

**UNIJUI – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO
GRANDE DO SUL**

DETEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

EGC – ENGENHARIA CIVIL

Turíbio Serpa Holsbach

**AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA
ARTIFICIAL EM ARGAMASSA DE CIMENTO CAL E AREIA PARA
ASSENTAMENTO**

Ijuí, julho de 2004

TURÍBIO SERPA HOLSBACH

**AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA
ARTIFICIAL EM ARGAMASSA DE CIMENTO CAL E AREIA PARA
ASSENTAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Departamento de Tecnologia da UNIJUI –Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

PROFESSOR ORIENTADOR: Luis Eduardo Modler

Ijuí, julho de 2004

UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

A COMISSÃO EXAMINADORA, ABAIXO ASSINADA, APROVA O TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR AREIA ARTIFICIAL
EM ARGAMASSA DE CIMENTO CAL E AREIA PARA ASSENTAMENTO

ELABORADA POR

TURÍBIO SERPA HOLSBACH

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO
CIVIL

M. Eng. Luis Eduardo Azevedo Modler
Coordenador do Curso de Engenharia Civil

M. Eng. Luis Eduardo Azevedo Modler – Orientador

Dr. Eng. Luciano Pivoto Specht – Unijui, Banca Examinadora

M. Arq. Raquel Kohler – Unijui, Banca Examinadora

Ijuí, Julho de 2004

Agradecimentos

À todos

*Aos que me ajudam,
pois as tarefas são muitas e a
vossa companhia me conforta;*

*Aos que me criticam,
pois a vos tenho que me fazer
competente e mostrar-te minha eficácia;*

*Aos que me incentivam,
pois sou humano e não teria forças
se não houvesse a vossa compaixão;*

*Aos que me desprezam,
à vos para mostrar-lhes que
ao meu lado prevalece a amizade;*

*Aos que me inspiram,
pois em teu rosto vejo a perfeição;*

*Aos que me fazem ser inspiração,
só me resta postura pois em min
reflete teu futuro;*

*Aos que me odeiam,
Pois a estes esforçar-me-ei a fim de me tornar amável.*

*Aos que me amam,
pois de ti eu nasci e te fiz minha vida*

RESUMO

Com o intuito de desenvolver a área de construção civil sem a agressão ao meio ambiente entre outros, a pesquisa busca adicionar uma nova técnica de produção de alvenarias, substituindo a areia natural por areia artificial nas argamassas para assentamento de cimento, cal e areia. As vantagens, propriedades e características da areia artificial são descritas no trabalho através de várias outras pesquisas. A preocupação com a redução de custos na construção civil também pode ser entendida como a uma das justificativas da pesquisa. É mostrada uma estimativa de preço das duas areias, e ressaltando ainda, que as argamassas são de grande importância em uma obra, que estas podem exercer grande influência nos orçamentos. Baseada em ensaios de laboratório, a pesquisa mostra os resultados de compressão de CP's de argamassas nas idades de 7, 14, 28 e 90 dias e, ainda, CP's de tração na compressão diametral, juntamente com resultados a compressão de primas de 3 blocos e tripletas ao cisalhamento. A granulometria da areia artificial comprova, como esperado, que a areia artificial é mais fina, por isso, necessita de maior quantidade de água para a consistência de trabalho, o que revela a sua importância. E revela, como questionado, que a areia artificial pode ser empregada em alvenarias, tipo vedação, ou em ambientes de carga proporcional as suas tensões admissíveis.

Palavras-chave:

Argamassas - Construção civil – Meio Ambiente - Areia Natural – Areia Artificial -

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACÕES	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
INTRODUÇÃO	12
1.1. Delimitação do tema.....	12
1.2. Formulação da questão do estudo.....	12
1.3. Definição dos objetivos do estudo.....	13
1.3.1. Objetivo geral	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Justificativa.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1. Classificação das argamassas	18
2.1.1. Classificação segundo a utilização	18
2.1.2. Classificação segundo os aglomerantes empregados	19
2.1.3. Classificação segundo a dosagem.....	20
2.2. Componentes de uma argamassa	21
2.2.1. Cimento	22
2.2.2. Cal	26
2.2.3. Areia	28
2.3. Propriedades das argamassas.....	35
2.3.1. Introdução.....	35
2.3.2. Trabalhabilidade	40
2.3.3. Resistência mecânica.....	42
2.3.4. Capacidade de aderência	44

3.	METODOLOGIA.....	46
3.1.	Materiais utilizados	46
3.2.	Definição das misturas.....	47
3.3.	Definição dos métodos	48
3.3.1.	Moldagens	48
3.3.2.	Ensaios.....	52
4.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	57
4.1.	Argamassas no estado endurecido.....	57
4.1.1.	Rompimento à Compressão.....	57
4.1.2.	Rompimentos a tração	62
4.1.3.	Rompimento dos Prismas a Compressão	66
5.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	72
	BIBLIOGRAFIA	75
	APÊNDICES	79
	APÊNDICE 1 - ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS (Areia Artificial)	80
	APÊNDICE 2 - ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS (Areia Natural)	81
	APÊNDICE 3 - ENSAIOS FÍSICOS DE CIMENTO.....	82
	APÊNDICE 4 - ENSAIOS FÍSICOS DE CAL.....	83
	APÊNDICE 5 - ENSAIO: COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICO DE ARGAMASSA	84
	APÊNDICE 6 - LAUDO TÉCNICO DE CIMENTO	86

LISTA DE ABREVIACOES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A/C – Fator gua cimento

BS – Britis Standards Institution

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CH – Cal Hidratada

CP's – Corpos de Prova

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Areia Natural estocada.....	46
Figura 2 - Areia Artificial estocada	46
Figura 3 - Materiais para as Pré-Misturas	50
Figura 4 - Colocação da Cal na betoneira.....	51
Figura 5 - Colocação da Areia Artificial na betoneira.....	51
Figura 6 – Mesa de Consistência.....	53
Figura 7 – Medida da Consistência	53
Figura 8 –Mesas de consistência	53
Figura 9 – CP de argamassa na Prensa	54
Figura 10 - CP de argamassa Rompido à Compressão.....	54
Figura 11 – CP de Argamassa à Tração	54
Figura 12 – CP de Argamassa Rompido por Compressão Diametral	54
Figura 13 - Argamassa Rompidas à Tração.....	55
Figura 14 – Tripleta Rompida ao Cisalhamento.....	56
Figura 15 – Tripleta ao Cisalhamento	56
Figura 16 - Tripletas Rompidas ao Cisalhamento	56
Figura 17 – Resultado dos Ensaio das Resistências à Compressão para as argamassas.....	60

Figura 18 - Resultado dos Ensaio das Resistências à Tração para as argamassas	64
Figura 19 - Resistência à Compressão dos Prismas	68
Figura 20 - Resistências ao Cisalhamento	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagens de areias em cada mistura.....	48
Tabela 2 - Densidade dos materiais.....	49
Tabela 3 – Pesos dos materiais nas misturas.....	49
Tabela 4 - Água e consistência das misturas de cal e areia.....	51
Tabela 5 – Água e abatimento das argamassas.....	52
Tabela 6 – Resistência à compressão aos 7 dias para as argamassas.....	57
Tabela 7 - Resistências à Compressão aos 14 dias para as argamassas.....	58
Tabela 8 - Resistência à Compressão aos 28 dias para as argamassas.....	59
Tabela 9 - Argamassas à Compressão aos 90 dias para as argamassas.....	60
Tabela 10 – Resistência à tração aos 7 dias para argamassas.....	62
Tabela 11 - Resistências à Tração aos 14 dias para as argamassas.....	63
Tabela 12 – Resistências à Tração aos 28 dias para as argamassas.....	64
Tabela 13 - Prismas à Compressão aos 7 dias.....	66
Tabela 14 - Prismas à Compressão aos 14 dias.....	67
Tabela 15 - Prismas à Compressão aos 28 dias.....	67

INTRODUÇÃO

1.1. Delimitação do tema

Inúmeras são as tentativas para conciliar o meio ambiente, onde estão as jazidas de matérias primas, com os processos construtivos sem agredir a natureza. O presente trabalho pesquisa a areia artificial como agregado miúdo para a produção de argamassa de assentamento compostas de cal, cimento e areia.

Substitui-se, então, a areia de uso tradicional, que é a areia natural extraída de lagos e leitos de rios, pela areia artificial, resultante de britagem de pedras.

1.2. Formulação da questão do estudo

A substituição de areia natural por areia artificial em argamassas de assentamento é tecnicamente viável?

Ainda, é possível aliar os conceitos de sustentabilidade ambiental e as boas técnicas de construção civil substituindo a areia natural por areia artificial, para a produção de alvenarias nas argamassas de assentamento?

1.3. Definição dos objetivos do estudo

1.3.1. Objetivo geral

Comparar através de ensaios de laboratório a substituição da areia natural por areia artificial, na composição de argamassa de cimento cal e areia, destinada ao assentamento de alvenaria, analisar a viabilidade técnica, ambiental e econômica, da implantação desta areia para a produção de argamassas de assentamento.

1.3.2. Objetivos específicos

Como objetivo específico elegeu-se:

Caracterizar os materiais usados na pesquisa quanto a:

- Granulometria e densidade aparente e absoluta;
- Verificar a água de consistência para cada mistura;
- Verificar a resistência a compressão de CP's de argamassa aos 7, 14, 28 e 90 dias;
- Verificar a resistência à compressão de prismas de 3 tijolos, com juntas de argamassas de 1 cm, nas idades de 7, 14 e 28 dias;
- Verificar a resistência à tração na compressão diametral de CP's, de argamassas nas idades de 7, 14 e 28 dias;
- Verificar a resistência ao cisalhamento de tripletas, nas idades de 7, 14 e 28 dias;
- Análise e comparação dos dados.

1.4. Justificativa

Três grandes aspectos justificam o objetivo desta pesquisa: a conservação do meio-ambiente, o qual atualmente sofre grandes danos pela extração da areia natural; a viabilidade técnica, afim revelar quais os resultados, quais as resistências são características das argamassas de areia artificial, e a viabilidade econômica, que atualmente pela produção de areia artificial não agrega grandes custos em sua produção, podendo assim ter preço mais baixo que areia natural, no mercado da construção civil.

O estudo em questão parte da preocupação com o meio ambiente, ou seja, o impacto ambiental gerado pela extração da areia natural, sabe-se que esta atividade pode ao longo do tempo provocar o assoreamento dos rios e lagos, jazidas naturais de areia. Afetando diretamente o ecossistema, e até mesmo a biodiversidade das espécies.

Segundo Kuck, (2004), da revista Ciência hoje, a extração de areia no Brasil chega a 320 milhões de metros cúbicos anualmente, o equivalente a 7.100 estádios iguais ao Maracanã. Isto causa um grave problema ambiental e em consequência a elevação do preço da areia no mercado da construção civil. O negócio da extração é altamente lucrativo, movimentando cerca de R\$2 bilhões (CIÊNCIA HOJE, junho de 2004).

A introdução da areia artificial no mercado da construção civil tende a diminuir os danos causados pela extração da areia natural dos lagos e leitos de rios, além ainda, de a areia artificial ter um custo menor em relação a areia natural, pois o seu processo de produção é proveniente de britagem de rochas, o qual não agrega nenhum custo adicional a esta produção.

A argamassa é um material importante para a definição do desempenho final de uma parede. Além das funções de enchimento e de ligação das unidades ajuda no isolamento de ar e água através da alvenaria. Como tal, não deve ser relegada a plano secundário, sem nenhum controle de qualidade dos materiais que a constituem e do processo de dosagem, amassamento e uso. Dessa forma, devem ser tomados maiores cuidados com os componentes

em obra, de maneira a se obter uma alvenaria mais resistente e cumprindo as suas funções na plenitude.

Outro aspecto importante, que justifica a pesquisa é a caracterização da areia artificial, material de produção local, a mesma pode estar sendo aplicada sem especificações ou conhecimentos técnicos.

Ainda, dentro da técnica de argamassas, adicionar aos estudos já desenvolvidos os resultados obtidos nesta pesquisa a fim de esclarecer as possibilidades e restrições das argamassas de areia artificial, e da própria areia usada.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Roman, (1991), em uma pesquisa desenvolvida em São Paulo, a variabilidade de traços de argamassa utilizados na construção civil é muito grande. Na maioria das vezes o engenheiro construtor não tem controle das quantias exatas dos diferentes materiais, cimento, areia, cal e água, que compõem as argamassas. A mistura é feita empiricamente, sem preocupação com a proporção adequada.

Na construção civil tem-se o conceito de argamassa como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria – agregado miúdo – e de uma pasta com propriedades aglomerantes. Esta pasta é composta de aglomerantes minerais e água. Eventualmente, fazem parte de sua composição produtos especiais, denominados aditivos.

Argamassa é uma mistura íntima e homogênea de aglomerante de origem mineral, agregado miúdo, água e eventualmente, aditivos, em proporções adequadas a uma determinada finalidade, com capacidade de endurecimento e aderência. Argamassa de cal é onde o aglomerante é uma cal. Argamassa de cimento é aquela na qual o aglomerante é um cimento, com aplicações em que a resistência mecânica é mais exigida. Argamassa mista é a argamassa na qual o aglomerante é o cimento e a cal, em proporções adequadas à finalidade a que se destina, como explica Walid Yazigi, (2000).

As argamassas distinguem-se por apresentarem características plásticas e adesivas quando de sua aplicação e por tornarem-se rígidas e resistentes após um certo período de tempo. Estes fatos determinam seus principais empregos na construção civil, assim, as argamassas se prestam para a moldagem de elementos, para a aderência de outros elementos, para a proteção física e mecânica de componentes.

Segundo Cavalheiro, (1995), as normas de alvenaria estrutural de países como Inglaterra, Estados Unidos, Alemanha, entre outros, recomendam grupos de argamassa, com proporções dos materiais ajustados dentro de estreitas taxas, devendo os mesmos respeitar características pré-fixadas, a argamassa a ser escolhida em função não só dos resultados obtidos no procedimento de cálculo, mas também das particularidades da parede da obra.

O autor ainda ressalta que, no estágio atual da normalização brasileira, parece-nos apropriado o caminho da adequação de traços, com base nas recomendações de normas consagradas.

Roman, (1991), ainda lembra que, ao longo do tempo, as argamassas têm sido consideradas erroneamente como se fossem concretos. Mesmo que na essência ambos sejam compostos dos elementos aglomerantes e agregados, suas funções e empregos são radicalmente distintos. Assim, nem sempre o necessário para elaborar um bom concreto é o mesmo requerido para obter uma boa argamassa. Ao contrário do concreto, a argamassa é colocada sobre superfícies absorventes e a maior parte de sua superfície está exposta aos efeitos da evaporação. A sucção das unidades de alvenaria é necessária para promover o contato com o cimento. Entretanto, se esta absorção passa de certos limites, a umidade pode absorver água indispensável à hidratação do cimento. Outra diferença entre o concreto e a argamassa é que esta não deve ser curada. Todos estes aspectos indicam que a resistência à compressão, que é vital para o concreto, é secundária para a argamassa.

Segundo Bauer, (1995), o endurecimento das argamassas e dos concretos decorre do endurecimento da pasta, visto que, a pasta endurecida adere também aos materiais com quais tenha sido posta em contato, permitindo assim a execução das alvenarias, revestimentos, concreto armado, estabilização de solos, etc.

O autor ainda diz que são muitos os materiais que tem propriedades aglomerantes, porém para uso na construção civil é essencial que matérias primas para a obtenção sejam abundantes na natureza e se encontrem em condições de aproveitamento econômico. E lembra que, aglomerantes são produtos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar materiais entre si. Constitui-se o elemento ativo que entra na composição das pastas, argamassas e concretos. São geralmente materiais pulverulentos que misturados intimamente com água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem, ou então, o que é mais geral, em virtude de reações químicas.

