

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**RICARDO GAZONI EVANGELISTA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO  
UTILIZANDO AREIA ARTIFICIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2013

**RICARDO GAZONI EVANGELISTA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO  
UTILIZANDO AREIA ARTIFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,  
apresentado como requisito parcial para a obtenção  
do título de Engenheiro Civil, do Curso Engenharia  
Civil, da Coordenação de Engenharia Civil – COECI  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
UTFPR

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Goia Rosa de  
Oliveira.

CAMPO MOURÃO

2013



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Engenharia Civil



## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 29

### AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO UTILIZANDO AREIA ARTIFICIAL

Por

**RICARDO GAZONI EVANGELISTA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20 do dia 06 de Setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Profª. Drª. Fabiana Goia Rosa de Oliveira**

(UTFPR)

***Orientadora***

**Prof. Sérgio R. Oberhauser Quintanilha**

**Braga**

( UTFPR )

**Profª. Eliana Fernandes dos Santos**

( UTFPR )

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Profª Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso*

***Dedicatória:***

*Aos meus pais Altair e Fátima,  
Aos meus irmãos e eternos amigos Eduardo e Leonardo,  
Aos meus familiares e amigos presentes em minha formação*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar forças para enfrentar as dificuldades, saúde, alegrias e por me dar a oportunidade de conhecer pessoas especiais durante o curso.

Agradeço infinitamente aos meus pais Altair e Fátima por ficarem ao meu lado em todos os momentos, por demonstrarem seu amor incondicional, por todo apoio, pelos conselhos que me guiaram e foram fundamentais para a concretização desta graduação, a eles que se dedicam a entregar aos seus filhos um mundo melhor, AMO VOCÊS.

Aos meus irmãos Eduardo e Leonardo pela imensurável amizade, convivência, conselhos, por sempre estarem juntos e dispostos a ajudar.

A minha orientadora Professora Dr<sup>a</sup>. Fabiana Goia Rosa de Oliveira, pela preciosa orientação e amizade. Os teus conhecimentos e experiência foram, para mim, muito mais do que inspiração.

Agradeço a Daiane Cecconi, por todo incentivo, compreensão e por estar presente em minha vida neste momento.

A toda minha família, foi essencial para alcançar este objetivo.

Aos meus amigos, todos sem exceção, pela grandiosa e importante amizade, por compreenderem os momentos em que estive ausente estudando.

A todos os professores da COECI – Coordenação de Engenharia Civil da UTFPR.

## RESUMO

EVANGELISTA, Ricardo G. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO UTILIZANDO AREIA ARTIFICIAL**. 2013. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

A areia natural, por ser um material de grande utilização em obras de engenharia, tem sofrido um esgotamento progressivo de suas jazidas, com o conseqüente aumento de seu custo, levando à busca de soluções alternativas. No presente trabalho efetuou-se um estudo de propriedades físicas e mecânicas do concreto com substituição parcial e total da areia natural por areia artificial. Realizaram-se os ensaios de composição granulométrica, densidade, resistência à compressão axial e absorção de água. Os resultados apontaram que os concretos produzidos com areia artificial apresentaram características mecânicas e de durabilidade superiores, comprovando a viabilidade da utilização da areia artificial na confecção de concreto.

**Palavras chave:** areia artificial, agregado, concreto.

## ABSTRACT

EVANGELISTA, Ricardo G. **ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF CONCRETE USING ARTIFICIAL SAND.** 2013. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

The natural sand, being a material of great use in engineering works, has suffered gradual depletion of its reserves, with the consequent increase in its cost, leading to the search for alternative solutions. In the present work it was performed a study of physical and mechanical properties of concrete with partial and total substitution of natural sand by artificial sand. The tests were conducted in particle size, density, compressive strength and water absorption. The results showed that the concrete produced with artificial sand showed mechanical properties and superior durability, proving the feasibility of using artificial sand in the production of concrete.

**Keywords:** artificial sand, aggregate, concrete.

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE VI COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA.....	49
GRÁFICO 2 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA V1 COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA.....	50
GRÁFICO 3 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA V2 COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA.....	50
GRÁFICO 4 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA V3 COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA.....	51
GRÁFICO 5 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA V4 COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA.....	51
GRÁFICO 6 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA V5 COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA.....	52
GRÁFICO 7 - COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA MÉDIA DO CONCRETO.....	60
GRÁFICO 8 - COMPARATIVO DA ABSORÇÃO MÉDIA DO CONCRETO .....	62



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CONJUNTO DE PENEIRAS E PENEIRADOR PARA ENSAIO DE GRANULOMETRIA .....	27
FIGURA 2 - RECIPIENTE COMPLETO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE .....	30
FIGURA 3 - FRASCO DE CHAPMAN PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA .....	31
FIGURA 4 - CURVA DE WALZ .....	37
FIGURA 5 - EXECUÇÃO DO ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE DE ABRAMS .....	41
FIGURA 6 - MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA .....	42
FIGURA 7 – CORPOS DE PROVA ARMAZENADOS EM LOCAL PROTEGIDO POR 24 HORAS.....	43
FIGURA 8 - ARRANJO PARA TESTE DE COMPRESSÃO AXIAL.....	44
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA NATURAL .....	46
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA ARTIFICIAL .....	48
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA BRITA.....	54
FIGURA 12 - RESULTADO DO ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE .....	57

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PORCENTAGEM DAS AREIAS NAS VARIAÇÕES .....	27
TABELA 2 - LIMITES DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO .....	28
TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO DE ACORDO COM SEU MÓDULO DE FINURA .....	29
TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO DE ACORDO COM O D.M.C.....	33
TABELA 5 – CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (LITROS/M <sup>3</sup> DE CONCRETO) EM FUNÇÃO DO ABATIMENTO.....	38
TABELA 6 - VOLUME DE AGREGADO GRAÚDO (M <sup>3</sup> DE BRITA / M <sup>3</sup> DE CONCRETO) EM FUNÇÃO DO MÓDULO DE FINURA DA AREIA E DO DIÂMETRO MÁXIMO CARACTERÍSTICO DO AGREGADO GRAÚDO.....	39
TABELA 7 - PORCENTAGEM DE AREIA PARA CADA TRAÇO .....	40
TABELA 8 - CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO DE ACORDO COM O ABATIMENTO.....	41
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE VI (100% AREIA NATURAL).....	46
TABELA 10 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE V1 (80% AREIA NATURAL E 20% AREIA ARTIFICIAL).....	47
TABELA 11 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE V2 (60% AREIA NATURAL E 40% AREIA ARTIFICIAL).....	47
TABELA 12 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE V3 (40% AREIA NATURAL E 60% AREIA ARTIFICIAL).....	47
TABELA 13 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE V4 (20% AREIA NATURAL E 80% AREIA ARTIFICIAL).....	48
TABELA 14 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE V5 ( 100% AREIA ARTIFICIAL).....	48
TABELA 15 - CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO.....	49
TABELA 16 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO AGREGADO MIÚDO .....	52
TABELA 17 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO AGREGADO MIÚDO.....	53
TABELA 18 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO.....	53
TABELA 19 - CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO.....	54
TABELA 20 - PESAGEM DA AMOSTRA NAS CONDIÇÕES SECA, SATURADA E IMERSA .....	54
TABELA 21 - MASSA ESPECÍFICA SECA E SATURADA E ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO .	55
TABELA 22 - TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO DO AGREGADO MIÚDO.....	55
TABELA 23 - TRAÇOS ENCONTRADOS PELO MÉTODO DA ABCP.....	56

TABELA 24 - MEDIDA DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE .....	56
TABELA 25 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T1 .....	58
TABELA 26 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T2 .....	58
TABELA 27 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T3 .....	58
TABELA 27 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T3 .....	59
TABELA 28 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T4 .....	59
TABELA 29 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T5 .....	59
TABELA 30 - ÁREA DO COPO DE PROVA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO TRAÇO T6 .....	60
TABELA 31 - RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO.....	60
TABELA 32 - ABSORÇÃO DO CONCRETO.....	61

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
4.1 CIMENTO PORTLAND .....	17
4.2 AGREGADOS .....	17
4.2.1 Classificação dos Agregados .....	18
4.2.1.1 Segundo a origem .....	18
4.2.1.2 Segundo o peso específico .....	18
4.2.2 Agregado Miúdo Natural .....	19
4.2.3 Agregado Miúdo Artificial .....	20
4.2.4 Agregado Graúdo .....	22
4.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO .....	23
4.4 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND .....	24
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
5.1 MATERIAIS .....	25
5.2 MÉTODOS .....	25
5.2.1 Ensaios de Caracterização dos Agregados .....	26
5.2.1.1 Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo .....	26
5.2.1.1.1 Dimensão máxima característica (D.M.C.) .....	28
5.2.1.1.2 Módulo de finura (M.F.) .....	28
5.2.1.1.3 Classificação do agregado .....	29
5.2.1.2 Determinação da massa específica aparente do agregado miúdo .....	29
5.2.1.3 Determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman .....	30
5.2.1.4 Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo .....	32
5.2.1.4.1 Dimensão máxima característica (D.M.C.) .....	32
5.2.1.4.2 Módulo de finura (M.F.) .....	32
5.2.1.4.3 Classificação do agregado .....	33
5.2.1.5 Determinação da massa específica absoluta do agregado graúdo .....	33
5.2.1.6 Determinação da massa específica no estado compactado do agregado graúdo .....	34
5.2.1.7 Teor de material pulverulento do agregado miúdo .....	35
5.2.2 MÉTODO DE DOSAGEM .....	36
5.2.3 Mistura ou Amassamento dos Componentes do Concreto .....	40
5.2.4 Determinação do Abatimento de Tronco de Cone de Abrams .....	40
5.2.5 Moldagem e Cura dos Corpos de Provas .....	42
5.2.6 Teste de Compressão Axial do Concreto .....	43
5.2.7 Teste Absorção de Água do Concreto Por Imersão .....	44
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	46
6.1.1 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo .....	46
6.1.2 Massa Específica Aparente do Agregado Miúdo .....	52

6.1.3 Massa Específica Real ou Absoluta do Agregado Miúdo (Frasco de Chapman)	53
6.1.4 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Graúdo	53
6.1.5 Massa Específica Absoluta do Agregado Graúdo	54
6.1.6 Massa Específica no Estado Compactado do Agregado Graúdo	55
6.1.7 Teor de Material Pulverulento do Agregado Miúdo	55
6.2 MÉTODO DE DOSAGEM	56
6.3 DETERMINAÇÃO DO ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE DE ABRAMS	56
6.4 TESTE DE COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO	57
6.5 TESTE ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO POR IMERSÃO	61
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A areia artificial ou areia industrial é um produto derivado de rochas que pode ser produzido através dos finos das pedreiras ou através do processamento de britagem do agregado graúdo até atingir a granulometria menor que 4,8 mm. Para a retirada dos finos excedentes na maioria dos processos industriais é feito através equipamentos de lavagem.

A escassez dos recursos naturais para produção de agregado miúdo levou o mercado consumidor, principalmente dos grandes centros urbanos, a buscar areias a grandes distâncias. Como consequência disso, observou-se uma elevação do custo final do produto e a degradação de áreas como leitos de rio. A elevação do custo deve-se ao consumo de combustível para o transporte dos agregados para os grandes centros.

Assim sendo, o estudo busca avaliar alternativas para minimizar os problemas ambientais e custos, através substituição parcial ou total dos agregados naturais por artificiais de forma experimental.

Portando, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da utilização da areia artificial em concretos com diferentes resistências, afim de obter o melhor desempenho com o mesmo fator cimento/agregados.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho físico e mecânico do concreto com substituição parcial e total da areia natural por areia artificial.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar o agregado quanto a sua composição granulométrica.
- Caracterizar a sua densidade.
- Verificar o desempenho de diferentes traços quanto sua resistência à compressão e absorção de água.

