

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARCOS MACIEL SERAFIM DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM
CAL E ARGILA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO**

Delmiro Gouveia-AL
2016

MARCOS MACIEL SERAFIM DA SILVA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM
CAL E ARGILA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *campus* do Sertão como pré-requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Msc. Alexandre Nascimento de Lima

Delmiro Gouveia-AL
2016

S586e Silva, Marcos Maciel Serafim da

Estudo comparativo entre argamassas confeccionadas com cal e argila do alto sertão alagoano / Marcos Maciel Serafim da Silva. - 2016.

78f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.

Orientação: Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima.

1.Alto Sertão. 2.Argamassas.

CDU 691

Folha de Aprovação

MARCOS MACIEL SERAFIM DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS CONFECCIONADAS COM CAL E ARGILA DO ALTO SERTÃO ALAGOANO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao corpo docente de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas e aprovado no
dia 19 de maio de 2016.

Alexandre Nascimento de Lima

Prof.º Msc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL (Orientador)

Banca Examinadora:

Romildo S. Escarpini Filho

Prof.º Dr. Romildo dos Santos Escarpini Filho, UFAL (Examinador interno)

Karlisson André Nunes da Silva

Prof.º Msc. Karlisson André Nunes da Silva, UFAL (Examinador interno)

Alexandre Nascimento de Lima

Prof.º Msc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL (Examinador interno)

Primeiramente a Deus.

A minha esposa, Jéssica, e minha filha Alice.

A meus pais, Antônio e Terezinha.

As minhas irmãs e meu irmão.

A todos que me ajudaram nessa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para seguir em frente nessa longa jornada.

A minha esposa e minha filha, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, por todo apoio, auxílio e esforço nos momentos extremamente difíceis ocorridos.

As minhas irmãs, que não permitiam que desanimasse perante as diversas dificuldades encontradas.

A toda minha família pelo apoio.

Ao orientador Professor Alexandre Nascimento de Lima, por me auxiliar na execução do trabalho.

Ao técnico do laboratório de materiais, Arnon, por todo o auxílio na execução dos experimentos.

A todos os amigos que fiz durante a graduação, que me aturaram por todo esse tempo.

A todos os professores.

A todos aqueles que de certa forma contribuíram para minha formação.

“O futuro dependerá daquilo que fazemos no presente.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

As argamassas são materiais amplamente utilizados na construção civil, empregadas para desempenhar as mais variadas funções, aprimorando-se à medida que a tecnologia avança. Nas construções de pequeno porte da região de Delmiro Gouveia/AL, constantemente se utilizam argamassas com argila em sua composição, motivado pelo conhecimento adquirido ao longo da carreira do profissional engajado para executar o serviço. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo entre argamassas confeccionadas regionalmente com argila e traços recomendados pela comunidade científica, mistas de cimento e cal. A presente pesquisa tem cunho experimental, na qual foram analisados, através de ensaios laboratoriais, cinco traços de argamassas, três confeccionados com argila e dois sugeridos pelo referencial teórico, comparando-se sua relação água/cimento, retenção de água e resistência à tração e compressão. Com os resultados adquiridos, verificou-se que todas as argamassas alcançaram valores satisfatórios para os ensaios, além de efetuar-se a comparação das características obtidas para os diferentes tipos de argamassas preparadas na pesquisa.

Palavras-chave: *Argamassa; Argila; Cal; Estudo comparativo.*

ABSTRACT

Mortars are widely used materials in construction, utilized to perform various functions, perfecting itself as the technology advances. In the small buildings of Delmiro Gouveia /AL region constantly using mortars with clay in its composition, motivated by the knowledge gained throughout the professional career engaged to perform the service. In this context, this study aimed to carry out a comparative study of mortars made with clay and regional lines recommended by the scientific community, mixed cement and lime. This research is experimental nature, which were analyzed by laboratory tests, five strokes mortars, three made with clay and two suggested by the theoretical framework, comparing its water/cement ratio, water retentivity and tensile and compression strength. With the obtained results, it was found that all mortars achieved satisfactory values for the testing, in addition to making the comparison of the characteristics obtained for the different types of mortars prepared in research.

Key-words: Mortars; Clay; Lime; Comparative study.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 4.1 - Mapa de localização do município de Delmiro Gouveia no estado de Alagoas. | 19 |
| Figura 4.2 – Escala cronológica dos materiais usados como argamassas. | 21 |
| Figura 4.3 – Diferentes alternativas de revestimento de parede: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada..... | 33 |
| Figura 4.4 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas. | 41 |
| Figura 4.5 – Influência da resistência da argamassa na resistência da parede. | 43 |
| Figura 5.1 – Conjunto de peneiras utilizado na determinação da granulométrica. | 50 |
| Figura 5.2 – Argila sendo peneirada. | 52 |
| Figura 5.3 – Argamassa sendo preparada. | 53 |
| Figura 5.4 – Equipamentos e argamassa para determinação do índice de consistência. | 54 |
| Figura 5.5 – Argamassa imediatamente após a retirada do molde tronco-cônico..... | 54 |
| Figura 5.6 – Medição dos diâmetros referentes ao espalhamento da argamassa. | 55 |
| Figura 5.7 – Molde preenchido com argamassa, telas de gaze e discos de papel filtro. | 56 |
| Figura 5.8 – Molde para confecção dos corpos de prova..... | 58 |
| Figura 5.9 – Corpos de prova moldados. | 59 |
| Figura 5.10 – Ensaio de resistência à tração. | 60 |
| Figura 5.11 – Corpo de prova rompido à tração na flexão. | 60 |
| Figura 5.12 – Corpos de prova para ensaio de tração (a) e para o de compressão (b). | 61 |
| Figura 5.13 – Ensaio de resistência à compressão..... | 62 |
| Figura 5.14 – Corpo de prova rompido à compressão. | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1 – Exigências químicas das cales..... | 27 |
| Tabela 4.2 – Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento..... | 29 |
| Tabela 4.3 – Traços recomendados..... | 34 |
| Tabela 4.4 – Classificação das argamassas..... | 34 |
| Tabela 4.5 – Usos, funções e propriedades das argamassas..... | 37 |
| Tabela 5.1 – Traços utilizados na pesquisa para um saco de cimento. | 46 |
| Tabela 5.2 – Análise granulométrica da areia. | 51 |
| Tabela 6.1 – Índice de consistência e fator água/cimento das argamassas. | 64 |
| Tabela 6.2 – Retenção de água. | 65 |
| Tabela 6.3 – Valores referentes ao ensaio de resistência à tração na flexão. | 66 |
| Tabela 6.4 - Valores referentes ao ensaio de resistência à compressão. | 67 |
| Tabela 6.5 – Custos do m ³ de cada tipo de argamassa utilizada na pesquisa..... | 68 |
| Tabela 7.1 – Resumo dos resultados obtidos. | 69 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|---|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AF | Fator Água/argamassa |
| BT | Boletim Técnico |
| CAD | Capacidade de Assimilar Deformações |
| CH | Cal Hidratada |
| CP | Cimento Portland |
| CPB | Cimento Portland Branco |
| CPP | Cimento Portland para Poços Petrolíferos |
| CSTB | Centre Scientifique et Technique du Batiment |
| CTEC | Centro de Tecnologia |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| m | Metro |
| mm | Milímetro |
| M | Massa de Argamassa |
| M_w | Massa de Água acrescentada a mistura |
| M_f | Massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro |
| M_{se} | Massa do conjunto de discos secos |
| M_{ma} | Massa do molde com argamassa |
| M_m | Massa do molde vazio |
| MPA | Megapascal |

| | |
|----------------------|---|
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |
| NM | Norma Mercosul |
| N/s | Newton por Segundo |
| R_a | Retenção de Água |
| R_C | Resistência à Compressão |
| RDM | Revestimento |
| R_f | Resistência à Tração na flexão |
| RS | Resistente a Sulfato |
| SEPLANDE | Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento Econômico |
| UFAL | Universidade Federal de Alagoas |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 15 |
| 3 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 4 | REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 4.1 | Caracterização do município de Delmiro Gouveia – AL..... | 18 |
| 4.2 | Breve histórico das argamassas | 20 |
| 4.3 | Argamassas | 21 |
| 4.4 | Materiais componentes das argamassas | 24 |
| 4.4.1 | Cimento | 25 |
| 4.4.2 | Cal | 26 |
| 4.4.3 | Areia (agregado miúdo)..... | 28 |
| 4.4.4 | Água..... | 29 |
| 4.4.5 | Aditivos..... | 30 |
| 4.4.6 | Saibro (argila e areia; barro) | 31 |
| 4.5 | Argamassas | 32 |
| 4.5.1 | Argamassa para assentamento..... | 32 |
| 4.5.2 | Argamassa para revestimento de paredes e tetos | 32 |
| 4.5.3 | Argamassa de uso geral | 33 |
| 4.6 | Propriedades..... | 35 |
| 4.6.1 | Trabalhabilidade | 39 |
| 4.6.2 | Retenção de água | 40 |
| 4.6.3 | Resistência à compressão e à tração na flexão..... | 42 |
| 5 | METODOLOGIA..... | 44 |
| 5.1 | Planejamento | 45 |
| 5.1.1 | Caracterização dos materiais constituintes | 48 |
| 5.1.1.1 | Cimento..... | 48 |
| 5.1.1.2 | Cal | 49 |
| 5.1.1.3 | Agregado miúdo..... | 49 |
| 5.1.1.4 | Saibro (Argila ou barro)..... | 51 |
| 5.1.2 | Ensaios realizados..... | 52 |
| 5.1.2.1 | Determinação do Índice de consistência | 53 |
| 5.1.2.2 | Determinação da retenção de água..... | 55 |
| 5.1.2.3 | Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão..... | 57 |
| 6 | RESULTADOS | 64 |
| 6.1 | Índice de consistência..... | 64 |
| 6.2 | Retenção de água | 65 |
| 6.3 | Resistência à tração na flexão..... | 66 |
| 6.4 | Resistencia à compressão..... | 66 |
| 6.5 | Custo médio das argamassas | 67 |
| 7 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 69 |
| 7.1 | Resumo dos resultados obtidos | 69 |

| | | |
|------|----------------------------------|----|
| 7.2 | Análise geral | 71 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 73 |
| 9 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| 10 | APÊNDICE | 78 |
| 10.1 | Apêndice A | 78 |

1 INTRODUÇÃO

Argamassa é definida como uma massa plástica homogênea, resultante da mistura de agregado miúdo (areia), aglomerantes (cimento e cal), água e por vezes aditivos, utilizados para obtenção de alguma característica com maior rapidez ou destaque (ABNT, 2005).

As argamassas são materiais muito empregados na construção civil, tendo registros do seu uso há cerca de 11.000 anos, no sul da Galiléia, atualmente Israel. Para Carasek (2010) as primeiras argamassas eram à base de cal e areia, já para Carvalho (2008) a argila molhada foi o primeiro material que exerceu a função de argamassa, contudo, posteriormente houve o aprimoramento da mesma, deixando-a mais resistente e durável, sendo obtida a argamassa à base de cal e areia.

É um material amplamente utilizado nas construções de todo o país, desde pequenas edificações até empreendimentos de grande porte. Mesmo com a grande utilização das argamassas ainda existe a tradição do emprego de traços obtidos empiricamente ou de traços pré-fixados, sendo estes últimos baseados em normas e documentos elaborados por instituições técnicas. Contudo, estudos de dosagem ou ajustes nesses traços pré-fixados são necessários, afim de adequar o traço para a região de utilização do mesmo. (CARASEK, 2010)

As argamassas eram consideradas por muitos como sendo de múltiplo uso, se utilizando a mesma argamassa para diferentes serviços que requerem diferentes propriedades e funções. Entretanto, tal consideração vem sofrendo mudanças no decorrer do tempo. Atualmente, destaca-se a preocupação com as diferentes funções desempenhadas pelos mais variados tipos de argamassas, com o aparecimento de pesquisas sobre o tema, bem como a regulamentação e revisão de normas, buscando difundir e aprimorar o estudo sobre o assunto para o melhor desenvolvimento do material. Porém, mesmo com o desenvolvimento dessas pesquisas, em obras de várias localidades ainda se vê o uso desordenado e negligenciado das argamassas.

Segundo Santos (2008), para que uma argamassa seja considerada de qualidade deve ser produzida visando obter bom desempenho e durabilidade, além de desenvolver algumas propriedades, como plasticidade, aderência, resistência mecânica, ausência de fissuras, entre outras. Entretanto, para que a qualidade seja

alcançada se deve atentar para as características dos materiais constituintes, modo de preparo e manuseio adequados.

Em muitos locais do Brasil há o incremento de um argilomineral na mistura, a argila (barro ou saibro), sendo que a mesma, corriqueiramente, é adicionada a combinação como substituta de um aglomerante, a cal. Entretanto, localmente a utilização do argilomineral acontece, na grande maioria das vezes, devido à falta de conhecimento dos profissionais que o utilizam, ocasionando que a adição de argila acontece de forma descuidada, haja vista que não se tem um estudo prévio para definição do traço da argamassa, sendo o mesmo definido pelo mestre obras e/ou pedreiro, através do conhecimento adquirido ao longo do tempo e de técnicas consagradas na região. Tal método também é muito difundido devido à facilidade de o material ser encontrado na região, além de aparentemente proporcionar diminuição do custo para preparo da argamassa.

Com o desenvolvimento da pesquisa busca-se obter dados a respeito do comportamento da argamassa quando há o acréscimo/substituição da argila em sua composição, tal análise será feita mediante levantamento bibliográfico e também contará com execução de parte prática, com a execução de experimentos laboratoriais, regidos pelas normas regulamentadoras brasileiras, para verificação da influência que a argila possa ter no desempenho de algumas propriedades requeridas para a argamassa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Com a elaboração da pesquisa busca-se desenvolver um estudo comparativo entre argamassas com adição de saibro (argila ou barro) em sua composição, sendo estas confeccionadas em obras localizadas regionalmente, com alguns traços considerados como sendo padrões, constituídos de cimento, cal, areia e água, obtidos através do referencial teórico. Assim, almejando analisar as possíveis diferenças nas propriedades requeridas pela norma, bem como as discrepâncias no custo para preparação destas argamassas.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre a argamassa, com histórico, materiais componentes, funções e propriedades requeridas pela mesma;
- Realizar ensaios laboratoriais para quantificação de algumas propriedades estabelecidas pelas normas;
- Verificar a influência da argila em algumas propriedades das argamassas;
- Analisar os resultados, comparando-os com os estudos teóricos identificados na literatura;
- Realizar o estudo comparativo das propriedades entre os diferentes tipos de argamassas confeccionadas na pesquisa;
- Analisar o custo de execução dos tipos de argamassas utilizados.