Por outro lado, Bauer, (1995) ressalta que os aglomerantes quimicamente ativos, como as cales, gessos e cimentos, cujo endurecimento nas condições ambientes de temperatura e pressão é decorrente de uma reação química, apresentam maior interesse e tem grande campo de aplicação, pois são capazes de atingirem altas resistências físico-mecânicas e manterem estáveis nessa condição por longo tempo.

O autor lembra que, os aglomerantes hidráulicos resistem satisfatoriamente quando empregados dentro da água, e, além disso, o seu endurecimento processa-se sob influência exclusiva da água. (o endurecimento pode se efetivar independente do ar).

2.1. Classificação das argamassas

As argamassas são classificadas de inúmeras maneiras. pela utilização, aglomerantes empregados, a proporção entre os elementos constituintes e segundo critérios que ressaltam alguma propriedade intrínseca.

2.1.1. Classificação segundo a utilização

Segundo a utilização, as argamassas podem ser classificadas em:

- a) Argamassas para assentamento de elementos de alvenaria (tijolos, blocos, pedras). São subdivididas em argamassas para alvenaria comum e para alvenaria estrutural;
- b) Argamassas para revestimentos (chapisco, emboço, reboco, massa fina, massa grossa, massa única, massa pronta, estuque, escaiola, etc). São subdivididas em comuns (as que são proporcionadas em obra) e especiais (as adquiridas já dosadas).

c) Argamassas para assentamento de pisos, azulejos, mármore (e também outros elementos cerâmicos ou pétreos). Como as anteriores são também subdivididas em comuns e especiais (também chamadas argamassas adesivas).

d) Outras argamassas:

Argamassas refratárias:

Argamassas isolantes (termo acústicas);

Argamassas para impermeabilização;

Argamassas para injeção:

Argamassas para grauteamento (chumbamento de peças);

Argamassas para jateamento;

Argamassas anticorrosivas;

Argamassas antiabrasivas;

Argamassas de altíssima resistência mecânica;

Argamassas para restauração estrutural, etc.

2.1.2. Classificação segundo os aglomerantes empregados

Segundo os aglomerantes empregados, as argamassas podem ser classificadas em:

a) Argamassas de cal. São subdivididas em argamassas de cal hidratada (cal comercializada em pos, hidratada por processos industriais) e em

argamassas de cal “virgem” (cal comercializada em pedras ou em pó e hidratada – extinta – em obra).

- b) Argamassa de cimento;
- c) Argamassa de gesso;
- d) Argamassa de cal e cimento também chamados de mistas ou compostas.

Costuma-se também classificar as argamassas segundo o número de aglomerantes utilizados:

- a) Argamassas simples; possuem apenas um aglomerante;
- b) Argamassas compostas; possuem 2 ou mais aglomerantes.

2.1.3. Classificação segundo a dosagem

Segundo a dosagem, as argamassas podem ser classificadas em:

- a) Magras ou pobres. O volume da pasta não preenche totalmente os vazios entre os grãos do agregado.
- b) Cheias, normais ou básicas. O volume de pasta preenche exatamente os vazios entre os grãos do agregado.
- c) Gordas ou ricas. Quando há excesso de pasta.

Esta classificação nem sempre se aplica às argamassa de baixa consistência, onde o volume de pasta em geral, resulta igual ou maior ao volume de vazios do agregado. Apenas as argamassas de traços, excessivamente, fracas resultam “magras”, quando as argamassas são de baixa consistência.

2.2. Componentes de uma argamassa

Denomina-se traço a proporção relativa entre os constituintes da argamassa (com exceção da água). O traço pode ser dado em volume ou em massa, os mesmos variam de acordo com a utilização que vai ser dada à argamassa. No canteiro de obras, apesar de ser menos preciso, é mais comum o traço em volume, normalmente, os agregados são proporcionados em volume com latas, carrinhos ou padiolas de dimensões conhecidas.

Roman, (1991), destaca que a água é fundamental para se obter uma argamassa de boa trabalhabilidade. Deve ser dosada de maneira a garantir boa produtividade no assentamento sem causar a segregação dos constituintes. Adicionalmente, deve restituir-se a água que se evapora durante o processo de assentamento de modo a manter constante fluidez. Este processo, conhecido como remistura, que é totalmente desaconselhável no caso de concreto, não deve continuar uma vez iniciada a pega do cimento.

O autor diz que o simples conhecimento das funções e propriedades da argamassa deve ser suficiente para a conscientização dos riscos da adoção de “traços consagrados”, que passam de um para outro e são empregados, de forma indiscriminada, em alvenarias de características as mais diversas.

Roman, (1991), ainda diz que, “nos parece preciosismo”, para obras correntes, a definição do traço da argamassa através de “dosagem experimental”, à semelhança do que é feito no concreto.

E Cavalheiro, (1995), diz que na argamassa de assentamento ocorre relativa despreocupação com o fator A/C, uma vez que a resistência à compressão não é a característica principal exigível, e a água deve ser a necessária para conferir boa trabalhabilidade e, portanto, pode ser determinada pelo próprio pedreiro. Nestas condições o aditivo químico plastificante, “cultura do concreto”, pode ser perfeitamente substituído pela cal, plastificante natural.

Representa-se o traço por uma relação numérica, por exemplo, 1:3 (diz-se um para três). Ao primeiro número corresponde o aglomerante é geralmente 1. A argamassa de traço genérico 1:m corresponde a argamassa simples dosada com uma parte de aglomerante

em m partes de agregado (em massa ou volume, conforme especificado). Para as argamassas com mais de um aglomerante convencionou-se que a ordem é do aglomerante mais caro para o mais barato. Assim, uma argamassa composta de cimento e cal de traço 1:2:9 em volume corresponde a argamassa dosada com um volume unitário de cimento, 2 volumes unitários de cal e 9 de areia.

É comum utilizar-se também para as argamassas compostas de cimento e cal uma relação numérica diversa. Como normalmente as argamassas de cal são misturados e estocados para um posterior empregos, e somente no momento do uso é que o cimento é adicionado, costuma-se representar a proporção de cimento em relação ao volume da argamassa pronta. A transformação do traço em massa no seu equivalente em volume ou vice-versa é simples, bastando conhecer-se as massas unitárias dos materiais básicos.

Também é importante notar que o traço variará com as condições de umidade da areia, pois o volume da areia úmida, devido ao fenômeno do inchamento é maior que o da areia seca. Deve-se, portanto indicar se o traço deve ser dosado coma areia seca ou com a areia úmida (e o teor desta umidade). Nas especificações que se referem à areia úmida adotam a umidade média como parâmetro (a que corresponde ao coeficiente médio de inchamento).

A diferença é sensível; assim, se para uma dada dosagem emprega-se uma areia úmida com, por exemplo, coeficiente de inchamento 1,25 a argamassa resultante terá 20% a menos do que a mesma argamassa dosada com areia seca. Isto causa, além de um maior consumo de aglomerante, uma alteração total nas características físico-mecânicas inicialmente previstas.

2.2.1. Cimento

Conforme Bauer, (1995), diz que o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de *clinker* constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego.

O autor ainda destaca que o *clinker* é um produto de natureza granulosa, resultante de calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente.

Guimarães, (2002), diz que o cimento Portland, assim como a cal, é um produto de origem mineral. O produto se origina da calcinação de misturas bem proporcionadas de calcário com alto teor cálcio e baixo em magnésio, e argilas (com ou sem adições de minérios portadores de óxido de ferro). A mistura calcina – “clínquer”, é moída com uma pequena porcentagem de gipsita (sulfato de cálcio hidratado natural), que modifica suas propriedades, resultando no produto final.

E o autor destaca que a origem do cimento Portland está ligada à procura, no século passado, de um tipo de cal com “pega” rápida. É um ligante hidráulico cuja composição é constituída pelo silicato tricálcico (C_3S), silicato bicálcico (C_2S) aluminato tricálcico (C_3A) e ferro-aluminato tetracálcico (C_4AF). Suas propriedades físicas – estabilidade, calor de hidratação, reação álcali-agregado e resistência aos agentes agressivos, são fixadas por normas ou por critérios técnicos de consenso.

Tem-se que o (C_3S) é o elemento do cimento com a maior responsabilidade pela resistência em todas as idades. O (C_2S) importante no processo de endurecimento em idades mais avançadas é o (C_3A) especial para resistência nos primeiros dias.

Bauer, (1995), revela que os constituintes do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO_2), e a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto. Tem ainda, como constituintes menores, impurezas, óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), óxido de titânio (Ti_2O) e outras substâncias de menor importância. Os óxidos de potássio e sódio constituem os denominados álcalis do cimento.

E o autor ainda diz que a cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente, 95 a 96% do total na análise de óxidos. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está usualmente presente na proporção de 2 a 3%, limitadas, pelas especificações,

a um máximo permissível de 5%. No Brasil, esse limite é um pouco superior (6,4%). Os óxidos menores compõem em proporção inferior a 1%, excepcionalmente 2%.

Segundo Bauer, 1995, tem que a mistura de matérias-primas que contenha, em proporções convenientes, os constituintes anteriormente relacionados, finamente pulverizados e homogêneos, é submetida à ação do calor no forno produtor de cimento, até a temperatura de fusão incipiente, que resulta na obtenção do *clinker*. Nesse processo ocorrem combinações químicas, principalmente no estado sólido, que conduzem à formação dos seguintes compostos:

Silicato tricalcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO} = \text{C}_3\text{S}$);

Silicato Bicalcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$);

Aluminato tricalcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$);

Ferro aluminato tetracalcico ($4\text{CaO} \cdot \text{AlO}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AFe}$)

Bauer, 1995, tem que a análise química dos cimentos Portland resulta na determinação das proporções dos óxidos inicialmente mencionados. As propriedades do cimento são, entretanto, relacionadas diretamente com as proporções dos silicatos e aluminatos. As proporções destes últimos podem ser determinadas a partir do resultado da análise em óxidos. Denominasse essa operação a determinação da composição potencial do cimento.

Também em Bauer, 1995, o CP IV – 32 (**NBR 5736 – EB 758**) cimento Portland pozolânico, com teores dos componentes de 85 a 45% de clinker mais sulfatos de cálcio, material pozolânico de 15 a 50% e de material carbonático de 0 a 5%. Com, no mínimo de 85% de CaCO_3 .

O cimento Portland tem ação aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, resultando no neo-formados hidratados. Segundo Le Chatelier, a reação fundamental que se apresenta para a “pega” é a transformação do silicato básico de cálcio em silicato hidratado e hidróxido de cálcio. O processo prossegue com uma série de outras reações de dissolução, precipitações dos componentes do cimento, segundo Oliveira, Helio M. (materiais de construção – Vol 1) apud (GUIMARÃES, 2002).

Também em Guimarães, (2002), o cimento Portland é um pó cinza esverdeado, vendido ensacado e com a qualidade garantida por um selo da marca de conformidade da ABCP.

O autor ainda diz que, o consumidor deve ter o cuidado de não comprar produto há muito tempo estocado, pois a umidade do ar age sobre ele, “empedrando-o” e, assim, tirando-lhe o poder cimentante. Produto em sacaria deteriorada também deve ser rejeitado.

Segundo Bauer, (1995), as propriedades físicas do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos: propriedades do produto em sua condição natural, em pó, da mistura de cimento e água e proporções convenientes de pasta e, finalmente, da mistura da pasta com agregado padronizado – as argamassas.

Também em Bauer, (1995), as propriedades da pasta e argamassa são relacionadas com o comportamento desse produto quando utilizado, ou seja, as suas propriedades potenciais para a elaboração de concretos e argamassas. Tais propriedades se enquadram em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizados, oferecendo sua utilidade quer para o controle de aceitação do produto, quer para a avaliação de suas qualidades para os fins de utilização dos mesmos: **Densidade, Finura, Tempo de Pega, Pasta de Cimento, Resistência, Exsudação** [grifo do autor].

As propriedades químicas do cimento Portland estão diretamente ligadas ao processo de endurecimento por hidratação. Ainda não se conhecem com muita precisão as reações e os compostos envolvidos no processo de endurecimento, restando muitas questões a serem esclarecidas. O processo é complexo, admitindo-se, atualmente, que se desenrole em desenvolvimentos que compreendem na dissolução, precipitações de cristais e gel com hidrólises e hidratações dos componentes do cimento: **Estabilidade, Calor de hidratação, Resistência aos agentes agressivos, Reação Álcali agregado** [grifo do autor] segundo (FALCÃO BAUER, 1995).

Segundo o parecer de Bauer, (1995), o cimento pode ser classificado como aglomerante ativo hidráulico que endurece em contato com a água. Definido como elemento ativo com qualidade essencial de resistência mecânica e durabilidade. Quanto a pega pode ser

de pega rápida (até 8 minutos), pega semi-rápida de (8 a 30 minutos) de pega lenta de (30 minutos a 6 horas) e de pega muito lenta (acima de 6 horas).

Roman, (1991), destaca ainda que, o cimento proporciona resistências as argamassas e melhora a aderência, a trabalhabilidade e a retentividade. No entanto, o excesso de cimento (quando maior que 1/3 do volume total) aumenta exageradamente a contração da argamassa prejudicando a durabilidade da aderência. Os cimentos com maior superfície específica tem potencial para tornar as argamassas mais trabalháveis e com maior retenção de água. Os cimentos de endurecimento mais lento podem produzir argamassa mais resilientes (com maior capacidade de absorver deformações).

2.2.2. Cal

Em Basical, (2004), tem-se que a cal é um produto obtido pela queima de rochas calcárias, que podem ser: calcíticas (alto teor de carbonato de sódio), dolomíticas (carbonato de cálcio e de magnésio) e magnesianas (carbonato de cálcio e de magnésio, sendo que este último em menor teor do que nas dolomíticas). As cales magnesianas são mais voltados para o uso em construção civil e as calcíticas para o uso industrial, mas também podem ser utilizadas na construção civil. O armazenamento da cal segue as mesmas regras do armazenamento do cimento.

Roman, (1991), diz que, a cal usada é a cal hidratada com uma percentagem de componentes ativos (Cão e MgO) superior a 88%. Podem também ser utilizadas cales extintas em obra capazes de produzirem argamassas de melhor qualidade final. A cal confere a argamassa plasticidade, coesão, retentividade e extensão de aderência.

Guimarães, (2002), ressalta que, a cal hidratada resulta do prosseguimento do processo industrial que da origem à cal virgem. A reação química que a produz, com presença da água, é uma clássica “reação de fases sólido-líquida”. Dependendo do volume de água utilizada para a reação, o produto final pode ser seco ou com aspectos de creme, lama, leite ou soluções saturadas.

O autor ainda diz que, a cal hidratada é adjetivada e sua composição química varia de acordo com as características da cal virgem que lhe dá origem.

Em Pezente, (2004), a **cal hidratada** é um produto em forma de pó seco, comercializada em embalagens (sacos) de 20kg, sendo classificada de acordo com sua composição química em **CH-I**, **CH-II** e **CH-III**.

CH-I Quando constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 5%.

CH-II Quando constituída essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio, e óxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 5%, sem limites para os teores de óxidos não hidratados.

CH-III Quando constituída essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 13%.

Ainda em Pezente, (2004), as argamassas mistas (cimento-cal-areia) apresentam resistência mecânica e ação impermeabilizante superior às argamassas onde a aglomerante cal é substituída por barro; a cal confere ótimo poder de sustentação da areia. Isto significa ausência de segregação e facilidade de manuseio e aplicação de argamassas contendo cal hidratada; revestimentos feitos com o uso da cal são mais estáveis e duráveis, além disso, a cor clara contribui para um melhor isolamento térmico; ganho de resistência e compacidade (redução do volume de vazios) com o tempo; A cal tem poder bactericida.