### 3 JUSTIFICATIVA

Segundo Pinheiro (2010), pelo motivo do concreto ser moldável, baixo custo dos materiais (água e agregados graúdos e miúdos) e da mão de obra, rapidez de execução, dentre outros motivos, o mesmo foi aceito nos canteiros de obra, tendo assim um aumento significativo no seu uso.

O aumento do consumo de concreto proporciona problemas ambientais, uma vez que um dos seus componentes, a areia é extraída de áreas em torno de leitos de rios e sua estocagem muitas vezes próxima ao mesmo.

Uma fonte encontrada para suprir o elevado consumo de areia pela construção civil no Brasil e diminuir os impactos ambientais e custos é a substituição da areia natural por areia artificial, essa produzida com finos de mineradoras (pó de pedra), o mesmo muitas vezes sem destino e com grandes estoques.

A grande vantagem da areia artificial é a sua produção, pois pode ser realizada no canteiro de pedreiras, localizadas próximas aos centros urbanos, o que proporcionaria uma redução de custo considerável no transporte até o mercado consumidor. De acordo com Departamento Nacional de Produção Mineral (2003) “O transporte responde por cerca de 2/3 do preço final do produto, o que impõe a necessidade de produzi-la o mais próximo possível do mercado”.

A granulometria é outra grande vantagem na utilização da areia artificial, a mesma se mantém constante durante seu beneficiamento, proporcionando menor variação do volume de vazios.



## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é formado por materiais finamente particulados e inorgânicos, quando misturados com água origina uma mistura plástica que após um certo tempo, perdem plasticidade, solidificam-se e gradativamente adquirem resistência mecânica. São chamados ligantes hidráulicos porque, após endurecidos mantêm sua resistência e estabilidade sob água (REIS, 2004).

Conforme Mehta e Monteiro (1994, p.12),

A resistência do concreto é a propriedade mais valorizada pelos engenheiros projetistas e de controle de qualidade. Nos sólidos existe uma relação fundamental inversa entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Conseqüentemente, em materiais de várias fases como o concreto, a porosidade de cada componente ou fase de sua estrutura pode se tornar um fator limitante da resistência. Os agregados naturais são geralmente densos e resistentes; portanto, a porosidade da matriz, que é a pasta de cimento endurecido, bem como a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo é que normalmente determinam a característica de resistência dos concretos usuais.

O cimento Portland é obtido pela pulverização do clinker, esse constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, podendo conter outras adições que modificam suas propriedades ou facilitem seu emprego (BAUER, 1994).

### 4.2 AGREGADOS

Agregado é um material granular sem forma e volume definido, geralmente são inertes e possuem dimensões e propriedades adequadas para o seu uso em obras de engenharia.

Segundo Petrucci (1998) são agregados os fragmentos rolados nos leitos dos rios, as rochas britadas e os materiais encontrados em jazidas, proveniente das alterações das rochas.

A aplicação dos agregados é muito variável: servem de lastro em vias ferroviárias, bases para estradas e calçadas, entram na composição de revestimentos betuminosos e também são utilizados como materiais inertes na confecção de concretos e argamassas.

Os agregados são materiais com valores comerciais menores que o do cimento, portanto utilizando maior volume de agregados no concreto, sem perda de suas características tem influência diretamente no custo de produção. Além disso, proporcionam uma menor retração das pastas formadas por cimento e água, e aumentam a resistência ao desgaste superficial dos concretos (RIBEIRO *et al.*, 2002).

#### 4.2.1 Classificação dos Agregados

Os agregados podem ser classificados quanto à sua origem, seu peso específico e suas dimensões.

##### 4.2.1.1 Segundo a origem

Os agregados podem ser classificados do ponto de vista da sua origem em naturais e artificiais.

Os naturais: são os que se encontram de forma particulada no local da sua extração, como as areias tanto as encontradas em de minas ou de cursos de rios, e os pedregulhos ou seixos rolados.

Os artificiais: são os que têm composição particulada obtida por processos industriais, afim de chegar a situação de uso como agregado, por exemplo, as areias e pedras obtidas da moagem de fragmentos maiores.

##### 4.2.1.2 Segundo o peso específico

Conforme Bauer (1994, p.63) os agregados classificam-se em leves, médios e pesados de acordo com a densidade do material que constitui as partículas.

- Leves: vermiculita, argila expandida e escória granular;
- Médios: calcário, arenito, cascalho, granito, areia, basalto e escória;
- Pesados: barita, hematita e magnetita.

#### 4.2.1.3 Segundo as dimensões

De acordo com NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2009) segundo as dimensões das partículas os agregados são classificados em:

- Miúdo: as areias, com dimensões  $0,075\text{mm} < \varnothing < 4,8\text{mm}$ ;
- Graúdo: os cascalhos e as britas, com dimensões  $\varnothing \geq 4,8\text{mm}$ .

#### 4.2.2 Agregado Miúdo Natural

Segundo a NBR 9935 (ASSOCIAÇÃO..., 1987, p. 2) Agregado miúdo natural é aquele que pode ser utilizado de tal forma que é encontrado na natureza, passando apenas por processo de lavagem e seleção.

A areia é a substância mineral proveniente da decomposição de rochas, principalmente graníticas, compondo-se de grãos arredondados de quartzo, podendo conter ainda, em diversas proporções, grãos de outros minerais.

Conforme Sumário Mineral Brasileiro 2011, (2011, p. 2):

Com relação às reservas, como a areia natural advém de processos intempéricos, que se estabelecem de maneira constante, sobre rochas de todo o planeta, essas são consideradas recursos abundantes. Sua escassez só ocorre local ou regionalmente, justamente quando a demanda por esses materiais é muito alta, o que ocorre tipicamente em grandes aglomerados urbanos, como regiões metropolitanas, cada vez mais comuns.

A areia é extraída em unidades de mineração chamadas de areais ou portos de areia, podendo ser extraída do leito de rios, depósitos lacustres, veios de areia subterrâneos (minas) ou de dunas. A maior parte da areia produzida no Brasil é de

leito de rios ou extraída de minas, com formação de cavas inundadas pelo lençol freático. A areia juntamente com a água é bombeada para silos suspensos, ou então, acumulada no terreno, para posteriormente ser embarcada em caminhões basculantes com destino ao distribuidor ou ao consumidor final (SUMÁRIO MINERAL BRASILEIRO 2011, 2011).

Algumas características do agregado miúdo determinam importantes propriedades do concreto tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. As principais dentre elas são: composição granulométrica, forma e textura superficial dos agregados, substâncias deletérias presentes e massa unitária (MORÁVIA, 2004).

De acordo com Petrucci (1998, p.58) as areias de acordo com seu módulo de finura podem ser classificadas em:

- Muito grossas  $MF > 3,90$ ;
- Grossas  $3,30 < MF < 3,90$ ;
- Médias  $2,40 < MF < 3,30$ ;
- Finas  $MF < 2,40$ .

#### 4.2.3 Agregado Miúdo Artificial

Nos grandes centros urbanos como a Grande São Paulo, o acréscimo no custo final representado pela areia natural das obras e nas centrais dosadoras de concreto, levou os produtores de agregado da região que dispunham de grandes estoques de finos a participarem deste mercado, enfrentando, porém algumas dificuldades na adequação do produto para uso em concreto estrutural (TERRA, 2003).

“A produção de agregado miúdo a partir do agregado graúdo, ou seja, a produção de areia a partir de pedra britada é chamada de areia artificial” (GONÇALVES, 2005, p.7).

Até então o material fino oriundo de pedreiras utilizado na elaboração do concreto era o chamado "pó de pedra". Com granulometria média estável, apresenta um alto consumo de cimento devido à necessidade de adição de água à mistura e também quanto à trabalhabilidade do concreto.

A areia artificial é um produto derivado de rochas, que passa pelo processo de britagem até atingir a granulometria desejada, podendo também ser produzida através dos restos de finos (pó de pedra), passando pelo processo de peneiramento para retiradas dos grãos com diâmetro maior que 4,8 mm e pelo processo de lavagem para retirada das partículas com diâmetro menor que 0,15 mm.

De acordo com NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO..., 2005, p. 5) a areia para estar em uma zona ótima para sua utilização a porcentagem retida na peneira 4,8 mm não deve ultrapassar 5%, e a passante na peneira 0,15 mm a não deve ultrapassar 10%. Ainda de acordo com Costa, (2005) dependendo da sua granulometria a areia artificial possui diversos usos, quais sejam:

- Areia média fina (0,075 – 1,20)mm: Argamassa para levantamento de alvenarias e reboco e serviços em que são utilizadas as argamassas em geral;
- Areia média grossa (0,075 – 4,80)mm: Concretos estruturais confeccionados em obras e pré-fabricados e serviços em que são utilizados os concretos em geral;
- Granilha de 4,80mm com pequena porcentagem de finos (<0,075): Salpique para reboco de alvenarias, asfaltos em geral, blocos pré-fabricados em geral e concretos compactados a rolo.

De acordo com Petrucci, (1998, p.62):

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

A areia artificial possui forma mais angulosa dos grãos. A textura superficial mais áspera e a maior porcentagem de finos dificultam um pouco a trabalhabilidade dos concretos no estado fresco, o que pode ser corrigido com adição de aditivos químicos plastificantes, e que incorporam pequena porcentagem de ar, ou a adição de areia quartzosa natural de grãos arredondados (REIS, 2004).

A textura áspera dos grãos da areia artificial britada facilita a ligação mecânica, por rugosidade superficial, entre a pasta de cimento e o agregado, o que aumenta a resistência mecânica do concreto.

#### 4.2.4 Agregado Graúdo

O agregado graúdo pode ser de origem natural, pedregulho ou seixo, ou de origem artificial, pela trituração mecânica de rochas, pedra britada e cascalho.

É chamado de graúdo quando pelo menos 95% de sua massa é retida na peneira de malha 4,8 mm e passa na peneira 152 mm, conforme definido na NBR-7211 (ABNT, 1987).

O material deve ser proveniente de rochas estáveis, isso é inalterável sob a ação do ar, da água ou do gelo. Não devem ser utilizados como agregado, britas provenientes de rochas feldspáticas ou de xisto, que se decompõem sob a ação da água e do ar (COSTA, 2005).

O seixo é um agregado natural, proveniente da erosão, transporte e decomposição de detritos de desagregação das rochas pelos agentes de intemperismo. São agregados mais econômicos porque não necessitam de processos de britagem e existem em grandes quantidades na natureza. “Os seixos são compostos por diversos minerais e têm estrutura heterogênea, podendo-se encontrar num mesmo seixo, várias formas microcristalinas de quartzo e, mais raramente, fragmentos de arenito e calcário” (SOUZA, 2006)

As britas no Brasil são provenientes principalmente pelo processo de trituração mecânica. As principais rochas utilizadas são de granito e basalto.

As pedras britadas são separadas por peneiras e classificadas conforme sua dimensão, devendo ficar retido 95% da amostra nas pedreiras do seu grupo.

- Brita 0 diâmetro 4,8 - 9,5 mm
- Brita 1 diâmetro 9,5 - 19 mm
- Brita 2 diâmetro 19 - 25 mm
- Brita 3 diâmetro 25 - 50 mm
- Brita 4 diâmetro 50 - 76 mm
- Brita 5 diâmetro 76 – 100 mm

Os grãos podem ser arredondados no caso de seixos, ou de forma angular e de arestas vivas com face mais ou menos planas na pedra brita.

As formas geométricas do agregado graúdo tem grande importância no fator qualidade do concreto. Sob esse aspecto a melhor forma é a que aproxima-se de uma esfera para seixos, e de um cubo para as britas (PETRUCCI, 1998).

### 4.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO

Toda a água potável pode ser utilizada para a confecção de concreto, porém não apenas água potável, muita água que pode ser utilizada sem danos no concreto não pode ser ingerida pelo ser humano.

