



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS ECOVILLE**

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

CURSO DE TECNOLOGIA EM CONCRETO

DENIS MEIER

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO FORNECIDO EM
CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2011

DENIS MEIER

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO FORNECIDO EM
CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao curso de graduação de
Tecnologia em Concreto, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Rodrigo C. Kanning

CURITIBA

2011



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Gerência de Ensino e Pesquisa
Coordenação do Curso de Tecnologia em Concreto

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA QUALIDADE DO AGREGADO MIÚDO FORNECIDO EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

Por

Denis Meier

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 22 de novembro de 2011, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Rodrigo César Kanning
UTFPR

Prof. Gilberto Walter Gogola
UTFPR

Prof. Wellington Mazer
UTFPR

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - Curitiba - PR Brasil
www.utfpr.edu.br dacoc-ct@utfpr.edu.br telefone DACOC: (041) 3373-0623

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe e esposa por todo o apoio e incentivo, pela paciência e dedicação nestes anos de graduação.

Ao professor Kanning pelo apoio e empenho durante todos estes meses. E pela grande quantidade de informações repassadas em sala de aula.

Aos amigos, os quais tive que faltar, pela compreensão.

Se eu vi mais longe, foi por estar de pé
sobre ombros de gigantes.

(Isaac Newton)

RESUMO

Com o constante crescimento da construção civil em Curitiba, faz-se necessário um melhor controle tecnológico do agregado miúdo, visto que a areia é largamente utilizada na construção mas, de forma geral, apenas as grandes obras analisam mais efetivamente os agregados. Esta falta de controle propicia um aumento razoável do custo da obra e uma queda na qualidade do produto final, podendo ainda surgir patologias indesejáveis devido á presença de materiais deletérios na areia, como torrões de argila e impurezas orgânicas. Este trabalho tem por finalidade analisar a qualidade das areias fornecidas em Curitiba e região metropolitana caracterizando cinco amostras, colhidas em: Pinhais, Mandirituba, Piraquara e São José dos Pinhais, através dos ensaios de massa específica, massa unitária, inchamento, absorção de água, teor de partículas leves, umidade superficial e determinação da composição granulométrica. Concomitantemente com a caracterização do agregado miúdo, vamos analisar a presença de substâncias nocivas através dos ensaios de determinação do teor de argila em torrões nos agregados, determinação do teor de materiais pulverulentos e determinação de impurezas orgânicas húmicas, finalizando com os ensaios de resistência a tração na flexão e compressão axial, com traço padrão de 1:3, visando comparar os resultados encontrados com a caracterização da areia e a quantidade de materiais deletérios encontrados nas amostras.

Palavras-chave: Argamassa, agregado miúdo, qualidade.

ABSTRACT

With the growing of building market in Curitiba, it is necessary that we have a better way to control technologically the fine aggregate, once that sand is largely used in buildings, but in a general way, only in the greatest works the use of this material is effectively analyzed. This lack of control raises the cost of the building and causes a bad quality in the end product, and allows that some diseases appear because of the presence of deleterious materials in the sand, like lumps of clay and organic dross. This essay has the objective of analyze the quality of the sand provided in Curitiba and metropolitan area featuring five samples kept in: Pinhais, Mandirituba, Piraquara and São José dos Pinhais through the writings of density of some specific mass, unitary mass, swelling, water absorption, content of light particles, surface moisture and determination of particle size. Concomitantly with the characterization of humic organic impurities, we are going to analyze the presence of harmful substances over some researches and we are going to determine the clods of clay content in the aggregates, as well as the powdery materials and what determinates the organic impurities humic ending with some resistance tests in strength in bending and axial compression, with 1:3 standard dash in order to compare the results found with the sand characterization and the amount of deleterious materials found in some samples.

Key-words: mortar, fine aggregate, quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Extração manual da areia em um leito de rio.....	20
Figura 2.2 – Peneiramento da areia em grelhas fixas.....	21
Figura 2.3 – Pilhas de decantação da areia.....	21
Figura 3.1 – Amostras das areias secas em estufa.....	30
Figura 3.2 – Frasco de Chapman.....	32
Figura 3.3 – Peneirador mecânico com peneiras da serie normal.....	33
Figura 3.4 – Amostra inicial.....	36
Figura 3.5 – Amostra retida na peneira de 1,2mm.....	37
Figura 3.6 – Amostras no frasco Erlenmeyer.....	38
Figura 3.7 – Transferência da solução para os tubos de ensaio.....	39
Figura 3.8 – Tabela colorimétrica.....	39
Figura 3.9 – Amostras de cimento e areia.....	40
Figura 3.10 – Amostra homogeneizada.....	41
Figura 3.11 – Ensaio de consistência na “Flow Table”.....	41
Figura 3.12 – Moldagem dos corpos de prova.....	42
Figura 3.13 – Ensaio de resistência à tração na flexão.....	43
Figura 3.14 – Ensaio de resistência à compressão.....	43
Figura 4.1 – Massa unitária em estado solto.....	45
Figura 4.2 – Massa específica pelo método do frasco de Chapman.....	46
Figura 4.3 – Faixa granulométrica dos agregados.....	47
Figura 4.4 – Módulo de finura das amostras.....	48
Figura 4.5 – Inchamento da amostra “A”.....	49
Figura 4.6 – Inchamento da amostra “B”.....	49
Figura 4.7 – Inchamento da amostra “C”.....	50
Figura 4.8 – Inchamento da amostra “D”.....	50
Figura 4.9 – Inchamento da amostra “E”.....	51
Figura 4.10 – Teor de material pulverulento.....	51
Figura 4.11 – Teor de argila nas amostras.....	52
Figura 4.12 – Ensaio colorimétrico.....	54
Figura 4.13 – Consistência das argamassas.....	55
Figura 4.14 – Resistência à compressão.....	56
Figura 4.15 – Resistência à tração na flexão.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 — Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.....	26
Quadro 3.1 – Conjunto de peneiras da serie normal e intermediária.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Teor de umidade para inchamento do agregado miúdo.....	38
Tabela 4.1 – Resumo dos resultados.....	58
Tabela A1 – Massa unitária.....	64
Tabela A2 – Massa específica.....	64
Tabela A3 – Análise granulométrica da amostra “A”.....	65
Tabela A4 – Análise granulométrica da amostra “B”.....	66
Tabela A5 – Análise granulométrica da amostra “C”.....	76
Tabela A6 – Análise granulométrica da amostra “D”.....	68
Tabela A7 – Análise granulométrica da amostra “E”.....	69
Tabela A8 – Porcentagem de material pulverulento.....	69
Tabela A9 – Torrões de argila e materiais friáveis.....	70
Tabela A10 – Resistência à compressão.....	70
Tabela A11 – Resistência à flexão.....	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRAMAT – Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção

A/C – Relação água/cimento

ANEPAC – Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para
Construção Civil

CPII Z – Cimento Portland composto com pozolana

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SUMÁRIO

1.1	IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	14
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVO GERAL	16
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	AGREGADO MIÚDO	18
2.2	CLASSIFICAÇÃO	18
2.3	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO AGREGADO MIÚDO	19
2.3.1	Extração Manual	20
2.3.2	Extração em Área de Várzea	20
2.3.3	Extração em Fossa Seca	22
2.3.4	Extração em leitos de curso d'água	22
2.3.5	Desmonte Hidráulico	22
2.4	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	23
2.4.1	Composição Granulométrica	23
2.4.2	Massa Unitária, Massa Específica e Absorção do Agregado	24
2.4.3	Inchamento da Areia	24
2.4.4	Substâncias prejudiciais	25
2.4.5	Impurezas Orgânicas	26
2.4.6	Torrões de Argila e Materiais Friáveis	27
2.4.7	Resistência à Compressão e Tração na Flexão	27
3.1	COLETA DAS AMOSTRAS	29
3.2	MASSA UNITÁRIA	30
3.3	MASSA ESPECÍFICA	31
3.4	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	32
3.5	INCHAMENTO DA AREIA	33
3.6	DETERMINAÇÃO DO MATERIAL PULVERULENTO	35
3.7	TORRÕES DE ARGILA	36
3.8	IMPUREZAS ORGÂNICAS	38
3.9	CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA	40
3.10	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO	42

3.11 ANÁLISE DE QUALIDADE DA AREIA	44
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	45
4.1 MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO EM ESTADOS SOLTO.	45
4.2 MASSA ESPECÍFICAPELO MÉTODO DO FRASCO DE CHAPMAN	46
4.4 INCHAMENTO DA AREIA	48
4.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO.	51
4.6 TORRÕES DE ARGILA E MATÉRIAS FRIÁVEIS	52
4.8 CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA.....	55
4.9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO	55
4.10 RESUMO DOS RESULTADOS.....	57
5 CONCLUSÕES.....	59
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Com o constante crescimento da construção civil, concreteiras, fabricantes de pré-moldados e construtores estão exigindo, cada vez mais, qualidade e padrão dos insumos utilizados nas obras. A Associação Brasileira de Materiais de Construção (ABRAMAT, 2011) indicou um aumento de 10,62% das vendas de materiais básicos para construção civil em 2010 e esse valor tende a aumentar pois a demanda de agregados é condicionada pelo fluxo de investimento em obras de infraestrutura e aquecimento do mercado imobiliário residencial e industrial. Com o Programa de Aceleração do Crescimento e a Copa do mundo de 2014 em Curitiba receberá um investimento de 222 milhões de reais segundo a Prefeitura de Curitiba, o que aumentara consideravelmente o consumo de agregado miúdo na região.

Para atender este constante crescimento da construção e o aumento das exigências da qualidade da areia, as empresas mineradoras deverão fazer uso de controles tecnológicos mais efetivos e investir no processo de produção e classificação da areia, pois como os principais locais de produção de agregado miúdo em Curitiba e região são várzeas, depósitos lacustres e leitos de rios a quantidade de materiais deletérios encontrados pode ser superior ao estabelecido por norma (ANEPAC, 2011).

Os materiais deletérios podem ser classificados em três grandes categorias segundo Neville (1982): Impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência à pasta de cimento e partículas fracas e friáveis que podem alterar a resistência do concreto ou argamassa.

Por serem extremamente prejudiciais ao concreto e argamassa a NBR 7211 (ABNT, 2005) estabelece em 3% o limite máximo de torrões de argila encontrado no agregado.

Para Neville (1982) a argila pode estar presente no agregado miúdo sob forma de películas superficiais que prejudicam a aderência entre a pasta de cimento e o agregado. Como a aderência é fundamental para uma boa resistência, a presença dessa película é indesejável.

Ainda segundo Neville (1982) impurezas orgânicas encontradas no agregado miúdo também são prejudiciais pois interferem nas reações químicas de hidratação do cimento, podendo causar perda de resistência. A matéria orgânica encontrada no agregado geralmente provem da decomposição de vegetais aparecendo sob a forma de húmus e argila orgânica.

Além dos materiais deletérios encontrados na areia, outro fator nocivo ao concreto ou argamassa é a quantidade de material pulverulento, limitado em no máximo 5% da massa total do agregado miúdo, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005). O material pulverulento, quando presente em grande quantidade, aumenta a necessidade de água para uma mesma consistência. Os finos de certas argilas propiciam maiores alterações de volume, intensificando sua retração e reduzindo sua resistência (BASILIO, 1995).

A falta de um melhor controle tecnológico dá-se a uma interpretação equivocada de que o agregado é considerado inerte e não afeta as propriedades do concreto. Entretanto a considerável influência que os agregados podem exercer na resistência, trabalhabilidade e durabilidade, demonstram a importância que exercem, merecendo uma maior atenção na sua seleção. (METHA e MONTERIO, 2008).

