

UNIVERSIDADE DE CAMPO LIMPO PAULISTA  
TAINÁ CAPONEGRI

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS DA ARGAMASSA  
DE REVESTIMENTO BASEADAS EM HIDROXIPROPILMETILCELULOSE (HPMC)  
E VINIL ACETATO-ETILENO / SILANO-SILOXANO**

CAMPO LIMPO PAULISTA  
2020

## RESUMO

O presente trabalho tem como tema o estudo das propriedades térmicas e mecânicas da argamassa de revestimento baseadas em hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e vinil acetato-etileno/silano-siloxano. A indústria da construção civil tem apresentado crescimento e evolução quanto às tentativas de suprir os insuficientes investimentos em infraestrutura e habitação. As novas edificações estão sendo construídas seguindo os conceitos de sustentabilidade e com isso, as estruturas já existentes estão tendo que se adaptar, como reflexo disso, a busca por produzir materiais mais completos e com custo x benefício está em momento de expansão. O objetivo deste trabalho é avaliar a caracterização das propriedades térmicas e mecânicas da argamassa melhorada com aditivos de copolímeros de ação adesiva, para revestimento de paredes de alvenaria de concreto, sem a realização da camada de chapisco. Conseqüentemente, fez-se necessário estudo do comportamento desta “nova” argamassa tanto no estado fresco como no estado endurecido. Por outro lado, havia a necessidade de comparar seu desempenho com a argamassa comumente utilizada. Durante o estudo das propriedades desta “nova” argamassa foi necessário, compreender melhor cada aditivo utilizado na modificação do produto, para que fosse possível manter a caracterização usual do produto sem que sofressem modificações negativas comparadas à argamassa convencional. Dentro das técnicas utilizadas foi observado em microscopia MEV as grandes variações estruturais decorrentes dos copolímeros que foram utilizados para realização dos ensaios. Como principais resultados, concluiu-se que a argamassa modificada apresenta diversos benefícios frente à argamassa convencional, reduzindo o tempo total da obra e as etapas de trabalho, além de aumento do desempenho e melhora na caracterização devido a utilização do polímero e da celulose que foram agregadas à argamassa modificada.

Palavras-chave: Cimento. Argamassa. Argamassa de Revestimento.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	5
2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA .....	8
2.1. Objetivo Geral .....	8
2.2. Objetivos Específicos .....	8
2.3. Justificativa.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
3.1. Histórico da Argamassa .....	11
3.2. Revestimento Argamassado .....	11
3.2.1. Camadas do Revestimento Convencional.....	13
3.2.1.1. Chapisco.....	13
3.2.1.2. Emboço.....	14
3.2.1.3. Reboco .....	15
3.2.1.4. Finalização .....	16
3.2.2. Propriedades da Argamassa de Revestimento Interno .....	16
3.2.2.1. Propriedades da Argamassa no Estado Fresco .....	16
3.2.2.1.1. Influência dos polímeros no estado fresco.....	17
3.2.2.1.2. Massa Específica e Teor de Ar Incorporado .....	19
3.2.2.1.3. Trabalhabilidade e Consistência.....	20
3.2.2.1.4. Retenção de Água .....	21
3.2.2.1.5. Aderência Inicial .....	23
3.2.2.1.6. Retração na Secagem .....	25
3.2.2.2. Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido.....	26
3.2.2.3. Característica da Argamassa modificada no Estado Endurecido.....	26
3.2.2.3.1. Aderência.....	28
3.2.2.3.2. Propriedades e características da aderência .....	29
3.2.2.3.3. Capacidade de Absorver Deformações.....	30
3.2.2.3.4. Resistência Mecânica.....	31
3.2.2.3.5. Resistência à Compressão .....	31
3.2.2.3.6. Resistência à tração e à flexão .....	32
1.1.1.1.1. Permeabilidade .....	33
1.1.1.1.2. Durabilidade.....	33
1.2. Cimento Portland Branco.....	34

<b>1.2.1. Relação Cimento-Água</b> .....	35
<b>1.3. Aditivos a Base de Hidroxipropilmetilcelulose (Hpmc) e Acetato-Etileno / Silano-Siloxano</b> .....	37
<b>1.3.1. Características química do HPMC</b> .....	39
<b>1.3.2. Polímeros</b> .....	40
<b>1.3.3. Látex de EVA</b> .....	41
<b>2. EXPERIMENTO PRÁTICO</b> .....	43
<b>2.1. Metodologia</b> .....	43
<b>2.2. O Experimento</b> .....	43
<b>2.3. Análise dos Resultados</b> .....	61
<b>3. CONCLUSÃO</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria da construção civil vem crescendo e aprimorando diversas etapas, principalmente devido à tentativa de suprir os insuficientes investimentos em infraestrutura e habitação, ocorridos nas últimas décadas. Além disso, as novas edificações estão sendo construídas seguindo os conceitos de sustentabilidade e com isso, as estruturas já existentes estão tendo que se adaptar. Assim, o desenvolvimento tecnológico está sofrendo uma radical mudança, principalmente no setor de construção.

Entretanto, ainda que se considere a relevância do grande número de novas construções que já utilizam conceitos sustentáveis, é necessário que os processos construtivos sejam acelerados, haja vista que a taxa de retorno de investimento está fortemente condicionada aos prazos de entrega. Principalmente devido ao porte das obras e ao curto espaço de tempo para concretização delas, até o início dos eventos.

Outro fator que também justifica a otimização dos tempos de execução dos serviços é a demanda por novas habitações, tanto por parte da classe média quanto para os trabalhadores de baixa renda. Sem desconsiderar as demandas urgentes na infraestrutura dos setores de saúde, educação e segurança.

Diante disso, novas tecnologias e materiais cada vez mais específicos, com melhor desempenho, e métodos construtivos inovadores, mais práticos e de alta produtividade estão sendo cada vez mais desenvolvidos.

Em visão a estes avanços, foi proposto este Trabalho de Conclusão de Curso que, embasado nos conhecimentos adquiridos ao longo do processo de graduação e juntamente com a vivência profissional, desenvolver uma tentativa de unir dois materiais específicos da construção civil, a fim de melhorar o desempenho e a praticidade de determinado serviço, diminuindo o tempo de execução e mão de obra utilizada.

As construções em geral são formadas por um conjunto de sistemas, que podem ser subdivididos, basicamente, em: fundações, estrutura e supra estrutura, sistema hidrossanitário, elétrico, telefônico, instalação de gás, impermeabilização e de segurança. Além desses, tem-se os sistemas de vedações verticais e horizontais, internos ou externos a estrutura, com diversas soluções de engenharia, como por exemplo: alvenaria de blocos cerâmicos, alvenaria de blocos de concreto, paredes de

gesso cartonado, paredes de concreto, entre outras. Cada um desses sistemas cumpre funções específicas e contribui para o funcionamento harmônico do edifício.

A ênfase do produto desenvolvido está no processo de revestimento de paredes de alvenaria de blocos de concreto. Este revestimento pode ser feito com diferentes materiais de acabamento, dentre eles a argamassa convencional preparada em obra, comumente, mista, a argamassa de projeção, misturas semi prontas, as argamassas estabilizadas e as argamassas industrializadas. Esta última consiste em uma argamassa comercializada em sacos com o produto já pronto para uso, em consistência de pó, sendo necessário somente adição de água na mistura.

O objetivo deste trabalho é melhorar um produto já existente no mercado, muito usual no sistema de revestimento com o uso de aditivos. Mais especificamente, este trabalho apresenta um estudo das propriedades térmicas e mecânicas da argamassa de revestimento interno, voltada para técnica da aplicação direta, sobre a alvenaria de blocos de concreto em “osso”, da argamassa de revestimento interno modificada com aditivo promotor de aderência a base de copolímeros (Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e vinil acetato-etileno / silano-siloxano). A intenção é a de analisar as propriedades desta argamassa para viabilizar o sistema de revestimento, eliminando a aplicação do chapisco e, assim, reduzir custos e prazo de execução deste serviço com a mesma qualidade anterior, utilizando o produto modificado.

Todavia, além de aprimorar as propriedades da argamassa faz-se necessário que este “novo” produto satisfaça os requisitos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, descritos na NBR 13281 - argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. A não obtenção das propriedades reológicas e mecânicas especificadas nesta norma acarreta na perda de aderência da argamassa ao substrato e a ocorrência de patologias como o surgimento de trincas e/ou fissuras.

Além disso, um novo material, para ser aceito pelo mercado da Construção Civil, necessita ser: resistente, durável, trabalhável, apresentar peso específico, condutibilidade térmica e absorção, favoráveis e adequados e isso tudo, com custo moderado. Ou, é claro que seu desempenho seja superior aos materiais disponíveis e normalizados e que isto justifique seu preço elevado.

Então, é necessário um estudo do comportamento tanto no estado fresco como no estado endurecido desta “nova” argamassa. Dentre os ensaios realizados nas argamassas estão o de índice de consistência e perda de consistência, absorção,

retenção de água, densidade de massa e teor de ar incorporado, resistência de aderência à tração e à compressão. Além dos ensaios de caracterização da areia utilizada nas argamassas.

Contudo, com este estudo será possível elaborar um comparativo do sistema de revestimento utilizado no mercado atualmente, com os resultados obtidos referente ao “novo” produto modificado. Afim, de mostrar a melhoria no desempenho do produto e a viabilidade que impactará na utilização do mesmo.

## **2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a caracterização das propriedades térmicas e mecânicas da argamassa melhorada com aditivos de copolímeros de ação adesiva, para revestimento de paredes de alvenaria de concreto, sem a realização da camada de chapisco.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar a argamassa de referência, com adição dos copolímeros, no estado fresco, avaliando as seguintes propriedades: massa específica e teor de ar incorporado, consistência e retenção de água;
- Caracterizar a argamassa, com adição do copolímero, no estado endurecido, diretamente no revestimento e em corpos-de-prova, avaliando as seguintes propriedades: resistência de aderência à tração e à compressão;
- Analisar os resultados obtidos com os estabelecidos pela ABNT NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos;
- Caracterizar a argamassa, com e sem adição do polímero, no estado endurecido, diretamente no revestimento e em corpos-de-prova, avaliando as seguintes propriedades: aderência, resistência de aderência à tração e à compressão.
- Comparar a resistência mecânica à tração (aderência), da argamassa com e sem a adição do polímero de ação adesiva, aplicada sobre superfície chapiscada e aplicada diretamente sobre alvenaria de blocos de concreto.

### **2.3. Justificativa**

O processo construtivo mais utilizado atualmente, para revestimento de paredes de blocos de concreto, é um sistema constituído de três camadas, que são o chapisco, emboço, reboco ou gesso, aplicadas exatamente nesta ordem.



Com os procedimentos convencionais de aplicação citados nas obras, gera-se um custo mais elevado e muita perda por resíduos, o gesso é um dos materiais que hoje na construção civil mais gera perdas e para os descartes desse produto é necessário parâmetros estabelecidos pelas normas ambientais, gerando dificuldades na administração desses descartes e custos.

Se houvesse a possibilidade de se eliminar a etapa do chapisco e utilizar uma argamassa para revestimento que fosse possível a substituição do gesso, sem que as características de qualidade do acabamento final fossem alteradas, haveria a possibilidade de reduzirem-se custos, diminuir quantidades elevadas de resíduos, além de ser possível levantar a hipótese da redução nos prazos de conclusão dos serviços e/ou obra; dado que, é usual, nas construções de edifícios, adotar-se um período de 2 a 3 dias para a cura do chapisco e, após este prazo, proceder-se com a colocação da camada de emboço.

Ao se retirar a camada de chapisco do revestimento da parede de blocos de concreto, e assim, reduzir a aderência mecânica, faz-se necessário compensar esta redução. Esta compensação pode ser feita por meio do aumento da aderência química, isto é, através da utilização de copolímeros, que ampliam a adesão do emboço à alvenaria.

Sendo possível eliminar a camada de ligação entre emboço e substrato, podendo eliminar a mão-de-obra e materiais, com possível redução no prazo de execução, obtendo uma mistura prática e de bom desempenho. Este fato ainda reduziria riscos de problemas laborais; eliminaria a necessidade de estocagem de areia, cimento, cal e demais ferramentas e criaria canteiros de obras menores e mais limpos.

É importante também salientar que quando se utilizam polímeros adesivos, como látex acrílico ou estireno butadieno, para melhorar a aderência da camada de chapisco à base, deve-se tomar cuidado. O chapisco irá aderir de forma eficaz ao substrato, porém o polímero, no interior da matriz porosa do chapisco, irá formar filmes que irão obstruir parcialmente a rede de poros. Assim, é reduzida a sucção necessária ao chapisco quando houver o lançamento, sobre este, da argamassa de revestimento (emboço e reboco). Dessa forma, a aderência da argamassa de revestimento ao chapisco é prejudicada com resultados de desempenho muito críticos. Resumindo, o chapisco modificado (com polímeros adesivos) fica perfeitamente aderido ao

substrato, mas não se consegue aderência significativa da argamassa sobre o chapisco.

Em decorrência disso, este trabalho propõe a adição do polímero adesivo à argamassa constituinte do emboço e propõem a retirada da camada de chapisco.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A abordagem será feita pelos os itens que compõem as argamassas de revestimento, com suas camadas e propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido, além dos conceitos da argamassa modificada com aditivos adesivos à base de copolímeros para possibilitar a exclusão da camada do chapisco ao executar o emboço.

#### **3.1. Histórico da Argamassa**

Há mais de 3000 anos, as civilizações Fenícias, Gregas e Romanas já utilizavam as argamassas hidráulicas, mistura de um material aglomerante (cinzas vulcânicas) com materiais inertes, para pavimentação das edificações e para assentar e revestir os blocos que formam as paredes e os muros das mesmas [MIRANDA, 2009].

As misturas de aditivos são conhecidas desde a antiguidade, por melhorar o desempenho pretendido com as argamassas. Os Romanos, por exemplo, utilizavam o sangue, a banha e o leite como aditivos nas argamassas hidráulicas, talvez com o intuito de melhorar a trabalhabilidade. Hoje, sabe-se que estas substâncias provocam a introdução de ar na argamassa, o que pode ter contribuído para a duração das edificações Romanas [MIRANDA, 2009].

No Brasil, a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século de nossa colonização, sendo utilizada no assentamento de alvenaria de pedra, largamente utilizada na época. A cal que constituía tal argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia também era muitas vezes, utilizado como aglomerante, em argamassas de assentamento [WESTPHAL et al., 2013].

