acesso ao frasco de Chapman e, para o agregado graúdo, viu-se a necessidade de analisar a amostra da forma em que tal agregado é adquirido da usina britadeira, ou seja, apresentando pó de pedra oriundos do processo de britagem.

Dessa forma, começou-se colocando os recipientes com as amostras de materiais em estufa a temperatura de 105° C durante 24 horas. Após retirar as amostras da estufa, aguardou-se até que as mesmas atingissem a temperatura ambiente. Depois disso, pesou-se o frasco e a placa de vidro, utilizados para o ensaio, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - massa do conjunto recipiente mais placa de vidro



Fonte: do Autor (2018)

Em seguida adicionou-se agregado ao frasco e pesou-se o conjunto, conforme a Figura 8.

Figura 8- Massa do recipiente, da placa de vidro e do agregado miúdo



Fonte: do Autor (2018)

Adicionou-se água até completar o frasco, eliminaram-se os vazios colocando a placa de vidro na abertura do frasco. Finalmente, pesou-se o conjunto formado pelo frasco, agregado e água, como é mostrado na Figura 9 a seguir.

Figura 9- massa do conjunto frasco mais areia mais água mais placa de vidro



Fonte: do Autor (2018)

3.3 Teor de umidade da areia

Foram utilizados os materiais abaixo para o ensaio de teor de umidade:

- Balança com precisão de 0,1 gramas;
- Cápsula;

- Estufa;

Preencheu-se uma cápsula com amostra de areia *in natura* e mediu-se sua massa. Depois disso, colocou-se a cápsula com a areia em estufa por 24 horas em temperatura de 105°C. Por fim, retirou-se a cápsulas da estufa e verificou-se sua massa final, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Massa final da cápsula com areia



Fonte: do Autor (2018)

3.4 Estudo de dosagem

Para determinar o traço do trabalho, foi utilizado o método apresentado por Helene e Terzian, como mencionado anteriormente.

Foi fixada a faixa de variação do teor de argamassa de 0,52 a 0,62. Como o traço em estudo é o considerado pobre, tem-se a relação de soma da massa de agregados secos sobre massa de cimento de 6,5. Logo, tem-se a equação apresentada abaixo.

$$a_p + p_p = m = 6,5 \quad (13)$$

Onde:

- a_p é a quantidade de areia;
- p_p é a quantidade de brita;
- m é a relação da massa de agregados secos sobre a massa de cimento.

Assim, com a Equação 14, apresentada a seguir, foi possível calcular os traços utilizados para o trabalho.

$$\frac{1+a_p}{1+p_p+a_p}=\alpha \quad (14)$$

Onde:

- α é o teor de argamassa.

As quantidades de água e de aditivo no traço foram determinadas através de tentativas, em duas situações. A primeira com o objetivo de se obter a consistência mínima para que fossem moldados os corpos de prova adicionando apenas água, correspondente a um abatimento de $2,0 \text{ cm} \pm 1,0 \text{ cm}$. A segunda com o objetivo de atingir-se um abatimento de $6,0 \text{ cm} \pm 1,0 \text{ cm}$ com aditivo e uma quantidade de água limitada até um fator água cimento de 0,65.

3.5 Corpos de prova

Os materiais abaixo foram utilizados nos ensaios de corpos de prova:

- Balança com precisão de 0,1 gramas;
- Balança com precisão de 50 gramas;
- Pá;
- Concha;
- Baldes;
- Bandejas;
- Betoneira;
- Placa metálica;
- Cone de Abrams;
- Trena;
- Haste de adensamento;
- Moldes cilíndricos com diâmetro de 10 centímetros e altura de 20 centímetros;
- Peça de madeira para adensamento;
- Mangueira;
- Carro de mão.

Para início, foram pesados os materiais que iriam compor o traço. A areia, a brita e o cimento, utilizando a balança com precisão de 50 gramas. O aditivo e a água, usando a balança com precisão de 0,1 gramas.

Após a pesagem dos materiais, molhou-se a betoneira para que o concreto não perdesse água para a mesma e a deixou com a boca voltada para baixo fazendo com que o excesso de água escoasse.

Em seguida, iniciou-se a colocação da brita e, aproximadamente, 80% da água do traço. Na sequência, colocou-se a areia e aguardou-se uma homogeneização da mistura. Com a mistura homogeneizada, colocou-se o cimento. Foi adicionando-se a água e o aditivo até que se alcançassem os objetivos para cada uma das situações de consistência.

Para realizar o abatimento, retirou-se o concreto da betoneira e o colocou em uma bandeja previamente umedecida, em seguida encheu-se o cone de Abrams, também umedecido, até um terço de sua altura e adensou-se o concreto dando 25 golpes com a haste de adensamento. A operação repetiu-se para dois terços e para a altura completa do cone de Abrams. No adensamento com a haste, tomou-se cuidado para que a haste de adensamento não ultrapassasse o limite da camada que estava sendo adensada. Com o tronco de cone cheio e adensado, foi feito o acabamento e nivelamento da superfície superior do concreto;

Após isso, retirou-se o tronco de cone, num tempo de 6 a 10 segundos, e mediu-se com uma trena o deslocamento de concreto obtido, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Medição do abatimento do concreto



Fonte: do Autor (2018)

Caso o abatimento fosse o desejado, o concreto utilizado no ensaio era devolvido para a bandeja e misturado manualmente, como apresentado na Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Concreto na bandeja para mistura manual



Fonte: do Autor (2018).

