



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAIMUNDO GONÇALVES RIBEIRO NETO

Professor Givanildo Alves de Azeredo

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS INTERMEDIÁRIOS COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA**

JOÃO PESSOA

2018

RAIMUNDO GONÇALVES RIBEIRO NETO

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS INTERMEDIÁRIOS COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA**

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Givanildo Alves de Azeredo

JOÃO PESSOA

2018

**Catologação na publicação Seção de
Catologação e Classificação**

N469e Neto, Raimundo Goncalves Ribeiro.

Estudo de Dosagem de Concreto Para Traços
Intermediários Com Agregados Da Região De João Pessoa /
Raimundo Goncalves Ribeiro Neto. - João Pessoa, 2018.
60 f. : il.

Orientação: Givanildo Alves de Azeredo.
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

1. Concreto. 2. Agregados. 3. Dosagem. 4.
Trabalhabilidade. 5. Resistência. I. Azeredo, Givanildo
Alves de. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAIMUNDO GONÇALVES RIBEIRO NETO

**ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO PARA TRAÇOS NORMAIS COM
AGREGADOS DA REGIÃO DE JOÃO PESSOA**

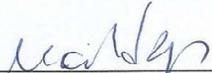
Trabalho de Conclusão de Curso em 01/11/2018 perante a seguinte Comissão

Julgadora:


_____ APROVADO

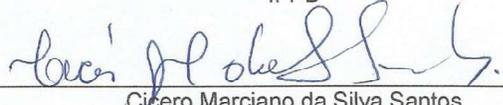
Givanildo Alves de Azeredo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB


_____ APROVADO

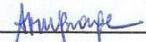
Marcos Alyssandro Soares dos Anjos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
IFPB


_____ APROVADO

Cicero Marciano da Silva Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
IFPB



Prof.ª Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

A pessoa que mais me motiva e inspira meu desenvolvimento pessoal e acadêmico é meu pai, que desde cedo incentivou meus estudos e me inspirou com sua dedicação ao trabalho e à família. Agradeço-lhe por ter sido o melhor pai do mundo e espero um dia ser no mínimo metade do homem que o senhor foi.

Agradeço aos meus colegas Pedro Siqueira e Danilo Medeiros que me acompanharam durante todo o trajeto do TCC, desde o planejamento até a execução dos experimentos, uma tarefa bastante cansativa, considerando a imensa quantidade de corpos de prova moldados.

Agradeço em especial ao professor Givanildo, que nos orientou e nos direcionou durante toda etapa do TCC, sempre auxiliando e tirando nossas dúvidas.

Agradeço à minha família, à Luíse Simões e todos meus amigos que me motivaram bastante nos momentos de estresse durante a elaboração deste trabalho.

Faço também, um agradecimento especial a Eletrificações Luar Ltda. por fornecer todo o material necessário à confecção do concreto sob forma de doação.

Agradeço à UFPB e ao LABEME por fornecerem todo o equipamento e estrutura do laboratório para execução dos ensaios e aos técnicos Sebastião e Delby, que nos ensinaram a operar os equipamentos e realizar os ensaios conforme prescrito em norma.

RESUMO

A dosagem de concreto é um assunto bastante estudado e discutido. Entretanto, esses estudos têm foco em concretos especiais, a exemplo dos concretos de alto desempenho, auto adensáveis, geopoliméricos e vários outros que utilizam de aditivos e adições na sua composição. Porém, os métodos de dosagem não são capazes de fornecer um traço tão preciso quanto os traços obtidos através do estudo de dosagem, pois esses métodos não conseguem abranger a grande variabilidade de características e propriedades reológicas dos agregados que diferem de um lugar para outro. Devido à ausência de estudos de dosagens para agregados da região de João Pessoa, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de dosagem de traços com teor de agregados totais igual a 5 (cinco), considerado como traço normal, e com diferentes teores de argamassa. A relação água/cimento foi obtida por tentativas, objetivando abatimentos iguais para todos os traços. Os resultados apresentaram valores oscilatórios para as resistências e para os abatimentos, evidenciando uma falta de homogeneidade no concreto.

Palavras-chave: concreto, agregados, dosagem, trabalhabilidade, resistência.

ABSTRACT

The dosage of concrete is a subject well studied and discussed. However, these studies focus on special concretes, such as high-strength, self-compacting, geopolymeric concretes and various others that use additives and additives in their manufacture. However, dosing methods are not capable of providing a trace as accurate as the traits obtained through the dosage study, since these methods can not cover the wide variability of characteristics and rheological properties of the clusters that differ from one place to another. Due to the absence of dosage studies for aggregates from the region of João Pessoa, this work has the objective of studying the dosage of traces with total aggregate content equal to 5 (five), considered as normal trait, and with different mortar contents. The relation water / cement was obtained by attempts, aiming at equal rebates for all the traces. The results presented oscillatory values for the resistances and the slump tests, showing a lack of homogeneity.

Key words: concrete, aggregates, dosage, workability, resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Medição do abatimento com cone de Abrams	15
Figura 2 - Molde, cone de Abrams	24
Figura 3 - Peneiras da brita(a); Peneiras da areia(b)	25
Figura 4 - Pesagem do conjunto vazio	26
Figura 5 - Conjunto com areia(a); conjunto com areia e água(b)	26
Figura 6 - Conjunto com brita(a); conjunto com brita e água(b)	27
Figura 7 - Determinação do teor de umidade	28
Figura 8 - Verificação de coesão e trabalhabilidade do concreto	32
Figura 9 - Moldagem do cone de Abrams	33
Figura 10 - Medição de abatimento do concreto	34
Figura 11 - Moldes metálicos cilíndricos.....	34
Figura 12 - Moldes preenchidos de concreto e com acabamento	35
Figura 13 - Cura submersa dos corpos de prova	36
Figura 14 - Ruptura de corpo de prova na prensa hidráulica	37
Figura 15 – Gráfico do aumento do abatimento para cada aumento de 0,01 da relação a/c	44
Figura 16 - Gráfico comparativo entre resistências e teores de argamassa	46
Figura 17 - Gráfico de variação da resistência ao longo do tempo para concretos de trabalhabilidade mínima	46
Figura 18 - Gráfico de variação da resistência ao longo do tempo para concretos com abatimentos de 7 centímetros	47
Figura 19 -Curva para consumo de água para agregados de Belo Horizonte.....	54
Figura 20 - Ábaco experimental para determinação da relação brita/areia em concretos simples	55
Figura 21 - Curva granulométrica da areia	58
Figura 22 - Curva granulométrica da brita	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental	16
Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto....	17
Tabela 3 - Traços calculados	29
Tabela 4 - Cálculo do volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova	29
Tabela 5 - Consumo de cada material em quilogramas para o volume de 10,37 litros..	30
Tabela 6 - Granulometria da brita.....	38
Tabela 7 - Massa específica da brita.....	39
Tabela 8 - Granulometria da areia.....	40
Tabela 9 - Massa específica da areia.....	40
Tabela 10 - Teor de umidade da areia	41
Tabela 11 - Massa específica e TUPs para trabalhabilidade mínima.....	42
Tabela 12 - Massa específica e TUPs para abatimentos de 7 cm	42
Tabela 13 – Características do concreto fresco para trabalhabilidade mínima	43
Tabela 14 – Características do concreto fresco para abatimento 7	43
Tabela 15 - Correspondência entre aumento da relação a/c e aumento do abatimento	44
Tabela 16 - Tensão de ruptura em MPa para trabalhabilidade mínima.....	45
Tabela 17 - Tensão de ruptura em MPa para abatimento de 7 cm	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.3 ESTRUTURAÇÃO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 ESTADOS DO CONCRETO	14
2.1.1 Concreto no estado fresco.....	14
2.1.2 Concreto no estado endurecido	16
2.2 REOLOGIA DOS MATERIAIS	17
2.3 INFLUÊNCIA DO CIMENTO	18
2.4 INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS	18
2.4.1 Definição de empacotamento.....	19
2.4.2 Granulometria dos agregados	19
2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA DOSAGEM	20
3 MÉTODO DE TRABALHO.....	22
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	22
3.2 SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES	24
3.2.1 Granulometria dos agregados	24
3.2.2 Massa específica dos agregados.....	25
3.2.3 Teor de umidade da areia	27
3.3 TRAÇOS ENSAIADOS	28
3.4 PREPARO DO CONCRETO	29
4 RESULTADOS.....	38
4.1 CARACTERÍSTICAS DA BRITA.....	38
4.4 CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS.....	42
5 CONCLUSÃO	48
6 REFERÊNCIAS.....	50
APÊNDICES	52
ANEXOS	57

1 INTRODUÇÃO

Construídas no Egito em 2750 a.C., as grandes pirâmides representam a grande maestria do uso de blocos de rochas pelos egípcios na construção civil, um dos primeiros relatos das grandes construções na história da humanidade. Em meados do século XIX, acompanhado dos grandes avanços tecnológicos da Revolução Industrial, surgiu o concreto. Essa descoberta foi um grande salto na arte de projetar e construir estruturas, pois esse produto ocupa o lugar de segundo material mais consumido do mundo na atualidade, perdendo apenas para a água (HELENE & ANDRADE, 2010).

O primeiro material que pensamos quando se fala em engenharia civil, estruturas e construções é o concreto de cimento Portland, visto que a maioria das soluções estruturais desenvolvidas no Brasil são de concreto armado. O concreto é composto por aglomerante, agregado graúdo e agregado miúdo, exemplificados respectivamente por cimento Portland, brita e areia, que são os componentes mais comumente utilizados por apresentar baixo custo e fácil aplicabilidade.

O concreto é altamente resistente a esforços de compressão e possui a capacidade de ser moldado em qualquer formato, desde que haja uma fôrma para a configuração desejada. A resistência à compressão é a principal característica do concreto, um fator determinante no cálculo de estruturas de concreto armado e que deve ser explicitado nos projetos estruturais. A depender da proporção de componentes utilizados e de suas características, o concreto apresentará diferentes resistências e trabalhabilidades. O processo de determinação da proporção correta para atingir a resistência desejada é denominado dosagem.

Segundo Helene & Andrade (2010), na produção de concretos com o mesmo tipo de cimento e agregados, ou seja, componentes com características idênticas, ao fixar a relação água/cimento, obtêm-se pastas com mesma fluidez. Entretanto, é possível atingir abatimentos diferentes variando o consumo de cimento por metro cúbico. Isso implica que, nessas condições, ao aumentar o volume de pasta de cimento, o abatimento sobe, o que possibilita afirmar que quanto maior o abatimento, maior será o consumo de

cimento. De outro modo, ao fixar o abatimento, quanto menor a relação água/cimento, maior será a resistência do concreto e maior o consumo de cimento.

Outro fator que exerce bastante influência no abatimento do concreto é o teor de argamassa. Em concretos com mesmo abatimento, consumo de cimento e quantidade de agregados totais, o aumento desse teor fará com que haja um aumento na relação água/cimento, dado que a areia possui área superficial maior que a brita, necessitando de mais água para atingir o ponto de saturação dos agregados. Esse aumento de água pode ser evitado com o uso de aditivos plastificantes, o que possibilita a fixação dos parâmetros água/cimento e abatimento para diferentes teores de argamassa.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Na construção civil é comum o uso do concreto usinado em obras de grande porte, pois essas obras requerem um volume de concreto tão grande que sua confecção *in loco* se torna inviável, pois demandaria muita mão de obra para a sua fabricação e aplicação. Devido à facilidade do concreto usinado, a dosagem é tratada com maior descaso por parte dos engenheiros e construtores, tendo reflexo inclusive nas instituições de ensino, pois muitos alunos e professores tratam do assunto com menos interesse. Entretanto, as pequenas obras necessitam de pequenos volumes de concreto, o que torna o uso do concreto usinado caro e inviável quando comparado ao concreto feito em obra, mesmo para classes de concretos que necessitam de uma central de dosagem.