O autor, Pezente, (2004), destaca também que, para se obter uma argamassa mista (cimento, cal e areia) resistente e durável, seja para o revestimento de paredes ou assentamento de componentes (tijolos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular autoclavado, etc), é necessário o uso de materiais adequados dentro de uma dosagem racional. Cuidados no preparo da superfície e atendimento às boas normas de engenharia devem ser observados.

Em Basical, (2004) destaca-se que, a cal diminui o custo da argamassa porque se gasta menos com cimento, aumenta a "pega" ou "liga" da argamassa, facilitando o

espalhamento, melhora a interligação dos grãos de areia, o que aumenta a resistência e durabilidade da argamassa. Quando a cal entra em contato com a sílica da areia, forma uma liga de alta dureza que em contato com o ar atmosférico endurece proporcionando a resistência suficiente para um bom desempenho da argamassa.

A cal aumenta a aderência da argamassa no estado fresco e a resistência de aderência no estado endurecido; tem maior retenção de água, o que ajuda na cura do cimento; dá maior elasticidade à argamassa, o que gera maior capacidade de suportar tensões e não trincar; dá à argamassa a capacidade de se reconstituir das pequenas fissuras, que aparecem principalmente pelas variações de temperatura; mantém a qualidade constante da argamassa, o que melhora a homogeneidade da mesma e ajuda na economia, pois se diminui a necessidade de aglomerantes; tem maior resistência à penetração de água pelos vazios da argamassa, um grande inimigo da construção; tem maior afinidade com a argamassa e o tijolo, por causa das minúsculas partículas micro-pulverizadas que penetram totalmente nas reentrâncias dos tijolos.

A argamassa que contém cal tem baixa resistência inicial, mas aumenta lentamente com o tempo, o que é uma vantagem, pois suportam melhor as movimentações da alvenaria e da estrutura da obra, possui poder bactericida por ter um PH alto, o que combate a formação de mofos e bolores. Na pintura, a cal oferece proteção e beleza a baixo custo, com a vantagem de combater a proliferação de fungos e bactérias, a qualidade da argamassa com cal permite trabalhos de adorno nas paredes, com textura mais lisa e sem trincas, mofos e apodrecimentos, de cor mais clara e pintura duradoura; os trabalhos feitos com argamassa contendo cal têm elevada durabilidade.

2.2.3. Areia

Segundo a **NBR 7211 – EB 4**, a areia é classificada como agregado miúdo, material cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidas na peneira ABNT 0,075mm

Também pode-se defini-la como, material granular, sem forma e volume definido geralmente inerte, com dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil.

Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão etc.

Segundo Bauer, (1995), uma areia é de qualidade inferior (ou superior) a outra, quando corpos-de-prova de concreto com ela confeccionados tem resistência a compressão inferior (ou superior) aos confeccionados com a outra. Para comparar duas areias, tem elas de ter a mesma distribuição granulométrica (curvas granulométricas iguais). Preparam-se, então, duas series de corpos-de-prova idênticos, uma com cada areia: mesmos traços, mesmas trabalhabilidade e mesmo cimento. Se houver diferença significativa (teste estatístico de significância) entre as medias das duas séries de corpos-de-prova, diz-se que a areia com que foram confeccionados os corpos-de-prova que apresentaram media mais baixa, tem qualidade inferior à outra.

Os agregados desempenham papel importante nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer no ponto de vista técnico, exercendo influência benéfica em algumas propriedades importantes, como a retração e a resistência ao desgaste por abrasão. Não prejudicam a resistência aos esforços mecânicos, pois as agregadas de boa qualidade têm resistência mecânicas superior à da pasta de aglomerantes.

Segundo Bianchi, (2004), as características da argamassa serão alteradas com a utilização de pó de pedra (ou areia artificial) em função da granulometria (em geral, mais fina) e da forma dos grãos, predominantemente lamelares, ao contrário das areias naturais cujos grãos tendem a ser arredondados. Assim sendo, para uma determinada plasticidade (argamassa no estado fresco), as areias artificiais exigirão, como regra, maior consumo de água, o que deverá repercutir, em ambos os casos, em maior retração e maior possibilidade do aparecimento de fissuras (TECHNE, Outubro 2003).

Em Amendolaeng, (2004), ressalta-se que, dentro de dez anos, 50% da areia consumida pela construção civil no país poderá ser produzida artificialmente. O Centro de Tecnologia Mineral do Ministério da Ciência e Tecnologia inaugurou, em Juiz de Fora (MG), uma unidade piloto para a produção de areia a partir de pó de pedra, chamado de fino de brita e considerado como sobra nas pedreiras. O objetivo é resolver dois problemas ambientais: a extração de areia e a poluição causada pelo fino de brita.

Segundo Kuck, (2004), a preocupação com a preservação do meio ambiente tem impulsionado uma série de projetos alternativos. Um, dentro da Engenharia Civil, é a produção de areia artificial. O crescimento de extração ilegal de areia em leitos e vales de rios ou em baixadas próximas aos centros urbanos e seu alto preço de mercado levaram o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), em parceria com a COPPE/UFRJ, a desenvolver uma unidade de produção dos grânulos artificiais. A tecnologia desenvolvida utiliza o fino da brita (pó de pedra), que contém as características adequadas à construção civil e serve de alternativa também ao consumo da areia natural em larga escala.

O autor, Kuck, (2004), diz que, a tecnologia utiliza o fino de brita (pó de pedra) como matéria-prima da areia artificial, pois contém as características adequadas à construção civil e apresenta-se como alternativa adequada ao consumo de areia natural em larga escala. A produção da areia artificial se dá por intermédio de uma britadeira especial que faz a "rebritagem" do fino da brita, deixando-o nas mesmas condições da areia natural, a legislação ambiental mais rigorosa contra a extração de areia de rios e das suas margens (cavas) favorece a produção de areia artificial. O consultor da Convem Mineração.

Também em Kuck, (2004), destaca-se que a unidade piloto do projeto, acima citado, foi instalada em Matias Barbosa, Minas Gerais, onde foi constatado que cerca de 20% do material processado naturalmente nas pedreiras são considerados rejeitos pelos empresários do setor. Esse rejeito (o fino da brita) é estocado em pilhas nas áreas das pedreiras e também provoca danos ambientais: altera a paisagem, obstrui canais de drenagem, e durante a chuva, o material é drenado para os rios provocando o assoreamento. A um custo de R\$ 80 mil, foram produzidas cinco toneladas por hora de areia artificial, testadas em laboratório com resultados muito bons. A qualidade foi aprovada para utilização em argamassas e concreto. Os geólogos consideraram que a areia artificial tem as mesmas características da areia natural.

A unidade piloto está agora funcionando na pedreira Vigne, em Nova Iguaçu, no Estado do Rio de Janeiro. Os técnicos estão testando as rochas da região. Como resultado prático da tecnologia desenvolvida pelo CETEM e a COPPE, a pedreira Convem Mineração, em Magé, já está utilizando o projeto em escala industrial. A empresa produz 120 toneladas por hora de areia artificial; negocia parte de sua produção com uma grande empresa de argamassa do Rio de Janeiro e abastece empresas de pequeno porte.

Estimativas de técnicos ligados ao projeto avaliam que em 10 anos, 50% da areia consumida na construção civil serão artificiais. Técnicos do projeto esclarecem que em outros países, como Suécia, a legislação estabelece essa paridade. A areia artificial leva uma vantagem em relação a natural por ser mais uniforme, facilitando sua associação à argamassa e ao concreto. A areia natural, por causa das diferenças geológicas, sofre variação.

O Brasil é um importante produtor de recursos minerais, tanto para uso doméstico como para exportação. Ele é o maior produtor mundial de nióbio (92 % da produção mundial), importante produtor de tantalita (22 %), minério de ferro (20%), manganês e grafite (19 %), alumínio e amianto (11 %), magnesita (9 %), caulim (8 %), rochas ornamentais, talco e vermiculita (5 %). Isto implica em participações expressivas no mercado internacional, o que garante uma posição estratégica privilegiada e importante para o poder de barganha dos outros setores industriais, (CHAVES, 2002).

Segundo Chaves, (2002), tudo isto advém de um potencial geológico privilegiado: dispomos de 90 % das reservas mundiais conhecidas de nióbio (1º lugar no ranking mundial), de 45% das de tantalita (1º lugar), de 28% das de caulim (2º lugar), de 21% das de grafita (2º lugar), 8% das de bauxita (3º lugar), 8% das de vermiculita (3º lugar), 7% das de ferro (4º lugar), 7% das de estanho (4º lugar) e 5% das de magnesita (4º lugar). Tudo isto num país de dimensões continentais e praticamente desconhecidos em pelo menos um terço. A produção mineral brasileira é de US\$ 9,3 bilhões (dados de 2000, excluídos petróleo e gás natural). Este valor pode parecer pequeno, mas na realidade ele monta a US\$ 50,5 bilhões quando se contabiliza a transformação destas matérias-primas minerais nos produtos imediatamente subsequentes: o calcário transformado em cimento, a rocha fosfática transformada em fertilizantes, o minério de ferro usado para fabricar o aço etc.

Chaves, (2002), assegura, que as exportações de bens minerais correspondem a 22% do total exportado pelo Brasil, ou seja, US\$ 12 bilhões/ano (dados de 2000). A

importação de bens minerais primários é de US\$ 5 bilhões, a maior parte devida ao petróleo (carvão, enxofre, potássio e cobre também são importados). A importação de produtos manufaturados (aços-liga, cobre, alumínio, fertilizantes e outros) é de US\$ 8,3 bilhões, de modo que, se excluirmos petróleo e gás natural, o balanço ainda nos é amplamente favorável.

Segundo Valverde, (2004), os recursos em agregados para a indústria da construção civil são abundantes no Brasil. Em geral, os grandes centros consumidores, encontram-se em regiões geologicamente favoráveis à existência de reservas de boa qualidade. A participação dos tipos de rochas utilizadas na produção de pedra britada é a seguinte: granito e gnaisse (85,0%); calcário e dolomito (10,0%); basalto e diabásio (5,0%). Algumas regiões, entretanto, apresentam pouca quantidade de rochas adequadas para britagem. Entre elas, podemos citar as cidades situadas na Bacia do Paraná, a pedra britada tem que ser transportada por distâncias superiores a 100 km. O número de empresas que produzem pedra britada é da ordem de 250, na maioria de controle familiar, e são responsáveis por cerca de 15.000 empregos diretos. Do total das pedreiras, 60,0% produz menos que 200.000 t métricas/ano; 30,0% produz entre 200.000 t/ano e 500.000 t/ano e 10,0% produz mais que 500.000 t/ano.

Também em Valverde, (2004), diz que, os principais locais de produção de areia são várzeas e leitos de rios, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, arenitos e pegmatitos decompostos. No Brasil, 90,0% da areia é produzida em leitos de rios. No Estado de São Paulo, a relação é diferente. 45,0% é proveniente de várzeas, 35,0% de leitos de rios e o restante de outras fontes. Cerca de 2.000 empresas se dedicam à extração de areia, na grande maioria, pequenas empresas familiares, gerando cerca de 45.000 empregos diretos. 60,0% produzem menos de 6.000 m³/mês; 35,0% entre 6.000 e 15.000 m³/mês e 5,0% mais que 15.000 m³/mês.

Segundo Valverde, (2004), a areia e as pedras britadas são caracterizadas pelo baixo valor e grandes volumes produzidos. O transporte responde por cerca de 2/3 do preço final do produto, o que impõe a necessidade de produzi-las o mais próximo possível do mercado, ou seja, as áreas urbanas. O maior problema para o aproveitamento das reservas existentes é a urbanização crescente que esteriliza importantes depósitos ou restringe a extração. A ocupação do entorno de pedreiras por habitações e restrições ambientais à utilização de várzeas e leitos de rios para extração de areia criam sérios problemas para as lavras em operação. Em conseqüência, novas áreas de extração estão cada vez mais distantes

dos pontos de consumo, encarecendo o preço final dos produtos. A Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, “importa” quase toda areia que consome, sendo boa parte de locais que ficam a mais de 100 km.

Sendo o estudo citado, em 2000, foram produzidos nacionalmente 238,0 milhões de metros cúbicos (380,0 milhões de toneladas) de agregados para construção civil, representando um crescimento de 11,0% em relação a 1999. Deste total, 97,3 milhões de metros cúbicos (155,8 milhões de toneladas) são representados por pedras britadas e 141,1 milhões de metros cúbicos (226,0 milhões de toneladas) por areia. O Estado de São Paulo respondeu por 32,3% da produção nacional. Outros grandes estados produtores são: Minas Gerais (12,0%), Rio de Janeiro (9,0%), Paraná (7,0%), Rio Grande do Sul (6,4%) e Santa Catarina (3,9%). Destacam-se ainda, como os principais pólos de produção de areia as regiões do Vale do Rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, que respondem por cerca de 25,0% da produção paulista e 10,0% de toda a produção nacional. Outras grandes regiões produtoras são Sorocaba, Piracicaba e Vale do Rio Ribeira de Iguape, também no Estado de São Paulo; Seropédica, Itaguaí, Barra de São João e Silva Jardim no Estado do Rio de Janeiro; o Guaíba; rios Caí e Jacuí, no Estado do Rio Grande do Sul; Vale do Rio Itajaí, em Santa Catarina; Várzea do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba; Vale do Rio Tibagi no município de Ponta Grossa (PR) e o Rio Paraná na Região de Guairá (PR).

Segundo a empresa de britagem, pedreira Paim, a qual é a produtora da areia artificial, objeto de estudo da pesquisa, para a região de Ijuí, a sua jazida esta localizada no município de Coronel Barros (RS), a aproximadamente 3 Km da via de acesso, BR 285. A empresa produz graduações diferenciadas de britagem, de origem basáltica.

Roman, (1991), destaca que a areia atuando como agregado inerte na mistura reduz a proporção dos aglomerantes permitindo aumentar seu rendimento e diminuindo os efeitos nocivos do excesso de cimento. As areias grossas finas reduzem esta resistência, mas aumentam a aderência.

E Segundo Kuck, (2004), a areia artificial é tecnicamente mais uniforme que as areias naturais, facilitando sua associação à argamassa e ao concreto. Já a areia natural, por causa das diferenças geológicas, sofre variações. Por isso é promissor o mercado para areia artificial. a areia e brita responde por 60% do volume de uma obra de construção.

Economicamente, uma das grandes vantagens da areia artificial é sua produção próxima ao mercado consumidor, o que reduz o custo do material.

O mesmo, destaca que, a areia natural, extraída de rios, viaja, em média, 200 quilômetros até o centro consumidor (indústrias do setor da construção civil). Já a areia artificial pode ser produzida no canteiro das pedreiras, localizada nos grandes centros urbana. Cerca de 70% do custo da areia natural corresponde a frete de transporte. Pelos cálculos do consultor da Convem Mineração, o metro cúbico de areia natural gira atualmente em torno de R\$ 24, enquanto o da areia artificial atinge, em média, R\$ 20.

Collantes diz que, a granulometria da areia tem função importante nas propriedades das argamassas, portanto caracterizou-se esta propriedade da areia para verificar a uniformidade da distribuição.

Segundo Valverde, (2004), a distribuição do consumo de pedra britada é a seguinte: 50,0% para a produção de concreto; 30,0% para pavimentação asfáltica; 13,0% para a produção de artefatos de cimento e pré-moldados; outros usos como lastro de ferrovia, contenção de taludes, etc., respondem pelos restantes 7,0%. O consumo, em 2000, da ordem de 1,6 milhão de metros cúbicos/mês.