Como a areia constitui em média 40% do volume total do concreto e 70% do volume da argamassa (DNPM, 2011) é de extrema importância à utilização de agregados com especificações técnicas adequadas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A busca constante pela melhoria do agregado miúdo juntamente com o crescimento do setor da construção civil, faz com que a análise da qualidade da areia fornecida em Curitiba e região metropolitana seja de grande importância, pois visa alertar o consumidor sobre a qualidade do agregado que está sendo utilizado nas obras e da importância da sua padronização. Com uma melhor análise do agregado pode-se diminuir o número de ocorrências de patologias ocasionadas pela presença de impurezas orgânicas e torrões de argila, aumentar a qualidade do produto final e consecutivamente obter uma economia financeira.

1.3 OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade das areias fornecidas para a utilização na construção civil, em Curitiba e região metropolitana, visando determinar se o agregado miúdo fornecido encontra-se dentro das especificações previstas pelas normas vigentes.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a areia conforme NBR 7211 (ABNT, 2005);
- Determinar a quantidade de torrões de argila nas amostras conforme NBR 7218 (ABNT, 1987);
- Realizar o ensaio de impurezas orgânicas húmicas nas amostras, conforme NBR 7220 (ABNT, 1987);
- Determinar o teor de material pulverulento nas amostras conforme NBR 7219 (ABNT, 1982);
- Determinar a consistência da argamassa conforme NBR 13276 (ABNT, 2005)
- Realizar o ensaio de resistência à compressão com as argamassas feitas com as diferentes amostras, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005);
- Realizar o ensaio de tração na flexão com as argamassas feitas com as diferentes amostras, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005);
- Comparar a consistência e resistência das argamassas feita com o agregado normal e livre de impurezas orgânicas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto por cinco capítulos, dispostos da seguinte forma:

No Capítulo 1 é desenvolvida a Introdução, onde é apresentado a Importância da Pesquisa e sua Justificativa, bem como o Objetivo Geral do trabalho e os Objetivos Específicos.

No Capítulo 2 é apresentada a Revisão Bibliográfica onde será explanada a classificação da areia, os tipos de extração e suas principais características.

No Capítulo 3 são apresentados os Métodos e Ensaio utilizados na pesquisa.

No Capítulo 4 são apresentados os Resultados e as Análises da pesquisa.

No Capítulo 5 são apresentadas as Conclusões e Considerações Finais assim como as Sugestões para Futuras Pesquisas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGREGADO MIÚDO

Os agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes e com dimensões e propriedades adequadas para o uso na construção civil (PETRUCCI, 1982). Para poder ser utilizado o agregado deve ter uma boa resistência mecânica à compressão e abrasão e uma boa durabilidade, apresentando boa resistência a elementos agressivos, além de não possuir substâncias deletérias. Para Neville (1982) estas substâncias podem ser impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência com a pasta de cimento e partículas fracas e friáveis que podem alterar a resistência e a característica de concretos e argamassas.

A NBR 7211 (ABNT, 2005) define o agregado miúdo como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,15mm. Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) o agregado deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias deletérias.

2.2 CLASSIFICAÇÃO

Os agregados podem ser classificados quanto à origem, dimensão dos grãos e massa específica. Quanto à origem podem ser naturais: encontrados na natureza na forma definitiva de utilização, passando apenas por processos de lavagem e separação granulométrica; artificiais: obtidos pelo britamento de rochas como o pedrisco e pedra britada; e industrializados: obtidos através de processos industriais como a argila expandida e a escória de alto-forno (BASÍLIO, 1995).

Do ponto de vista geológico Bauer (1995) define a areia como um sedimento clástico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos, de diâmetro entre 0,06 e 2,00mm.

Quanto à dimensão dos grãos a NBR 7211 (ABNT, 2005) define a areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou artificial cujos grãos passam pela peneira de 4,8 mm e ficam retidos na peneira de 0,15mm e define agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis cujos grãos passam pela peneira de 75mm e ficam retidos na peneira de 4,8mm.

Referente à massa unitária os agregados classificam-se em leves quando sua massa é menor que uma tonelada por metro cúbico, médios quando a massa fica entre uma e duas toneladas por metro cúbico, e pesados quando ultrapassam duas toneladas por metro cubico PILZ (2011).

Em termos médios, uma areia apresenta massa unitária na ordem de 1.500 kg/m³ (BASÍLIO, 1995).

2.3 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO AGREGADO MIÚDO.

Formada principalmente por quartzo, as areias são normalmente extraídas de depósitos recentes e sub-recentes de canais e terraços fluviais (VALVERDE, 2001). Extraída principalmente para atender a construção civil a areia também pode ser utilizada para a fabricação de vidros, agricultura, tratamento de água e outros.

De acordo com Almeida e Silva (2005), atualmente 90% da produção nacional de areia natural, no Brasil, é obtida a partir da extração em leito de rios e os 10% restantes, de outras fontes (várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos).

O processo de extração da areia pode ser manual, extração em fossa, área de várzea, leito de curso d'água, em leito de curso d'água navegável e por desmonte hidráulico.

2.3.1 Extração Manual

É um processo extremamente rudimentar, realizado através de pás. A extração e o beneficiamento são feitos manualmente podendo ocasionar em uma separação inadequada da granulometria dos grãos além de uma má separação de materiais indesejáveis como argila, galhos e folhas. Normalmente este tipo de extração é irregular e embora ocorra de forma isolada, a degradação causada pôr esse tipo de extração é muito significativa, destruindo matas ciliares e degradando margens de cursos d'água (GONÇALVES *et al*, 2002).



Figura 2.1 – Extração manual da areia em um leito de rio

Fonte: autor

2.3.2 Extração em Área de Várzea

Normalmente o nível do lençol freático é pouco profundo nas várzeas, fazendo com que o tempo de extração sem o uso de dragas de sucção seja pequeno. Quando o nível do lençol freático é atingido, há a introdução das dragas de sucção, que conduzem o material até o local de estocagem, onde a secagem ocorre naturalmente por escoamento gravitacional e evaporação, e as partículas dissolvidas e as águas retornam para a lagoa através de canais coletores. Neste tipo de extração a areia é comercializada da forma como foi extraída, ou seja, sem sofrer

qualquer tipo de tratamento químico, sendo lavada para a retirada da argila, e peneirada em grelhas fixas conforme a Figura 2.2, para a separação do cascalho e materiais estranhos como troncos, galhos e folhas, seguindo posteriormente para as pilhas de decantação conforme a Figura 2.3 (CAMPOS e FERNANDES, 2005).



Figura 2.2 – Peneiramento da areia em grelhas fixas

Fonte: autor



Figura 2.3 – Pilhas de decantação de areia

Fonte: autor

2.3.3 Extração em Fossa Seca

A extração a seco ocorre quando a jazida encontra-se acima do lençol freático. É um processo simples em que são empregados tratores de esteira, retroescavadeiras e caminhões para carregar o agregado que será separado dos dejetos indesejáveis e posteriormente separado por granulometria. Quando a extração atinge o nível d'água são introduzidas dragas para continuar com a retirada do material, seguindo o mesmo molde da extração em áreas de várzea (CAMPOS e FERNANDES, 2005).

2.3.4 Extração em leitos de curso d'água

Neste caso o processo extrativo ocorre através de dragas de sucção. O material extraído é conduzido por tubulações até o depósito de estocagem, onde ocorre a secagem natural por escoamento e evaporação. À medida que a drenagem se afasta do depósito na margem fica inviável o transporte por tubulações. Nestes casos são utilizadas barcaças onde o material dragado é inicialmente estocado para somente depois ser transportado até a margem (CAMPOS e FERNANDES, 2005).

Quando a extração ocorre em cursos d'água navegáveis ela pode ser feita por dragas ou pôr meio de embarcações equipadas com silos de estocagem, com tamanho suficiente para suportar a carga por determinado tempo, e com equipamento de escavação do tipo lança "Clam-shell", esse tipo de equipamento faz com que a extração se dê de forma vertical em profundidade sendo ideais para este tipo de extração (CAMPOS e FERNANDES, 2005).

2.3.5 Desmonte Hidráulico

O desmonte hidráulico consiste na desagregação da areia utilizando-se jatos d'água com alta pressão. Esses jatos incidem na base dos taludes da cava provocando desmoronamento dos sedimentos. Com o material no solo, outro jateamento é executado para que ocorra uma melhor desagregação dos sedimentos. Após a separação do material a mistura de água e areia segue para as bacias de

acumulação para ser posteriormente beneficiada e classificada (CHUCHIERATO, 2000). Este método, porém, não é utilizado em Curitiba e região metropolitana, devido às características das lavras existentes.

2.4 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

2.4.1 Composição Granulométrica

A especificação dos limites granulométricos do agregado miúdo, assim como o conhecimento da sua dimensão máxima e do seu módulo de finura são de extrema importância, pois estas características influenciam na trabalhabilidade e no custo do concreto ou argamassa (METHA e MOMTEIRO, 2008). Além disso, areias muito grossa produzem misturas pouco trabalháveis e areias muito finas aumentam a demanda de água para a hidratação do cimento.

Uma grande quantidade de material pulverulento como, por exemplo, o silte e pó fino, prejudicam a hidratação do cimento pois devido a sua finura e grande área superficial necessitam de mais água para molhagem de todas as partículas aumentando consecutivamente a relação água/cimento e diminuindo a resistência do concreto (NEVILLE, 1982).

Outro aspecto importante do conhecimento da composição granulométrica do agregado se deve a grande influência na qualidade das argamassas e concretos, especialmente na compactidade e na resistência a esforços mecânicos (BASÍLIO, 1995).

Além dos fatores acima citados a análise da granulometria visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. Essa análise tem grande importância e aplicação prática principalmente para determinação do módulo de finura e curva granulométrica utilizados na dosagem do concreto, e para se ter um melhor controle da homogeneidade dos lotes de agregados recebidos na obra (METHA e MONTEIRO 2008).

2.4.2 Massa Unitária, Massa Específica e Absorção do Agregado.

Ter o conhecimento dos valores da massa específica, massa unitária e absorção de um agregado são extremamente importantes e muito utilizado na prática.

O termo massa unitária é utilizado quando um volume é ocupado tanto pelos agregados como pelos espaços vazios, visto que não é possível compactar as partículas de modo a não deixar espaços vazios entre elas (METHA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Basílio (1995) a maioria dos agregados miúdos que produzem concretos normais (com massa específica de aproximadamente 2.400kg) possui massa unitária próxima a 1.500 kg/m³. Em situações especiais onde concretos convencionais não podem ser utilizados, pode-se utilizar agregados leves, com massa unitária menor que 1.120 kg/m³, ou agregados pesados, com massa unitária superior a 2.080 kg/m³ (SIQUEIRA, 2008). Esses valores são utilizados para o cálculo do consumo do material por metro cúbico de concreto.

Para efeitos de dosagem é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros dentro das partículas e excluindo-se os vazios entre elas. Para encontrar esse valor calcula-se a massa específica do agregado que segundo Metha e Monteiro (2008) varia entre 2.600 e 2.700 kg/m³ para as rochas mais comumente utilizadas.

A absorção é o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros permeáveis por água. O entendimento deste fenômeno é fundamental para a compreensão das características da massa específica e massa unitária, pois se o agregado utilizado nos ensaios estiver úmido os valores obtidos serão diferentes dos obtidos com o agregado previamente seco em estufa, podendo acarretar em erros de cálculo de volume e dosagem do concreto (METHA e MONTEIRO, 2008).