Após a mistura manual do concreto na bandeja, iniciou-se a moldagem de 6 corpos de prova.

Antes da moldagem, foi passado óleo queimado nos moldes para facilitar a desmoldagem dos mesmos.

Para a moldagem, o molde era cheio até sua metade e em seguida recebia 12 golpes com a haste de adensamento, depois ele era completamente cheio e recebia novamente 12 golpes. Com o molde cheio de concreto e após os golpes com a haste, desferiam-se nele mais vinte golpes com o pedaço de madeira e, por fim, era feito o acabamento superficial do concreto. A Figura 13 mostra os moldes com concreto aguardando o fim da pega.

Figura 13 - Corpos de prova aguardando o final da pega



Fonte: do Autor (2018)

Após a conclusão da pega, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em tanque para a cura submersa.

3.6 Ensaio de resistência à compressão axial

Nos ensaios de resistência à compressão axial, foram utilizados dois materiais:

- Prensa PAVITEST fabricada pela CONTENCO – Indústria e Comércio LTDA;
- Dispositivo metálico com neoprene para corpos de prova.

Inicialmente, retiraram-se os corpos de prova do tanque de cura com um dia de antecedência para o ensaio. Em seguida, colocou-se o dispositivo de neoprene na superfície mais irregular de cada corpo de prova e o centralizou na prensa. Deu-se início então ao rompimento dos corpos de prova, adotando-se uma velocidade de compressão de 0,2 MPa/s.

Após o rompimento dos corpos de prova, foram anotados os respectivos valores de resistência, conforme a Figura 14.

Figura 14 - Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: do Autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Granulometria

Após a realização dos ensaios de granulometria, obtiveram-se os valores apresentados nas Tabelas 7 e 8 para a massa de material retida em cada peneira para os agregados miúdos e graúdos, respectivamente.

Tabela 7 - Ensaio de granulometria do agregado miúdo

Agregado miúdo				
Peneiras	Peso	Peso acumulado	Percentagem	Percentagem retida
(mm)	retido (g)	retido (g)	retida (%)	acumulada (%)
9,5	0,0	0	0,00	0,00
6,3	4,1	4,1	0,41	0,41
4,75	8,7	12,8	0,87	1,28
2,36	46,0	58,8	4,60	5,88
1,18	120,4	179,2	12,04	17,92
0,6	230,7	409,9	23,07	41,00
0,3	331,2	741,1	33,13	74,12
0,15	222,7	963,8	22,27	96,40
Resíduo	36,0	999,8	3,60	100,00

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 8- Ensaio de granulometria do agregado graúdo

Agregado Graúdo				
Peneiras	Peso	Peso acumulado	Percentagem	Percentagem retida
(mm)	retido (g)	retido (g)	retida (%)	acumulada (%)
75	0,0	0,0	0,0	0,0
63	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0
37,5	0,0	0,0	0,0	0,0
31,5	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0
19	259,5	259,5	17,3	17,3
12,5	1125,1	1384,6	75,0	92,3
9,5	111,2	1495,8	7,4	99,8
6,3	1,6	1497,4	0,1	99,9
4,75	0,0	1497,4	0,0	99,9
2,36	0,0	1497,4	0,0	99,9
Resíduo	2,1	1499,5	0,1	100,0

Fonte: do Autor (2018)

Com os valores do percentual das massas retidas nas peneiras, é possível determinar a dimensão máxima característica do agregado. Conforme a NM 248 (ABNT, 2003) para obter esse valor observa-se a abertura da malha da peneira em que a porcentagem retida acumulada é igual ou imediatamente inferior a 5%, em massa.

Dessa forma, temos para a areia uma dimensão máxima característica de 2,36 mm que corresponde a um percentual retido acumulado de 3,17%. Já para a brita, tem-se uma dimensão máxima característica de 19 mm, correspondente a um percentual retido acumulado de 17,3%, já que, nesse caso, não houve percentual retido imediatamente inferior a 5% em peneiras anteriores.

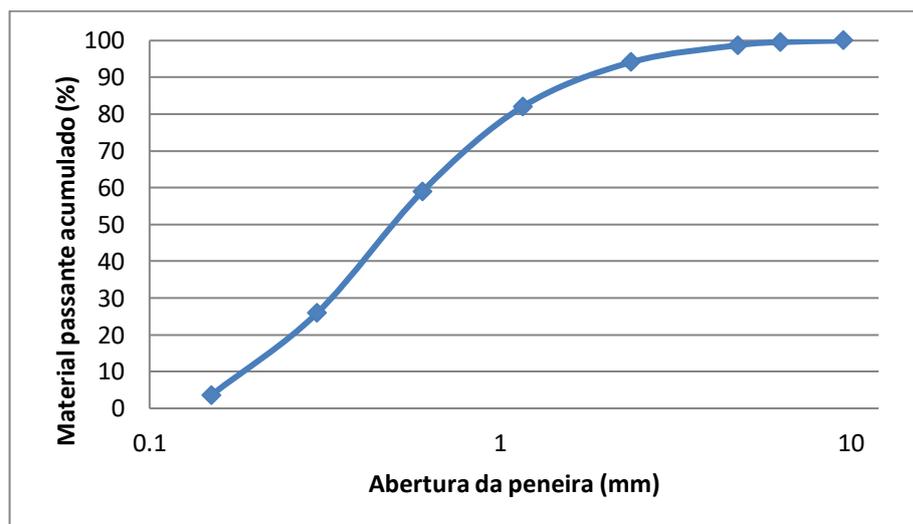
Através dos valores apresentados nas tabelas 7 e 8, pode-se chegar aos valores de módulo de finura de 2,37 para areia e de 4,17 para a brita. A sequência de cálculo do módulo de finura dos agregados está no Apêndice A deste trabalho.