A região metropolitana de São Paulo é o maior mercado consumidor de pedra britada do país. Outros grandes mercados são as regiões metropolitanas de Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Curitiba e Porto Alegre e as regiões de Campinas, Sorocaba e Baixada Santista no estado de São Paulo.

Em quaisquer circunstâncias as areias devem conter a mínima quantidade possível de materiais argilosos, mica, impurezas orgânicas, sais ou outras contaminações. A distribuição granulométrica deverá ser contínua (grãos menores encaixando nos vazios dos grãos de maior dimensão). Se a areia apresentar estas características podem ser produzidas argamassas com menor consumo de aglomerantes e menor relação água/aglomerante, mantendo-se adequada plasticidade para a aplicação.

2.3. Propriedades das argamassas

2.3.1. Introdução

Diversas propriedades das argamassas são discutidas, segundo vários autores, as argamassas têm grandes variações de aplicabilidade, por isso, exigem controle absoluto quando de suas produções e aplicações, a fim de ser adequadas às suas características.

Roman, (1991), destaca que, o uso de agregado com granulometria adequada, a correta mistura dos materiais e da água de amassamento são muito importantes tanto para facilitar o processo de erguimento das paredes, quanto para garantir a estabilidade e a durabilidade da construção ao longo dos anos.

Em Banet, (2004), as argamassas cumprem necessidades importantes em construções, como a de assentar tijolos e blocos, azulejos, ladrilhos, cerâmicas e tacos, impermeabilizar superfícies, regularizar, (tapar buracos, eliminar ondulações, nivelar e aprumar) paredes, pisos e tetos, dar acabamento às superfícies (liso, áspero, rugoso, etc.).

E Roman, (1991), diz que a argamassa, por todos os aspectos vistos, é um material importante para a definição do desempenho final de uma parede. Além das funções de enchimento e de ligação das unidades ajuda a prevenir a penetração de ar e água através da alvenaria. O autor ainda destaca que não deve ser mais relegada a plano secundário, sem nenhum controle da qualidade dos materiais que constituem e do processo de dosagem, amassamento e uso. Maiores cuidados devem ser tomados em relação a qualidade do material e a dosagem dos componentes em obra, de maneira à se obter uma alvenaria mais resistente e cumprindo as suas funções na plenitude.

Segundo Cavalheiro, (1995), o suporte tecnológico para a escolha do traço, consiste basicamente nos ensaios de consistência, retenção de água, compressão e na verificação da aderência junta/ unidade, par indissociável quando se projeta uma argamassa.

As propriedades essenciais que determinam a qualidade de uma argamassa são: trabalhabilidade (da argamassa fresca), resistência mecânica (da argamassa endurecida); aderência e durabilidade.

Segundo Roman, (1991), o uso de agregado com granulometria adequada, a correta mistura dos materiais e da água de amassamento são muito importantes tanto para facilitar o processo de erguimento das paredes, quanto para garantir a estabilidade e a durabilidade da construção ao longo dos anos.

As argamassas com finalidades específicas exigem por sua vez, a definição de inúmeras outras propriedades: impermeabilidade; resistências agentes químicos; isolamento termo-acústico; invariabilidade volumétrica, etc. Essas propriedades, de maneira geral, alteram-se substancialmente com a variação das proporções entre os materiais constituintes (composições) e com a variação nas qualidades destes materiais.

Roman, (1991), diz que a durabilidade da argamassa está ligada a presença de sais solúveis na areia e no tijolo. Estes podem causar o fenômeno da eflorescência, que normalmente causa apenas problemas estéticos, ou a destruição da argamassa no caso da presença de sulfatos. Em casos de tijolos que sofrem continua saturação, os sulfatos são dissolvidos e migram para a argamassa, onde combinam com o aluminato tri-cálcico. Neste caso pode ocorrer expansão com destruição da argamassa da junta.

O tradicionalismo e a falta de esclarecimento tem levado à uma mistificação de alguns materiais que não se justifica, pois um conhecimento maior das características e aplicações pode levar a um uso satisfatório, técnico e econômico.

Segundo Filomeno, a principal propriedade que deve apresentar uma argamassa de assentamento enquanto esta no estado fresco é a trabalhabilidade. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência. E por sua vez a consistência esta intimamente relacionada a capacidade de retenção de água da argamassa. Estudos recentes demonstram que a resistência da argamassa não é fator tão importante, quanto se supunha, na resistência final da alvenaria. No entanto, a sua posição como elemento de alvenaria, o esforço de compressão sobre a junta de argamassa não de vê ser desprezado. Como também outros esforços, como flexão e cisalhamento provocados por esforços laterais

nas paredes, e o esforço de tração provocado pelas tensões internas que agem no material como as movimentações de origem térmica e de variação no conteúdo de umidade.

Filomeno ainda salienta que, não existe nenhuma correlação entre a resistência à compressão e a resistência de aderência, e que é falso afirmar que a relação A/C e a resistência de aderência são inversamente proporcionais. A consistência da argamassa por sua vez está intimamente ligada à resistência de aderência sendo que o teor de cimento influencia na aderência, ou seja, à medida que aumenta o teor de cimento obtêm-se maiores valores de resistência de aderência. O umedecimento do substrato não contribui para o ganho de resistência de aderência, a cura dos revestimentos influencia largamente na resistência de aderência.

Pereira, (1999), observou ainda que se apresentam índices de consistência aproximadamente iguais, mesmo com grandes variações nos consumos de cimento (240 kg/m³ a 466 kg/m³) e grandes variações nas relações A/C (0,7 a 1,41), os traços apresentam resistências de aderência praticamente iguais. É verdade que grande parte dos resultados ocorrem pela ruptura dos blocos (porque a resistência de aderência era superior a resistência de tração do bloco cerâmico), porém, em média, os 40% dos resultados que ocorrem na interface bloco /argamassa indicam a grande influência da consistência nas resistências de aderência.

Segundo Holsbach, (2002), em um estudo de dosagens de concreto, também com a substituição gradativa, das mesmas, areia natural por areia artificial, onde a finalidade da pesquisa era a de manter-se a trabalhabilidade do concreto constante, slump de 8 cm. Conseqüentemente teve-se para a maior quantidade de areia substituída, a maior quantidade de água para a consistência do concreto fresco, em trabalhabilidade de 8 cm. Como resultado da pesquisa, a gradativa substituição crescente de areia natural por areia artificial, tiveram resultados inversamente proporcionais as quantidades de água, para trabalhabilidade, e quantidade de areia artificial.

Em Cavalheiro, (1995), a argamassa de assentamento tem as funções básicas de unir e ao mesmo tempo separar as unidades de alvenaria (blocos ou tijolos) ambigüamente. Unir para garantir monoliticidade ao conjunto, distribuindo adequadamente os esforços, além de garantir estanqueidade e durabilidade. Separar as unidades para compensar suas irregularidades geométricas e absorver deformações de movimentos térmicas, higroscópicas e

de pequenos recalques, distribuindo estas variações volumétricas de diferenciais numa rede de microfissuras não danosas. Para que estas funções sejam cumpridas a contento, a argamassa de assentamento deve apresentar propriedades desejáveis nos estados plásticos e endurecidos.

Cavalheiro, (1995), ainda destaca que a junta de argamassa deve apresentar satisfatória resiliência, isto é capacidade de deformar-se sem romper macroscopicamente. Argamassas muito fortes podem comprometer a estanqueidade da alvenaria por serem suscetíveis a fissuras de maior aberturas quando da absorção das movimentações da alvenaria.

Roman, (1991), destaca que, quando se diminui a espessura das juntas e, conseqüentemente, a relação espessura da junta/altura da unidade, obtém-se maior resistência na alvenaria. De acordo com SAHLIN apud ROMAN a resistência da alvenaria diminui em aproximadamente 15% para cada aumento de 3 mm na espessura da junta e vice-versa, considerando como base uma junta de 1cm de espessura.

Roman, (1991), ainda destaca que, diversas pesquisas indicam que a espessura ótima para as juntas de alvenaria é de 1cm. Valores menores, que teoricamente levariam a alvenarias mais resistentes, não são recomendáveis, pois a junta não conseguiria absorver as imperfeições que ocorrem nas unidades.

Roman, (1991), ainda diz que, mesmo no caso de unidades dimensionalmente muito uniformes, não devem ser usadas juntas menores de 1cm, pois como as unidades são porosas absorveriam facilmente a água da junta antes do assentamento de outra fiada. Isto acarreta, além dificuldades de assentamento, um prejuízo na aderência unidade-argamassa e a diminuição da resistência da própria argamassa pela absorção de parte da água necessária para a hidratação do cimento.

Roman, (1991), destaca que, as propriedades mecânicas da argamassa são muito importantes para a resiliência à compressão da alvenaria, uma vez que o mecanismo de ruptura da parede está diretamente ligado à interação entre a junta e unidade. Estruturalmente, a principal função da argamassa é a transferência das tensões uniformemente entre os tijolos ou blocos, compensando as irregularidades e as variações dimensionais dos mesmos. Além disto, deve unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir os esforços laterais.

Roman, (1991), também destaca que, a retentividade de água é a capacidade da argamassa de reter água contra a sucção do tijolo. Se o tijolo é muito poroso e retira muito rapidamente a água da argamassa, não haverá a completa hidratação do cimento. Isto resulta em uma fraca ligação entre o tijolo e a argamassa. Além disso, o endurecimento muito rápido da argamassa pela perda de água, impede o assentamento correto da fiada seguinte. Os problemas de pouca retenção de água ocorrem devido à incorreta granulometria do agregado, agregados muitos grandes, mistura insuficiente ou escolha errada do tipo de cimento.

Em Cavalheiro, (1995), destaca-se que, a capacidade de retenção de água é outro importante requisito. Altos valores asseguram a hidratação do cimento, sem perda de plasticidade. Argamassas pouca retentivas, além de dificultarem o ensaio, podem apresentar expansões indesejáveis nos blocos de alto poder de sucção, aumentando o potencial de retração na secagem.

Salienta-se ainda que, a capacidade de retenção de água está relacionada com a tensão superficial da pasta aglomerante. A argamassa tende a conservar a água necessária para molhar a superfície dos grãos da areia e do aglomerante. A água em excesso, porém é facilmente cedida por sucção. Experimentos têm demonstrado que as argamassas de cal têm maior capacidade de retenção de água que as de cimento, em razão de maior finura de cal (maior superfície específica e da maior capacidade de absorção das partículas formação de gel na superfície das partículas com até 100% em função do volume da partícula).

Cavalheiro, (1995), diz que, no estado endurecido, outra propriedade a ser considerada é a retração na secagem da argamassa. Deve ser pouca e a amplitude controlada não só no teor de água, mas na escolha da areia (granulometria contínua), teor de cimento (não muito elevado) e proteção à condições ambientais desfavoráveis (altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e fortes ventos).

2.3.2. Trabalhabilidade

Filomeno diz que, a principal propriedade que deve apresentar uma argamassa de assentamento enquanto está no estado fresco é a trabalhabilidade. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência. E por sua vez a consistência está intimamente relacionada a capacidade de retenção de água da argamassa.

A trabalhabilidade de uma argamassa é tão difícil de ser definida quanto medida, pois envolve fatores subjetivos: uma mesma argamassa pode ser mais ou menos trabalhável conforme o pedreiro que irá manuseá-la. De maneira geral diz-se que uma argamassa é trabalhável quando ela distribuída facilmente ao ser assentada; não “agarra” à ferramenta quando está sendo aplicada; não segrega ao ser transportada; não endurece em contato com superfícies absorptivas; permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada. Esta propriedade quando otimizada, além de tornar o trabalho mais produtivo, menos cansativo e mais econômico, tem grande influência na otimização de todas as propriedades essenciais.

Segundo Roman, (1991), a trabalhabilidade depende da combinação de vários fatores tais como: a qualidade do agregado, a quantidade de água usada, a consistência, a capacidade de retenção de água da argamassa, o tempo decorrido da preparação, a adesão, a fluidez e a massa. A consistência deve ser tal que o tijolo possa ser prontamente alinhado, mas seu peso e o peso das fiadas subseqüentes não provoquem posterior escorrimento da argamassa.

Cavalheiro, (1995), ressalta que, no estado plástico a argamassa deve ser trabalhável, mantendo-se íntegra sobre a colher de pedreiro durante o manuseio horizontal (coesão), deslizando sem “grudar” quando da colocação sobre a unidade (fluidez), além de possibilitar espalhamento fácil sobre a unidade (extensão), permanecendo plástica durante o alinhamento, prumo e nível das unidades.

Como orientação geral, em primeiro lugar deve-se compatibilizar a argamassa com a unidade de alvenaria a ser empregada. E para tal deve-se ajustar, inicialmente, a trabalhabilidade da argamassa ao peso da unidade e ao processo de aplicação (colher ou bisnaga), determinando-se, para tanto, o índice de consistência adequado, o que pode ser feito

através do ensaio de consistência (**NBR 7215 MB 1/82**) ou por determinação práticas, como o teste da penetração da esfera.

Experiências demonstram que as argamassas só de cimento possuem pouca trabalhabilidade; o acréscimo de água até certo limite melhora esta propriedade, porém piora as outras, e deve ser sempre evitada. A adição de cal à argamassa aumenta a trabalhabilidade porque a cal diminui a tensão superficial da pasta e contribui para melhorar perfeitamente os agregados. Além disso, seu alto grau de finura atua como lubrificante sólido entre outros grãos. Na prática, porém aquele aumento depende muito do tipo de cal utilizada da maneira como ela foi preparada e é empregada. Pode-se também, mantendo constantes os outros parâmetros, aumentar a trabalhabilidade da argamassa aumentando a superfície da areia, ou seja, aumentando o teor de finos.

A medida da trabalhabilidade é feita indiretamente, através de uma correlação com a consistência da argamassa. Esta consistência pode ser medida com ensaios do tipo abatimento de cone (“slump test”), mesa de fluidez (“flow table”), penetração da bola (“ball test”), etc. Apesar de não ser uma correlação exata, pelo sentido subjetivo da trabalhabilidade, quase sempre é eficiente.

A otimização da trabalhabilidade das argamassas é proporcional a capacidade de retenção de água das mesmas. Se não houver retenção adequada de água, argamassa além de não se manter plástica por tempo suficiente para o seu manuseio adequado, terá menor resistência quando endurecida, pois é fundamental garantir-se a umidade da argamassa pelo tempo necessário para que as reações de hidratação do cimento e carbonatação da cal ocorram e desenvolvam assim as resistências previstas. Devida à retenção inadequada as seguintes propriedades ficam também prejudicadas: capacidade de absorver deformações, aderência e durabilidade.

Quanto a consistência (também chamada de plasticidade), as argamassas são classificadas em secas, plásticas e fluídas. São três consistências que são determinadas pela película de pasta que rodeia os grãos de areia. Na argamassa seca, a pasta só preenche os vazios entre os grãos, permanecendo estes em contato, o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica uma fina película de pasta “molha” a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluida, as partículas de areia estão

imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a segregar e, sem possibilidade de ser empregado, pois ela se esparrama tal qual um líquido.

2.3.3. Resistência mecânica

Avalia-se indiretamente a resistência de uma argamassa às diversas ações de origem mecânica pela sua resistência à compressão.