Na realidade, a maioria dos defeitos causados pela água de amassamento tem maior relação com o excesso de água que propriamente pelos elementos que ela possa conter.

“Contrariamente ao que poderiam pensar, águas impuras não tem muitas vezes nenhum efeito nocivo sobre o concreto, não sendo assim possível julgar uma água pela coloração ou cheiro” (PETRUCCI, 1998, p.74).

De acordo com a NBR 6118 (1978), a água utilizada na confecção do concreto armado deverá atender aos seguintes limites:

- $5,8 \leq \text{pH} \leq 8,0$
- Resíduo sólido  $\leq 5000 \text{ mg/l}$
- Cloretos ( $\text{Cl}^-$ )  $\leq 500 \text{ mg/l}$
- Matéria orgânica  $\leq 3 \text{ mg/l}$
- Sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ )  $\leq 300 \text{ mg/l}$
- Açúcar  $\leq 5 \text{ mg/l}$

A água potável distribuída pelas Companhias Públicas de Abastecimento raramente contém sólido dissolvido excedendo 1000 ppm. Assim, é admissível dizer que a água potável é a mais adequada à produção do concreto.

#### 4.4 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

O concreto é um material com ampla aplicação na construção civil, obtido através da mistura de cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, e água, podendo conter alguns aditivos para melhorar seu desempenho. O concreto oferece diversas qualidades e baixo custo.

Segundo Mehta e Monteiro, (1994) de acordo com a maneira de ser executado o concreto pode ser classificado como concreto fundido, socado, jateado, vibrado, bombeado ou centrifugado.

A qualidade do concreto depende diretamente da qualidade dos materiais utilizados para a sua produção.

“Um fator a ser posto em evidência é a uniformidade. É preferível contar sempre com um produto de qualidade média do que com um que oscile de ótimo a regular.” (PETRUCCI, 1998, p.3).

Possuindo material adequado e as características do mesmo torna-se necessário calcular as proporções de cada agregado e o fator água/cimento para garantir uma mistura adequada, atingindo assim a resistência desejada. Outros fatores que devem ser levados em consideração são: transporte, lançamento, compactação e cura do concreto.

As razões da maior utilização do concreto em relação aos outros materiais são: sua excelente resistência à ação da água sem deterioração séria; facilidade na obtenção de diversas formas e volumes devido à sua consistência plástica; baixo custo e disponibilidade dos principais componentes; e menor consumo de energia para sua obtenção (MEHTA; MONTEIRO, 1994).



## 5 METODOLOGIA

### 5.1 MATERIAIS

- Cimento Portland: O cimento utilizado para a produção do concreto foi cimento Cauê Estrutura CPV-ARI, sua escolha foi feita por ser um cimento com alta resistência inicial e com diversas aplicações.
- Agregados:
  - Agregado miúdo natural: A areia natural utilizada foi proveniente do Comércio de Areia e Pedra Mundo Novo Ltda. Mundo Novo, MS. Classificada pelo mesmo como areia média.
  - Agregado miúdo artificial: A areia artificial utilizada (produzida de rochas basáltica) foi proveniente de Francisco Beltrão, PR.
  - Agregado graúdo: A brita utilizada foi proveniente do município de Campo Mourão.
- Água de amassamento: A água utilizada foi da rede de distribuição da Instituição onde realizam-se os experimentos.

### 5.2 MÉTODOS

O programa experimental desenvolvido neste estudo é baseado na avaliação do comportamento do concreto com o uso da areia artificial em substituição a areia natural.

Para o estudo da avaliação da resistência mecânica do concreto utilizando areia artificial foram necessários três ensaios, sendo eles: ensaio de caracterização dos agregados, ensaio à compressão axial do concreto, e determinação da absorção de água, também foi realizado o ensaio do teor de material pulverulento das areias, este apenas para comparação da qualidade das mesmas.

A definição do traço referência foi feita após a realização dos ensaios de caracterização dos agregados. Já com o traço referência em mãos foram elaborados

outros cinco traços variando somente a porcentagem de areia artificial em 20% até atingir 100% da mesma.

Para cada um dos traços foram moldados 15 corpos de prova, 12 para compressão axial que foram ensaiados 7 dias após a moldagem e 3 para ensaio de absorção de água.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Campo Mourão.

### 5.2.1 Ensaio de Caracterização dos Agregados

A amostragem foi realizada de acordo com a NBR NM – 26 (Agregados - Amostragem, 2001).

#### 5.2.1.1 Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo

Após a coleta das amostras de agregados, conforme NM 26, as mesmas foram secas em estufa com temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , separadas em duas amostras de acordo com a NBR NM 27 (Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, 2001).

As amostras foram peneiradas no conjunto de peneiras denominadas normal [(4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,14)mm e fundo].

O peneiramento foi contínuo por 8 minutos até que o material passante pela peneira fosse inferior a 1% da massa do material retido.

As pesagens foram realizadas com aproximação de 0,1% do peso da amostra.

Assim foi possível determinar a massa total retida em cada uma das peneiras do conjunto mais o fundo.



**Figura 1 - Conjunto de peneiras e peneirador para ensaio de granulometria**

O ensaio de granulometria foi realizado inicialmente com 100% de areia natural (VI), depois foram realizadas variações no volume de areia natural por areia artificial, variando em 20% até atingir 100% da mesma.

**Tabela 1 - Porcentagem das areias nas variações**

Variações	% Areia Natural	% Areia Artificial
VI	100	0
V1	80	20
V2	60	40
V3	40	60
V4	20	80
V5	0	100

Com os resultados da granulometria dos agregados miúdos foi possível comparar com os limites de distribuição granulométrica, de acordo com a tabela a seguir.

**Tabela 2 - Limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo**

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limite inferior		Limite superior	
	Z. utilizável	Z. ótima	Z. ótima	Z. 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: NBR – 7211 (Agregados para concreto – Especificação, 2005)**

#### 5.2.1.1.1 Dimensão máxima característica (D.M.C.)

A dimensão máxima característica é encontrada através da análise da coluna de % retida acumulada de cima para baixo, o primeiro valor maior que 5% correspondera a abertura de peneira, logo o D.M.C. é igual a abertura de peneira imediatamente superior.

#### 5.2.1.1.2 Módulo de finura (M.F.)

O módulo de finura é encontrado à partir da granulometria, conforme equação (1)

$$M.F. = \sum \frac{\% \text{ Retida Acomulada} - \text{Fundo}}{100} \quad (1)$$

### 5.2.1.1.3 Classificação do agregado

A partir do módulo de finura foi possível classificar o agregado conforme tabela 3.

**Tabela 3 - Classificação do agregado miúdo de acordo com seu módulo de finura**

Agregado	Módulo de Finura
Muito Grosso	MF > 3,90
Grosso	3,30 < MF < 3,90
Médio	2,40 < MF < 3,30
Fino	MF < 2,40

Fonte: NBR – 7217 (Determinação da composição granulométrica dos agregados, 1987)

### 5.2.1.2 Determinação da massa específica aparente do agregado miúdo

Preparou-se uma amostra com o dobro do volume do recipiente utilizado, sendo preenchido por meio de uma concha, e lançado de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente.

Com o auxílio de uma régua foi feita a regularização da superfície tomando como base o topo do recipiente.

O recipiente foi pesado com o material nele contido, a massa do agregado ( $M_a$ ) é a diferença entre este e do recipiente no estado vazio ( $M_r$ ). Foram feitas três amostras e dividindo a média das massas ( $M_{a \text{ med}}$ ) pelo volume do recipiente ( $V$ ).

$$M_{\text{aparente}} = \frac{M_{a \text{ med}} - M_r}{V} \quad (2)$$

Onde:

$M_{\text{aparente}}$  = Massa específica aparente;

$M_r$  = Massa do recipiente;

$M_a$  = Massa do agregado;

$M_{a \text{ med}}$  = Massa média do agregado;

$V$  = Volume do recipiente.



**Figura 2 - Recipiente completo para determinação da massa específica aparente**

#### 5.2.1.3 Determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman

Com a amostra de 500 gramas do agregado já seco em estufa  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , colocou-se água no frasco até a marca de  $200 \text{ cm}^3$ , cuidando para que não ficasse nada aderido em paredes. Em seguida introduziu-se cuidadosamente 500 g do

agregado com o auxílio de um funil e uma espátula, ligeiramente inclinado agitou-se o frasco para a saída das bolhas de ar.

Colocando o frasco em nível realizou-se a leitura (L) na escala graduada.

A massa específica absoluta foi calculada pela formula:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (3)$$

Onde:

$\gamma$  = Massa específica absoluta;

L = Leitura na escala graduada.

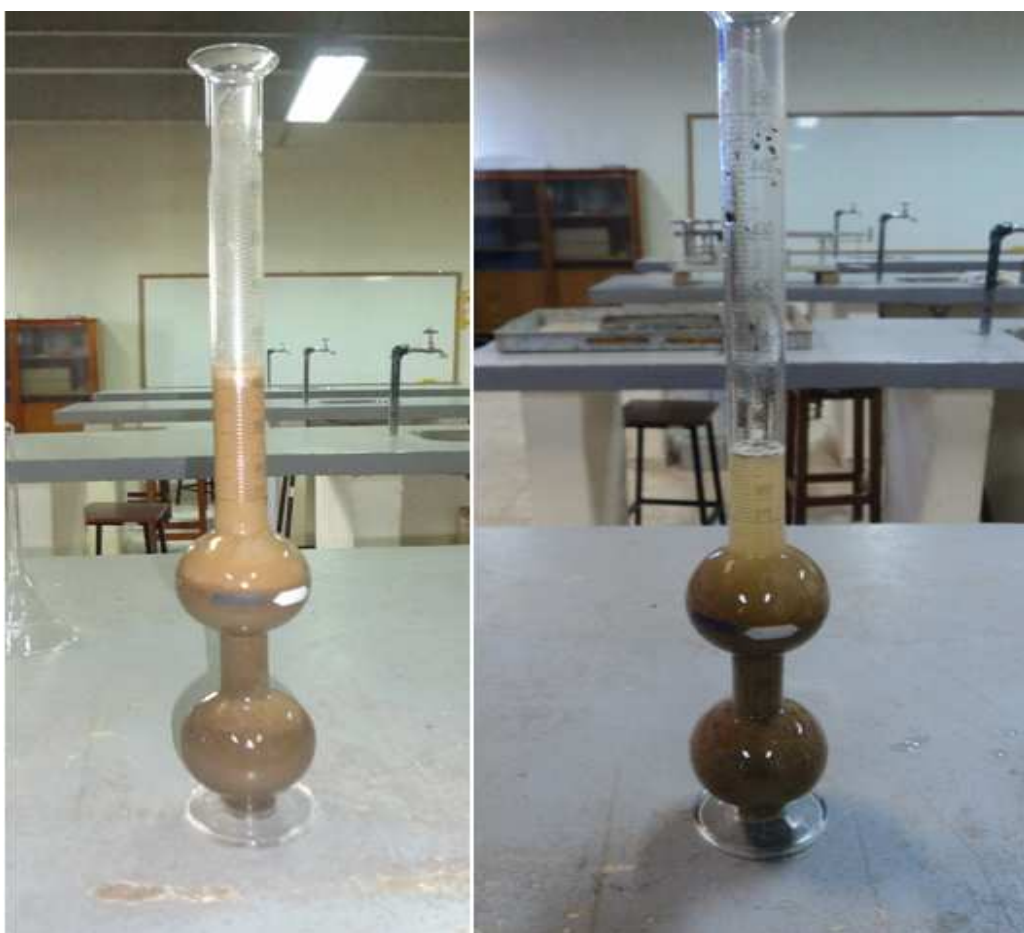


Figura 3 - Frasco de Chapman para determinação da massa específica absoluta

#### 5.2.1.4 Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo

Após a coleta das amostras de agregados, conforme NM 26, as mesmas foram secas em estufa com temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  e separadas em duas amostras de acordo com a NM 27.

