



Márcio Rodrigo Nunes de Souza

**Agregado miúdo proveniente do Jari/AP  
como material de construção civil na  
utilização de argamassas**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia  
Mestrado Profissional e Processos Construtivos e  
Saneamento Urbano

Dissertação orientada pelo Professor Dênio Ramam Carvalho de Oliveira



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
MESTRADO EM PROCESSOS CONSTRUTIVOS E SANEAMENTO URBANO**

**Agregado miúdo proveniente do Jari/AP como  
material de construção civil na utilização de  
argamassas**

**Márcio Rodrigo Nunes de Souza**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do grau de Mestre.

**Orientador: Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira**

**Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço**

Belém – PA  
2015

# **Agregado miúdo proveniente do Jari/AP como material de construção civil na utilização de argamassas**

**Márcio Rodrigo Nunes de Souza**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, área de concentração Estruturas, construção civil e materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (PPCS) do Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Aprovada em        de        de 2015.

---

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
(Coordenador do PPCS)

---

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
(Orientador – UFPA)

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Bernardo Borges Pompeu Neto  
(Examinador Interno - UFPA)

---

Profa. Dra. Nívea Gabriela Benevides de Albuquerque  
(Examinadora Externa – UNB)

A Deus que me inspirou e me deu forças para a realização deste trabalho.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, minha mãe Jacira Pinheiro Nunes (in memória) e meu pai Zacheu Martins de Souza (in memória) que, estejam onde estiverem sempre estarão no meu coração em cada momento da minha vida. A minha esposa, Lívia Fernanda Costa Jucá, a meu filho Márcio Rodrigo Nunes de Souza Filho e aos meus irmãos, em especial ao Sergio Ricardo Nunes de Souza pela força e estadia em Belém-PA.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de oliveira, pela orientação, pela amizade e disponibilidade permanente para me atender durante a realização deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal do Pará que ministraram o curso de Mestrado no município de Tucuruí/PA, em especial ao professor Dr. Marcelo de Souza Picanço, pelo ensinamentos e apoios recebidos.

Aos laboratoristas do Laboratório de materiais de construções da UFPA – Belém-PA, pelo empenho e colaboração.

A todos os demais que, direta ou indiretamente contribuíram na realização.

## RESUMO

Os agregados miúdos naturais são bastante utilizados na construção civil para a produção de argamassas e concretos, sua influência interfere no consumo de água, pois quanto maior o grau de finura do material maior será o fator a/c, assim como a influência da granulometria quanto mais uniforme o agregado for maior será o fator a/c, e devido a necessidade de utilização desse material e por existências de jazidas com agregados miúdos de cor avermelhada na região do Jari-AP, verificou-se a importância da análise desse agregado miúdo de Laranjal do Jari-AP para utilização como material de construção em argamassas fazendo um comparativo relacionando as características entre os agregados miúdos utilizados na construção civil, em especial o material encontrado na região do Jari-AP e o agregado miúdo oriundo da região metropolitana de Belém-PA. O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento deste material através dos ensaios de caracterização dos materiais (ensaios de determinação de massa unitária, massa específica, granulometria, teor de materiais pulverulentos, teor de argila e traço em argamassa), os ensaios mecânicos (ensaios de resistência à compressão da argamassa e o ensaios arrancamento da argamassa em revestimentos em paredes ) e os ensaio de durabilidade (reação álcalis agregado) realizado apenas na amostra de agregado de Laranjal do Jari-AP, e com base nos resultados experimentais obtidos, na fundamentação teórica e nas normas vigentes, que em relação a caracterização dos materiais e os ensaios de durabilidade, verificamos que em ambas as amostras, de agregados miúdos de Laranjal do Jari-AP e da região metropolitana de Belém-PA, ficaram dentro dos padrões da ABNT, em relação ao ensaios mecânicos verificou-se que resistência a argamassa com agregado miúdo de Laranjal do Jari-AP com 07 dias, em média, foi maior 28% do que a argamassa com agregado miúdo de Belém e aos 28 dias a resistência da argamassa com agregado miúdo de Laranjal do Jari-AP, em média, foi 51% maior que a argamassa com agregado miúdo de Belém-PA, assim como no ensaio de resistência de aderência a tração onde o agregado do Jari também é superior ao agregado de Belém. Com isso conclui-se que o agregado oriundo de Laranjal do Jari-AP apresentou boa resistência apresentando um ótimo potencial servindo de material para ser usado em argamassas na construção civil.

**Palavras-chaves:** Argamassa. Agregado miúdo. Construção civil.

## ABSTRACT

The aggregates natural fine are widely used in construction for the production of lime cast and concretes, its influence interfere with water consumption, since the greater the degree of fineness of the material larger will be the factor  $a / c$ , and the influence of particle size as more uniform aggregate is larger the factor  $a / c$ , and due to necessity of use of such materials and stocks of deposits with reddish fine aggregates located in the region of Laranjal do Jari state of Amapa. It was also verified the importance of analysis of this fine aggregate located in that region for its use as a building construction material and its composition as lime cast material used in building construction as well as doing a comparative listing of characteristics of the fine aggregates used in construction, especially the material found in the region of Laranjal do Jari. Although this fine aggregate derived from the metropolitan region located in Belém-PA. The objective of this study was to analyze the behavior of this material through the material characterization tests (tests used to determine the unit mass, density, grain size, powdery material content, clay content and dash in lime cast), the mechanical tests (test resistance of the mortar compression and tearing tests mortar coatings on walls), and the durability test (reaction alkali aggregate) performed aggregate sample only in Laranjal do Jari-AP, and based on the experimental results, the theoretical backgrounds and the current regulations, which compared the characterization of materials and durability testing, we found that in both samples of fine aggregates of Laranjal do Jari-AP and the metropolitan region of Belém-PA, were within ABNT standards, in regarding to the mechanical tests. It was also found that resistance to mortar Orangery of fine aggregate of that region with 07 days on average was higher 28% than the mortar with fine aggregate of Belem and 28 days the mortar strength with Orangery of fine aggregate of Laranjal do Jari state of Amapa - AP on average was 51% higher than the mortar with fine aggregate found in Belém-PA, as well as traction grip strength test where the Jari household is also higher than the aggregate of Belem. Thus it is concluded that the aggregate come from Laranjal do Jari-AP showed good resistance presenting like that a great potential serving as a good material to be used in mortars in the field of building construction.

**Keywords:** Mortar. Fine aggregate. Construction.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1	Laranjal do Jari-AP	1
Figura 2	Pesquisa de campo	6
Figura 3	Extração em fossa seca	6
Figura 4	Extração do leio do rio	7
Figura 5	Procedimento experimental	24
Figura 6	Local de coleta da amostra em Laranjal do Jari-AP	25
Figura 7	Imagem do ensaio da massa unitária	26
Figura 8	Frasco de Chapmam	27
Figura 9	Peneirador mecânico com peneiras da série normal	28
Figura 10	Peneiras utilizadas no ensaio de teor de materiais pulverulentos.	29
Figura 11	Peneiras utilizadas no ensaio de teor de argila.	31
Figura 12	Ensaio de corpo-de-prova à compressão	33
Figura 13	Amostras para o ensaio de aderência	34
Figura 14	Imagem das amostras para o ensaio de reação álcali-agregado (RAA)	35
Figura 15	Curva Granulométrica	37
Figura 16	Evolução da resistência à compressão da argamassa com a idade	39
Figura 17	Valores médios de resistência à tração por arrancamento	40
Figura 18	Amostra da parede após o ensaio	41
Figura 16	Expansão dos agregados ao longo do tempo	41

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1	Tipos de Cimento Portland normalizados no Brasil (ABNT)	8
Tabela 2	Aplicações dos diferentes tipos de cimento Portland (ABCP)	11
Tabela 3	Exigências mecânicas e reológicas para argamassas	20
Tabela 4	Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos	23
Tabela 5	Teor de argila	31
Tabela 6	Granulometria dos agregados miúdos de Belém – PA	37
Tabela 7	Granulometria dos agregados miúdos de Laranjal do Jari-AP	37
Tabela 8	Resultados da resistência à compressão axial aos 7 e aos 28 dias	39
Tabela 9	Resultados da resistência tração por arrancamento	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	2
1.2	OBJETIVO GERAL	2
1.2.1	<i>Objetivo específico</i>	2
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1	GENERALIDADES	4
2.2	AGREGADO MIÚDO	4
2.3	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO AGREGADO MIÚDO	5
2.3.1	<i>Extração manual</i>	5
2.3.2	<i>Extração em área de várzea</i>	5
2.3.3	<i>Extração em fossa seca</i>	6
2.3.4	<i>Extração em leitos de curso d'água</i>	7
2.3.5	<i>Desmonte Hidráulico</i>	7
2.4	CIMENTO	8
2.4.1	<i>Tipos de cimento</i>	8
2.4.1.1	<i>Cimento CP-I</i>	9
2.4.1.2	<i>Cimento CP-II</i>	9
2.4.1.3	<i>Cimento CP-III</i>	9
2.4.1.4	<i>Cimento CP-IV</i>	10
2.4.1.5	<i>Cimento CP-VARI</i>	10
2.4.1.6	<i>Cimento resistentes aos sulfatos</i>	10
2.5	ARGAMASSA	13
2.5.1	<i>Argamassa de Cal</i>	13
2.5.2	<i>Argamassa de cimento</i>	13
2.5.3	<i>Argamassa mista</i>	14
2.6	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	14
2.6.1	<i>Propriedade no estado fresco</i>	14
2.6.1.1	<i>Trabalhabilidade</i>	14