A resistência a compressão depende do tipo e quantidade de cimento usado na mistura. A argamassa deve ser resistente o suficiente para suportar os esforços aos quais serão submetidas. No entanto, não deve exceder a resistência dos tijolos ou blocos da parede, de maneira a que as fissuras que venham a ocorrer devido à expansões térmicas ou outros movimentos da parede ocorram na junta. Uma argamassa mais resistente não significa necessariamente uma parede mais resistente. Para cada tipo de tijolo existe uma resistência ótima de argamassa e um aumento desta resistência não aumenta a resistência da parede (ROMAN, 1991).

A resistência à compressão das argamassas se inicia com o endurecimento e aumento continuamente com o tempo. As argamassas exclusivamente de cal e areia desenvolvem uma resistência pequena e de maneira lenta e cujo valor depende muito da umidade apropriada e da adequada absorção do óxido de carbono do ar para ser atingida. Ao contrário, as argamassas de cimento dependem menos (para desenvolver a resistência à compressão esperada) das condições do ambiente e do tempo.

A resistência final para uma argamassa varia de acordo com a resistência requerida pelo seu emprego. As argamassas de maior resistência são aquelas empregadas na alvenaria estrutural para edifícios de grande porte, no assentamento de alvenaria de fundações, ou em locais em que as condições ambientais são adversas (umidade constante, temperaturas negativas).

A resistência à compressão de um argamassa deve ser adequada a unidade de alvenaria, nunca superando-a. Não é fundamental na resistência do conjunto e por isso a

preocupação de um rigoroso controle de água, não é necessário até certos limites. O pedreiro pode ajustar a água para conseguir boa trabalhabilidade. Na alvenaria, a resistência à compressão da junta de argamassa cresce em relação ao valor obtido no ensaio uni-axial, por encontrar-se parcialmente confinada lateralmente também pelas unidades. A resistência à compressão axial, no entanto, é importante para o controle de qualidade da argamassa (permite detectar possíveis erros de medição na mistura) (CAVALHEIRO, 1995).

Estudos evidenciam que a resistência da argamassa não é fator tão importante, quanto se supunha, na resistência final da alvenaria. Uma argamassa de traço 1:2:9 (cimento:cal:areia seca, em volume) possui cerca de 20% da resistência à compressão de uma argamassa de traço 1:3 (cimento:areia). Porém a resistência à compressão da alvenaria com aquela argamassa é apenas 8% inferior à da executada com traço 1:3.

As argamassas de cal têm por sua vez resistência à compressão aos 28 dias variando entre 0,5 a 2,0 MPa (5 a 20 kgf/cm²). As argamassas de cimento e as compostas possuem uma ampla faixa de variação, pois a resistência é função da proporção relativa entre os componentes.

Sabe-se que é mais importante a avaliação das características elásticas de uma argamassa, do que as suas características resistentes. Quando se exige durabilidade e integridade física de um revestimento ou de uma alvenaria a influência da “elasticidade” da argamassa é fundamental. Esta “elasticidade” é definida como a capacidade que a argamassa possui de se deformar sem apresentar ruptura, quando sobre ela agem solicitações diversas e de retornar a dimensão original quando cessam estas solicitações. A argamassa deve possuir “elasticidade” ou seja, deve ter um baixo módulo de elasticidade para poder acomodar os inevitáveis movimentos (de pequena amplitude) de origem térmica e de variação no conteúdo de umidade (dilatação e retração) sem que haja ruptura.

De uma maneira geral, para que a argamassa adquira este baixo módulo, a cura deve ser lenta e constante, desenvolvendo progressivamente a resistência a esforços. Se as condições ambientais forem adversas, de maneira a acelerar a perda de água da argamassa, esta perde a flexibilidade e se torna rígida (com alto módulo de elasticidade).

2.3.4. Capacidade de aderência

A aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois ela depende também das características da base.

Segundo Cavalheiro, (1995), no estado endurecido, a argamassa deve apresentar, em primeiro lugar, boa aderência com a unidade de alvenaria. Esta é, pois uma propriedade conjunta do par junta de argamassa / unidade. A boa união vai depender das características dos dois componentes individualmente e da sua compatibilidade, primordialmente. A argamassa boa para um tipo de bloco, poderá ser péssima para outro. A aderência, após a resistência à compressão das unidades, é mais importante propriedade na alvenaria estrutural.

Segundo Collantes, a resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria é influenciada basicamente pela aderência bloco-argamassa. Este parâmetro, cumpre um papel importante do ponto de vista do desempenho, já que quase todas as propriedades da parede de alvenaria (estanqueidade, resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento acústico e durabilidade) são também afetadas pela aderência. Assim o seu estado é importante quando se busca otimizar o desempenho das edificações.

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface base/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela sem romper-se. Desta resistência, nas alvenarias, depende a monolicidade da parede e a resistência da alvenaria frente a solicitações provocadas por deformações volumétricas (por exemplo, retração hidráulica e dilatação térmica); carregamentos perpendiculares excêntricos, esforços ortogonais à parede (cargas de vento), etc.

Segundo Medeiros, (1994), o ensaio de aderência destina-se tanto ao controle da produção das alvenarias propriamente ditas, como também à obtenção de parâmetros de escolha e dimensionamento das argamassas de assentamento.

Medeiros, (1994), também diz que, é importante observar ainda que a esta idade a resistência de aderência já atinge valores máximos. Na verdade, ensaios preliminares realizados nestas condições, indicaram que o crescimento da resistência de aderência possui

comportamento distinto da resistência à compressão da argamassa em relação a idade, apresentando valores praticamente constantes a partir de 3 dias de idade, diferentemente do que ocorre com a resistência a compressão.

Destaca-se também que não existe uma correspondência biunívoca entre um dado parâmetro e a capacidade de aderência. Por exemplo, aumentando o teor relativo de cimento no aglomerante pode-se aumentar ou diminuir a capacidade de aderência. Aderência depende das características da base. O mesmo se conclui com o aumento da capacidade de retenção de água ou outras características variáveis da argamassa.

A resistência de aderência à tração de revestimento e de juntas de assentamento é função inversa de fator água/cimento (A/C) ou função direta do consumo de cimento da argamassa fresca.

Collantes observou que a resistência das argamassas tem marcada importância na resistência ao cisalhamento, já que em ensaios realizados, a aderência aumentou quando se aumentou a resistência das argamassas, sendo que o tipo de ruptura nos ensaios de cisalhamento direto foi frágil e repentino, pelo esgotamento da capacidade aderente bloco-argamassa.

Medeiros, (1994), verificou também que o consumo de aglomerante da argamassa e sua resistência à compressão apresentam aparentemente pouca influência na resistência de aderência entre blocos e juntas, não sendo possível a avaliação precisa desta variável neste tipo de experiência.

Ainda em Medeiros, (1994), foi possível observar, entretanto, que a interface das condições superficiais dos blocos é um fator fundamental na obtenção de valores mínimos para a resistência de aderência, uma vez que a utilização de blocos impregnados de partículas soltas inviabiliza a execução do ensaio devido a quase total falta de aderência observada.

E Medeiros, (1994), destaca que, é importante ressaltar ainda que o teor de umidade da argamassa no momento do assentamento é imprescindível para assegurar o assentamento correto das unidades.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais utilizados

Os materiais testados, areia artificial e areia natural, foram doados pela empresa PAIM, localizada em Ijuí. Trata-se de uma empresa de britagem e produção de concreto, a qual é a produtora e comercializadora da areia artificial.

Os ensaios, como nos objetivos específicos, foram realizados no laboratório de Engenharia Civil desta Universidade.

Nas figuras 1 e 2, são mostradas as areias natural e artificial, respectivamente, estocadas no laboratório da Universidade.



Figura 1 - Areia Natural estocada



Figura 2 - Areia Artificial estocada

O cimento usado na pesquisa foi o da cimenteira VOTORAN, aglomerante CPIV – 32 (**NBR 5736 – EB 578**) cimento portland pozolânico, com teores dos componentes de 85 a 45% de clinker mais sulfatos de cálcio, material pozolânico de 15 a 50% e de material carbonático de 0 a 5%. Com, no mínimo de 85% de CaCO_3 .

A cal usada foi de fabricação da empresa ITABRANCA, aglomerante **CH-III**. A qual tem em sua composição essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 13%.

3.2. Definição das misturas

O **traço 1:1:6** (cimento, cal e areia) foi escolhido para os ensaios, por ser uma composição de grande resistência mecânica em relação aos demais traços, usados na construção civil, para a assentamento em alvenarias, sendo o traço escolhido tradicionalmente de bastante uso na construção civil.

Sendo que cada mistura tem substituição gradativa de 25% de areia artificial para a areia de 100% natural, acumulando esta porcentagem para as demais misturas. Com isso, são definidas as porcentagens de areia artificial de cada mistura e as respectivas nomenclaturas.

Para prévia comparação das quantidades segue a tabela 1, que mostra as porcentagens de areia utilizado nas misturas. Prevalecendo a mesma quantidade de cimento e cal para todas as misturas.

Tabela 1 – Porcentagens de areias em cada mistura

Misturas	Areia Nat. (%)	Areia Art. (%)
Mistura A	100	0
Mistura B	75	25
Mistura C	50	50
Mistura D	25	75
Mistura E	15	85

3.3. Definição dos métodos

3.3.1. Moldagens

Após eliminação das umidades, em estufa, procede-se então à caracterização dos materiais.

Para a determinação da granulometria da areia artificial e natural, mostrados nos apêndices 1 e 2, respectivamente, seguiu-se a **NBR NM 248** e, juntamente a padronização das peneiras para a determinação dos diâmetros dos grãos pela **NM ISSO 3310 - 1**. Para a miúdos, verificados nos apêndices 1 e 2, seguiu-se a **NBR7251**.

Para o cimento e a cal, a determinação da massa específica absoluta de acordo com a **NM 23**, verificados nos apêndices 3 e 4, respectivamente, para a resistência mecânica do cimento observa-se a **NBR 5732 EB 1**, como consta no apêndice 5, e as demais características de acordo com relatório da cimenteira, apêndice 6.

Realizada a caracterização dos materiais, resume-se na tabela 2 abaixo as densidades de cada material, onde adotou-se a unidade de medida g/cm^3 , para todos os materiais.

Tabela 2 - Densidade dos materiais

Materiais	Densidade Absoluta (g/cm³)	Densidade Aparente (g/cm³)
Cimento	2,740	0,979
Cal	2,504	-
Areia Natural	2,597	1,510
Areia Artificial	2,970	1,630

Com a definição dos ensaios e quantidades de amostras que cada ensaio necessita para a um resultado demonstrativo, chega-se aos seguintes números de corpos de prova para cada ensaio:

- 9 prismas, de três blocos, à compressão, (3 por idade de ensaio);
- 9 tripletas à cisalhamento, ensaio de aderência, (3 por idade de ensaio);
- 9 corpos de prova à tração diametral, (3 por idade de ensaio);
- 12 corpos de prova à compressão, (4 por idade de ensaio).

Resultando assim em um volume de 20 dm³ de argamassa por mistura, volume este sem a presença de água, a qual agrega um acréscimo de volume para a mistura, este que então se destina à confecção de mais seis corpos de prova por argamassa, entre os ensaios de compressão e tração diametral.

A tabela 3 explica as quantidades e porcentagens de cada material, para o volume de 20 dm³ de cada mistura no traço de 1:1:6, argamassa de assentamento.

Tabela 3 – Pesos dos materiais nas misturas

Misturas	Cimento (gramas)	Areia Natural (gramas)	Areia Nat. (%)	Areia Artificial (gramas)	Areia Art. (%)	Cal (gramas)
Mistura A	6850	38955,00	100	0	0	6350
Mistura B	6850	29216,25	75	11137,50	25	6350
Mistura C	6850	19477,50	50	22275,00	50	6350
Mistura D	6850	9738,75	25	33412,50	75	6350
Mistura E	6850	5842,25	15	37667,50	85	6350

A particularidade que cada argamassa agrega é a porcentagem de areia artificial e areia natural, e devido a areia artificial ter maior módulo de finura (apêndice 1), esta agrega mais água para a consistência adequada, entretanto, as demais metodologias aplicadas é comum a todas as misturas.

A figura 3 mostra as quantidades de areia artificial e areia natural, separadas em seus pesos e porcentagens adequadas para a confecção da argamassa de cal e areia.



Figura 3 - Materiais para as Pré-Misturas

Com a colocação dos materiais na seguinte seqüência: água, posteriormente a cal sendo pulverizada a fim de evitar o empolamento, como mostra a figura 4, e posteriormente à adição das areias, figura 5, todos os materiais rodados em betoneira até uma completa homogeneização das pré-misturas.



Figura 4 - Colocação da Cal na betoneira



Figura 5 - Colocação da Areia Artificial na betoneira

Com as misturas pré-dosadas segue-se a pesquisa com o descanso de **72 horas** das respectivas argamassas.

Na tabela 4 é mostrado as primeiras quantidades de água para a pré-mistura das argamassas, de cal e areia:

Tabela 4 - Água e consistência das misturas de cal e areia

Misturas	Água (ml)	Consistência (mm)
Mistura A	6600	207,53
Mistura B	6100	166,40
Mistura C	6150	151,83
Mistura D	7270	193,60
Mistura E	7780	192,00

3.3.2. Ensaio

Parte-se da preocupação de manter a consistência da argamassa pronta (cimento, cal e areia), em $255\text{mm} \pm 10\text{ mm}$ (**NBR 7215 – MB 1**), portanto, a quantidade inicial de água para a confecção das pré-misturas é empírica, somente, respeitando que não se pode ultrapassar a consistência adequada à argamassa pronta. Então, não se tem trabalhabilidade normalizada para as argamassas de cal e areia, argamassas descansadas.

Decorridas às 72 horas de descanso das respectivas pré-misturas adiciona-se a quantidade de cimento, já estabelecida, e pela **NBR 7215 MB 1**, tem-se a quantidade de água para as misturas. Em resumo tem-se as quantidades de água para as respectivas misturas e pré-misturas nas suas etapas.

A tabela 5 mostra as quantidades de água que cada mistura adotou para manter-se sobre a condição de norma de consistência.

Tabela 5 – Água e abatimento das argamassas

Misturas	Água pré-mistura (ml)	Abatimento (mm)	Adição água (ml)	Abatimento (mm)	Água Total (ml)
Mistura A	6600	207,53	1600	247,76	8200
Mistura B	6100	166,40	3000	246,80	9100
Mistura C	6150	151,83	4000	247,50	10150
Mistura D	7270	193,60	2780	251,40	10050
Mistura E	7780	192,00	2610	247,26	10390

Na figura 6 mostra-se o ensaio da água de consistência, para as argamassas ensaiadas, na mesa cadente. E a figura 7 a medição do abatimento que cada argamassa sofre após a aplicação do ensaio.



Figura 6 – Mesa de Consistência



Figura 7 – Medida da Consistência

Na figura 8 a etapa 1 é a consistência das pré-misturas nas suas respectivas quantidades de água. Na etapa 2 representa-se a consistência das misturas com suas respectivas adições de cimento com as adições de água.