#### **3.2. Revestimento Argamassado**

A NBR 13281 (ASSOCIAÇÃO..., 2005d) descreve a argamassa como uma mistura homogênea de aglomerantes e agregados inorgânicos com água, podendo conter aditivos e adições, com propriedades de endurecimento e aderência controladas, sendo dosada em obra ou em instalações próprias.

De acordo com a NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO..., 1998) as argamassas destinadas a revestimentos são definidas como uma mistura de aglomerantes e agregados minerais com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

Na produção de argamassas de revestimento, devem-se atender diversas exigências, assegurando-se que certas propriedades sejam obtidas, além de um bom desempenho na aplicação, qualidade e durabilidade, tanto nos estados fresco e endurecido [SABBATINI e BAIA, 2008].

As argamassas utilizadas como revestimento de vedações podem simplesmente exercer a função de cobrir irregularidades da superfície, constituindo o acabamento estético da edificação, como podem ainda contribuir para as exigências de segurança e habitabilidade [CINCOTTO et. al.,1995].

Alguns estudos comprovam que os revestimentos argamassados podem contribuir com o isolamento térmico, em cerca de 30%, com o isolamento acústico, com cerca de 50%, com a estanqueidade à água, variando de 70% até 100%, além de contribuir para a segurança ao fogo, resistência ao desgaste e abalos superficiais [CARAZEC, 2007 apud Santos, 2008a1].

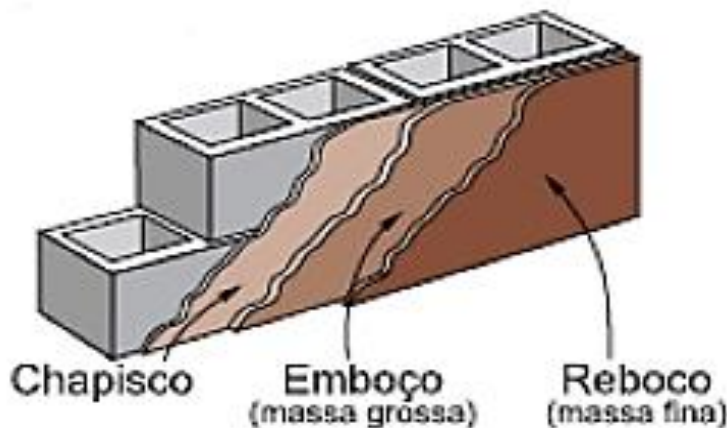
Segundo Santos (2008b), Sabbatini e Baia (2008), além de possuir compatibilidade entre os materiais constituintes e os materiais da base na qual é aplicada, as argamassas de revestimento devem possuir as seguintes funções características:

- Proteção dos elementos de vedação dos edifícios da ação direta dos agentes agressivos;
- Auxílio no cumprimento da função de vedação, como, por exemplo, o isolamento termo acústico, conforto hidrotérmico (temperatura e umidade), resistência ao fogo, além da estabilidade mecânica e dimensional (resistência à tração, compressão, impacto e abrasão);
- Contribuição para a estanqueidade da parede, constituindo-se em uma barreira à penetração de água;
- Regularização da superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequada ao recebimento de revestimentos ou constituir-se no acabamento final;
- Função estética da fachada (acabamento e decoração).

### 3.2.1. Camadas do Revestimento Convencional

As camadas que compõem o revestimento argamassado são apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Camada dos revestimentos de argamassa



FONTE: Gomes (2008).

#### 3.2.1.1. Chapisco

Segundo a NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO..., 1995b) chapisco é a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

De acordo com Silva (2006), utiliza-se o chapisco em situações vinculadas à:

- Limitações na capacidade de aderência da base: quando a superfície é muito lisa ou com porosidade inadequada;
- Revestimento sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e revestimentos de teto.

O chapisco é a camada responsável pela ligação entre o revestimento e o substrato, e de acordo com Carasek (1996) possui como principal requisito ou propriedade a aderência mecânica. Esta camada deve ser utilizada em alvenarias de bloco cerâmico devido à porosidade do material da qual a vedação se constitui. Caso esta seja executada com blocos de concreto, cuja porosidade é capaz de ligar e apresentar a propriedade de aderência inicial entre o revestimento de argamassa e a base, o emprego da camada de chapisco pode ser desnecessário.

O chapisco consiste em uma argamassa produzida com cimento, areia, normalmente de granulometria mais grossa, e água, dosada de forma a obter uma

película rugosa, aderente e resistente. A argamassa do chapisco é bastante fluída, normalmente produzida no traço 1:3 em volume (cimento e areia), podendo ou não ter a adição de aditivos adesivos aplicados sobre o substrato, para fornecer uma melhor aderência argamassa/substrato. A aplicação é realizada de forma que a argamassa seja projetada energicamente sobre a superfície que receberá o emboço e, de baixo para cima [SANTOS, 2008a].

Antes da aplicação do chapisco, o substrato deve ser umedecido de forma abundante, para evitar a absorção excessiva da água necessária para à cura do chapisco no substrato. (dependendo do índice de absorção inicial do bloco e da absorção). Segundo Yazigi (2006) apud Santos (2008a)2, o excesso de água de saturação pode ser prejudicial, uma vez que os poros saturados irão inibir o micro agulhamento da pasta de aglomerante dentro dos mesmos (mecanismo que configura a aderência sobre substratos porosos).

De acordo com Santos (2008a) a espessura máxima do chapisco deverá ser de 5mm. Bauer et. al. (2005) menciona a necessidade de cura do chapisco, por aspersão de água, com duração de no mínimo de 24 horas, recomendando-se estendê-la para 48 horas em condições de clima quente e seco. Falhas de cura, geralmente são: pulverulência, fissuração intensa e desagregação.

### **3.2.1.2. Emboço**

De acordo com a NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO..., 1995b) emboço é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final. O emboço é uma argamassa de aglomerantes e agregados, com água e possíveis adições.

Os traços mais comuns utilizados para emboço são: 1:1:4 (cimento:cal:areia) para emboço interno, base para reboco, 1:1,25:5 para emboço interno, base para cerâmica, 1:2:9 para emboço interno, para tetos ou externo, base para reboco e 1:2:8 para emboço externo, base para cerâmica [MOTA et. al., 2002].

No emboço normalmente emprega-se um agregado miúdo de granulometria um pouco mais grossa do que na camada única ou no reboco, e o acabamento é somente o sarrafeado, onde se deixa uma textura áspera para melhorar a aderência

quando se aplica outros materiais, como é o caso da argamassa colante no assentamento de peças cerâmicas [BAUER et. al., 2005]

O emboço pode ser executado somente após a total cura da base chapiscada [YAZIGI, 2006 apud SANTOS, 20082]. Segundo a NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO..., 1998), a idade mínima do chapisco, para que sobre ele seja executada a camada de emboço, deve ser de três dias. Em locais que possuem características climáticas como temperatura elevadas (maiores ou próximas a 30°C), umidade do ar e ventilação adequada, este período de tempo de cura do chapisco, para a posterior aplicação da massa grossa, pode diminuir para 2 dias.

### **3.2.1.3. Reboco**

Reboco é a camada de argamassa de revestimento realizada sobre o emboço ou sobre o próprio substrato munido de camada de ligação. A NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO..., 1995b) conceitua reboco como a camada de revestimento utilizada para cobertura do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final. O reboco é uma argamassa de aglomerantes e agregados, com água e possíveis adições.

Os traços mais comuns utilizados para reboco são: 1:4 (cal:areia) para reboco interno, base para pintura, 1:3 para reboco externo, base para pintura e 1:2 para reboco interno, para tetos, base para pintura [MOTA et. al., 2002].

O reboco confere uma textura superficial final aos revestimentos de múltiplas camadas, sendo a pintura, aplicada diretamente sobre o mesmo. Portanto, não deve apresentar fissuras, principalmente em aplicações externas. Para isto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações [SILVA, 2006].

Segundo a NBR 7200 (ASSOCIAÇÃO..., 1998), a aplicação da camada de reboco só pode ser efetuada, de acordo com a finalidade e com as condições do clima, com a umidificação da camada anterior, sendo vetada a aplicação de camadas de revestimentos em ambientes com temperaturas menores que 5°C. De acordo com Santos (2008a), em temperatura superior a 30°C devem ser tomados cuidados especiais para a cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes e insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

#### **3.2.1.4. Finalização**

O processo de finalização consiste no acabamento fino após as camadas anteriores (chapisco, emboço e reboco). É nesta etapa que são adicionados materiais de acabamento final, tais como: massa corrida, gesso, textura e pintura.

Existem classificações de acabamento na etapa de finalização, comumente utilizadas na construção civil, sendo eles:

- Padrão popular;
- Padrão médio;
- Padrão bom;
- Padrão fino;
- Padrão industrial (CRISTO, 2009).

#### **3.2.2. Propriedades da Argamassa de Revestimento Interno**

Para poder garantir o desempenho dos revestimentos argamassados quando expostos às intempéries, suas propriedades precisam ser estudadas e analisadas a fim de se obter o melhor desempenho possível [SANTOS, 2008b].

Os revestimentos de argamassa devem apresentar determinadas características funcionais e propriedades para que possam cumprir suas funções de forma adequada, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Ao se entender o comportamento das propriedades das argamassas de revestimento em diferentes situações, ou seja, em diferentes temperaturas, substratos e em diferentes umidades relativas, é possível entender sobre o comportamento das argamassas em situações equivalentes.

##### **3.2.2.1. Propriedades da Argamassa no Estado Fresco**

O seguimento das argamassas no estado fresco está relacionado à matéria prima utilizada, ao traço (relação de proporção entre os materiais), à mistura, isto é, ao tipo de misturador utilizado e ao tempo de mistura, aos equipamentos utilizados para o transporte, espessura da camada e até à forma de aplicação. Inclusivamente, há necessidade de se considerar o ambiente no qual a mesma está condicionada.



Conhecer as propriedades dos materiais utilizados na confecção, na dosagem, implantação de sistema eficiente de mistura e de transporte, bem como no treinamento de colaboradores são atividades primordiais para garantir a durabilidade aos revestimentos [ASSOCIAÇÃO..., 2008].

Segundo Carasek (2007), a adesão inicial caracteriza-se pela capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Tal propriedade está intimamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial.

De acordo com Sabattini e Baia (2008), as principais propriedades das argamassas no estado fresco são a massa específica, teor de ar incorporado, trabalhabilidade, retenção de água, aderência inicial e retração na secagem.

#### **3.2.2.1.1. Influência dos polímeros no estado fresco**

O uso de látices poliméricos e éteres de celulose em argamassas influencia diretamente na trabalhabilidade das mesmas, uma vez que alteram propriedades como viscosidade, plasticidade, coesão, consistência, adesão inicial e retenção de água.

Os látices permitem uma diminuição da demanda de água para uma mesma consistência, e incorporam ar durante a mistura devido à presença de espécies químicas tensoativas. O movimento entre os grãos de cimento é facilitado pelo efeito de rolamento ocasionado pelas partículas de polímero e bolhas de ar, resultando, desta forma, em um material mais homogêneo e com possibilidade de exsudação e segregação reduzidas [SU, 1995; BEELDENS, 2001].

Os éteres de celulose são modificadores reológicos, empregados para melhorar a trabalhabilidade das argamassas colantes, através da incorporação de ar, viscosidade e retenção de água promovidas pelo aditivo [JENNI e ZURBRIGGEN, 2003].

Ambos os polímeros afetam significativamente as reações de hidratação do cimento [SILVA, D.A., 2001]. Na presença dos látices, estas reações são mais lentas, o que acaba retardando os tempos de pega das argamassas, sendo que para maiores teores de polímeros, maior é este efeito [OHAMA, 1984; SU, 1995]. O efeito do retardo da hidratação do cimento pode ser atribuído a diferentes aspectos, tais como: a adsorção de partículas poliméricas na superfície dos grãos de cimento em hidratação,

reduzindo a taxa de dissolução e, em conseqüência, a taxa de formação dos produtos hidratados; a formação de filme polimérico com o curso da hidratação, envolvendo os grãos de cimento e interrompendo as reações; e a formação de complexos entre as partículas de polímero e íons  $\text{Ca}^{+2}$  em solução [SU, 1995; O'KEEFE citado por ZENG e outros, 1996; BEELDENS, 2001; SILVA, D.A., 2001].

Por outro lado, as reações de hidratação, na presença de éteres de celulose, tornam-se mais lentas devido à inibição do transporte de íons e da mobilidade da água, retardando o tempo de pega e endurecimento [EDEN e BAILEY, 1986]. Silva e Roman (2001) constataram em seus estudos que, por modificar a viscosidade da fase aquosa das pastas de cimento, o HEC retarda as reações de hidratação nas primeiras idades. No entanto, por reterem água no sistema, o polímero resulta em maior maturidade das pastas em idades mais avançadas.

A interação das moléculas do polímero com a água e das moléculas entre si por pontes de hidrogênio dificultam a separação entre a fase aquosa e os sólidos, aumentando a coesão e estabilidade da mistura e reduzindo a possibilidade de segregação e exsudação. No entanto, pelo fato do uso do polímero reduzir a exsudação em materiais cimentícios, pode haver um aumento à fissuração superficial das peças por retração plástica, ou seja, pode haver dessecação superficial por evaporação [KHAYAT, 1998]. O HEC provoca fissuração nas pastas de cimento, especialmente na ausência do EVA e nas superfícies dos corpos-de-prova, devido à intensificação dos fenômenos de retração plástica, química e hidráulica [SILVA, D.A., 2001].

Devido à elevada retenção de água e ao retardo do tempo de pega, o HEC proporciona um aumento no tempo em aberto das argamassas, constatado por Póvoas (1999). A autora verificou também que, em argamassas modificadas com ambos aditivos (HEC e EVA), há um incremento na capacidade de retenção de água, tanto em relação à evaporação como à sucção da base. A perda de água por sucção é influenciada pelo volume de poros do substrato e pela força capilar, que depende do diâmetro dos mesmos [SELMO, 1989].

Póvoas e outros (1999) encontraram valores médios de perda de água por sucção, em argamassas modificadas com 0,4% de HEC e 10% de EVA, de aproximadamente 17% (após 30 minutos). Este valor é bastante baixo se comparado com argamassas convencionais (aproximadamente 67%), influenciando de maneira positiva na hidratação do cimento, na plasticidade, na coesão e na aderência do

conjunto. Os experimentos foram realizados em laboratório, com temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C e umidade relativa de  $(65 \pm 5)$  %.

Apesar de grandes perdas de água por sucção serem indesejáveis, considera-se necessário um mínimo de absorção pela placa cerâmica para garantir a aderência. Isso demonstra a preocupação que deve ser tomada com alguns materiais cerâmicos com baixa ou ausência de sucção.