2.6.1.2	<i>Aderência inicial</i>	15
2.6.1.3	<i>Retenção de água</i>	16
2.6.1.4	<i>Massa específica e teor de ar incorporado</i>	17
2.6.2	<i>Propriedades no estado endurecido</i>	18
2.6.2.1	<i>Aderência</i>	18
2.6.2.2	<i>Capacidade de absorção e deformações</i>	18
2.6.2.3	<i>Retração</i>	19
2.6.2.4	<i>Resistência mecânica</i>	20
2.6.2.5	<i>Durabilidade</i>	20
2.7	<b>ARGAMASSA COMO REVESTIMENTO</b>	20
2.7.1	<i>Chapisco</i>	21
2.7.2	<i>Emboço</i>	22
2.7.3	<i>Reboco</i>	22
2.7.4	<i>Principais patologias</i>	23
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>24</b>
3.1	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS</b>	25
3.1.1	<i>Massa Unitária</i>	25
3.1.2	<i>Massa específica</i>	26
3.1.3	<i>Granulometria</i>	27
3.1.4	<i>Teor de materiais pulverulentos</i>	29
3.1.5	<i>Teor de argila</i>	30
3.1.6	<i>Dosagem</i>	31
3.2	<b>ENSAIOS MECÂNICOS</b>	32
3.2.1	<i>Resistência à compressão da argamassa</i>	32
3.2.2	<i>Resistência de aderência à tração</i>	33
3.3	<b>DURABILDADE</b>	34
3.3.1	<i>Reação álcali-agregado (RAA)</i>	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSÕES</b>	<b>36</b>
4.1	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS</b>	36
4.1.1	<i>Massa unitária</i>	36
4.1.2	<i>Massa específica</i>	36
4.1.3	<i>Granulometria</i>	36
4.1.4	<i>Teor de materiais pulverulentos</i>	38

4.1.5	<i>Teor de argila</i>	38
4.1.6	<i>Dosagem</i>	38
4.2	ENSAIOS MECÂNICOS	38
4.2.1	<i>Resistência à compressão</i>	39
4.2.2	<i>Resistência de aderência à tração</i>	40
4.3	ENSAIO DE DURABILIDADE	41
4.3.1	<i>Reatividade álcali-agregado, Reação álcali-agregado (RAA)</i>	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>42</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
<b>6</b>	<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O município de Laranjal do Jari-AP (Figura 1) foi criado em 17 de dezembro de 1987. É o terceiro município mais populoso do estado do Amapá e fica em frente a Cidade de Monte Dourado (Pará), separado pelo Rio Jari, por cerca de 243 metros. Laranjal do Jari, já foi parte do município de Mazagão. Localiza-se à margem esquerda do rio Jari, que separa o Estado do Amapá ao Pará, a 260 km da capital Macapá. Sua população tem crescido muito nos últimos anos e recentemente, o município passou a integrar cerca de 90 % de sua extensão territorial dentro da área de proteção ambiental (APA), onde se encontra o Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque. Devido à escassez de jazidas de areia na região houve a necessidade de se estudar a viabilidade técnica de jazidas alternativas existentes, sendo encontrada uma jazida que fornece agregado miúdo com coloração avermelhada, ou seja, de coloração não convencional.



Figura 1 – Laranjal do Jari – AP ([www.maps.google.com.br](http://www.maps.google.com.br), acessado em 04/02/2015).

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), o agregado miúdo é a areia de origem natural, ou resultante de britamento de rochas estáveis, cujo grãos passam pela peneira ABNT nº 4 (4,8 mm) e ficam retidos na peneira ABNT nº 200 (0,075 mm) e são materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes e com dimensões e propriedades adequadas para o uso na construção civil. Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) o agregado deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos. Adicionalmente, segundo CUCCHIERATO (2000), os agregados são os materiais de construção mais utilizados em todo o mundo e os recursos de agregados para a construção civil no Brasil são abundantes e, em geral, os grandes centros consumidores encontram-se em regiões geologicamente

favoráveis a existência de reservas com qualidade adequada às aplicações na construção civil (ALMEDA *et al.*, 2005).

Para pode ser utilizado, o agregado deve ter uma boa resistência mecânica à compressão e abrasão e uma boa durabilidade, apresentando boa resistência a elementos agressivos, além de não possuir substâncias deletérias. Para NEVILLE (1982), estas substâncias podem ser impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência com a pasta de cimento e partículas fracas e friáveis que podem alterar a resistência e a característica de concretos e argamassas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Todos estes fatores levaram ao objetivo deste trabalho que é a caracterização física e mecânica da areia avermelhada encontrada na região do Jari, além da realização de um estudo comparativo com o agregado miúdo tradicional (areia branca) encontrado na região metropolitana de Belém-PA, também comercializada em todo o estado do Amapá. Foram realizados ensaios de caracterização (massa unitária, massa específica, teor de impurezas, dosagem) ensaios de resistência à mecânica (compressão e tração na argamassa) e o ensaio de durabilidade (reação álcalis agregado).

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar experimentalmente o agregado miúdo de Laranjal do Jari-AP para utilização como material de construção em argamassas.

### 1.1.1 *Objetivo específico*

Fazer um comparativo relacionando as características entre os agregados miúdos utilizados na construção civil, em especial o material encontrado na região do Jari-AP e o agregado miúdo oriundo da região metropolitana de Belém-PA.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

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

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

- No Capítulo 2 é apresentada a Revisão Bibliográfica onde será explanada a classificação da areia, os tipos de extração e suas principais características.
- No Capítulo 3 são apresentados os Métodos e Ensaio utilizados na pesquisa.
- No Capítulo 4 são apresentados os Resultados e as Análises da pesquisa.
- No Capítulo 5 são apresentadas as Conclusões e Considerações Finais assim como as Sugestões para Futuras Pesquisas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GENERALIDADES

Por serem relativamente baratos e por não reagirem significativamente com os aglomerantes e com a água, os agregados, de maneira geral, historicamente têm sido tratados como material inerte de simples preenchimento do concreto de cimento Portland (MEHTA & MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997). SBRIGHI NETO (2005) relata que até o início do século XX, os agregados eram abundantes, baratos e de boa qualidade e por isso a eles era atribuído esse papel secundário no produto concreto. No entanto, com o passar do tempo, sua importância técnica e econômica foi evidenciada. A elevada competição comercial entre os consumidores de agregados e a conscientização da sociedade em relação ao meio ambiente, contribuíram para este fato.

Nos últimos anos, o esgotamento das jazidas de agregado miúdo natural nas proximidades dos grandes centros consumidores, o aumento dos custos de transporte, o acirramento da competição comercial entre os produtores de concreto e a conscientização da sociedade, que demanda leis de proteção ambiental, vieram a contribuir para um melhor entendimento sobre a importância dos agregados (SBRIGHI NETO, 2005).

### 2.2 AGREGADO MIÚDO

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), os agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos com propriedades adequadas para o uso na construção civil. Podendo ser definido sob diversas óticas, entre elas: a geológica (a origem de formação); à densidade (leves, normais, pesados); tamanho (gráudo, miúdo); origem de produção (naturais, artificiais). A classificação quanto ao tamanho, é sem dúvida a mais significativa para efeitos práticos de utilização dos agregados. (FRAZÃO, 2002). Para poder ser utilizado o agregado deve ter uma boa resistência mecânica à compressão e abrasão e uma boa durabilidade, apresentando boa resistência a elementos agressivos, além de não possuir substâncias deletérias. Para NEVILLE (1982) estas substâncias podem ser impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência com a pasta de cimento e partículas fracas e friáveis que podem alterar a resistência e a característica de concretos e argamassas.

A NBR 7211 (ABNT, 2005), o agregado miúdo é a areia de origem natural, ou resultante de britamento de rochas estáveis, cujo grãos passam pela peneira ABNT nº 4 (4,8 mm) e ficam retidos na peneira ABNT nº 200 (0,075 mm). Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), o agregado deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias deletérias.

## 2.3 MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO AGREGADO MIÚDO.

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

### 2.3.1 *Extração Manual*

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

### 2.3.2 *Extração em área de várzea*

Normalmente o nível do lençol freático é pouco profundo nas várzeas, fazendo com que o tempo de extração sem o uso de dragas de sucção seja pequeno. Quando o nível do lençol freático é atingido, há a introdução das dragas de sucção, que conduzem o material até o local de estocagem, onde a secagem ocorre naturalmente por escoamento gravitacional e evaporação, e as partículas dissolvidas e as águas retornam para a lagoa através de canais coletores. Neste tipo de extração a areia é comercializada da forma como foi extraída, ou seja, sem sofrer qualquer tipo de tratamento químico, sendo lavada para a retirada da argila, e peneirada em grelhas fixas conforme a Figura 2, para a separação do cascalho e materiais estranhos como troncos, galhos e folhas, seguindo posteriormente para as pilhas de decantação. (CAMPOS &

FERNANDES, 2005). Foi desta forma que foi extraído o agregado miúdo, em Laranjal do Jari-AP, utilizado nesse estudo.



Figura 2- Pesquisa de campo realizada em Laranjal do Jari-AP

### 2.3.3 *Extração em fossa seca*

A extração a seco ocorre quando a jazida encontra-se acima do lençol freático. É um processo simples em que são empregados tratores de esteira, retroescavadeiras e caminhões para carregar o agregado que será separado dos dejetos indesejáveis e posteriormente separado por granulometria. Quando a extração atinge o nível d'água são introduzidas dragas para continuar com a retirada do material, seguindo o mesmo molde da extração em áreas de várzea (CAMPOS & FERNANDES, 2005). Foi este tipo de extração que foi obtido o agregado miúdo para este estudo e esse material é comercializado e utilização na construção civil em geral no município de Laranjal do Jari-AP.



Figura 3 – Extração em fossa seca (www.irpaa.org, acessado em 04/04/2015)

#### 2.3.4 *Extração em leitos de curso d'água*

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

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



Figura 4- Extração do leito do rio ([www.diariodovale.com.br](http://www.diariodovale.com.br), acessado em 04/04/2015)

#### 2.3.5 *Desmorte hidráulico*

O desmorte hidráulico consiste na desagregação da areia utilizando-se jatos d'água com alta pressão. Esses jatos incidem na base dos taludes da cava provocando desmoronamento dos sedimentos. Com o material no solo, outro jateamento é executado para que ocorra uma melhor desagregação dos sedimentos. Após a separação do material a mistura de água e areia segue para as bacias de acumulação para ser posteriormente beneficiada e classificada (CHUCHIERATO, 2000).

## 2.4 CIMENTO

O cimento Portland é definido como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos principalmente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio (ASTM C 150 bapud METHA & MONTEIRO, 2008). De modo geral, as características de perda de fluidez e solidificação do concreto são regidas por reações de hidratação do cimento. Cabe observar que a hidratação do cimento depende, dentre outros fatores, da finura do cimento, relação água/cimento e temperatura de cura. Tais fatores afetam a velocidade das reações, grau de hidratação do cimento e conseqüentemente as propriedades da pasta de cimento endurecida (KI-HARA, 2005).