Fazendo a análise do módulo de finura da areia, verifica-se de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 7211, de 2009, que ela se encontra na faixa ótima de utilização, pois está compreendida entre 2,20 e 2,90.

Para a brita não há limitações estabelecidas na norma para o seu módulo de finura, mas sua dimensão máxima característica servirá para classificação do tipo de agregado graúdo e, conseqüentemente, apresentará grande importância em estruturas de concreto armado, pois os espaçamentos entre as armaduras serão dados de acordo com a dimensão de agregado graúdo utilizado.

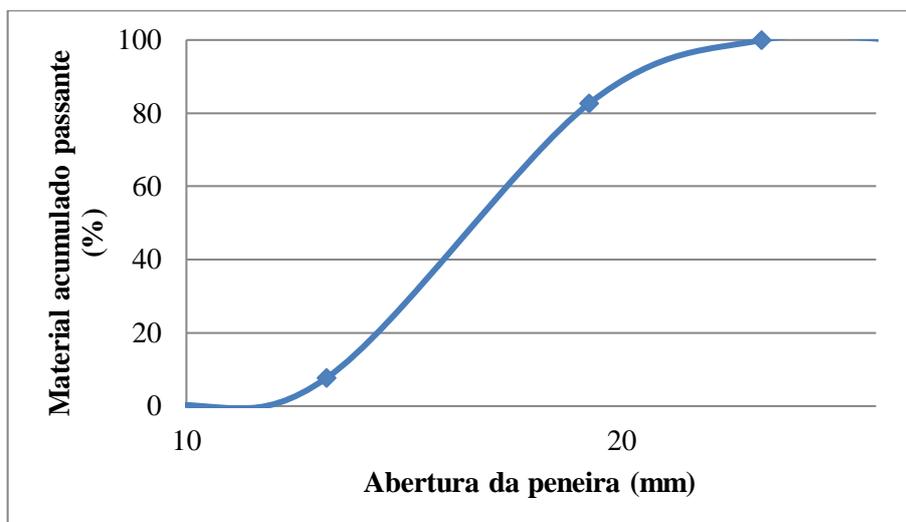
Com o ensaio de peneiramento, também é possível traçar a curva granulométrica dos agregados e observar a graduação dos mesmos. Nos Gráficos 1 e 2 serão mostradas as curvas granulométricas da areia e da brita utilizadas nos traços.

Gráfico 1- Curva granulométrica da areia



Fonte: do Autor (2018)

Gráfico 2- Curva granulométrica da brita



Fonte: do Autor (2018)

Para classificar os agregados quanto à graduação e a uniformidade, serão utilizados os conceitos de coeficiente de curvatura e coeficiente de não uniformidade. O procedimento de cálculo para esses coeficientes são apresentados no Apêndice A.

Obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 9 abaixo para os coeficientes de não uniformidade e de curvatura da areia e da brita usadas neste trabalho.

Tabela 9 - Valores dos coeficientes de curvatura e de não uniformidade

COEFICIENTES	AREIA	BRITA
CNU	3,93	1,00
CC	1,02	1,00

Fonte: do Autor (2018)

Como o coeficiente de não uniformidade da areia deu abaixo de 5, sabe-se que se trata de uma areia uniforme. Mas como o coeficiente de curvatura resultou em 1,02, esse agregado é considerado bem graduado, o que é importante, principalmente para as areias, pois grãos de tamanhos variados irão garantir um preenchimento melhor, diminuindo os vazios no concreto.

Já a brita em estudo é uniforme, apresentando pouca graduação como é possível verificar também através de sua curva granulométrica.

4.1.2 *Massa específica aparente do agregado seco*

Feitos os ensaios de massa específica aparente do agregado seco para a areia e para a brita, obtiveram-se os valores apresentados nas Tabelas 10 e 11 a seguir.

Tabela 10- Valores obtidos após ensaio de massa específica aparente da areia

Massa específica aparente da areia seca	
Volume do recipiente (ml)	592,0
Massa do recipiente (g)	421,3
Massa do recipiente + material, m_1 (g)	1110,5
Massa do recipiente + material + água, m_2 (g)	1410,8

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 11- Valores obtidos após ensaio de massa específica aparente da brita

Massa específica aparente da brita seca	
Volume do recipiente (ml)	592,0
Massa do recipiente (g)	421,3
Massa do recipiente + material, m_1 (g)	1167,8
Massa do recipiente + material + água, m_2 (g)	1482,4

Fonte: do Autor (2018)

Fazendo-se os cálculos apresentados no Apêndice B deste trabalho, chegam-se a valores de massa específica aparente seca de 2,36 g/cm³ para a areia e 2,69 g/cm³ para a brita.

De acordo com Júnior (2013), um valor habitual para a massa específica aparente do agregado miúdo é de 2,60 g/cm³ e para o agregado graúdo é de, aproximadamente, 2,70 g/cm³.

Dessa forma, verifica-se que a brita possui massa específica aparente muito próxima do valor habitual, enquanto que a areia está com sua massa específica abaixo do valor habitual para os agregados miúdos.