### **3.2.2.1.2. Massa Específica e Teor de Ar Incorporado**

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios existentes na argamassa, em contrapartida, para determinação da massa relativa e/ou massa unitária os vazios são considerados [SANTOS, 2008a].

Sabbatini e Baia (2008) definem teor de ar como a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa, ou seja, a soma do ar aprisionado e do ar incorporado. A presença de aditivos incorporadores de ar nas argamassas aumenta o teor de ar incorporado, diminuindo a massa específica relativa da mistura. A utilização destes produtos deve seguir as orientações dos fabricantes, porque elevadas adições, sem critérios pré-definidos, podem interferir de forma negativa em outras propriedades da argamassa, como por exemplo, na resistência mecânica.

Para Maciel, Barros e Sabbatini (1998) massa específica se caracteriza pela razão entre a massa de argamassa e o volume ocupado pela mesma; sendo que esta pode ser absoluta (não considera os vazios no volume de argamassa) ou relativa (os vazios são considerados). Uma argamassa com elevado teor de ar tem também grande volume de vazios e, portanto, maior massa específica relativa, o que pode melhorar a trabalhabilidade, entretanto prejudica resistência e aderência. Por meio da massa específica se pode converter o traço em massa para o traço em volume, utilizados na dosagem das argamassas produzidas em obra.

Os valores de massa unitária e teor de ar interferem na trabalhabilidade de uma argamassa no estado fresco. Uma argamassa com menor massa específica e maior teor de ar apresenta melhor trabalhabilidade [SABBATINI e BAIA, 2008]. Entretanto é preciso tomar cuidado, já que uma argamassa pobre, com alta relação água cimento é pouco harmônica, apesar de possuir baixo valor de massa unitária.

Os métodos de determinação da massa específica e do teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco são expostos na NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO..., 2005b).

### **3.2.2.1.3. Trabalhabilidade e Consistência**

De acordo com Rilem (1982) apud Bauer et. al. (2005)3:

Trabalhabilidade é a facilidade do operário de trabalhar com a argamassa, que pode ser entendida como um conjunto de fatores inter-relacionados, conferindo boa qualidade e produtividade na sua aplicação. Considerando ainda que a consistência e a plasticidade são as propriedades reológicas básicas, que caracterizam a trabalhabilidade.

Para Carasek (2007), trabalhabilidade é a propriedade das argamassas ainda em estado fresco a qual determina a facilidade com que a própria argamassa pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada em uma condição homogênea. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, que resulta da união de várias outras propriedades, como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial.

Segundo Sabbatini e Baia (2008), trabalhabilidade é a combinação das características das argamassas relacionadas com a coesão, consistência, plasticidade, viscosidade, adesividade e massa específica. Assim, ela determina o modo e a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial.

Santos (2008a) elenca as principais características de uma argamassa trabalhável, como:

- Deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, sem ser fluída;
- Mantém-se coesa ao ser transportada, mas não adere à colher ao ser lançada;
- Distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base;
- Não endurece rapidamente quando aplicada.

Com relação à consistência, segundo Gomes (2008), esta é resultante das ações de forças internas, como coesão e ângulo de atrito interno e viscosidade, que condicionam a mudança de forma da mistura. Desta forma, o teor de água, a forma e a textura dos grãos dos agregados, assim como a granulometria afetam a consistência.

A consistência é a propriedade da argamassa relacionada à trabalhabilidade, que pode ser definida através de um índice. A NBR 13276 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) estabelece o método para determinação do índice de consistência da argamassa. Alguns aspectos interferem nessa propriedade, como as características dos materiais constituintes da argamassa e o traço utilizado. A presença da cal e de aditivos incorporadores de ar, por exemplo, melhoram essa propriedade até um determinado limite. A Figura 2 apresenta as características internas e externas que influenciam na consistência das argamassas.

Figura 1 - Características Internas e Externas da Argamassa

<b>Fatores Internos</b>	<b>Fatores Externos</b>
Teor de água muitas vezes definida em função da consistência necessária	Tipo de mistura
Proporção entre aglomerantes e agregado	Tipo de transporte
Natureza e teor dos plastificantes (cal, finos argilosos, etc)	Tipo de aplicação no substrato
Distribuição granulométrica e forma e textura dos grãos do agregado	Operações de sarrafeamento e desempenho
Natureza e teor de aditivos	Características da base de aplicação – tipo de preparo, rugosidade, absorção, etc.

Fonte: BAUER (2005)

As características de consistência são ajustadas a partir dos fatores externos, alterando os fatores internos.

#### **3.2.2.1.4. Retenção de Água**

Retenção de água corresponde à habilidade da argamassa de não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se adequado por um período apropriado de tempo quando sujeita às variações que são capazes de provocar perda de água por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação. A retenção de água é a propriedade que ajuda para o desenvolvimento da hidratação em fases mais avançadas, tornando as reações de endurecimento da argamassa mais progressivas, com uma interferência no ganho de resistência, evitando possíveis problemas de fissuração ocasionados por retração, fatores estes com propensão direta no desempenho dos sistemas de revestimento [BAUER et. al., 2005].

De acordo com Sabbatini e Baia (2008), a perda de água de forma rápida nos revestimentos prejudica a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação.

Segundo Gomes (2008), para conferir trabalhabilidade nas argamassas utiliza-se uma quantidade de água superior a necessária para produzir as reações de endurecimento da mistura. Assim, a quantidade excessiva de água, que não é utilizada no processo de hidratação, é perdida superficialmente (por evaporação) ou através do contato entre argamassa e substrato, devido ao gradiente hidráulico que surge na base, pela diferença de sucção. Desta perda de água surge a porosidade da argamassa.

A movimentação da água afeta a resistência, a capilaridade, a permeabilidade e a aderência da argamassa à base [SABBATINI e BAIA, 2008]. Quando a argamassa não possui uma boa capacidade de retenção da água de amassamento, as reações de hidratação do cimento e de carbonatação da cal ficam prejudicadas, o que interfere de forma negativa no tempo que se dispões para utilizá-la e na qualidade do revestimento.

O deslocamento de um líquido em um meio granular está relacionado com a finura, superfície específica e poder de adsorção destas partículas. A retenção de água pela argamassa depende da capacidade de aprisionamento do líquido pelas partículas finas, que possuem uma elevada atividade de superfície. A cal possui um elevado poder de retenção, devido à capacidade adsortiva de seus cristais e elevada superfície específica. [BAUER et. al., 2005].

Da mesma forma que na trabalhabilidade, os fatores que influenciam na retenção de água são as características dos materiais constituintes da argamassa e a

relação de proporção entre eles (traço). A presença da cal e de aditivos pode melhorar essa propriedade [SABBATINI e BAIA, 2008].

Os aditivos retentores de água são polímeros leves, a base de éter de celulose, utilizados normalmente em solução ou em pó, que em solução aquosa produzem um aumento considerável na viscosidade e na retenção de água nas misturas em que são aplicados [BAUER et. al., 2005].

A norma NBR 13277 (ASSOCIAÇÃO..., 2005a) estabelece o método para a determinação da retenção de água da argamassa.

#### **3.2.2.1.5. Aderência Inicial**

Ao manusear a argamassa fresca sobre a alvenaria que se pretende revestir, espera-se que ela fique aderida à base, sem se desprender [GOMES, 2008]. A adesão inicial da argamassa no estado fresco ao substrato é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do conjunto substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência [CINCOTTO et al., 1995].

A aderência da argamassa ao substrato relaciona-se às características reológicas da pasta aglomerante. A baixa tensão superficial da pasta, que é inversamente proporcional ao consumo de aglomerantes, é o que propicia a sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo [SILVA, 2006].

De acordo com Sabbatini e Baia (2008), a aderência inicial corresponde a capacidade que a argamassa apresenta para ancorar na superfície da base através da penetração da pasta nos poros, reentrâncias e saliências seguidos do endurecimento gradativo da pasta.

Em superfícies porosas, a aderência inicial se dá pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada de pasta nos poros do substrato, ocorrendo o endurecimento progressivo da pasta, conforme a Figura 3:

Figura 2 – Ancoragem da argamassa na base



Fonte: Adaptado de Sabbatini e Baia (2008)

Segundo Sabbatini e Baia (2008) e Silva (2006), a aderência inicial depende dos seguintes fatores:

- Propriedades da argamassa no estado fresco;
- Características da base de aplicação (porosidade, rugosidade);
- Limpeza do substrato (isenção de poeiras, partículas soltas e gorduras);
- Contato efetivo entre a superfície de argamassa e a base.

A Figura 4 (a) apresenta uma argamassa com boa aderência inicial. Para tal, a mistura deve apresentar retenção de água e trabalhabilidade compatíveis com a sucção da base e às condições climáticas e do ambiente (umidade, insolação, etc.). Se a retenção de água for menor que a capacidade de sucção do substrato, ocorre uma migração muito rápida de pasta para os poros da base, diminuindo a aderência inicial. O resultado disso é uma descontinuidade da camada de argamassa sobre a base, como ilustra a Figura 4 (b) [SABBATINI e BAIA, 2008].

Figura 3 - Argamassa com boa aderência inicial



Fonte: Adaptado de Sabbatini e Baia (2008)



### 3.2.2.1.6. Retração na Secagem

A retração da argamassa na secagem é decorrente do processo de evaporação da água, bem como das reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. O processo de retração na secagem pode vir a causar fissuras no revestimento, podendo resultar em infiltração de água no revestimento e comprometer a estanqueidade da água. (SENAI, 2013)

Fatores importantes relacionados à retração na secagem são:

- Espessura das camadas
- Intervalo de aplicação das camadas;
- Tempo de sarrafeamento;
- Desempeno. (SENAI, 2013)

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), retração na secagem acontece durante a secagem da argamassa em decorrência da evaporação da água de amassamento e às reações químicas dos aglomerantes, podendo ocasionar fissuras, que podem ser prejudiciais (as quais permitem percolação de água no estado endurecido) ou não prejudiciais. Nas argamassas consideradas fortes que são aquelas que contém um alto teor de cimento, argamassas com espessuras superiores a 2,5 cm e argamassas nas quais o sarrafeamento e desempenho tenham sido realizados antes do tempo a fim de atingir a umidade adequada a essas operações, as fissuras prejudiciais ocorrem com maior frequência.

A força da retração na secagem está diretamente relacionada à rapidez com que a secagem ocorrer: quanto mais rápida a secagem, maior é a retração. A rapidez da secagem está relacionada à temperatura. Por outro lado, a umidade retarda a retração (BAUD, 2002).

Conforme Gomes (2008), tanto a argamassa quanto o concreto estão sujeitos à retração plástica, hidráulica e autógena:

“A retração plástica ocorre antes do início de pega da pasta de cimento e é resultante da saída de água por evaporação, e sua intensidade depende da umidade relativa, temperatura ambiente, velocidade do ar, localização da área revestida, espessura da camada e dos materiais constituintes. A retração hidráulica se dá após a pega, isto é, decorrente da saída de água, na fase de endurecimento, sendo afetada pela dosagem, tipo de materiais empregados, condições de cura e localização do revestimento. Já a retração autógena é causada pelas reações químicas dos aglomerantes: se do cimento, a retração é de hidratação, e se da cal, a retração é de carbonatação.”

### **3.2.2.2. Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido**

Selmo (1989) relaciona como propriedades da argamassa no estado endurecido como sendo:

- Aderência;
- Retração por secagem, movimentos térmicos e higroscópicos;
- Umidade de equilíbrio e máximo de umidade absorvida;
- Fissuração;
- Resistência superficial;
- Permeabilidade à água;
- Absorção de água;
- Textura e cor;
- Estabilidade;
- Condutibilidade térmica;
- Resistência ao congelamento;
- Resistência ao fogo;

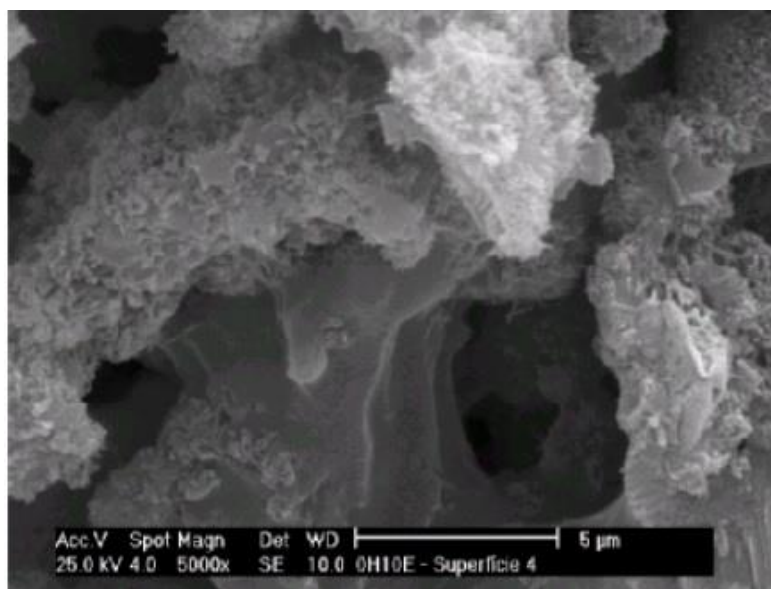
### **3.2.2.3. Característica da Argamassa modificada no Estado Endurecido**

Os polímeros causam modificações na microestrutura das argamassas colantes durante a sua evolução, refletindo nas propriedades das mesmas. Essas alterações influenciam diretamente a durabilidade do sistema cerâmico durante sua vida útil, sendo fundamental a compreensão do efeito dos látices poliméricos e éteres de celulose na microestrutura das argamassas.

Conforme dito anteriormente, após a redispersão do EVA em água, ocorre a formação de um filme polimérico, a partir da coalescência das partículas do polímero. Esse filme ou membrana polimérica forma-se em torno dos produtos de hidratação do cimento e nos poros capilares, numa estrutura contínua, na qual a fase de cimento hidratado e a fase de polímero se interpenetram, envolvendo os grãos de agregado [OHAMA, 1984; LAVELLE, 1988].

A Figura 1 abaixo mostra o aspecto do filme polimérico formado em pastas com EVA em pó, visto em microscópio eletrônico de varredura – MEV.

Figura 1 - Aspecto do filme polimérico formado nas pastas com EVA, observado em MEV.



Fonte: SILVA, D.A., 2001.