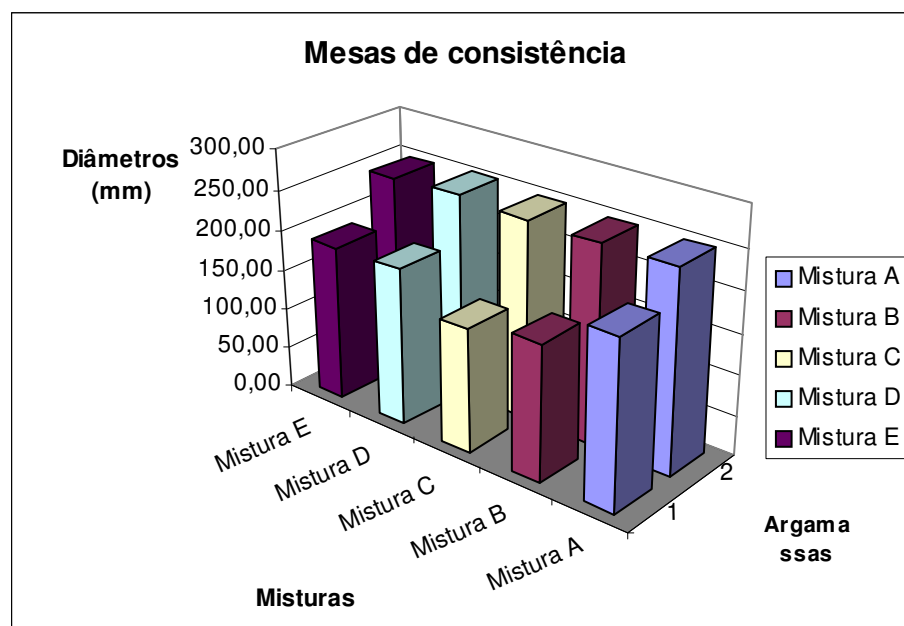


Figura 8 – Mesas de consistência

Por conseguinte, molda-se os CP's de argamassa para os ensaios de compressão pela **NBR 13279**, e tração por compressão diametral pela **NBR 7222**.

As argamassas, em forma cilíndrica, (figura 9), rompendo com a característica de 45°, devido a geometria da peça de ser a face, base do cilindro de 5 cm de diâmetro e a altura de 2 vezes o diâmetro, ou seja, 10 cm, como mostra a figura 10.

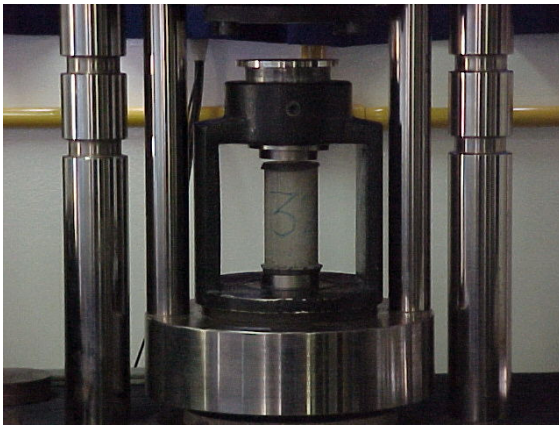


Figura 9 – CP de argamassa na Prensa



Figura 10 - CP de argamassa Rompido à Compressão

As argamassas, CP's a tração na compressão diametral, figura 11, com a característica de rompimento generalizadas, de ruptura no diâmetro, rompendo ao meio a peça, como mostra a figura 12, dividindo-a praticamente pela metade, o que pode ser verificada na figura 13.



Figura 11 – CP de Argamassa à Tração



Figura 12 – CP de Argamassa Rompido por Compressão Diametral



Figura 13 - Argamassa Rompidas à Tração

Junto a esses, molda-se então os prismas e tripletas para os respectivos ensaios e nas quantidades e idades já definidas.

O ensaio de cisalhamento direto foi realizado com base nos trabalhos desenvolvidos por BEEK & GALLEGOS (1983) e EDGELL & GAMBO e RIDDINGTON (1991) apud COLLANTES. As geometrias das tripletas empregadas neste estudo são mostradas nas figuras 14 e 15, seguintes.



Figura 14 – Tripleta Rompida ao Cisalhamento



Figura 15 – Tripleta ao Cisalhamento

Compostas pela junção de três blocos, de medidas medias 5 x 11 x 21, em cm, de mesma procedência, com as juntas de argamassas com espessuras de 1 cm, suportadas por calços de madeira, distribuídas como mostra a ilustração, onde a força é aplicada verticalmente da ruptura ao cisalhamento.

As tripletas do cisalhamento não apresentam nenhuma característica em comum, todas as peças rompendo de forma particulares, o que revela a , por isso, para uma melhor caracterização deste ensaio estima-se um maior número de amostras.



Figura 16 - Tripletas Rompidas ao Cisalhamento

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Argamassas no estado endurecido

4.1.1. Rompimento à Compressão

As próximas quatro tabelas apresentam os resultados do ensaio de compressão das argamassas estudadas, nas idades de 7, 14, 28 e 90 respectivamente.

A tabela 6 demonstra a maior resistência da argamassa E (85% artificial), tendo uma média entre as resistências das argamassas de 4,55 MPa, nesta primeira idade.

Tabela 6 – Resistência à compressão aos 7 dias para as argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
4,24	-10,55	4,54	-0,87	4,14	-12,47	3,34	-5,65	5,73	10,62
4,25	-10,34	4,63	1,09	4,86	2,75	3,73	5,37	4,85	-6,37
5,27	11,18	4,61	0,66	4,99	5,50	3,64	2,82	4,94	-4,63
5,20	9,70	4,53	-1,09	4,92	4,02	3,46	-2,26	5,21	0,58
4,74 média		4,58 média		4,73 média		3,54 média		5,18 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-8,49		-11,63		-8,74		-31,61		0,05	

Aos 7 dias observou-se segundo menor desvio padrão entre as médias das resistências, sendo a diferença de 12,09% para a média dos desvios-padrões.

A **Argamassa D** (75% artificial) apresentou o maior desvio-padrão (31,61%) entre as médias das resistências, considerando-se que a mesma não apresenta a mesma divergência no estado fresco em relação à **Argamassa E** (85% artificial), a qual é constituída somente de 10% a mais de areia artificial que a outra.

Na tabela 7 são mostrados os valores das resistências aos 14 dias para as amostras estudadas, nesta idade a prioridade da maior resistência transfere-se para a **argamassa A** (100% natural), ao contrario da idade de 7 dias, com a maior resistência a **argamassa B**.

Tabela 7 - Resistências à Compressão aos 14 dias para as argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
10,1	7,68	6,40	-4,90	6,74	-0,30	5,29	0,00	7,02	4,78
9,55	1,81	6,77	0,59	6,74	-0,30	4,37	-17,39	6,13	-8,51
9,87	5,22	6,85	1,78	6,1	-9,76	5,59	5,67	6,91	3,13
9,05	-3,52	6,76	0,45	7,35	8,73	5,61	6,05	6,76	0,90
8,37	-10,77	6,87	2,08	6,88	1,78	5,61	6,05		
9,388 média		6,730 média		6,762 média		5,294 média		6,705 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
0,09		-28,25		-27,91		-43,56		-28,52	

Aos 14 dias a média dos desvios-padrões foi a maior encontrada, como pode ser observado na tabela 7 (25,64% entre as misturas). Sendo ainda a **argamassa D** (75% artificial) de menor resistência.

A idade de 28 dias, como via de regra, é a adotada para o valor característico das resistências, por isso tem-se que a **argamassa E** (85% artificial), é de boa resistência, pois

se a **argamassa A** (100% natural) fosse destinada, neste estudo, às alvenarias, caberia também à outra esta finalidade, pois suas diferenças são de apenas 17%.

Na tabela 8 observou-se que aos 28 dias a diferença entre os desvios-padrões cai para 14,80% para a media destes valores que as amostras apresentam em relação à argamassa de maior capacidade de carga, **Argamassa A** (100% natural).

Tabela 8 - Resistência à Compressão aos 28 dias para as argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
12,49	6,75	10,89	-0,91	9,98	-4,41	7,32	4,57	10,44	7,41
12,42	6,15	11,62	5,73	10,30	-1,34	6,79	-3,00	10,59	8,95
9,94	-15,04	11,27	2,55	10,19	-2,39	6,55	-6,43	8,017	-17,52
11,76	0,51	11,20	1,91	10,56	1,15	6,87	-1,86	9,82	1,03
11,90	1,71	9,96	-9,37	11,16	6,90	7,46	6,57		
11,70 média		10,99 média		10,44 média		7,00 média		9,72 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
0,02		-6,09		-10,79		-40,19		-16,95	

Aos 90 dias, como mostra a tabela 9, a média entre os desvios-padrões foi a menor (10,23%). Comparando com a resistência encontrada aos 28 dias, observa-se um acréscimo de resistência de 32% para a **argamassa A**, 34% para a **Argamassa B**, 42% para **Argamassa C**, 43% para a **Argamassa D** e de 41% para a **Argamassa E**.

Tabela 9 - Argamassas à Compressão aos 90 dias para as argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
15,34	-11,43	13,78	-18,17	17,22	-4,60	11,90	-3,57	16,34	-0,73
18,66	7,74	18,83	11,82	18,02	-0,17	13,26	7,46	17,15	4,19
17,33	0,06	15,11	-10,27	18,07	0,11	12,27	-0,57	17,01	3,34
17,44	0,69	18,26	8,43	18,79	4,10	11,20	-9,24	16,56	0,61
17,84	3,00	18,22	8,19	18,14	0,50	13,06	5,83	15,25	-7,35
17,32 média		16,84 média		18,05 média		12,34 média		16,46 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-4,03		-6,70		-0,01		-31,65		-8,80	

Na figura 17, destaca-se que aos 14 dias a **argamassa A** (100% natural), tem uma maior capacidade de carga que as demais argamassas.

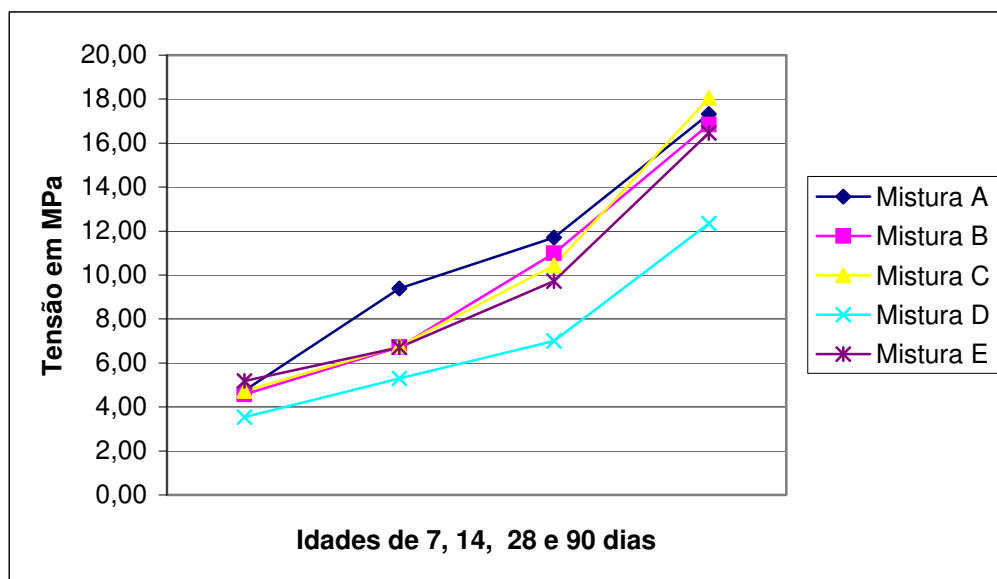


Figura 17 – Resultado dos Ensaios das Resistências à Compressão para as argamassas

A figura mostra que a argamassa de maior capacidade de carga à compressão nas primeiras idades (7 dias) é a **argamassa E** (85% areia artificial), porém, em 14 dias a mesma argamassa é 28% menos resistente que a **argamassa A** (100% natural), e aos 28 dias a diferença foi de 16%.

Como a **Argamassa D** (75% artificial) apresentou, em todas as idades de ensaio, o maior desvio padrão nas resistências, estima-se que a causa desta característica esteja ligada as adições de água nas pré-misturas e nas argamassas prontas, em suas consistência de trabalho.

Pelo descaso da primeira adição de água, tem-se a possível explicação, de que a **argamassa D**, não teve água suficiente para a hidratação do cimento, possivelmente, pela retenção de água que areia artificial (75%), tem sobre esta argamassa, ainda assim com a adequada consistência para trabalho.

Do contrario, aos 28 dias onde se tem a resistência para projeto, tem viabilidade técnica para a aplicação da argamassa de areia artificial, **argamassa E** (85%).

4.1.2. Rompimentos a tração

Partindo de um princípio de resistência ao “arrancamento”, a preocupação com a resistência à tração é de grande importância para as argamassas, juntamente com a resistência ao cisalhamento, desde um esforço de dilatação térmica nas alvenarias, até ações devido ao vento.

Nas tabelas seguintes são mostrados os valores característicos das resistências à tração para as substituições das argamassas estudadas.

A tabela 10 mostra o valor característico da resistência à tração na compressão diametral, para os corpos-de-prova moldados com as misturas de substituição das areias.

A tabela pode demonstrar que a média entre as resistências a cisalhamento é de 2,41 MPa, secção transversal de 5cm e 10cm de comprimento das peças moldadas.

Com a mesma característica das resistências a compressão das argamassas, nas primeiras idades (7 dias), a amostra com maior capacidade de carga é a **argamassa E** (85% artificial), porém a diferença entre as resistências de compressão e tração, nesta idade de 8,49% para 1,67%.

Tabela 10 – Resistência à tração aos 7 dias para argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
2,88	2,86	3,02	9,82	1,96	-8,41	1,55	-11,43	3,05	7,02
3,51	25,36	2,53	-8,00	1,94	-9,35	1,56	-10,86	2,45	-14,04
1,93	-31,07	2,99	8,73	2,50	16,82	1,80	2,86	2,78	-2,46
2,89	3,21	2,44	-11,27	2,15	0,47	2,08	18,86	3,12	9,47
2,80 média		2,75 média		2,14 média		1,75 média		2,85 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da Maior resistência	
-1,67		-3,68		-25,00		-38,68		0,00	

A diferença entre os desvios-padrões sendo a menor nesta idade, com a média de 13,80% de diferença entre os valores encontrados das amostras.

Na tabela 11 são mostrados os valores característicos para a idade de 14, nesta idade a diferença cresce para 16,45% das médias dos desvios-padrões.

Tabela 11 - Resistências à Tração aos 14 dias para as argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
3,83	-10,51	2,78	-9,45	3,88	3,74	2,88	-5,57	4,57	2,70
4,22	-1,40	3,11	1,30	3,38	-9,63	2,91	-4,59	4,85	8,99
4,24	-0,93	3,36	9,45	3,91	4,55	2,91	-4,59	4,28	-3,82
4,83	12,85	3,04	-0,98	3,79	1,34	3,49	14,43	4,11	-7,64
4,28 média		3,07 média		3,74 média		3,05 média		4,45 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-3,82		-30,96		-15,96		-31,52		0,06	

Com a curiosa estatística de que a **argamassa B** (25% artificial), ter um acréscimo de 11,63% em relação a idade anterior ensaiada, enquanto que as demais misturas tiveram um acréscimo não menor que 52%.

Porém, para este ensaio, nesta idade, a **argamassa E** (85% artificial) continuou com a maior capacidade de carga em relação à **argamassa A** (100% natural), o que aos 14 dias na compressão teve-se como resultado, o inverso.

Na tabela 12 é destacada a resistência à tração aos 28 dias para as argamassas.

Tabela 12 – Resistências à Tração aos 28 dias para as argamassas

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D		Mistura E	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
7,96	-0,38	7,98	1,09	5,78	5,86	4,27	11,49	8,39	17,67
7,34	-8,14	7,56	-2,73	5,87	7,51	3,99	4,18	5,65	-20,76
8,33	4,26	8,49	5,73	5,26	-3,66	3,21	-16,19	6,57	-7,85
8,32	4,13	7,40	-4,19	4,94	-9,52	3,85	0,52	7,91	10,94
7,99 média		7,86 média		5,46 média		3,83 média		7,13 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-0,03		-1,66		-31,63		-52,07		-10,76	

Para os 28 dias a diferença entre os desvios-padrões é a maior encontrada nos ensaios à tração, sendo de 19,22% em relação as médias das amostras.