### 2.4.1 Tipos de cimento

A Tabela 1 apresenta o tipo e a constituição dos cimentos Portland normalizados no Brasil, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas–ABNT.

Tabela 1 – Tipos de Cimento Portland normalizados no Brasil.

Tipo de cimento Portland	Sigla	Constituição				Material carbonático	Norma da ABNT/NBR
		Clinker + gesso	Escória	Pozolana			
Comum	CP I	100%		0%		5732	
	CP I-S	95 - 99%		1 - 5%			
Composto	CP II - E	56 - 94%	6 - 34%	0%	0 - 10%	11578	
	CP II - Z	76 - 94%	0%	6 - 14%	0 - 10%		
	CP II - F	90 - 94%	0%	0%	6 - 10%		
Alto forno	CP III	25 - 65%	35 - 70%	0%	0 - 5%	5735	
Pozolânico	CP IV	45 - 85%	0%	15 - 50%	0 - 5%	5736	
Alta resistência inicial (ARI)	CP V	95 - 100%	0%	0%	0 - 5%	5733	
Resistente aos sulfatos	RS	Idêntico a um dos cinco anteriores do qual é derivado				5737	
Destinados a cimentação P.P	CPP classe G	100%		0%		9831	

#### 2.4.1.1 *Cimento CP-I*

De acordo com a NBR 5732 (ABNT, 2009), o cimento Portland comum não possui nenhum tipo de aditivo, apenas o gesso que tem a função de retardar o início de pega do cimento para que possamos ter um tempo de aplicação. Tem alto custo e menos resistência. Sua produção é toda direcionada para a indústria, classe de resistência: 25 MPa.

#### 2.4.1.2 *Cimento CP-II*

De acordo com a NBR 11578 (ABNT, 1997), o cimento Portland composto tem a adição de outros materiais na sua mistura que conferem a este cimento um menor calor de hidratação (libera menos calor quando entra em contato com a água), classe de resistência: 25, 32 e 40 MPa. São 03 tipos de CP-II:

CP-II E: cimento Portland com adição de escória de alto-forno.

CP-II Z: cimento Portland com adição de material pozolânico.

CP-II F: cimento Portland com adição de material carbonático – fíler.

O CP-II é versátil e aplicado a todas as fases de obras.

#### 2.4.1.3 *Cimento CP-III*

De acordo com a NBR 5735 (ABNT, 1991), o cimento Portland de Alto-forno tem na sua composição de 35% a 70% de escória de alto-forno. Apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É menos poroso e mais durável, classe de resistência: 25, 32 e 40 MPa.

#### 2.4.1.4 *Cimento CP-IV*

De acordo com a NBR 5736 (ABNT, 1991), o cimento Portland tem na sua composição de 15% a 50% de material pozolânico. Por isso, proporciona estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, em especial de ataque por sulfatos. Possui baixo calor de hidratação, o que o torna bastante recomendável na concretagem de grandes volumes e sob temperaturas elevadas. É pouco poroso sendo resistente a ação da água do mar e esgotos. Foi este tipo de cimento que foi utilizado no estudo na mistura com os agregados, a classe de resistência: 25 e 32 MPa.

#### 2.4.1.5 *Cimento CP-VARI*

De acordo com a NBR 5733 (ABNT, 1991), o cimento Portland de Alta Resistência Inicial devido ao seu processo de fabricação tem alta reatividade nas primeiras horas de aplicação fazendo que atinja resistências elevadas em um curto intervalo de tempo. Ao final dos 28 dias de cura também atinge resistências maiores que os cimentos convencionais. É muito utilizado em obras industriais que exigem um tempo de desforma menor. É recomendado apenas para a fabricação de concretos.

Em relação aos cuidados necessários no armazenamento do cimento Portland, Bauer (2000) recomenda que o local deve estar isento de qualquer risco que possa causar a hidratação. A embalagem de papel dos sacos de cimento não garante a impermeabilização necessária, razão pela qual não se deve armazenar cimento por muito tempo. Os barracões para armazenamento de cimento devem ser bem cobertos e fechados, devendo o assoalho estar acima do nível do solo.

#### 2.4.1.6 *Cimento resistente aos sulfatos*

De acordo com a NBR 5737 (ABNT, 1992), o cimento resistente aos sulfatos oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Pode ser usado em concreto dosado em central, concreto de alto desempenho, obras de recuperação estrutural e industriais, concretos projetado, armado e protendido, elementos pré-moldados de concreto, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada, argamassas e concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas,

subterrâneas e marítimas. Cinco tipos básicos de cimento - CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI - podem ser resistentes aos sulfatos, desde que se enquadrem em pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
- Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa;
- Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

A Tabela 2 apresenta a diversas aplicações dos mais variados tipos de cimentos segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland–ABCP.

Tabela 2 - Aplicações dos diferentes tipos de cimento Portland (ABCP, 2002).

Aplicação	Tipos de cimentos Portland
Argamassa de revestimento e assentamento de tijolos e blocos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z), CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de assentamento de azulejos e ladrilhos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Pozolânico (CP IV)
Argamassa de rejuntamento de azulejos e ladrilhos	Branco (CPB)
Concreto simples (sem armadura)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto magro (para passeios e enchimentos)	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Concreto armado com função estrutural	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras antes do lançamento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Concreto protendido com protensão das barras após o endurecimento do concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência

Tabela 2 - Aplicações dos diferentes tipos de cimento Portland (ABCP, 2002).  
( Continuação )

Concreto armado para desforma rápida, curado a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento curados por aspersão de água	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco Estrutural (CPB Estrutural) (*)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados por aspersão de água	De Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Elementos pré-moldados de concreto e artefatos de cimento para desforma rápida, curados a vapor ou com outro tipo de cura térmica	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Pavimento de concreto simples ou armado	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Pisos industriais de concreto	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
Concreto arquitetônico	Branco Estrutural (CPB Estrutural)
Argamassa armada	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) e Branco, Estrutural (CPB Estrutural)
Solo-Cimento	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)
Argamassas e concretos para meios agressivos (água do mar e de esgotos)	De Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e Resistente a Sulfatos
Concreto-massa	De Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV) e de Baixo Calor de Hidratação
Concreto com agregados reativos	Comum (CP I, CP I-S), Composto (CP II-E, CP II-Z, CP II-F), de Alto-Forno (CP III) e Pozolânico (CP IV)

## 2.5 ARGAMASSA

A argamassa, segundo SABBATINI (1986), pode ser conceituada como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. Nesta mesma norma brasileira são definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação. Podem-se encontrar definições como:

- Adições: materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração proporcionalmente;
- Argamassa de cal: argamassa preparada com cal como único aglomerante;
- Argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento como único aglomerante;
- Revestimento: é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

Usualmente nas obras utilizam-se as argamassas de cal, argamassas de cimento e areia e as argamassas de cimento, cal e areia, mais conhecidas como argamassas mistas.

### 2.5.1 *Argamassa de Cal*

Este tipo de argamassa é composta por cal, agregado miúdo e água. A pasta de cal preenche os vazios entre os grãos do agregado miúdo, melhorando a plasticidade e a retenção de água. A argamassa de cal recebe usualmente o nome de argamassa intermediária, pois quando se utiliza a cal virgem este tipo de argamassa é utilizado para a maturação da cal, para posteriormente ser misturado o cimento.

### 2.5.2 *Argamassa de Cimento*

A argamassa de cimento Portland é composta, essencialmente, por cimento, agregado miúdo e água. Adquire elevada resistência mecânica em pouco tempo, porém, tem pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água. Este tipo de argamassa tem emprego específico para certas situações, como por exemplo na confecção de pisos como argamassa armada, sendo raramente utilizadas em revestimentos de alvenaria. É muito utilizada na confecção de chapisco para ser aplicada nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto para aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassas mistas. Foi com esta mistura que foi feito o estudo dos agregado miúdos deste trabalho.

### 2.5.3 Argamassa Mista

Este tipo de argamassa utiliza basicamente cimento, cal, agregado miúdo e água. Segundo SABBATINI (1984), os ingleses utilizam a proporção 1 : 3 (aglomerante : areia seca) em volume como traço básico, pois partem do princípio de que com esta proporção os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante (cimento e cal). Esta proporção é muito utilizada também no Brasil, como os tradicionais traços em volume 1:1:6 (cimento : cal : areia) para revestimentos externos e 1:2:9 para revestimentos internos.

## 2.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

### 2.6.1 Propriedade no estado fresco

#### 2.6.1.1 Trabalhabilidade

É a combinação das características das argamassas relacionadas com a coesão, consistência, plasticidade, viscosidade, adesividade e massa específica. Segundo CARASEK (2007), trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial.

A obtenção de um concreto com trabalhabilidade adequada, ao contrário do que se imagina, não depende unicamente da quantidade de água utilizada. Nem sempre o acréscimo de água na mistura leva a uma maior trabalhabilidade, podendo, muitas vezes, levar à

exsudação, à segregação, ou simplesmente, a um aumento do abatimento. A trabalhabilidade depende de uma seleção e proporção adequada dos materiais e muitas vezes do uso de adições e aditivos. Os teores de pasta, de argamassa e de agregados, em função da trabalhabilidade desejada, devem ser compatibilizados. Isto se consegue mediante o conhecimento das características de cada componente e de seu proporcionamento correto na mistura.

Segundo NEVILLE (1997) não existe um ensaio aceitável que determine diretamente a trabalhabilidade do concreto. No entanto, inúmeras tentativas têm sido feitas para correlacionar a trabalhabilidade com alguma grandeza física fácil de ser determinada. Dentre os ensaios que indicam indiretamente a trabalhabilidade dos concretos convencionais e bombeados pode-se citar o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone.

#### 2.6.1.2 *Aderência inicial*

É a capacidade que a argamassa apresenta para ancorar na superfície da base através da penetração da pasta nos poros, reentrâncias e saliências seguidos do endurecimento gradativo da pasta. Segundo CARASEK (2007), a adesão inicial, também denominada de “pegajosidade” é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementação da adesão. Esse fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com sua base, melhorando, assim, a adesão.