A formação do filme pode ser influenciada por três fatores: (I) ambiental – condições de tempo e temperatura; (II) físico - tamanho das partículas e qualidade da dispersão; (III) composicional - estrutura física e estrutura química do polímero [LAVELLE, 1988]. Nas argamassas, as partículas do látex encontram-se dispersas na fase aquosa, então, onde houver maior teor de água, haverá maior concentração de partículas poliméricas, resultando em maior probabilidade de formação de filme nessas regiões.

O filme polimérico concentra-se no sistema de vazios da argamassa endurecida, como pode ser observado na Figura 1. Os produtos de hidratação do cimento são envolvidos pelo filme polimérico, que se forma também em locais onde há maior concentração de água, como na interface pasta-agregado.

Análises microscópicas realizadas por Silva, D.A. (2001), em pastas de cimento, mostraram que há formação de filme polimérico também na superfície de evaporação e em contato com o molde, o que indica que há formação de filme na interface com materiais em contato. Como as partículas poliméricas encontram-se dispersas na fase aquosa, a formação de filme é mais intensa na interface com materiais com baixa absorção, onde há maior quantidade de água pelo efeito parede.

Ohama (1984) e Schulze (1999) afirmam, também, que o polímero age como um reforço e, desta forma, o filme de polímero formado impede a propagação de microfissuras e aumenta a resistência à tração e a tenacidade. Entretanto, é preciso

ressaltar que somente ocorre aumento de resistências com maior concentração de polímero se houver redução da relação água/cimento, como será discutido adiante.

Segundo Beeldens e outros (2001), há, na presença de polímeros, a formação de uma estrutura mais amorfa, uma vez que o filme polimérico evita o crescimento de cristais grandes de hidróxido de cálcio. Silva, D.A. (2001) detectou evidências da existência de fases compósitas, provavelmente acetato de cálcio, além de alterações na morfologia do C-S-H na presença de látex de EVA.

Em concentrações suficientes, a solução de HEC após secagem pode resultar na formação de um filme bastante fino e transparente, de baixa resistência, retornando o polímero ao estado gel ou de solução aquosa, quando imerso em água [SILVA, D.A., 2001]. A presença deste filme em argamassas modificadas com éter de celulose também foi constatada por Jenni (2003).

Efeitos combinados dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento conferem às mesmas baixa permeabilidade [SILVA, D.A., 2001]. Apesar do grande incremento de ar incorporado nos materiais modificados com estes polímeros, a permeabilidade é baixa, devida à formação de filme polimérico sobre as fases cimentícias, o qual preenche parcial ou totalmente os poros e vazios [OHAMA, 1984; SILVA, D.A., 2001]. É importante ressaltar que, caso o filme venha sofrer degradação, o material pode se tornar altamente permeável, e perder parcialmente a capacidade adesiva.

#### **3.2.2.3.1. Aderência**

De acordo com SENAI (2013, p.128), a aderência “depende da porosidade e rugosidade da base e da limpeza da superfície de contato da argamassa com a base, que deve ter rugosidade sem oleosidade e sujeira”.

Ainda, é necessário que a argamassa apresente características de trabalhabilidade e retenção de água condizentes à sucção da base e às condições de exposição (SENAI, 2013).

Carasek (1996) apud Santos (2008a) afirma que:

“A aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals.”

Maciel, Barros e Sabbatini (1998) informam que a aderência é uma propriedade que faz com que o revestimento se mantenha fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. A aderência torna-se então uma resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. E ela depende das propriedades da argamassa no estado fresco, da maneira a qual foi executado o revestimento, da natureza e características e limpeza superficial da base. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

### **3.2.2.3.2. Propriedades e características da aderência**

Um dos grandes benefícios dos materiais cimentícios modificados com polímeros é a melhora da aderência com diversos tipos de substrato, se comparados com os concretos e argamassas convencionais [OHAMA, 1984].

A aderência de revestimentos cerâmicos à base está diretamente ligada ao grau de penetração e endurecimento dos compostos hidratados do cimento nos poros da base ou das placas cerâmicas [SILVA, D.A., 1999; COSTA E SILVA, 2001], sendo este mecanismo denominado de ancoragem mecânica. Na presença de polímeros, há um aumento da retenção de água, havendo uma sucção da nata de cimento para a cerâmica e para o substrato de forma gradual e contínua, gerando maior extensão de contato físico, e subsequente melhor ancoragem mecânica [SELMO e LICHTENSTEIN, 1986 citados por SILVA, D.A., 2001].

A aderência também pode ocorrer por ancoragem química e por ancoragem física, esta através de atrações intermoleculares, decorrentes de ligações secundárias de Van der Waals e pontes de hidrogênio [VAN VLACK, 1994; GALLEGOS, 1995; THURLER e FERREIRA, 1995; CALLISTER JR., 1997; SMITH, 1998; GLEIZE, 2001], promovida pelo polímero com acréscimo de aderência placa cerâmica-base. Isso ocorre devido à formação de filme polimérico na interface argamassa/placa cerâmica [HEROLD, 2000], especialmente naquelas que apresentam baixa absorção de água.

De acordo com Riley e Razl (1974), os látices poliméricos devem ser adicionados às argamassas em teores que variam entre 10 e 20%, em relação à massa de cimento, para que uma boa aderência seja garantida. Em estudos realizados por Póvoas (1999), argamassas modificadas com EVA apresentaram

elevada aderência, alcançando resistência de 1,1 MPa para teores de 10% de polímero. Maiores resistências foram obtidas ainda nas argamassas modificadas com EVA e HPMC, segundo a autora, porque, além do aumento de resistência, a elevada retenção de água promovida pelo HPMC contribuiu para a hidratação do cimento.

Quanto ao uso dos polímeros celulósicos, Silva D.A. (2001) observou, para as argamassas modificadas com aditivo vinílico e o éter de celulose MHEC (metil-hidroxietil celulose), que há um aumento de aderência à tração com teor de polímero de até 0,5%; acima deste teor há uma estabilização.

### **3.2.2.3.3. Capacidade de Absorver Deformações**

Racena (2012) menciona que, as argamassas costumam ser usadas para revestir ou unir elementos fabricados a partir de materiais de diferentes naturezas que, por consequência, possuem comportamentos distintos em relação à sua capacidade de absorção de água e à deformação causada por ação térmica ou higrométrica.

De acordo com SENAI (2013, p.131), a capacidade de absorver deformações consiste na “propriedade do revestimento, sob tensão, para absorver deformações sem ruptura ou fissuras não prejudiciais. As fissuras decorrem do alívio de tensões, originadas das deformações da base”.

Para Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a capacidade de absorver deformações é a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, de suportar as mesmas sem que sejam apresentadas rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade. Há propriedades que podem interferir na capacidade de absorver deformações da argamassa, sendo:

- O módulo de deformação da argamassa que quanto menor for (baixo teor de cimento) maior é a capacidade de absorver as deformações.
- A espessura das camadas que quanto maiores forem contribuem de maneira significativa para melhorar a absorção de deformação porém deve-se atentar para que não haja espessuras excessivas que possam comprometer a aderência.
- As juntas de trabalho do revestimento que delimitam planos com dimensões menores, compatíveis com as deformações o que contribui para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais.

- A técnica de execução, de modo que a compressão imposta durante a aplicação da argamassa bem como durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto contribuem para a ausência de fissuras.
- O aparecimento de fissuras prejudiciais compromete a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento.

As deformações podem ter amplitude pequena ou grande, sendo que o revestimento deve absorver deformações de pequena amplitude, decorrentes da umidade ou da temperatura (SENAI, 2013).

#### **3.2.2.3.4. Resistência Mecânica**

Na norma NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO..., 2005c), consta o método para a determinar a resistência à compressão de argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.

A resistência mecânica relaciona-se com a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos de diversas origens e que se apresentam, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento (CARASEK, 2007).

De acordo com Racena (2012), o principal ponto relacionado à resistência mecânica é sua quantificação, isto é, o valor que deve ser obtido e como deve ser feita a medição deste valor de referência.

#### **3.2.2.3.5. Resistência à Compressão**

Com relação à resistência à compressão, diversos pesquisadores [BANFILL e outros, 1993; SAKAI e SUGITA, 1995; SILVA, D.A., 1999; PÓVOAS, 1999; SCHULZE, 1999] constataram uma redução da resistência à compressão em ensaios realizados com materiais à base de cimento aditivados com látices poliméricos. Entretanto, outros autores [RILEY e RAZL, 1974; OHAMA, 1984; AFRIDI e outros, 1989; entre outros] observaram em seus ensaios aumento da resistência em presença do copolímero EVA.

Esta divergência nos resultados pode ser atribuída ao fato de muitos autores omitirem o emprego de diferentes relações água/cimento juntamente com a variação

das relações polímero/cimento, e, desta forma, os ganhos de resistência são atribuídos apenas à variação do teor do polímero, desconsiderando que houve simultaneamente redução da relação água/cimento.

Schulze (1999), de fato, constatou que a diminuição da relação água/cimento provoca um aumento na resistência à compressão das argamassas modificadas com polímeros, sendo o teor de cimento menos significativo. Comparando a argamassa modificada com pó redispersível e outra de referência, para uma mesma relação água/cimento (0,49), o autor verificou que o polímero reduz a resistência à compressão das argamassas. Isso se deve, provavelmente, à menor proporção de cimento na mistura com a adição do polímero, à baixa resistência à compressão da fase polimérica e à incorporação de ar promovida pela adição de polímeros.

#### **3.2.2.3.6. Resistência à tração e à flexão**

Com relação às resistências à tração e à flexão, os materiais à base de cimento modificados com látices aumentam em comparação aos materiais sem aditivo [OHAMA, 1984]. Sakai e Sugita (1995) atribuem este aumento das resistências à deposição de partículas poliméricas sobre os grãos de cimento, o que aumenta a adesão no interior da matriz cimentícia. Entretanto, novamente ressalta-se que o aumento de resistência pode estar ligado a uma possível redução da relação água/cimento, não informada pelos autores.

Já o módulo de elasticidade das argamassas modificadas com látices poliméricos é menor que o módulo das argamassas convencionais, o que resulta em maior deformação na ruptura e maior resiliência das argamassas modificadas com polímeros [OHAMA, 1984]. Além da maior deformabilidade da fase polimérica, a incorporação de ar promovida durante o processo de mistura colabora para a redução do módulo de elasticidade.

A falta de convergência de conclusões observada nos artigos que se referem às argamassas modificadas com látices poliméricos também ocorre para argamassas com éteres de celulose. Os resultados de ensaios realizados por Silva, D.A. e outros (2000) em argamassas modificadas com MHEC (metil-hidroxietil celulose) mostram uma redução significativa da resistência à compressão e à tração por compressão diametral para teores de polímero de até 0,5% do polímero em relação à massa de cimento, acima desses teores a resistência se mantém constante. Essa diminuição de



resistência está, provavelmente, relacionada à elevada incorporação de ar gerada pelo polímero.

Os resultados de ensaios realizados por Fu e Chung citados por Silva, D.A. (2001) indicam que a adição de HEC em teores de 0,2 a 0,8%, em relação à massa de cimento, melhora o desempenho da pasta à tração, apresentando maiores resistência e deformação na ruptura e menor módulo de elasticidade. Esta diminuição do módulo de elasticidade é devida, principalmente, à presença de vazios gerados pela incorporação de ar durante a mistura.

#### **1.1.1.1.1. Permeabilidade**

A permeabilidade é uma característica que ocorre no estado endurecido e, de acordo com SENAI (2013), a permeabilidade é a passagem de água pela argamassa da camada de revestimento que é um material poroso.

Para minimizar a permeabilidade, Racena (2012, p.74) explica: “é possível diminuir a permeabilidade de concretos e argamassas sempre que as bolhas de ar puderem interromper o fluxo hidráulico responsável pelo desenvolvimento do processo de exsudação”.

De acordo com Neville (2016, p.513):

A permeabilidade do concreto é influenciada também pelas propriedades do cimento. Para a mesma relação água-cimento, cimentos mais grossos tendem a produzir uma pasta de cimento endurecida com maior porosidade do que cimentos mais finos. O teor dos compostos do cimento afeta a permeabilidade, já que influencia a velocidade de hidratação, mas a porosidade e a permeabilidade finais não são afetadas. Em termos gerais, é possível afirmar que, quanto maior for a resistência da pasta de cimento endurecida, menor será sua permeabilidade. Isso já é esperado, pois a resistência é uma função do volume relativo de gel no espaço disponível. Existe uma exceção a essa afirmação: a secagem da pasta de cimento aumenta sua permeabilidade, provavelmente devido à retração poder causar a ruptura de parte do gel entre os capilares e, assim, abrir novas passagens para a água.

#### **1.1.1.1.2. Durabilidade**

De forma simplificada, Racena (2012) explica que a durabilidade da argamassa pode ser compreendida como sua capacidade em manter-se estável quimicamente e fisicamente ao longo do tempo, e em condições consideradas normais de utilização.

Mas ressalta que a durabilidade também está relacionada diretamente com a capacitação da mão de obra.

Para Santiago (2007, p.25):

“se o material não tiver características adequadas, ou em certos casos, não for protegido da ação de intempéries por detalhes de projetos específicos (beirais, passeios, impermeabilização), terminará por se degradar e, em consequência disto, haverá desunião entre os elementos por ele ligados e destruição do próprio substrato sob o qual está aplicado”.

Para Maciel, Barros e Sabbatini (1998), trata-se da propriedade que traduz a capacidade do revestimento de resistir a meios e agentes agressivos sem que perca suas características físicas ao longo do tempo e utilização. Ainda, a durabilidade é a propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. Há alguns fatores que interferem na durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de micro-organismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

## **1.2. Cimento Portland Branco**

O cimento Portland é caracterizado como sendo um pó fino de origem mineral originado da calcinação de misturas de argila e calcário submetidas a alta temperatura, denominadas “clínquer” mais adições. Sendo que as adições mais comuns são: escória de alto-forno, matérias pozolânicas, gesso e materiais carbonáticos (FERREIRA, 2016).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2019, p.13), “O cimento Portland possui propriedade aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, sendo assim denominado aglomerante hidráulico”.

Ainda de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2019), a principal contribuição do cimento está relacionada à resistência mecânica, além disso, já que é composto por finas partículas, também contribui para a retenção da água de mistura e para a plasticidade.

O cimento Portland, na função de aglomerante hidráulico, é responsável pela aglutinação dos agregados, não permitindo que segreguem, pela plasticidade da argamassa e pelas propriedades mecânicas da mesma. Portanto, é o principal responsável pela aderência da argamassa ao substrato (CARASEK, 1996).