É bastante comum encontrar pequenas obras com patologias e com concretos caros. Isso acontece devido à pressa das construtoras em dar início às obras, unida à falta de conhecimento em dosagem por parte dos engenheiros, que acabam recorrendo às famosas tabelas de concreto ou confiam na capacidade de um mestre de obras ou pedreiro experiente para obtenção de um traço. Porém, os agregados possuem características diferentes a depender da região de onde são extraídos, o que interfere nas propriedades dos concretos. Esse cenário acarreta em encarecimento das obras devido ao uso de traços com consumo de cimento elevado e, no pior dos casos, pode levar à ruína ou à formação de patologias nas estruturas em caso de baixa resistência do concreto (HELENE & TERZIAN, 1993).

No Brasil, não há uma norma que especifique em detalhes os procedimentos para dosagem de concretos, apenas as propriedades que o mesmo deve apresentar para ser utilizado. Alguns estudiosos desenvolveram métodos de dosagem baseados nas características dos materiais utilizados, que podem ser obtidas através de ensaios regidos pelas normas técnicas brasileiras (Boggio, 2000). Entretanto, esses métodos ainda não conseguem atingir com precisão a resistência desejada devido à grande variabilidade das características dos materiais empregados em cada região e, por isso, utilizam coeficientes de segurança elevados, o que leva à produção de concretos com resistência muito acima da necessária e aumento de custos.

Dessa forma, é preciso fazer um estudo dos materiais e uma análise das características dos concretos desenvolvidos em cada região para obtenção de parâmetros que consigam desenvolver uma dosagem mais econômica e precisa (HELENE & TERZIAN, 1993).

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho objetiva fazer um estudo de dosagem de concretos convencionais por meio da análise dos resultados obtidos em experimentos realizados com agregados da região de João Pessoa com consumo de agregados totais por metro cúbico constante e igual a 5 e diferentes teores de argamassa. A análise foi realizada através do ensaio de abatimento no concreto fresco e de ruptura à compressão no concreto endurecido.

1.3 ESTRUTURAÇÃO

Além desta breve introdução, este trabalho é organizado em capítulos da seguinte forma:

- Capítulo 2: aborda os conceitos básicos e definições do concreto e suas propriedades, bem como seus materiais constituintes, apresentando as normas que os caracterizam e estabelecem parâmetros que devem ser seguidos para confecção de concreto.

- Capítulo 3: referencia os materiais estudados e a execução dos ensaios que caracterizam e quantificam a trabalhabilidade e resistência do concreto.
- Capítulo 4: apresenta os resultados obtido pela realização dos ensaios descritos no capítulo 3 e parâmetros que puderam ser estabelecidos a partir disso.
- Capítulo 5: resume e analisa os resultados obtidos e sua viabilidade, além de fazer recomendações para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo traz as definições das propriedades mais importantes dos concretos e dos materiais utilizados em sua fabricação, bem como a influência de cada um desses componentes na mistura com base em estudos anteriores, literaturas e normas.

2.1 ESTADOS DO CONCRETO

Após a mistura de cimento, agregados e água, obtemos o concreto, que será composto por duas fases. A primeira fase, logo após a mistura, é denominada concreto fresco, havendo possibilidade de mistura, transporte, lançamento e adensamento. Já na segunda fase, as reações químicas de hidratação do cimento atingem o ponto de endurecimento do concreto, que adquire rigidez similar à de uma rocha (HELENE & ANDRADE, 2010).

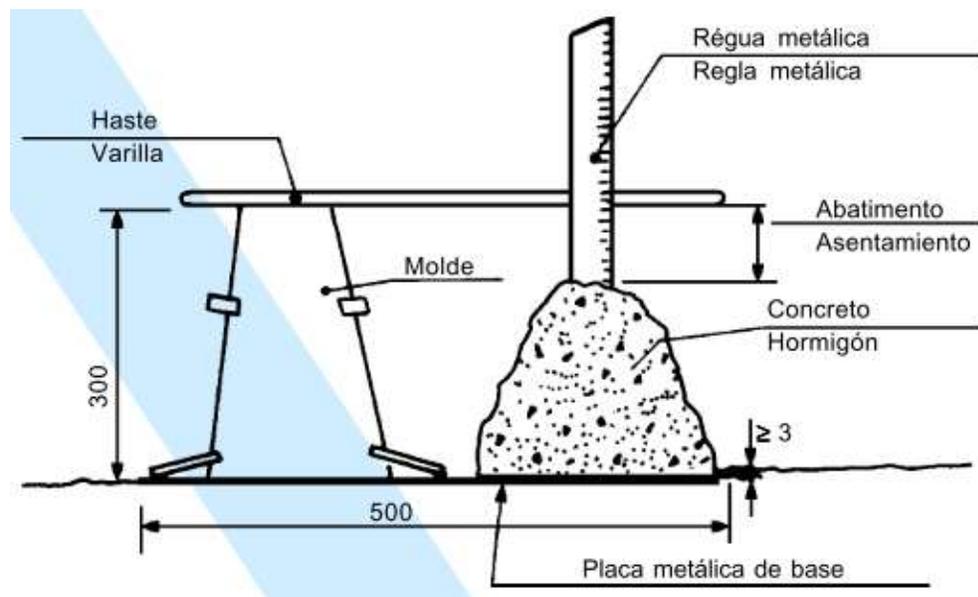
2.1.1 Concreto no estado fresco

No estado fresco, a característica mais importante do concreto é a trabalhabilidade, que pode ser influenciada por condições intrínsecas e extrínsecas. Os fatores intrínsecos dependem da relação entre água e materiais secos, tipo de cimento, traço utilizado, teor de argamassa, tamanho, forma e textura dos agregados (Helene & Andrade, 2010). Além disso, outros fatores, considerados fatores externos, podem influenciar na trabalhabilidade do concreto. A exemplo disso, temos as condições de transporte, lançamento, adensamento, espalhamento, disposição das armaduras, temperatura, e diversos outros fatores (HELENE & ANDRADE, 2010).

A trabalhabilidade depende de dois fatores principais: a fluidez, que garante melhor mobilidade do concreto; e a coesão, que previne a exsudação e a segregação. Ao ser lançado em elementos estruturais com armaduras, o concreto deve ter capacidade de escoamento suficiente para que consiga preencher todos os vazios da fôrma sem exsudar ou segregar, ou seja, sem haver separação dos componentes, garantindo a homogeneidade, resistência e durabilidade após endurecimento (FELIPE & REIS, 2008).

Com o intuito de avaliar a trabalhabilidade do concreto, a NBR NM 67, 1998 normatiza um método de ensaio realizado através do cone de Abrams, um tronco de cone com 30 centímetros de altura e diâmetro variando de 10 centímetros no topo até 20 centímetros na base conforme a Figura 1 (HELENE & ANDRADE, 2010). Nesse ensaio é avaliada a capacidade de deformação do concreto fresco sobre ação de seu peso próprio em centímetros, um parâmetro limitante das características do concreto fresco para concretagem de determinados elementos estruturais.

Figura 1 - Medição do abatimento com cone de Abrams



Fonte:(NBR NM 67, 1998).

Apesar de ser amplamente utilizado pela sua facilidade e rapidez, o ensaio de abatimento com tronco de cone não é capaz de avaliar a trabalhabilidade do concreto de forma efetiva, pois concretos com mesmo abatimento podem apresentar trabalhabilidades diferentes (FELIPE & REIS, 2008). Dito isso, propriedades importantes do concreto fresco como, exsudação, coesão e capacidade de percolação, acabam recebendo menos atenção, e muitas vezes, são avaliadas apenas de forma visual e subjetiva revirando o concreto com a colher de pedreiro ou através de golpes laterais no tronco de cone.

2.1.2 Concreto no estado endurecido

No estado endurecido, a característica mais importante do concreto é sua resistência à compressão, que depende principalmente da relação água/cimento e o consumo de cimento por metro cúbico. Além disso, as propriedades do concreto no estado fresco são essenciais para garantir a homogeneidade, reduzindo a variabilidade das resistências no estado endurecido.

Para padronizar e orientar os processos de determinação dessa característica foram elaboradas normas, dentre elas podemos citar a NBR NM 33, 1998 para coleta de amostras de concreto fresco, a ABNT NBR 5738, 2005 para moldagem e cura de corpos de prova, a ABNT NBR 5739, 2007 para a realização do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, a ABNT NBR 8953, 2010 para classificação de concretos estruturais pela massa específica, por grupos de resistência e consistência e várias outras normas (HELENE & ANDRADE, 2010).

A ABNT NBR 12655, 2015 estabelece parâmetros e especificações para preparo, controle, recebimento e aceitação de concreto. Nela o concreto é classificado de acordo com as intempéries do ambiente e estabelecidas limitações para parâmetros como: relação água/cimento em massa, classe do concreto e consumo de cimento por metro cúbico conforme a Tabela 1 e a Tabela 2:

Tabela 1 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana Marinha	Pequeno
III	Forte	Industrial	Grande
IV	Muito Forte	Industrial Respingos de maré	Elevado

Fonte: (ABNT NBR 12655, 2015)

Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Fonte: (ABNT NBR 12655, 2015)

2.2 REOLOGIA DOS MATERIAIS

Reologia é a ciência que estuda a associação entre tensão, deformação e tempo. A grande preocupação da reologia está em materiais cujo escoamento difere dos fluidos simples, a exemplo dos gases e líquidos, ou de um sólido elástico ideal, exigindo um maior aprofundamento no estudo das deformações e fluxos da matéria, envolvendo fenômenos elásticos, plásticos e viscosos (FELIPE & REIS, 2008).

O concreto é composto por um fluido (pasta de cimento) com materiais sólidos em suspensão (agregados). O estudo da interação dessas duas matrizes é imprescindível para entender o comportamento do concreto fresco e de como ele irá escoar ao ser lançado nas fôrmas. Ao manusear o concreto, ou ao realizar o ensaio de abatimento, é perceptível a necessidade de uma tensão inicial para que esse material comece a fluir, evidenciando que o escoamento só ocorre sob a presença de uma tensão externa mínima. Dessa forma, foi possível caracterizar o concreto no estado fresco como um fluido Binghamiano, caracterizado pela presença de uma tensão limiar de escoamento. Acima dessa tensão, o fluido escoar e apresenta comportamento próximo ao de um líquido newtoniano, e abaixo desse limiar, adquire uma estrutura tridimensional (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Nesse modelo em que o concreto é classificado, são destacadas duas constantes essenciais: tensão de escoamento e viscosidade, associados respectivamente ao

abatimento e à coesão. Três fatores podem influenciar no comportamento reológico do concreto (FELIPE & REIS, 2008):

- A perda de água da pasta de cimento para os agregados a depender de sua área superficial e rugosidade, afetando a coesão e plasticidade;
- A segregação gerada pela ação da gravidade, os agregados graúdos tendem a descer, pelo excesso de vibração, que sedimenta os agregados ou pela quantidade excessiva de agregado graúdo, causando travamento de agregados;
- A composição do cimento: quantidade de finos, adições, pureza etc.