Tentativas de explicação da aderência entre materiais distintos passam pelo entendimento do que acontece na superfície de cada um, bem como na interface surgida com a união das mesmas. Nesse sentido, é interessante ter-se em mente que qualquer processo de aderência é um fenômeno complexo, e pode ser formado principalmente pela interação entre os seguintes mecanismos:

a) Intertravamento mecânico, onde a penetração do adesivo nas irregularidades do substrato é a principal força atuante na aderência, tendo a rugosidade da base aderente como um fator preponderante para a majoração da aderência;

b) Difusão de moléculas, que controla o transporte de massa entre sólidos e líquidos e representa um movimento de átomos, íons, ou moléculas como resultado da diferença de concentração existente. Em uma interface podem ocorrer vários tipos de processos difusivos; a resistência de aderência também será dependente da natureza das

ligações interatômicas resultantes desse processo físico-químico (HULL & CLYNE, 1996);

c) Transferência de elétrons no contato interfacial, formando uma camada dupla de carga elétrica na interface podendo contribuir significativamente para o desenvolvimento da aderência. As ligações eletrostáticas (iônicas) são as mais fortes que se constata;

d) Adsorção de partículas, onde as mesmas podem aderir devido às forças interatômicas e intermoleculares que são estabelecidas nas superfícies dos adesivos e substratos após um contato molecular íntimo.

### 2.6.1.3 *Retenção de água*

A retenção de água corresponde à propriedade que confere à argamassa a capacidade de essa não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período adequado de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação. O aumento da retenção de água da argamassa pode ser conseguido de várias maneiras. Uma delas é aumentar o teor de materiais constituintes com elevada área específica. Em se tratando de aumentar a área específica dos materiais constituintes, apresenta-se como proposição mais usual a utilização de saibro e cal na argamassa. Esses dois tipos de materiais possuem partículas muito finas, proporcionando uma elevada área específica, conseqüentemente, a área a ser molhada é maior, aparecendo tensões superficiais que tendem a manter a água adsorvida nas partículas. A outra forma de incrementar a capacidade de retenção de água da argamassa é utilizar aditivos cujas características impedem a perda de água, como é o caso dos derivados da celulose (aditivos retentores de água).

Quanto à determinação da retenção de água da argamassa, o método de ensaio, geralmente, mais utilizado é o preconizado pela NBR 13277 (1995). O princípio desse método baseia-se na quantificação da massa de água retida na argamassa, após essa ser submetida a uma sucção realizada por discos de papel de filtro colocado sobre a argamassa fresca, sob uma dada pressão, promovida por um peso assentado sobre os discos durante 2 minutos. Nessa metodologia, a argamassa é confinada lateral e inferiormente em um recipiente, ficando apenas com a face superior exposta, em contato com os discos de papel-filtro. A perda de água, portanto, será dada através da sucção promovida pela absorção de água dos papéis de filtros. Observa-se que a força gravitacional e a tensão gerada pelo confinamento agirão, impedindo a perda de água da amostra. Motivos como esses são supostos por pesquisadores (TRISTÃO,

1995; NAKAKURA, 2003) como justificativa, de que a metodologia apresentada não mostra sensibilidade capaz de avaliar essa propriedade. Outra forma de se mensurar a retenção de água da argamassa consiste em medir a massa de água retida em uma amostra de argamassa, após realização de um tratamento padronizado de sucção. Esse método de ensaio é preconizado pelo CSTB 2669-4. Nesse caso, após se realizar a produção da argamassa, essa é colocada em um equipamento (funil de Büchner), a qual será submetida a uma sucção de 50 mm Hg, realizada por uma bomba de vácuo, durante 15 minutos.

#### 2.6.1.4 *Massa específica e teor de ar incorporado*

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios existentes no volume da argamassa, em contrapartida, para determinação da massa relativa e/ou massa unitária, consideram-se os vazios conforme afirmam MACIEL, BARROS & SABBATINI (1998). De acordo com CARASEK (2007), a massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade.

De acordo com METHTA E MONTEIRO (2008), pode-se encontrar vazios preenchidos por ar dentro do concreto de duas formas: através de bolhas de ar incorporado ou através de vazios de ar aprisionado. A NBR 13278 (ABNT, 1995) prescreve que o cálculo da densidade de massa ( $A$ ), no estado fresco é realizado através da Equação 1:

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad (1)$$

Onde:

$M_c$  = massa do recipiente cilíndrico, contendo argamassa de ensaio, em g;

$M_v$  = massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em gramas;

$V_r$  = volume do recipiente cilíndrico de PVC, em  $\text{cm}^3$ .

Teor de ar incorporado é a quantidade de ar existente em um determinado volume de argamassa. A massa específica e o teor de ar incorporado influenciam na trabalhabilidade das argamassas. A NBR 13278 (ABNT, 1995) define a seguinte equação para o cálculo do teor de ar incorporado na argamassa ( $A_I$ ) de acordo com a Equação 2:

$$Al = 100 \cdot \left\{ 1 - \frac{A}{B} \right\} \quad (2)$$

Onde:

A = valor da densidade da massa

B = densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios.

## 2.6.2 *Propriedade no estado endurecido*

### 2.6.2.1 *Aderência*

É a propriedade de adesão das argamassas influenciada pela condição superficial do substrato, pelos materiais componentes da argamassa, pela capacidade de retenção de água e pela espessura do revestimento. MACIEL, BARROS & SABBATINI (1998) afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração. CARASEK (2007) informa que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, a penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base.

### 2.6.2.2 *Capacidade de absorção e deformações*

De acordo com MACIEL, BARROS & SABBATINI (1998) é a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, devendo suportar as mesmas sem apresentar rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade. Segundo CARASEK (2007) as deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude. O revestimento só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como recalques estruturais e cargas mecânicas.

A capacidade de absorver deformações depende:

- Do módulo de deformação da argamassa - quanto menor for o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- Da espessura das camadas - espessuras maiores contribuem para melhorar essa propriedade; entretanto, devem-se tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a aderência;
- Das juntas de trabalho do revestimento - as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- Da técnica de execução - a compressão após a aplicação da argamassa e, também, a compressão durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto, vão contribuir para o não aparecimento de fissuras. O aparecimento de fissuras prejudiciais compromete a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento.

### 2.6.2.3 *Retração*

A retração ocorre devido à perda rápida e acentuada da água de amassamento e pelas reações na hidratação dos aglomerantes, fatos que provocam as fissuras nos revestimentos. As argamassas ricas em cimento apresentam maiores disponibilidades para o aparecimento de fissuras durante a secagem. Segundo FIORITO (2003), o endurecimento da argamassa é acompanhado por uma diminuição do volume em função da perda de água evaporável ocasionada pelas reações de hidratação. Mesmos após a secagem notamos variações dimensionais em função do grau higrométrico do ambiente, tal fenômeno é conhecido como “retração”. CARASEK (2007) afirma que a retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade.

#### 2.6.2.4 Resistência mecânica

De acordo com CARASEK (2007), a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. A NBR 13281 (ABNT, 2001) prescreve que os requisitos mecânicos e reológicos das argamassas devem estar em conformidade com as exigências indicadas na tabela 3:

Tabela 3 – Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	<b>LIMITES</b>	<b>MÉTODOS</b>
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	$\geq 80$ e $\leq 90$	NBR 13277
	Alta	$> 90$	
Teor de ar incorporado (%)	A	$< 8$	NBR 13278
	B	$\geq 8$ e $\leq 18$	
	C	$> 18$	

#### 2.6.2.5 Durabilidade

É a propriedade que a argamassa apresenta para resistir ao ataque de meios e agentes agressivos, mantendo suas características físicas e mecânicas inalteradas com o decorrer do tempo e de sua utilização. De acordo com MACIEL, BARROS & SABBATINI (1998), durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de microorganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

## 2.7 ARGAMASSA COMO REVESTIMENTO

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), argamassa é a mistura de aglomerantes, agregados e água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência. A NBR 13281 (ABNT,

2001) prescreve que argamassa é a mistura homogênea de agregado(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalações próprias (argamassas industrializadas). Os revestimentos de argamassa têm como função proteger os elementos de vedação das edificações da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções, regularizar a superfície dos elementos de vedação, servir de base para aplicação de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final. Segundo CARASEK (2007), as principais funções de um revestimento são:

- Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;
- Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústica (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) prescreve que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

### 2.7.1 *Chapisco*

CARASEK (2007) define chapisco como a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

De acordo com YAZIGI (2006), o substrato precisa ser abundantemente molhado antes de receber o chapisco, para que não ocorra absorção da água necessária à cura da argamassa do chapisco. Entretanto, o autor observa que o excesso de água (saturamento), pode ser prejudicial, uma vez que os poros saturados irão inibir o microagulhamento da pasta de aglomerante dentro dos mesmos (mecanismo que configura a aderência sobre substratos porosos). Neste caso, o chapisco precisa ser feito com argamassa fluida de cimento e areia no traço 1:3 em volume, à qual é adicionado aditivo adesivo (aplicado sobre a alvenaria e estrutura). A argamassa tem de ser projetada energicamente, de baixo para cima, contra a alvenaria a ser revestida. Para bases de concreto a argamassa de chapisco deve ser preferencialmente industrializada, pois apresenta

melhor aderência do que a preparada na obra. Neste caso a mesma é aplicada com desempenadeira metálica dentada sobre a estrutura de concreto. O revestimento em chapisco se fará tanto nas superfícies verticais ou horizontais de concreto como também nas superfícies verticais da alvenaria para posterior revestimento (emboço ou massa única). A espessura máxima do chapisco deverá ser de 5 mm. Em locais com baixa temperatura, deve-se ter o cuidado na umidificação do substrato para aplicação do chapisco, pois pode ocasionar excesso de umidade e inviabilizar a aderência.

MACIEL, BARROS & SABBATINI (1998) relacionam as seguintes características dos chapiscos:

- Chapisco tradicional – argamassa de cimento, areia e água que adequadamente dosada resulta em uma película rugosa, aderente e resistente;
- Chapisco industrializado – argamassa semelhante à argamassa colante, sendo necessário acrescentar água no momento da mistura. A aplicação é realizada com desempenadeira dentada somente sobre superfície de concreto;
- Chapisco rolado – argamassa bastante plástica obtida através da mistura de cimento, areia, água e adição de resina acrílica, A aplicação é realizada com rolo para textura acrílica sobre superfícies de alvenaria e concreto.