A massa mínima para o ensaio com agregado de diâmetro máximo 10 mm foi de 5 kg.

As amostras foram peneiradas no conjunto de peneiras denominadas normal [(76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,14)mm e fundo].

O peneiramento foi contínuo por 15 minutos quando o material passante pela peneira foi inferior a 1% da massa do material retido.

As pesagens foram realizadas com aproximação de 0,1% do peso da amostra.

Assim foi possível determinar a massa total retida em cada uma das peneiras do conjunto mais o fundo.

##### 5.2.1.4.1 Dimensão máxima característica (D.M.C.)

A dimensão máxima característica foi encontrada através da análise da coluna de % retida acumulada de cima para baixo, o primeiro valor maior que 5% corresponderá a abertura de peneira, logo o D.M.C. é igual a abertura de peneira imediatamente superior.

##### 5.2.1.4.2 Módulo de finura (M.F.)

O módulo de finura é encontrado a partir da granulometria, conforme equação (1)



$$M.F. = \sum \frac{\% \text{ Retida Acomulada} - \text{Fundo}}{100} \quad (1)$$

Onde:

$M_r$  = Massa do recipiente;

$M_a$  = Massa do agregado;

$M_{a \text{ med}}$  = Massa média do agregado;

$V$  = Volume do recipiente.

#### 5.2.1.4.3 Classificação do agregado

A partir da dimensão máxima característica pôde-se classificar o agregado conforme tabela 4.

**Tabela 4 – Classificação do agregado graúdo de acordo com o D.M.C.**

D.M.C.	Brita
9,5 mm	0 ou Pedrisco
19 mm	1
25 mm	2
38 mm	3
64 mm	4

Fonte: NBR – 7217 (1987)

#### 5.2.1.5 Determinação da massa específica absoluta do agregado graúdo

Peneirou-se a amostra na peneira 4,8 mm, e desprezou-se todo o material passante.

A amostra foi lavada e secada em estufa até não haver diferença entre as pesagens, deixando-a esfriar em temperatura ambiente.

O agregado foi imerso em água por um período de 24 horas.

Removeu-se a amostra da água espalhando-a sobre um pano absorvente, promovendo a retirada da água superficial. Então foi realizada a pesagem da amostra com aparência opaca, na condição saturada superfície seca (B).

A balança foi zerada com o cesto e a corrente imersa em água. Colocou-se a amostra (B) no cesto imerso e determinou-se o peso (C).

Secou-se a amostra até obter a constância nas pesagens e determinou-se a massa do agregado (A).

Assim pode-se encontrar a massa específica na condição seca, massa específica na condição saturada e absorção do agregado graúdo.

$$Y_{abs\ seca} = \frac{A}{B - C} \quad (4)$$

$$Y_{abs\ sat} = \frac{B}{B - C} \quad (5)$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

$Y_{abs\ seca}$  = Massa específica na condição seca;

$Y_{abs\ Sat}$  = Massa específica na condição saturada;

Ab = Absorção;

A = Massa na condição seca;

B = Massa na condição saturada;

C = Massa na condição imersa.

#### 5.2.1.6 Determinação da massa específica no estado compactado do agregado graúdo

Preparou-se uma amostra com aproximadamente 150% do volume do recipiente, este já no estado seco.

Determinou-se a massa do recipiente vazio ( $M_r$ ), em kg e seu volume (V) em  $\text{cm}^3$ .

Preencheu-se o recipiente em 3 camadas de mesma altura. Fez-se o adensamento de cada camada elevando a bastão metálico cerca de 5 cm e deixando-o cair, repetindo 25 vezes em cada camada.

Nivelou-se a superfície final com a régua metálica e determinou-se a massa do conjunto ( $M_a$ ), em kg. Repetiu-se o processo por 3 vezes e tirou-se a média do peso ( $M_{a\ med.}$ ).

A massa específica do agregado compactado foi encontrado pela equação(7).

$$M_{aparente} = \frac{M_{a\ med} - M_r}{V} \quad (7)$$

Onde :

$M_{aparente}$  = Massa específica aparente;

$M_r$  = Massa do recipiente;

$M_a$  = Massa do agregado;

$M_{a\ med}$  = Massa média do agregado;

$V$  = Volume do recipiente.

#### 5.2.1.7 Teor de material pulverulento do agregado miúdo

Para cada uma das areias foram preparadas duas amostras, essas contendo 1 Kg ( $P_i$ ) e estando em estado seco.

Colocou-se a amostra dentro de um recipiente com água e agitou-se de forma a separar as partículas finas. Despejou-se a água através de peneiras com diâmetro de 1,2 mm e 0,075 mm, desta forma ficando retido apenas a areia.

Repetiu-se esta operação até que a água de lavagem tornou-se límpida.

O agregado já lavado foi seco em estufa e pesado ( $P_f$ ).

O percentual de material pulverulento foi calculado pela equação (8).

$$MP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (\%) \quad (8)$$

Onde:

MP = Teor de material pulverulento;

$P_i$  = Peso da amostra inicial;

$P_f$  = Peso da amostra final (lavada e seca)

O resultado foi obtido pela média das duas determinações.

### 5.2.2 Método de Dosagem

O método de dosagem utilizado para a determinação do traço referência foi o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) / ACI (American Concrete Institute) .

A primeira etapa do método foi a caracterização dos seus materiais (massa específica e absoluta dos agregados e cimento e módulo de finura da areia).

Após a caracterização dos materiais, foi encontrado o desvio padrão Sd em função das condições de preparo do concreto.

- Sd = 4,0 MPa (Controle rigoroso ou total da qualidade) assistência permanente de tecnologistas, todos os materiais medidos em peso, existência de medidor de água preciso, determinação constante da umidade dos agregados e garantia de uniformidade dos materiais componentes.
- Sd = 5,5 MPa (Controle razoável ou parcial da qualidade) assistência permanente de tecnologistas, cimento medido em peso e agregados em volume, existência de medidor de água, determinação da umidade dos agregados correção da quantidade de água em função da umidade.
- Sd = 7,0 MPa (Controle regular ou deficiente da qualidade) o cimento é medido em peso e agregados em volume, existência de medidor de água sem muita precisão, umidade dos agregados estimada, correção da quantidade de água pode ou não ser corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados.

A partir do diâmetro máximo característico do agregado graúdo, pode-se então realizar o cálculo do  $F_{cj}$  para determinação da resistência de dosagem, conforme segue.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 Sd \quad (9)$$

Onde:

$F_{cj}$  = Resistência à compressão de dosagem, a j dias de idade, que normalmente equivale a 28 dias para cimento comum e a 7 dias para cimento ARI;

$F_{ck}$  = Resistência característica à compressão do concreto;

Sd = Desvio padrão que deve ser adotado de acordo com sua produção.

Com o cálculo do  $F_{cj}$  e com o tipo de cimento que foi utilizado pode-se encontrar o fator água/cimento ( $F_{a/c}$ ) pela curva de Walz, Figura 1.

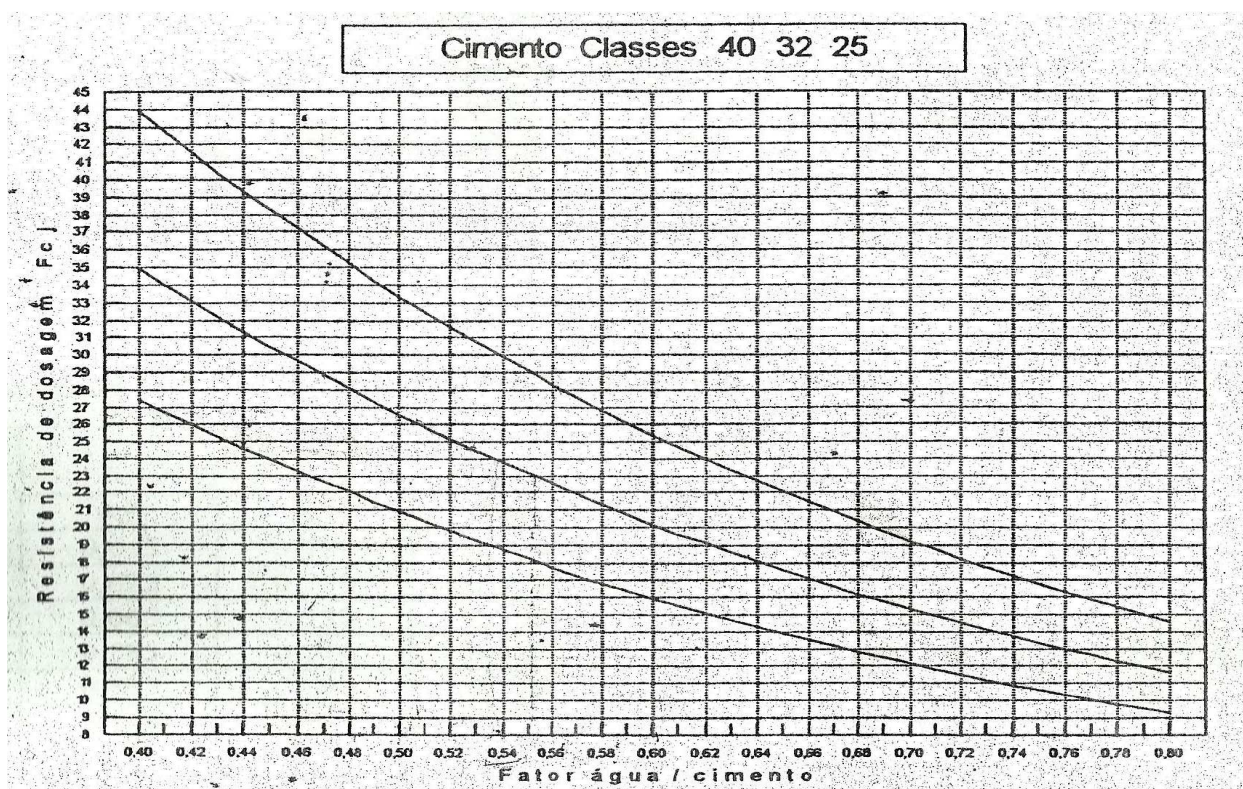


Figura 4 - Curva de Walz

Fonte: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

O consumo de água por metro cúbico ( $Q_{\text{água}}$ ) foi dado em função do abatimento requerido para o concreto, conforme tabela a seguir.

**Tabela 5 – Consumo de água aproximado (litros/m<sup>3</sup> de concreto) em função do abatimento**

Abatimento de Tronco de Cone mm	Dimensão Máxima Característica mm				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220 Litros	195 Litros	190 Litros	185 Litros	180 Litros
60 a 80	225 Litros	200 Litros	195 Litros	190 Litros	185 Litros
80 a 100	230 Litros	205 Litros	200 Litros	195 Litros	190 Litros

Fonte: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

Com o fator água/cimento ( $F_{a/c}$ ) e o volume de água/m<sup>3</sup> ( $Q_{\text{água}}$ ) foi possível encontrar a quantidade de cimento ( $Q_{\text{cimento}}$ ).

Como :

$$F_{a/c} = \frac{Q_{\text{água}}}{Q_{\text{cimento}}} \quad (10)$$

Logo:

$$Q_{\text{cimento}} = \frac{Q_{\text{água}}}{F_{a/c}} \quad (11)$$

Onde:

$Q_{\text{cimento}}$  = Massa de cimento;

$Q_{\text{água}}$  = Massa de água;

$F_{a/c}$  = Fator água/cimento

O volume de brita ( $V_b$ ) é encontrado em função do módulo de finura do agregado miúdo, este encontrado em função da granulometria do mesmo.