4.1.3 *Teor de umidade da areia*

Após a realização do ensaio de teor de umidade da areia, obteve-se o resultado apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado obtido com ensaios de teor de umidade

Peso do recipiente, Mc	Recipiente + material úmido, mi	Recipiente + material seco, mf
22,8	83,2	82,7

Fonte: do Autor (2018)

Utilizando a equação 12, rerepresentada a seguir, é possível calcular o teor de umidade presente na amostra.

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \times 100$$

Substituindo os valores da tabela 12 na equação 12, chega-se a um teor de umidade de 0,83%. Por ser o valor da umidade obtida muito baixo, considerou a areia como seca.

4.2 Estudo de dosagem

4.2.1 Cálculo do traço

Para o cálculo do traço o método utilizado foi o desenvolvido por Helene e Terzian para uma relação de 1:6,5 (cimento: agregados secos), como mencionado anteriormente. Para chegar até os valores de cada traço foi necessário utilizar as Equações 13 e 14, desse trabalho, para teores de argamassa variando de 0,52 a 0,62.

$$a_p + p_p = m = 6,5$$

$$\frac{1 + a_p}{1 + p_p + a_p} = \alpha$$

Desenvolvendo as Equações, chega-se ao sistema abaixo.

$$\begin{cases} a_p = \alpha(6,5 + 1) - 1 \\ p_p = 6,5 - a_p \end{cases}$$

Dessa forma, substituindo o valor dos teores de argamassa na primeira equação do sistema, encontra-se a areia, a_p , do traço. Substituindo o valor de a_p na segunda equação do sistema, chega-se a quantidade de brita, p_p . A Tabela 13 abaixo apresenta os valores de agregados miúdos e graúdos para cada teor de argamassa em estudo.

Tabela 13- Quantidades de areia e brita para 1 Kg de cimento

Teor de argamassa	Traço Pobre (Kg)		
	Cimento	Areia	Brita
0,52	1	2,9	3,6
0,54	1	3,05	3,45
0,56	1	3,2	3,3
0,58	1	3,35	3,15
0,6	1	3,5	3
0,62	1	3,65	2,85

Fonte: do Autor (2018)

4.2.2 Volume do traço

Como a quantidade de água de cada traço foi encontrada experimentalmente, de forma que o abatimento fosse de pelo menos 6,0 cm mais ou menos 1,0 cm, para calcular a quantidade de material necessário para moldar os seis corpos de prova, foi assumido um fator água cimento de 0,5. Sendo assim, dispondo da Equação 5 e dos dados obtidos a partir dos ensaios com os agregados, resumidos na Tabela 14, encontra-se o consumo de cimento, C para o volume de 1m³ de concreto.

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c}$$

Tabela 14- Dados para o cálculo do consumo de cimento

Material	Massa específica (g/cm ³)
Cimento, γ_c	3,1
Areia, γ_a	2,36
Brita, γ_p	2,69

Fonte: do Autor (2018)

Além disso, como a quantidade de ar incorporado é muito pequena, foi desconsiderada no cálculo. A Tabela 15 mostra o consumo de cimento por metro cúbico para cada teor de argamassa.

Tabela 15- Consumo de cimento por metro cúbico

Teor de Argamassa	Consumo de cimento/m ³ (Kg)
0,52	287,08
0,54	286,58
0,56	286,09
0,58	285,59
0,6	285,09
0,62	284,59

Fonte: do Autor (2018)

Com a Equação 5, calcula-se também o volume de concreto produzido com 1 Kg de cimento, assumindo C igual a 1 e “1000-ar” igual a “Volume de concreto para 1Kg de cimento”, como mostra o desenvolvimento abaixo.

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c}$$

$$1 = \frac{\text{Volume de concreto para 1Kg de cimento}}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c}$$

Volume de concreto para 1Kg de cimento = 3,48 litros

O passo seguinte foi calcular o volume de cada corpo de prova e, na sequência, calcular o volume total de concreto por ensaio, considerando um volume de perdas em torno de 28%.

Sabendo que os corpos são cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 centímetros, calcula-se o volume de cada um através da Equação (15).

$$\text{Volume do Corpo de Prova} = \frac{\pi \times \text{diâmetro}^2 \times \text{Altura}}{4} \quad (15)$$

$$\text{Volume do Corpo de Prova} = \frac{\pi \times 10^2 \times 20}{4} = 1570,79 \text{ cm}^3 \text{ ou } 1,57 \text{ litros}$$

Multiplicando-se o valor obtido por 6, que são o total de corpos de prova, e acrescentando-se os 28% de perda, chega-se a um volume de 12,06 litros por traço.

Com o volume de concreto necessário para produzir todos os corpos de prova mais as perdas e com o volume de concreto produzido por 1 Kg de cimento, calculou-se a massa de

cimento necessária para fazer o traço com menor teor de argamassa, como mostra a equação abaixo e o seu desenvolvimento.

$$\text{Massa de cimento} = \frac{\text{Volume Total de Concreto}}{\text{Volume de concreto para 1Kg de cimento}} \quad (16)$$

$$\text{Massa de cimento} = \frac{12,06}{3,48} = 3,47 \text{ Kg}$$

Como a situação para o menor teor de argamassa é a que mais consome cimento e para facilitar no processo de pesagem dos materiais para os traços, decidiu-se adotar a mesma massa de cimento para todos os traços, variando apenas as proporções de brita e areia. Assim, as massas de materiais para cada traço são as apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16- Massa de materiais para cada traço

Teor de Argamassa	Traço pobre (Kg)			
	Cimento	Areia	Brita	Água
0,52	3,47	10,06	12,48	1,73
0,54	3,47	10,58	11,96	1,73
0,56	3,47	11,10	11,44	1,73
0,58	3,47	11,62	10,92	1,73
0,6	3,47	12,14	10,40	1,73
0,62	3,47	12,66	9,88	1,73

Fonte: do Autor (2018)

4.2.3 Água cimento e aditivo no traço

O fator água cimento e a quantidade de aditivo do traço foram determinados experimentalmente em duas situações distintas.