2.4.3 Inchamento da Areia

Segundo Basílio (1995), o fenômeno de variação do volume do agregado miúdo, provocado pela adição de água, denomina-se inchamento. Assim se variarmos a quantidade de água contida na areia, seu volume também variará.

Como nas obras a maior parte dos agregados são utilizados na forma em que são recebidos dos areais, as betonadas de argamassa e concreto podem sofrer variações, se a dosagem for feita em volume, podendo resultar em argamassas com diferentes índices de trabalhabilidade e resistência (SIQUEIRA, 2008).

Essa diferença de volume aparente da areia ocorre porque a tensão superficial da água mantém as partículas de areia afastadas umas das outras (SIQUEIRA, 2008).

2.4.4 Substâncias prejudiciais.

Por exercer considerável influência na trabalhabilidade, resistência e durabilidade, o agregado miúdo deve ser inerte e livre de substâncias deletérias. As propriedades físicas e químicas dos agregados e das argamassas, tanto de assentamento quanto de revestimentos dealvenarias, são essenciais para a vida útil das obras em que são utilizadas (NARCISO, 2006).

As impurezas encontradas nos agregados interferem nas propriedades dos revestimentos e na qualidade do concreto, dificultando a hidratação do cimento e sua aderência aos grãos de areia (NEVILLE, 1982). Essas impurezas podem causar patologias como desagregação dos agregados, e na presença de umidade podem provocar eflorescência e corrosão da armadura.

A NBR 7211(ABNT, 2005) limita a presença de materiais deletérios encontrados no agregado miúdo de acordo com o quadro 2.1.

Quadro 2.1 — Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo %
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa pela peneira 0,75mm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara que a solução padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência de compressão comparativos	10,0

Fonte: ABNT NBR 7211/05

2.4.5 Impurezas Orgânicas

Impurezas orgânicas húmicas são os detritos mais comumente de origem vegetal, geralmente sob a forma de partículas minúsculas, mas em grandes quantidades chegam a escurecer o agregado miúdo (BASÍLIO, 1995).

As impurezas orgânicas, normalmente resultantes da decomposição de vegetais, prejudicam a pega e o endurecimento das argamassas e concretos podendo ocasionar perda de resistência, patologias relacionadas à sua expansão e desagregação do agregado miúdo devido a má aderência da pasta de cimento ao agregado (NEVILLE, 1982).

Para avaliar a quantidade de matéria orgânica encontrada na amostra de agregado usa-se normalmente o ensaio colorimétrico conforme NBR NM 49 (ABNT, 2001). Caso o resultado comparativo com a solução padrão seja superior a 300ppm pode-se complementá-lo com analisada resistência a compressão do concreto ou argamassa conforme NBR 7211 (ABNT, 2005).

2.4.6 Torrões de Argila e Materiais Friáveis

A argila pode estar presente no agregado miúdo sob a forma de películas superficiais que prejudicam a aderência entre o agregado e a pasta de cimento (NEVILLE, 1982). Ainda segundo Neville (1982) outras substâncias prejudiciais são o silte e o pó fino que podem revestir o agregado de forma semelhante à argila, ou podem estar presentes sob a forma de partículas soltas. Estas substâncias, em quantidades excessivas, aumentam a necessidade de água devido a sua finura e grande área superficial, alterando assim a trabalhabilidade da argamassa para uma mesma relação *a/c* (água/cimento), podendo ainda alterar a resistência do concreto ou argamassa devido a necessidade de uma maior adição de água.

Além de prejudicar a aderência entre a pasta de cimento e o agregado, os torrões de argila, na presença de umidade, podem expandir, provocando patologias principalmente em argamassas de revestimento. Os materiais friáveis, como a mica, desagregam-se facilmente, ocasionando perda de aderência e resistência (NEVILLE, 1982).

Por serem extremamente prejudiciais estas substâncias são limitadas em 3% em relação à massa do material utilizado para a produção de concretos convencionais (NEVILLE, 1982).

2.4.7 Resistência à Compressão e Tração na Flexão.

Devido ao processo de moldagem dos corpos de prova e ensaio de compressão e tração na flexão serem relativamente simples este ensaio tem sido muito utilizado para verificação da resistência dos concretos e argamassas em grandes obras.

Considerada como a capacidade para resistir à esforços sem se romper, a resistência esta relacionada aos esforços para causar a ruptura (METHA e MONTEIRO, 2008).

Argamassas com uma boa resistência terão menos problemas com patologias provocadas pela falta de aderência ao substrato, além de apresentarem um menor desgaste superficial (METHA e MONTEIRO, 2008).

Com estes ensaios pode-se comparar a influência que a granulometria, torrões de argila e matéria orgânica têm sobre a resistência dos corpos de prova, pois segundo Helene e Terzian (1993) a resistência à compressão é um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura de um concreto ou argamassa.

3. MATERIAIS E METODOS.

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS.

Foram coletadas 5 (cinco) amostras de agregado miúdo na área de Curitiba e Região Metropolitana, das quais 4 (quatro) foram retiradas de fornecedores que utilizam máquinas para lavra e beneficiamento da areia nas regiões de Pinhais, São José dos Pinhais, Piraquara e Mandirituba, e 1 (uma) amostra coletada do fornecedor que retira areia ilegalmente do rio Atuba em Curitiba, utilizando métodos manuais.

As amostras de campo foram coletadas em lotes com a especificação de areia média estando pronto para o consumo, não necessitando de nenhum tipo de tratamento ou beneficiamento segundo os fornecedores.

A coleta do material foi feita com o agregado úmido, para preservar a parte pulverulenta do material, e teve porções de diferentes partes da pilha de agregados abrangendo a base, meio e topo do lote, sendo posteriormente misturadas e quarteadas adequadamente visando atender as especificações da NBR NM 26 (ABNT, 2009).

As partes representativas dos lotes, com aproximadamente 40kg cada, foram acondicionadas em sacos plásticos para preservar o material pulverulento, identificadas e transportadas para o laboratório da UTFPR, onde foram secas em estufas apropriadas, a uma temperatura de $105 \text{ }^{\circ}\text{C} + \text{ ou } - 5^{\circ}\text{C}$.

Na Figura 3.1 é possível visualizar parte das amostras colhidas em campo após serem secas na estufa.

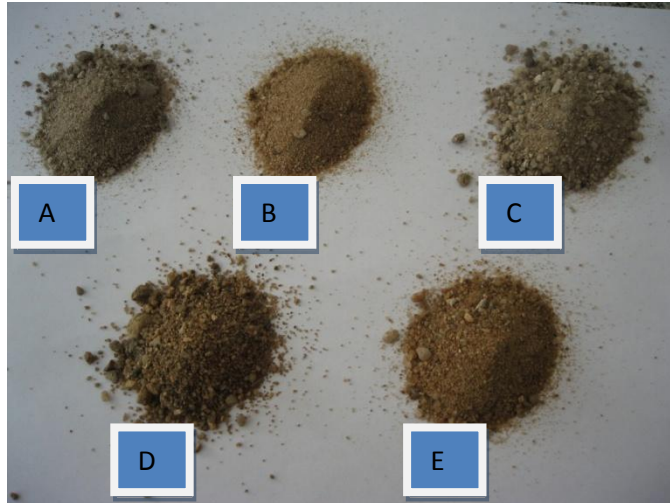


Figura 3.1 – Amostras das areias secas em estufa

Fonte: autor

- “A” – Areia extraída de Pinhais;
- “B” – Areia extraída de São José dos Pinhais;
- “C” – Areia extraída de Piraquara;
- “D” – Areia extraída do rio Atuba;
- “E” – Areia extraída de Mandirituba.

3.2 MASSA UNITÁRIA

Para a determinação da massa unitária, todas as amostras foram previamente secas em estufas com capacidade de temperatura de $105^{\circ}\text{C} + \text{ou} - 5^{\circ}\text{C}$. Após estarem secas as amostras foram separadas com o dobro do volume do recipiente utilizado no ensaio (15 dm^3).

A amostra foi lançada no recipiente a uma altura entre 10 e 12cm do topo do recipiente, sendo posteriormente rasado e pesado. A massa do agregado solto é a diferença entre o recipiente cheio e a massa do recipiente vazio, sendo que foram feitas cinco determinações para cada amostra, obtendo-se posteriormente o valor da massa unitária com a equação 01.

$$Mu = \left(\frac{m}{v} \right) \quad (01)$$

Onde: Mu = massa unitária kg/m³;

m = massa do agregado g ou kg;

v = volume do recipiente l ou m³.

3.3 MASSA ESPECÍFICA

Prepararam-se as amostras, previamente secas em estufa a uma temperatura média de 105°C, com 500g cada, a temperatura ambiente. Colocou-se a água no frasco de *Chapman* até a marca de 200cm³ deixando em repouso. Posteriormente introduziu-se a cuidadosamente a amostra, agitando todo o conjunto para eliminar as bolhas de ar. Posteriormente, com o frasco em repouso, foi feita a leitura de nível, atingido pela água no gargalo do frasco.

Foram feitas duas determinações para cada amostra, sem diferenciar o frasco, para não haver divergências nos resultados provocados pela diferença de material.

O calculo foi feito pela equação 02:

$$Y = \left(\frac{500}{L - 200} \right) \quad (02)$$

Onde:

Y= massa específica do agregado miúdo em g/cm³;

L= Leitura final do frasco.



Figura 3.2 – Frasco de Chapman

Fonte: sidiquim (2011)

3.4 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

As amostras, previamente secas em estufa com temperatura de 105°C \pm 5°C, foram peneiradas em um peneirador mecânico, através das peneiras de série normal 4,75mm à 0,15mm, conforme o quadro 3.1, permitindo a separação dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. Em cada peneira o material retido foi separado e pesado, anotando-se o valor na planilha de composição granulométrica. Os grãos de agregado miúdo que ficaram presos nas malhas das peneiras foram retirados através da passagem da escova de aço, de modo que nenhuma partícula fosse perdida.

Quadro 3.1 - Conjunto de peneiras da serie normal e intermediária

Serie normal	Serie Intermediária
75mm	....
....	63mm
....	50mm
37,5mm	....
....	31,5mm
....	25mm
19mm	....
....	12,5mm
9,5mm	....
....	6,3mm
4.75mm	....
2,36mm	....
1,18mm	....
0,6mm	....
0,3mm	....
0,15mm	....

Fonte: NBR 7211/05



Figura 3.3 – Peneirador mecânico com peneiras da serie normal

Fonte : autor

Para cada amostra foram feitas duas determinações, seguindo as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

3.5 INCHAMENTO DA AREIA

Para o ensaio de inchamento as amostras foram previamente secas em estufa a uma temperatura média de 105°C. Posteriormente as amostras foram deixadas em temperatura ambiente para execução do ensaio.

Para cada teor de umidade requerido conforme a Tabela 3.1, as amostras foram homogeneizadas e pesadas duas vezes, repetindo-se o procedimento para todas as amostras.

Tabela 3.1 – Teor de umidade para inchamento do agregado miúdo

Teor de Umidade (%)	0	0,5	1	2	3	4	5	7	9	12
---------------------	---	-----	---	---	---	---	---	---	---	----

Após pesado o material determinou-se a massa unitária para todas as porcentagens de umidade, conforme a equação 03 e posteriormente calculou-se o coeficiente de inchamento conforme a equação 04.

$$Mu = \left(\frac{m}{v} \right) \quad (03)$$

Onde:

Mu = Massa unitária;

m = massa;

v = volume.

$$\frac{Vh}{Vs} = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_h} \right) x \frac{(100 + h)}{100} \quad (04)$$

Onde:

Vh/Vs = coeficiente de inchamento do agregado;

Vh = volume do agregado com h% de umidade, em cm³;

Vs = volume do agregado seco em estufa;

ys = massa específica aparente do agregado seco;

yh = massa específica aparente do agregado úmido;

h = teor de umidade do agregado em %.