3 JUSTIFICATIVA

As argamassas são utilizadas como materiais ligantes a muito tempo, elas são empregadas para desempenhar as mais variadas funções, acarretando com isso em vários tipos de argamassas com diferentes composições e proporções.

Conforme Maccari (2010), devido à falta de conhecimento e também como forma de diminuir o custo no preparo da argamassa muitos construtores optam por utilizarem um argilomineral na composição da mesma, sendo esta a argila, empregada, na maioria das vezes, como substituta da cal, visto que a argila tem menor custo, além de possuir um alto teor de finos, podendo conferir boa trabalhabilidade e plasticidade a argamassa, contudo, ainda há carência de informações quanto ao seu comportamento e influência direta sobre as demais propriedades da argamassa.

A produção de argamassa ainda ocorre de forma descuidada em boa parte das obras de construção civil, onde corriqueiramente a confecção da mesma realiza-se através de técnicas consolidadas regionalmente, não se atentando para o controle de qualidade nem para especificações estabelecidas pelas normas, ocasionando com isso certo preconceito por parte da comunidade técnica na utilização da argila (saibro ou barro) na composição de argamassas. (ARAÚJO, 1995)

No local de análise foi realizada uma pesquisa informal nas obras de pequenas construtoras e construções particulares, para averiguação dos principais traços utilizados regionalmente. Constatou-se que em todas as obras visitadas há o emprego da argila na confecção das argamassas, também foi verificado certo desconhecimento sobre a utilização da cal no preparo da mistura por parte dos entrevistados (pedreiros), acarretando que vários profissionais responsáveis pela definição do traço e execução do serviço utilizavam a argamassa de forma negligenciada, sem se ter um conhecimento técnico das características requeridas para as argamassas, sendo o traço da mesma definido a partir do nível de experiência do pedreiro, obtido através de técnicas convencionais da região.

Muitos autores evidenciam que a utilização da argila de forma imprudente pode ocasionar patologias nos elementos construídos. Além de que como a argila é um material muito heterogêneo, comumente variando sua composição, sua utilização deve ser empregada com cautela. Como os autores comentam em seguida.

A utilização da argamassa de assentamento com saibro requer alguns cuidados, e até mesmo deixaria de ser recomendada para algumas ocasiões, devido à grande probabilidade de surgirem patologias nas alvenarias construídas com essa argamassa. (MOLITERNO, 1995, *apud* MACCARI, 2010)

A pesquisa foi desenvolvida com o intuito de reunir informações necessárias para comparar os resultados provenientes de ensaios laboratoriais regidos por norma, de argamassas com adição de argila em sua composição com as de argamassas sugeridas no referencial teórico, sendo estas à base de cimento e cal, recomendadas para assentamento de blocos e execução de revestimentos de paredes e tetos. Outro fator analisado fora o custo para confecção dos diferentes tipos de argamassa utilizados na pesquisa, bem como a verificação se todas essas argamassas atendem as especificações recomendadas pelas normas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se informações sobre o município de aplicação da pesquisa e sobre o tema argamassas, comentando histórico, composição, classificação e propriedades.

4.1 Caracterização do município de Delmiro Gouveia – AL

Primariamente conhecido como Pedra, devido as grandes rochas que existiam na região, o povoado foi formado a partir da estação da estrada de ferro da Great-Western, companhia inglesa de construção de ferrovias. Em 1903, o cearense Delmiro Augusto da Cruz Gouveia chega à região, onde se estabeleceu vendendo couros de bovinos e pele de caprinos. Grande visionário, Delmiro ainda trouxe para a localidade, por volta de 1912, água canalizada e energia elétrica, ambas oriundas da cachoeira de Paulo Afonso, construindo uma usina hidroelétrica em tal cachoeira. Com grande aptidão para o empreendedorismo, em 1914 instalou uma fábrica de linha, chamada de Companhia Agro Fabril Mercantil, atraindo muitos moradores, acarretando no desenvolvimento da região e na criação da vila operária denominada de Pedra, a qual seus moradores à chamavam de “Pedra de Delmiro”. (SEPLANDE, 2014)

Em 30 de dezembro de 1943 houve a mudança do nome da vila, através do decreto-lei 2.902, sendo nomeada de Delmiro Gouveia, contudo, tal vila pertencia ao município de Água Branca, sendo que seu desmembramento de Água Branca aconteceu em 16 de junho de 1952, pela lei 1.623, passando a ser reconhecida como um município. (IBGE, 2010)

Segundo Mascarenhas, Beltrão e Junior (2005), o município de Delmiro Gouveia está situado na mesorregião do Sertão Alagoano e na microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco (figura 4.1), localizado no extremo oeste do estado de Alagoas, tendo como limites a sul os municípios de Paulo Afonso (BA) e Canindé do São Francisco (SE), a norte Água Branca e Pariconha (AL), a leste Olho D’Água do Casado (AL) e a oeste Jatobá (PE).

De acordo com IBGE, censo 2010, o município de Delmiro Gouveia abrange uma área de 608,491 km², com uma população total estimada em 51.349 habitantes e densidade demográfica de 79,13 habitantes por quilometro quadrado.



Figura 4.1 - Mapa de localização do município de Delmiro Gouveia no estado de Alagoas.

Fonte: Disponível em <<http://1.bp.blogspot.com/-AEfl7c9nr3k/TnzVPcL9Dki/AAAAAAAAAOA/OnuBSMGtn8Y/s1600/image.jpg>>. Acessado dia 08 de junho de 2015.

Segundo Silva *et al.* (2002), a região de Delmiro Gouveia possui clima semiárido e muito quente, a estação chuvosa ocorre no outono e inverno, com intensidades superiores nos meses antecedentes ao inverno, sendo assim susceptível ao cultivo de culturas de ciclo curto, como feijão e milho. Tal município ainda é banhado pelos rios São Francisco e Moxotó, ambos perenes.

Parahyba, Leite e Neto (2006), dizem que os solos encontrados predominantemente na região de estudo são o planossolo e o litólico, sendo o primeiro um solo com baixa profundidade, adensado e com baixa permeabilidade, possuindo camada horizontal superficial de solo de textura arenosa ou média, seguido de uma camada de consistência média, argilosa e muito argilosa, comumente intitulado de horizonte B. Já o segundo normalmente é rochoso, pouco desenvolvido e com baixa espessura. A localidade ainda possui relevo variando de suave ondulado a plano.

4.2 Breve histórico das argamassas

Segundo Oliveira (1959) e Coutinho (1973) *apud* Maccari (2010), o homem primitivo, à procura de melhorar sua qualidade de vida, além de tentar proteger-se, passa a evadir-se das cavernas, buscando edificar abrigos capazes de resistir satisfatoriamente às ações de predadores e aos fenômenos da natureza. Conjetura-se que alguns povos desenvolveram a técnica de arrumar as pedras umas sobre as outras, contudo, a estabilidade na maioria das vezes era comprometida. Outros, porém, partiram para o desenvolvimento da argamassa, afim de ligar os componentes constituintes das alvenarias com essa massa plástica, procurando garantir estabilidade ao abrigo de alvenaria.

As primeiras argamassas, com mais de 10.000 anos de existência, foram descobertas na Galileia, atualmente estado de Israel, tais argamassas eram compostas basicamente de areia e cal, sendo que a produção de cal acontecia de forma similar entre grande parte dos povos da antiguidade. (ALVAREZ, SEQUEIRA, COSTA, 2005)

Há uma carência de informações a respeito do uso de argamassas na história das construções, contudo, alguns autores apontam que os primeiros materiais que apresentavam função de argamassa foram as argilas molhadas.

Desde as primeiras experiências com a alvenaria de pedras, essas civilizações buscaram um material que unisse de forma coesa essas pedras. Inicialmente usaram argamassa de barro (os assírios e babilônios usaram argila como material ligante) e posteriormente, uma argamassa mais resistente e durável, a argamassa de cal. (CARVALHO, 2008)

Martinelli e Helene (1991), dizem “ ao que se sabe, o primeiro material que provavelmente exerceu a função de unir blocos de uma alvenaria foi a argila molhada, que unia blocos feitos do mesmo material”.

Ainda de acordo com os autores supracitados o betume também era bastante usado nas construções, a cerca de 2.000 a.C, como material ligante entre os componentes da alvenaria, sendo que o mesmo ainda tinha como principal função impedir infiltrações nesses elementos construídos.

De acordo com Alvarez, Sequeira e Costa (2005), os romanos conseguiram aperfeiçoar a argamassa, obtendo melhorias nas propriedades de resistência e

trabalhabilidade, com a mistura de materiais aglomerantes e inertes, através da moagem da cal com argila, utilizando a junção de cal e cinzas vulcânicas (pozolanas), além da melhora nos métodos de cozedura e escolha de matérias primas.

Depois do aperfeiçoamento da argamassa, cometida pelos romanos, não se teve aprimoramento da mesma até o desenvolvimento do cimento Portland, por Joseph Aspdin em meados dos anos de 1824, sendo que até os dias atuais o cimento é elemento fundamental para elaboração da grande maioria das argamassas.

Segundo Martinelli e Helene (1991), foram necessários cerca de 5.000 anos para ocorrer a transformação do calcário, uma vez que o mesmo era utilizado nas construções da antiguidade como base para preparar a cal, e posteriormente tal material serviu para o desenvolvimento e aprimoramento do cimento Portland, incessantemente utilizado atualmente, como pode ser visto na figura 4.2.

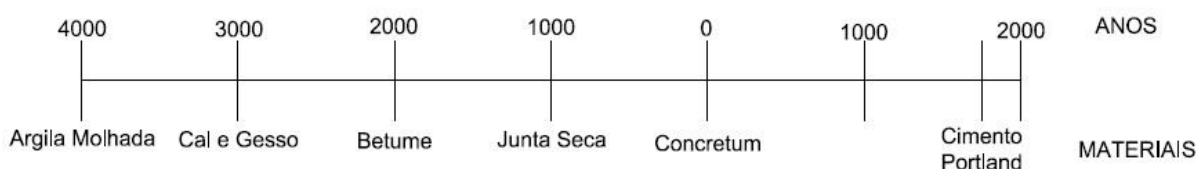


Figura 4.2 – Escala cronológica dos materiais usados como argamassas.
Fonte: Adaptado MARTINELLI e HELENE (1991)

Em meados de 1535, no Brasil, houve o início do povoamento da cidade de Salvador, logo o Reino Português resolveu erguer uma cidade que tivesse o mínimo de conforto para os moradores. Deixou tal façanha a cargo de Tomé de Souza, contudo como não dispunha de mão-de-obra qualificada local, teve que trazer consigo indivíduos qualificados para executarem tal tarefa. Com isso a cidade de Salvador foi construída utilizando argamassa à base de cal, como ligante, além de outros materiais como pedras e adobes, tijolos e telhas cerâmicas. A cal utilizada na confecção da argamassa era adquirida por meio da queima de conchas e mariscos, além disso o óleo de baleia também era muito utilizado como aglomerante. (GOMES, 2002, *apud* MACCARI, 2010)

4.3 Argamassas

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) a argamassa é obtida através da “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo

ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalação própria”.

Oliveira e Agopyan (1992), tendem para a mesma definição que a NBR 13281 (ABNT, 2005), dizendo que a argamassa é “resultante da mistura de um ou mais materiais ligantes, um inerte (geralmente areia) e água, capaz de endurecimento posterior”.

Como já explanado acima a mistura é obtida através de uma combinação dosada de cimento e/ou cal, areia e água, entretanto em alguns casos é constatado o emprego de outros materiais, como argilomineriais, que mesmo constituídos por materiais inertes, desempenham a função de um aglomerante. Sendo que estes materiais, em algumas localidades do país, são empregados como “substitutos” da cal, entretanto regionalmente a argila é utilizada comumente pela falta de conhecimento sobre argamassas mistas à base de cimento e cal. Tal método é muito difundido no país, haja vista que as argamassas ainda são produzidas com certo descaso, sem um estudo prévio sobre as mesmas e também visando uma redução no custo da argamassa.

De acordo com Martinelli e Helene (1991), independentemente do uso dado ou dos materiais utilizados em sua composição, a argamassa deve suprir algumas funções básicas, tais como: resistir, vedar, unir, regularizar e proteger. No entanto tais funções podem ser obtidas, com apuro, atendendo e mantendo uma série de propriedades, durante toda a vida útil da edificação. Além de todos os requisitos listados acima, deve-se atentar para a economia, plasticidade, poder de incorporação da areia, homogeneidade, compacidade e durabilidade, uma vez que cada tipo de serviço exige diferentes características e propriedades, compatíveis a seu uso.

Ainda segundo os autores, as principais propriedades exigidas, no estado fresco são trabalhabilidade, retenção de água e resistência mecânica inicial, já no estado endurecido são exigidas estanqueidade, aderência, estabilidade volumétrica e capacidade de assimilar deformações, assegurando um desempenho satisfatório das argamassas.

No geral as argamassas são empregadas no assentamento de alvenarias e na execução de revestimentos, logo as mesmas basicamente são utilizadas para

contribuir na resistividade aos esforços laterais e unir com resistência os elementos da alvenaria, tornando-os monolíticos, distribuir uniformemente as cargas que atuam na parede por toda a área resistente, absorver as deformações que a alvenaria sofre espontaneamente, selar as juntas contra penetração da água da chuva e dar acabamento como reboco em paredes, tetos e pisos, reparos de obras, entre outros. (MACCARI, 2010)

A argamassa é tida como um componente destinado a unir os elementos entre si, distribuindo e uniformizando as tensões de contato entre os elementos da alvenaria, aumentam a resistência ao cisalhamento e à tração da parede, contribuem para a melhora do isolamento térmico e acústico da parede, além de aumentar a estanqueidade. Entretanto para que haja o desempenho desejado é preciso atentar para características físicas e químicas, controle na fabricação, dosagem e escolha dos materiais constituintes. (PEREIRA, 2005)

Segundo Maccari (2010), assim como acontece com o concreto, as argamassas também possuem uma configuração fluida nas horas iniciais, logo após sua execução, acarretando que com o passar do tempo haja endurecimento, ganho gradual de resistência e durabilidade. Logo, alguns técnicos tendem em tratar a argamassa como se possuísse as mesmas exigências do concreto, o que não é real, haja vista que o concreto não abrange todas aquelas exigidas pelas argamassas. No entanto devido à grande variedade de aplicações e funções que as argamassas são empregadas, é essencial e indispensável que seja feita uma diferenciação de enfoque, porém com aprofundamento no estudo das mesmas, para que possam serem catalogadas e classificadas categoricamente.