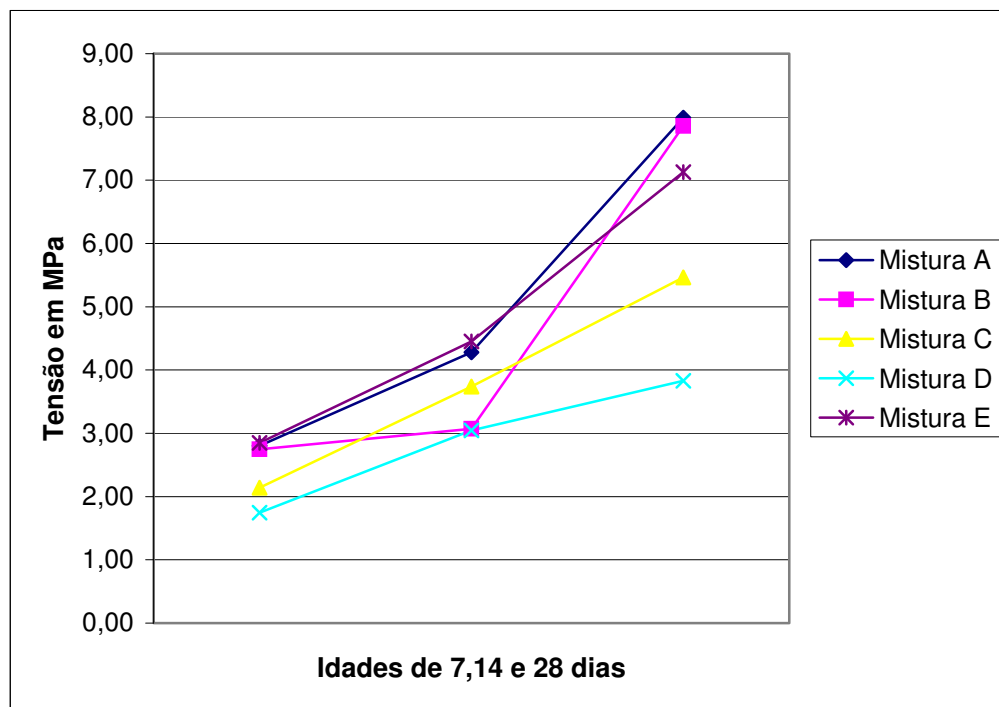


Figura 18 - Resultado dos Ensaios das Resistências à Tração para as argamassas

A argamassa de maior capacidade de carga a tração na compressão diametral nas primeiras idades, 7 dias, é a **argamassa E** (85% artificial), ainda, em 14 dias a mesma argamassa é mais resistente que a **argamassa A** (100% natural) (-3,82%), e aos 28 dias a **argamassa E** é 10% menos resistente que a de maior capacidade de carga, **argamassa A**.

Com a mesma característica dos ensaios a compressão, a **argamassa D** (75% artificial) teve o menor suporte de carga, ressaltando a possível explicação, de que a água para a consistência adequada para a mistura não foi suficiente para a hidratação do cimento, devido a retentividade da areia artificial, por possuir alto índice de superfície específica.

Com uma média das resistências a tração, aos 28 dias, para todas as misturas de 6,45 MPa, porém a **argamassa C** (50% artificial) e **argamassa D** (75% artificial) com os maiores desvios-padrões, de 31,63% e 52,07%, respectivamente, sendo que a **argamassa E** (85% artificial) é apenas 10,76% menos eficiente (carga de ruptura) que a **argamassa A** (100% artificial), de maior carga (7,99 MPa).

4.1.3. Rompimento dos Prismas a Compressão

Devido a incompatibilidade da execução dos prismas da mistura E, por problemas didáticos em relação ao laboratório dos ensaios, as amostras para essas misturas não puderem ser moldadas.

Na tabela 13 são apresentados os valores característicos para a idade de 7 dias, em que foram rompidos os corpos-de-prova, prismas, à compressão.

Tabela 13 - Prismas à Compressão aos 7 dias

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
15122	9,24	13224	-16,60	16020	3,79	14010	-1,50
12040	-13,02	18489	16,60	16673	8,02	15234	7,10
14367	3,79			13612	-11,81	13428	-5,60
13843 média		15857 média		15435 média		14224 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-12,70		0,00		-2,66		-10,30	

Para a resistência dos prismas, adotou-se a unidade de media o **Kgf**, ressaltando que as unidades medidas dos tijolos usados para ambas às argamassas são de, em média, 5 x 11 x 22, em centímetros, de modo que a maior face seja moldada na horizontal.

Divergindo das argamassas, a maior capacidade de carga para este ensaio ficou com a media dos prismas moldados com a **argamassa B** (25% artificial), com carga de suporte de 15857 Kgf.

Para os desvios-padrões, a diferença entre a média é de 6,4% em relação as suas amostras, a menor verificada para os prismas, nas idades de ensaio.

Com a mesma característica dos 7 dias, a tabela 14 mostra a maior capacidade de carga para os prismas moldados com a **argamassa B**, permanecendo a superioridade de suporte de carga em relação à **argamassa A**, ainda com a diferença das capacidades de carga subindo de 12,70% para 19,99%.

Tabela 14 - Prismas à Compressão aos 14 dias

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
12826	-12,23	22795	24,80	13504	-9,94	12632	-11,89
15193	3,96	15469	-15,31	15795	5,34	15153	5,70
15822	8,27	16530	-9,50	15683	4,60	15224	6,19
14614 média		18265 média		14994 média		14336 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-19,99		0,00		-17,91		-21,51	

Aos 14 dias é verificada a maior diferença nos desvios-padrões, chegando a 14,85%, de acordo com as amostras.

Chegando aos 28 dias, tabela 15, a diferença entre as amostras, o desvio-padrão a 9,39% em relação às amostras ensaiadas.

Tabela 15 - Prismas à Compressão aos 28 dias

Mistura A		Mistura B		Mistura C		Mistura D	
Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão	Comp.	Desvio Padrão
16020	-0,06	21602	13,86	16816	-1,63	15795	-5,21
15683	-2,16	21091	11,17	16387	-4,14	17938	7,65
16387	2,23	14224	-25,03	18081	5,77	16255	-2,45
16030 média		18972 média		17095 média		16663 média	
Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência		Desvio padrão da maior resistência	
-15,51		0,00		-9,90		-12,17	

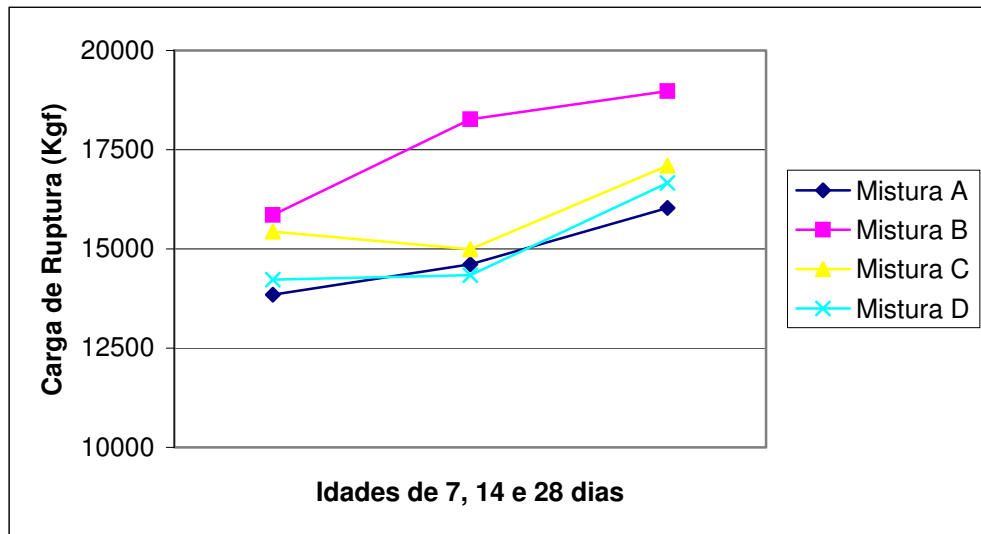


Figura 19 - Resistência à Compressão dos Prismas

A argamassa com maior capacidade de carga para os prismas é a **argamassa B**, nas idades de 7, 14 e 28 dias, no entanto, a mesma é a qual apresenta maior desvio padrão, chegando a 25% entre os valores das amostras.

Divergindo dos desvios-padrões dos ensaios de compressão e tração para argamassas, onde as maiores diferenças estão nas amostras da **argamassa D** (75% artificial), variando de 30% a 44%, nas idades de 7, 14 e 28 dias; nos prismas essa diferença cai de 21% a 10%, para a mesma argamassa e nas mesmas idades.

Ainda que no ensaio de compressão nos para os prismas, nas idades de 7 e 28 dias a **argamassa D** (75 artificial) é mais resistente que a **argamassa A** (100% natural), o que não acontece nos ensaios à compressão e tração nas argamassas.

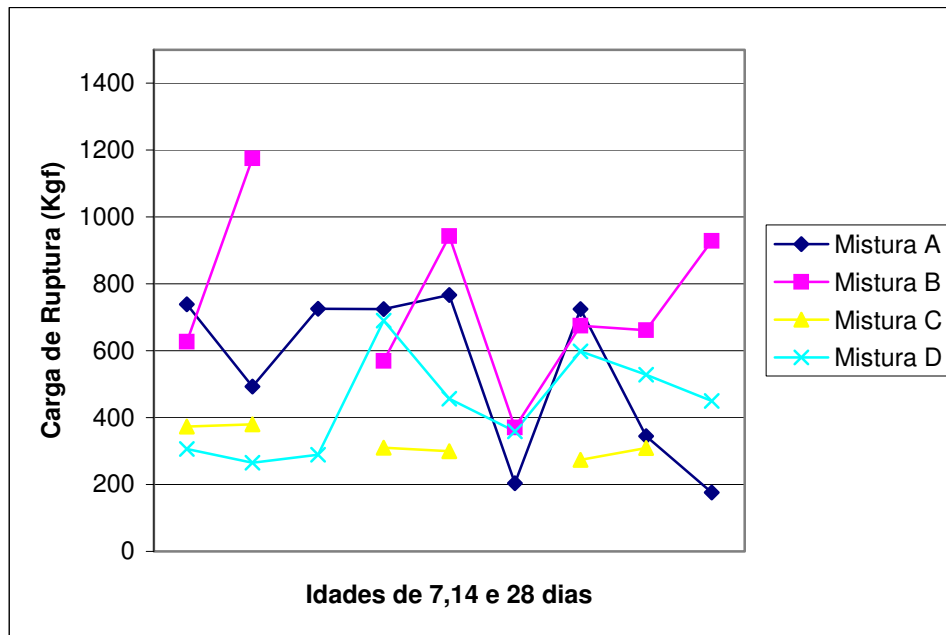


Figura 20 - Resistências ao Cisalhamento

A ausência de números relativos aos cisalhamentos deve-se ao desvio padrão dos valores ser muito grande em todas as idades e pelas misturas ensaiadas. Recomenda-se então, aumentar o número de amostras até o ponto que o desvio padrão cai para menos de 10%.

O número de amostras para cisalhamento foi insuficiente para se ter uma estimativa de resultados, assim, não é possível definir qual argamassa caracteriza-se melhor ao cisalhamento.

Quadro Resumo das argamassas no estado fresco

Nomenclatura	% Porcentagem Areia Natural	% Porcentagem Areia Artificial	Água Pré-mistura (Cal e areia) (ml)	Abatimento (mm)	Adição água (ml)	Abatimento (mm)	Data Mistura	Data Moldagem	Água Total
Mistura A	100	0	6600	207,53	1600	247,76	2/mar	5/mar	8200
Mistura B	75	25	6100	166,40	3000	246,80	8/mar	11/mar	9100
Mistura C	50	50	6150	151,83	4000	247,50	9/mar	12/mar	10150
Mistura D	25	75	7270	193,60	2780	251,40	19/mar	22/mar	10050
Mistura E	15	85	7780	192,00	2610	247,26	26/mar	29/mar	10390

Quadro Resumo das Resistências de Ensaio

Nomenclatura	Aos 7 dias				CP's aos 14 dias				CP's aos 28 dias				CP's aos 90 dias (MPa)
	CP's (MPa)		Prismas	Tripleta	CP's (MPa)		Prismas	Tripleta	CP's (MPa)		Prismas	Tripleta	Comp.
	Comp.	Tração	Kgf	Kgf	Comp.	Tração	Kgf	Kgf	Comp.	Tração	Kgf	Kgf	
Mistura A	4,24	2,88	15122	739	10,1	3,83	12826	725	12,49	7,96	16020	725	15,34
	4,25	3,51	12040	493	9,55	4,22	15193	767	12,42	7,34	15683	345	18,66
	5,27	1,93	14367	725	9,87	4,24	15822	204	9,94	8,33	16387	176	17,33
	5,20	2,89	13843		9,05	4,83	14614		11,76	8,32	16030		17,44
	4,74	2,80			8,37	4,28			11,90	7,99			17,84
					9,388				11,70				17,32
Mistura B	4,54	3,02	13224	627	6,40	2,78	22795	570	10,89	7,98	21602	675	13,78
	4,63	2,53	18489	1176	6,77	3,11	15469	943	11,62	7,56	21091	661	18,83
	4,61	2,99	15857		6,85	3,36	16530	370	11,27	8,49	14224	929	15,11
	4,53	2,44			6,76	3,04	18265		11,20	7,40	18972		18,26
	4,58	2,75			6,87	3,07			9,96	7,86			18,22
					6,730				10,99				16,84
Mistura C	4,14	1,96	16020	373	6,74	3,88	13504	310	9,98	5,78	16816	274	17,22
	4,86	1,94	16673	380	6,74	3,38	15795	300	10,30	5,87	16387	309	18,02
	4,99	2,50	13612		6,1	3,91	15683		10,19	5,26	18081		18,07
	4,92	2,15	15435		7,35	3,79	14994		10,56	4,94	17095		18,79
	4,73	2,14			6,88	3,74			11,16	5,46			18,14
					6,762				10,44				18,05
Mistura D	3,34	1,55	14010	306	5,29	2,88	12632	690	7,32	4,27	15795	598	11,90
	3,73	1,56	15234	265	4,37	2,91	15153	457	6,79	3,99	17938	528	13,26
	3,64	1,80	13428	289	5,59	2,91	15224	359	6,55	3,21	16255	450	12,27
	3,46	2,08	14224		5,61	3,49	14336		6,87	3,85	16663		11,20
	3,54	1,75			5,61	3,05			7,46	3,83			13,06
					5,294				7,00				12,34
Mistura E	5,73	3,05			7,02	4,57			10,44	8,39			16,34
	4,85	2,45			6,13	4,85			10,59	5,65			17,15
	4,94	2,78			6,91	4,28			8,017	6,57			17,01
	5,21	3,12			6,76	4,11			9,82	7,91			16,56
													15,25
	5,18	2,85			6,705	4,45			9,72	7,13			16,46

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O pioneirismo da pesquisa revela algumas características da areia artificial, para argamassas de assentamento. Dentro do estudo se aprofundou mais os ensaios de resistência mecânica, mas ainda se distingue o módulo de finura entre as duas areias (apêndices 1 e 2), mostrando que a areia artificial, é realmente, mais fina que a natural, portanto, apesar de não realizado o ensaio de retenção de água, tem-se esta característica, de reter água em maior porcentagem a areia artificial.

Por isso ainda, a pesquisa dá suporte tecnológico e base de experimentos para posteriores pesquisas para este assunto.