Com todos os valores estabelecidos, traçou-se a curva de inchamento onde pode-se encontrar a umidade crítica do agregado e o coeficiente de inchamento médio.

3.6 DETERMINAÇÃO DO MATERIAL PULVERULENTO

Foram separados 500g de material de todas as amostras, secas previamente em estufa a uma temperatura de 105°C +ou- 5°C e deixadas à temperatura ambiente.

Com as amostras retidas em um recipiente adequado, para não haver perda de material, foi adicionado água até cobrir a amostra, sendo esta vigorosamente agitada para que o material pulverulento ficasse em suspensão. Após este procedimento a amostra foi vertida em duas peneiras de 1,2mm e 0,075mm respectivamente, para que o material pulverulento fosse eliminado e o material retido na segunda peneira retornasse ao recipiente.

A operação foi feita até que a água de lavagem ficasse clara, tomando o devido cuidado para que nenhum material fosse perdido no procedimento. O agregado lavado foi seco em estufa e posteriormente pesado.

Foram feitas duas determinações para cada amostra, calculando-se o teor de material pulverulento do agregado miúdo conforme a equação 05:

$$M = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \quad (05)$$

Onde:

M = Teor de material pulverulento;

A = Massa da amostra seca em estufa;

B = Massa da amostra seca em estufa após lavagem.

3.7 TORRÕES DE ARGILA

O Agregado miúdo foi seco em estufa a temperatura média de 105°C e posteriormente separado conforme a figura 3.4, de forma que após o peneiramento a amostra retida entre as peneiras de 1,2mm e 4,8mm fosse superior a 200g. Desta forma o peso inicial dos agregados foi de 1500g para as amostras A, B, C e E, e de 700g para a amostra D.

Depois de separadas as amostras foram peneiradas na peneira de 1,2mm recolhendo-se a parte retida, conforme a Figura 3.5. Após determinar a massa do material, a parte retida foi espalhada em uma bandeja, de maneira que a camada resultante fosse fina e uniforme, e destorroada. Após destorroar os grãos de argila e eliminar os resíduos, foi peneirado novamente cada amostra e determinado a massa do material retido.



Figura 3.4 – Amostra inicial

Fonte: autor



Figura 3.5 - Amostra retida na peneira de 1,2mm

Fonte: autor

A porcentagem de material destorroado de cada fração e dada pela equação 06:

$$M = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100 \quad (06)$$

Onde:

M = material destorroado;

M_i = massa inicial;

M_f = massa final.

O teor parcial de argila em torrões e matérias friáveis e dado pela equação 07:

$$T = M \times R_i \quad (07)$$

Onde:

T = teor parcial de argila;

M = porcentagem de material destorroado;

R_i = porcentagem retida individual.

3.8 IMPUREZAS ORGÂNICAS

Foram separados 200g de todas as amostras, acondicionadas cada uma em um frasco erlenmeyer. Posteriormente adicionou-se 100ml de uma solução de hidróxido de sódio a 3% em cada um dos frascos conforme a Figura 3.6. Agitou-se vigorosamente a mistura, tampou-se o frasco com uma rolha própria e acondicionou-se em local escuro e protegido da luz por 24 horas.



Figura 3.6 – Amostras nos frascos Erlenmeyer

Fonte: autor

Após esse período, os frascos foram retirados do repouso e a solução foi transferida para tubos de ensaios através de um funil com papel filtro, conforme a Figura 3.7.



Figura 3.7 – Transferência da solução para os tubos de ensaio

Fonte: autor

A solução obtida em cada amostra foi comparada com a tabela de cores da placa colorimétrica específica para esse ensaio, conforme a Figura 3.8.



Figura 3.8 – Tabela colorimétrica

Fonte: autor

3.9 CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA

Para os ensaios de consistência estabeleceu-se inicialmente um traço padrão de 1:3, mais comumente utilizado conforme tabela Cimento e Areia (2002); Narciso (2006) e Narciso *et al.* (2005), com 2400g de areia e 600g de cimento CP II Z, pois é o cimento mais comum encontrado em Curitiba e região metropolitana. O ensaio de consistência da argamassa foi realizado na “*FlowTable*” com a amostra “C”, até se obter a abertura indicada pela NBR 13276 (ABNT, 2005) de 255mm + ou- 10mm. Após atingir a abertura desejada fixou-se a quantidade de água em 445g para todas as amostras afim de não alterar o fator água/cimento para que se pudesse comparar a densidade de cada argamassa e posteriormente sua resistência.

Com o traço estabelecido, as amostras foram separadas e sacos plásticos conforme a Figura 3.9 e depois homogeneizadas em um único plástico, Figura 3.10, para obter uma mistura uniforme, e somente depois foi colocada na argamassadeira.



Figura 3.9 – Amostras de cimento e areia

Fonte: autor



Figura 3.10 – Amostra homogeneizada

Fonte: autor

Já na argamassadeira o traço foi homogeneizado por 1 minuto, descansou por 30 segundos e retornou a ser homogeneizado por mais 1 minuto.

A argamassa pronta foi submetida ao ensaio de consistência conforme NBR 13276 (ABNT, 2005) e conforme Figura 3.11.



Figura 3.11 – Ensaio de consistência na “FlowTable”

Fonte: autor

3.10 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO

Após a determinação da consistência das argamassas foram moldados 6 corpos de prova prismáticos para cada amostra, com medidas de 4x4x16cm, sofrendo 30 quedas com o “*Flow Table*” para cada uma das duas camadas, conforme Figura 3.12. Este ensaio foi adaptado devido a não existência de formas padronizadas para o referido ensaio.



Figura 3.12 – Moldagem dos corpos de prova.

Fonte: autor

Após 24 horas de repouso os corpos de prova foram desmoldados e colocados para cura submersos em água.

Com 7 e 28 dias os corpos de prova foram submetidos primeiramente ao ensaio de tração na flexão e posteriormente ao ensaio de compressão.

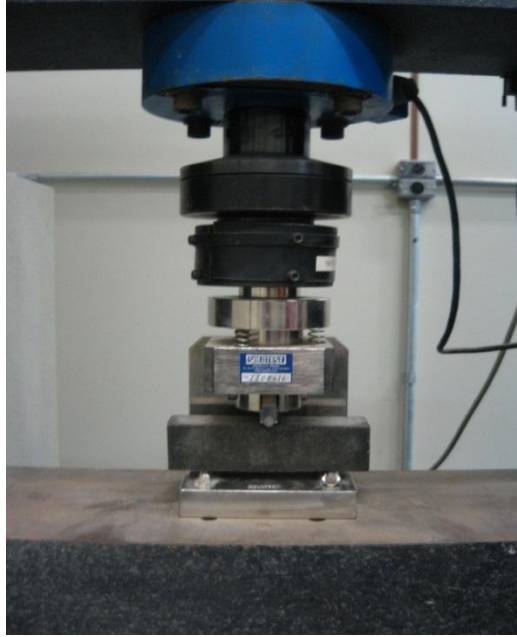


Figura 3.13 – Ensaio de tração na flexão

Fonte: autor



Figura 3.14 – Ensaio de compressão

Fonte: autor

3.11 ANÁLISE DE QUALIDADE DA AREIA

Este é um ensaio normalmente indicado para areia com teor de impurezas orgânicas acima de 300ppm (300 partes por milhão), mas foi executado afim de comparar os resultados da amostra de areia livre de impurezas orgânicas com a amostra normal.

Para a lavagem da areia utilizou-se uma solução de hidróxido de sódio a 3%, a qual ficou em reação com a areia por 24 horas em local escuro. Após o período de repouso a areia foi lavada com água até se obter uma água visualmente limpa. Todo o procedimento foi feito cuidadosamente para evitar perda de material.

Após a lavagem das amostras, as mesmas foram secas em estufas e receberam o mesmo procedimento citado no item 3.9.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO EM ESTADOS SOLTO.

A análise da massa unitária do agregado é importante pois com o resultado pode-se determinar a massa unitária que será levada em consideração no cálculo de dosagem do concreto ou argamassa e serve como parâmetro para transformar massa em volume ou vice-versa. Embora seja extremamente prática e rápida, nas obras, este tipo de determinação não segue o padrão adotado em laboratório e exigido pela NBR 7251 (ABNT, 1982), pois o tamanho dos recipientes utilizados nas obras e o procedimento de enchê-las variam muito.

Os valores encontrados na Figura 4.1 são referentes à determinação em um recipiente paralelepípedo com volume de 15dm³, e com lançamento do agregado a uma altura aproximada de 12 cm.

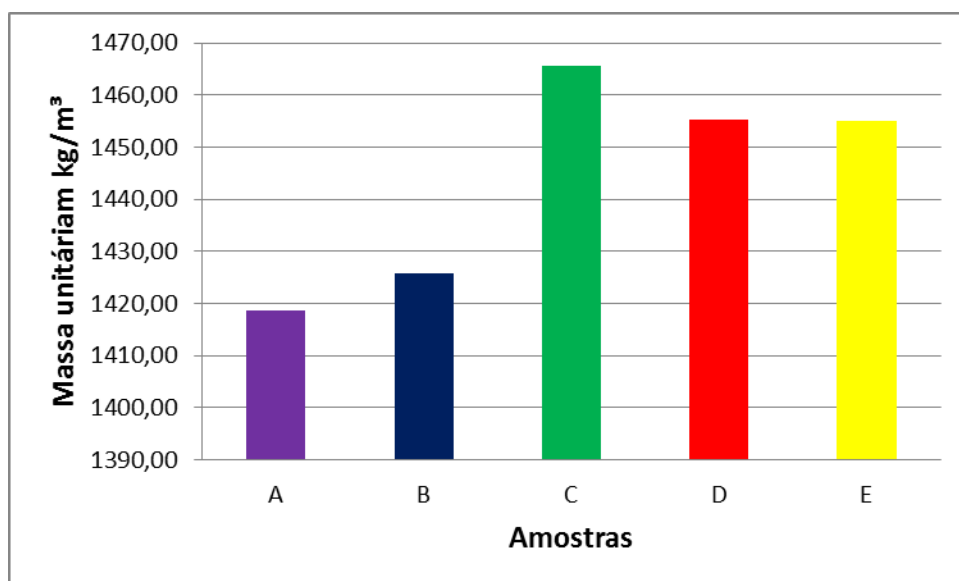


Figura 4.1 – Massa unitária em estado solto

Fonte: autor

Verifica-se que embora as amostras tenham sido retiradas de lugares diferentes, elas apresentam valores próximos, mas um pouco abaixo de 1.500 kg/m³ sugerido por Neville (1982). A amostra “A”, que teve a menor massa específica, apresentou um valor de apenas 3,2% abaixo do sugerido.

4.2 MASSA ESPECÍFICA PELO MÉTODO DO FRASCO DE CHAPMAN

Massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água NBR NM 52 (ABNT, 2003). Concretos e argamassas feitos com agregados diferentes podem ter densidades diferentes o que afeta no volume final da mistura.

A Figura 4.2 mostra os resultados da massa específica através do método do frasco de Chapman.