**Tabela 6 - Volume de agregado graúdo (m<sup>3</sup> de brita / m<sup>3</sup> de concreto) em função do módulo de finura da areia e do diâmetro máximo característico do agregado graúdo**

Módulo de Finura da Areia	Dimensão Máxima Característica				
	mm				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,82	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

Assim foi possível encontrar:

- Massa de brita:

$$Q_{\text{brita}} = V_b \times M_{\text{aparente areia}} \times 1000 \quad (12)$$

- Volume de areia:

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{Q_{\text{cimento}}}{V_{\text{abs cimento}} \times 1000} + \frac{Q_{\text{água}}}{1000} + \frac{Q_{\text{brita}}}{V_{\text{abs brita}} \times 1000} \right) \quad (13)$$

- Massa de areia:

$$Q_{\text{areia}} = V_{\text{areia}} \times \gamma_{\text{abs areia}} \times 1000 \quad (14)$$

Com o traço padrão (T1) já definido, determinou-se os outros traços com substituição da areia natural pela areia artificial, conforme tabela a seguir.

**Tabela 7 - Porcentagem de areia para cada traço**

Traço	% Areia Natural	% Areia Artificial
T1	100	0
T2	80	20
T3	60	40
T4	40	60
T5	20	80
T6	0	100

### 5.2.3 Mistura ou Amassamento dos Componentes do Concreto

A mistura dos componentes foi feita mecanicamente com o auxílio de betoneira. Primeiramente a betoneira foi lavada e retirada todo o excesso de água, deixando-a somente molhada.

A seguir foi feito o lançamento da brita com 50 % da água, após alguns instantes foram lançados o cimento, a areia e o restante da água. Deixando a betoneira funcionar por 5 minutos.

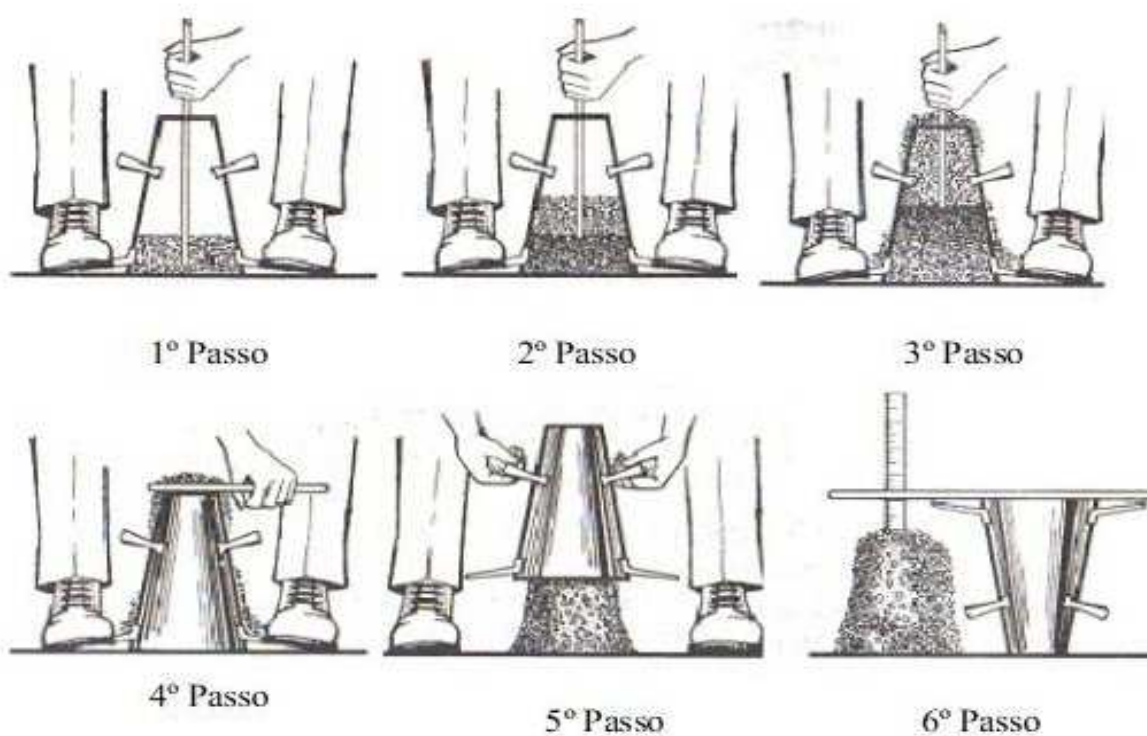
### 5.2.4 Determinação do Abatimento de Tronco de Cone de Abrams

O ensaio de abatimento do concreto foi realizado primeiramente umedecendo a prede interna do molde e montando o mesmo em nível.

Apoiou-se os pés sobre as aletas do molde fez-se o preenchimento com 3 camadas de concreto, cada uma dessas camadas adensada com 25 golpes uniformemente.

Retirou-se o excesso de concreto e em seguida ergueu-se o molde cuidadosamente, conforme ilustrado na Figura 2.





**Figura 5 - Execução do ensaio de abatimento de tronco de cone de Abrams**

Fonte: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

Determinou-se a diferença entre a altura do molde e a altura média da amostra, em milímetros, que se denomina abatimento, classificando-se o concreto de acordo com a tabela 8.

**Tabela 8 - Classificação do concreto de acordo com o abatimento**

Abatimento (mm)	Consistência
0	Muito Seco
0 - 20	Seco
20 - 50	Rijo
50 - 120	Plástico
120 - 200	Úmido
200 - 250	Fluído

Fonte: NBR - 7223 (1987)

### 5.2.5 Moldagem e Cura dos Corpos de Provas

Após a montagem e aplicação de desmoldante na face interna do molde, foram preenchidos em 2 camadas, em cada camada aplicou-se 12 golpes uniformemente com haste de compactação. Retirou-se o excesso e emparelhou-se a superfície com o auxílio de uma colher de pedreiro. Os corpos de prova foram armazenados em local protegido e em piso nivelado por 24 horas.

Após esse período foram desmoldados e encaminhados para a câmara úmida, onde permaneceram até completarem 7 dias.



**Figura 6 - Moldagem dos corpos de prova**



**Figura 7 – Corpos de prova armazenados em local protegido por 24 horas.**

#### 5.2.6 Teste de Compressão Axial do Concreto

Retirou-se os 12 corpos de prova para cada traço da câmara úmida e determinaram-se as dimensões de dois diâmetros ortogonais com auxílio de um paquímetro, para cálculo de sua área transversal.

Centralizou-se o corpo de prova para aplicação uniforme do carregamento, aplicou-se a carga continuamente, com velocidade de 0,3 MPa a 0,8 MPa por segundo.



**Figura 8 - Arranjo para teste de compressão axial**

### 5.2.7 Teste Absorção de Água do Concreto Por Imersão

Para este ensaio foram utilizados três corpos de provas isentos de trincas ou fissuras.

Os corpos de provas depois de curados foram secos em estufa ( $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) e pesados após permanecerem de 24h, 48h e 72h até que a variação de seu peso fosse inferior a 0,5%.

Então os corpos de prova foram resfriados à temperatura ambiente e pesados novamente (A).

Após, colocou-se as amostras em água a temperatura ambiente por 72 horas, imergindo 1/3 do volume nas primeiras 4 horas, 2/3 nas próximas 4 horas e totalmente nas 64 horas restantes.

A absorção por imersão foi calculada pela equação (15).

$$AB = \frac{(B-A)}{A} \times 100 \quad (\%) \quad (15)$$

Onde:

AB = Absorção do concreto;

A = Peso do corpo de prova seco;

B = Peso do corpo de prova saturado.

Esse processo foi repetido para cada uma das amostras e calculado a média aritmética.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os ensaios de caracterização dos agregados foram elaborados de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

#### 6.1.1 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo

Os resultados da composição granulométrica dos agregados miúdo e suas variações podem ser encontrados nas tabelas a seguir.

**Tabela 9 - Composição granulométrica de Vi (100% areia natural)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	1	0,10	0,10	0,10
2,4	4	0,40	0,50	0,60
1,2	14	1,40	1,90	2,50
0,6	60	6,00	7,90	10,40
0,3	464	46,40	54,30	64,70
0,15	418	41,80	96,10	160,80
Fundo	39	3,90	100,00	260,80
Total	1000	100,00		



**Figura 9 - Distribuição granulométrica da areia natural**

**Tabela 10 - Composição granulométrica de V1 (80% areia natural e 20% areia artificial)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	2	0,20	0,20	0,20
2,4	33	3,30	3,50	3,70
1,2	59	5,90	9,40	13,10
0,6	83	8,30	17,70	30,80
0,3	402	40,20	57,90	88,70
0,15	351	35,10	93,00	181,70
Fundo	70	7,00	100,00	281,70
Total	1000	100,00		

**Tabela 11 - Composição granulométrica de V2 (60% areia natural e 40% areia artificial)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	3	0,30	0,30	0,30
2,4	62	6,20	6,50	6,80
1,2	104	10,40	16,90	23,70
0,6	107	10,70	27,60	51,30
0,3	340	34,00	61,60	112,90
0,15	284	28,40	90,00	202,90
Fundo	100	10,00	100,00	302,90
Total	1000	100,00		

**Tabela 12 - Composição granulométrica de V3 (40% areia natural e 60% areia artificial)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	4	0,40	0,40	0,40
2,4	91	9,10	9,50	9,90
1,2	149	14,90	24,40	34,30
0,6	130	13,00	37,40	71,70
0,3	278	27,80	65,20	136,90
0,15	218	21,80	87,00	223,90
Fundo	130	13,00	100,00	323,90
Total	1000	100,00		

**Tabela 13 - Composição granulométrica de V4 (20% areia natural e 80% areia artificial)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	4	0,40	0,40	0,40
2,4	120	12,00	12,40	12,80
1,2	194	19,40	31,80	44,60
0,6	154	15,40	47,20	91,80
0,3	216	21,60	68,80	160,60
0,15	152	15,20	84,00	244,60
Fundo	160	16,00	100,00	344,60
Total	1000	100,00		

**Tabela 14 - Composição granulométrica de V5 ( 100% areia artificial)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	5	0,50	0,50	0,50
2,4	148	14,80	15,30	15,80
1,2	240	24,00	39,30	55,10
0,6	178	17,80	57,10	112,20
0,3	153	15,30	72,40	184,60
0,15	85	8,50	80,90	265,50
Fundo	191	19,10	100,00	365,50
Total	1000	100,00		

**Figura 10 - Distribuição granulométrica da areia artificial**

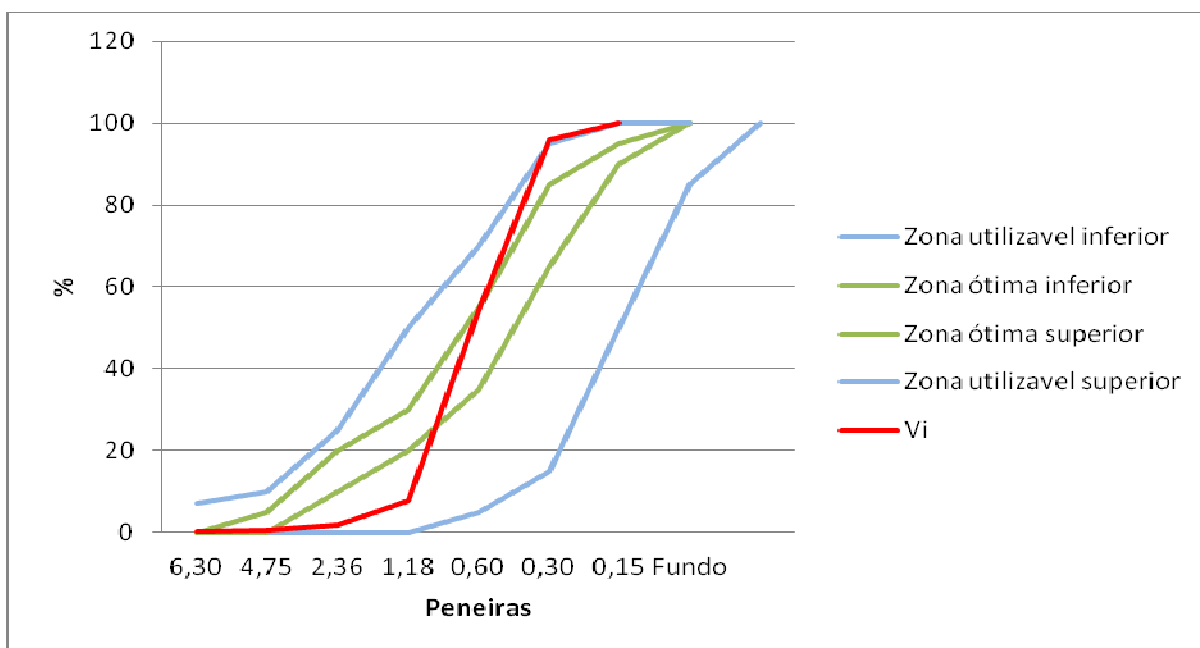
A partir da granulometria pode-se obter a dimensão máxima característica, o módulo de finura e a classificação do agregado conforme tabela a seguir.