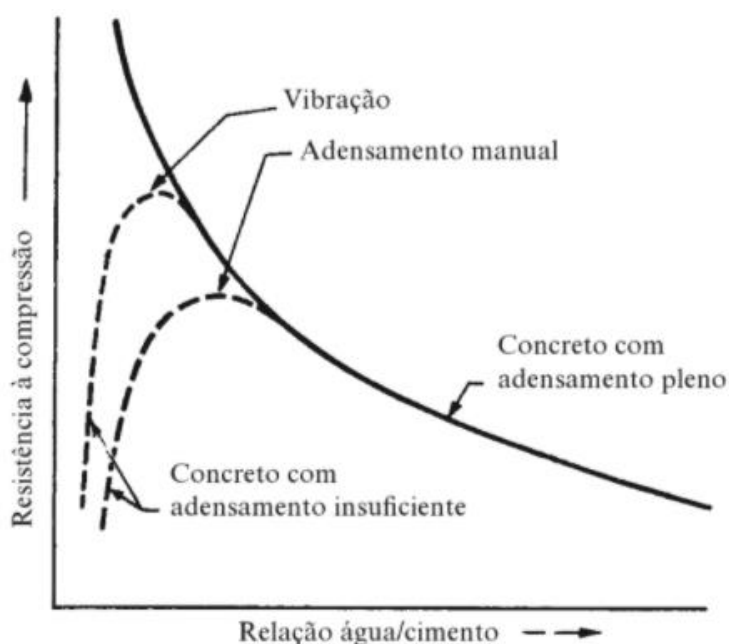
### 1.2.1. Relação Cimento-Água

A água é o recurso utilizado para realizar a mistura, regulando a consistência até obter a trabalhabilidade adequada. Entretanto, a água produz a ocorrência de reações químicas quando realizada a mistura, por isso, considera-se a água potável como sendo a melhor para utilização Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2019).

De acordo com Racena (2012, p.23), a durabilidade do concreto está diretamente ligada com a relação cimento-água: “é possível associar a durabilidade do concreto com sua permeabilidade, por sua vez uma função da porosidade, definida, em concretos bem dosados, pela relação cimento/água e pelas condições de produção, principalmente pelos processos de adensamento e cura”.

Neville (2016) ressalta a importância da relação cimento-água e relaciona com a resistência à compressão conforme as figuras a seguir:

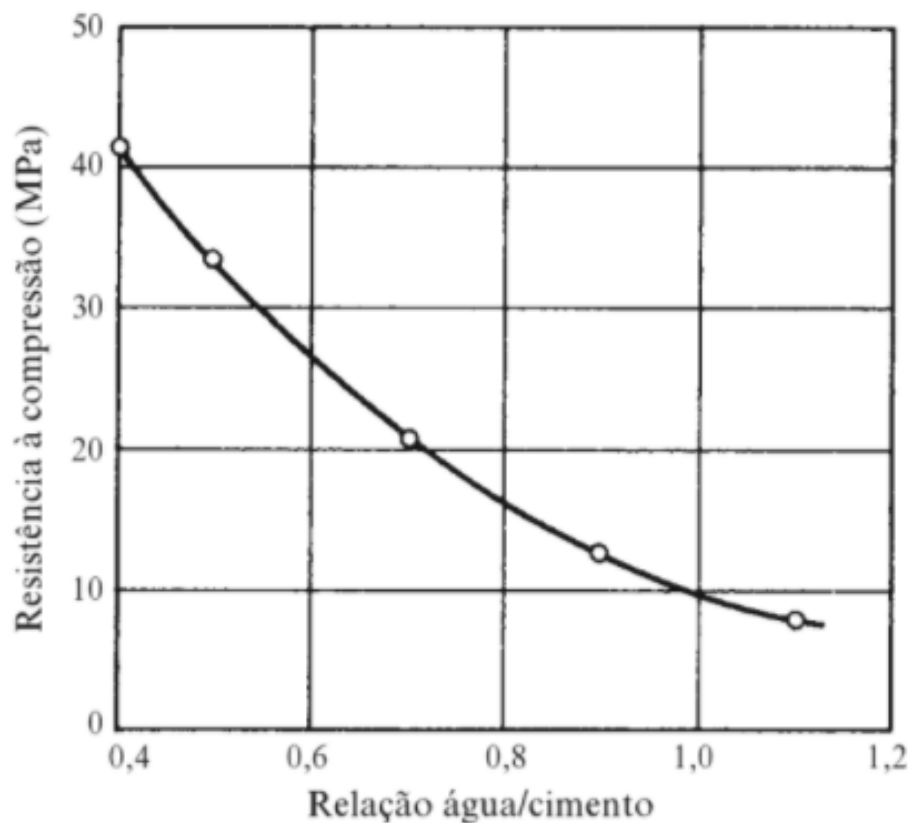
Figura 2 - Relação água-cimento - resistência à compressão



Relação entre a resistência do concreto e sua relação água/cimento.

Fonte: NEVILLE (2016)

Figura 3 - Relação cimento-água



Fonte: NEVILLE (2016)

De acordo com Neville (2016), a relação cimento-água é o que determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio de hidratação, por isso, tanto a relação cimento-água quanto o grau de adensamento afetam o volume de vazios do concreto.

Misturas com relação água-cimento muito baixa e consumo de cimento extremamente elevado, apresentam problemas na resistência quando são utilizados agregados de grandes dimensões, isto é, essa mistura não apresentará maior resistência em idades mais avançadas.

Ainda, o autor comenta sobre as frequentes críticas que surgem quanto à relação água-cimento:

“De tempos em tempos, surgem críticas à regra da relação água-cimento, sob o argumento de que ela não é suficientemente fundamental. Apesar disso, na

prática, a relação água-cimento é o maior fator individual da resistência de um concreto totalmente adensado” (NEVILLE, 2016, p.286).

Para Racena (2012), a escolha dos materiais e a sua mistura deve considerar a possibilidade de ser produzido um concreto com a menor quantidade de água possível, já que dessa forma é possível dar trabalhabilidade.

### 1.3. Aditivos a Base de Hidroxipropilmetilcelulose (Hpmc) e Acetato-Etileno / Silano-Siloxano

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2019, p.15) explica que: “Os aditivos são compostos adicionados em pequena quantidade à mistura, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido e sua quantidade é expressa em porcentagem do aglomerante”.

Através da utilização de aditivos, espera-se:

- Diminuir a retração na secagem (para diminuir fissuração);
- Aumentar o tempo de pega e manter a plasticidade (para facilitar a trabalhabilidade);
- Aumentar a retenção de água;
- Aumentar a aderência da argamassa ao substrato (ABCP, 2019).

Na figura a seguir estão exemplificados os tipos de aditivos existentes e qual sua funcionalidade quando acrescentados:

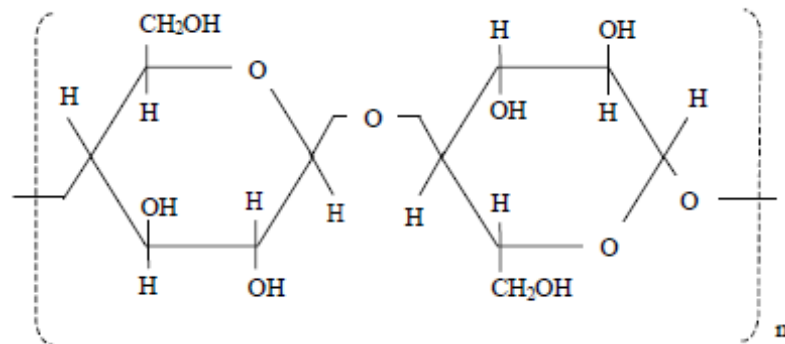
Figura 4 - Tipos de Aditivos

Tipos de aditivos	
Redutores de água (plastificante)	São utilizados para melhorar a trabalhabilidade da argamassa sem alterar a quantidade de água.
Retentores de água	Reduzem a evaporação e a exsudação de água da argamassa fresca e conferem capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes.
Incorporador de ar	Formam microbolhas de ar, estáveis, homoganeamente distribuídas na argamassa, aumentando a trabalhabilidade e atuando a favor da permeabilidade.
Retardadores de pega	Retardam a hidratação do cimento, proporcionando um tempo maior de utilização.
Aumentadores da aderência	Proporcionam a aderência química ao substrato.
Hidrofugantes	Reduzem a absorção de água da argamassa, mas não a tornam impermeável e permitem a passagem de vapor d'água.

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2019)

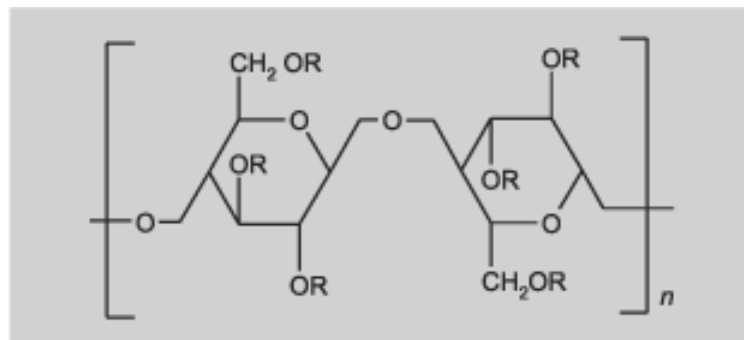
As figuras a seguir demonstram a estrutura molecular da celulose e da hidroxiopropilmeil-celulose:

Figura 5 - Estrutura molecular da celulose



Fonte: (PÓVOAS; JOHN; CINCOTTO, 2002)

Figure 6 - Estrutura química da hidroxiopropilmetil-celulose (HPMC)



Fonte: (PÓVOAS; JOHN; CINCOTTO, 2002)

Aditivos à base de Hidroxiopropilmetilcelulose – HPMC resultam em algumas vantagens, tais como:

- Aumento da viscosidade da argamassa;
- Aumento do tempo em aberto da argamassa;
- Boa consistência e leveza;
- Melhor trabalhabilidade;
- Hidrata o cimento e otimiza seu uso;
- Aumento da adesão ao substrato.

A utilização de aditivos à base de Acetato-Etileno / Silano-Siloxano, proporcionam melhores resistências mecânicas, como adesão flexibilidade,

deformação e resistência à abrasão. Não afeta as propriedades de tixotropia, nivelamento e retenção de água. Além disso, pode ser combinado com outros aditivos para alcançar melhores propriedades. São vantagens:

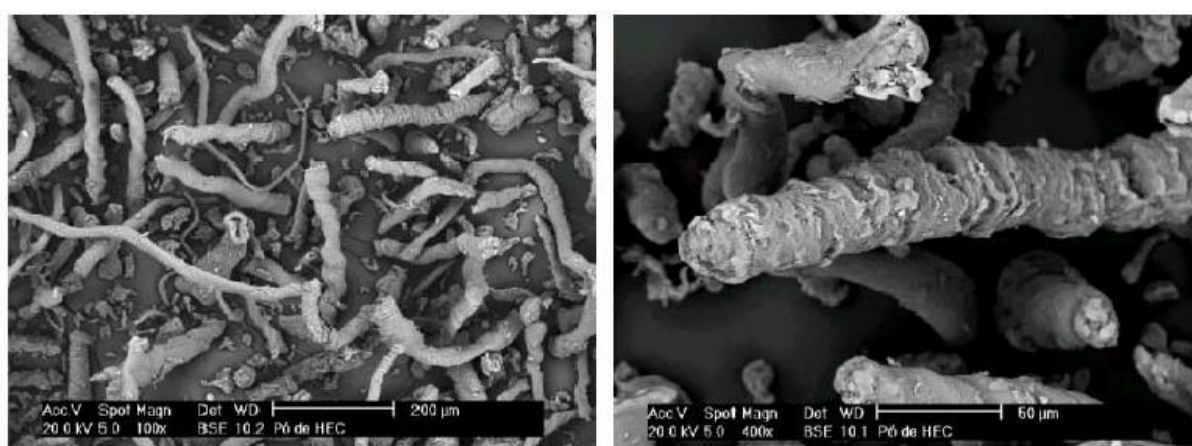
- Argamassa mais trabalhável;
- Menor permeabilidade à água;
- Alta aderência;
- Alta flexibilidade.

### 1.3.1. Características química do HPMC

O HPMC – Hidroxipropilmetilcelulose – é um polímero termoplástico, obtido a partir de uma modificação feita no polímero de celulose natural, através da esterificação parcial de alguns grupos hidroxila com álcali celulose, que, por sua vez, reagem com óxido de etileno formando o HPMC [GRAHAM, 1983; ALGER, 1989]. Os éteres incorporados aos grupos hidroxila impedem a formação das pontes de hidrogênio, o que permite a solubilização do aditivo na água de amassamento [TURNER citado por PÓVOAS e outros, 2002].

A Figura 7 apresenta os aspectos das partículas do pó de HEC, em MEV.

Figura 7 - Aspectos das partículas do pó de HPMC em MEV.



Fonte: SILVA, D. A., 2001.

A principal razão do uso deste aditivo é alterar as propriedades no estado fresco das argamassas, sendo o HPMC considerado um ótimo retentor de água, por causar aumento de viscosidade da fase aquosa. De acordo com Khayat (1998), a forma de ação dos ésteres de celulose pode ser classificada em: (I) adsorção: as moléculas

poliméricas, adsorvem e fixam parte da água do sistema com expansão; (II) associação: promovem o surgimento de forças atrativas entre moléculas próximas, resultando na formação de um gel; (III) entrelaçamento: em altas concentrações de polímero e sob baixas tensões cisalhantes de mistura, as cadeias podem se entrelaçar.

Devido à alta higroscopicidade dos polímeros celulósicos, os mesmos tendem a formar “lentes” de dissolução lenta em contato com umidade e, desta forma, é recomendada a dissolução dos mesmos em água anteriormente ao uso em argamassas e concretos [MAILVAGANAM, 1984].

### **1.3.2. Polímeros**

Canevarolo (2002) define polímero como macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligados por ligação covalente.