2.3 INFLUÊNCIA DO CIMENTO

A pasta de cimento é bastante instável. Quando umedecido o cimento sofre um processo expansivo e tende a retrair na sua secagem. Além disso, a reação de hidratação do cimento é uma reação exotérmica, ou seja, há liberação de calor, o que pode ocasionar fissuras devido à dilatação térmica. Por causa das propriedades viscoelásticas desse material, a fluência, deformação ao longo do tempo, tende a ser muito mais sensível na pasta de cimento do que nos agregados (HELENE & ANDRADE, 2010).

A ABNT NBR 16697:2018 apresenta os requisitos dos cimentos Portland, desde sua confecção até armazenamento. Existem 5 tipos de cimento, que variam de marca e de tipos de adições, além de apresentar diferentes comportamentos, o que influencia na sua aplicabilidade. Um dos cimentos mais utilizados, principalmente pelas indústrias de pré-moldados, é o CP V-ARI, que possui alta resistência inicial e possibilita a desmoldagem em intervalos menores de tempos.

2.4 INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS

Segundo Helene & Andrade, 2010, um concreto sem agregados tenderia a sofrer retração e, conseqüente, fissuração. Uma das funções principais dos agregados no concreto é estabilizar a variação volumétrica, dando uma maior flexibilidade e estabilidade.

Porém, não é qualquer agregado que pode ser utilizado na confecção de concreto. As características dos agregados influenciam nas suas propriedades e, dentre elas, podemos citar a forma, granulometria, dimensão máxima característica, módulo de finura, resistência à compressão e textura superficial. A norma ABNT NBR 7211, 2009 apresenta especificações das características dos agregados que permitem seu uso na produção de concreto de cimento Portland (ROHDEN, 2015).

2.4.1 Definição de empacotamento

Sabe-se que os agregados são compostos por grãos de diversos tamanhos e que possuem diferentes configurações de agrupamentos. É possível dizer que os agregados se arranjam em diferentes pacotes de agregados com densidades locais distintas das densidades globais (ROHDEN, 2015). Dessa forma, entende-se como empacotamento o arranjo mais compacto de uma mistura granular, cujas partículas mais finas tendem a preencher os espaços vazios deixados pelas partículas maiores. Assim, os agregados que garantem o melhor empacotamento são os graduados, com maior variação no tamanho dos grãos, o que tende a preencher os vazios de maneira mais eficiente (FELIPE & REIS, 2008).

2.4.2 Granulometria dos agregados

A NBR NM 248, 2003 estabelece os critérios para realização do ensaio de granulometria dos agregados, bem como a definição de algumas características que podem ser obtidas através desse ensaio, como:

- Dimensão máxima característica: corresponde a abertura da peneira cuja porcentagem acumulada retida é igual ou imediatamente inferior a 5%;
- Módulo de finura: Soma da massa acumulada nas peneiras normais dividido por 100.

Neste ensaio, são utilizadas uma série de peneiras divididas entre séries normais e séries intermediárias presentes no Anexo A. Outro fator importante é a conformidade da granulometria dos materiais ensaiados com as faixas granulométricas da ABNT NBR 7211, 2009 que define valores máximos e mínimos para que os agregados possam ser

usados na confecção de concreto. O Anexo B e o Anexo C mostram os valores limites da areia e da brita respectivamente.

2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA DOSAGEM

Segundo Helene & Terzian, 1993, podemos partir dos seguintes conceitos fundamentais quando o assunto é dosagem:

- 1) A relação água/cimento é o parâmetro mais importante;
- 2) O concreto tem custo menor com dimensão máxima de agregado graúdo alta e abatimento do tronco de cone baixo (consistência seca);
- 3) Correções a partir das “leis de comportamento”:

$$a) f_{cj} = \frac{k_1}{k_2 c^c} \quad \text{“Lei de Abrams”}; \quad (1)$$

$$b) m = k_3 + k_4 * \frac{a}{c} \quad \text{“Lei de Lyse”}; \quad (2)$$

$$c) C = \frac{1000}{k_5 + k_6 * m} \quad \text{“Lei de Molinari”}; \quad (3)$$

$$d) \alpha = \frac{1+a}{1+m} \quad \text{“Teor de Argamassa seca”}; \quad (4)$$

$$e) m = a + b; \quad (5)$$

Onde:

f_{cj} = resistência à compressão axial, na idade j , em MPa;

a/c = relação água/cimento em massa, em kg/kg;

a = relação agregado miúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

m = relação agregados secos/cimento em massa, em kg/kg;

α = teor de argamassa seca; deve ser constante para uma determinada situação, em kg/kg;

b = relação agregados graúdos secos/cimento em massa, em kg/kg;

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 e k_6 são constantes que dependem exclusivamente dos materiais (cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e aditivos);

- 4) Leis complementares:

$$a) C = \frac{\gamma}{1+a+b+\frac{a}{c}} \quad \text{“consumo de cimento/m}^3\text{”}; \quad (6)$$

$$b) C = \frac{1000-ar}{\frac{1}{\gamma c} + \frac{a}{\gamma a} + \frac{b}{\gamma b} + \frac{a}{c}} \quad \text{“consumo de cimento/m}^3\text{”}; \quad (7)$$

$$c) \quad C * a/c \quad \text{"consumo de \u00e1gua/m}^3\text{"}; \quad (8)$$

Onde:

C = consumo de cimento por metro c\u00fabico de concreto adensado em kg/m^3 ;

γ = massa espec\u00edfica do concreto, medida no canteiro em kg/m^3 ;

γ_c = massa espec\u00edfica do cimento em kg/dm^3 ;

γ_a = massa espec\u00edfica do agregado mi\u00fado em kg/dm^3 ;

γ_b = massa espec\u00edfica do agregado gra\u00fado em kg/dm^3 ;

ar = teor de ar incorporado e/ou aprisionamento por metro c\u00fabico, em dm^3/m^3 ;

3 MÉTODO DE TRABALHO

Como dito anteriormente, este trabalho objetiva o estudo de dosagem através da análise das resistências obtidas experimentalmente em traços com relação de agregados constantes e iguais a 5 para diferentes teores de argamassa, totalizando 6 teores que variam de 0,52 a 0,62. Para o cálculo desses traços e confecção do concreto, foi necessário o conhecimento de algumas características dos agregados, obtidas através dos ensaios estabelecidos em norma, a exemplo dos ensaios de massa específica e granulometria.

Com os traços em mãos, foi dado início à confecção do concreto de modo que a água de amassamento foi obtida por adição gradativa da água até que os parâmetros desejados fossem atingidos. Os primeiros concretos tinham como objetivo encontrar a relação água/cimento mínima para que se apresentasse coeso e plástico o suficiente para moldagem. No segundo traço, o critério foi obter um abatimento próximo a 7 centímetros, visto que esse abatimento apresenta uma boa trabalhabilidade para concretagem de elementos estruturais. Os corpos de provas moldados foram rompidos em pares nas idades de 7, 14 e 28 dias.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A empresa Eletrificações Luar Ltda. forneceu o cimento, a areia e a brita sobre forma de doação. O cimento utilizado foi o CPV-ARI MAX da marca Cimento Nacional produzida pela Brennand Cimentos e com fábrica em Pitimbu-PB devidamente certificada pela FISPQ e em conformidade com a NBR 14725. Para os agregados miúdo e graúdo foram utilizadas areia média, extraída do Rio Paraíba nos arredores do município de Santa Rita-PB, e brita com origem em rocha granítica comercializada pela COMPECC no município de Gurinhém-PB.

Para os ensaios de granulometria foram utilizados os seguintes materiais:

- Peneiras das séries normais e intermediárias;
- Escova para limpeza das peneiras;
- Tampa, para evitar perda de material durante a agitação;

- Fundo para coleta de resíduos;
- Balança de precisão com resolução de 0,1 gramas e capacidade de 5kg.

O ensaio de massa específica deve ser realizado com o auxílio do frasco de Chapman de acordo com a NBR NM 52, 2009. Entretanto, devido à indisponibilidade desse utensílio, tiveram que ser feitas algumas adaptações e utilizados os seguintes materiais:

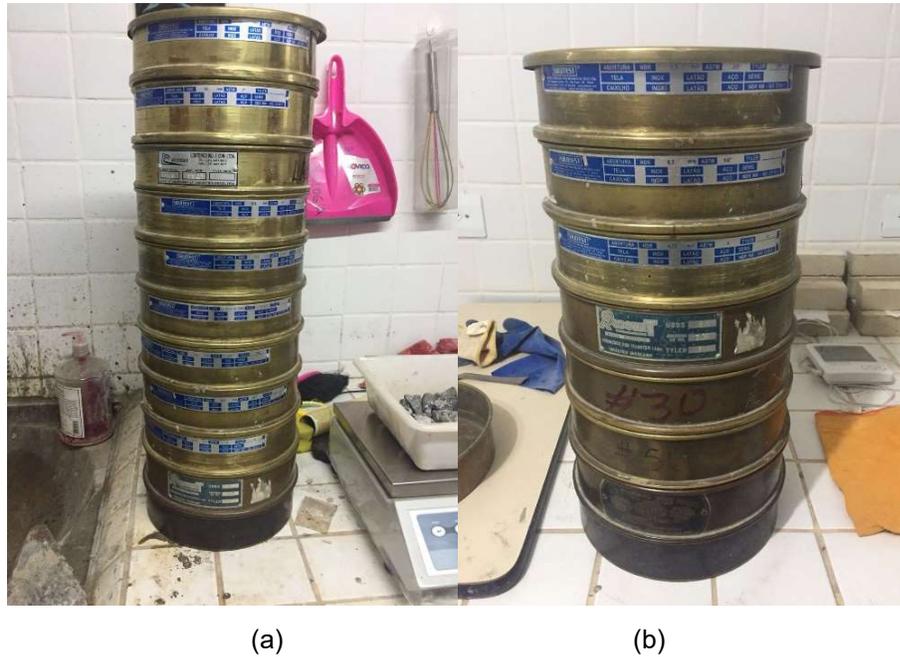
- Frasco com volume de 592 ml;
- Placa de vidro para tapar o frasco;
- Balança de precisão com resolução de 0,1 gramas e capacidade de 5kg;
- Pano para enxugar água transbordante.

Os materiais utilizados no ensaio de abatimento estavam em conformidade com a norma NBR NM 67, 1998 e seguem listados abaixo:

- Balança com capacidade de 50 kg e resolução de 50 g para pesagem do cimento, brita e areia;
- Balança com capacidade de 5 kg e resolução de 0,1g para pesagem da água;
- 4 argamassadeiras para separação de cimento, brita, areia e coleta de concreto;
- Copos descartáveis com capacidade de 100 ml para pesagem de água equivalente à 0,01 de a/c;
- Jarra medidora com capacidade de 3 litros para pesagem de água equivalente à 0,45 de a/c;
- Betoneira para mistura do concreto;
- Cone de Abrams para realização do ensaio de abatimento, conforme figura 2;
- Haste de compactação para realização do ensaio de abatimento, conforme figura 2;
- Placa de base para realização do ensaio de abatimento;
- Moldes metálicos e cilíndricos com diâmetro de 10 e altura de 20 centímetros.

suficiente para que houvesse a separação dos grãos e que não houvesse mais material passante. Os materiais retidos foram pesados e identificados, sempre escovando as peneiras para retirar todo o material aderido em sua superfície interna. As peneiras utilizadas na granulometria da brita e da areia são apresentadas na Figura 3:

Figura 3 - Peneiras da brita(a); Peneiras da areia(b)



Fonte: do Autor (2018).