### *2.7.2 Emboço*

CARASEK (2007) define emboço como a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo. Segundo YAZIGI (2006), o emboço somente poderá ser aplicado após a pega completa do chapisco. A NBR 7200 (ABNT, 1998) explicita que este chapisco deverá apresentar idade mínima de três dias antes da aplicação do emboço, sendo que para climas quentes e secos, com temperaturas acima de 30 °C, este prazo pode ser reduzido para dois dias.

### *2.7.3 Reboco*

É o revestimento aplicado sobre a camada de emboço ou diretamente sobre o substrato. CARASEK (2007) define reboco como a camada de revestimento que é utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitui no acabamento final. A NBR 7200 (ABNT, 1998) prescreve que

para cada aplicação de nova camada de argamassa exige, de acordo com a finalidade e com as condições do clima, a umidificação da camada anterior. A argamassa de revestimento não deve ser aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5 °C. Em temperatura superior a 30 °C, devem ser tomados cuidados especiais para a cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes e insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece as seguintes espessuras para revestimento interno e externo de paredes e tetos conforme a tabela 4:

Tabela 4- Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.

<b>REVESTIMENTO</b>	<b>ESPESSURA (mm)</b>
Parede Interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede Externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e Externo	$E \leq 20$

#### *2.7.4 Principais patologias que possam aparecer nos revestimentos*

As patologias são estudadas para diagnosticar as prováveis causas, sendo que geralmente não ocorrem devido a uma única razão. A ocorrência se deve a um procedimento inadequado no processo construtivo, ou seja, planejamento, projeto, materiais e componentes, execução e uso, que gera uma alteração no desempenho de um componente ou elemento da edificação. Para CAMPANTE (2001), as manifestações patológicas podem ser entendidas como situações nas quais, em determinado momento da sua vida útil, deixam de apresentar o desempenho esperado, ou seja, não mais cumprem funções para os quais foram projetados, deixando de atender às necessidades dos usuários. O autor se refere aos revestimentos cerâmicos, mas o conceito pode ser estendido aos diferentes materiais apresentados neste trabalho. Os problemas patológicos ocorrem com diferentes formas de manifestação, e podem ter origem em diferentes fatores pois existe nos processos construtivos uma grande complexidade dos sistemas envolvidos. É preciso conhecer as características dos materiais, sua adequação de uso ao local, correto posicionamento de juntas, utilização de mão-de-obra treinada, controle do uso dos materiais no canteiro, para prevenir o surgimento de manifestações patológicas.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os principais procedimentos e metodologias adotadas neste trabalho será feita através de ensaios de caracterização tecnológica, ensaios mecânicos e de durabilidade onde fez-se uma análise do agregado miúdo coletado no município de Laranjal do Jari-AP e o agregado miúdo tradicional utilizado na região metropolitana de Belém-PA. A sequência metodológica do trabalho é descrita abaixo e a Figura 5 mostra as etapas do procedimento experimental. A Figura 6 mostra o local de coleta da amostra para análise.

- Coleta de amostra do agregado miúdo em jazida localizada em Laranjal do Jarí-AP; município localizado a 260 km da capital Macapá;
- O agregado miúdo utilizado nas análises são os mesmos utilizados nas obras da região metropolitana de Belém;
- O cimento utilizado para os ensaios foi o CP IV, ele aumenta a durabilidade das estruturas de concreto que entram em contato com ambientes agressivos e que estão sujeitos a ataques de sulfatos;
- A água de boa qualidade proveniente ETA - UFPA.

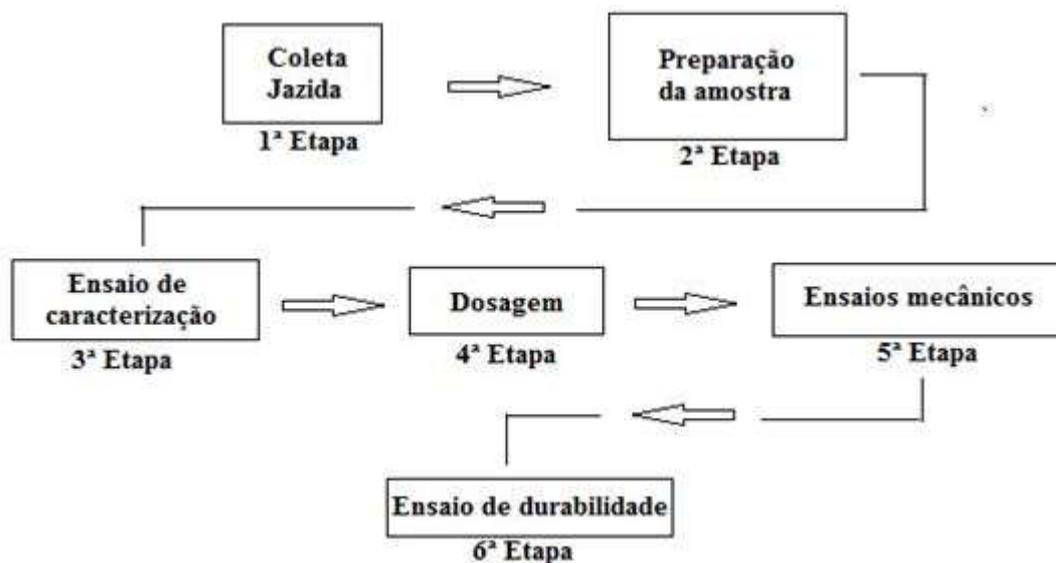


Figura 5 – Procedimento experimental

1ª Etapa: Foi feita a coleta do material em Laranjal do Jari-AP e transportada até Belém-PA;

2ª Etapa: Esta etapa é de preparo do material para posteriormente se feito os ensaios;

3ª Etapa: Realização dos ensaios de caracterização (massa unitária, massa específica, teor de materiais pulverulentos e teor de argila);

4ª Etapa: Nesta etapa foi feito a dosagem dos materiais;

5ª Etapa: Foram realizados os ensaios mecânicos (Compressão e tração na argamassa);

6ª Etapa: Foi realizado o ensaio de durabilidade (reação álcalis agregados).



Figura 6 – Local de coleta da amostra em Laranjal do Jari-AP.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios foram realizados no laboratório de Engenharia Civil da UFPA e baseados nas normas técnicas brasileiras da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas):

#### 3.1.1 *Massa unitária*

Com este ensaio é possível se obter o valor do agregado miúdo com os espaços de ar entre as partículas de areia. A partir deste volume do agregado com os espaços de ar consegue-se montar com maior precisão o volume de cada material para a formação do traço de concreto. E segundo à NBR NM 7810 (ABNT, 1983) para a determinação da massa unitária, todas as amostras foram previamente secas em estufas com capacidade de temperatura de  $105^{\circ}\text{C} + \text{ou} - 5^{\circ}\text{C}$ . Após estarem secas as amostras foram separadas com o dobro do volume do recipiente utilizado no ensaio ( $15 \text{ dm}^3$ ).

A amostra foi lançada no recipiente a uma altura entre 10 e 12cm do topo do recipiente, sendo posteriormente rasado e pesado. A massa do agregado solto é a diferença entre o recipiente cheio e a massa do recipiente vazio, sendo que foram feitas cinco determinações para

cada amostra, obtendo-se posteriormente o valor da massa unitária de acordo com a Equação 3.

$$Mu = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Onde:

Mu = massa unitária kg/m<sup>3</sup>;

m = massa do agregado g ou kg;

v = volume do recipiente l ou m<sup>3</sup>.

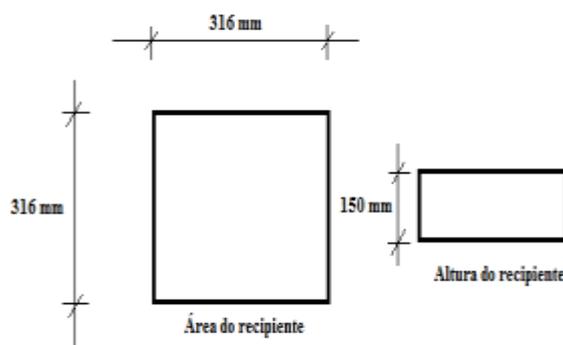


Figura 7: Imagem do recipiente utilizado para o ensaio da massa unitária.

### 3.1.2 Massa específica

Este tipo de ensaio é feito para determinar o valor real do agregado, pois com a utilização de água dentro do frasco de Chapman faz com que os espaços de ar existentes entre as partículas de areia sejam ocupados totalmente. Este ensaio permite que o agregado seja calculado de melhor maneira para a elaboração do volume do traço de concreto segundo à NBR NM 46 (ABNT, 2006), onde a mesma orienta que para determinação da Massa específica, foi utilizado o Frasco de Chapman, onde separou-se 500 g da amostra do agregado miúdo, previamente secas em estufas a uma temperatura média de 105° C em seguida acrescentou-se 200 ml de água no frasco de Chapman, logo após foi adicionado a areia no frasco fazendo uma mistura dentro do frasco e após esse processo verificou-se a altura do líquido no frasco. Este tipo de ensaio é feito para determinar o valor real do agregado, pois com a utilização de água dentro do frasco de Chapman faz com que os espaços de ar existentes entre as partículas de areia sejam ocupados totalmente.

Ter o conhecimento dos valores da massa específica, massa unitária e absorção de um agregado são extremamente importantes e muito utilizado na prática. O termo massa unitária é utilizado quando um volume é ocupado tanto pelos agregados como pelos espaços vazios, visto que não é possível compactar as partículas de modo a não deixar espaços vazios entre elas (METHA & MONTEIRO, 2008).

O cálculo foi feito pela Equação 4:

$$Y = \left( \frac{500}{L-200} \right) \quad (4)$$

Onde:

Y= massa específica do agregado miúdo em g/cm<sup>3</sup>;

L= Leitura final do frasco.



Figura 8 – Frasco de Chapman.