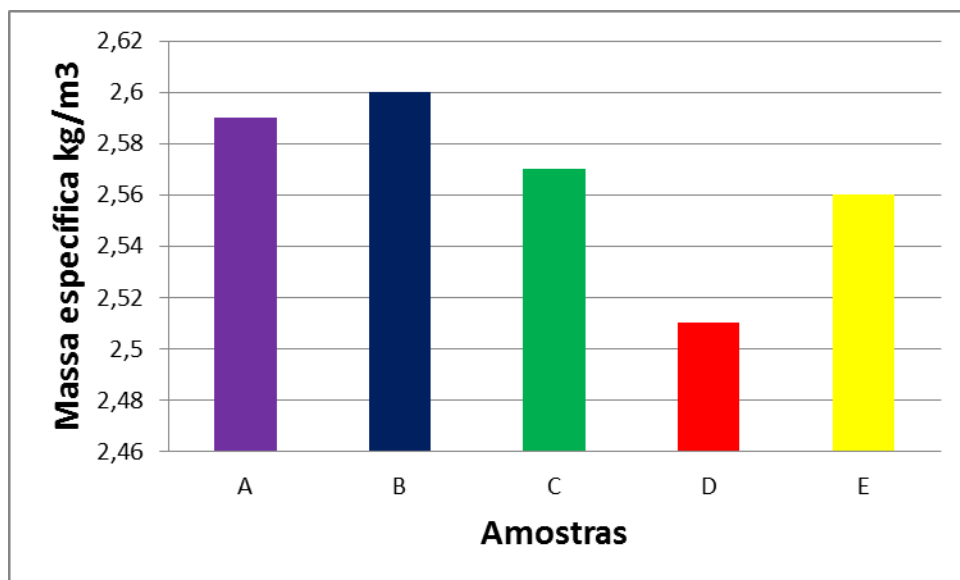


Figura 4.2 - Massa específica pelo método do frasco de Chapman.
Fonte: autor

O resultado obtido neste ensaio demonstra o resultado padrão da grande maioria das massas específicas reais das areias (2.600 kg/m^3), destacando-se apenas a amostra “D” que apresentou uma massa específica 4% menor que a amostra “B”. Esta queda pode estar relacionada ao fato de ter sido encontrado materiais diferentes da areia, como partes de vidros, plásticos, bloco cerâmico e outros, o que possivelmente provocou a queda do valor da massa específica.

4.3 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A composição granulométrica é a característica dos tamanhos dos grãos que compõe a areia. Através da composição granulométrica de uma areia pode-se definir sua dimensão máxima característica que corresponde à abertura nominal da malha da peneira de série normal ou intermediária, na qual o agregado fica retido em valor igual ou inferior a 5% segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), e pode-se estabelecer seu módulo de finura que é a soma das porcentagens retidas acumuladas, nas peneiras de serie normal, dividido por cem.

A Figura 4.3 mostram os resultados de duas determinações para cada amostra de agregado miúdo e o Figura 4.4 apresenta os módulos de finura de cada amostra.

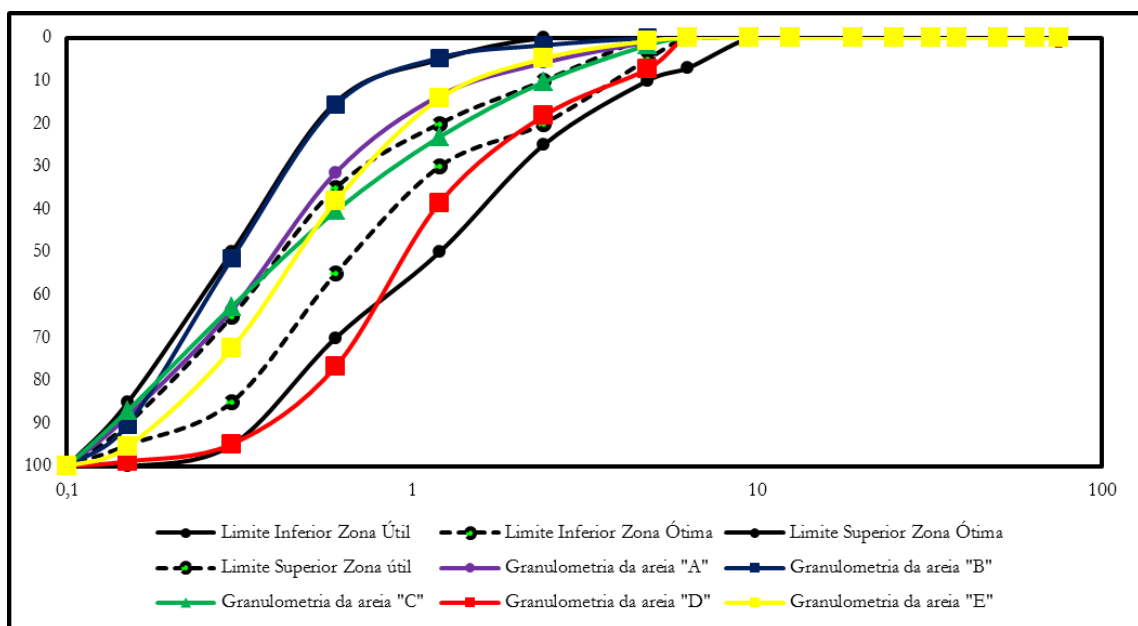


Figura 4.3 – Faixa granulométrica dos agregados

Fonte: autor

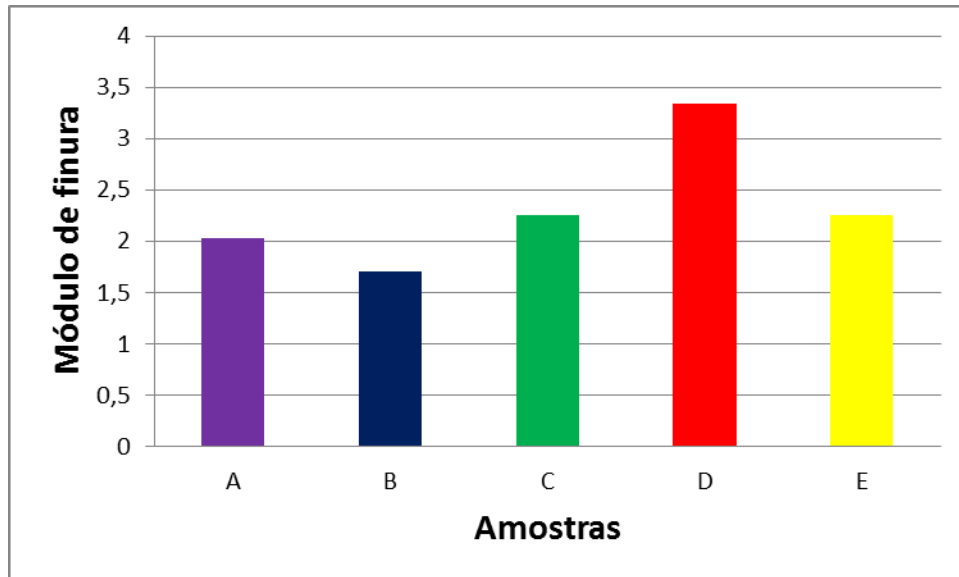


Figura 4.4 – Módulo de finura das amostras

Fonte: autor

Observa-se que a amostra “B” tange o Limite Inferior da Zona Utilizável e a amostra “D” ultrapassa o Limite Superior da Zona ótima, estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2005). A amostra “B” obteve um módulo de finura apenas 10% maior que o limite da zona utilizável inferior estabelecido pela norma. A amostra “D” apresentou um módulo de finura 4,6% menor que o limite da zona utilizável superior, além de ser a única amostra a apresentar um diâmetro máximo característico superior a 4,8mm, conforme visualizado no anexo A, descaracterizando-a como agregado miúdo.

4.4 INCHAMENTO DA AREIA

Devido ao agregado miúdo ter grande capacidade de retenção de água e essa capacidade alterar seu volume aparente em decorrência da presença de água é que se faz necessário o conhecimento do inchamento do agregado quando a dosagem do concreto ou argamassa é feito em volume.

As Figuras 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 apresentam a curva de inchamento das amostras.

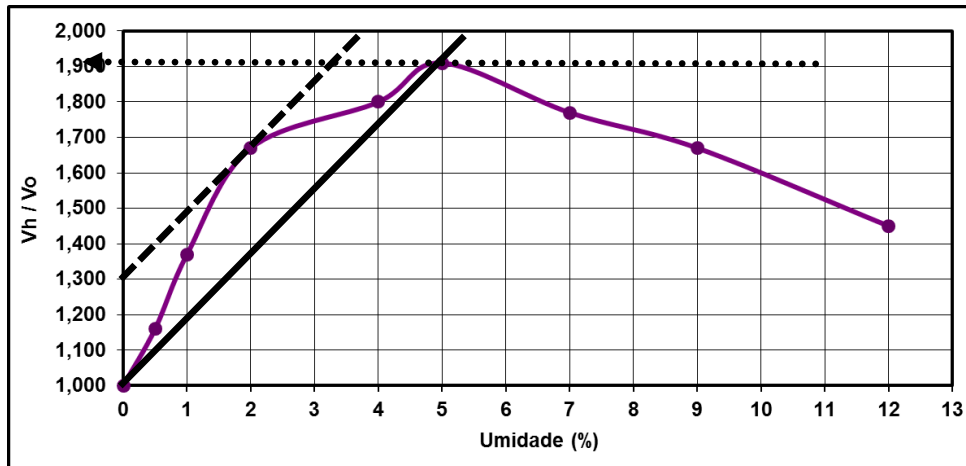


Figura 4.5 – Inchamento da amostra “A”

Fonte: autor

A amostra “A” apresentou uma umidade crítica de 3,2% e coeficiente de inchamento médio de 1,665.

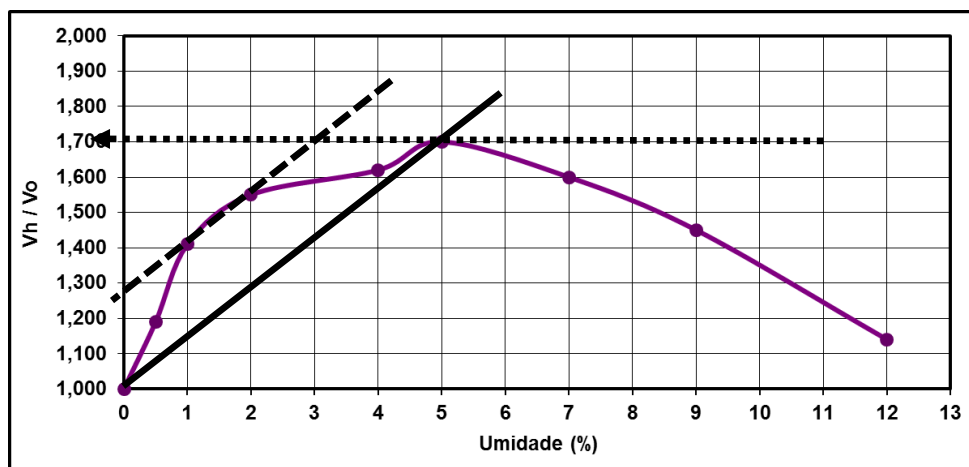


Figura 4.6 – Inchamento da amostra “B”

Fonte: autor

A amostra “B” apresentou uma umidade crítica de 2,9% e um coeficiente de inchamento médio de 1,55.