3.2.2 Massa específica dos agregados

Como dito anteriormente, algumas adaptações tiveram que ser feitas para a realização desse ensaio. Devido à ausência do frasco de Chapman, o ensaio foi realizado partindo do mesmo princípio de que a massa específica equivale à massa seca do material dividida pelo seu volume sem vazios. Esse volume sem vazios pôde ser medido através da adição de água ao recipiente com o material em estudo até que todos os vazios fossem preenchidos. Para preparar o material para realização do ensaio, uma amostra de 1 kg de cada material foi colocada em estufa à 105°C durante 24 horas. Em seguida, a areia foi retirada até atingir temperatura ambiente e realizados os seguintes passos:

- Pesou-se o conjunto recipiente e placa de vidro secos, Figura 4;

- Colocou-se uma amostra da areia seca até um pouco mais da metade do recipiente e realizou-se uma nova pesagem do conjunto;
- Adicionou-se água até preencher o recipiente. Com o auxílio da placa de vidro, a água excedente foi retirada de forma a não deixar bolhas. Toda a água que transbordou nesse procedimento foi enxugada com um pano e, ao final, foi obtido um conjunto totalmente preenchido por água e areia sem vazios.

Esse procedimento foi realizado para a areia e para a brita, conforme Figura 5 e a Figura 6:

Figura 4 - Pesagem do conjunto vazio



Fonte: do Autor (2018)

Figura 5 - Conjunto com areia(a); conjunto com areia e água(b)

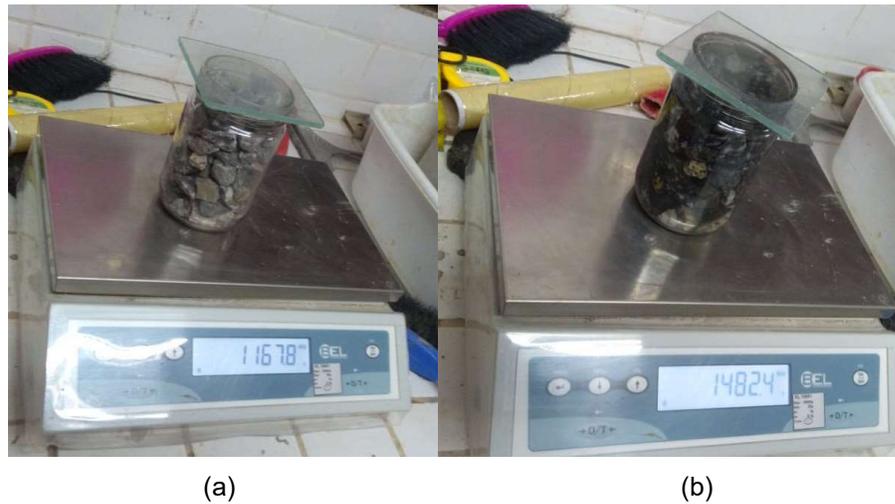


(a)

(b)

Fonte: do Autor (2018)

Figura 6 - Conjunto com brita(a); conjunto com brita e água(b)



Fonte: do Autor (2018)

Ao final do ensaio, a massa específica pôde ser obtida através da seguinte fórmula:

$$M.E. = \frac{M_s}{V_s} \quad (9)$$

$$V_s = V_r - M_a \quad (10)$$

Onde:

V_r = Volume do recipiente;

M_c = Massa do conjunto;

M_s = Massa de material seco;

M_a = Massa de água;

V_s = Volume da areia;

$M.E.$ = Massa específica do material.

3.2.3 Teor de umidade da areia

Antes da confecção do concreto é importante verificar a umidade da areia, pois dependendo do teor de umidade, pode haver necessidade de corrigir a massa de areia e a massa de água. Essa determinação foi feita coletando uma amostra de areia e realizando sua pesagem úmida e uma nova pesagem da mesma amostra após 24 horas em estufa à temperatura de 105°C. A Figura 7 ilustra a pesagem da amostra antes e depois de submetida à estufa por 24 horas.

Figura 7 - Determinação do teor de umidade



Fonte: do Autor (2018)

3.3 TRAÇOS ENSAIADOS

A meta desse trabalho é determinar a influência dos teores de argamassa, ou seja, variações na proporção de brita e areia, no concreto com massa total de agregados secos fixas e iguais a 5. Dessa forma, foram calculados 6 traços com teores de argamassa variando de 0,52 a 0,62 com base na literatura de (Helene & Terzian, 1993). A partir da fórmula 4 e conhecidos os valores das quantidades totais de agregados e dos teores de argamassa, é possível obter a quantidade de areia para cada teor de argamassa conforme a sequência de cálculos abaixo:

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m}$$

$$1 + a = \alpha * (1 + m)$$

$$a = \alpha * (1 + m) - 1$$

Logo, para $m = 5$ e $\alpha = 0,52$, obtém-se o seguinte valor para a quantidade de areia:

$$a = 0,52 * (1 + 5) - 1$$

$$a = 2,12$$

De acordo com a fórmula 5, a quantidade de agregados totais é igual à soma da quantidade de areia com a quantidade de brita. Isolada a quantidade de brita na fórmula 6 e substituindo os valores já obtidos, a quantidade total de brita é:

$$m = a + b$$

$$b = m - a$$

$$b = 5 - 2,12$$

$$b = 2,88$$

Repetindo os cálculos mencionados anteriormente para todos os teores de argamassa, foi possível obter os seus respectivos traços conforme Tabela 3:

Tabela 3 - Traços calculados

Teor de argamassa	TUP 1:5.0		
	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)
0,52	1	2,12	2,88
0,54	1	2,24	2,76
0,56	1	2,36	2,64
0,58	1	2,48	2,52
0,6	1	2,6	2,4
0,62	1	2,72	2,28

Fonte: do Autor (2018)

3.4 PREPARO DO CONCRETO

Estimou-se que a moldagem de 6 corpos de prova seria suficiente para analisar as resistências dos traços calculados. Assim, calculou-se o volume dos 6 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm, altura de 20 cm e um acréscimo de 10% do volume equivalente às perdas de concreto, conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Cálculo do volume de concreto necessário para moldagem de 6 corpos de prova

Volume de concreto por corpo de prova	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volume (L)	Volume para 6 corpos de prova (L)	Volume + 10% perdas (L)
	10	20	78,53	1,57	9,42	10,37

Fonte: do Autor (2018)

Com a estimativa do volume de concreto, é necessário calcular o consumo de cimento equivalente a essa estimativa. Segundo Helene & Terzian, 1993, o consumo de cimento para 1000 litros de concreto pode ser calculado a partir da fórmula 6:

$$C = \frac{1000 - ar}{\frac{1}{\gamma c} + \frac{a}{\gamma a} + \frac{b}{\gamma b} + \frac{a}{c}}$$

Como o volume calculado é de 10,37 litros e que para essa dimensão o volume de ar é desprezível, obtém-se:

$$C = \frac{10,37}{\frac{1}{\gamma c} + \frac{a}{\gamma a} + \frac{b}{\gamma b} + \frac{a}{c}}$$

Estimando uma relação água/cimento de 0,5 e substituindo os valores das massas específicas e do consumo de areia e de brita, é possível obter o consumo de cimento necessário para moldagem de 6 corpos de prova em cada traço. Para obter a quantidade total de cada material basta multiplicar o TUP pelo consumo de cimento obtido. Os valores obtidos após realização dos procedimentos citados seguem na tabela abaixo:

Tabela 5 - Consumo de cada material em quilogramas para o volume de 10,37 litros

teor de argamassa	Consumo de materiais				
	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Volume (L)
0,52	3,61	7,66	10,40	1,81	10,37
0,54	3,61	8,08	9,95	1,80	10,37
0,56	3,60	8,50	9,50	1,80	10,37
0,58	3,59	8,91	9,06	1,80	10,37
0,6	3,59	9,33	8,61	1,79	10,37
0,62	3,58	9,74	8,17	1,79	10,37
Total (Kg)	21,58	52,22	55,70	10,79	62,20

Fonte: do Autor (2018)

Com o consumo de cada material em mãos, foi possível dar início à confecção do concreto e posterior moldagem dos corpos de prova. Como este trabalho objetiva o estudo de dosagem do concreto, a obtenção da água necessária para trabalhabilidade

mínima e abatimento de 7 cm foi obtida pela adição gradativa de água à mistura. Planejou-se o ensaio de modo que os agregados fossem saturados antes da adição do cimento e, para isso, estimou-se uma quantidade de água insuficiente para atingir a trabalhabilidade desejada e, ao mesmo tempo, suficiente para saturar os agregados.

A água inicial foi estimada no equivalente a 0,45 de relação água/cimento, e o restante foi obtido pela adição gradativa de água e constante análise através de verificações com a colher de pedreiro e ensaio de abatimento. Caso o abatimento ou trabalhabilidade não fossem satisfatórios, devolvia-se o concreto a betoneira para adição de mais água. Esse processo foi repetido várias vezes até atingir as propriedades desejadas. As etapas seguidas na produção do concreto seguem listadas abaixo:

- Pesou-se o cimento, brita e areia separadamente em 3 argamassadeiras na balança com capacidade de 50 kg;
- Pesou-se água equivalente à 0,45 da relação a/c na jarra medidora e 0,01 da relação a/c em cada um dos 10 copos descartáveis;
- Com o auxílio de uma mangueira, molhou-se a betoneira, o cone de Abrams e a placa de base. Deixou escorrer por 1 minuto e todo excesso de água foi retirado com um pano. Esse procedimento é realizado para evitar que o concreto perca água de amassamento ao entrar em contato com essas superfícies;
- Ligou-se a betoneira e nela foi inserida a brita e a jarra com água equivalente a 0,45 da relação água/cimento. Esperou-se 30 segundos para que toda a superfície do agregado miúdo estivesse molhada;
- Adicionou-se a areia e deixou misturar por mais 1 minutos para saturar os agregados e, em seguida, acrescentou-se o cimento, deixando misturar por 2 minutos. Nessa etapa de mistura do concreto mais seco, a betoneira foi desligada para retirada do concreto aderido à sua superfície com o auxílio da colher de pedreiro e misturado novamente até ficar o mais homogêneo possível;
- Nos primeiros traços, observou-se o concreto fresco para verificar se a mistura apresentava coesão e plasticidade suficientes para moldagem, essa análise

pôde ser feita aplainando e revirando o concreto com o auxílio de uma colher de pedreiro, conforme a Figura 8, e através do ensaio de abatimento do tronco de cone;

Figura 8 - Verificação de coesão e trabalhabilidade do concreto



Fonte: do Autor (2018)

- Nos segundos traços, cujo objetivo foi obter o abatimento de 7 centímetros, partiu-se da água obtida nos primeiros traços e adicionou-se gradativamente a água de 0,01 em 0,01 da relação água/cimento, sempre verificando o abatimento a cada adição até obter consistência desejada;
- O concreto foi despejado em uma argamassadeira e devidamente homogeneizado através de mistura manual para que fosse submetido ao ensaio de abatimento conforme NBR NM 67, 1998. Todos os ensaios foram realizados por um único operador para reduzir as variabilidades do ensaio. As etapas de realização seguem abaixo:
 - O cone foi preenchido com 3 camadas, cada uma com altura de 10 centímetros (um terço do cone);
 - Cada camada foi compactada com a haste de socamento e os golpes foram distribuídos uniformemente por toda a camada. As camadas mais superiores foram compactadas com cautela para não encostar nas camadas mais inferiores. A camada mais superior foi preenchida com acúmulo de concreto no topo para garantir que houvesse mistura

suficiente após o adensamento e em seguida rasado com uma colher de pedreiro. A Figura 9 ilustra o ensaio após esse procedimento:

Figura 9 - Moldagem do cone de Abrams



Fonte: do Autor (2018)

- Após retirada do concreto excedente sobre a placa, o operador posicionou as mãos sobre as alças do cone fazendo força em direção ao solo para evitar deslocamento do cone. Em seguida, o molde foi retirado lentamente em um intervalo de tempo de 5 a 10 segundos com um movimento vertical constante e sem torções;
- Apoiou-se o cone sobre sua base de menor diâmetro e posicionou-se a haste de compactação sobre o cone, de forma que o abatimento foi medido da parte mais central do cone até a parte mais inferior da haste com uma trena na posição vertical conforme Figura 10:

Figura 10 - Medição de abatimento do concreto



Fonte: do Autor (2018)

- Após determinação do abatimento, devolveu-se o material à argamassadeira para homogeneizá-lo e dar início a moldagem dos corpos de prova;
- A moldagem foi realizada em moldes cilíndricos com diâmetro de 10 e altura de 20 centímetros, o dobro do diâmetro conforme especificado na ABNT NBR 5738, 2005;
- A moldagem foi realizada conforme ABNT NBR 5738, 2005 e seguida dos seguintes passos:
 - Untou-se a superfície interna dos moldes com óleo mineral conforme especificado pela norma, que nesse caso foi óleo queimado coletado em oficinas de João Pessoa;
 - Verificou-se a base dos moldes para certificar que estavam firmes e vedados para evitar que a argamassa escorresse. a Figura 11 mostra os moldes que foram utilizados:

Figura 11 - Moldes metálicos cilíndricos



Fonte: do Autor (2018)

- Todos os corpos de prova foram moldados manualmente com a haste de adensamento em duas camadas de 12 golpes, objetivando encostar na camada inferior conforme especificado pela norma. Também foram efetuados golpes leves nas laterais dos moldes até o fechamento dos vazios;
- Após adensamento, os moldes foram rasados com o auxílio de uma colher de pedreiro para ficar com superfície lisa e contínua com as bordas do molde;
- Depois do acabamento, os moldes foram cuidadosamente transportados para um local coberto com o intuito de evitar intempéries e incidência solar conforme Figura 12:

Figura 12 - Moldes preenchidos de concreto e com acabamento



Fonte: do Autor (2018)

- No dia seguinte, após passadas 24 horas, os corpos de prova endurecidos foram desmoldados, identificados e colocados na câmara úmida para cura submersa conforme imagem abaixo:

Figura 13 - Cura submersa dos corpos de prova



Fonte: do Autor (2018)

- Para evitar o surgimento de lodo e a proliferação de dengue, foi adicionada cal à água do tanque de cura;
- Os corpos de prova permaneceram na câmara úmida até um dia antes de sua ruptura para que fossem rompidos após 24 horas de secagem;
- Para garantir a distribuição uniforme do carregamento foi apoiado um equipamento metálico com uma camada interna de neoprene sobre a superfície rugosa no corpo de prova. Esse material foi testado anteriormente em outros experimentos e apresentou menor variabilidade e maiores resistências nos corpos de prova do que os que tiveram base nivelada através da retífica ou capeamento com pasta de cimento;
- A ruptura dos corpos de prova foi realizada em conformidade com a ABNT NBR 5739, 2007 mediante prensa hidráulica com medidor digital específica da marca PAVITEST e fabricada pela CONTENCO – INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, calibrada pelo LabMetrol da UFRN, com padrões inerentes ao INMETRO. A velocidade de deslocamento da prensa foi de 2 milímetros por segundo e velocidade de carregamento próxima de 0,2 Mpa por segundo conforme Figura 14;

Figura 14 - Ruptura de corpo de prova na prensa hidráulica



Fonte: do Autor (2018)

- O cálculo da resistência foi obtido dividindo a carga de ruptura pela área do corpo de prova e depois convertida em MPa.

4 RESULTADOS

Os agregados apresentaram conformidade com os parâmetros estabelecidos em norma, enquanto o concreto apresentou pouca homogeneidade devido à pequena quantidade de exemplares e ao baixo volume de concreto produzido, que também afetou na variabilidade anormal do abatimento.

4.1 CARACTERÍSTICAS DA BRITA

As tabelas abaixo apresentam os resultados obtidos através dos ensaios de massa específica e granulometria da brita, bem como propriedades que puderam ser obtidas através desses resultados conforme capítulo 2 deste trabalho. A granulometria da brita apresentou resultados dentro das faixas limites estabelecidas pela ABNT NBR 7211, 2009 conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Granulometria da brita

Brita			
Peneiras	Peso retido	Porcentagem retida	Porcentagem retida acumulada
(mm)	(g)	(%)	(%)
75	0,0	0,0	0,0
63	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0
37,5	0,0	0,0	0,0
31,5	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0
19	259,5	17,3	17,3
12,5	1125,1	75,0	92,3
9,5	111,2	7,4	99,8
6,3	1,6	0,1	99,9
4,75	0,0	0,0	99,9
2,36	0,0	0,0	99,9
Resíduo	2,1	0,1	100,0
	D_{máx}		19,0
	Módulo de finura		4,17

Fonte: do Autor (2018)

A norma não apresenta parâmetros máximos ou mínimos para a massa específica dos agregados graúdos, porém, os valores se apresentaram satisfatórios quando comparado aos valores encontrados em outras literaturas, visto que são valores próximos, conforme visto na Tabela 7.

Tabela 7 - Massa específica da brita

Massa específica brita	
Volume do recipiente (ml)	592,0
Massa do recipiente (g)	421,3
Massa do recipiente + material (g)	1167,8
Massa do recipiente + material + água (g)	1482,4
Massa do material (g)	746,5
Volume de água (ml)	314,6
Volume do material (ml)	277,4
Massa específica (g/cm³)	2,69

Fonte: do Autor (2018)

4.2 CARACTERÍSTICAS DA AREIA

Os mesmos parâmetros obtidos para a brita puderam ser retirados para areia e, da mesma forma, apresentaram conformidade com os parâmetros estabelecidos em norma. Em sua maioria, os valores da granulometria da areia se apresentaram dentro da zona ótima para os valores de massa acumulada retida, validando seu uso na confecção de concreto. O módulo de finura também se situou dentro da zona ótima, entre 2,2 e 2,9. Entretanto, foi observada a presença de pedras de seixo relativamente grandes e matéria orgânica na areia.

Com o intuito de se aproximar ao máximo da realidade das obras, a areia foi utilizada sem peneiramento ou qualquer processo de melhoramento, avaliando também a influência desses materiais no concreto. A Tabela 8 apresenta a granulometria da areia, o D.máx. e o módulo de finura.

Tabela 8 - Granulometria da areia

Areia			
Peneiras (mm)	Peso retido (g)	Percentagem retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)
9,5	0,0	0,00	0,00
6,3	4,1	0,41	0,41
4,75	8,7	0,87	1,28
2,36	46,0	4,60	5,88
1,16	120,4	12,04	17,92
0,6	230,7	23,07	41,00
0,3	331,2	33,13	74,12
0,15	222,7	22,27	96,40
resíduo	36,0	3,60	100,00
	Dmáx		4,75
	Módulo de finura		2,37

Fonte: do Autor (2018)

A norma não estabelece limites mínimos ou máximos para a massa específica. Porém, esse valor foi bem inferior ao encontrado nas literaturas.

Tabela 9 - Massa específica da areia

Massa específica areia	
Volume do recipiente (ml)	592,0
Massa do recipiente (g)	421,3
Massa do recipiente + material (g)	1110,5
Massa do recipiente + material + água (g)	1410,8
Massa do material (g)	689,2
Volume de água (ml)	300,3
Volume do material (ml)	291,7
Massa específica (g/cm³)	2,36

Fonte: do Autor (2018)

A areia apresentou um valor muito baixo de umidade. Dessa forma, considerou-se a areia como seca, dispensando correções no traço. Os valores obtidos na determinação do teor de umidade são apresentados na Tabela 10 abaixo:

Tabela 10 - Teor de umidade da areia

Teor de umidade	Peso do recipiente (g)	Recipiente + material úmido	Recipiente + material seco (g)	Material úmido (g)	Material seco (g)	Umidade real cápsula (g)
0,0%	22,8	83,2	82,7	60,4	59,9	0,83%

Fonte: do Autor (2018)

4.3 DOSAGEM PELA ACI/ABCP

Seguindo os passos descritos no capítulo 2, foi alcançado um traço cujo consumo total de agregados fosse igual a 5 e abatimento de 6 centímetros partindo de um fck igual a 21,7 megapascals. Nota-se que o traço gerado, possui teor de argamassa próximo à 0,52 e apresentou relação água/cimento muito acima dos obtidos nos ensaios, evidenciando a imprecisão desse método para os agregados da região. Os resultados obtidos em cada passo seguem abaixo:

Tabela 11 - Traço dosado pela ACI/ABCP

	Fck	21,7		
Passo 1	Condição	A		
	Sd	4		
	Fcj	28,3		
	Classe do cimento	40		
Passo 2	K teórico	25,264		
	Fc 28	28,3		
	A/C (l/Kg)	0,617		
	Curva da areia	Curva 1		
Passo 3	Consumo de água (l) (60mm)	213		
	Consumo de cimento (kg)	345,099		
Passo 4	Sd (gráfico)	1,37		
	A porcentagem (%)	42,2		
	B porcentagem (%)	57,8		
	M.E.Agregados	2,55		
Passo 6	Massa Agregado	1724,68		
	Consumo de areia	727,71		
	Consumo de brita	996,96		
Passo 7	fck25	Massa	Traço	m
	Cimento (kg)	345,099	1	5,00

Areia (kg)	727,711	2,11
Brita (kg)	996,964	2,89
Água (l)	213	0,62

Fonte: do Autor (2018)

4.4 CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS

Conforme dito anteriormente, este trabalho avaliou as características dos concretos no estado fresco e no estado endurecido. A Tabela 12 e a Tabela 13 resumem as massas específicas de cada agregado e dos agregados totais para cada teor de argamassa, bem como o volume de concreto gerado por cada traço e a relação brita/areia (b/a). Nota-se que o aumento do abatimento foi obtido com o aumento da relação água/cimento.

Tabela 12 - Massa específica e TUPs para trabalhabilidade mínima

Teor de argamassa	Massa específica (g/cm ³)				TUP 1:5,0					
	Cimento	Areia	Brita	Agregados	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Volume (L)	b/a
0,52				2,55	1	2,12	2,88	0,52	2,81	1,36
0,54				2,54	1	2,24	2,76	0,53	2,83	1,23
0,56	3,1	2,36	2,69	2,54	1	2,36	2,64	0,53	2,83	1,12
0,58				2,53	1	2,48	2,52	0,55	2,86	1,02
0,6				2,52	1	2,6	2,4	0,54	2,85	0,92
0,62				2,51	1	2,72	2,28	0,55	2,87	0,84

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 13 - Massa específica e TUPs para abatimentos de 7 cm

Teor de argamassa	Massa específica(g/cm ³)				TUP 1:5,0					
	Cimento	Areia	Brita	Agregados	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Volume (L)	b/a
0,52				2,55	1	2,12	2,88	0,57	2,86	1,36
0,54				2,54	1	2,24	2,76	0,57	2,87	1,23
0,56	3,1	2,36	2,69	2,54	1	2,36	2,64	0,58	2,88	1,12
0,58				2,53	1	2,48	2,52	0,59	2,90	1,02
0,6				2,52	1	2,6	2,4	0,59	2,90	0,92
0,62				2,51	1	2,72	2,28	0,59	2,91	0,84

Fonte: do Autor (2018)

O consumo de cimento e dos demais materiais por metro cúbico de concreto gerado são descritas na Tabela 14 e na Tabela 15. Um dos principais valores apresentados nessas tabelas são os consumos de água para obtenção da coesão, da trabalhabilidade, do abatimento e considerações acerca do fenômeno conhecido como “bloqueio de agregados”, que impedia a penetração da haste de adensamento no concreto. Observa-se que o aumento da água não teve efeito na redução do bloqueio de agregados, mas ocasionou a diminuição do consumo de cimento devido ao aumento do volume de concreto gerado, como mencionado anteriormente.