Na primeira situação, decidiu-se fazer os traços utilizando apenas água sem limitar o abatimento do concreto. O objetivo era apenas que o concreto apresentasse o mínimo de trabalhabilidade possível para moldar os corpos de prova, com abatimento de $2,0 \text{ cm} \pm 1,0 \text{ cm}$. A Tabela 17 mostra o fator água cimento e seus respectivos abatimentos para essa situação.

Tabela 17- Água cimento e Abatimento na situação 1

Traço Pobre 1				
Teor de Argamassa	A/C	Aditivo	Abatimento (cm)	Bloqueio de agregados
0,52	0,58	-	2,5	Elevado
0,54	0,6	-	2,0	Elevado
0,56	0,64	-	2,0	Elevado
0,58	0,65	-	2,0	Moderado
0,60	0,71	-	1,5	Moderado
0,62	0,72	-	1,5	Reduzido

Fonte: do Autor (2018)

Na segunda situação, chegou-se à quantidade de água e de aditivo de forma experimental até que se verificasse um abatimento de 6,0 cm mais ou menos 1,0 cm. Para isso, adicionou-se gradativamente a água até um limite de fator água cimento de 0,65. Caso não fosse possível chegar a esse valor de abatimento apenas com água, adicionava-se aditivo até que o abatimento desejado fosse alcançado. A Tabela 18 mostra os valores obtidos de água cimento e abatimento para essa situação.

Tabela 18- Água cimento e abatimento para a situação 2

Traço Pobre 2				
Teor de Argamassa	A/C	Aditivo	Abatimento (cm)	Bloqueio de agregados
0,52	0,65	0,20	6,0	Baixo
0,54	0,65	0,30	8,0	Nenhum
0,56	0,65	0,40	6,0	Nenhum
0,58	0,65	0,80	5,5	Nenhum
0,60	0,65	1,30	7,0	Nenhum
0,62	0,65	1,40	7,5	Nenhum

Fonte: do Autor (2018)

Nas tabelas 17 e 18 observa-se ainda a situação de bloqueio de agregados durante a moldagem dos corpos de prova, que é classificada em elevada, moderada, reduzida e ausente. O bloqueio de agregados durante a fase de moldagem dos corpos de prova pode ocasionar problemas nos corpos de prova como presença de vazios e, como consequência, redução da sua resistência à compressão.

4.2.4 Resistência à compressão

Após a realização dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova, obtiveram-se os valores apresentados nas Tabelas 19 e 20 para a situação 1 e para a situação 2. As idades de ruptura foram de 7, 14 e 28 dias para a situação 1 e de 7 e 14 dias para a situação 2, para cada idade foram rompidos dois corpos de prova.

Tabela 19 - Resistência à compressão na situação 1

Tensão de ruptura à compressão dos corpos de prova (Mpa)						
Teor de Argamassa	7 dias	7 dias	14 dias	14 dias	28 dias	28 dias
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
0,52	24,73	24,50	25,91	23,51	26,07	29,18
0,54	20,97	24,56	26,94	24,31	22,01	25,91
0,56	22,32	21,53	20,14	21,76	24,11	25,55
0,58	22,48	24,28	26,94	25,17	26,57	25,79
0,6	14,71	14,80	18,14	19,12	18,27	18,12
0,62	17,50	16,10	18,33	18,67	19,15	21,54

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 20- Resistência à compressão na situação 2

Força de ruptura dos corpos de prova (MPa)				
Teor de Argamassa	7 dias	7 dias	14 dias	14 dias
	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4
0,52	24,44	22,26	20,91	27,22
0,54	24,48	22,72	24,21	25,08
0,56	17,70	22,00	22,55	21,92
0,58	23,25	18,27	23,35	24,27
0,6	19,71	18,99	22,66	23,03
0,62	20,33	21,61	26,97	18,81

Fonte: do Autor (2018)

Como foram moldados apenas dois corpos de prova para cada idade do concreto e houve uma grande variação nas resistências obtidas, decidiu-se adotar apenas o maior valor entre os exemplares de cada idade, uma vez que há vários fatores para que um corpo de prova tenha rompido com uma resistência abaixo do esperado como, por exemplo, presença de vazios devido à moldagem mal executada, mistura não homogeneizada, entre outros, mas o

recíproco não é verdadeiro. As Tabelas 21 e 22 a seguir mostram as resistências máximas para cada idade nas situações 1 e 2.