Outro autor apresenta opinião convergente a respeito do estudo sobre argamassas, Sabbatini afirma que o conhecimento sobre argamassas vem sendo negligenciado devido a confusão que se faz entre as características da argamassa de assentamento com as do concreto.

Acredita-se que isso ocorra porque se confunde as características desejáveis de uma argamassa de assentamento com as da argamassa constituinte do concreto de cimento Portland. Para essa última é exigida, basicamente, a resistência a esforços mecânicos, enquanto que para a argamassa de assentamento são fundamentais características de trabalhabilidade, aderência e deformabilidade, tendo a resistência uma importância secundária. (SABBATINI, 1986)

Conforme Oliveira e Agopyan (1992), a argamassa representa em torno de 6% do custo de uma edificação, por esse motivo a mesma era tratada com pouco interesse técnico, sendo encontrado diversos tipos de argamassas especificadas para a mesma função. Contudo, com a inadequada utilização do material, pode haver comprometimento no desempenho dos componentes em que a mesma é utilizada. Logo, mesmo com o baixo impacto causado no custo da obra, a argamassa quando utilizada com negligência pode acarretar em danos nos elementos em que está inserida, causando reparos bastante onerosos, visto que os problemas vão envolver mais elementos da edificação além da própria argamassa.

Outros autores, citam que geralmente os cuidados com o comportamento e algumas propriedades da argamassa acontecem somente no estado inicial de execução, desprezando-se a análise de como o material atuará no futuro.

É comum, nos canteiros de obra, que haja precauções com o comportamento do material a ser empregado, porém qualquer análise sempre se atém, quando muito, ao custo e ao estado inicial apresentado pelo material recém-aplicado, ou seja, seu comportamento durante e logo após a aplicação. Despreza-se completamente o “como” se comportará o material ao longo da vida útil da edificação e de “como” se manterão todas as funções dele exigidas ao longo do tempo. (MARTINELLE E HELENE, 1991)

4.4 Materiais componentes das argamassas

As argamassas mais empregadas nas obras, geralmente, são compostas de areia lavada, aglomerantes, como cal hidratada e cimento Portland, e água, contudo, ainda há a adição de aditivos em sua composição, quando se tem a necessidade que uma característica ou propriedade seja alcançada com maior rapidez ou duração.

Como já exposto acima, em vários locais do país se constata a adição de argilominerais (saibro; barro ou argila) na composição da argamassa, embora muitas vezes não se tenha um estudo prévio se com essa inclusão haveria perda de propriedades características requeridas pela argamassa. Regionalmente o método de acréscimo de argilominerías à mistura é amplamente difundido, não se tendo o hábito da utilização da cal na composição das argamassas.

4.4.1 Cimento

Segundo Carvalho (2008), por volta de 1758 o engenheiro inglês John Smeaton analisando materiais aglomerantes, concluiu que uma mistura de calcário e argilas era muito superior ao calcário puro, a essa mistura foi atribuído o nome de cimento hidráulico, haja vista que tal mistura em contato com a água adquiria forma fluida, embora logo em seguida fosse endurecendo e obtendo resistência. Já o cimento Portland, mundialmente conhecido e incessantemente utilizado, foi desenvolvido pelo construtor inglês, Joseph Aspdin, em 1824, sendo que este se dedicou a melhorar a qualidade do cimento, buscando proporções mais precisas de matérias primas, argila e pedras calcárias, e calcinando-as a temperaturas muito elevadas, obtendo como resultado um pó fino, que quando endurecido se tornava tão duro quanto às pedras utilizadas na construção da época, além de não se dissolver quando em contato com água, resultando num cimento com qualidade elevada, o qual lhe atribuiu o nome de cimento Portland.

Polito (2008), afirma que “ o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico, dos componentes de uma argamassa. É imprescindível que seja utilizado de forma correta, e para isto, é preciso conhecer bem suas características e propriedades. ”

De acordo com ABCP (2002), o cimento Portland é considerado como sendo “um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação de água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento não se decompõe mais”. Esse cimento é composto por clínquer e adições, sendo o clínquer seu principal constituinte, tendo este como matérias primas o calcário e a argila. As adições são outras matérias-primas, tais como: gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e carbonáticos, que quando adicionadas ao clínquer melhoram as propriedades dos diferentes tipos de cimento.

Há diferentes tipos de cimento no Brasil, geralmente diferenciados devido a composição de cada, todos são a base clínquer e gesso, porém ocorre o incremento de adições quando se necessita que uma propriedade seja predominante. O cimento é fabricado de acordo com as resistências à compressão de 25, 32 e 40 MPa (BASTOS, 2001).

Bastos (2006), afirma que dentre os vários tipos de cimentos encontrados no mercado, os mais utilizados nas construções comuns no Brasil são o CP II E-32, o CP II F-32 e o CP III-40, já o CP V-ARI tem uso mais difundido em fabricas de estruturas pré-moldadas.

A escolha do tipo de cimento para cada uso depende das características desejadas para a argamassa. Os cimentos com diferentes classes de resistência produzirão argamassas com resistências variáveis, porém a trabalhabilidade e a capacidade de assimilar deformações das argamassas não sofrerão mudanças expressivas. (POLITO, 2008)

Na argamassa o cimento tem a função de aglomerante, independentemente do tipo, onde o mesmo reage quando entra em contato com a água, adquirindo uma forma pastosa e posteriormente há endurecimento e ganho de resistência de forma gradual, atribuindo resistência mecânica e aderência para a argamassa.

4.4.2 Cal

A cal tem sido utilizada na construção desde que o homem começou a erguer cidades, onde há relatos de construções, com o emprego da cal, há mais de 5.000 a.C., sendo que a cal era adquirida com a cozedura de pedras calcárias, em fornos com elevadas temperaturas, visto que o cozimento da cal é primordial para um desempenho satisfatório da argamassa. (RIBEIRO e LOPES, 2007).

Conforme Amthauer (2001), a cal é um aglomerante aéreo, o qual reage com o ar, pela ação química do gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera. A cal passa, basicamente, por três procedimentos a partir de seu estado natural (pedra calcária ou dolomítica, sendo esta última uma pedra com adição de magnésio substituindo parte do cálcio), calcinação, hidratação e carbonatação. A calcinação é o processo de queima da pedra calcária ou dolomítica, sendo adquirido o óxido de cálcio (CaO) (ou óxido de magnésio, MgO) chamado de cal virgem. Já o processo de hidratação consiste na adição de água à cal virgem, tendo como resultado o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) (ou hidróxido de magnésio, Mg(OH)_2) denominado de cal hidratada. Na carbonatação, a cal hidratada reage com o gás carbônico (CO_2) havendo endurecimento da mesma.

Na maior parte das obras de construção civil, se emprega a cal hidratada, haja vista que para o uso da cal virgem se necessita de espaço e principalmente de muito tempo, para que ocorra a reação de forma apropriada. (MACCARI, 2010)

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define cal hidratada como sendo “ pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. “

A cal hidratada é denominada de acordo com as exigências físicas e químicas especificadas para tal, podendo receber a denominação: CH-I, CH-II e CH-III. O tipo CH-I é considerado o mais puro dentre as demais, seguido por CH-II e CH-III respectivamente, sendo assim a cal CH-I considerada a mais nobre, como se pode constatar na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Exigências químicas das cales.

| Compostos | | Limites | | |
|---|-------------|---------|-------|--------|
| | | CH-I | CH-II | CH-III |
| Anidrido Carbônico (CO ₂) | Na fábrica | ≤ 5% | ≤ 5% | ≤ 13% |
| | No depósito | ≤ 7% | ≤ 7% | ≤ 15% |
| Óxidos de cálcio e magnésio não hidratados (CaO+MgO) | | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 15% |
| Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO+MgO) | | ≥ 90% | ≥ 88% | ≥ 88% |

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2003)

Dubaj (2000), diz que, na argamassa, a cal é considerada de grande importância, visto que a mesma melhora as propriedades de plasticidade, permitindo melhor trabalhabilidade, retenção de água e de absorver deformações (resiliência), devido ao seu baixo módulo de elasticidade, contudo, a composição química da cal pode influenciar nessas propriedades. Dubaj, ainda assegura que muitos autores destacam que a cal confere as argamassas uma maior resistência a penetração de água, além de aumento na durabilidade da argamassa, devido a recarbonatação da cal, com períodos de umedecimento e secagem, havendo o restabelecimento de pequenas fissuras.

4.4.3 Areia (agregado miúdo)

Bauer (2000) *apud* Santos (2008), assegura que “agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos”.

Maccari (2010), salienta que os agregados provêm de materiais pétreos fragmentados, atuando nas argamassas como elementos inertes. Também assegura que antes de ser utilizada na argamassa, a areia, necessita estar livre de substâncias nocivas que prejudiquem as reações e o endurecimento, não deve conter material orgânico, como resto de vegetais e animais, além de torrões de argila, deixando-a limpa para utilização.

Segundo Santos (2008), as areias, comumente, têm formato granular e podem ser classificadas com base em sua composição granulométrica, e ainda de acordo com sua origem podem ser rotulados como artificial ou natural:

- Agregados naturais: são adquiridos por meio da exploração de jazidas naturais ou retirados dos leitos dos rios.
- Agregados artificiais: são adquiridos por meio de processos industriais, britagem de rocha.

Conforme Dubaj (2000), com a utilização da areia na argamassa há redução de custos, além de impor as argamassas propriedades que a pasta não possui. Contudo, para que os agregados exerçam suas funções adequadamente, se faz necessário que possuam granulometria contínua.

A adição do agregado miúdo à pasta, no caso das argamassas mistas de cal e cimento, barateia o produto pois diminui o consumo de cimento e cal, além de eliminar em parte as modificações de volume e facilitar a passagem de anidrido carbônico do ar necessário na recarbonatação do hidróxido de cálcio. (AZEREDO, 1978, *apud* DUBAJ, 2000)

Sabbatini (1986), relata que o agregado miúdo tem influência em algumas propriedades das argamassas, visto que à medida que ocorre variação nas características da areia, também ocorre modificação em algumas propriedades das argamassas, como pode ser visto na tabela 4.2. O autor ainda salienta que uma areia com granulometria contínua e classificada como média, com módulo de finura entre 1,8 e 2,8, tem mais chances de produzir uma argamassa apropriada.

Tabela 4.2 – Influência das características granulométricas da areia nas propriedades das argamassas de assentamento.

| Propriedades | Características da areia | | |
|----------------------|--|--|---|
| | Quanto menor o módulo de finura | Quanto mais descontinua for a granulometria | Quanto maior o teor de grãos angulosos |
| Trabalhabilidade | Melhor | Pior | Pior |
| Retenção de água | Melhor | Variável* | Melhor |
| Resiliência | Variável | Pior | Pior |
| Retração por secagem | Aumenta | Aumenta | Variável* |
| Porosidade | Variável* | Aumenta | Variável* |
| Aderência | Pior | Pior | Melhor |
| Resist. Mecânicas | Variável* | Pior | Variável* |
| Impermeabilidade | Pior | Pior | Variável* |

*Variável – Quando não existe uma influência definitiva ou quando depende de outros fatores.
Fonte: SABBATINI (1986)

Com base nos autores consultados, se recomenda utilizar areia com graduação contínua, com modulo de finura adequado para cada função e livre de materiais impróprios para que se melhore características como trabalhabilidade, retração por secagem e resistência a esforços de compressão e de aderência das argamassas.

Segundo Araújo (1995), “o agregado miúdo tem função de estruturação (enchimento), constituindo um material pouco deformável que suporta a retração de volume do cimento e dos finos do saibro, reduzindo as fissuras.”

4.4.4 Água

Matos (2013), diz que a água de amassamento é necessária na argamassa para que as reações químicas do cimento ocorram, tais como as reações de hidratação. A quantidade de água adicionada, está relacionada com a trabalhabilidade da argamassa, além de influenciar nas propriedades de resistência mecânica, aderência e durabilidade.

Segundo Amthauer (2001), outra característica muito importante é a qualidade da água, uma vez que é recomendável o uso de água potável com pH neutro, livre de sujeiras e matéria orgânica de fácil identificação, sendo que essas substâncias podem alterar o tempo de pega, bem como acarretar problemas nas reações ocorridas no cimento.

De acordo com Santos (2008), se deve armazenar a água, utilizada no amassamento da argamassa, em recipientes onde se possa evitar a contaminação por substâncias prejudiciais ao desempenho da argamassa, como reservatórios estanques, caixas d'água com tampa, etc.

4.4.5 Aditivos

Segundo Santos (2008), os aditivos são produtos químicos, que são acrescentados na mistura da argamassa afim de aprimorar algumas de suas propriedades físicas e seu desempenho, como plasticidade, tempo de pega, resistência mecânica, impermeabilidade, aparência e durabilidade.

Os aditivos são incorporados a argamassa para se obter um melhor desempenho da mistura. Contudo, alguns autores apontam para alguns problemas causados pelo uso imprudente de aditivos.

Determinados aditivos não desempenham suas funções com apuro, visto que alguns destes afetam de forma negativa o desempenho das argamassas, prejudicando a trabalhabilidade da mistura no seu estado plástico, como também a aderência no seu estado endurecido. (CARASEK e CAMPGNOLLO, 1990)

Dubaj (2008), cita que a utilização de aditivos é aceitável, desde que suas propriedades, efeitos e desvantagens referentes ao desempenho da argamassa sejam conhecidas, além de sua aplicação ser feita por pessoa capacitada para o serviço. Contudo, quando os aditivos são adicionados para substituir algum material da mistura, como resultado se tem uma argamassa com desempenho inferior daquele oriundo da argamassa composta por todos os seus constituintes genuínos.

4.4.6 Saibro (argila e areia; barro)

Oliveira e Agopyan (1992), definem saibro como sendo “ um material proveniente da decomposição incompleta de rochas leucocráticas (granito e gnaiss) que conserva vestígios da composição original. ”

O saibro (argila e areia; barro) é tido como um material de textura terrosa, granulação fina, com partículas de pequenas dimensões, sendo composto basicamente de argilominerais, podendo conter matéria orgânica e outras impurezas. (MACCARI, 2010)

Conforme Carasek (2010), os saibros foram largamente utilizados no Brasil com a finalidade de conferir plasticidade e também como forma de tentar diminuir o custo da argamassa. Tal material recebe várias denominações regionais, tais como: taguá, arenoso, caulim, massara, piçarra, salmorão, argila de goma, barro, areia de reboco, areia rosa, areia de meia liga, etc.