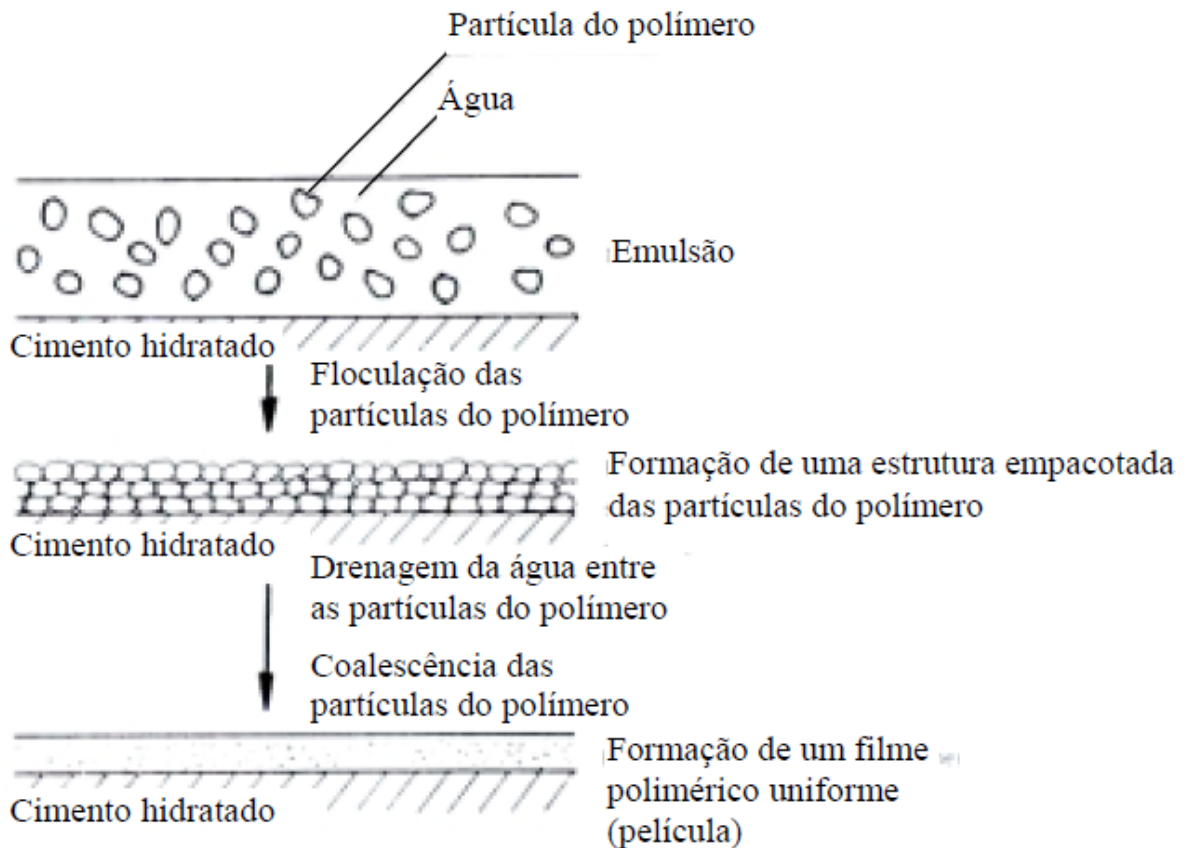
A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. O autor ainda explica que o primeiro polímero sintético foi produzido por Leo Baekeland em 1912, obtido pela reação entre fenol e formaldeído, e essa reação produzia um produto sólido (resina fenólica), hoje conhecido por baquelite, termo derivado do nome de seu inventor (CANEVAROLO, 2002).

De acordo com Silva e Roman (2001), são adicionados polímeros às argamassas para que elas passem a ter maior capacidade de retenção à água, melhor trabalhabilidade, maior adesividade e maior elasticidade, garantindo, portanto, à argamassa maior nível de qualidade.

A figura a seguir explica a ação de aditivos poliméricos em matrizes de cimento, implicando na hidratação do cimento e os fenômenos relacionados ao tempo em aberto ocorrem antes do início da pega, ou seja, antes que ocorram reações de hidratação significativas.



Figura 7 - Esquema do processo de formação da película sobre o cimento hidratado



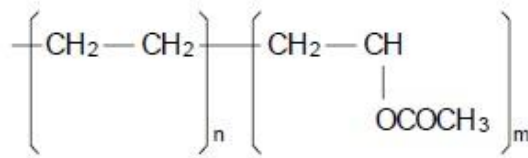
Fonte: OHAMA (1987)

### 1.3.3. Látex de EVA

O EVA – copolímero acetato de vinila/etileno – é um polímero termoplástico, obtido pela copolimerização do poliacetato de vinila (PVAc) com etileno. É empregado pela maioria das indústrias nacionais de argamassas colantes, na forma de pó redispersível, para modificar ou conferir melhorias em algumas de suas propriedades no estado fresco, como viscosidade, consistência, plasticidade e trabalhabilidade, e também no estado endurecido, podendo propiciar maiores resistências mecânicas e durabilidade.

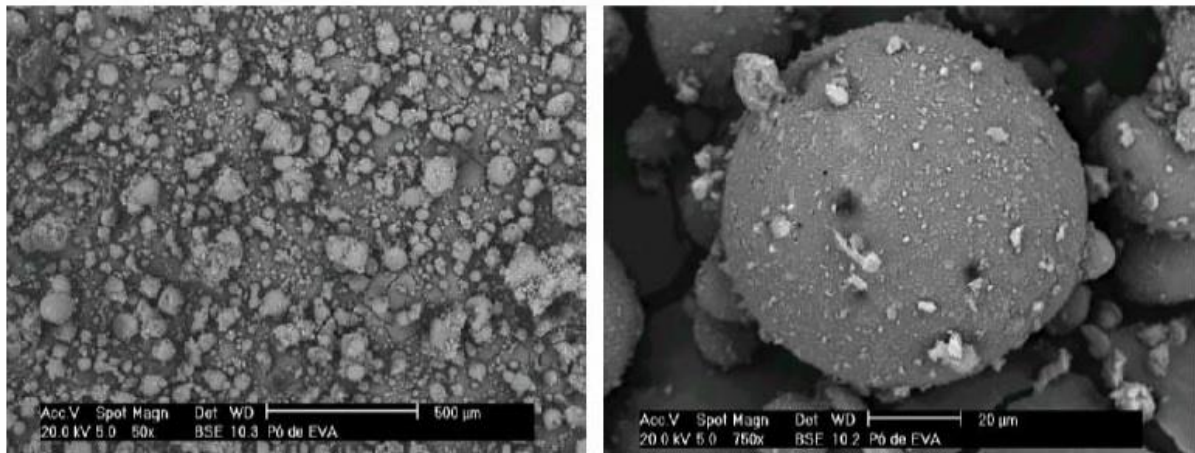
A estrutura molecular do copolímero e os aspectos das partículas do pó de EVA, observadas em microscópio eletrônico de varredura – MEV, estão apresentadas nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

Figura 8 - Estrutura molecular do EVA.



Fonte: SILVA, D.A., 2001.

Figura 9 - Aspectos das partículas do pó de EVA em MEV.



Fonte: SILVA, D.A., 2001.

O látex do copolímero é obtido através da polimerização em emulsão de seus componentes (álcool polivinílico, sistemas catalisadores, acetato de vinila e etileno líquido) em um reator sob pressurização e aquecimento. No final deste processo, o látex é transferido para outro recipiente, onde são colocados aditivos para corrigir o pH e a viscosidade, além de outros tipos de aditivos como bactericidas, agentes de secagem, superplastificantes e antiespumantes. O látex é então submetido à secagem em uma câmara pulverizadora, onde é aplicado um aquecimento entre 170 e 200°C, para evaporação da água do sistema, transformando o látex de EVA em um pó fino [WALTERS, 1992].

Adicionando-se água ao EVA em pó, o mesmo redispersa. Em materiais à base de cimento, após esta redispersão, inicia-se o processo de hidratação do cimento e a saída de água do sistema, havendo diminuição do espaço intersticial e a coalescência das partículas do polímero, formando, então, um filme polimérico contínuo [OHAMA, 1984; LAVELLE, 1988].

## 2. EXPERIMENTO PRÁTICO

### 2.1. Metodologia

Foi realizado um comparativo prático entre duas argamassas industrializadas, sendo elas: a argamassa para revestimento interno convencional (que é muito comumente utilizada em campo) e uma argamassa modificada com copolímeros (que é menos usual). Os ensaios foram realizados com as duas argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, considerando os requisitos da ABNT NBR 13281.

### 2.2. O Experimento

Foi realizado o preparo da mistura para a realização de ensaios, seguindo requisitos da norma ABNT NBR 16541.

Figura 8 - Misturador



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9 - Mistura



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 10 - Mistura

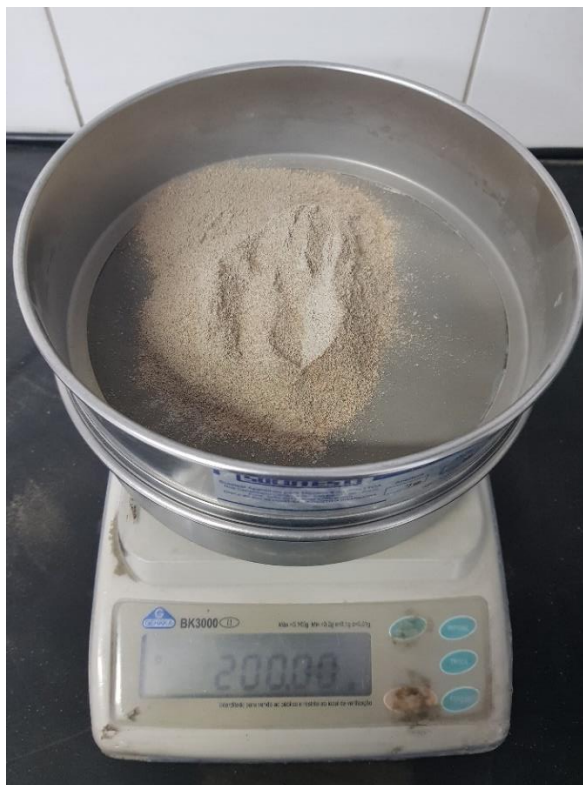


Fonte: elaborado pelo autor

Foi realizada a análise granulométrica, conforme figuras a seguir:



Figura 11 - Balança



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 12 - Peneiras



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 13 - Peneirador



Fonte: elaborado pelo autor

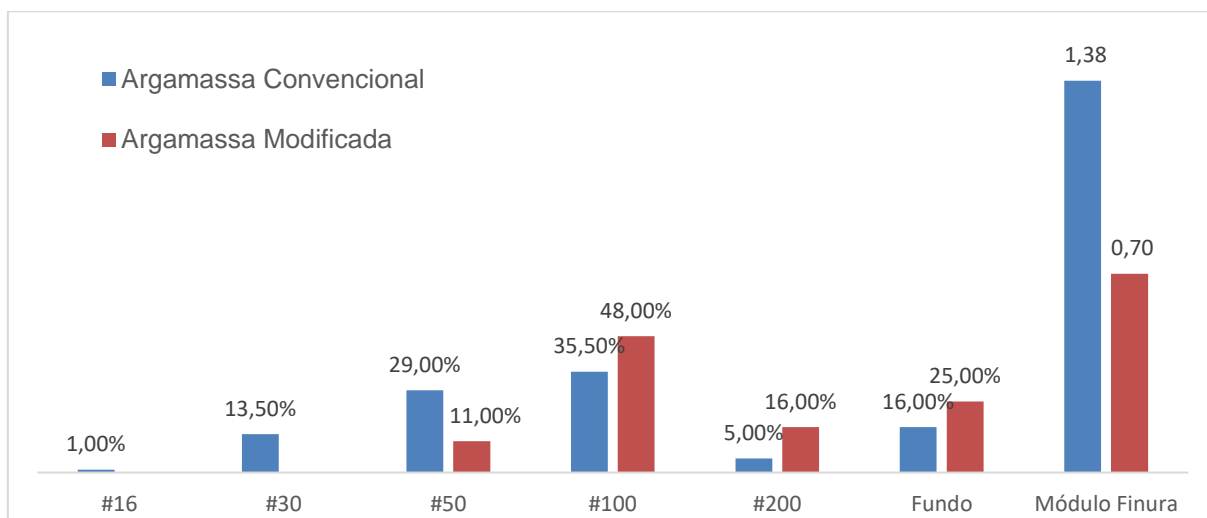
A seguir serão apresentados os resultados relativos à análise granulométrica obtida nas duas argamassas: a convencional e a modificada:

Tabela 1 - Análise granulométrica

<b>Peneiras (#)</b>	<b>#16</b>	<b>#30</b>	<b>#50</b>	<b>#100</b>	<b>#200</b>	<b>Fundo</b>	<b>Módulo Finura</b>
<b>Argamassa Convencional</b>	1,00%	13,50%	29,00%	35,50%	5,00%	16,00%	1,38
<b>Argamassa Modificada</b>	0,00%	0,00%	11,00%	48,00%	16,00%	25,00%	0,70

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14 - Análise granulométrica em formato gráfico



Fonte: elaborado pelo autor

Determinação da retenção de água, conforme ABNT NBR 13277:

- Argamassa convencional: 91%
- Argamassa modificada: 92%

Figura 15 - Equipamento para Retenção de Água



Fonte: elaborado pelo autor

Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, conforme ABNT NBR 13278:

- Argamassa convencional: 19%
- Argamassa modificada: 16%

Figura 16 - Incorporador de ar



Fonte: elaborado pelo autor

Determinação do índice de consistência (MM), conforme ABNT NBR 13276:

- Argamassa convencional: 262
- Argamassa modificada: 227



Figura 17 - Índice de consistência argamassa convencional



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 - Índice de consistência argamassa modificada



Fonte: elaborado pelo autor

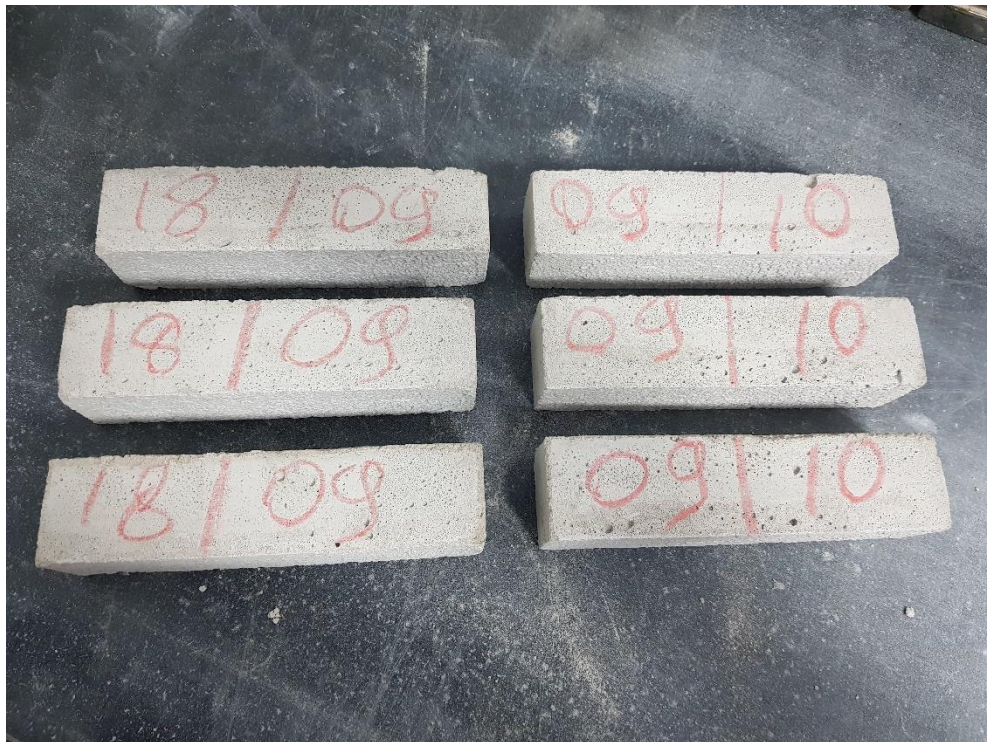
Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, conforme ABNT NBR 15259:

- Argamassa convencional: 3,63
- Argamassa modificada: 3,63

Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, conforme ABNT NBR 13280:

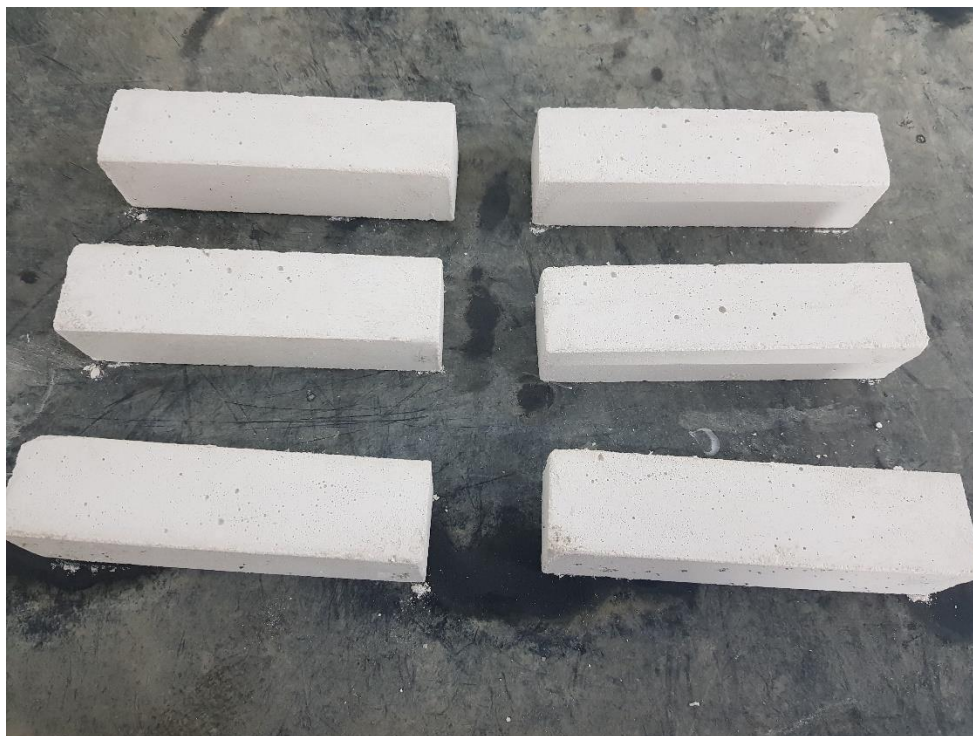
- Argamassa convencional: 1730
- Argamassa modificada: 1708

Figura 19 - Ensaio para determinação de densidade na argamassa convencional



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 20 - Ensaio para determinação de densidade na argamassa modificada



Fonte: elaborado pelo autor

Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, conforme ABNT NBR 13279:

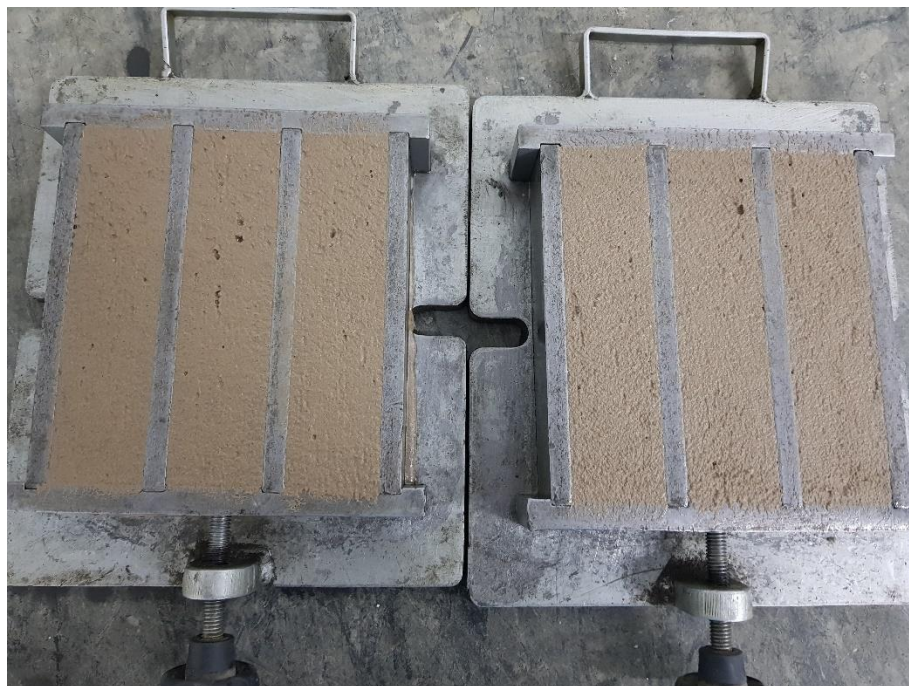
Figura 21 - Equipamento para teste de resistência



Fonte: elaborado pelo autor

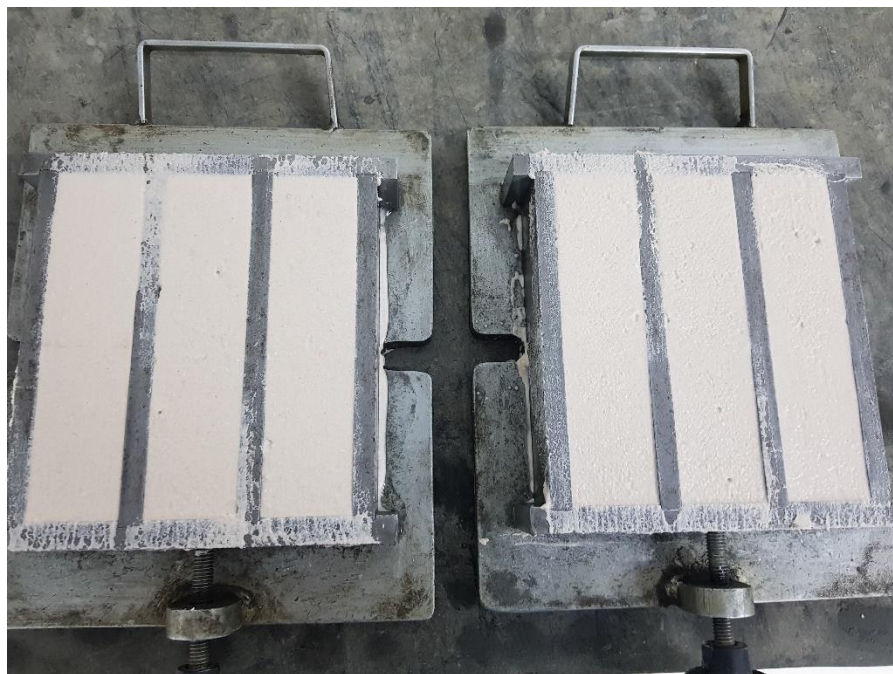


Figura 22 - Teste de resistência à tração na argamassa convencional



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 23 - Teste de resistência à tração na argamassa modificada



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 24 – Forma para teste de resistência à tração



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 25 - Equipamento para teste de resistência à tração



Fonte: elaborado pelo autor

- Análise dos resultados de resistência à flexão 7 dias:

Tabela 2- Resultados referentes à resistência à flexão 7 dias

<b>Argamassa convencional</b>			
7 dias	CP1	CP2	CP3
Newton	1,06	1,16	1,13
MPa	2,63	2,87	2,78

<b>Argamassa modificada</b>			
7 dias	CP1	CP2	CP3
Newton	2,04	1,93	1,99
MPa	5,02	4,74	4,91

Fonte: elaborado pelo autor

- Análise dos resultados de resistência à flexão 28 dias:

Tabela 3 - Resultados referentes à resistência à flexão 28 dias

<b>Argamassa convencional</b>			
28 dias	CP1	CP2	CP3
Newton	1,39	1,35	1,02
MPa	3,43	3,33	2,52

<b>Argamassa modificada</b>			
28 dias	CP1	CP2	CP3
Newton	2,29	2,13	2,35
MPa	5,63	5,25	5,8

Fonte: elaborado pelo autor

- Análise dos resultados de resistência à compressão 7 dias:

Tabela 4 - Resultados referentes à resistência à compressão 7 dias

<b>Argamassa convencional</b>						
7 dias	CP1 /A	CP1 /B	CP2 / A	CP2/B	CP3 /A	CP3 /B
Newton	8,14	8,37	9,12	10,46	7,36	10,47
MPa	5,09	5,23	5,7	6,53	4,6	6,54

<b>Argamassa modificada</b>						
7 dias	CP1 /A	CP1 /B	CP2 / A	CP2/B	CP3 /A	CP3 /B
Newton	12,08	11,92	12,05	11,49	14,49	12,83
MPa	7,55	7,45	7,53	7,18	9,05	8,01

Fonte: elaborado pelo autor

- Análise dos resultados de resistência à compressão 28 dias:

Tabela 5 - Resultados referentes à resistência à compressão 28 dias

<b>Argamassa convencional</b>						
28 dias	CP1 /A	CP1 /B	CP2 / A	CP2/B	CP3 /A	CP3 /B
Newton	8,98	10,48	9,63	11,25	10,92	9,27
MPa	5,61	6,55	6,02	7,03	6,82	5,79

<b>Argamassa modificada</b>						
<i>28 dias</i>	<i>CP1 /A</i>	<i>CP1 /B</i>	<i>CP2 / A</i>	<i>CP2/B</i>	<i>CP3 /A</i>	<i>CP3 /B</i>
<i>Newton</i>	8,95	9,61	11,58	17,08	12,93	12,54
<i>MPa</i>	5,59	9,61	7,24	10,67	8,08	7,84

Fonte: elaborado pelo autor

Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1, conforme Requisitos gerais - ABNT NBR 13528-1:

Tabela 6 - Resultados referente à resistência de aderência à tração

<b>Argamassa convencional</b>												
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12
Carga (Newton)	560	280	220	0	240	280	170	190	450	510	450	560
Mpa	0,29	0,14	0,11	0	0,12	0,14	0,09	0,1	0,23	0,26	0,23	0,29
Formas de ruptura	S	S	S	F	S	S	S	S	S	S	S	S
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

<b>Argamassa modificada</b>												
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12
Carga (Newton)	1110	980	550	1080	550	470	730	1320	820	680	981	1082
Mpa	0,57	0,5	0,28	0,56	0,28	0,24	0,38	0,68	0,42	0,35	0,5	0,56
Formas de ruptura	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

S = substrato

F = falha

Fonte: elaborado pelo autor



Figura 26 - Aplicação argamassa convencional na parede



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 27 - Aplicação argamassa convencional na parede



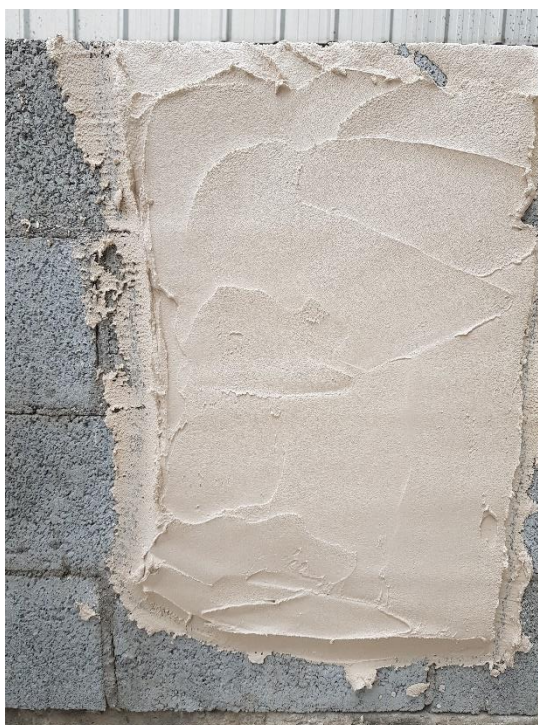
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 28 – Visão lateral da aplicação argamassa convencional na parede



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 29 - Aplicação argamassa modificada na parede



Fonte: elaborado pelo autor

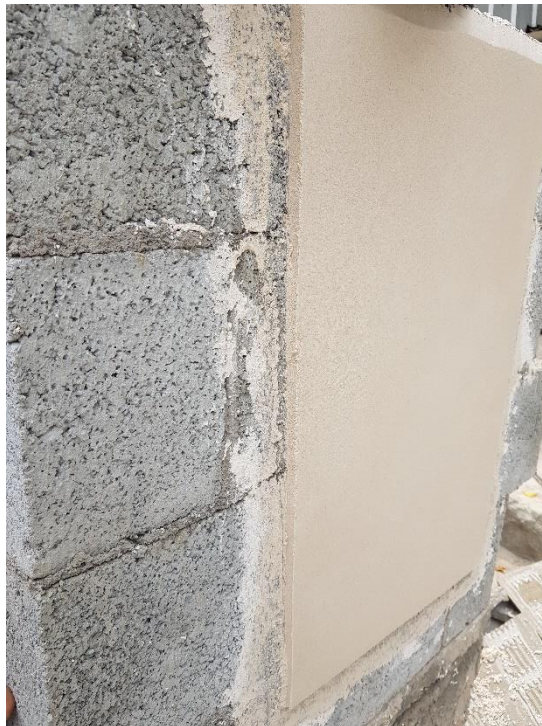


Figura 30 - Aplicação argamassa modificada na parede



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 31 - Visão lateral da aplicação argamassa modificada na parede