Tabela 14 – Características do concreto fresco para trabalhabilidade mínima

Teor de argamassa	Consumo/m ³					Abatimento (cm)	Bloqueio de agregados
	Cimento	Areia	Brita	Água	a/c		
0,52	356	754	1025	185	0,52	2,5	elevado
0,54	354	793	977	188	0,53	3	moderado
0,56	353	833	932	187	0,53	4	pouco
0,58	350	868	882	192	0,55	3	nenhum
0,6	350	911	841	189	0,54	3,5	nenhum
0,62	348	947	794	192	0,55	3,5	nenhum

Fonte: do Autor (2018)

Tabela 15 – Características do concreto fresco para abatimento 7

Teor de argamassa	Consumo/m ³					Abatimento (cm)	Bloqueio de agregados
	Cimento	Areia	Brita	Água	a/c		
0,52	350	741	1007	199	0,57	6,5	elevado
0,54	349	782	963	199	0,57	6,5	moderado
0,56	347	819	916	201	0,58	9,0	pouco
0,58	345	856	869	204	0,59	8,5	nenhum
0,6	344	895	826	203	0,59	7,0	nenhum
0,62	344	934	783	203	0,59	6,5	nenhum

Fonte: do Autor (2018)

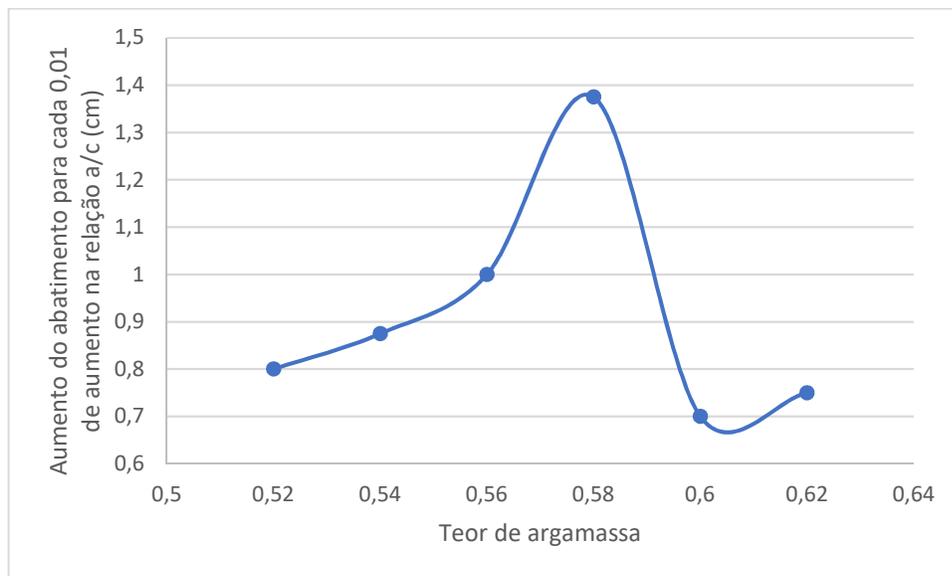
A Tabela 16 apresenta uma correspondência entre o aumento da relação a/c e o aumento do abatimento para cada traço. Observa-se no Figura 15 que até atingir o teor de argamassa equivalente a 0,58 o efeito do aumento da relação água/cimento sobre o abatimento é crescente e atinge seu valor máximo. Desse teor de argamassa pra frente o efeito tende a cair.

Tabela 16 - Correspondência entre aumento da relação a/c e aumento do abatimento

Teor de argamassa	Aumento da relação a/c	Aumento do abatimento (cm)	Aumento do abatimento para cada aumento de 0,01 na relação a/c (cm)
0,52	0,05	4,00	0,8
0,54	0,04	3,50	0,875
0,56	0,05	5,00	1
0,58	0,04	5,50	1,375
0,6	0,05	3,50	0,7
0,62	0,04	3,00	0,75

Fonte: do Autor (2018)

Figura 15 – Gráfico do aumento do abatimento para cada aumento de 0,01 da relação a/c



Fonte: do Autor (2018)

Na Tabela 17 e na Tabela 18 são apresentados os resultados das tensões de ruptura em Megapascal para cada traço. Os corpos de prova foram rompidos em pares nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Tabela 17 - Tensão de ruptura em MPa para trabalhabilidade mínima

Teor de argamassa	Tensão de ruptura dos corpos de prova (MPa)					
	7 dias -	7 dias -	14 dias -	14 dias -	28 dias -	28 dias -
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
0,52	34,57	29,16	37,88	34,21	36,44	37,02
0,54	29,84	31,58	35,59	34,89	30,88	33,14
0,56	33,55	33,17	27,51	36,54	34,08	33,23
0,58	29,01	31,16	28,36	34,19	32,97	34,77
0,6	29,86	26,94	33,36	30,61	36,45	33,58
0,62	28,25	26,64	35,55	29,85	27,71	24,87

Fonte: do Autor (2018)

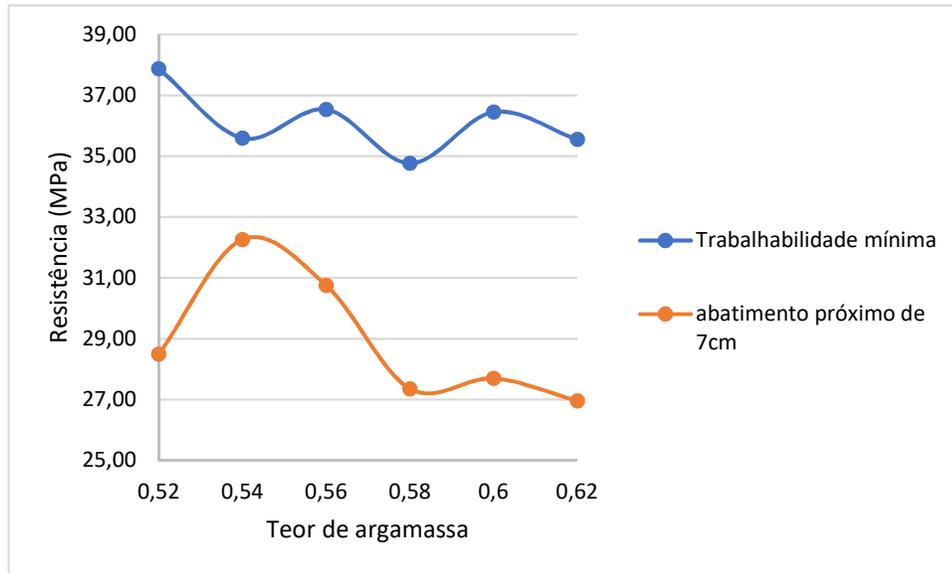
Tabela 18 - Tensão de ruptura em MPa para abatimento de 7 cm

Teor de argamassa	Tensão de ruptura dos corpos de prova (Mpa)					
	7 dias -	7 dias -	14 dias -	14 dias -	28 dias -	28 dias -
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
0,52	25,05	23,73	23,42	25,98	28,49	26,97
0,54	25,95	25,71	25,90	26,74	28,95	32,26
0,56	23,77	23,25	28,34	30,75	28,24	25,61
0,58	24,61	22,66	26,32	24,61	25,21	27,36
0,6	27,43	25,79	25,72	27,70	23,39	27,08
0,62	23,00	25,40	25,28	26,45	26,96	21,11

Fonte: do Autor (2018).

A Figura 16 apresenta um gráfico que esboça a maior resistência obtida para cada traço dentre todos os corpos de prova, ou seja, para todas as idades, sendo possível identificar que para a trabalhabilidade mínima o teor de argamassa que apresentou melhor resistência foi o de 0,52, que apresentou tendência de crescimento da resistência para teores ainda menores, enquanto para os traços com abatimentos próximos de 7 centímetros, o teor que apresentou melhor resistência foi o de 0,54. Nota-se ainda que o aumento da relação a/c reduziu a resistência como esperado.

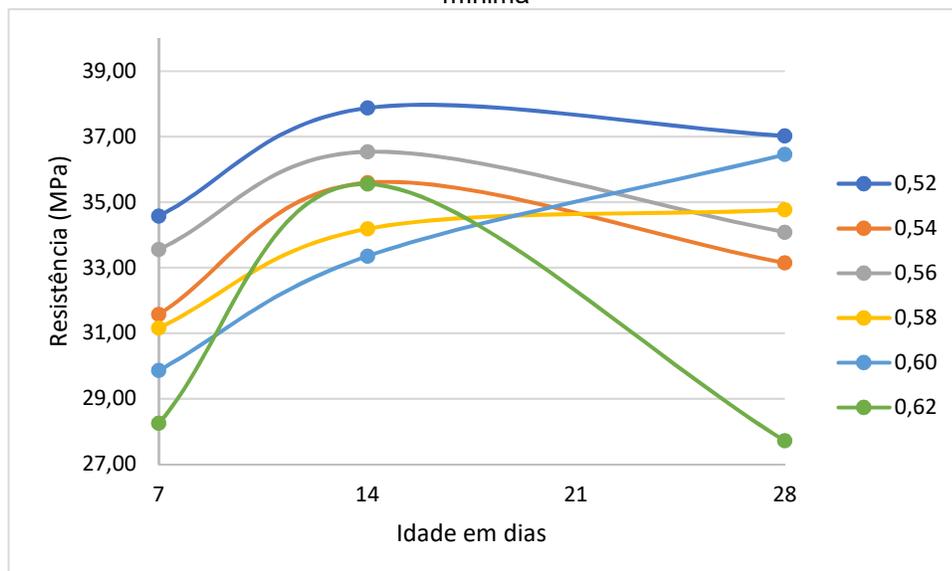
Figura 16 - Gráfico comparativo entre resistências e teores de argamassa



Fonte: do Autor (2018).

A Figura 17 e a Figura 18 apresentam as maiores resistências dentre os pares de corpos de prova que foram rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias para cada teor de argamassa. Na Figura 17, é notável que houve uma diminuição nas resistências dos corpos de prova aos 28 dias comparados aos com 14 dias devido à falta de homogeneidade do concreto e desgaste do neoprene. Isso aconteceu para 4 teores de argamassa dentre os 6 que foram estudados, de forma contraditória à tendência de crescimento da resistência do concreto com o passar do tempo.