Conforme Oliveira e Agopyan (1992), o saibro mesmo sendo um material quimicamente inerte, é tido como um aglomerante, uma vez que o mesmo confere trabalhabilidade e liga à argamassa, desempenhando funções cabíveis a um aglomerante.

O saibro ou barro é utilizado nas mais variadas localidades do país, na composição de argamassas de assentamento e revestimento, tal material é utilizado por conferir plasticidade e dar liga à mistura, além de baratear seu custo inicialmente. Contudo, o saibro quando empregado em argamassas de revestimento apresenta problemas, como ocorrência de trincas, retenção de umidade, deslocamentos de película de tinta e entre outros, acarretando que o mesmo não seja bem aceito no meio científico. Já nas argamassas de assentamento há maior aceitação, sendo considerado imprescindível o seu uso por parte dos pedreiros, porém os engenheiros e pesquisadores ignoram o uso de tal material. (OLIVEIRA e AGOPYAN, 1992)

Carasek (2010), diz que mesmo com as vantagens no emprego do saibro, há grandes desvantagens no seu uso, visto que o mesmo pode ocasionar grande quantidade de patologias. Sendo que essas patologias são geradas através de sua utilização indiscriminada, dificuldade em se especificar traços precisos, uma vez que

há ampla variabilidade nas características em geral do saibro, valores excessivos de matéria orgânica, além do material ser muito heterogêneo.

4.5 Argamassas

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas são classificadas de acordo com a função que desempenham na edificação.

4.5.1 Argamassa para assentamento

É utilizada para a elevação das paredes e muros de tijolos ou blocos, a mesma ainda é subdividida de acordo com sua funcionalidade, logo de acordo com a NBR 13281 (ABNT,2005), tem-se as seguintes definições:

- Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: recomendada para união de elementos de vedação (blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com a função de vedação;
- Para assentamento em alvenaria estrutural: recomendada para união de itens de vedação no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
- Argamassa de encunhamento: empregada na complementação de alvenaria, para fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes, ligando o topo da parede de alvenaria e a estrutura de concreto armado.

4.5.2 Argamassa para revestimento de paredes e tetos

O próprio nome já se refere para que a mesma é utilizada, logo reforçando, Carasek (2010) afirma que tal argamassa é utilizada para revestir paredes, muros e tetos, sendo a mesma ainda sujeita a acabamentos mais sofisticados. Além disso, segundo Carasek, ela ainda está subdividida em:

- Chapisco: camada de preparo para à base, consisti em um revestimento rústico, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento;
- Emboço: utilizada para cobrir e regularizar a base, depois do chapisco, tendo como resultado uma nova superfície, menos áspera, permitindo receber outra camada para acabamento;
- Reboco: empregado para cobrir o emboço, resultando em uma superfície apta para receber o revestimento decorativo;
- Camada única: único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicado uma camada decorativa;
- Revestimento decorativo monocamada (RDM): única camada aplicado à base, onde a mesma desempenha as funções de regularização e decoração.

A disposição da argamassa de revestimento no substrato pode ser verificada na figura 4.3.

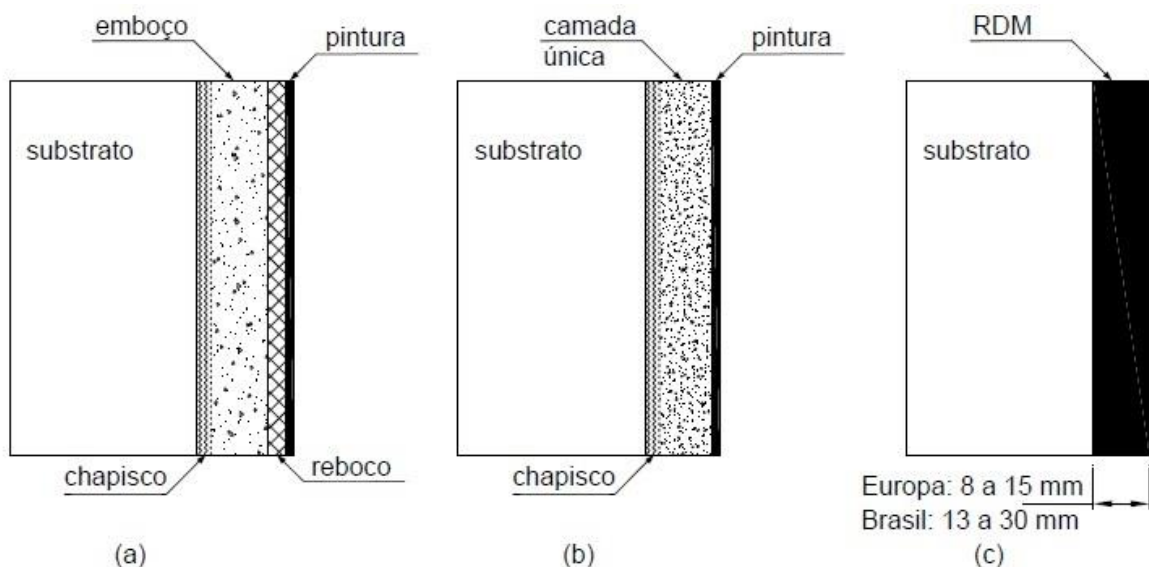


Figura 4.3 – Diferentes alternativas de revestimento de parede: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada.

Fonte: CARASEK (2010)

4.5.3 Argamassa de uso geral

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), a mesma é indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e também para revestimento de paredes e tetos internos e externos.

Carasek (2010), sugere alguns traços para as argamassas de usos comuns, utilizadas no assentamento de blocos e na execução de revestimento de paredes e tetos, tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Traços recomendados.

| Tipo de argamassa | Traço em volume | | |
|---|-----------------|-----|--------|
| | Cimento | Cal | Areia |
| Revestimento de paredes interno e externo | 1 | 2 | 9 a 11 |
| Assentamento de blocos | 1 | 1 | 6 |

Fonte: CARASEK (2010)

A autora supracitada ainda diz que as argamassas podem ser classificadas com relação ao modo como são preparadas e materiais utilizados, que podem ser vistos na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Classificação das argamassas.

| Critério de classificação | Tipo |
|---|--|
| Quanto à natureza do aglomerante | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa aérea • Argamassa hidráulica |
| Quanto ao tipo de aglomerante | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso |
| Quanto ao número de aglomerantes | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa simples • Argamassa mista |
| Quanto a consistência da argamassa | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida |
| Quanto à plasticidade da argamassa | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda |
| Quanto à densidade de massa da argamassa | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada |
| Quanto à forma de preparo ou fornecimento | <ul style="list-style-type: none"> • Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central |

Fonte: CARASEK (2010)

Como exposto acima, as argamassas são classificadas de acordo com modo de preparo, materiais constituintes, entre outros. Contudo, a mesma ainda pode ser classificada segundo a sua função na edificação. Com isso há a necessidade de cautela no seu preparo, visto que as argamassas são utilizadas em grande parte de uma obra, contudo, desempenhando funções distintas que requerem diferentes propriedades.

4.6 Propriedades

As argamassas de assentamento e revestimento desempenham várias funções, dentre elas, pode-se destacar: unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos componentes de alvenaria, absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita, revestir e proteger uniformemente a alvenaria contra agentes agressivos externos, integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo no isolamento acústico, isolamento térmico e estanqueidade à água, entre outras. Contudo, para que essas funções sejam adquiridas, basicamente a argamassa deve atender a um grupo de propriedades (no estado plástico e no endurecido), para que se obtenha como resultado um material com comportamento satisfatório, atendendo as funções exigidas. (CARASEK, 2010)

Alguns autores divergem a respeito das principais propriedades que a argamassa tenha que desempenhar, porém as citadas como mais importantes são: trabalhabilidade, retenção de água, resistência mecânica inicial, estanqueidade, resistência mecânica final, aderência, estabilidade volumétrica e capacidade de assimilar deformações. Sendo que as três primeiras se referem a argamassa no seu estado fresco e as restantes no estado endurecido. (MARTINELLI e HELENE, 1991)

Plummer (1967) *apud* Martinelli e Hellene (1991), afirma que a principal propriedade requerida pela argamassa seria a de aderência, apesar disso ele ainda destaca como propriedades importantes a trabalhabilidade, retenção de água, resistência à tração e à compressão. Já Boyton e Gustschick (1964) *apud* Martinelli e Hellene (1991), afirmam que “as principais propriedades das argamassas são: durabilidade, ausência de eflorescência, aderência, estabilidade volumétrica,

resistência e trabalhabilidade. ” Carasek (2010) explana sobre as funções que as argamassas tenham que desempenhar, frisando as propriedades requeridas para que tais funções sejam obtidas com aproveitamento satisfatório, tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Usos, funções e propriedades das argamassas.

| Usos | Funções | Propriedades |
|---|---|--|
| Assentamento de alvenaria (elevação) | Unir as unidades de alvenaria; Resistir a esforços mecânicos; Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede; Absorver deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; Selar as juntas. | Trabalhabilidade (consistência e plasticidade); Retenção de água; Aderência; Resistência mecânica; Estabilidade volumétrica; C.A.D* |
| Chapisco | Garantir aderência entre a base e o revestimento de argamassa; Contribuir com a estanqueidade da vedação. | Rugosidade; Aderência; |
| Emboço e Camada única | Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo; Integrar o sistema de vedação dos edifícios; Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos; | Trabalhabilidade (plasticidade e adesão inicial) Baixa retração; Aderência; Baixa permeabilidade a água; Resistência mecânica; C.A.D* |
| Contrapiso | Regularizar a superfície para receber acabamento (piso); | Aderência; Resistência mecânica. |
| Argamassa colante (assentamento de revestimento cerâmico) | “Colar” a peça cerâmica ao substrato; Absorver deformações naturais a que o sistema de revestimento cerâmico estiver sujeito; | Trabalhabilidade; Retenção de água Aderência; C.A.D* |
| Argamassa de rejuntamento | Vedar as juntas; Permitir a substituição de peças cerâmicas; Ajustar os efeitos de alinhamento; Absorver pequenas deformações do sistema; | Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial); Baixa retração; Aderência; C.A.D* |
| Argamassa de reparo de estruturas de concreto | Reconstituição geométrica de elementos estruturais em processo de recuperação. | Trabalhabilidade; Aderência ao concreto e armadura originais; Baixa retração; Resistência mecânica; Baixa permeabilidade e absorção de água. |

*C.A.D – Capacidade de Absorver Deformações

Fonte: CARASEK (2010)

Com a análise da tabela 4.5, nota-se que propriedades como trabalhabilidade, retenção de água, aderência e capacidade de absorver deformações são comumente requeridas nos mais variados tipos de argamassas, tendo grande importância no desempenho destas. Também não menos importante que as citadas anteriormente se têm a propriedade de resistência mecânica, sendo esta requerida por argamassas tanto de assentamento quanto de revestimento.

Martinelli e Hellene (1991), destacam como primordiais as propriedades de trabalhabilidade e retenção de água, no estado fresco, resistência mecânica, capacidade de assimilar deformações e aderência, no estado endurecido. Ainda afirmam que a maior parte das propriedades são correlacionadas entre si, destacando que a partir do controle de algumas destas se pode ter o controle do restante das propriedades requeridas.

É a partir desse “tripé” de propriedades (resistência mecânica, capacidade de assimilar deformações e aderência) que parece possível ter-se sob controle grande parte das demais propriedades requeridas no estado endurecido das argamassas. (MARTINELLI e HELENE, 1991)

Logo, de acordo com o uso dado a argamassa se estabelece exigências que devem ser atendidas, onde estas exigências diferem para os vários tipos de argamassas, acarretando que se tenha cautela no fabrico destas.

A ABNT, estabeleceu algumas normas para verificação de algumas propriedades requeridas para as argamassas, quantificando valores aceitáveis para um bom desempenho do material, através de ensaios laboratoriais, tais normas são:

- NBR 13276/2005: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência;*
- NBR 13277/2005: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água;*
- NBR 13278/2005: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado;*
- NBR 13279/2005: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão axial;*

- NBR 13280/2005: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido;*
- NBR 15258/2005: *Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração;*

4.6.1 Trabalhabilidade

“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. “ (CARASEK, 2010)

Segundo Oliveira e Agopyan (1992), “para uma argamassa ser convenientemente utilizada e conseqüentemente apresentar todo o seu potencial de qualidade é necessário que ela seja trabalhável. ”

Conforme Davison (1974) *apud* Sabbatini (1986), a trabalhabilidade é a mais importante propriedade no estado fresco, contudo, ela também é considerada como sendo uma propriedade de difícil mensuração, arbitrária e pessoal, haja vista que ela é tida como uma combinação de várias características, tais como: plasticidade, coesão, consistência, viscosidade, adesão e densidade, sendo que para se ter uma mensuração indireta da mesma, há a sua correlação com a consistência da argamassa. Sabbatini ainda lista alguns atributos para que a argamassa seja considerada com boa trabalhabilidade.

Qualitativamente, diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando: distribui-se facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias; “agarra” a colher de pedreiro (quando transportada e não “agarra” quando distribuída no tijolo); não segrega ao ser transportada; não endurece em contato com blocos de sucção elevada e, permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos sejam ajustados facilmente no nível e no prumo. (SABBATINI, 1986)

Segundo Carasek (2010), a consistência é tida como a quantificação da deformação da argamassa sob ação de cargas, podendo ser classificada em seca, plástica ou fluida, variando com a quantidade de pasta aglomerante existente entorno dos grãos. Já a plasticidade, de acordo com Araújo (1995), é uma “propriedade que permite a argamassa deforma-se sem ruptura, sob ação de forças superiores às que promovem sua estabilidade.

Conforme Amthauer (2001), os fatores que possuem maior influência na trabalhabilidade, são:

- Quantidade de água (relação água/aglomerante);
- Quantidade de aglomerante em relação aos agregados (relação aglomerante/areia);
- Quantidade de cal e forma como é empregada;
- Granulometria e forma dos grãos do agregado.

A trabalhabilidade ainda pode influenciar no custo do serviço, visto que como ela não é uma propriedade fácil de ser mensurada, ocorre a variação da mesma de acordo com a preferência pessoal do pedreiro, tradição construtiva e de propriedades do substrato, acarretando também numa maior quantidade de tempo para execução do serviço quando não se tem uma trabalhabilidade adequada da argamassa.