### 3.1.3 *Granulometria*

Composição granulométrica pode ser definida como sendo a distribuição do tamanho de partículas de determinado agregado, sendo usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas das frações retidas ou passantes em uma dada série de aberturas de peneiras, ou ainda, de porcentagens entre certos intervalos de aberturas. Assim, a composição granulométrica de um agregado é determinada por meio de peneiramento de uma amostra representativa em uma seqüência de peneiras dispostas da maior abertura em cima para a menor abertura em baixo.

Além disso, areias muito grossa produzem misturas pouco trabalháveis e areias muito finas aumentam a demanda de água para a hidratação do cimento. Segundo NBR 248 (ABNT, 2003), a curva granulométrica - representação gráfica das percentagens retidas acumuladas em cada peneira em relação a dimensão da abertura de sua malha. A percentagem retida acumulada é representada em escala natural (ordenada) e a abertura da peneira em escala logarítmica (abscissas). Dimensão máxima característica – grandeza correspondente a abertura nominal, em milímetro, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada, em massa, igual ou imediatamente inferior a 5%. Módulo de finura – soma das percentagens retidas acumuladas em massa de agregado, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.

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



Figura 9 – Peneirador mecânico com peneiras da série normal

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

### 3.1.4 Teor de materiais pulverulentos

O material pulverulento é definido como a fração com dimensão inferior a  $75\mu\text{m}$ , sendo normalmente quantificado em processo de lavagem do agregado em uma peneira com esta malha (NBR NM 46:2003). Este tipo de ensaio é empregado porque a fração fina, principalmente a argila, adere-se às partículas maiores, normalmente não sendo possível separá-la por peneiramento a seco. No processo de lavagem, o agregado é colocado em um recipiente com água e agitado para que as partículas finas fiquem em suspensão. Em seguida, a solução é vertida na peneira  $75\mu\text{m}$ , separando assim o material passante do material retido. As normas que especificam os agregados para concreto, apresentam limites máximos com relação ao teor de material pulverulento que pode estar presente nos agregados, tanto miúdos quanto graúdos. São apresentados os limites máximos aceitáveis pelas normas brasileiras e americanas, para os teores de material pulverulento determinados pelo ensaio de lavagem na peneira  $75\mu\text{m}$ . Estas normas fazem uma ressalva quanto aos agregados miúdos oriundos de britagem de rochas, permitindo para esses casos um teor um pouco maior de microfinos, desde que comprovada sua não interferência na qualidade do concreto. Apesar de haver uma tolerância maior para os agregados de britagem, observa-se que a norma americana é bastante conservadora quanto ao limite de microfinos.

FIORITO (2003) critica os limites americanos comparando-os aos limites adotados por alguns outros países, merecendo destaque a Austrália aonde os limites podem chegar a 25%, desde que acordado com o consumidor deste material. Esse autor afirma ainda que as areias de britagem, que representam atualmente a maior parte dos agregados miúdos utilizados, apresentam normalmente teores entre 10 e 20% de microfinos, bem superior ao limite apresentado pela norma americana. Segundo ele, isto força os produtores norte-americanos de agregados a lavarem suas areias de britagem o que gera custos e um passivo ambiental.



Figura 10 – Peneiras utilizadas no ensaio de teor de materiais pulverulentos.

### 3.1.5 *Teor de argila*

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

O ensaio para determinação do teor de argila segue à NBR 7218 (ABNT, 2010), onde separa-se 200g do agregado miúdo na peneira de abertura 1,2 # sendo também utiliza-se a peneira de abertura 4,8 # para ajudar na separação e após a separação do agregado espalha-se sobre uma bandeja e esse material é pressionados com os dedos para desfazer os torções existentes na amostra e logo após é feito o peneiramentos do material prensando na peneira de abertura 0,6 #, onde será verificado o teor de argila presente na amostra.

Foram separados 500g de material de todas as amostras, secas previamente em estufa a uma temperatura de 105°C +ou- 5°C e deixadas à temperatura ambiente. Com as amostras retidas em um recipiente adequado, para não haver perda de material, foi adicionado água até cobrir a amostra, sendo esta vigorosamente agitada para que o material pulverulento ficasse em suspensão. Após este procedimento a amostra foi vertida em duas peneiras de abertura 1,2 e 0,075mm respectivamente, para que o material pulverulento fosse eliminado e o material retido na segunda peneira retornasse ao recipiente. A operação foi feita até que a água de lavagem ficasse clara, tomando o devido cuidado para que nenhum material fosse perdido no procedimento. O agregado lavado foi seco em estufa e posteriormente pesado. Foram feitas duas determinações para cada amostra, calculando-se o teor de material pulverulento do agregado miúdo.



Figura 11 – Peneiras utilizadas no ensaio de teor de argila.

A tabela 5 está relacionada com a determinação do teor de argila de acordo com NBR 7218 (ABNT, 2010).

Tabela 5 – Teor de argila ( Sousa & Lobato, 1996 )

Teor de argila ( % )	Teor de P ( mg dm <sup>3</sup> )			
	Muito Baixo	Baixo <sup>1</sup>	Médio	Bom
>60	<1	1 a 2	2 a 3	>3
40 a 60	<3	3 a 6	6 a 8	>8
20 a 40	<5	5 a 10	10 a 14	>14
<20	<6	6 a 12	12 a 18	>18

### 3.1.6 Dosagem

Para efeitos de dosagem é necessário que se conheça o espaço ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros dentro das partículas e excluindo-se os vazios entre elas. Para encontrar esse valor calcula-se a massa específica do agregado que segundo METHA & MONTEIRO (2008) varia entre 2.600 e 2.700 kg/m<sup>3</sup> para as rochas mais comumente utilizadas.

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

## 3.2 ENSAIOS MECÂNICOS

### 3.2.1 Resistência à compressão da argamassa

Para avaliação da resistência à compressão das argamassas analisadas foram utilizadas como referência a norma NBR 13279 (ABNT, 1995), onde esta norma tem como objetivo estabelecer o método para determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão da argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.

Devido ao processo de moldagem dos corpos de prova e ensaio de compressão e tração na flexão serem relativamente simples este ensaio tem sido muito utilizado para verificação da resistência dos concretos e argamassas em grandes obras. Considerada como a capacidade para resistir à esforços sem se romper, a resistência está relacionada aos esforços para causar a ruptura (METHA & MONTEIRO, 2008). Argamassas com uma boa resistência terão menos problemas com patologias provocadas pela falta de aderência ao substrato, além de apresentarem um menor desgaste superficial. Com estes ensaios pode-se comparar a influência que a granulometria, torrões de argila e matéria orgânica têm sobre a resistência dos corpos de prova, pois segundo HELENE & TERZIAN (1993) a resistência à compressão é um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura de um concreto ou argamassa.

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes da argamassa e de concreto endurecido, sendo a principal referência utilizada para classificação de argamassas e concretos, quanto às propriedades mecânicas. É obtido por meio de ensaio de corpos cilíndricos. A moldagem dos corpos-de-prova (CPs) e a realização dos ensaios seguem as normas da NBR 13279 (ABNT, 1995). Nos projetos indica-se a resistência à compressão característica  $f_{ck}$  referente à idade de 28 dias, onde as dimensões dos corpos-de-prova foram de 50 mm de diâmetro e 10 mm de altura, ensaiados em uma prensa de 1000 kN de capacidade, como mostra a Figura 12.



Figura 12: Ensaio de corpo-de-prova à compressão.

### 3.2.2 Resistência de aderência à tração

A aderência dos agregados ocorre através do seu inter-travamento com a pasta de aglomerante, em virtude da aspereza da superfície das suas partículas. NEVILLE (1997) enfatiza que superfícies mais ásperas resultam em melhor aderência. Há de se considerar, inclusive, que a aderência é influenciada também pela composição química e mineralógica do agregado, bem como pela condição eletrostática da superfície. Em qualquer hipótese, é condição necessária que a superfície do agregado seja limpa e livre de partículas de argila. Não há como determinar, por meio de ensaios, a qualidade da aderência do agregado. Normalmente, quando a aderência é satisfatória, um corpo de prova rompido deve ter algumas partículas de agregados rompidas, além de outras, mais numerosas, arrancadas de seus alojamentos na pasta. Todavia, um excesso de partículas rompidas pode significar que o agregado é muito fraco.

O ensaio de resistência de aderência à tração é importante para verificar a interação entre as camadas constituintes do revestimento (base, camada de ligação, revestimento), determinando o valor da tensão de aderência máxima que o revestimento suporta, assim como qual a interface do revestimento que apresenta menor resistência às tensões atuantes no revestimento. Segundo NBR 13528 (ABNT, 2010), a determinação da Resistência de aderência à tração auxilia na definição do tipo de preparo da base, bem como da argamassa que melhor funciona sob condições específicas existentes, especialmente do substrato. A Figura 13 mostra a bateria de ensaios realizados.



Figura 13 – Amostras para o ensaio de aderência.

### 3.3.DURABILIDADE

#### 3.3.1 *Reação álcali-agregado (RAA)*

A reação álcali-agregado foi estudada inicialmente por Stanton, em 1940, na Califórnia, quando identificou este processo como sendo uma reação deletéria que ocorria entre os constituintes do concreto, a sílica do agregado e os álcalis do cimento, o qual denominou reação álcali-agregado. Segundo Stanton em constatações experimentais, a reação era capaz de formar eflorescências brancas, causar expansão e fissurações; Tais fatos puderam ser observados em diversas estruturas reais afetadas na Califórnia, durante os anos 1920 a 1930 (STANTON, 1940). Após a descoberta da RAA, vários autores passaram a estudar os mecanismos de expansão da RAA, tais como, VIVIAN (1951), VAN AARDT & VISSER (1977), DENG & TANG (1993), PREZZI, MONTEIRO & SPOSITO (1997), HASPARYK (1999) entre outros. Estudos que contribuíram para o esclarecimento de fatores intervenientes, tais como: o processo químico envolvido, a identificação dos minerais reativos, as conseqüências, a partir da identificação de casos reais de estruturas afetadas por esta patologia.