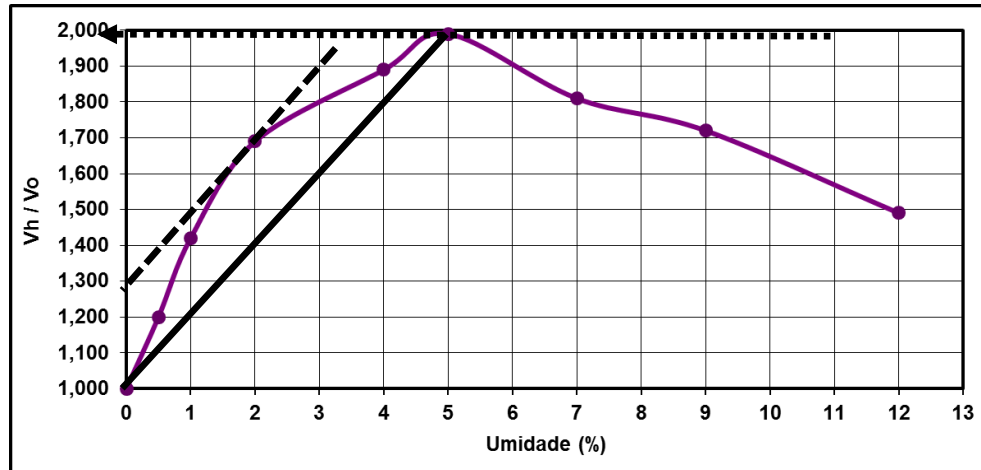


Figura 4.7 – Inchaço da amostra “C”.

Fonte: autor

A amostra “C” apresentou uma umidade crítica de 3,4% e um coeficiente de inchaço médio de 1,7.

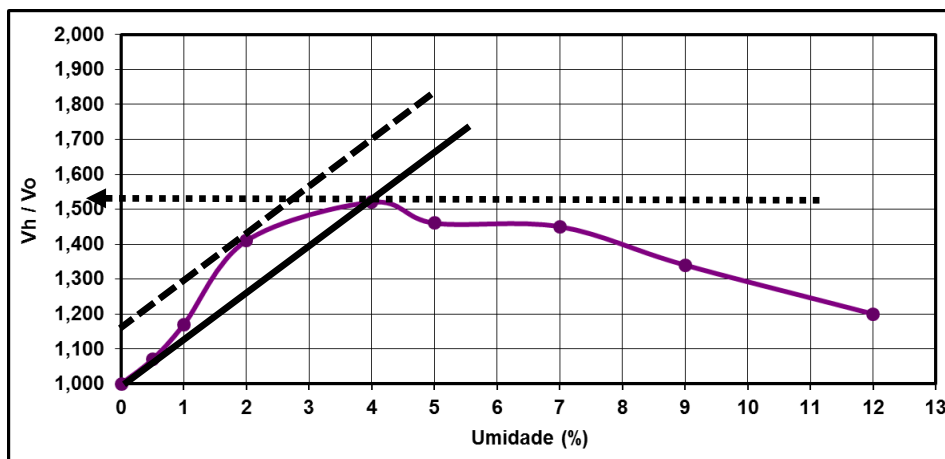


Figura 4.8 – Inchaço da amostra “D”

Fonte: autor

A amostra “D” apresentou uma umidade crítica de 2,8% e um coeficiente de inchaço médio de 1,4.

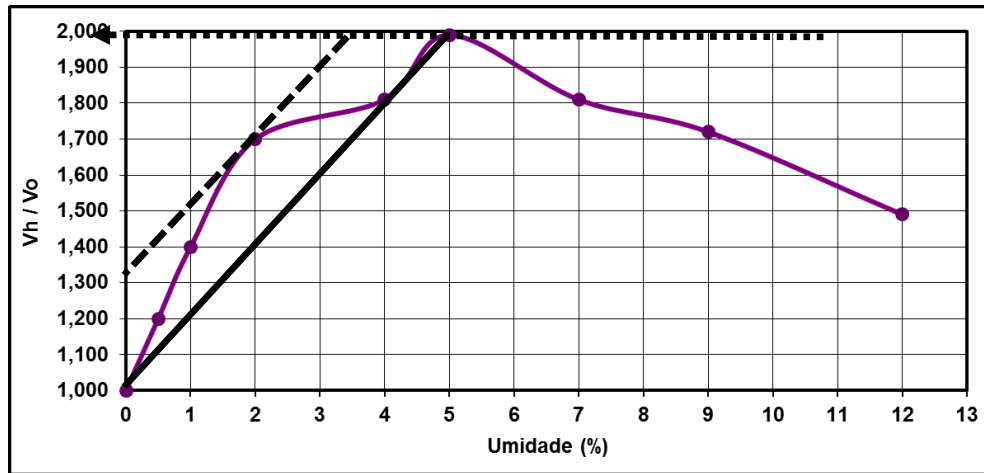


Figura 4.9 – Inchamento da amostra “E”

Fonte: autor

A amostra “E” apresentou uma umidade crítica de 3,5% e um coeficiente de inchamento médio de 1,7.

4.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO.

O conhecimento da quantidade de material pulverulento é extremamente importante pois o excesso deste material prejudica a aderência entre a pasta de cimento e a argamassa e aumenta o consumo de água devido maior superfície de contato, ocasionando uma diminuição da resistência de concretos e argamassas.

A Figura 4.10 mostra a porcentagem encontrada em cada amostra após duas determinações.

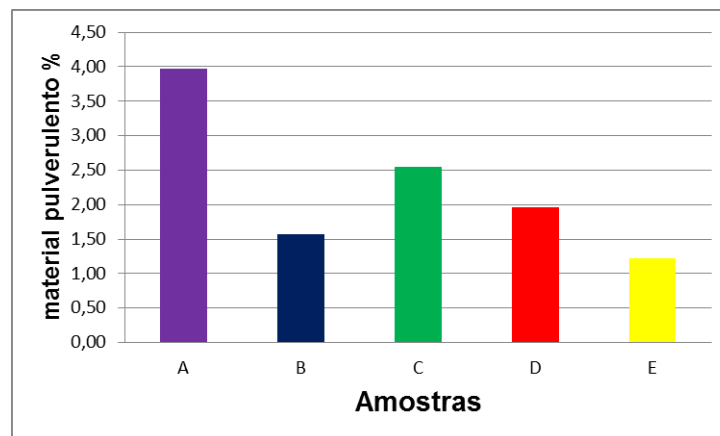


Figura 4.10 – Teor de material pulverulento

Fonte: autor

Com exceção da amostra “A” todas as areias tiveram resultados satisfatórios segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005). Com 3,97% de material pulverulento a amostra “A” poderia ser utilizada apenas em concretos protegidos do desgaste superficial o que limitaria seu uso na obra. Materiais pulverulentos em alto teor diminuem a aderência do agregado a pasta ou argamassa, prejudicando de forma direta a resistência mecânica e a trabalhabilidade do concreto podendo causar danos indesejáveis caso a areia não fosse previamente analisada (ANAPRE, 2011).

4.6 TORRÕES DE ARGILA E MATÉRIAS FRIÁVEIS

Os torrões de argila e materiais friáveis trazem prejuízos tanto à resistência do concreto quanto a sua aparência, pois a argila pode estar presente no agregado miúdo sob a forma de películas superficiais que prejudicam a aderência entre o agregado e a pasta de cimento, e no caso de concretos aparentes, poderão produzir manchas na superfície (NEVILLE, 1982).

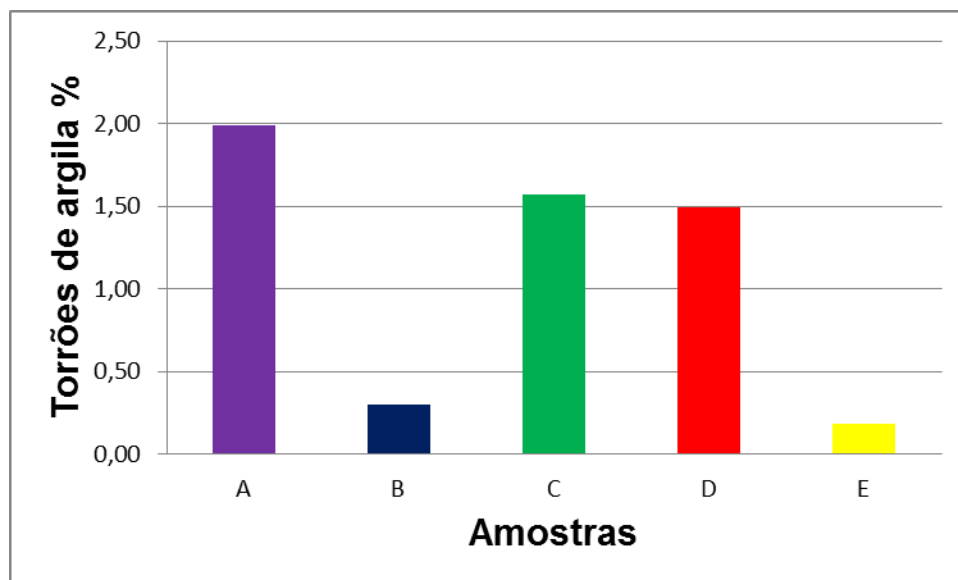


Figura 4.11 – Teor de argila nas amostras

Fonte: autor

Todas as areias analisadas apresentaram torrões de argila e materiais friáveis, mas nenhuma delas ultrapassou o limite de 3% estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2005) destacando-se as amostras “A” e “E” que obtiveram valores inferiores a 0,5%.

4.7 IMPUREZAS ORGÂNICAS

De modo geral as impurezas orgânicas são nocivas para os concretos e argamassas. Petrucci (1982) ressalta que as impurezas orgânicas da areia, normalmente formada por partículas de humus, exercem uma ação prejudicial sobre a pega e o endurecimento das argamassas e concretos, pois o humus, que é ácido, neutraliza a água alcalina da argamassa prejudicando a aderência entre o cimento e as partículas de agregados.

O ensaio colorimétrico é o mais utilizado para a avaliação inicial das areias por ser de fácil e rápida execução. Se o índice apresentado na escala colorimétrica for superior a 300ppm é necessário realizar o teste de qualidade da areia estabelecido pela NBR 7221 (ABNT, 1987).

As amostras ensaiadas tiveram resultados bem distintos, comprovando ser necessário uma análise mais criteriosa das areias que são utilizadas nas obras.

A Figura 4.12 mostra os resultados obtidos no ensaio colorimétrico.



Figura 4.12 – Ensaio colorimétrico

Fonte: autor

Pode-se observar que as amostras A, B e E obtiveram resultados superiores a 300ppm estabelecido pela NBR NM 49 (ABNT, 2001), sendo necessário realizar o ensaio de qualidade da areia para comparar a resistência da amostra contaminada com a amostra livre de impurezas.

A amostra que apresentou a melhor coloração comparada com a tabela colorimétrica foi a “D” o que torna o fato curioso, pois a amostra foi retirada do rio Atuba, em São José dos Pinhais. Este rio, ao passar por áreas urbanas, recebe parte do esgoto produzido pela população local.

4.8 CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA

A Figura 4.13 apresenta os resultados da determinação da consistência conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005).