4.6.2 Retenção de água

Sabbatini (1986), afirma que “ a retenção de água é entendida como a capacidade que a argamassa possui de reter a água que contém quando colocada em contato com blocos de alta sucção. Não se define a retenção de água contra a evaporação. ”

“Retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade de a argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água de amassamento. “ (CARASEK, 2010)

A retenção de água é tida como uma propriedade de extrema importância, haja vista que a mesma pode afetar o desempenho de outras propriedades no estado fresco e no estado endurecido da argamassa, além de reter a água necessária para que as reações dos aglomerantes aconteçam. Como pode ser notado com a afirmação abaixo.

Após o endurecimento, as argamassas dependem, em grande parte, de uma adequada retenção de água, para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes se efetuem de maneira apropriada. Dentre estas propriedades podem ser citadas a aderência, a resistência mecânica final e a durabilidade do material aplicado. (CARASEK, 2010)

A capacidade de retenção de água varia amplamente com o traço adotado para a argamassa e também com o potencial de sucção do bloco. Para aumento da propriedade se recomenda uso de materiais com maior superfície específica (maior finura), como o uso da cal em maiores proporções, e utilização de aditivos que absorvam a água ou impeçam sua percolação, como apresentado no esquema abaixo, figura 4.4. (SABBATINI, 1986)

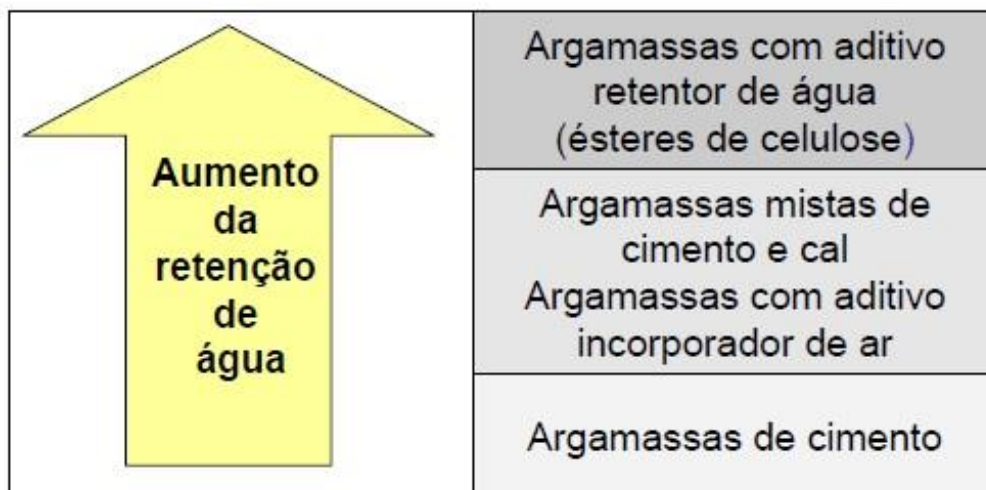


Figura 4.4 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas.
Fonte: CARASEK (2010)

Como exposto anteriormente para a argamassa ter um desempenho satisfatório, é necessário que suas reações de hidratação aconteçam. Logo, segundo Carasek (2010), para que essas reações ocorram as argamassas devem ter valores para retenção de água superiores a 75%. A mesma ainda assegura que a retenção de água da argamassa pode variar à medida que sua composição é alterada, seguindo a mesma ideia apresentada por Sabbatini (1986).

Segundo Amthauer (2001), a perda de água rapidamente da argamassa acarreta danos no seu desempenho, comprometendo o comportamento da parede. Prejudicando a aderência, capacidade de assimilar deformações, resistência à compressão e a esforços de tração e cisalhamento submetidos a argamassa. Como consequência das perdas acima listadas ainda há prejuízo na durabilidade e estanqueidade da parede.

4.6.3 Resistência à compressão e à tração na flexão

A resistência mecânica das argamassas é considerada como a capacidade destas de resistirem a esforços de tração, compressão, cisalhamento e abrasão, provenientes através de sua utilização. Como pode ser observado abaixo alguns autores relacionam a resistência mecânica com eventuais esforços sofridos pela estrutura.

A resistência mecânica das argamassas está relacionada à sua capacidade de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou decorrentes de efeitos das condições ambientais. (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004)

Sabbatini (1986), diz que a resistência à compressão das argamassas tem início com o endurecimento da mesma e aumenta gradualmente com o decorrer do tempo. Conforme Nakakura e Cincotto (2004), a característica de resistência à compressão é frequentemente ligada as argamassas de assentamento e de revestimento, contudo, essa propriedade aparenta estar mais associada à argamassa de assentamento devido ao modo de como a mesma é solicitada no sistema de vedação. Já no sistema de revestimento de argamassa a solicitação considerada como maior é de resistência à tração ou ao cisalhamento, visto que a argamassa deve suportar os esforços de tensão visando impedir a fissuração do revestimento.

De acordo com Maccari (2010), alguns fatores agem diretamente na variação de resistência aos esforços mecânicos, dentre os quais, temos: traço, consistência conferida a mistura, granulometria e tipo do agregado, relação água/cimento, compactação e lançamento da massa, condições de temperatura e umidade, além da relação de agregado/cimento.

Conforme Carasek (2010), “não são necessárias resistências altas das argamassas para garantir o bom desempenho das paredes. “ Esse fenômeno acontece, visto que a argamassa exerce pouca influência na resistência à compressão da alvenaria. A variação da resistência à compressão da alvenaria pode ser verificada na figura 4.5, para argamassa de assentamento, sendo que de acordo com que o traço desta é modificado, diminuindo a resistência à compressão da argamassa, acontece a alteração da resistência à compressão da parede em pequenas quantidades.

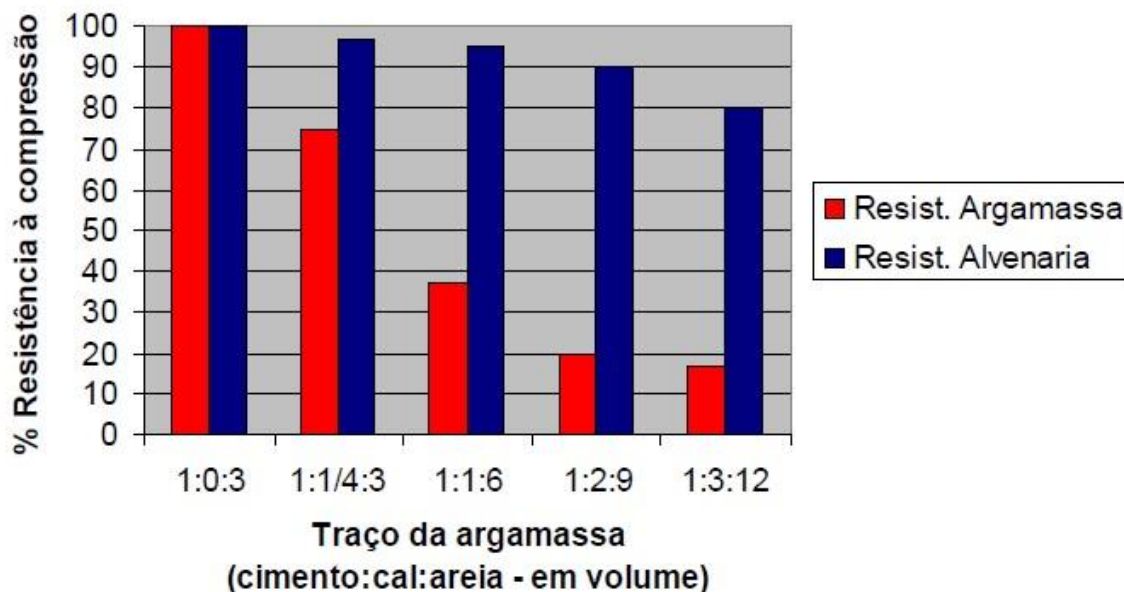


Figura 4.5 – Influência da resistência da argamassa na resistência da parede.
Fonte: CARASEK (2010)

No Brasil ambas as resistências, à compressão e à tração na flexão, são obtidas através de ensaios laboratoriais, os quais são regidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005). As normas brasileiras não especificam um valor mínimo para a resistência à compressão das argamassas convencionais, as mesmas podem ser classificadas seguindo as recomendações da NBR 13281 (ABNT, 2005), contudo sem ser atribuído um valor ínfimo para tal característica.

Aguilar *et. al.* (2004) *apud* Polito (2008), propõem que para as argamassas atingirem boa qualidade, estas devem possuir resistência à compressão superior a 2,5 MPa.

5 METODOLOGIA

Geralmente nas pequenas empresas e/ou construções próprias da região, há a utilização de argamassas com o acréscimo do saibro em sua composição. Tal adição acontece devido a cultura regional, sendo que muitos construtores utilizam o traço da argamassa com base em informações adquiridas ao longo da vida profissional, através da experiência, além do que a definição do traço é deixada sob responsabilidade do mestre de obras e/ou do pedreiro. Não se tendo uma preocupação com a busca por informações atualizadas e precisas. O saibro é adicionado a mistura visando que o mesmo desempenhe o papel de um aglomerante/aglutinante. Contudo, essa adição acontece devido, inicialmente, a falta de informação sobre o referido tema e também devido ao custo, uma vez que alguns construtores mesmo sabendo da existência e dos benefícios oriundos da argamassa mista à base de cimento e cal optam por utilizarem a argamassa com adição de saibro, já que o mesmo é encontrado abundantemente na natureza.

Com a constatação do emprego de tal método na localidade, isto é, o incremento do saibro na mistura da argamassa, despertou-se o interesse para dar início a este estudo, afim de examinar e avaliar os traços utilizados na região, quantificando e comparando suas propriedades e características com traços padrão constituídos por cimento, cal e areia, sendo estes obtidos através da pesquisa bibliográfica. Além do que a adição de saibro ocorre de maneira não padronizada, uma vez que há grande heterogeneidade nos tipos de saibro, sendo que corriqueiramente não se sabe se haveria perda ou diminuição de propriedades requeridas pelas argamassas. Outro fator analisado é o custo da argamassa, onde será definido o custo médio do metro cubico da argamassa para os traços confeccionados na pesquisa, com os valores dos materiais obtidos nos estabelecimentos que comercializam materiais de construção na cidade de Delmiro Gouveia/AL.

A metodologia empregada para elaboração da pesquisa consistiu em fazer um levantamento bibliográfico a respeito do tema argamassa, consultando diversos autores, além de um estudo experimental, que consiste na realização de ensaios laboratoriais regidos por norma regulamentadora, afim se obter dados para análise e verificação das variações nas propriedades entre os diferentes traços escolhidos, bem

como com as recomendações exigidas por norma. Além da verificação do custo do metro cubico de cada tipo de argamassa confeccionado na pesquisa.

5.1 Planejamento

Inicialmente houve uma pesquisa informal na cidade de Delmiro Gouveia com a finalidade de identificar nas pequenas empresas e construções particulares da região as argamassas mais utilizadas localmente. A pesquisa aconteceu mediante aplicação de um questionário (Apêndice A) em obras locais que estavam em andamento, sendo visitadas entorno de 15 obras, tratando-se de obras de pequeno porte. Geralmente, o questionário era aplicado ao responsável pela definição do traço de argamassa, normalmente, os próprios pedreiros que ali trabalhavam, onde eram realizadas algumas perguntas sobre a composição das argamassas, métodos de dosagem, responsável pela definição dos traços e quais eram os traços utilizados na obra. A pesquisa foi de grande valia, visto que através desta pôde-se identificar quais eram os principais traços de argamassas confeccionados na região de análise.

Com a aplicação da pesquisa foi constatado que a definição do traço de argamassa era de responsabilidade do mestre de obras ou do pedreiro, sendo que esta definição ocorria devido a experiência adquirida durante a carreira do profissional em questão e por técnicas já consagradas na região, além do tipo do material que chegava para ser utilizado na obra, uma vez que alguns construtores adequavam o traço à medida que os materiais tinham alguma mudança relevante. Também foi constatado que minoria dos pedreiros já teve contato com argamassa mista de cimento e cal, porém não no município de elaboração da pesquisa, acarretando que para muitos profissionais locais a adição de cal à argamassa seria uma novidade.

Com base na coleta de informações, foram definidos alguns traços com adição de saibro (argila ou barro) e dois traços compostos por cimento, cal e areia, considerados como padrão, sendo um mais recomendado para assentamento de blocos e o outro para execução de revestimentos, estes foram determinados através do referencial teórico.

Com aplicação da pesquisa informal na localidade, foi constatado que o proporcionamento acontecia de duas maneiras, através da medição em latas, com

capacidade de 18 litros, ou por meio de carrinhos de mão, com capacidade de aproximadamente 50 litros, sendo este último o sistema mais usual, que consistia na proporção de um saco de cimento de 50 quilogramas para um carrinho de mão de outro material, geralmente agregado.

Para a execução dos experimentos, foram confeccionados três corpos de prova para cada traço, sendo três traços (denominados A1, A2 e A3) resultantes de argamassas com a adição de saibro (argila ou barro) e dois (denominados A4 e A5) constituídos por cimento, cal e areia. De acordo com a pesquisa a argamassa com o traço A1, geralmente, é empregada para assentamento de blocos, enquanto a argamassa A2 é mais utilizada na execução de revestimentos, já o traço A3 é usado tanto para assentamento de blocos quanto na execução de revestimentos. Nos traços de argamassa mista de cimento e cal, segundo a literatura consultada, o traço A4 é designado para assentamento de blocos e o A5 mais empregado na execução de revestimentos de paredes e tetos.

A quantidade de água, ou seja, a relação água/cimento, foi determinada através do ensaio de índice de consistência, seguindo os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2005) onde se buscou adicionar água à mistura até que a mesma apresentasse um índice de consistência padrão, sendo este recomendado pela norma e por referenciais teóricos. A quantidade de material utilizado na confecção de cada traço pode ser verificada na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Traços utilizados na pesquisa para um saco de cimento.

| Traço (Volume) | | Materiais | | | | | |
|-----------------|-----------|-----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|----------------|
| | | Cimento (kg) | Cal (kg) | Areia (kg) | Argila (kg) | Água (l) | Relação a/C |
| A1(Cim:Are:Arg) | (1:1,5:4) | 50,0 | - | 80,5 | 217,0 | 51,5 | 1,03 |
| A2(Cim:Are:Arg) | (1:2:5) | 50,0 | - | 107,5 | 271,0 | 64,0 | 1,28 |
| A3(Cim:Are:Arg) | (1:4:4) | 50,0 | - | 215,0 | 217,0 | 73,0 | 1,46 |
| A4(Cim:Cal:Are) | (1:1:6) | 50,0 | 24,5 | 322,0 | - | 67,0 | 1,34 |
| A5(Cim:Cal:Are) | (1:2:9) | 50,0 | 49,0 | 483,5 | - | 104,5 | 2,09 |

Os traços obtidos com a pesquisa de campo (informal) serão comparados com o traço padrão que desempenha a mesma função na edificação, ou seja, os traços A1 e A3 terão suas características comparadas com o traço A4, o qual é recomendado

para o assentamento de blocos. Enquanto os traços A2 e A3 serão comparados com o traço A5, sendo este recomendado para execução de revestimentos. O traço A3 será comparado com os dois traços à base de cimento e cal, A4 e A5, visto que o mesmo é utilizado tanto no assentamento de blocos como na execução de revestimentos. Também haverá a verificação se todos os traços confeccionados atendem as especificações exigidas pelas normas técnicas.