Fonte: elaborado pelo autor

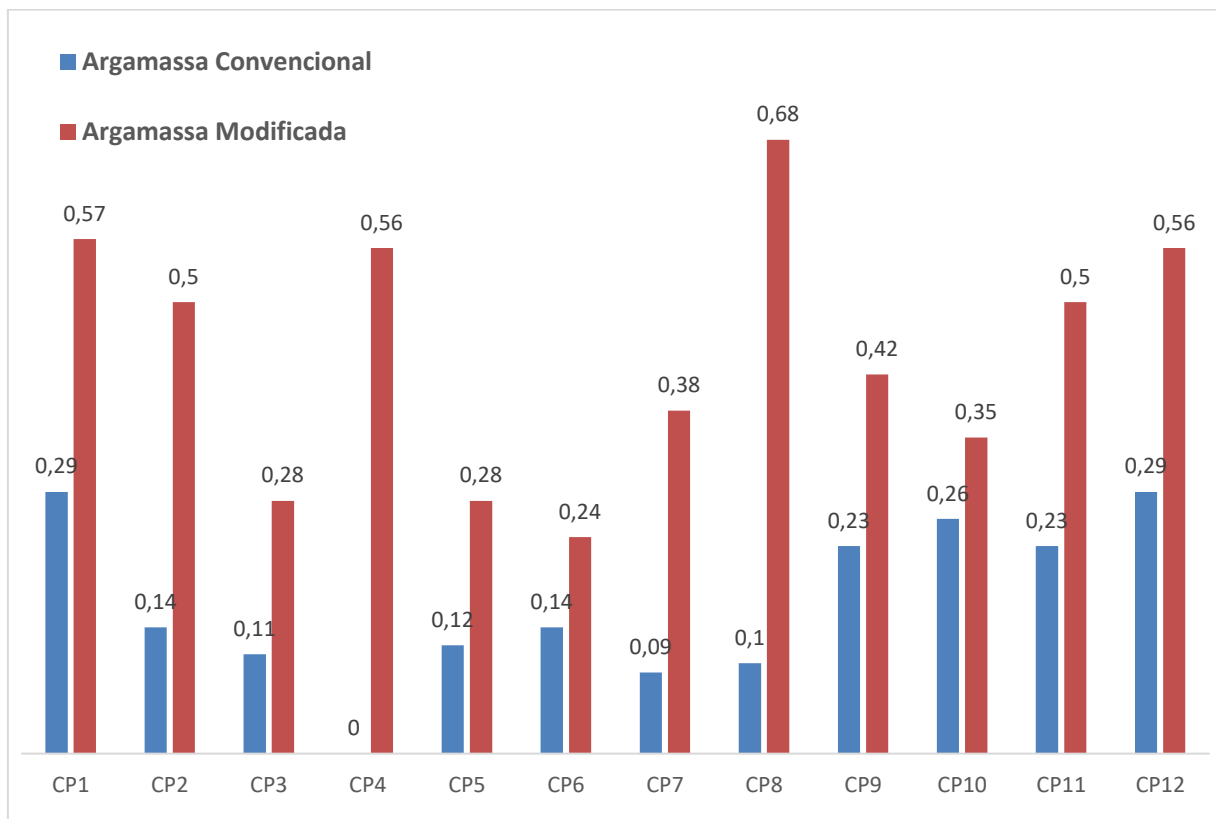
Comparativo estatístico referente à aderência à tração com as duas argamassas:

Tabela 7 - Tabela comparativa referente ao MPA

<i>MPA</i>	<i>CP1</i>	<i>CP2</i>	<i>CP3</i>	<i>CP4</i>	<i>CP5</i>	<i>CP6</i>	<i>CP7</i>	<i>CP8</i>	<i>CP9</i>	<i>CP10</i>	<i>CP11</i>	<i>CP12</i>
Argamassa Convencional	0,29	0,14	0,11	0	0,12	0,14	0,09	0,1	0,23	0,26	0,23	0,29
Argamassa Modificada	0,57	0,5	0,28	0,56	0,28	0,24	0,38	0,68	0,42	0,35	0,5	0,56

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 32 - Gráfico comparativo referente ao MPA



Fonte: elaborado pelo autor

### 2.3. Análise dos Resultados

Na análise granulométrica, é possível notar que a argamassa modificada apresentou resultados significativamente melhores, com módulo de finura de 0,70, enquanto a argamassa convencional apresentou módulo de finura de 1,38.

Ambas as argamassas apresentaram resultados semelhantes, sem variação significativa em relação à:

- Determinação da retenção de água - ABNT NBR 13277;
- Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - ABNT NBR 13278;
- Determinação do índice de consistência (MM) - ABNT NBR 13276;
- Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade - ABNT NBR 15259;
- Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido - ABNT NBR 13280;

Quanto à determinação da resistência à tração na flexão e à compressão 7 e 28 dias - ABNT NBR 13279, a argamassa modificada apresentou resultados significativamente melhores, quando comparada à argamassa convencional.

Com relação à determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1: Requisitos gerais - ABNT NBR 13528-1, a argamassa modificada também destacou-se positivamente, apresentando resultados muito superiores aos resultados obtidos com a argamassa convencional.

Ao analisar todos os resultados dos ensaios realizados, assim como as imagens, fica bastante claro que a argamassa modificada apresenta muitos benefícios em relação à argamassa convencional.

Dentre as principais vantagens, destacam-se:

- Argamassa já vem pronta, apenas necessária a adição de água;
- Pode ser aplicada diretamente no bloco;
- Ganho de produtividade na obra, devido ao menor tempo, já que a aplicação da mesma reduz a quantidade de camadas necessárias para atingir a fase de acabamento final;
- Após sua aplicação, é possível realizar o processo de finalização do acabamento, ou seja, pode ser realizada uma pintura, por exemplo;

- Pode ser utilizada em áreas com umidade, pois o material é resistente à água;

### 3. CONCLUSÃO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a caracterização das propriedades térmicas e mecânicas da argamassa melhorada com aditivos de copolímeros de ação adesiva, para revestimento de paredes de alvenaria de concreto, sem a realização da camada de chapisco. Além disso, não objetivos específicos: 1) Caracterizar a argamassa de referência, com adição dos copolímeros, no estado fresco, avaliando as seguintes propriedades: massa específica e teor de ar incorporado, consistência e retenção de água. 2) Caracterizar a argamassa, com adição do copolímero, no estado endurecido, diretamente no revestimento e em corpos-de-prova, avaliando as seguintes propriedades: resistência de aderência à tração e à compressão. 3) Analisar os resultados obtidos com os estabelecidos pela ABNT NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. 4) Caracterizar a argamassa, com e sem adição do polímero, no estado endurecido, diretamente no revestimento e em corpos-de-prova, avaliando as seguintes propriedades: aderência, resistência de aderência à tração e à compressão. 5) Comparar a resistência mecânica à tração (aderência), da argamassa com e sem a adição do polímero de ação adesiva, aplicada sobre superfície chapiscada e aplicada diretamente sobre alvenaria de blocos de concreto. Todos os itens foram verificados durante o experimento prático, descritos e ilustrados no capítulo 4 do trabalho.

Como resultado, a argamassa modificada apresentou muitos benefícios em relação à argamassa convencional. Suas principais vantagens em relação à argamassa convencional são: 1) A argamassa já vem pronta, apenas necessária a adição de água. 2) Pode ser aplicada diretamente no bloco. 3) Ganho de produtividade na obra, devido ao menor tempo, já que a aplicação da mesma reduz a quantidade de camadas necessárias para atingir a fase de acabamento final. 4) Após sua aplicação, é possível realizar o processo de finalização do acabamento, ou seja, pode ser realizada uma pintura, por exemplo. 5) Pode ser utilizada em áreas com umidade, pois o material é resistente à água.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). **Manual de Revestimentos de Argamassa**. 2019. Disponível em: <http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>. Acesso em: 22/09/2020

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: concreto e argamassa: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: concreto e argamassa endurecido: determinação da absorção de água por capilaridade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005a. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005b. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005c. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, 2005d. 7p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 11p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995b. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - especificação. Rio de Janeiro, 1996. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15900** – 1: Água para amassamento de concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009, 11p.



\_\_\_\_\_. **NBR NM 46:** agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b, 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a. 6p.

BAUD, Gérard. **Manual de Pequenas Construções**. Curitiba: editora Hemus, 2002. <https://books.google.com.br/books?id=N3mBfncRY8YC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>

BAUER, Elton; RAMOS, Daiane V. M.; SANTOS, Carla C. N.; PAES, Isaura L.; SOUSA, José. G. G. de ; ALVES, Nielsen J. D.; GONCALVES, Sérgio R.; LARA, Patrícia. L. O. **Revestimentos de argamassa - características e peculiaridades**. 1. ed. BRASÍLIA: LEMUnB - SINDUSCON/DF, 2005. v. 1. 92 p.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciência dos Polímeros** – Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros. Artliber Editora. São Paulo, 2002

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 1996, 285p.

CARASEK, Helena et al. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1.ed. São Paulo:IBRACON, 2007.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassa de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo, IPT. 1995.

CRISTO, Isaac de. **Conhecendo obras, ideal para quem pretende construir ou reformar**. São Paulo: CIP, 2009.

FERREIRA, Karina. **Estudo Comparativo entre Argamassas Convencionais e Industrializadas**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Departamento Acadêmico De Construção Civil Curso De Engenharia Civil. 2016.

GOMES, Adailton. O. **Propriedades das Argamassas de Revestimentos e Fachadas**. Escola Politécnica da UFBA. Comunidade da Construção, Salvador, 2008. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download/Propriedades\\_das\\_argamassas\\_de\\_revestimento\\_2008.pdf](http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download/Propriedades_das_argamassas_de_revestimento_2008.pdf)>. Acesso em: 15/09/2020.

MACIEL, L.L., BARROS, M.M.S.B., SABBATINI, F.H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, 1998.

MIRANDA, Lina Maria Carvalho da Costa. **Estudo comparativo entre argamassa de**

**revestimento à base de cimento com adição da cal hidráulica e da cal hidratada.** Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal, 2009.

MOTA, Alcio Lopes; GIORDANELLI, Alberto; MORAES, Cláudio Roberto Klein de; MOTTA, Decio Lopes; RESENDE, Fabricio Meneses; RASTELLI, Graciela; JONES, Paulo Jorge Torres; CÂNEVA, Ricardo A. **Traços recomendados para argamassas.** Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <<http://www.cimentoeareia.com.br/tracos.htm>>. Acesso em: 03 de abr. de 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 5ª edição. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

PÓVOAS, Y.V.; JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. **Influência da Perda da Água por Evaporação na Resistência de Aderência entre Argamassa Colante e Placa Cerâmica.** ANTAC, 2002.

SABBATINI, F. H.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa.** 4ª ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008. 80 p.

SANTIAGO, Cibele. **Argamassas tradicionais de cal.** Salvador: EDUFBA, 2007.

SANTOS, Heraldo B. dos. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento.** 2008a. 50 f. Monografia – Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SANTOS, Maria L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil.** 2008b. 165 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

SENAI SP. **Mestre de Obras.** São Paulo: Senai-SP editora, 2013.  
<https://books.google.com.br/books?id=2kBFDwAAQBAJ&pg=PA128&dq=retra%C3%A7%C3%A3o+na+secagem+do+revestimento+argamassado&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwiyqKiOqOzrAhU8HLkGHQa7BYQQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=retra%C3%A7%C3%A3o%20na%20secagem%20do%20revestimento%20argamassado&f=false>

SELMO, S. M. S. **Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachada de Edifícios.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1989.

SILVA, Denize Antunes da; ROMAN, Humberto Ramos. **Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SILVA, Narciso G. da. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária.** 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, 2006.

RACENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo a Argamassa**. 2ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

RILEM. MR-3. **The Complex Workability – Consistence – Plasticity**. France, 1982.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar, Walid Yazigi**. 7ª Ed. São Paulo, PINI, 2006.

WESTPHAL, Eduardo; WESTPHAL, Humberto; MADALOSSO, Cláudia; CARVALHO, Fernanda; ADAMS, Kátia. **Argamassas**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Argamassas/index.html>>. Acesso em 12 de set. de 2020.

BEELDENS, A.; MONTENY, J.; VINCKE, E.; DE BELIE, N.; VAN GEMERT, D.; TAERWE, L.; VERSTRAETE, W. Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Composites**, vol. 23, 2001, p.47-56.

SU, Z. **Microstructure of Polymer Cement Concrete**. Delft: Delft University Press, 1995, 174p.

JENNI, A.; ZURBRIGGEN, R. Morphology and composite structures of Polymer phases in cement mortars. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5, São Paulo (SP), 2003. **Anais...** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003, p. 111-118.

SILVA, D.A. **Estudo da influência do teor de polímeros nas propriedades das argamassas colantes**. Florianópolis, 1999, 41p. (Relatório Final, FUNPESQUISA/97).

OHAMA, Y. Polymer-modified mortars and concretes. In: RAMACHANDRAN, V. S. (Ed.) **Concrete Admixtures Handbook**. New Jersey: Noyes Publications, 1984. Cap.7, p.337-429.

EDEN, N.B.; BAILEY, J.E. Effect of polymer modification on the mechanical properties of calcium silicate and calcium aluminate cements. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 8, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: FINEP, 1986, vol.IV, p.163-169.

LAVELLE, J.A. Acrylic latex-modified Portland cement. **ACI Materials Journal**, Jan-Feb. 1988, p.41-48.

SMITH, W.F **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 3 ed. Alfragide: Editora McGraw Hill, 1998, 885p.

THURLER, C.L.; FERREIRA, V.A. A evolução da resistência de aderência de algumas argamassas colantes nacionais. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1, Goiânia (GO), 1995. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 177-186.

VAN VLACK, L.H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 4ed., Trad. Edson Monteiro. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994, 567p.

GLEIZE, P. **Introdução à ciência e engenharia dos materiais**. Notas de Aula, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UFSC, 2001.

BANFILL, P.F.G.; BELLAGRAA, L.; BENAGGOUN, L. Properties of polymermodified mortars made with blended cements. **Advances in Cement Research**, vol.5, no.19, 1993, p.103-109.

RILEY, V.R.; RAZL, I. Polymer additives for cement composites. **Composites**, Jan.1974, p.27-33.

GRAHAM, D.E. Polymers in oil recovery and production. In: FINCH, C.A. **Chemistry and Technology of Water-soluble Polymers**. New York: Plenum Press, 1983, p.321-339.

MAILVAGANAM, N.P. Miscellaneous admixtures. In: RAMACHANDRAN, V.S. (Ed.). **Concrete Admixtures Handbook**. New Jersey: Noyes Publications, 1984. Cap.9, p.480-557.

CALLISTER, W.D. **Materials science and engineering: an introduction**. 4ed. New York: J. Wiley, 1997, 852p.