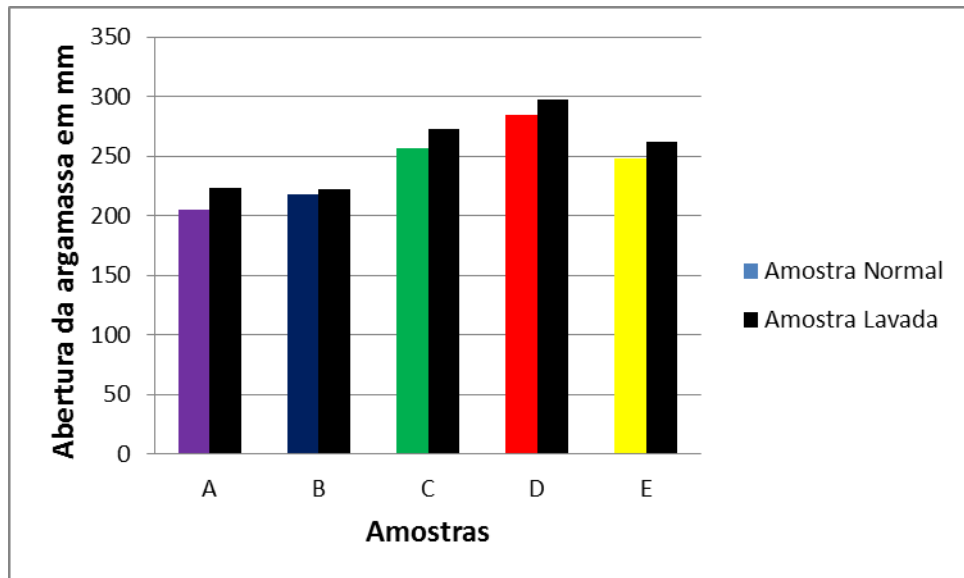


Figura 4.13 – Consistência das argamassas

Fonte : autor

A amostra “D” apresentou a maior consistência das argamassas, sendo 72% maior que a menor consistência registrada no ensaio. Verifica-se também que após as amostras serem lavadas em solução de hidróxido de sódio todas as amostras tiveram um aumento médio de 5% na abertura da argamassa. As amostras “A”, “B” e “D” apresentaram valores de consistência fora da referência de 255mm + ou – 10mm estabelecida pela NBR 13276 (ABNT, 2005).

4.9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os ensaios de resistência à compressão e tração na flexão foram realizados em corpos de prova prismáticos conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), aos 7 e 28 dias, para as amostras originais e lavadas com a solução de hidróxido de sódio.

A Figura 4.14 apresenta os resultados obtidos no ensaio de compressão aos 07 e 28 dias com a areia normal e a areia lavada.

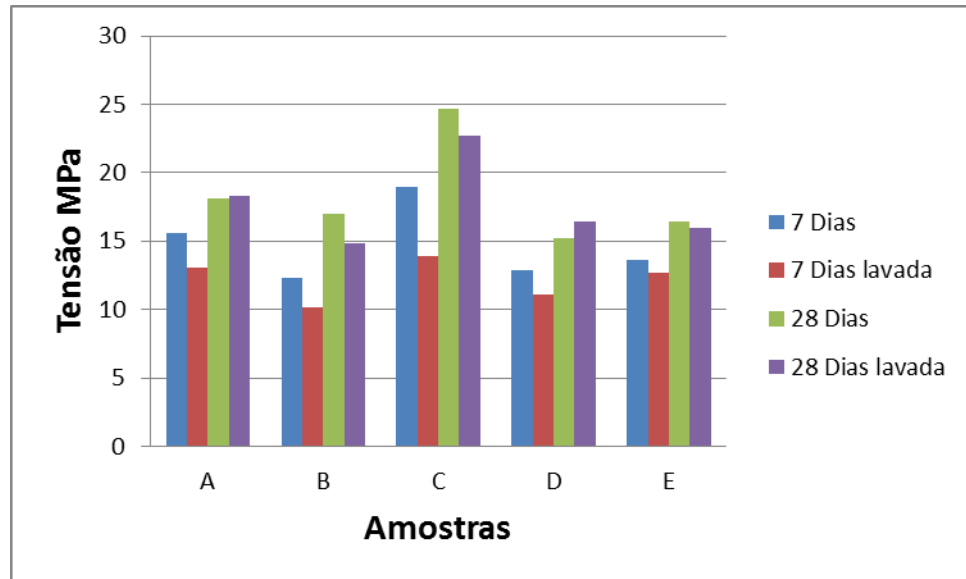


Figura 4.14 – Resistência à compressão

Fonte: autor

Observa-se que aos 07 dias as amostras lavadas tiveram uma resistência a compressão em média 16,8% menor comparada às amostras que não foram lavadas. Aos 28 dias essa diferença cai para a média de 7,38%, tendo um aumento de resistência de 1,04% na amostra “A” e 8,36% na amostra “D”. A amostra “B” obteve a menor resistência aos 07 dias enquanto a amostras “D” obteve a menor resistência as 28 dias, apresentando uma diferença de 38,4% em relação a maior resistência obtida.

A Figura 4.15 apresenta os resultados obtidos no ensaio de tração na flexão aos 07 e 28 dias com a areia normal e a areia lavada.

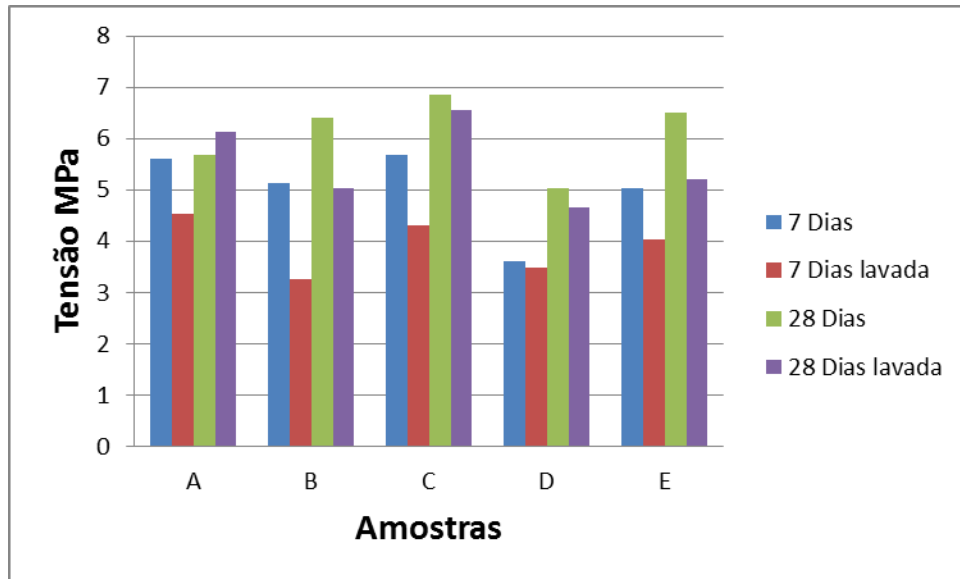


Figura 4.15 – Resistência à tração na flexão

Fonte: autor

Aos 07 dias as amostras lavadas “A”, “B”, “C” e “E” obtiveram uma resistência em média 24,76% menor que as amostras com a areia normal, enquanto a mostra “D” apresentou uma diferença de apenas 3,05%. Aos 28 dias, com exceção da amostras “A” que apresentou um resistência 7,73% maior com a areia lavada, todas as amostras apresentaram queda da resistência a tração na flexão com a areia lavada. A amostra “D” apresentou a menor resistência aos 07 e 28 dias, em média 31,6% menor que a resistência obtida com a amostra “C”.

4.10 RESUMO DOS RESULTADOS

A Tabela 4.1 apresenta o resumo de resultados obtidos em todos os ensaios realizados no trabalho.

Tabela 4.1 – Resumo dos resultados

Resumo dos resultados dos ensaios						
		A	B	C	D	E
Massa Unitária (kg/m ³)	*****	1418,6	1425,8	1465,6	1455,2	1455
Massa Específica (km/m ³)	*****	2590	2600	2570	2510	2560
Material Pulverulento (%)	*****	3,97	1,57	2,55	1,96	1,22
Torrões de Argila (%)	*****	1,99	0,3	1,57	1,49	0,18
Módulo de Finura	*****	2,03	1,71	2,25	3,34	2,25
Diâmetro Máximo (mm)	*****	4,8	2,4	4,8	6,3	2,4
Umidade Crítica (%)	*****	3,2	2,9	3,4	2,8	3,5
Coefficiente de Inchamento Médio	*****	1,665	1,55	1,7	1,4	1,7
Consistência (mm)	Areia normal	205	218	257	284	248
	Areia Lavada	223	222	273	297	262
Resistência à Compressão (Mpa)	7 Dias	15,61	12,34	18,96	12,86	13,66
	7 Dias lavada	13,02	10,15	13,93	11,08	12,66
	28 Dias	18,14	16,98	24,65	15,18	16,44
	28 Dias lavada	18,33	14,84	22,68	16,45	16
Resistência à Tração na Flexão (Mpa)	7 Dias	5,61	5,14	5,67	3,6	5,02
	7 Dias lavada	4,54	3,25	4,31	3,49	4,02
	28 Dias	5,69	6,41	6,85	5,02	6,51
	28 Dias lavada	6,13	5,02	6,56	4,65	5,2

5 CONCLUSÕES

Na realização dos ensaios observa-se que as amostras “B” e “D” obtiveram destaques negativos nos resultados dos ensaios. No ensaio de impurezas orgânicas húmicas a amostra “B” foi a que obteve a coloração mais escura comparada com a tabela colorimétrica, ultrapassando as 300ppm estabelecido pela NBR 7220 (ABNT, 1987). No ensaio de granulometria as amostras “B” e “D” obtiveram os piores resultados, chegando próximo de atingir os limites de zona utilizável estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Os resultados desparelho das amostras “B” e “D” refletiram na consistência das argamassas, resistência à compressão e na resistência à tração na flexão, onde aquelas amostras apresentaram a menor resistência nos dois ensaios. Observou-se também que após as amostras sofrerem lavagem em solução de hidróxido de sódio as mesmas apresentaram menor consistência e menor resistência à compressão e tração na flexão. A amostra “C” retirada de Piraquara é a mais recomendada para aplicação em concretos e argamassas, pois apresentou um baixo teor de material pulverulento e torrões de argila, apresentou uma curva granulométrica dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005) e foi a amostra que apresentou melhor resistência a compressão e tração na flexão, principal tributo requerido por engenheiros e construtores.

Com a caracterização do agregado miúdo nas amostras coletadas é possível verificar uma grande diversificação dos parâmetros de qualidade e dos índices físicos dos agregados miúdos de Curitiba e região metropolitana, indicando que os tecnólogos que trabalham com esses materiais devem dedicar mais atenção, pois, estes fatores interferem no desempenho das argamassas e concretos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se analisar:

- A influência do material pulverulento na resistência da argamassa;
- A influência do empacotamento dos grãos na resistência à compressão e tração na flexão das argamassas;
- A qualidade da areia natural comparado com a qualidade da areia artificial de Curitiba e região metropolitana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ABRAMAT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. Disponível em: <http://www.abramat.org.br>. Acesso em: 15 de agosto de 2011.

ALMEIDA, S. L. M; SILVA, V. S. **Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado de agregados**. In: II SUFFIB SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. Anais do II SIFFIB. São Paulo, 2005.

ANEPAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/wp/>. Acesso em 15 de agosto de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276/2005**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211/2005**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217/82**. Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218/87**. Determinação do Teor de Argila em Torrões nos Agregados. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7219/82**. Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos nos Agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7220/87**. Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279/05**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

BASILIO, E. Santos. **Agregados para concreto** ET 41, ABCP 1995.

BAUER, L. Falcão, **Materiais de construção 5ª edição**, Livros Técnicos e Científicos Editora. São Paulo, 1995.

CAMPOS, E. E; FERNANDES, L. E. V. Controle Ambiental Aplicado A Produção De Agregados. CETEM, 2005.