A análise do custo gasto para confeccionar qualquer tipo de produto é tida como primordial em todos os setores de produção, nas empreiteiras, indústrias, artesanato, entre outros, sendo que com esta análise determina-se a viabilidade econômica para produção do material avaliado. Devido à grande importância desse tema, optou-se pela estimativa do custo do metro cúbico das argamassas confeccionadas na pesquisa.

Inicialmente houve estimativa das quantidades de cada elemento constituinte para preparar um metro cúbico de argamassa. Essas quantidades foram obtidas com a análise da massa e do volume da argamassa empregada nos corpos de prova utilizados no ensaio de resistência à tração na flexão e com a quantidade da massa total preparada para o experimento, sendo obtido o volume total de argamassa produzido, com isso, determinou-se uma proporção de cada material utilizado na mistura com o volume total de argamassa, podendo dessa maneira estimar a quantidade de cada material para confeccionar um metro cúbico de argamassa.

Após a obtenção da quantidade de material a ser utilizado, pesquisou-se o preço de cada material requerido para a mistura, nas casas de materiais de construção na cidade da pesquisa. Feito isso, foi obtido o custo unitário de cada material e estimado o valor do metro cúbico para cada tipo de argamassa utilizada na pesquisa. Entretanto, devido ao custo dos materiais variar no decorrer do tempo, também se optou pela obtenção do custo relativo para essas argamassas, sendo este obtido através da relação entre os valores obtidos para as argamassas confeccionadas na pesquisa com o traço que obteve o menor custo.

5.1.1 Caracterização dos materiais constituintes

Segundo Oliveira e Agopyan (1992), “ todas as propriedades das argamassas estão inter-relacionadas com as propriedades de todos os materiais que as constituem. “

Para avaliação das propriedades físico-mecânicas das argamassas utilizadas na pesquisa, foram coletadas informações dos materiais utilizados, além de amostras da areia e do saibro (barro), que geralmente são empregados na região para confecção dessas argamassas, almejando que a mistura obtida em laboratório ficasse o mais próximo possível das condições de uso nas obras. O tipo de cimento usado foi obtido com base nas informações colhidas, utilizando o mais comum na região de análise. Logo com o objetivo de se estudar o desempenho de algumas argamassas da região com adição saibro, se fez necessário a caracterização dos materiais que as compõem.

No Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade Federal de Alagoas – *Campus A. C. Simões*, Centro de Tecnologia (CTEC), foram caracterizados alguns dos materiais constituintes das argamassas. A seguir é apresentada uma breve explanação de cada material utilizado, coletado em obras e/ou comprado, com o intuito de mostrar os tipos mais utilizados regionalmente.

5.1.1.1 Cimento

Foi empregado na confecção das argamassas o cimento CP II Z – 32 RS, vendido no mercado em sacos de 50 kg. A preferência pelo tipo de cimento para preparo das argamassas ocorreu devido a este ser o mais comercializado localmente, no momento em que a pesquisa estava em andamento, sendo o mesmo encontrado na maioria das lojas que comercializam materiais de construção na cidade de Delmiro Gouveia, Alagoas.

Como exposto acima o tipo de cimento mais utilizado regionalmente nos dias atuais é o cimento Portland composto com adição de pozolonas, resistentes a sulfatos. Os materiais pozolânicos, quando adicionados a composição do cimento, podem afetar positivamente em algumas propriedades, tais como: conferir maior trabalhabilidade, impermeabilidade e durabilidade, diminuir a porosidade capilar e o

calor de hidratação, além de oferecer maior resistência a meios agressivos. (ABCP, 2002)

5.1.1.2 Cal

Foi empregado na confecção das argamassas a cal hidratada, vendida no mercado em sacos de 5 kg e 10 kg. Devido esse tipo de cal ser amplamente comercializado na região, optou-se pela utilização do mesmo no preparo da mistura, como forma de tentar trazer para a realidade local a argamassa à base de cimento e cal. Regionalmente a utilização da cal ocorre basicamente em pinturas de obras de engenharia, contudo, o fabricante do produto especifica que o mesmo pode ser empregado em pinturas e na composição de argamassas para assentamento de blocos e revestimentos de paredes. Devido a essa especificação e também por ser encontrado facilmente nas lojas de materiais de construção locais, optou-se pela sua utilização. No entanto, não havia especificação de sua classe, CH-I, CH-II ou CH-III, mesmo entrando em contato com o fabricante, via e-mail, não houve retorno esclarecendo tal questão.

A preferência pelo tipo de cal, hidratada, aconteceu por se tratar de uma cal que requer menor quantidade de tempo para sua maturação, quando comparada à cal virgem, visto que geralmente à cal hidratada demanda aproximadamente 24 horas para ocorrer a maturação considerada necessária para um desempenho satisfatório, enquanto o tempo de maturação demandado pela cal virgem é entorno de 5 dias. Além de a cal hidratada ser encontrada com facilidade regionalmente.

5.1.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo comercializado no município de Delmiro Gouveia, AL, comumente conhecido como areia lavada, é obtido através da extração em rios e riachos que banham a região. Para o preparo das argamassas foi utilizado a areia coletada em obras que estão em andamento no local da pesquisa. No Laboratório de Estruturas e Materiais da Universidade Federal de Alagoas, *Campus A. C. Simões*, foi

determinada a granulometria do agregado, seguindo os procedimentos da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Inicialmente colocou-se uma porção do agregado em estufa a $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$, separando-a em duas amostras e as pesando. Cada amostra foi agitada num conjunto de peneiras da série normal (figura 5.1), 150 micrometros (μm); 300 micrometros (μm); 600 micrometros (μm); 1,18 milímetros (mm); 2,36 milímetros (mm); 4,75 milímetros (mm); 6,3 milímetros (mm) e 9,5 milímetros (mm). As amostras analisadas passaram por agitação e pesadas separadamente.



Figura 5.1 – Conjunto de peneiras utilizado na determinação da granulométrica.

Na tabela 5.2 está exposta a média dos resultados obtidos com o ensaio realizado para as duas amostras.

Tabela 5.2 – Análise granulométrica da areia.

| Abertura da malha (mm) | Porcentagem retida (%) | Porcentagem acumulada (%) |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 9,5 | 0 | 0 |
| 6,3 | 0 | 0 |
| 4,75 | 0 | 0 |
| 2,36 | 2 | 3 |
| 1,18 | 6 | 9 |
| 0,6 | 24 | 33 |
| 0,3 | 43 | 76 |
| 0,15 | 15 | 90 |
| Fundo | 10 | - |
| Total | | 211 |
| Tamanho máximo (mm) | | 2,36 |
| Módulo de finura | | 2,11 |

A areia utilizada nas argamassas empregadas na pesquisa é classificada como areia média, em função de seu módulo de finura.

5.1.1.4 Saibro (Argila ou barro)

O saibro comercializado no município de Delmiro Gouveia/AL, comumente conhecido como barro para traço é proveniente de pequenas jazidas da região, extraídos manualmente ou com a auxílio de retroescavadeiras, sendo transportados por caminhão basculante ou carroças de tração animal, quando são necessárias pequenas quantidades. O material utilizado na fabricação das argamassas foi coletado na região da pesquisa, em obras que estão em andamento.

A argila utilizada foi passada na peneira com abertura de malha de 4,75 mm (figura 5.2), para separar os possíveis materiais orgânicos existentes (raízes e árvores), eliminar os torrões de argila, entre outros materiais que não faziam parte da composição da argila (saibro).



Figura 5.2 – Argila sendo peneirada.

5.1.2 Ensaios realizados

Todas as argamassas confeccionadas na pesquisa, com diferentes proporções de materiais constituintes, foram submetidas aos mesmos experimentos laboratoriais regidos por normas técnicas. No presente trabalho se optou por executar os ensaios de índice de consistência, capacidade de retenção de água e determinação da resistência à tração na flexão e à compressão axial. A confecção das argamassas e a moldagem dos corpos de prova e os ensaios com a argamassa no estado fresco foram realizados no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Alagoas, *Campus do Sertão*, e os ensaios de tração na flexão e o de compressão foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais da UFAL, *Campus A. C. Simões*.

Para confecção das argamassas (figura 5.3) se seguiu os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2005), item 5.2.2, argamassa dosada em obra, à base de cimento e à base de cimento e cal hidratada. A mistura dos materiais, para argamassa à base de cimento, foi realizada em quantidades pré-estabelecidas, seguindo a proporção definida com base nos traços pesquisados, a água era adicionada em pequenas quantidades, de acordo com o fator água/cimento definido para a argamassa, deixando-a em repouso por aproximadamente 15 minutos. Posteriormente, com o auxílio de uma espátula, misturou-se com mais intensidade até a massa se tornar homogênea e trabalhável. Já para a argamassa mista de cimento e cal, foi preparada uma mistura de cal hidratada, areia e água em quantidades definidas a partir do

proporcionamento utilizado, sendo misturada durante aproximadamente 4 minutos, logo em seguida se determinou sua massa, através de pesagem, deixando-a em maturação. Decorrido o período de maturação, com duração de 24 horas, pesou-se novamente o material preparado e foi acrescentada a água perdida por evaporação, após acrescentou-se o cimento e o restante da água de acordo com a especificação do traço, feito isso misturou-se novamente, por aproximadamente 4 minutos, obtendo como resultado a argamassa mista de cimento e cal, seguindo as recomendações exigidas por norma.



Figura 5.3 – Argamassa sendo preparada.

5.1.2.1 Determinação do Índice de consistência

O ensaio para determinação do índice de consistência das argamassas seguiu as recomendações estabelecidas pela NBR 13276 (ABNT, 2005). A qual estabelece que a consistência padrão seja de 260 ± 5 mm.

Antes de iniciar a execução do ensaio, o tampo da mesa para índice de consistência e o tronco de cone foram limpos e umedecidos com uma esponja, assegurando que as superfícies limpas ficassem ligeiramente úmidas. Com a argamassa preparada, colocou-se o molde no centro da mesa (figura 5.4), com sua base maior apoiada sobre a mesa, e o preencheu com a argamassa em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, aplicando-se em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com um soquete metálico, distribuindo-as uniformemente. O volume do molde era completado com argamassa à medida que se

necessitava. O rasamento da argamassa era realizado passando uma régua metálica rente à borda do molde ao longo de toda a sua superfície.



Figura 5.4 – Equipamentos e argamassa para determinação do índice de consistência.

Depois da limpeza externa em volta do molde, este foi retirado verticalmente (figura 5.5) e logo em seguida acionou-se a manivela da mesa para índice de consistência, fazendo com que a mesa subisse e caísse 30 vezes em 30 segundos de maneira uniforme, ocasionando o espalhamento da argamassa.



Figura 5.5 – Argamassa imediatamente após a retirada do molde tronco-cônico.

Após a última queda, com o auxílio de um paquímetro, se mediu o espalhamento da argamassa (figura 5.6), sendo medidos 3 diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro. O índice de

consistência corresponde à média dos três diâmetros medidos, expressa em milímetros e arredondada para o número inteiro mais próximo.



Figura 5.6 – Medição dos diâmetros referentes ao espalhamento da argamassa.

5.1.2.2 Determinação da retenção de água

A NBR 13277 (ABNT, 2005) estabelece a metodologia necessária para determinação da retenção de água das argamassas. Contudo, os laboratórios disponíveis não possuíam os equipamentos necessários para realização do experimento com a versão atualizada da norma, logo para execução do ensaio de retenção de água optou-se, por seguir as recomendações da NBR 13277 (ABNT, 1995), sendo a mesma a versão anterior da norma vigente.

Seguindo recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2005), foi definido um fator água/cimento que originasse uma argamassa com uma consistência considerada padrão, em seguida, para cada traço, foi preparada uma quantidade de argamassa para ser utilizada no ensaio.

De acordo com os procedimentos da norma, terminado o preparo das argamassas, pesou-se um molde cilíndrico com 100 mm de diâmetro, 25 mm de altura e com paredes de 5 mm de espessura, limpo e vazio. Também se determinou a massa de 12 discos de papel-filtro qualitativo secos. Com o auxílio de uma espátula e do soquete metálico padronizado, o molde foi preenchido com a argamassa recém preparada, em seguida o excesso foi retirado, através do rasamento, e o conjunto foi

pesado. Colocou-se sobre a argamassa duas telas de gaze com 110 mm de diâmetro, os 12 discos de papel-filtro (figura 5.7), a tampa do molde e um peso com massa de 2 quilogramas. Passados 2 minutos, retirou-se o peso, a tampa do molde e os discos de papel-filtro, logo após serem retirados se determinou a massa dos 12 discos de papel-filtro que estavam em contato com a argamassa. Todas as medidas foram registradas para serem utilizadas posteriormente na determinação da retenção de água.



Figura 5.7 – Molde preenchido com argamassa, telas de gaze e discos de papel filtro.

Segundo a NBR 13277 (ABNT, 1995) a retenção de água é calculada segundo a equação (1):

$$R_a = \left[1 - \frac{(M_f - M_{se})}{AF \cdot (M_{ma} - M_m)} \right] \cdot 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

$$AF = \frac{M_w}{M + M_w} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

R_a é a retenção de água, expressa em porcentagem;

M_w é a massa total de água acrescentada a mistura, em gramas;

M é massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa dosada em obra, em gramas;

AF é o fator água/argamassa fresca;

M_f é a massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em gramas;

M_{se} é a massa do conjunto de discos secos, em gramas;

M_{ma} é a massa do molde com argamassa, em gramas;

M_m é a massa do molde vazio, em gramas.

O resultado deve ser expresso em porcentagem e arredondado para o número inteiro mais próximo.