Tecnicamente, dentro dos estudos desenvolvidos na pesquisa pode-se concluir que, a argamassa de areia natural tem a maior capacidade de carga aos 28 dias para compressão e tração, sendo a **argamassa E** (85% artificial) 17% menos resistente que a **argamassa A**. (100% natural). Para os prismas, a diferença entre as capacidades de carga cai para 3,34%, da **argamassa E** e em relação a **argamassa A**. ainda com os prismas, a maior capacidade de carga foi da **argamassa B** (25% artificial), sendo o mesmo o qual apresenta maior desvio padrão entre as suas amostras.

Sem divergências metodológicas aplicáveis no estado fresco, as amostras da **Argamassa D** (75% artificial), apresentam domínio da menor resistência entre as porcentagens estudadas, com a curiosidade de que esta argamassa tem apenas 10% menos de areia artificial em relação à **Argamassa E** (85% artificial), que apresentou resistência de 14% a 34% superior a primeira.

A possível explicação deste fato, apesar de não ter sido realizado o ensaio de retenção de água, é exatamente neste aspecto. Sabe-se que a areia artificial tem módulo de finura maior que a outra, portanto mais superfície específica, de onde pode-se concluir que devido a isto a adição da segunda água, de consistência da argamassa, foi insuficiente para a hidratação total do cimento, portanto parte da água que foi adicionada à mistura ficou retida na superfície específica da areia artificial.

A água é parte fundamental para as argamassas, onde se busca uma resistência mecânica maior, tem-se então a diminuição do fator A/C . Entretanto, argamassas de menor resistência mecânica do que os blocos que compõem a alvenaria apresentam melhor eficiência na resiliência. Sempre que houver água suficiente para a hidratação do cimento e consistência para as argamassas.

Conclui-se de todo o estudo desenvolvido que, a argamassa de areia artificial, **argamassa E** (85%), pode ser utilizada na construção civil sendo de bom uso para as cargas características de sua tensão de ruptura, como paredes de vedação. Ainda, se tiver controle na confecção, na adição de água, as argamassas para alvenarias, pode-se diminuir o fator de segurança, para a mesma carga de aplicação.

Conclui-se também que a quantidade crescente de água total adicionada nas argamassas, devido ao módulo de finura da areia artificial ser maior, pode-se então, excluir a parte mais fina da areia passante na peneira # 100, diminuindo assim a superfície específica desta, e conseqüentemente a quantidade de água, a qual tem influência direta nas resistências.

Recomenda-se então, controlar a primeira adição de água, para as pré-misturas de cal e areia. Estima-se que a consistência desta parte é de fundamental importância no resultado final, e por isso, faz-se uma regularização desta consistência ou relação água/cal.

Para complemento na pesquisa, recomenda-se a continuidade dos ensaios denominados de módulo de elasticidade, retenção de água e capacidade impermeabilizante, isolamento acústico e térmico.

Também se faz necessário aumentar o número de corpos-de-prova para cisalhamento, pois as amostras ensaiadas não demonstraram resultado expressivo para esse ensaio.

BIBLIOGRAFIA

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregados em estado solto – Determinação da massa unitária* – NBR 7251. Rio de Janeiro, abril de 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão* – NBR 7215 NB 1. Rio de Janeiro, dezembro de 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Agregados para concreto* – NBR 7211 EB4. Rio de Janeiro, maio de 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Argamassa e Concreto – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos* – NBR 7222. Rio de Janeiro, março de 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a compressão* – NBR 13279. Rio de Janeiro, fevereiro de 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Peneiras de ensaios – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico* – NM ISSO 3310 - 1. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Cimento Portland Comum* – NBR 5732 EB 1. Rio de Janeiro, julho de 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Cimento Portland Pozolânico* – NBR 5736 EB 758. Rio de Janeiro, julho de 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica* – NM 23. Rio de Janeiro, novembro de 2000.

Areia Artificial. Disponível em <www.pr.gov.br/mineropar> Acesso em 24 de março de 2004.

AREIA artificial pode ser opção mais barata. *Gazeta Mercantil*, p. A-13, 21 de Agosto de 2003.

Argamassas. Disponível em : <www.banet.com.br/construcoes/materiais> Acesso em 05 janeiro de 2004.

BAUER, Falcão L. A. *Materiais de Construção Civil*. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

BIANCHI, Alessandra de Costa. Pó-de-pedra. *Téchne*, São Paulo, ed. 79, p. 13, outubro. 2003.

Características – Cal. Disponível em <www.basicall.com.br> Acesso em 24 de março de 2004.

CAVALHEIRO Odilon Pâncaro. *Argamassa de assentamento: Receita, Dosagem ou Adequação de Traço?*. Santa Maria: Cidade Universitária. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia.

COLLANTES, Mario C.; FRANCO Luiz S. *Avaliação da Resistência de Aderência ao Cisalhamento da Alvenaria Estrutural não Armada em Tripletas Através do Ensaio de Cisalhamento Direto*. São Paulo. Cidade Universitária USP. Escola Politécnica da USP.

Construção Pode Usar Areia Artificial. Disponível em <www.amendolaeng.com.br/empresa> Acesso em 24 de março de 2004.

FILOMENO, Orlando Luz. *Estudo Comparativo Entre Argamassas de Assentamento de Cimento-Cal e Cimento-Saibro*. Florianópolis: Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil.

FRANCO, Luiz S.; COLLANTES, Mario C. *Desenvolvimento de um Método de Resistência de Aderência ao Cisalhamento*. São Paulo. Cidade Universitária USP. Escola Politécnica da USP.

GUIMARÃES, José Epitáfio Passos. *A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia*. 2 ed. São Paulo: Pini, 2002.

HOLSBACH, Turíbio Serpa. *Substituição de Areia Natural por Areia Artificial em Concreto com Slump 8 cm*. Relatório de Estágio, Unijui, Ijuí, 2002.

KUCK, Denis Weiz. *Areia artificial para construção de edifícios*. Disponível em <www.cienciaevida.com.br> Acesso em 24 de março de 2004.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. *Aderência Bloco/argamassa: Determinação da Resistência à Flexão de Prismas*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil, 1994.

PEREIRA, Paulo César. et al. *Teor de Cimento ou A/C: Quem Exerce Maior Influência na Resistência de Aderência?*. Goiânia: UFG. Mestrado em Engenharia Civil, 1999.

PEZENTE, Jorge Henrique. *Cal nas Argamassas*. <www.escolher-e-construir.eng.br> Acesso em 24 de março de 2004.

ROMAN, Humberto Ramos. *Argamassas de Assentamento para Alvenarias*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil, 1991.

Traços Recomendados para Argamassas. Disponível em <www.cimentoeareia.com.br>
Acesso em 05 de janeiro de 2004.

VALVERDE, Fernando Mendes. *Agregados para a construção civil*. Disponível em
www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/suma2000 acesso em 24 de março de 2004.

YAZIGI, Walid. *A Técnica de Edificar*. 3ª ed. São Paulo: Pini: Sinduscon-SP: 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS (Areia Artificial)

Material:.....Areia Artificial..... Procedência:.....

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248								
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada	
n°	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida			
3/8"	9,5	-	-	-	-	-		
1/4"	6,3	-	-	-	-	-		
4	4,8	-	-	0,23	0,01	0,01	0,01	
8	2,4	206,71	17,38	223,69	19,32	18,35	18,36	
16	1,2	342,72	28,82	339,42	29,33	29,075	47,435	
30	0,6	204,66	17,21	196,70	16,99	17,1	64,835	
50	0,3	133,56	11,53	121,76	10,52	11,025	75,86	
100	0,15	81,81	6,88	76,40	6,60	6,74	82,6	
Fundo	<0,15	219,50	18,46	199,04	17,19	17,825		
TOTAL		1188,96	100	1157,24	100		289,1	

Diâmetro Máximo: 2,4 mm

Módulo de Finura: 2,89

MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 128			
A	Massa picnômetro vazio - g		
B	Massa picnômetro + areia seca - g		
C	Massa picnômetro + areia + água - g		
D	Massa picnômetro + água - g		
E	Massa areia seca (B - A) - g		
F	(D - A) - g		
G	(C - B) - g		
H	(F - G) - g		
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA E/H - g/cm ³			
MÉDIA			

Massa específica- Chapman			Massa Unitária Solta - NBR 7251		
Leitura Final - cm ³	Leitura Média - cm ³	M.E.A. - g/cm ³ 500/(L-200)	Peso Bruto Kg	Peso Líquido Médio - Kg	Massa Unitária Média - Kg/dm ³
368	368	2,97	42,68	33,59	1,63
368			41,77		
			42,30		
			TARA: 8,66	VOLUME: 20,60 dcm ³	

APÊNDICE 2 - ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS (Areia Natural)

Material:.....Areia Natural..... Procedência:.....

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA- NBR NM 248								
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada	
n°	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida			
3/8"	9,5	-	-	-	-	-		
1/4"	6,3	-	-	-	-	-		
4	4,8	0,64	0,05	0,55	0,04	0,045	0,045	
8	2,4	3,07	0,24	3,62	0,28	0,226	0,305	
16	1,2	23,17	1,81	24,95	1,92	1,865	2,17	
30	0,6	201,75	15,77	199,30	15,37	15,57	17,74	
50	0,3	722,30	56,46	733,97	56,61	56,535	74,27	
100	0,15	210,73	16,48	216,87	16,73	16,605	90,88	
Fundo	<0,15	117,50	9,19	117,30	9,05	9,12		
TOTAL		1279,16	100	1296,56	100		185,41	

Diâmetro Máximo: 1,2 mm

Módulo de Finura: 1,85

MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 128			
A	Massa picnômetro vazio - g		
B	Massa picnômetro + areia seca - g		
C	Massa picnômetro + areia + água - g		
D	Massa picnômetro + água - g		
E	Massa areia seca (B - A) - g		
F	(D - A) - g		
G	(C - B) - g		
H	(F - G) - g		
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA E/H - g/cm ³			
MÉDIA			

Massa específica- Chapman			Massa Unitária Solta - NBR 7251		
Leitura Final - cm ³	Leitura Média - cm ³	M.E.A. - g/cm ³ 500/(L-200)	Peso Bruto Kg	Peso Líquido Médio - Kg	Massa Unitária Média - Kg/dm ³
392	392,5	2,597	39,85	31,12	1,51
393			39,51		
			39,98		
			TARA: 8,66	VOLUME: 20,60 dcm ³	

Responsável

Técnico Operador



LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA
CIVIL

Material n°:

APÊNDICE 3 - ENSAIOS FÍSICOS DE CIMENTO

Interessado:.....

Marca:..... Classe: CP POZ AF

Saco Granel Tipo: 250 320 400

Observações:.....

FINURA NA PENEIRA ABNT N° 200 (NBR 7215)		Data:	Operador:		
Peneira n°:		Temperatura ambiente:			
Peso amostra (g)	Peso retido (g)	% retida	Fatores de correção	Finura (%)	Finura média

TEMPO DE PEGA (NBR 7215)		Data:	Operador:							
Aparelho n°:		Temperatura ambiente:								
Peso do cimento: g	Peso da água g	% de água:								
Hora do lançamento de água:										
Leitura n°.	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10
Altura (mm)										
Tempo (h, min.)										
Início de pega:			Fim do pega:							

MASSA ESPECÍFICA (NM 23)		Data:	Operador:		
Frasco de Le Chatelier n°:		Temperatura ambiente: 23°C			
Peso de cimento (g)	Temperatura do frasco (°C)	Leitura de volumes (cm ³)	Volumes corrigidos (cm ³)	Volume adotado (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
64	Inicial: 23	Inicial: 0,1	Inicial:		
	Final:	Final: 23,4	Final:	23,3	2,74
64	Inicial: 23	Inicial: 0,1	Inicial:		
	Final:	Final: 23,4	Final:	23,3	2,74
Massa específica média:		g/cm ³			

MOLDAGEM DE C.P. À COMPRESSÃO (NBR 7215)		Operador:			
Idades de ensaios	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
Data de moldagem					
Hora de moldagem					
Data de ensaio					

Massa Unitária Solta		
Peso Líquido (Kg)	Média Peso Líquido (Kg)	M.U.S. (Kg/dm ³)
4,104	1,95	0,979
4,040		
4,005		
	Média	



LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA
CIVIL

Material n°:

APÊNDICE 4 - ENSAIOS FÍSICOS DE CAL

Interessado:.....

Marca:.....

Observações:.....

FINURA NA PENEIRA ABNT N° 200 (NBR 7215)		Data:	Operador:		
Peneira n°:		Temperatura ambiente:			
Peso amostra (g)	Peso retido (g)	% retida	Fatores de correção	Finura (%)	Finura média

TEMPO DE PEGA (NBR 7215)		Data:	Operador:							
Aparelho n°:		Temperatura ambiente:								
Peso do cimento: g	Peso da água g	% de água:								
Hora do lançamento de água:										
Leitura n°.	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10
Altura (mm)										
Tempo (h, min.)										
Início de pega:			Fim do pega:							

MASSA ESPECÍFICA (NM 23)		Data:	Operador:		
Frasco de Le Chatelier n°:		Temperatura ambiente: 23°C			
Peso de cal (g)	Temperatura do frasco (°C)	Leitura de volumes (cm ³)	Volumes corrigidos (cm ³)	Volume adotado (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
64	Inicial:	Inicial: 0,00	Inicial:		
	Final:	Final: 25,56	Final:	25,56	2,504
64	Inicial:	Inicial: 0,00	Inicial:		
	Final:	Final: 25,56	Final:	25,56	2,504
Massa específica média:		g/cm ³			

MOLDAGEM DE C.P. À COMPRESSÃO (NBR 7215)		Operador:			
Idades de ensaios	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
Data de moldagem					
Hora de moldagem					
Data de ensaio					

Massa Unitária Solta		
Peso Líquido (Kg)	Média Peso Líquido (Kg)	M.U.S. (Kg/dm ³)
	Média	

FICHA DE ENSAIO

Interessado:.....

Procedência do material:.....(obra ou local)

Data de recebimento:.....Ensaiado por:.....

APÊNDICE 5 - ENSAIO: COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICO DE ARGAMASSA

identificação		moldagem		data do ensaio	idade dias	diâmetro Cm		área Cm ²	resistência ruptura	
lab.	Obra	data	hora			medido	médio		Kgf	Mpa
01		16/12		23/12	7		5,0		3320	
02		16/12		23/12	7		5,0		3600	
03		16/12		23/12	7		5,0		3520	
04		16/12		23/12	7		5,0		3400	
05		16/12		30/12	14		5,0		4360	
06		16/12		30/12	14		5,0		4680	
07		16/12		30/12	14		5,0		4560	
08		16/12		30/12	14		5,0		5000	

Moldador:

Indicações declaradas (parte da estrutura, cimento, aditivo, etc.):

FICHA DE ENSAIO

Interessado:.....

Procedência do material:.....(obra ou local)

Data de recebimento:.....Ensaiado por:.....

ENSAIO: COMPRESSÃO AXIAL DE CP CILÍNDRICO DE CONCRETO E/OU ARGAMASSA

identificação		moldagem		data do Ensaio	idade dias	Diâmetro Cm		área Cm ²	resistência ruptura	
						medido	médio		Kgf	Mpa
09		16/12		13/01	28		5,0		5880	
10		16/12		13/01	28		5,0		5320	
11		16/12		13/01	28		5,0		7080	
12		16/12		13/01	28		5,0		5600	

Moldador:

Indicações declaradas (parte da estrutura, cimento, aditivo, etc.):

APÊNDICE 6 - LAUDO TÉCNICO DE CIMENTO