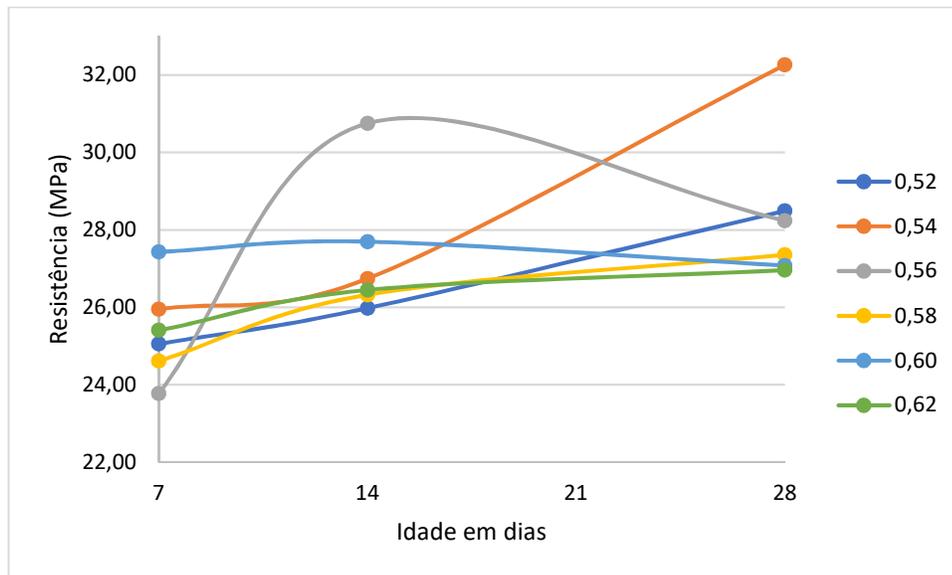
Figura 17 - Gráfico de variação da resistência ao longo do tempo para concretos de trabalhabilidade mínima



Fonte: do Autor (2018)

A mesma incompatibilidade do crescimento da resistência do concreto vista na Figura 17 pode ser verificada na Figura 18. Porém, essa inconstância aconteceu em 2 dos 6 teores de argamassa estudados, implicando que o aumento do abatimento reduziu a variabilidade da resistência do concreto.

Figura 18 - Gráfico de variação da resistência ao longo do tempo para concretos com abatimentos de 7 centímetros



Fonte: do Autor (2018)

5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentaram algumas inconformidades com o esperado devido à falta de homogeneidade no concreto. Analisando o concreto fresco, conclui-se que 0,58 de teor de argamassa é o valor equivalente à trabalhabilidade mínima, pois acima desse valor são obtidos concretos sem bloqueio de agregados. Entretanto, mesmo com o bloqueio de agregados para teores abaixo de 0,58, foi possível obter concretos coesos e plásticos em todos os traços, além de possibilitar a moldagem de corpos de prova com superfície lisa e sem vazios.

Como esperado, na tentativa de manter o abatimento fixo, a relação água/cimento aumentou junto com o teor de argamassa, pois para a mesma massa de material, a areia possui área superficial maior que a brita. Além disso, em traços iguais, o aumento da relação água/cimento acarretou na melhora da trabalhabilidade e diminuição da resistência devido à formação de vazios no concreto endurecido.

Quanto às resistências dos concretos, o teor de argamassa que apresentou melhor resistência foi o de 0,52 para trabalhabilidade mínima, com tendência de aumento na resistência para teores menores, provavelmente devido à formação de uma argamassa mais forte. Para abatimentos próximos à 7 centímetros, o teor de argamassa com maior resistência foi o de 0,54, que apesar de possuir uma argamassa mais fraca que o teor de 0,52, apresentou menos bloqueio de agregados, possibilitando uma melhor moldagem e, assim, maior resistência. Outra análise que pode ser feita, é o fato da resistência cair com o aumento do teor de argamassa, que tende a gerar uma argamassa mais fraca devido ao aumento da relação areia/cimento.

O estimado para o concreto é que a resistência à compressão aumente com o passar do tempo e, ao contrário disso, os corpos de prova com 28 dias, que deveriam apresentar resistência maiores do que os com 14 dias, apresentaram resistência inferior. Isso provavelmente aconteceu devido à variabilidade de resistência do concreto ter sido superior ao crescimento de resistência do CP V-ARI, que conforme ABNT NBR 6118, 2014, possuem resistências iguais a 82%, 92% e 100% para as idades de 7, 14 e 28 dias respectivamente.

Outros fatores que contribuíram para a alta variabilidade nas resistências foi a ocorrência de perdas de argamassa e água tanto para a superfície da betoneira quanto na execução dos ensaios de abatimento, que são bastante impactantes para pequenos volumes de concreto, o que aumenta a inconstância dos resultados. Também é importante que os corpos de prova sejam rompidos na condição saturada com superfícies seca, logo após retirada da cura submersa.

Outro motivo agravante foi a quantidade insuficiente de corpos de prova, incapaz de abranger a alta variabilidade das resistências. Devido à falta de material e ao pequeno intervalo de tempo disponível para planejamento e execução dos experimentos, foi impossível seguir as recomendações da norma e da literatura quanto à amostragem mínima. Por isso, recomenda-se que sejam moldados no mínimo 4 corpos de prova por idade em trabalhos futuros e produzidos volumes de concreto maiores com o intuito de reduzir essa inconstância nos resultados.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 12655. (2015). **Concreto de cimento Portland** — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro
- ABNT NBR 5738. (2005). **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro
- ABNT NBR 5739. (2007). **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro
- ABNT NBR 6118. (2014). **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro
- ABNT NBR 7211. (2009). **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro
- ABNT NBR 8953. (2010). **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**, Rio de Janeiro
- Boggio, A. J. (2000). **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland, 182**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
- Felipe, J., & Reis, A. (2008). **Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso**, 179. Universidade Federal Paulista
- Helene, P. e, & Andrade, T. (2010). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais IBRACON**, ed. Geraldo C. Maia
- Helene, P., & Terzian, P. (1993). **Manual de dosagem e controle do concreto**. Brasília: ed. PINI.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 3ª edição. Ed.:IBRACON. ISBN.: 978-85-98576121. Português, p. 674
- NBR NM 248. (2003). **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro

NBR NM 33. (1998). **Concreto - Amostragem de concreto fresco**. Rio de Janeiro

NBR NM 52. (2009). **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro

NBR NM 67. (1998). **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro

ROHDEN, A. B. (2015). **Contribuição Aos Métodos De Dosagem De Concreto De Alta Resistência A Partir Do Entendimento Da Influência Dos Agregados Na Mistura**, 177, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

APÊNDICES

DOSAGEM DA ACI/ABCP

A dosagem conforme a ACI/ABCP requer algumas características dos agregados que devem ser obtidas através de ensaios normatizados como: D.máx., módulo de finura e massa específica. Com essas características em mãos, são seguidos 7 passos para cálculo da dosagem conforme descrito a seguir.

Cálculo da resistência de dosagem

A norma ABNT NBR 12655, 2015 estabelece que a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade. Para isso, são estabelecidas 3 condições de preparo do concreto:

- condição A (aplicável a todas as classes de concreto) $S_d = 4$;
- condição B (pode ser aplicada às classes C10 a C20) $S_d = 5,5$;
- condição C (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15) $S_d = 7$.

Determinada a condição de dosagem, o fator de desvio é aumentado em 65% e somado à resistência de projeto, conforme a fórmula 11:

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 * S_d \quad (11)$$

Onde:

f_{cmj} = é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

f_{ckj} = é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em Megapascal (MPa);

S_d = é o desvio-padrão da dosagem, expresso em Megapascal (MPa).

Determinação do fator água/cimento.

O método recomenda que o fator a/c seja estimado a partir de curvas de resistência do cimento. Entretanto, devido à indisponibilidade de curvas de resistência para os cimentos da região, o método permite a utilização da fórmula de Bolomey, conforme descrito abaixo:

$$f_{c28} = k * \left(\frac{1}{a/c} - 0,5\right) \quad \text{“fórmula de Bolomey”} \quad (12)$$

Onde:

f_{c28} = Resistência média de dosagem, aos 28 dias;

k = Coeficiente de atividade do cimento, aos 28 dias;

a/c = Fator água/cimento.

O coeficiente de atividade do cimento pode ser obtido em sua resistência mínima prevista na norma, dada por:

$$k = \frac{\text{classe do cimento}}{1,5833} \quad (13)$$

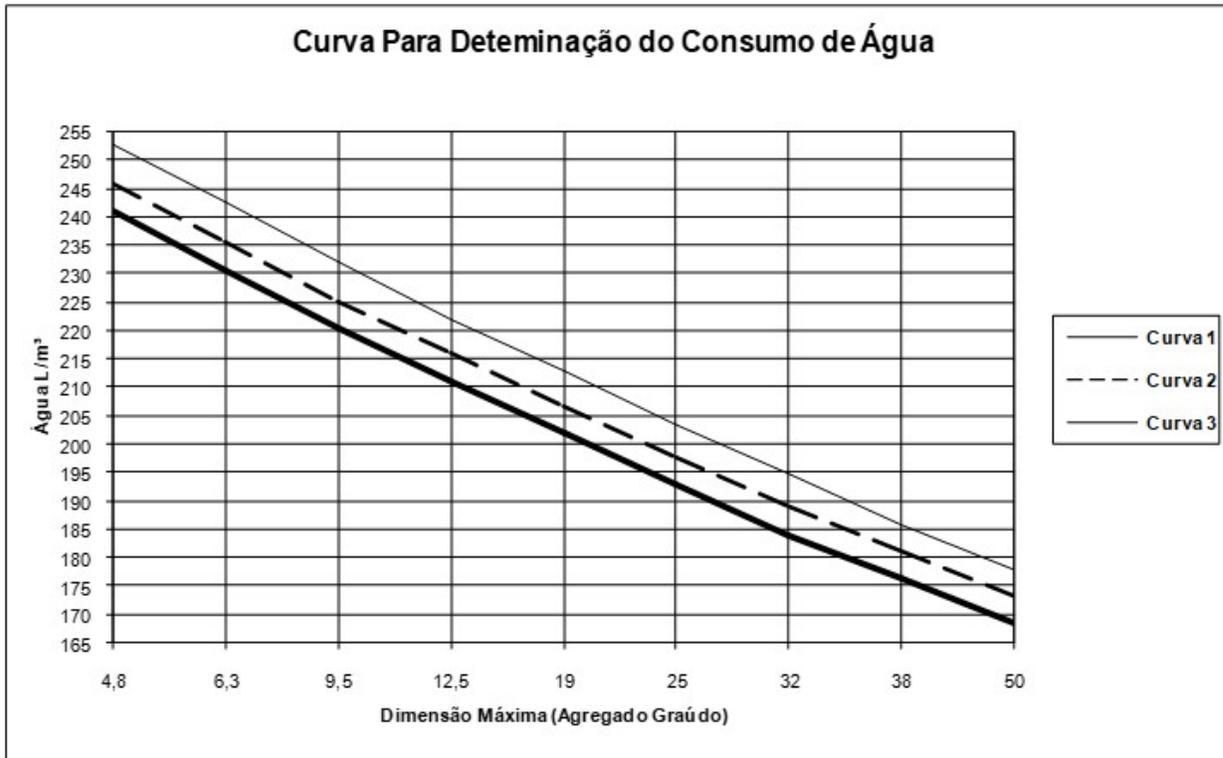
Por fim, o fator água/cimento pode ser obtido isolando o mesmo na fórmula 14, resultando na seguinte expressão:

$$\frac{a}{c} = \left(\frac{f_{c28}}{k} + 0,5\right)^{-1} \quad (14)$$

Estimativa do consumo de água/m³ de concreto

A estimativa do consumo de água varia bastante a depender das características dos agregados. Devido à indisponibilidade de parâmetros para os agregados da região, foi utilizado um gráfico baseado em estudos realizados com agregados da região de Belo Horizonte conforme o gráfico do anexo A que correlaciona o módulo de finura da areia ao D.máx. da brita para estimativa do consumo de água:

Figura 19 -Curva para consumo de água para agregados de Belo Horizonte



Fonte: Método de dosagem ACI/ABCP

Onde:

Curva I - Módulo de Finura da Areia = 2,00 a 2,49

Curva II - Módulo de Finura da Areia = 2,50 a 2,84

Curva III - Módulo de Finura da Areia = 2,85 a 3,20

Cálculo do consumo de cimento/m³ de concreto

Com o consumo de água por metro cúbico, o consumo de cimento é encontrado pela divisão do consumo de água pela relação água cimento, conforme a fórmula 15:

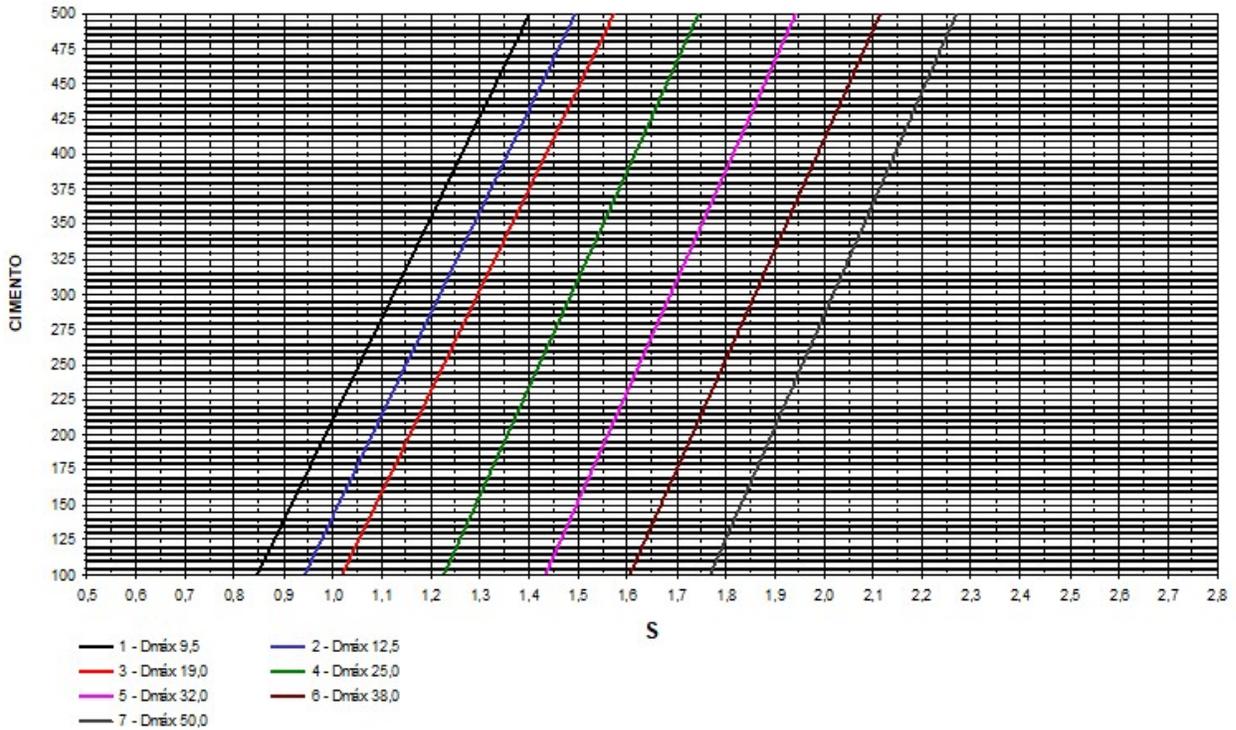
$$\text{Consumo de cimento} = \frac{\text{Consumo de água}}{a/c} \quad (15)$$

Proporção entre agregados

A estimativa da proporção entre agregados depende da aplicabilidade do concreto e das características dos agregados. O anexo B correlaciona o D.máx. do agregado ao consumo de cimento para obtenção da proporção ideal entre agregado graúdo e agregado miúdo para confecção do concreto simples:

Figura 20 - Ábaco experimental para determinação da relação brita/areia em concretos simples

Ábaco Experimental para Determinação da Porcentagem de Areia (E. P. França)



Fonte: Método de dosagem ACI/ABCP

Obtida a relação brita/areia, é possível calcular o percentual de areia e de brita pelas seguintes fórmulas:

$$A\% = \frac{100}{1+b/a} \quad (16)$$

$$B\% = 100 - A\% \quad (17)$$

Onde:

$A\%$ = percentagem de areia;

$B\%$ = percentagem de brita;

Cálculo do consumo de agregados/m³

Como dito anteriormente, o traço é dimensionado para o volume de 1000 litros, dessa forma, a soma dos volumes de cada material deve ser igual a 1000 e dada por:

$$V_{cimento} + V_{areia} + V_{brita} + V_{água} = 1000l \quad (18)$$

O volume pode ser descrito como a relação entre massa do material e massa específica, conforme fórmula 18:

$$\frac{C}{\gamma_c} + \frac{A}{\gamma_a} + \frac{B}{\gamma_b} + \frac{\text{água}}{\gamma_{\text{água}}} = 1000l \quad (19)$$

Onde:

A = consumo de areia por metro cúbico;

B = consumo de brita por metro cúbico.

Também é possível dizer que o volume de agregados totais no concreto é dado pela soma dos volumes de agregado graúdo e agregado miúdo.

$$\frac{M}{\gamma_{\text{agregados}}} = \frac{A}{\gamma_a} + \frac{B}{\gamma_b} \quad (20)$$

Onde:

$\gamma_{\text{agregados}}$ = massa específica dos agregados totais.

Com as percentagens de cada agregado é possível obter a massa específica de agregados totais a partir da média ponderada:

$$\gamma_{\text{agregados}} = \gamma_a * A\% + \gamma_b * B\% \quad (21)$$

Substituindo a fórmula 20 na fórmula 18, é possível obter o consumo total de agregados e o consumo de cada agregado isoladamente:

$$\frac{C}{\gamma_c} + \frac{M}{\gamma_{\text{agregados}}} + \frac{\text{água}}{\gamma_{\text{água}}} = 1000l \quad (22)$$

$$A = M * A\% \quad (23)$$

$$B = M - A \quad (24)$$

Cálculo do traço em peso

O traço final é facilmente obtido pela divisão do consumo de cada material pelo consumo de cimento da seguinte forma:

$$C \div C = 1; \quad (25)$$

$$A \div C = a; \quad (26)$$

$$B \div C = b; \quad (27)$$

$$\text{consumo de água} \div C = a/c. \quad (28)$$

ANEXOS

Anexo A - Série de peneiras para ensaio de granulometria

Serie Normal (mm)	Serie intermediária (mm)
75	-
-	63
-	50
37,5	-
-	31,5
-	25
19	-
-	12,5
9,5	-
-	6,3
4,75	-
2,36	-
1,18	-
0,6	-
0,3	-
0,15	-

Fonte: NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica

Anexo B - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona	Zona	Zona	Zona
	utilizável	ótima	ótima	utilizável
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
---------------	----	----	----	-----

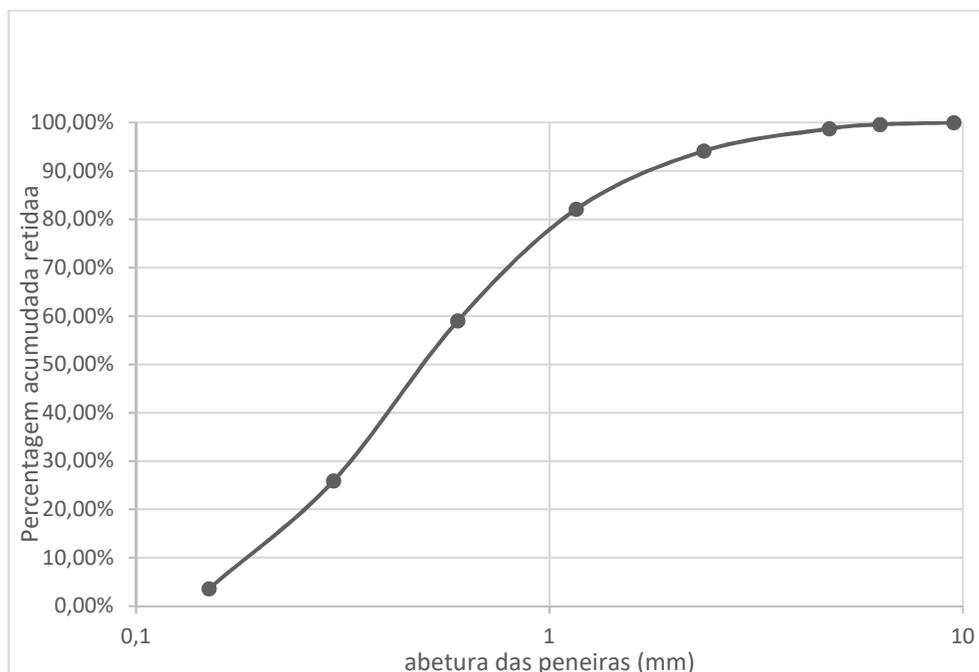
Fonte: (ABNT NBR 7211, 2009)

Anexo C - 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				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	70 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15	65 – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 – 65	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 – 15	80 – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 – 65	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-

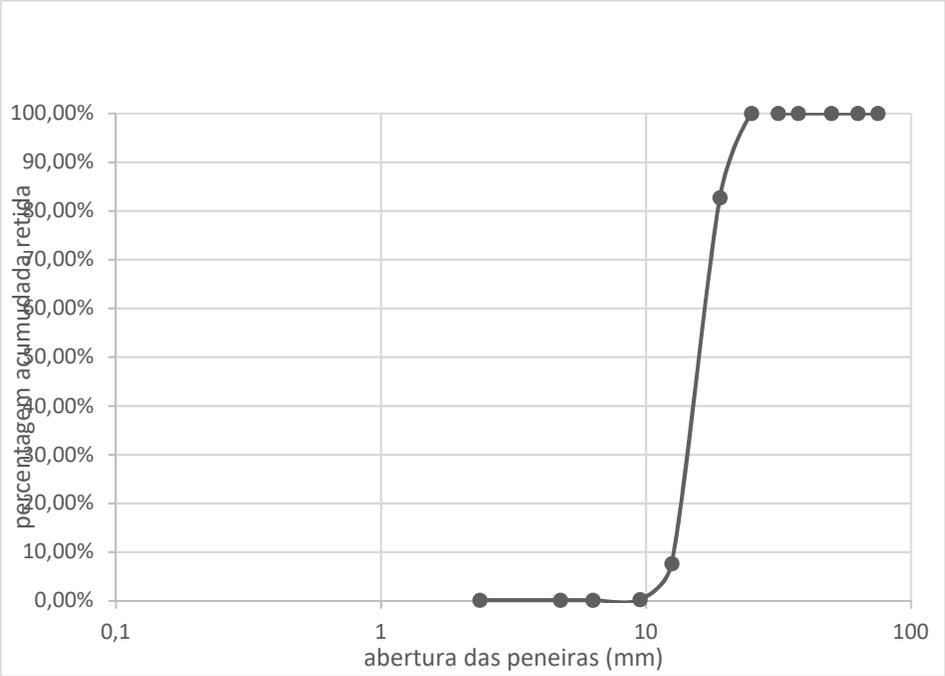
Fonte: (ABNT NBR 7211, 2009)

Figura 21 - Curva granulométrica da areia



Fonte: do Autor (2018).

Figura 22 - Curva granulométrica da brita



Fonte: do Autor (2018).