5.1.2.3 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

Os ensaios para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas seguiu as recomendações estabelecidas pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

- Moldagem dos corpos de prova

O molde (figura 5.4), de metal não corrosível, tinha forma prismática, contendo três compartimentos com paredes de 8 mm de espessura, tendo, cada compartimento, as seguintes dimensões, altura de 40 mm, largura de 40 mm e comprimento de 160 mm. Tal molde permite a confecção de 3 corpos de prova por vez, obedecendo as exigências especificadas por norma.



Figura 5.8 – Molde para confecção dos corpos de prova.

Logo após o preparo da argamassa, fixou-se o molde ao tampo da mesa para adensamento com o auxílio de sargentos. Em seguida foi aplicada, no fundo e nas laterais internas do molde, uma fina camada de óleo mineral. Posteriormente adicionou-se uma porção de argamassa, em cada compartimento do molde, espalhando-a com uma espátula, de maneira que ela ficasse nivelada. Terminada a primeira camada dos corpos de prova, acionou-se a mesa de adensamento, fazendo-a cair 30 vezes uniformemente, adensando a mistura. Acrescentou-se a segunda camada de argamassa, prosseguindo como anteriormente, fez-se um novo nivelamento e acionou-se a mesa para adensamento, ocasionando em mais 30 quedas. O excesso de argamassa foi retirado através de uma régua metálica, rasando-a rente ao topo do molde.

Terminado o preenchimento, os moldes ficaram em repouso (figura 5.9), para cura inicial. Decorrido 24 horas, os corpos de prova foram retirados das fôrmas e submetidos à cura final, mantidos em condições de laboratório, até o dia de execução do ensaio.



Figura 5.9 – Corpos de prova moldados.

Foram moldados 3 corpos de prova para cada traço, para serem rompidos aos 28 dias de idade, seguindo as recomendações da norma.

- Resistência à tração na flexão

Para a determinação da resistência à tração na flexão foi utilizado um aparelho universal para ensaios, da marca Alfred J. Amsler & Co., com capacidade 5000 kN. Posicionou-se o corpo de prova no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio (figura 5.10), o qual era composto por dois suportes de aço em forma de roletes, com comprimento de 50 mm e 10 mm de diâmetro, distantes entre si 100 mm, e, um terceiro rolete de aço de mesmo comprimento e diâmetro, localizado na face oposta do corpo de prova, centralizadamente entre os roletes de suporte. O posicionamento foi feito de modo que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga. Em seguida a máquina foi acionada, sendo aplicado um carregamento com velocidade de (50 ± 10) N/s, até a ruptura do corpo de prova (figura 5.11).



Figura 5.10 – Ensaio de resistência à tração.



Figura 5.11 – Corpo de prova rompido à tração na flexão.

Segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005) a resistência à tração na flexão é calculada segundo a equação 3:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em megapascals (Mpa);

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons (N);

L é a distância entre os suportes, em milímetros (mm).

Calculou-se à resistência média para cada traço e determinou-se o desvio absoluto máximo, o qual é adquirido se fazendo a diferença entre a resistência média dos três corpos de prova ensaiados e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos. Quando o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, deve ser calculada uma nova média, desta vez desconsiderando o valor discrepante.

- Resistência à compressão axial

Como ocorrido no ensaio para determinação da tração na flexão, para a determinação da resistência à compressão foi utilizado a mesma prensa universal para ensaios.

Seguindo as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005), a resistência à compressão foi determinada utilizando as metades dos três corpos de prova provenientes do ensaio de tração na flexão, sendo obtidos seis corpos de prova, figura 5.12, para cada traço, para realização do ensaio de resistência à compressão.

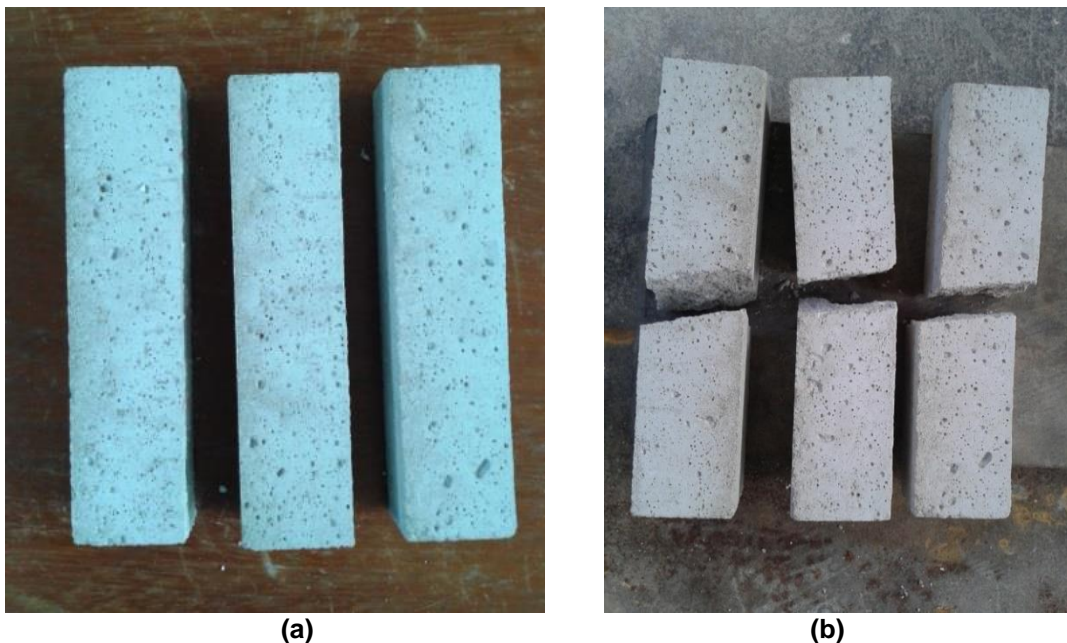


Figura 5.12 – Corpos de prova para ensaio de tração (a) e para o de compressão (b).

Posicionou-se cada corpo de prova no centro do prato inferior da máquina de ensaio, colocando-o entre duas placas de aço de seção quadrada (figura 5.13), com 40 mm de comprimento, 40 mm de lado e 10 mm de espessura. O posicionamento foi feito de modo que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio

nem com o dispositivo de carga. Em seguida acionou-se a máquina para que o carregamento fosse aplicado com velocidade de (500 ± 50) N/s, até a ruptura do corpo de prova (figura 5.14).



Figura 5.13 – Ensaio de resistência à compressão.



Figura 5.14 – Corpo de prova rompido à compressão.

A resistência à compressão é calculada segundo a equação 4:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

R_c é a resistência à compressão, em megapascals (Mpa);

F_c é a carga máxima aplicada, em newtons (N);

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados (mm²).

Como ocorrido no ensaio de tração na flexão, também foi calculado o desvio absoluto máximo para o ensaio de compressão. Contudo, neste ensaio o desvio absoluto máximo admite valores até 0,5 Mpa, passando desse valor, descartava-se o valor discrepante da resistência individual e calculava-se uma nova média.

6 RESULTADOS

Na presente seção serão apresentados os resultados provenientes dos ensaios de índice de consistência, retenção de água, resistência à tração na flexão e de resistência à compressão realizados no Laboratório de Materiais e Solos, *campus* do Sertão, e no Laboratório de Estruturas e Materiais, *campus* A. C. Simões, ambos pertencentes à Universidade Federal de Alagoas.

Nas tabelas subsequentes serão apresentados os resultados para cada traço analisado. Nos ensaios de índice de consistência, resistência à tração e de resistência à compressão serão demonstrados os resultados das médias obtidas para cada traço.

6.1 Índice de consistência

Foram determinadas as quantidades de água necessárias para cada tipo de argamassa, assegurando que os resultados para o índice de consistência estivessem dentro do intervalo proposto pela norma. O ensaio de índice de consistência foi realizado por se tratar de uma propriedade relevante, que pode afetar diretamente outras propriedades, e também com o intuito de se estimar a quantidade de água necessária para a mistura, ou seja, para obtenção do fator água/cimento da argamassa. Para isso se seguiu as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2005), a qual estabelece que o índice de consistência considerado padrão é de 260 ± 5 mm.

A tabela 6.1 apresenta os resultados obtidos para o índice de consistência e para o fator água/cimento.

Tabela 6.1 – Índice de consistência e fator água/cimento das argamassas.

| Traço em volume | | Índice de Consistência (mm) | Fator água/cimento |
|-----------------|---------|-----------------------------|--------------------|
| A1(Cim:Are:Arg) | 1:1,5:4 | 260 | 1,479 |
| A2(Cim:Are:Arg) | 1:2:5 | 261 | 1,833 |
| A3(Cim:Are:Arg) | 1:4:4 | 255 | 2,091 |
| A4(Cim:Cal:Are) | 1:1:6 | 257 | 1,924 |
| A5(Cim:Cal:Are) | 1:2:9 | 257 | 2,992 |

Quando o índice de consistência não era atingido, ficando abaixo do solicitado, a argamassa voltou a ser misturada sendo adicionado um pouco mais de água e todo o processo do ensaio era refeito, contudo, tal procedimento foi repetido no máximo duas vezes para a mesma mistura, visto que devido à perda por evaporação e o tempo decorrido na repetição do ensaio poderiam afetar na relação água/cimento da argamassa.

Percebe-se que à medida que o teor de finos era aumentado, a quantidade de água requisitada para a mistura aumentava sensivelmente, isso pode ser associado ao aumento da superfície específica dos constituintes, no caso a cal, como pode ser visto na argamassa A5, mistura de cimento, cal e areia, onde este foi o traço que mais necessitou de água para atingir a consistência requerida pela norma, sendo que a consistência ainda pode ter variação com a relação aglomerante/agregado, granulometria do agregado, natureza e qualidade do aglomerante.

6.2 Retenção de água

Na tabela 6.2 encontram-se os resultados obtidos com o ensaio de retenção de água, utilizando-se a equação 1, mencionada na seção 5.1.1.2.

Tabela 6.2 – Retenção de água.

| Traço (em volume) | | Fator água/cimento | Retenção de água (%) |
|--------------------------|---------|---------------------------|-----------------------------|
| A1 | 1:1,5:4 | 1,479 | 83,5 |
| A2 | 1:2:5 | 1,833 | 81,8 |
| A3 | 1:4:4 | 2,091 | 80,4 |
| A4 | 1:1:6 | 1,924 | 87,2 |
| A5 | 1:2:9 | 2,992 | 84,6 |

Os resultados da retenção de água, expostos na tabela acima, foram obtidos seguindo as recomendações da NBR 13277 (ABNT, 1995). Como já especificado na seção 5.1.1.2, optou-se por utilizar as recomendações desta norma, visto que os laboratórios disponíveis não dispunham dos equipamentos necessários para realização do ensaio seguindo as recomendações da norma vigente, NBR 13277 (ABNT, 2005). Desta maneira, tal ensaio tem somente caráter comparativo entre as argamassas utilizadas na pesquisa, visto que as mesmas foram submetidas ao

mesmo experimento, com procedimento igual para todas elas, regido pela norma anterior a vigente.

Todas as argamassas analisadas foram aceitas, visto que os resultados obtidos com a execução do experimento alcançaram o valor mínimo recomendado por estudiosos da área, como Carasek (2010), apresentando valores de retenção de água acima dos 75%, estes valores obtidos são considerados normais para as argamassas nacionais. Também se percebe que as argamassas que obtiveram os melhores resultados no ensaio foram as argamassas mistas à base cimento e cal.

6.3 Resistência à tração na flexão

Na tabela 6.3 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão para as argamassas estudadas na pesquisa, tais resultados foram obtidos utilizando-se a equação 3, mostrada na seção 5.1.2.3.

Tabela 6.3 – Valores referentes ao ensaio de resistência à tração na flexão.

| Traço | Resistência à Tração (MPa) | Desvio Absoluto Máximo (MPa) |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| A1 | 0,84 | 0,08 |
| A2 | 0,61 | 0,15 |
| A3 | 0,23 | 0,00 |
| A4 | 0,23 | 0,00 |
| A5 | 0,15 | 0,04 |

Todos os resultados obtidos com o experimento podem ser considerados aceitáveis. Vale destacar que o desvio absoluto máximo, para todos os traços ensaiados, ficou abaixo do recomendado pela norma, a qual estabelece um valor limite de 0,3 MPa para este resultado.

6.4 Resistência à compressão

Na tabela subsequente são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão para todas as argamassas analisadas na pesquisa, tais resultados foram adquiridos utilizando-se a equação 4, mostrada na seção 5.1.2.3.

Tabela 6.4 - Valores referentes ao ensaio de resistência à compressão.

| Traço | Resistência à Compressão (MPa) | Desvio Absoluto Máximo (MPa) |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| A1 | 6,15 | 0,44 |
| A2 | 4,42 | 0,44 |
| A3 | 3,17 | 0,32 |
| A4 | 2,60 | 0,28 |
| A5 | 1,16 | 0,12 |

Os resultados foram adquiridos ensaiando os corpos de prova provenientes do ensaio de resistência à tração, sendo ensaiados 6 corpos de prova para cada traço analisado, o experimento seguiu as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005).

O desvio absoluto máximo foi calculado para todos os traços, como estabelecido na seção 5.1.2.3, praticamente todos as argamassas atenderam as especificações, adquirindo valores para o desvio absoluto máximo abaixo de 0,5 MPa. Entretanto, o traço A1 ultrapassou o valor recomendado pela norma, desse modo, descartou-se o valor divergente da resistência individual, ou seja, o valor que mais se afastou da média da resistência (utilizado no cálculo do desvio absoluto), posteriormente foi recalculada uma nova média para a resistência à compressão dos cinco resultados individuais restantes obtidos com o ensaio e também um novo desvio absoluto máximo, sendo este calculado fazendo-se a diferença entre a média dos cinco corpos de prova restantes com o valor que mais se afastou desta média para mais ou para menos, feito todo esse procedimento recomendado pela norma, o resultado para o desvio absoluto máximo foi atendido.

Os resultados adquiridos foram satisfatórios para todas as argamassas, uma vez que a resistência à compressão de grande maioria destas superaram o valor da resistência à compressão recomendada no referencial teórico, de 2,5 MPa. Somente a argamassa com traço A5 ficou abaixo da resistência considerada satisfatória.

6.5 Custo médio das argamassas

Na tabela 6.5 são apresentados os custos para produção do metro cúbico de argamassa, bem como o custo relativo para cada traço analisado na pesquisa.