**Tabela 15 - Classificação do agregado miúdo**

Agregado	Dimensão Máxima Característica (D.M.C.)	Módulo de Finura (M.F.)	Classificação do Agregado
Vi	1,2 mm	1,61	Fino
V1	2,4 mm	1,82	Fino
V2	4,8 mm	2,03	Fino
V3	4,8 mm	2,24	Fino
V4	4,8 mm	2,45	Médio
V5	4,8 mm	2,66	Médio

Os gráficos a seguir apresentam o comparativo da granulometria dos agregados miúdo com as zonas utilizável e ótima de acordo com a NBR 7211 (2009).

**Gráfico 1 - Comparativo da distribuição granulométrica de Vi com as zonas utilizável e ótima**

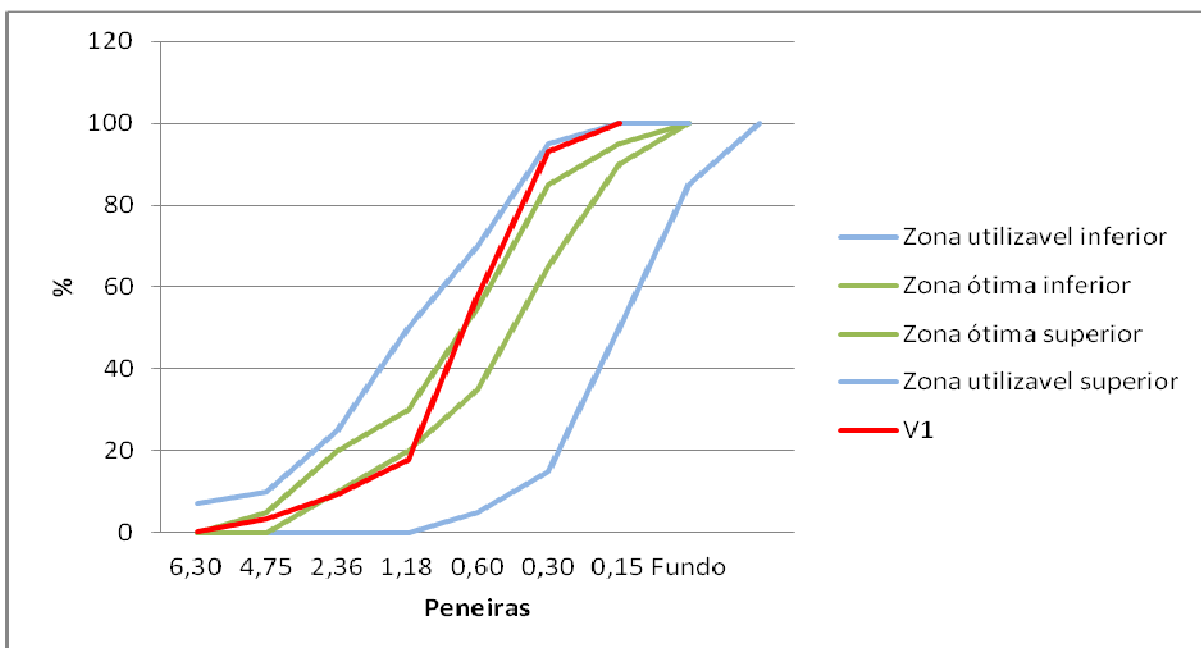


Gráfico 2 - Comparativo da distribuição granulométrica V1 com as zonas utilizável e ótima

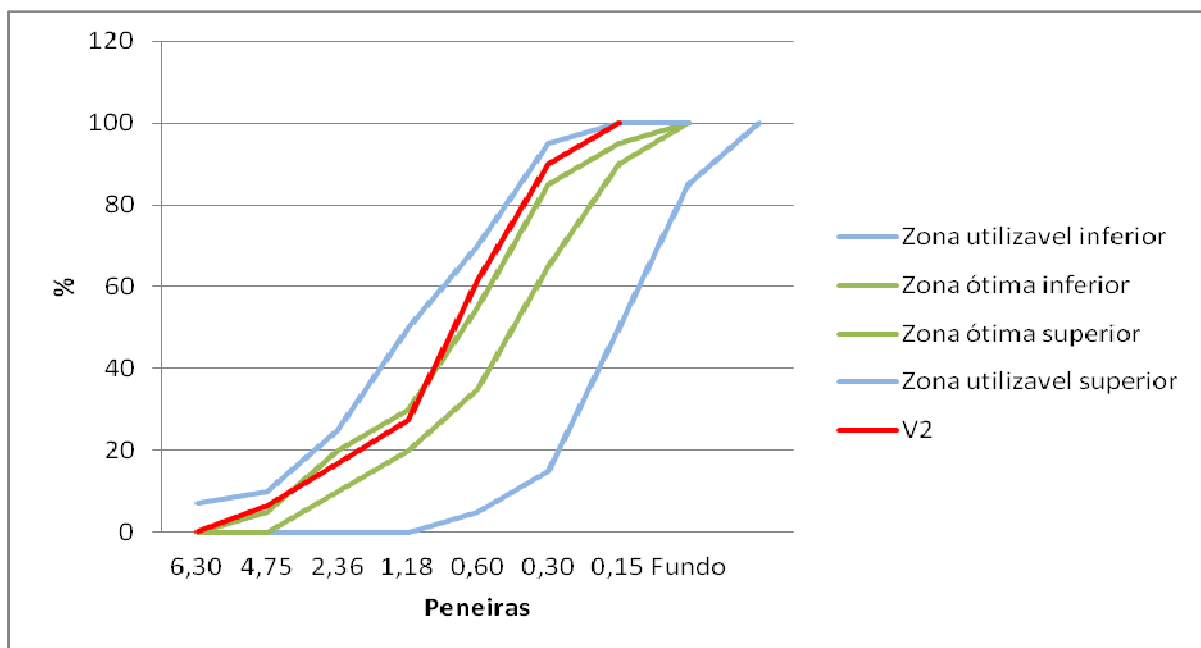


Gráfico 3 - Comparativo da distribuição granulométrica V2 com as zonas utilizável e ótima

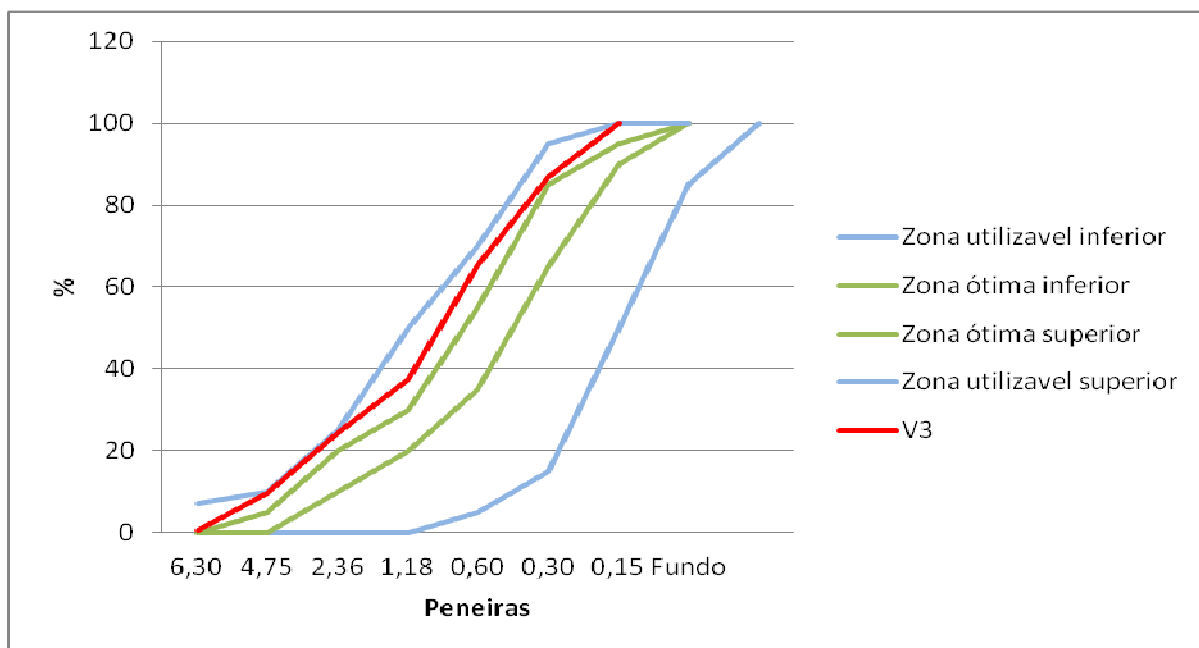


Gráfico 4 - Comparativo da distribuição granulométrica V3 com as zonas utilizável e ótima