Segundo MEHTA & MONTEIRO (2008), as expansões e fissurações devidas à RAA podem comprometer o concreto, resultando em perda de resistência, elasticidade e durabilidade. A possibilidade de ocorrência da RAA está condicionada à interação entre a quantidade de álcalis disponíveis e a potencialidade reativa dos agregados. Entretanto, segundo BICZOK, ET AL., (1972), influências externas como a umidade e temperatura são condicionantes importantes do processo deletério. O tempo necessário para notar indícios da RAA ou danos em uma estrutura depende de vários fatores, destacando-se o tipo e proporção dos agregados, o teor de álcalis do cimento, a composição do gel, a temperatura e a umidade, entre outros fatores.

A RAA pode ser classificada, em função do tipo e mineralogia do agregado reativo envolvido, de três formas, como: reação álcali-sílica, reação álcali-silicato ou reação álcali-carbonato (HOBBS, 1988). A reação álcali-agregado é um nome genérico dessa patologia que ocorre entre os álcalis do cimento e certos minerais presentes em alguns agregados. Baseado na composição mineralógica reativa desses agregados, esta reação classifica-se álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato (FURNAS, 1997). Segundo a NBR 15577 (ABNT, 2008), são realizadas medidas de potencial de corrosão e resistência de polarização. Os corpos-de-prova com seção transversal quadrada de 25 mm de lado e 285 mm de altura foram submetidos a ciclos alternados de imersão e secagem numa solução agressiva de 3,5% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico), de acordo com a Figura 14, simulando um ambiente marinho que contém teores suficientes de sais que possam despassivar a armadura em estruturas de concreto, acelerando o processo de corrosão nas barras de aço.



Figura 14 – Imagem das amostras para o ensaio de reação álcali-agregado (RAA).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 4.1.1 *Massa unitária*

A massa unitária dos agregados da amostra oriunda da região de Laranjal do Jarí-AP foi 1,08 g/cm<sup>3</sup> e da região metropolitana de Belém-PA foi 1,44 g/cm<sup>3</sup>, diante do resultado obtido pode-se afirmar que o material nos dois procedimentos se classificam como normal de acordo com a NBR 7810 (Normais –  $1\text{ g/cm}^3 < Y < 2\text{ g/cm}^3$ ).

#### 4.1.2 *Massa específica*

Segundo a NBR 46 (ABNT, 2006), o valor considerado aceitável pela norma é 2,65 g/cm<sup>3</sup>, como o valor obtido no ensaio com a amostra de Laranjal do Jari-AP foi 2,61 g/cm<sup>3</sup> e do ensaio com amostra da região metropolitana de Belém foi 2,63 g/cm<sup>3</sup>, considera-se conforme resultados apresentados que ambas amostras foram aprovadas no ensaio de massa específica.

#### 4.1.3 *Granulometria*

De acordo com a Tabela 6, relativa à granulometria dos agregados miúdos de Belém-PA, o diâmetro máximo característico é 1,2 mm, o módulo de finura encontrado foi 2,02 e o coeficiente de uniformidade é 1,50 e, de acordo com a Tabela 7, relativa à granulometria dos agregados miúdos de Laranjal do Jari-AP, o diâmetro máximo característico é 2,4 mm, o módulo de finura encontrado foi 2,44 e coeficiente de uniformidade é 1,60. Segundo a NBR 248 (ABNT, 2003), ambas as amostras de areias são consideradas uniformes finas. As curvas granulométricas das areias são mostradas na Figura 15.

Tabela 6 – Granulometria dos agregados miúdos de Belém – PA

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa retida (g)</b>	<b>% Retido</b>	<b>% Retido acumulado</b>
4,8	4,1	0,41	0
2,4	8,3	0,83	1
1,2	34,4	3,34	5
0,6	173,9	17,40	22
0,3	535,6	53,57	76
0,15	221,5	22,15	98

Tabela 7 – Granulometria dos agregados miúdos de Laranjal do Jari-AP

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>% retido</b>	<b>% Retido acumulado</b>
4,8	2,3	0,23	0,23
2,4	20,5	2,05	2,28
1,2	96,8	9,98	11,96
0,6	373,7	37,38	49,34
0,3	347,7	34,78	84,12
0,15	122,8	12,29	96,41

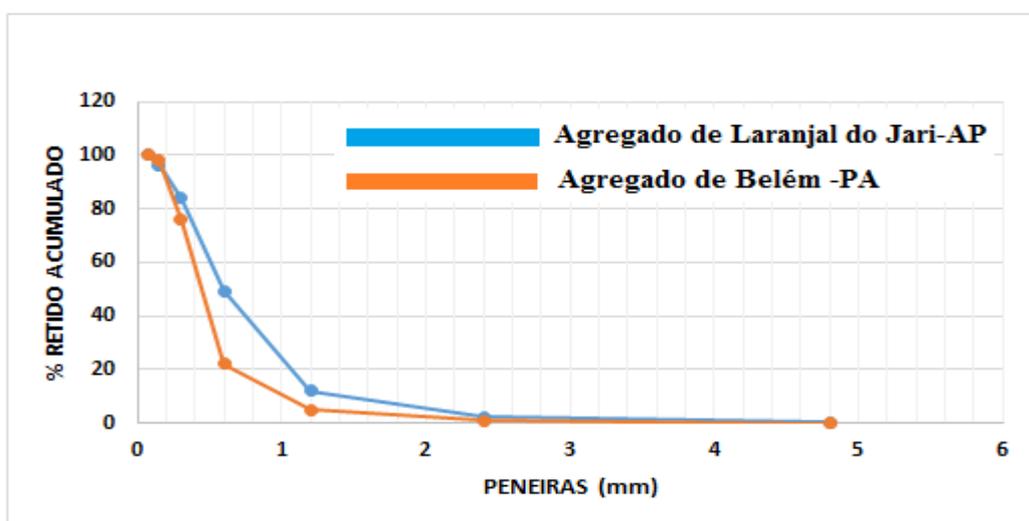


Figura 15 – Curva Granulométrica

#### 4.1.4 *Teor de matérias pulverulentos*

Em relação ao teor de a amostra de agregado miúdo de Laranjal do Jari-AP apresentou porcentagem de materiais pulverulentos de 4,67 % e a amostra de agregado miúdo de Belém apresentou porcentagem de materiais pulverulentos de 3,13 %, e segundo a NBR 7211, os teores de material pulverulento do agregado miúdo dever ser menor ou igual a 3% para utilização em concretos submetido a desgaste superficial e menor ou igual a 5% para os demais concretos. Portanto, ambas as amostras são consideradas dentro do parâmetro recomendado entre as porcentagens de 3% à 5%.

#### 4.1.5 *Teor de argila*

Verificou-se, após pesagem, que a massa do material de Laranjal do Jari-AP, reduziu para 196,99 g, ou seja, ele perdeu 1,50% de seu peso que seria argila e a massa do material da região metropolitana de Belém-PA, reduziu para 198 g, ou seja, ele perdeu 1,00 % de seu peso que seria argila, ou seja, ambas amostras de agregados miúdos estão de acordo com NBR 7218 (ABNT, 2010), pois não excedem o limite estabelecido. Sendo assim a argila contida nas areias não causará diferença na dosagem de água e nem fissuras em argamassa de revestimento.

#### 4.1.6 *Dosagem*

Foi utilizado neste estudo o traço de 1:3 com 624 g de cimento, 1872 g de agregado miúdo e 375 ml de água, onde foram moldados 6 CP'S para cada traço com agregado miúdo de Laranjal do e Jari-AP e 6 CPs para o traço com agregado miúdo de Belém-PA com relação a/c de 0,60 e abatimento de  $225 \pm 5$  mm. Verificou-se que em ambas as amostras encontram-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 12655 (ABNT, 2006), e pelo ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone conforme a NM 67 (ABNT, 1998).

## 4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

#### 4.2.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência foi executado segundo a NBR 13279 (ABNT, 1995), onde verificou-se, de acordo com a Tabela 8, que a resistência da argamassa com agregado miúdo de Laranjal do Jarí-AP com 7 dias de idade, em média, foi maior 28% do que a argamassa com agregado miúdo de Belém e aos 28 dias a resistência da argamassa com agregado miúdo de Laranjal do Jarí-AP, em média, foi 51% maior que a argamassa com agregado miúdo de Belém-PA, de acordo com a Figura 16.

Tabela 8 – Resultados da resistência à compressão axial aos 7 e aos 28 dias.

Amostra	Resistência	Resistência
	aos 7 dias (MPa)	aos 28 dias (MPa)
A1 ( Belém )	14,4	17,6
A2 ( Belém )	11,7	17,2
A3 ( Belém )	11,3	17,1
A1 ( Laranjal do Jari )	20,0	31,7
A2 ( Laranjal do Jari )	22,7	29,7
A3 ( Laranjal do Jari )	25,6	27,8

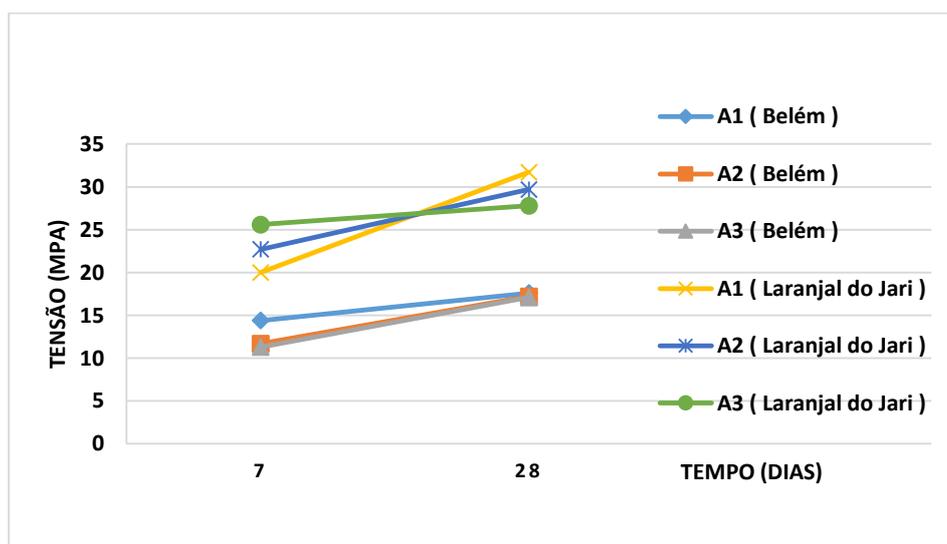


Figura 16 – Evolução da resistência à compressão da argamassa com a idade.