Tabela 21 - Valores máximos de resistência à compressão situação 1

Tensão de ruptura à compressão dos corpos de prova (Mpa)			
Teor de Argamassa	7 dias	14 dias	28 dias
0,52	24,73	25,91	29,18
0,54	24,56	26,94	25,91
0,56	22,32	21,76	25,55
0,58	24,28	26,94	26,57
0,6	14,80	19,12	18,27
0,62	17,50	18,67	21,54

Fonte: do Autor (2018)

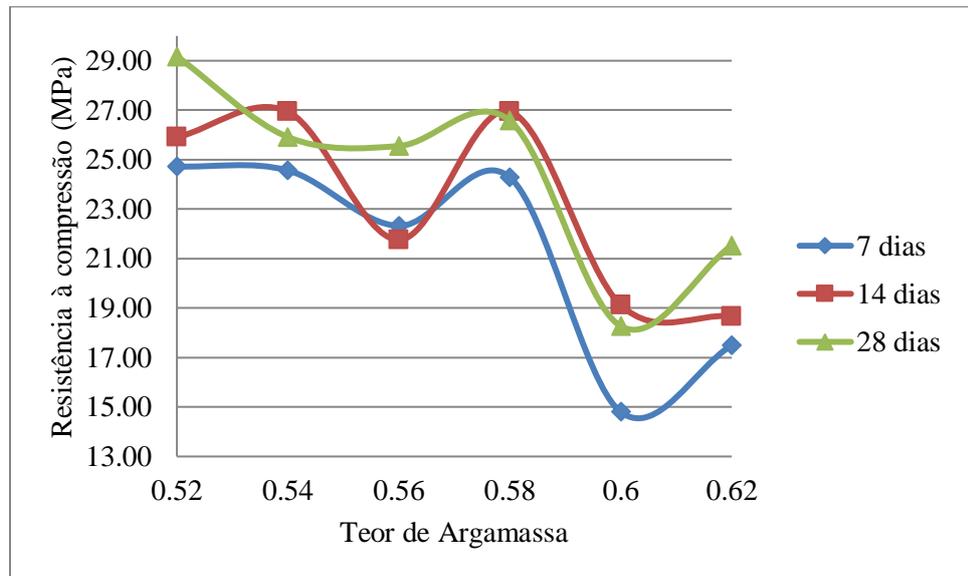
Tabela 22 - Valores máximos de resistência à compressão situação 2

Força de ruptura dos corpos de prova (MPa)		
Teor de Argamassa	7 dias	14 dias
0,52	24,44	27,22
0,54	24,48	25,08
0,56	22,00	22,55
0,58	23,25	24,27
0,6	19,71	23,03
0,62	21,61	26,97

Fonte: do Autor (2018)

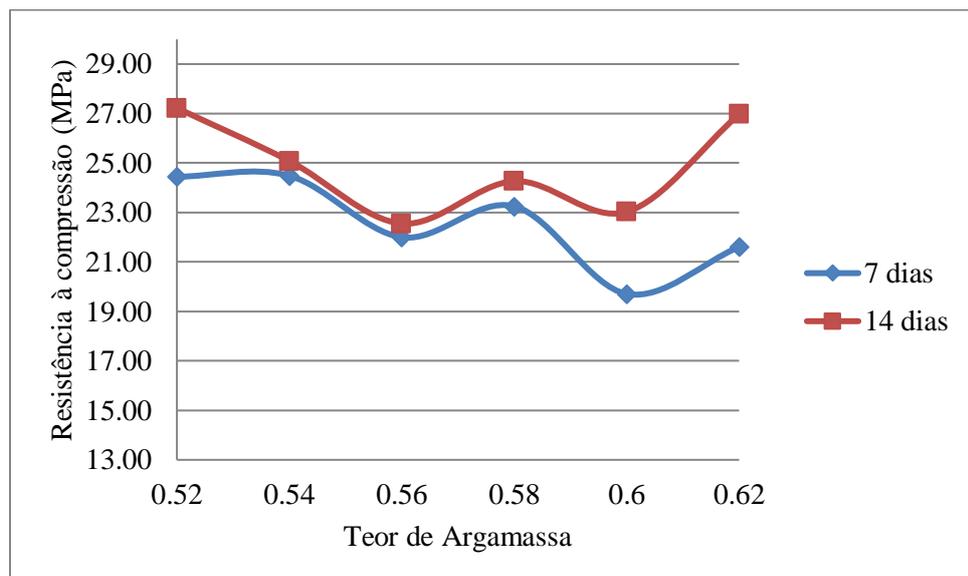
Correlacionando a resistência à compressão com o teor de argamassa, obtêm-se os Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 - Teor de argamassa x Resistência à compressão na situação 1



Fonte: do Autor (2018)

Gráfico 4 - Teor de argamassa x Resistência à compressão na situação 2



Fonte: do Autor (2018)

É possível verificar que com o teor de argamassa de 0,52 o concreto apresentou, em geral, as maiores resistências e para o teor de argamassa de 0,60 apresentou as menores resistências.

Fazendo uma análise geral dos gráficos, observa-se que há oscilação no valor da resistência à compressão em relação ao teor de argamassa, inclusive com a presença de valores de resistência maiores para situações em que o concreto era mais novo.

O provável motivo para essa oscilação nos valores obtidos foi a discordância da amostragem determinada por norma e a amostragem utilizada nos traços. Uma vez que, a NM 33 (ABNT, 1998) estabelece que o volume mínimo de concreto para realização de ensaios de resistência à compressão são 30 litros, enquanto que o utilizado para este trabalho foi de 12,06 litros.

Por ter se trabalhado com volume de concreto abaixo do estabelecido por norma, utilizando apenas o volume necessário para que fossem moldados os corpos de prova, talvez, tenha ocorrido uma heterogeneidade na composição dos mesmos. Isso associado com a pequena quantidade de corpos de prova por idade, possivelmente, ocasionou a variação inesperada dos resultados.