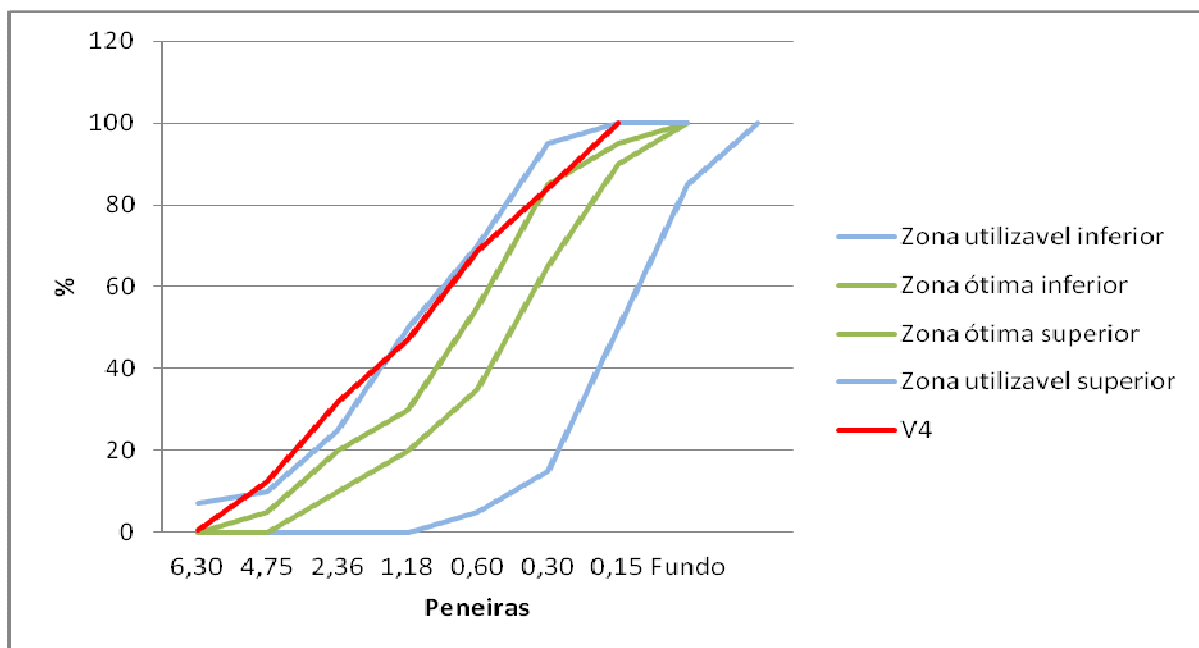
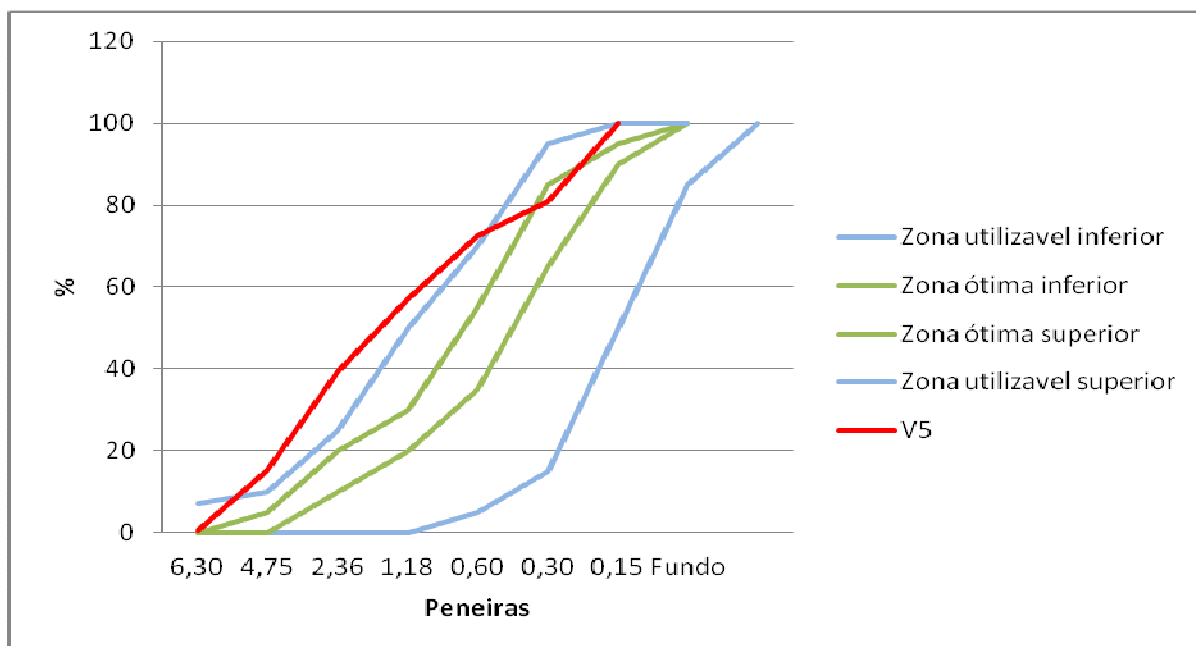


Gráfico 5 - Comparativo da distribuição granulométrica V4 com as zonas utilizável e ótima



**Gráfico 6 - Comparativo da distribuição granulométrica V5 com as zonas utilizável e ótima**

Com base nos gráficos anteriores, pode-se observar que a distribuição granulométrica do agregado miúdo com substituição total ou parcial da areia natural pela artificial, aproxima-se de uma reta, de acordo com a literatura essa aproximação diminui o volume de vazios do concreto, aumentando sua resistência mecânica.

### 6.1.2 Massa Específica Aparente do Agregado Miúdo

A partir do ensaio de massa específica aparente, obtiveram-se os seguintes resultados.

**Tabela 16 - Massa específica aparente do agregado miúdo**

Massa e Volume	Areia Natural	Areia Artificial
$M_r$	0,500 Kg	0,500 Kg
$M_{a1}$	5,138 Kg	5,258 Kg
$M_{a2}$	5,148 Kg	5,342 Kg
$M_{a3}$	5,155 Kg	5,357 Kg
$M_{ed}$	5,147 Kg	5,319 Kg
V	3 L	3 L
$M_{aparente}$	1548 kg/m <sup>3</sup>	1606 kg/m <sup>3</sup>

### 6.1.3 Massa Específica Real ou Absoluta do Agregado Miúdo (Frasco de Chapman)

Tabela a seguir apresenta o resultado da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo.

**Tabela 17 - Massa específica aparente do agregado miúdo**

Agregado Miúdo	Areia Natural	Areia Artificial
Massa Específica Absoluta	2640 kg/m <sup>3</sup>	2950 kg/m <sup>3</sup>

### 6.1.4 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Graúdo

O resultado da composição granulométrica do agregado graúdo pode ser encontrado na tabela a seguir.

**Tabela 18 - Composição granulométrica do agregado graúdo**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	∑ % Retida Acum.
76	0	0,00	0,00	0,00
38	0	0,00	0,00	0,00
19	0	0,00	0,00	0,00
9,5	656	65,60	65,60	65,60
4,8	334	33,40	99,00	164,60
2,4	3,5	0,35	99,35	263,95
1,2	1	0,10	99,45	363,40
0,6	0	0,00	99,45	462,85
0,3	0	0,00	99,45	562,30
0,15	0	0,00	99,45	661,75
Fundo	5,5	0,55	100,00	761,75
Total	1000	100,00		



**Figura 11 - Distribuição granulométrica da brita**

A partir da granulometria pode-se obter a dimensão máxima característica, o módulo de finura e a classificação do agregado conforme tabela a seguir.

**Tabela 19 - Classificação do agregado graúdo**

Agregado	Dimensão Máxima Característica (D.M.C.)	Módulo de Finura (M.F.)	Classificação do Agregado
Graúdo	19 mm	6,62	Brita 1

#### 6.1.5 Massa Específica Absoluta do Agregado Graúdo

Para o cálculo da massa específica do agregado graúdo foi necessárias três pesagens conforme tabela a seguir.

**Tabela 20 - Pesagem da amostra nas condições seca, saturada e imersa**

Amostra	Seca	Saturada	Imersa
Peso	1180 g	1197 g	792 g

Com as pesagens foi possível encontrar a massa específica seca e saturada, também a absorção do agregado graúdo, conforme tabela a seguir.

**Tabela 21 - Massa específica seca e saturada e absorção do agregado graúdo**

Agregado	$\rho_{\text{abs seca}}$	$\rho_{\text{abs saturada}}$	Absorção
Brita 1	2910 Kg/m <sup>3</sup>	2955 Kg/m <sup>3</sup>	1,44%

#### 6.1.6 Massa Específica no Estado Compactado do Agregado Graúdo

O resultado obtido da massa específica no estado compactado do agregado graúdo foi de  $M_{\text{compactado}} = 1688 \text{ Kg/m}^3$ .

#### 6.1.7 Teor de Material Pulverulento do Agregado Miúdo

Na tabela 22 verifica-se o resultado do teor de material pulverulento dos agregados miúdo.

**Tabela 22 - Teor de material pulverulento do agregado miúdo**

Agregado Miúdo	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Teor de material Pulverulento (%)	Teor Médio de material Pulverulento (%)
Areia Natural	1000	996	0,4	0,6
	1000	992	0,8	
Areia Artificial	1000	845	15,5	15,1
	1000	853	14,7	

O teor de pulverulento em volume aceitável colabora para a trabalhabilidade do concreto, maior compactação e, conseqüentemente, para maior durabilidade do mesmo.

## 6.2 MÉTODO DE DOSAGEM

Com os resultados da classificação dos agregados, adota-se  $F_{ck} = 20$  MPa e desvio padrão  $Sd = 4,0$ . Pode-se encontrar  $F_{cj} = 26,6$  MPa.

O volume dos componentes do traço padrão (T1), e traços com substituição da areia natural pela areia artificial está apresentado na tabela a seguir.

**Tabela 23 - Traços encontrados pelo método da ABCP**

Traço	Fator A/C	Água (l)	Cimento (Kg)	Brita 1		Areai Natural			Areai Artificial		
				l	Kg	%	l	Kg	%	l	kg
T1	0,62	205	330,65	770	1300	100	242	638	0	0	0
T2	0,62	205	330,65	770	1300	80	193	510	20	48	143
T3	0,62	205	330,65	770	1300	60	145	383	40	97	285
T4	0,62	205	330,65	770	1300	40	97	255	60	145	428
T5	0,62	205	330,65	770	1300	20	48	128	80	193	570
T6	0,62	205	330,65	770	1300	0	0	0	100	242	713

## 6.3 DETERMINAÇÃO DO ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE DE ABRAMS

Na tabela 25 verifica-se o resultado do abatimento de tronco de cone (slump test)

**Tabela 24 - Medida de abatimento de tronco de cone**

slump (mm)	Requerido	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	80 - 100	110	130	80	5	3	0

De acordo, com a literatura a areia artificial possui grãos com formas mais angulosas, dificultando a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, o que pode ser corrigido com adição de aditivos químicos plastificantes.





**Figura 12 - Resultado do abatimento de tronco de cone**

#### 6.4 TESTE DE COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO

A seguir verifica-se o resultado da compressão axial para cada um dos traços.

**Tabela 25 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T1**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	100,50	101,10	100,80	7980,17	31,63
2	100,40	100,65	100,53	7936,68	31,29
3	100,20	100,50	100,35	7909,07	29,60
4	100,10	100,20	100,15	7877,58	34,87
5	100,70	101,00	100,85	7988,09	27,50
6	100,00	100,70	100,35	7909,07	29,52
7	100,25	100,30	100,28	7897,26	31,47
8	100,10	100,20	100,15	7877,58	25,50
9	100,00	99,75	99,88	7834,38	29,79
10	100,20	100,30	100,25	7893,32	30,49
11	100,40	100,30	100,35	7909,07	32,86
12	100,50	100,05	100,28	7897,26	30,88
Média (MPa)					30,45

**Tabela 26 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T2**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	100,50	101,10	100,80	7980,17	35,15
2	100,40	100,65	100,53	7936,68	34,18
3	100,20	100,50	100,35	7909,07	33,13
4	100,10	100,20	100,15	7877,58	32,85
5	100,70	101,00	100,85	7988,09	31,87
6	100,00	100,70	100,35	7909,07	30,00
7	100,25	100,30	100,28	7897,26	28,48
8	100,10	100,20	100,15	7877,58	33,08
9	100,00	99,75	99,88	7834,38	33,51
10	100,20	100,30	100,25	7893,32	29,84
11	100,40	100,30	100,35	7909,07	29,06
12	100,50	100,05	100,28	7897,26	31,12
Média (MPa)					31,86

**Tabela 27 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T3****(continua)**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)
1	100,50	101,10	100,80	7980,17	19,04
2	100,40	100,65	100,53	7936,68	22,88
3	100,20	100,50	100,35	7909,07	26,24
4	100,10	100,20	100,15	7877,58	26,98
5	100,70	101,00	100,85	7988,09	17,86
6	100,00	100,70	100,35	7909,07	23,32

**Tabela 28 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T3****(conclusão)**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
7	100,25	100,30	100,28	7897,26	19,40
8	100,10	100,20	100,15	7877,58	22,19
9	100,00	99,75	99,88	7834,38	19,45
10	100,20	100,30	100,25	7893,32	21,67
11	100,40	100,30	100,35	7909,07	27,35
12	100,50	100,05	100,28	7897,26	28,84
Média (MPa)					22,94