#### 4.2.2 Resistência de aderência à tração

Analisando-se a Tabela 9 e a Figura 17, verifica-se que a média de resistência à tração por arrancamento da amostra de revestimento com agregado de Laranjal do Jari-AP foi maior do que a média da resistência a tração da amostra de revestimento com agregado miúdo da região metropolitana de Belém, mas em ambos os casos a maioria do rompimento ocorreram na argamassa.

Tabela 9 – Tabela de resultados da resistência tração por arrancamento.

Jazida	CP	Carga (N)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Modo de ruptura						
					A	B	C	D	E	F	G
Laranjal	1,0	800	1.589	0,50					X		
	2,0	1600	1.568	1,02					X		
	3,0	1600	1.533	1,04	X						
	4,0	1700	1.533	1,10					X		
	5,0	1900	1.561	1,21	X						
Belém	1,0	1100	1.653	0,66					X		
	2,0	1100	1.589	0,69					X		
	3,0	1500	1.808	0,82					X		
	4,0	900	1.661	0,54	X						
	5,0	2400	1.473	1,62	X						

A – Ruptura do substrato; B – Ruptura na interface substrato/chapisco; C – Ruptura do chapisco; D – Ruptura na interface chapisco/argamassa; E – Ruptura da argamassa; F – Ruptura na interface argamassa/cola; G – Ruptura na interface cola/pastilha

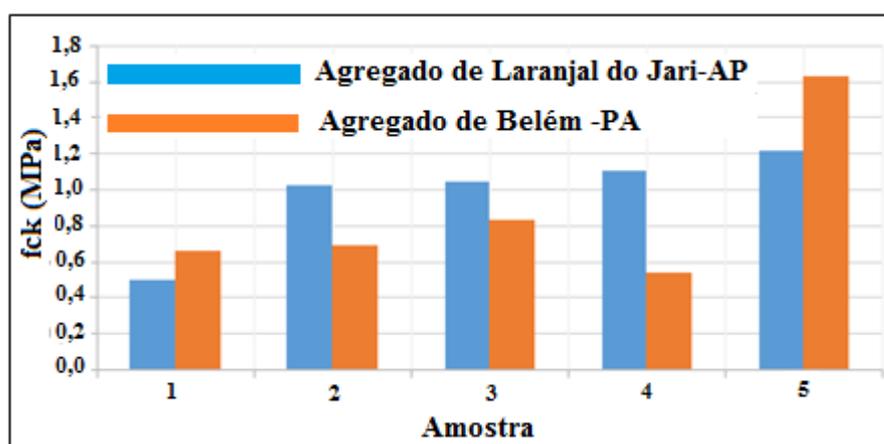


Figura 17 – Valores médios de resistência à tração por arrancamento.



Figura 18 – Amostra da parede após o ensaio.

### 4.3 ENSAIO DE DURABILIDADE

#### 4.3.1 Reatividade álcali-agregado, Reação álcali-agregado (RAA)

De acordo com os resultados mostrados na Figura 10, as amostras de Laranjal do Jarí-AP e da região metropolitana de Belém-PA demonstraram valores de expansão menores que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina) e, segundo a NBR 15577 (ABNT, 2008), o agregado miúdo é considerado potencialmente inócuo para uso em concretos e argamassas, e a expansão maior ou igual a 0,19% indica que o agregado é potencialmente reativo.

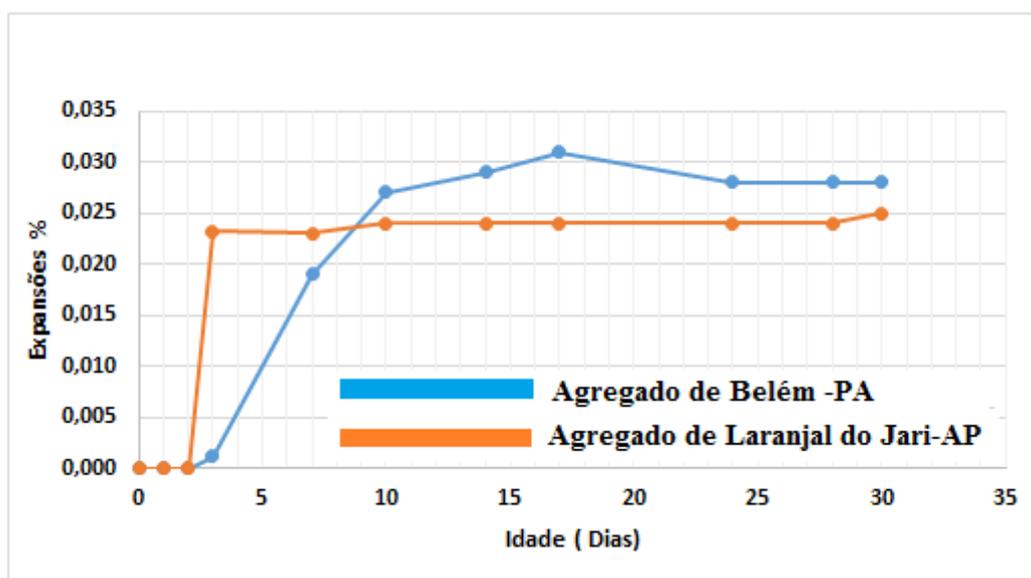


Figura 19 – Expansão dos agregados ao longo do tempo.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que o agregado miúdo de cor avermelhada oriundo de Laranjal-AP possui grande potencial para ser usado em argamassas na construção civil, pois esse material apresentou características físicas e mecânicas adequadas (ensaios de determinação de massa unitária, massa específica, granulometria, teor de materiais pulverulentos, teor de argila e traço e argamassa), assim como os resultados do ensaio de durabilidade (reação álcalis agregado) de acordo com a norma brasileira. Em relação aos ensaios mecânicos, comparando-se a resistência a compressão da areia de laranjal do Jari-AP com a areia de Belém-PA, tem-se que a primeira obteve aos 7 e 28 dias uma resistência em média de 28% e 51% maior que a segunda, respectivamente, mostrando que a primeira apresentou um desempenho melhor, e o mesmo aconteceu com a resistência à tração por arrancamento, onde a areia de Laranjal do Jari-AP apresentou resultados médios 10% superiores que a amostra de areia da região metropolitana de Belém.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se analisar:

- Análise química do agregado de Laranjal do Jari-AP;
- Ensaio de Difração de raio X, para que seja identificado o material que produz a coloração avermelhada.
- Ensaio de granulometria à laser.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e IPEAM pelo apoio financeiro em todas as etapas deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. NBR 7211/2005. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7810: Agregados - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 46: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.732: Cimento Portland. comum Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.736: Cimento Portland. pozolânico Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.733: Cimento Portland. de alta resistência inicial Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11.578: Cimento Portland. Composto. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.735: Cimento Portland. De alto forno Rio de Janeiro, 1997.

ABNT – Norma Brasileira. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Norma Brasileira. NBR 7219: Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – Norma Brasileira. NBR 7218: Determinação do teor de argila. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT – Norma Brasileira. NBR NM 5738: Determinação da resistência à compressão do concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – Norma Brasileira. NBR NM 13528: Determinação da resistência à aderência a tração. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT – Norma Brasileira. NBR NM 15577: Determinação da reatividade álcalis agregado (RAA). Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – Norma Brasileira. NBR 7200 – Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT – Norma Brasileira. NBR 13287: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

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

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. Durabilidade dos revestimentos cerâmicos de fachada e sua influência na qualidade e segurança das edificações. In Seminário Internacional NUTAU 2000 Tecnologia & Desenvolvimento, São Paulo, 2001. Anais. São Paulo.

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

CARASEK, Helena. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, IBRACON, 2007.

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

DENG, M.; TANG, M. Mechanism of desdolomitization and expansion of dolomitic rocks. Cement and Concrete Research, v.23, n.6, p.1397-1408, 1993.

FIORITO, Antônio J. S. Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003.

FRAZÃO, Ely Borges. Tecnologia de Rochas na Construção Civil. São Paulo, ABGE2002.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 1. ed. São Paulo: PINI, 1997.

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

FURNAS ( Laboratório de Concreto). Concretos: Massas, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo: Ensaio e Propriedades. Editor Walter Pacelli de Andrade. São Paulo: Pini, 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L. Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: GONÇALVES, J. L. de M. & STAPE, J. L. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba, 2002<sup>a</sup>. Cap. 3, p. 133-204.

HASPARYK, N. P. Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado – efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa. Goiânia, 1999. 257p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil.

HULL, D., CLYNE, T. W., 1996, An Introduction to Composite Materials, 2nd ed. Cambridge, England, Cambridge University Press, ISBN 0-521-38190-8.

KIHARA, Y; CENTURIONE, S. L. O Cimento Portland. In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos. São Paulo, 1998.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: PINI, 1994.

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

PREZZI, M.; KURTIS, K. E.; MONTEIRO, P. J. M.; SANTOS, M. C.; ANDRADE, W. P. Importância da química de superfície na reação álcali-agregado. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO. Anais... Goiânia, 1997, p.173-196.

SBRIGHI NETO, Cláudio. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C.Isaía. São Paulo: IBRACON, 2005. 2 v. 1600p.

SABBATINI, F.H. (1989). O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silico-calcária”. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção de acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.) Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1996. P. 81-96.

STANTON, T. E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. Proceedings of American Society of civil Engineers, Dec. 1940, p. 1781- 1811.

TRISTÃO, F. A. et al. Uso da areia industrial de basalto em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 59 - 64.

YAZIGI, Walid. A Técnica de Edificar - 10ª Ed. PINI, 2009.

VAN AARDT, J. H. P.; VISSER, S. Calcium hydroxide attack on feldspars and clays: possible relevance to cement-aggregate reactions. Cement and Concrete Research, v. 7, n.6, p.643-648, 1977a.

VIVIAN, H. E. Studies in cement-aggregate reaction, XIX: The effect on mortar expansion of the particle size of the reactive component in the aggregate. Australtan Journal of the Applied Science, v.2, p.488-494, 1951.