Tabela 6.5 – Custos do m³ de cada tipo de argamassa utilizada na pesquisa.

| Traços (em volume) | Custo (R\$/m³) | Custo Relativo |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| A1 | 155,00 | 1,34 |
| A2 | 129,00 | 1,11 |
| A3 | 116,00 | 1,00 |
| A4 | 286,00 | 2,47 |
| A5 | 299,00 | 2,58 |

O custo do metro cubico para as argamassas analisadas foi estimado com base no preço dos materiais encontrados nas lojas de construção da cidade de Delmiro Gouveia/AL, sendo analisado para composição do preço somente os materiais utilizados no preparo, não considerando o valor da mão-de-obra do profissional para execução do serviço.

Como já exposto, devido aos valores dos materiais utilizados na confecção da argamassa variarem com o passar do tempo, se definiu o custo relativo, o qual foi estimado tomando como parâmetro o menor valor obtido para confecção dos traços de argamassas. Analisando-se a tabela 6.5 pode-se verificar que o menor custo foi alcançado para o traço A3, logo fazendo-se a relação entre os traços A1 e A3 obteve-se o custo relativo para confecção da argamassa A1 com base no custo de confecção da argamassa A3. Desse modo, para confecção da argamassa A1 será gasto 1,34 vezes do que é gasto para preparo da argamassa A3.

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão analisados os resultados provenientes dos ensaios realizados na pesquisa.

7.1 Resumo dos resultados obtidos

Na tabela 7.1 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 7.1 – Resumo dos resultados obtidos.

| Traço | Fator a/c | Índice de consistência (mm) | Retenção de água (%) | Resistência à tração na flexão (MPa) | Resistência à compressão (MPa) | Custo Relativo |
|-------|-----------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------|----------------|
| A1 | 1,479 | 260 | 83,5 | 0,84 | 6,15 | 1,34 |
| A2 | 1,833 | 261 | 81,8 | 0,61 | 4,42 | 1,11 |
| A3 | 2,091 | 255 | 80,4 | 0,23 | 3,17 | 1,00 |
| A4 | 1,924 | 257 | 87,2 | 0,23 | 2,60 | 2,47 |
| A5 | 2,992 | 257 | 84,6 | 0,15 | 1,16 | 2,58 |

O índice de consistência obtido para todas as argamassas foi pré-fixado, adquirindo-se os resultados esperados, visto que o mesmo obteve pequena variação entre os traços analisados, todavia ficando no intervalo proposto pela norma, que estabelece uma variação de 260 ± 5 mm para que a argamassa tenha um desempenho adequado. O índice de consistência foi pré-determinado, afim de se definir o fator água/cimento requerido pela argamassa, característica relevante, visto que esta influi diretamente na resistência mecânica das argamassas.

Com os resultados expostos na tabela acima, percebe-se que a relação água/cimento obteve variação considerável para os tipos de argamassas analisados. À medida que havia aumento na relação cal/cimento a quantidade de água requisitada para a argamassa também foi aumentada, esse fator pode ser relacionado com a superfície específica da cal, visto que uma maior finura dos componentes solicita mais água para uma melhor trabalhabilidade.

Nas argamassas utilizadas no assentamento de blocos, a argamassa A1 (confeccionada com argila) atingiu a consistência desejada com menor relação água/cimento do que a argamassa confeccionada com cal (A4). Para as argamassas

utilizadas no revestimento de paredes e tetos, as argamassas A2 e A3 (confeccionadas com barro) atingiram a consistência desejada com menor relação água/cimento do que a argamassa confeccionada com cal (A5). Logo, os melhores resultados foram obtidos para as argamassas compostas por cimento, areia e argila. As argamassas que obtiveram as maiores relações a/c foram as compostas com cal. Como já especificado anteriormente, argamassas com fatores a/c relativamente altos não são benquistas, visto que afetam negativamente a resistência mecânica.

Com base nos resultados, verifica-se que a retenção de água teve pouca variação para os tipos de argamassas analisados, entretanto, percebe-se que há influência da cal nesta propriedade, visto que as argamassas com acréscimo deste material obtiveram os melhores resultados, devido a maior superfície específica (finura) da cal. A retenção de água é uma propriedade fundamental para que as reações da pasta cimentícia ocorram de modo eficiente, ocasionando melhora nas propriedades no estado endurecido da mistura. Todas as argamassas ensaiadas atingiram valores satisfatórios e são consideradas de retenção normal, visto que superaram os 75%, estabelecido como valor mínimo.

Para as argamassas aplicadas no assentamento de blocos, a argamassa confeccionada com cal (A4) alcançou maior retenção de água do que as argamassas A1 e A3 (confeccionadas com argila). Nas argamassas empregadas no revestimento de paredes e tetos, a argamassa à base de cal e cimento (A5) obteve melhor resultado do que os adquiridos pelas argamassas confeccionadas com argila (A2 e A3). Portanto, a retenção de água obteve os melhores resultados para as argamassas mistas à base de cimento e cal, contudo, as confeccionadas com argila, também conseguiram resultados satisfatórios, visto que os resultados ultrapassaram o valor mínimo especificado.

Nas argamassas utilizadas no assentamento de blocos, a argamassa confeccionada com argila (A1) obteve maior resistência à tração na flexão do que a argamassa confeccionada com cal (A4). Para as argamassas utilizadas no revestimento de paredes e tetos, as argamassas A2 e A3 (confeccionadas com argila) atingiram melhores resultados do que a argamassa confeccionada com cal (A5). Logo, os melhores resultados para a resistência à tração na flexão foram obtidos para as argamassas compostas por cimento, areia e argila.

Quase todas as argamassas estudadas alcançaram resultados admissíveis para resistência à compressão, atingindo valores superiores a 2,5 MPa, especificado no referencial teórico como ideal. Somente o traço A5, com resistência de 1,16 MPa, ficou abaixo do especificado.

No grupo de argamassas empregadas no assentamento de blocos, as argamassas produzidas com argila (A1 e A3) alcançaram maiores resistências à compressão do que a argamassa A4 (confeccionada com cal). Para as argamassas utilizadas no revestimento de paredes e tetos as argamassas confeccionadas com argila (A2 e A3) também obtiveram resultados superiores aos da argamassa confeccionada com cal (A5). A resistência à compressão alcançou os melhores resultados para as argamassas compostas por cimento, areia e argila. Verifica-se que à medida que os fatores água/cimento, cal/cimento e agregado/cimento aumentam, ocorre diminuição da resistência à compressão, tal fato é associado a diminuição da quantidade de cimento na composição da argamassa.

Na construção civil, o custo é um fator de relevante importância no momento da escolha de qual material utilizar ou na execução de um serviço. Sendo analisado previamente, para se ter uma ideia da viabilidade de execução do que se pretende construir.

Verificou-se ampla variação no custo das argamassas estudadas. Nas argamassas empregadas no assentamento de blocos as oriundas da mistura de cimento, areia e argila (A1 e A3) obtiveram menores custos do que a argamassa à base de cimento e cal (A4). Para as argamassas usadas na execução de revestimentos de paredes e tetos os traços compostos com argila (A2 e A3) também atingiram menores custos do que o traço A5 (confeccionado com cal). Os traços constituídos por cimento, areia e argila obtiveram os menores custos, acarretando nos melhores resultados para a análise. As argamassas à base de cimento e cal alcançaram valores relativamente altos, quando comparadas com as demais.

7.2 Análise geral

Com a análise dos resultados na seção 7.1, percebe-se que as argamassas estudadas alcançaram valores satisfatórios para os ensaios realizados. As

argamassas de confeccionadas com argila, obtiveram melhores resultados que as demais na obtenção da relação água/cimento, resistência à compressão axial e na estimativa de custos. Já as argamassas à base de cimento e cal, tiveram melhor aproveitamento no ensaio de retenção de água, contudo, os traços com acréscimo de argila também adquiriram bons resultados para esta propriedade, diferindo não muito dos melhores resultados obtidos, visto que todas as argamassas foram consideradas com retenção de água normal.

Dentre as argamassas A1, A3 e A4, recomendadas para assentamento de blocos, cada traço foi superior em um resultado, A1 maior resistência à compressão, A3 menor custo e A4 melhor retenção de água. Contudo, analisando-se cada um separadamente, todos estabeleceram valores aceitáveis para todas as propriedades analisadas. Os traços compostos por argila (A1 e A3) foram considerados mais usuais, haja vista que apresentaram bons resultados para retenção de água, resistência à compressão e com custos bem inferiores ao requerido pelo traço confeccionado com cal.

Entre as argamassas A2, A3 e A5, recomendadas para revestimento de paredes e tetos, cada traço também foi superior em um resultado, A2 maior resistência à compressão, A3 menor custo e A5 melhor retenção de água. No entanto, todos os traços demonstraram valores admissíveis para todas as propriedades pesquisadas. Os traços originários da mistura de cimento, areia e argila foram considerados mais regulares, uma vez que demonstraram bons resultados para retenção de água, resistência à compressão e com estimativa de custos abaixo do requisitado pelo traço com acréscimo de cal.

Como já especificado todas as argamassas utilizadas na pesquisa estão aptas para utilização, contudo, analisando-se a curto prazo, as argamassas consideradas com melhores resultados foram A1, A2 e A3 (confeccionadas com argila) para assentamento de blocos e também para execução de revestimento de paredes e tetos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização da pesquisa, constatou-se que as argamassas utilizadas na região para o assentamento de blocos e para a execução de revestimento de paredes e tetos obtiveram resultados satisfatórios, alcançando bons valores para o custo do metro cúbico da argamassa, para a resistência à compressão e retenção de água.

Os traços utilizados na localidade obtiveram resultados elevados para a resistência à compressão, visto que todos excederam o valor proposto no referencial teórico.

Todas as argamassas empregadas na pesquisa foram aceitas, contudo, analisando-se a curto prazo, uma vez que não houve análise do comportamento das argamassas no decorrer do tempo, se poderia haver ganho ou perda de propriedades, além do surgimento de patologias ocasionadas pelos materiais constituintes ou por intempéries originárias do meio em que está inserida.

As argamassas consideradas com melhores resultados foram A1, A2 e A3, oriundas da mistura de cimento, areia e argila. A utilização da argila na composição da mistura requer certa cautela, haja vista que diversos autores manifestam que o uso da mesma sem se fazer um estudo prévio pode trazer consequências negativas, tais como diminuição no desempenho, afetado pelo decréscimo de propriedades, e até mesmo vários tipos de patologias para a edificação.

As principais dificuldades encontradas para a elaboração da pesquisa foram a carência de literaturas específicas que abordassem a utilização da argila na composição da argamassa, além da escassez de equipamentos para execução dos experimentos.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se o desenvolvimento de novos estudos em relação as argamassas; análise a médio e longo prazo sobre os efeitos que a adição de argila pode ocasionar no desempenho de propriedades da argamassa; materiais que podem ser adicionados à mistura da argamassa sem que haja perda das propriedades; causa de patologias em argamassas com adição de argila.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização de cimento Portland**. Boletim Técnico, BT-106. 7. Ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175/2003**: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276/2005**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277/1995**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281/2005**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270/2005**: Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. **Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas**. In: 1º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, APFAC, 2005 Lisboa. 12 p.

AMTHAUER, P. R. **Argamassa de assentamento**: uma verificação do estágio atual na cidade de Ijuí/RS. Monografia. Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2001. 61 p.

ARAÚJO, G. A. B. C. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1995. 124 p.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2001. 190 p.

BASTOS, P. S. dos S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru, SP. 2006, 92 p. Notas de aula, estruturas de concreto 1.

CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de Experimentos Usando o *Statistica***. E-papers, Rio de Janeiro, 2003.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. (Org.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo, SP: Instituto Brasileiro do Concreto (Ibracon). V. 2, p. 893-945, 2010.

CARASEK, H. C; CAMPAGNOLLO, J. L. **Aderência de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural**. In: 10º Encontro Nacional da Construção. Gramado, RS, 1990.

CARVALHO, J. D. N. de. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista Tecnológica**. Maringá, PR. V. 17, p. 19-28, 2008.

DUBAJ, E. **Estudo Comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000. 114 p.

LIMA, A. N. de. **Análise experimental de influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2010. 128 p.

MACCARI, G. H. **Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de tubarão/SC.** Monografia. Universidade de Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2010. 55 p.

MARTINELLI, F. A; HELENE, P. R. do L. **Usos, funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias.** Boletim técnico (BT-47). São Paulo, USP, 1991. 15 p.

MASCARENHAS, J. C; BELTRÃO, B. A; JUNIOR, L. C. S. **Diagnostico do município de Delmiro Gouveia.** Ministério de Minas e Energia. Recife, PE, 2005. 20 p.

MATOS, P. R. de. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de bloco de concreto.** Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013. 73 p.

NAKAKURA, E. H; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** Boletim técnico (BT-359). São Paulo, USP, 2004. 29 p.

OLIVEIRA, M. B. de; AGOPYAN, V. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro na região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos.** Boletim técnico (BT-73). São Paulo, USP, 1992. 51 p.

PARAHYBA, R. B. V; LEITE, A. P; NETO, M. B. O. **Solos do município de Delmiro Gouveia – Estado de Alagoas.** Comunicado técnico. Embrapa. Rio de Janeiro, RJ, 2006. 4 p.

PEREIRA, M. F. P. **Anomalias em paredes sem função estrutural**. Dissertação de mestrado. Universidade Minho – Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal, 2005. 489 p.

POLITO, G. **Avaliação da introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua influência no desempenho e morfologia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008. 180 p.

RIBEIRO, L. C.; LOPES, R. P. N.; **As argamassas na antiguidade Greco-romana: usos, definições e traduções**. In: 2º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, APFAC, 2007 Lisboa. 14 p.

ROCHA, R. S. **Avaliação e comparação das propriedades mecânicas de uma argamassa pronta não cimentícia para alvenaria com e sem função estrutural frente às argamassas convencionais**. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, 2012. 84 p.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim técnico (BT-02). São Paulo, USP, 1986. 26 p.

SANTOS, H. B. dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008. 50 p.

SILVA, F. H. B. B. da; et al. **Diagnostico ambiental do município de Delmiro Gouveia**. Embrapa. Rio de Janeiro, RJ, 2002. 19 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SEPANDE. **Perfil municipal: Delmiro Gouveia**. Maceió, AL, 2014.

10 APÊNDICE

10.1 Apêndice A

Questionário aplicado para obtenção dos traços mais utilizados regionalmente

1 – Local da obra:

2 – Você utiliza barro na composição da argamassa?

3 – Por que você utiliza o barro no preparo da argamassa?

4 – Você já utilizou argamassa mista de cimento e cal? Se sim, por que não a deixou de usar?

5 – Por quem é definido o traço da argamassa?

6 – Qual o traço utilizado na confecção das argamassas? (Cimento: Areia: Argila)

Assentamento –

Revestimento –