CHUCHIERATO, Gláucia. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo visando seu reaproveitamento econômico**. USP, dissertação de mestrado. São Paulo, 2000.

CIMENTO E AREIA. **Traços recomendados para argamassas**. Disponível em: <<http://www.cimentoeareia.com.br/tracos.htm>>. Acesso em: 22 de março de 2011.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUTORES DE MINERAIS. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/>. Acesso em 15 de agosto de 2011.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de granito (RCG) como adição, em propriedades mecânicas do concreto**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2002.

HELENE, P; TERZIAN, P. Manual de dosagem controle do concreto. São Paulo, PINI, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Edição. IBRACON. São Paulo, 2008.

NARCISO, Gonçalves S. da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NARCISO, G. S. da.; GUILHERME, B.; VICENTE, C. C.. A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento. in: II SUFFIB, 2005, São Paulo. **Uso da Fração Fina da Britagem**. Disponível em: <<http://pessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/arquivos/arquivo1.pdf>>. Acesso em 18 de março de 2011.

NEVILLE, Adam M. Tad. S. G. **Propriedades do Concreto**. São Paulo, PINI, 1982.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**, Rio Grande do Sul, Editora Globo, 1982.

PILZ, S. E. Apostila de Concretos e Argamassas para o Curso de Engenharia Civil – UNOCHAPECO. Disponível em <http://www.scribd.com>. Acesso em 20 de agosto de 2011.

SIQUEIRA, L. V. M. Laboratório de materiais de construção – II 1ª Parte – Agregados: Apostila de ensaios tecnológicos da UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinvile, 2008.

VALVERDE, F. Mendes. **Agregados Para Construção Civil. Balanço Mineral Brasileiro.** São Paulo. DNPM, 2001.

ANEXO A

Neste anexo podem ser visualizadas as tabelas com todos os valores que deram origem aos Figuras dispostos neste trabalho.

Na tabela 1 pode-se visualizar a massa unitária das amostras, onde a média utilizada foi retirada de cinco determinações diferentes.

Tabela 1 – Massa unitária

Massa Unitária kg/m³						
Amostras e determinações	1	2	3	4	5	Média
A	1420	1417	1423	1415	1418	1418,60
B	1422	1420	1430	1430	1427	1425,80
C	1460	1467	1469	1465	1467	1465,60
D	1453	1456	1455	1459	1453	1455,20
E	1458	1450	1456	1455	1456	1455,00

A tabela 2 apresenta a massa específica pelo método do frasco de Chapman, onde foram feitas duas determinações.

Tabela 2 – Massa específica

Massa Específica			
Amostras e Determinações	1	2	Média
A	2,61	2,57	2,59
B	2,61	2,59	2,6
C	2,59	2,55	2,57
D	2,5	2,52	2,51
E	2,57	2,56	2,56

As tabelas a seguir apresentam a análise granulométrica das amostras, com seus respectivos módulos de finura e diâmetro máximo característico.

Tabela 3 – Análise granulométrica da amostra "A"

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA "A" N B R - 7217 / 7211				
Peneiras aberturas das malhas		Agregado Areia Natural		
(Polegadas)	(mm)	Massa retida (gr)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem Acumulada.
3,0"	75	0	0,0	0,0
2,5"	64	0,0	0,0	0,0
2"	50	0,0	0,0	0,0
1 1/2	38	0,0	0,0	0,0
1 1/4	32	0,0	0,0	0,0
1"	25	0,0	0,0	0,0
3/4	19	0,0	0,0	0,0
1/2	12,5	0,0	0,0	0,0
3/8	9,5	0,0	0,0	0,0
1/4	6,3	0,0	0,0	0,0
n° 4	4,8	5,0	1,0	1,0
n° 8	2,4	24,0	4,8	5,8
n° 16	1,2	38,3	7,7	13,5
n° 30	0,6	89,7	18,0	31,4
n° 50	0,3	160,6	32,1	63,6
n° 100	0,15	123,2	24,7	88,2
Fundo	0,10	58,9	11,8	100,0
Total		499,7		
Módulo de finura			2,03	
Dimensão Máxima característica da areia			4,8	(mm)

Tabela 4 – Análise granulométrica da amostra “B”

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA "B" N B R - 7217 / 7211				
Peneiras aberturas das malhas		Agregado Areia Natural		
(Polegadas)	(mm)	Massa retida (gr)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem Acumulada.
3,0"	75	0	0,0	0,0
2,5"	64	0,0	0,0	0,0
2"	50	0,0	0,0	0,0
1 1/2	38	0,0	0,0	0,0
1 1/4	32	0,0	0,0	0,0
1"	25	0,0	0,0	0,0
3/4	19	0,0	0,0	0,0
1/2	12,5	0,0	0,0	0,0
3/8	9,5	0,0	0,0	0,0
1/4	6,3	0,0	0,0	0,0
n° 4	4,8	0,9	0,2	0,2
n° 8	2,4	7,6	1,5	1,6
n° 16	1,2	29,1	5,6	7,3
n° 30	0,6	55,3	10,7	18,0
n° 50	0,3	180,5	35,1	53,1
n° 100	0,15	194,2	37,7	90,8
Fundo	0,10	47,4	9,2	100,0
Total		514,895		
Módulo de finura			1,71	
Dimensão Máxima característica da areia			2,4	(mm)

Tabela 5 – Análise granulométrica da amostra “C”

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA "C" N B R - 7217 / 7211				
Peneiras aberturas das malhas		Agregado Areia Natural		
(Polegadas)	(mm)	Massa retida (gr)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem Acumulada.
3,0"	75	0	0,0	0,0
2,5"	64	0,0	0,0	0,0
2"	50	0,0	0,0	0,0
1 1/2	38	0,0	0,0	0,0
1 1/4	32	0,0	0,0	0,0
1"	25	0,0	0,0	0,0
3/4	19	0,0	0,0	0,0
1/2	12,5	0,0	0,0	0,0
3/8	9,5	0,0	0,0	0,0
1/4	6,3	0,0	0,0	0,0
n° 4	4,8	8,6	1,7	1,7
n° 8	2,4	43,0	8,6	10,3
n° 16	1,2	63,8	12,8	23,1
n° 30	0,6	86,4	17,3	40,4
n° 50	0,3	111,2	22,3	62,6
n° 100	0,15	121,3	24,3	86,9
Fundo	0,10	65,3	13,1	100,0
Total		499,62		
Módulo de finura			2,25	
Dimensão Máxima característica da areia			4,8	(mm)

Tabela 6 – Análise granulométrica da amostra "D"

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA "D" N B R - 7217 / 7211				
Peneiras aberturas das malhas		Agregado Areia Natural		
(Polegadas)	(mm)	Massa retida (gr)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem Acumulada.
3,0"	75	0	0,0	0,0
2,5"	64	0,0	0,0	0,0
2"	50	0,0	0,0	0,0
1 1/2"	38	0,0	0,0	0,0
1 1/4"	32	0,0	0,0	0,0
1"	25	0,0	0,0	0,0
3/4"	19	0,0	0,0	0,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0
1/4"	6,3	0,0	0,0	0,0
n° 4	4,8	36,6	7,3	7,3
n° 8	2,4	54,2	10,8	18,2
n° 16	1,2	101,7	20,3	38,5
n° 30	0,6	190,8	38,2	76,7
n° 50	0,3	90,8	18,2	94,8
n° 100	0,15	19,8	4,0	98,8
Fundo	0,10	6,1	1,2	100,0
Total		499,965		
Módulo de finura			3,34	
Dimensão Máxima característica da areia			6,3 (mm)	

Tabela 7 – Análise granulométrica da amostra “E”

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA "E" N B R - 7217 / 7211				
Peneiras aberturas das malhas		Agregado Areia Natural		
(Polegadas)	(mm)	Massa retida (gr)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem Acumulada.
3,0"	75	0	0,0	0,0
2,5"	64	0,0	0,0	0,0
2"	50	0,0	0,0	0,0
1 1/2	38	0,0	0,0	0,0
1 1/4	32	0,0	0,0	0,0
1"	25	0,0	0,0	0,0
3/4	19	0,0	0,0	0,0
1/2	12,5	0,0	0,0	0,0
3/8	9,5	0,0	0,0	0,0
1/4	6,3	0,0	0,0	0,0
n° 4	4,8	3,5	0,7	0,7
n° 8	2,4	20,7	4,1	4,8
n° 16	1,2	46,1	9,2	14,1
n° 30	0,6	120,1	24,0	38,1
n° 50	0,3	172,1	34,4	72,5
n° 100	0,15	113,8	22,8	95,3
Fundo	0,10	23,7	4,7	100,0
Total		500		
Módulo de finura			2,25	
Dimensão Máxima característica da areia			2,4	(mm)

A tabela 8 apresenta os resultados obtidos na determinação do teor de material pulverulento por lavagem, limitado em no máximo 5% para concretos protegidos do desgaste superficial segundo a NBR 7211/2005.

Tabela 8 – Porcentagem de material pulverulento.

Porcentagem de material pulverulento			
Amostras e determinações	1	2	Média
A	4,16	3,78	3,97
B	1,28	1,85	1,57
C	2,79	2,31	2,55
D	1,82	2,09	1,96
E	1,01	1,42	1,22

Na tabela 9 pode-se observar a quantidade de material destorroado por amostra, onde é calculado apenas a porcentagem de argila da amostra retirada para o ensaio, e o teor parcial de argila e materiais friáveis, onde é considerado a quantidade total de argila de toda a amostra.

Tabela 9 – Torrões de argila e materiais friáveis

Torrões de argila e materiais friáveis				
Amostras	Inicial	Final	Material Destorroado %	Teor Parcial %
A	248,92	219,05	12,00	1,99
B	217,11	212,49	2,13	0,30
C	445,75	422,12	5,30	1,57
D	258,36	236,02	8,65	1,49
E	220,48	217,71	1,26	0,18

Na tabela 10 visualiza-se a resistência á compressão que as argamassas ensaiadas apresentaram. Foram rompidos seis corpos de prova para cada idade, sendo que o ensaio foi realizado com a areia normal e a areia lavada com solução de hidróxido de sódio. Os valores demonstrados referem-se à média das seis determinações.

Tabela 10 – Resistência à compressão.

Resistência a compressão					
Dias/Amostras	A	B	C	D	E
7 Dias	15,61	12,34	18,96	12,86	13,66
7 Dias lavada	13,02	10,15	13,93	11,08	12,66
28 Dias	18,14	16,98	24,65	15,18	16,44
28 Dias lavada	18,33	14,84	22,68	16,45	16

A tabela 11 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão. Foram rompidos três corpos de prova para cada idade, sendo que o ensaio foi realizado com a areia normal e a areia lavada com solução de hidróxido de sódio. Os valores demonstrados referem-se à média das três determinações.

Tabela 11 – Resistência à tração na flexão

Ensaio de tração na flexão					
Dias/Amostras	A	B	C	D	E
7 Dias	5,61	5,14	5,67	3,6	5,02
7 Dias lavada	4,54	3,25	4,31	3,49	4,02
28 Dias	5,69	6,41	6,85	5,02	6,51
28 Dias lavada	6,13	5,02	6,56	4,65	5,2

ANEXO B

Neste anexo podem ser visualizados os ensaios de resistência à compressão e tração na flexão. Nos ensaios estão descritos detalhadamente todos o valores empregados no ensaio, como força máxima aplicada e a tensão em MPa. Podem ser visualizados também os gráficos de deformação em mm para cada corpo de prova.