É importante mostrar também o efeito provocado pelo aditivo plastificante nos traços da segunda situação. Para isso, elaborou-se a Tabela 23 abaixo apresentando um comparativo do abatimento obtido e da resistência à compressão para os mesmos teores de argamassa.

Tabela 23- Comparativo entre as duas situações

Teor de argamassa	Situação 1				Situação 2			
	A/C	Abatimento (cm)	7 dias (Mpa)	14 dias (Mpa)	A/C	Abatimento (cm)	7 dias (Mpa)	14 dias (Mpa)
0,52	0,58	2,5	24,73	25,91	0,65	6,0	24,44	27,22
0,54	0,6	2	24,56	26,94	0,65	8,0	24,48	25,08
0,56	0,64	2	22,32	21,76	0,65	6,0	22,00	22,55
0,58	0,65	2	24,28	26,94	0,65	5,5	23,25	24,27
0,60	0,71	1,5	14,80	19,12	0,65	7,0	19,71	23,03
0,62	0,72	1,5	17,50	18,67	0,65	7,5	21,61	26,97

Fonte: do Autor (2018)

Observando a tabela, consegue-se notar que na situação 1, a medida em que o teor de argamassa aumenta, mais água foi acrescentada e menor abatimento foi obtido. A relação no aumento do consumo de água se deve ao fato de que com teor de argamassa maior, maior será a presença de areia que possui uma área superficial superior à da brita.

Na faixa com teor de argamassa de 0,56 e de 0,58 é possível notar que o fator água cimento era próximo nas duas situações, no entanto o abatimento obtido na situação 2 foi superior. Esse fato se deve ao aumento de plasticidade promovido ao concreto pelo uso de aditivo plastificante.

Vê-se também a influência do fator água cimento na resistência à compressão do concreto. Na primeira situação, até um fator água cimento de 0,65 as resistências eram muito próximas às resistências obtidas na segunda situação. A partir do teor de argamassa de 0,60 com o fator água cimento da situação 1 na casa dos 0,70, observa-se a redução da resistência desse concreto o que não acontece na situação 2, com fator água cimento limitado a 0,65.

Dessa forma, observa-se a importância do aditivo plastificante para aumentar a trabalhabilidade do concreto sem ter influência marcante na resistência do concreto, como diz a literatura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Com os resultados obtidos após os ensaios, é possível identificar um comportamento oscilatório da resistência à compressão axial do concreto para diferentes teores de argamassa tanto para a situação sem aditivo plastificante, quanto para a situação em que houve uso do aditivo, diferentemente do esperado. Uma vez que, o esperado seria a existência de um teor de argamassa considerado ideal que apresentaria uma maior resistência, cercado por outros teores de argamassa que apresentariam resistências gradativamente menores.

Nas duas situações verificou-se uma resistência maior para o teor de argamassa 0,52. O que leva a crer que para o teor de argamassa variando de 0,52 a 0,62 com relação de cimento para agregados secos sendo 1:6,5, o melhor teor de argamassa é o 0,52.

É possível verificar a importância no uso do aditivo para obter-se uma boa trabalhabilidade sem ser necessário adicionar mais água, uma vez que o excesso de água poderá afetar na resistência do concreto.

Pode-se concluir também que a amostragem usada para os ensaios de compressão foi insuficiente para a obtenção de valores e correlações mais fidedignas, pois ocorreram situações em que o concreto com menor idade apresentava uma resistência superior ao do concreto mais velho, em desacordo com a literatura, uma vez que a resistência à compressão axial do concreto cresce ao longo de sua idade. Dessa forma, indica-se utilizar o volume de concreto indicado na NM 33, 1998, para a realização de tais ensaios.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sugerem-se as seguintes ideias para trabalhos futuros:

- Realizar os ensaios com o volume mínimo recomendado na NM 33 de 1998;
- Executar os traços sempre com os agregados secos em estufa;
- Realizar o ensaio de resistência à compressão com os corpos de prova úmidos, apenas com a superfície seca;
- Realizar os experimentos com teor de aditivo fixo, variando a quantidade de água, para não gerar novos parâmetros;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECWEB. **Cura do concreto: conheça cada técnica, suas vantagens e cuidados.**c2018. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/cura-do-concreto-conheca-cada-tecnica-suas-vantagens-e-cuidados_16242_10_0>. Acesso em: 29 de Set. de 2018.

AECWEB. **Traço do concreto deve ser ajustado para as necessidades de cada projeto.** C2018. Disponível em:< https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/traco-do-concreto-deve-ser-ajustado-para-as-necessidades-de-cada-projeto_16199_10_0>. Acesso em: 29 de Set de 2018.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório.** São Paulo: Pini, 2012. 457 p.

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **14931: Execução de estruturas de concreto –Procedimento.**Rio de Janeiro, p.59. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, p.12. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **5739: Concreto-Ensaio de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, p.13. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **6118: Projetos de estruturas de concreto-Procedimentos.** Rio de Janeiro, p. 256. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, p. 5. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, p.9. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 248:Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, p.6. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 33:Concreto–Amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro, p.5.1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, p.6. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 53:Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, p.8. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**NM 67:Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, p.8. 1998.

CONSTRUCAOCIVILPET.**O Concreto como material construtivo: Da origem às novas tecnologias**. Disponível em: <<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>>. Acesso em: 13 de Set. de 2018

ECIVIL. **Resistência à Compressão**, c2018. Disponível em:<<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-resistencia-a-compressao.html>>. Acesso em: 30 de Set. de 2018.