**Tabela 29 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T4**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	100,50	101,10	100,80	7980,17	26,49
2	100,40	100,65	100,53	7936,68	30,74
3	100,20	100,50	100,35	7909,07	27,34
4	100,10	100,20	100,15	7877,58	26,46
5	100,70	101,00	100,85	7988,09	30,37
6	100,00	100,70	100,35	7909,07	29,67
7	100,25	100,30	100,28	7897,26	28,04
8	100,10	100,20	100,15	7877,58	27,75
9	100,00	99,75	99,88	7834,38	29,01
10	100,20	100,30	100,25	7893,32	32,37
11	100,40	100,30	100,35	7909,07	30,42
12	100,50	100,05	100,28	7897,26	30,12
Média (MPa)					29,07

**Tabela 30 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T5**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	100,50	101,10	100,80	7980,17	28,03
2	100,40	100,65	100,53	7936,68	31,59
3	100,20	100,50	100,35	7909,07	33,20
4	100,10	100,20	100,15	7877,58	26,72
5	100,70	101,00	100,85	7988,09	28,58
6	100,00	100,70	100,35	7909,07	30,63
7	100,25	100,30	100,28	7897,26	28,67
8	100,10	100,20	100,15	7877,58	35,20
9	100,00	99,75	99,88	7834,38	31,85
10	100,20	100,30	100,25	7893,32	31,63
11	100,40	100,30	100,35	7909,07	30,10
12	100,50	100,05	100,28	7897,26	33,22
Média (MPa)					30,79

**Tabela 31 - Área do copo de prova e resistência à compressão axial do traço T6**

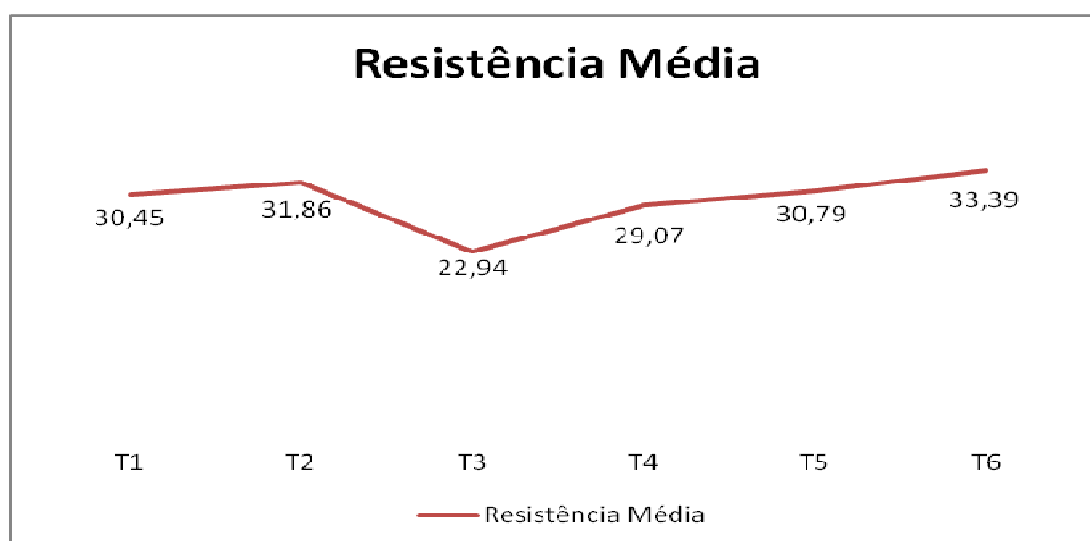
CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	100,50	101,10	100,80	7980,17	36,13
2	100,40	100,65	100,53	7936,68	29,51
3	100,20	100,50	100,35	7909,07	23,32
4	100,10	100,20	100,15	7877,58	33,84
5	100,70	101,00	100,85	7988,09	34,95
6	100,00	100,70	100,35	7909,07	35,63
7	100,25	100,30	100,28	7897,26	27,90
8	100,10	100,20	100,15	7877,58	36,63
9	100,00	99,75	99,88	7834,38	35,28
10	100,20	100,30	100,25	7893,32	35,88
11	100,40	100,30	100,35	7909,07	34,37
12	100,50	100,05	100,28	7897,26	36,00
Média (MPa)					33,29

Na tabela a seguir observa-se o resultado médio da compressão axial para cada um dos traços.

**Tabela 32 - Resistência média à compressão axial do concreto**

Traço	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Resistência média (MPa)	30,45	31,86	22,94	29,07	30,79	33,39

A seguir pode-se observar a variação da resistência média para cada traço apresentado.

**Gráfico 7 - Comparativo da resistência média do concreto**

Com base nos resultados, observa-se um aumento da resistência à compressão de 9,6% do concreto com 100% de areia artificial em relação ao concreto feito apenas com areia natural. Isso indica que a mistura admite uma substituição completa da areia natural pela artificial, sem perda em termos de resistência mecânica.

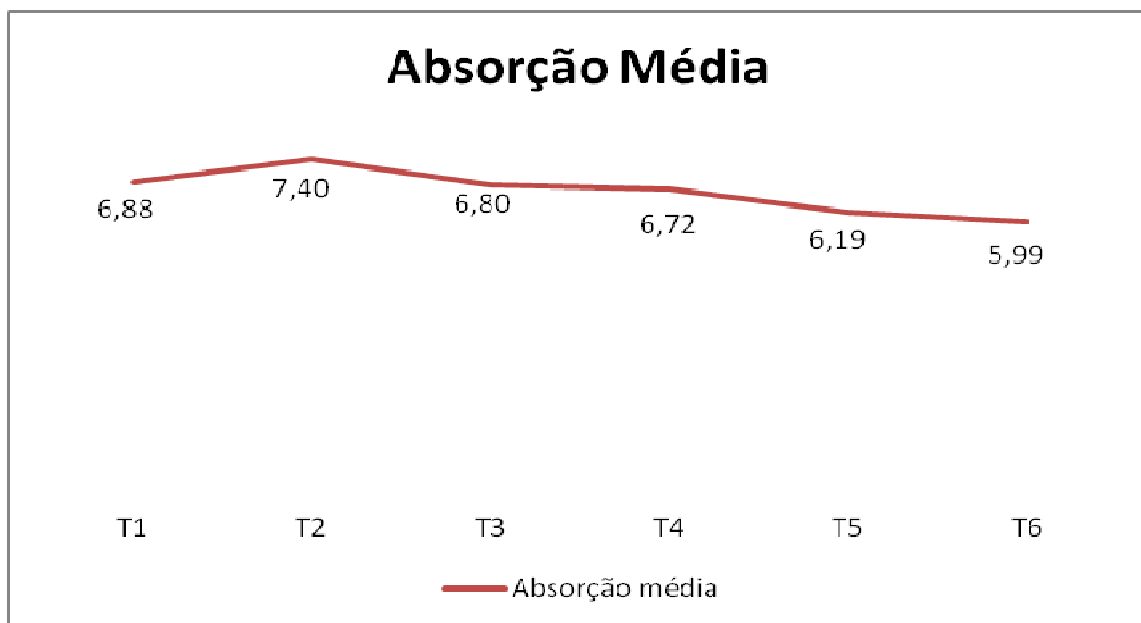
## 6.5 TESTE ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO POR IMERSÃO

A seguir pode-se observar o resultado da absorção para cada um dos traços.

**Tabela 33 - Absorção do concreto**

Traço	CP	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
T1	1	3,944	3,698	6,65	6,88
	2	3,917	3,652	7,26	
	3	3,979	3,728	6,73	
T2	1	3,914	3,641	7,50	7,40
	2	3,951	3,681	7,33	
	3	3,904	3,636	7,37	
T3	1	4,048	3,793	6,72	6,80
	2	4,048	3,783	7,01	
	3	4,069	3,815	6,66	
T4	1	4,034	3,773	6,92	6,72
	2	4,063	3,801	6,89	
	3	4,121	3,875	6,35	
T5	1	4,117	3,877	6,19	6,19
	2	4,044	3,805	6,28	
	3	4,149	3,910	6,11	
T6	1	4,167	3,933	5,95	5,99
	2	4,207	3,969	6,00	
	3	4,187	3,949	6,03	

A seguir observa-se a variação da absorção média para cada traço apresentado.



**Gráfico 8 - Comparativo da absorção média do concreto**

Com base nos resultados, verifica-se um decréscimo de 14,8% na absorção de água no concreto com 100% de areia artificial em relação ao concreto com areia natural.

Assim, de acordo com a literatura, o concreto produzido com areia artificial apresenta melhor desempenho de durabilidade em relação ao concreto com areia natural. Em tecnologia de concreto considera-se que um concreto com absorção menor que 6% é de grande durabilidade, sendo este um valor especificado por órgãos públicos para obras de concreto armado.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, conclui-se:

- a) A areia artificial analisada possui uma distribuição granulométrica mais constante e que permite classificá-la como agregado miúdo.
- b) A massa específica aparente da areia artificial foi 11,7% maior que a areia natural.
- c) Constatou-se um aumento de resistência mecânica do concreto com 100% de areia artificial.
- d) O material pulverulento presente na areia artificial pode melhorar a característica do concreto em relação à compactidade, tornando-o menos permeável e mais coeso, resultando, portanto, em um concreto mais durável. Verificou-se uma diminuição na absorção de água no concreto com 100% de areia artificial.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM. **Utilização de finos no concreto estrutural**. ABESC. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/concretteca/publicacoes/83/concreto-e-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 11768**: Aditivos para concreto de cimento Portland. NBR –11768. Rio de Janeiro, 1992.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7223**: Determinação da consistência concreto - Especificação. NBR – 7223. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7217**: Determinação da composição granulométrica dos agregados. NBR – 7217. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 9935**: Agregados. NBR – 9935. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. NBR 5738 - 26. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndrico. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 6118**: Projeto de execução de obras de concreto armado. NBR-6118. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 9776**: Agregados - Determinação da massa específica Chapman. NBR – 9776 . Rio de Janeiro, 1987.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM - 26**: Agregados - Amostragem. NBR NM - 26. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM - 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. NBR NM - 27. Rio de Janeiro, 2001.

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

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

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de Construção**: novos materiais para construção civil. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994.

COSTA, Marlon J. da C. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento Portland**: Aplicabilidade de um método de dosagem. 2005. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2005. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Marlo-Jorge-da-Costa.pdf>>. Acesso em : 23 fev 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário mineral - 2003**. Brasília, 2003. Disponível em: <[http://www.dnmp.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=353](http://www.dnmp.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=353)>. Acesso em: 26 mar. 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário mineral - 2011**. Brasília , 2011. Disponível em: <<http://www.dnmp.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1990>>. Acesso em: 18 Mar. 2013.

FRITZ, Leonhardt. **Construções de Concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

GONÇALVES, Jader F. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial**. 2005. 292 f. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: < [http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/cat\\_view/28-doutorado/61-2005?start=15](http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/cat_view/28-doutorado/61-2005?start=15)>. Acesso em: 25 mar. 2013.  
MEHTA, Povindar K. ; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MORÁVIA, W. G **Comportamento térmico e avaliação microestrutural de concretos leves produzidos com argila expandida**. 2004. 184 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8DJJU6>> Acesso em: 25 fev. 2013.

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

PINHEIRO, Libânio M. et al. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios: estruturas de concreto**. São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

REIS, Rubens J. P. **Influência de areias artificiais de rochas britadas na estrutura e nas propriedades de concretos de cimento portland**. 2004. 181 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8DHKWC> > Acesso em: 20 mar. 2013.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. Belo Horizonte. Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

SOUZA, Jorge L. F. et al. **Comportamento de agregados graúdos em misturas betuminosas a quente no estado da Paraíba**. 37<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação; 11<sup>o</sup> Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Goiânia. 2006. Disponível em: < [http://www.det.ufc.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=100&Itemid=143](http://www.det.ufc.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=100&Itemid=143) > Acesso em: 10 mar. 2013.