ESPÍNOLA, Tarcisio de Carvalho. **Concreto: Evolução da Resistência**. Tce.eng.br, c2018. Disponível em: <<http://www.tce.eng.br/utilidades/concreto/evolucao>>. Acesso em 27 de Set. de 2018.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Abrams: A relação água/cimento**. 2013. Disponível em: < <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/a-relacao-aguacimento-abrams.html>>. Acesso em: 27 de Set. de 2018.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Curva de Abrams**. 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/05/abaixo-link-para-download-planilha-em.html>>. Acesso em: 27 de Set. de 2018.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Granulometria e Módulo de finura**. 2013. Disponível em:< <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/05/video-do-ensaio-de-granulometria.html>>. Acesso em: 30 de Set. de 2018.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Ibracon, 2005.

JUNIOR, José de A. Freitas. **Materiais de construção (TC-031) Aditivos para Concreto**. 2013. 93 slides.

JUNIOR, José de A. Freitas. **Materiais de construção (TC-031) Agregados**. 2013. 110 slides.

LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados Para a Construção Civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: 22 de Out. de 2018.

MENDES, Gustavo. **Aditivos e Adições**. Construção Mercado, 2006. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construc.aspx>>. Acesso em 29 de Set. de 2018.

OLIVEIRA, Vera. **A importância do Setor de Construção Civil no Brasil**. 2013. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/a-importancia-do-setor-de-construcao-civil-no-brasil/107874>>. Acesso em: 08 de Out. de 2018.

RESENDE, Carlos. **Teor de argamassa ideal: a correta proporção entre os agregados**. 2013. Disponível em: <<http://propriedadesdoconcreto.blogspot.com/2013/07/teor-de-argamassa-ideal-correta.html>>. Acesso em: 27 de Set. de 2018.

VARELA, Marcio. **Granulometria**. [20-?]. 34 slides.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações: Fundamentos**. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

APÊNDICE A – CÁLCULO DOS PARÂMETROS DOS ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS

Com os valores obtidos no ensaio granulométrico, pode-se chegar ao valor do módulo de finura para cada agregado. Para o cálculo do módulo de finura, será utilizada a Equação (17).

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\Sigma (\text{Porcentagem retida acumulada nas peneiras da série normal})}{100} \quad (17)$$

Logo, tem-se:

$$\text{Módulo de Finura (areia)} = \frac{(0,41 + 1,28 + 5,88 + 17,92 + 41,00 + 74,12 + 96,40)}{100}$$

$$\text{Módulo de Finura (areia)} = 2,37$$

$$\text{Módulo de Finura (Brita)} = \frac{(17,3 + 99,8 + 99,9 + 99,9 + 99,9)}{100}$$

$$\text{Módulo de Finura (areia)} \cong 4,17$$

A Equação (8) mostra como deverá ser feito o cálculo do coeficiente de não uniformidade do agregado.

$$\text{CNU} = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

A Equação (9) mostra como calcular o coeficiente de curvatura.

$$\text{CC} = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

Os valores de d_{60} , d_{30} e de d_{10} para a areia são, respectivamente, 1,18 mm, 0,6 mm e 0,3 mm. Dessa forma, tem-se:

$$\text{CNU} = \frac{1,18}{0,3} = 3,93$$

$$\text{CC} = \frac{0,6^2}{0,3 \times 1,18} = 1,02$$

Já para a brita, os valores de d_{60} , d_{30} e de d_{10} são o mesmo, igual a 19 mm. Dessa forma, tem-se:

$$\text{CNU} = \frac{19}{19} = 1,00$$

$$\text{CC} = \frac{19^2}{19 \times 19} = 1,00$$

APÊNDICE B – CÁLCULOS PARA MASSA APARENTE DO AGREGADO SECO

Para conhecer a massa de material em cada caso, utiliza-se a Equação (18).

$$\text{Massa de material} = \text{"Massa do rec. + material"} - \text{"Massa do rec."} \quad (18)$$

Sendo:

- Massa do recipiente = 421,3 g;
- Massa do recipiente + areia = 1110,5 g;
- Massa do recipiente + brita = 1167,8 g.

Dessa forma, fica:

$$\text{Massa de areia} = 1110,5 - 421,3$$

$$\text{Massa de areia} = 689,2 \text{ g.}$$

$$\text{Massa de Brita} = 1167,8 - 421,3$$

$$\text{Massa de Brita} = 746,5 \text{ g.}$$

Utilizando a Equação (11), apresentada na seção 2.12 deste trabalho, é possível calcular o volume de água adicionado ao frasco, v_a , como apresentado abaixo.

$$v_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a}$$

Tem-se:

$$v_a \text{ na areia} = \frac{1410,8 - 1110,5}{1,0} = 300,3 \text{ ml}$$

$$v_a \text{ na brita} = \frac{1482,4 - 1167,8}{1,0} = 314,6 \text{ ml}$$

Dispondo da Equação 10, é possível calcular a massa específica aparente dos agregados secos, d , conforme mostrado abaixo.

$$d = \frac{M}{v - v_a}$$

Dessa forma, tem-se:

$$d \text{ areia} = \frac{421,3}{592 - 300,3} = 2,36 \text{ g/cm}^3$$

$$d \text{ brita} = \frac{746,5}{592 - 314,6} = 2,69 \text{ g/cm}^3$$