



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UNICEUB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS  
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**BRUNA VIEIRA DE SANTANA  
ISABELLA VENÂNCIO ALEIXO**

**AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE DE  
ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO COM DIFERENTES  
ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES**

**BRASÍLIA**

**2017**



**BRUNA VIEIRA DE SANTANA  
ISABELLA VENÂNCIO ALEIXO**

**AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE DE  
ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO COM DIFERENTES ADITIVOS  
IMPERMEABILIZANTES**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS

ORIENTAÇÃO: Irene de Azevedo Lima Joffily

**BRASÍLIA  
2017**

## **AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE DE ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO COM DIFERENTES ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES**

**Bruna Vieira de Santana – UniCEUB, PIC Institucional, aluna bolsista**  
*pf.brunha@hotmail.com*

**Isabella Venâncio Aleixo – UniCEUB, PIC institucional, aluna voluntária**  
*isabella\_venancio\_aleixo@hotmail.com*

**Irene de Azevedo Lima Joffily – UniCEUB, professora orientadora**  
*irene.lima@uniceub.br*

Existem, no mercado da construção civil, vários aditivos que servem para impermeabilizar as argamassas de revestimentos, porém, não se sabe, ao certo, se eles são realmente eficientes. No Brasil, ainda se faz muito uso do método tradicional de construções, por isso estudos nessa área ainda são válidos e necessários para garantirem um melhor conhecimento da área. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a eficiência de três diferentes aditivos impermeabilizantes quando associados à argamassa de revestimento e uma argamassa impermeável pronta com relação à absorção por capilaridade e se apresentam resultado dentro do previsto pela NBR 16072 que regulamenta os requisitos para argamassa impermeável. Para tanto, foram realizados ensaios de compressão, absorção de água por capilaridade, consistência, índice de vazios, massa específica e resistência, utilizando cinco argamassas, uma de referência, sem aditivo, outras três acrescidas de aditivos impermeabilizantes e uma última argamassa impermeável pronta. Verificou-se com esse trabalho que, ao adicionar os aditivos, a consistência das argamassas não sofreu grandes alterações. Em relação à resistência, duas argamassas (A e D) não atenderam aos requisitos da norma, a argamassa B não teve grandes alterações, já C apresentou um aumento na resistência. A ascensão capilar foi menor tanto na argamassa A quanto na C, de acordo com os ensaios de capilaridade e do cachimbo. As reduções das absorções por capilaridade das argamassas A e C foram de 28,6% e 26,4% quando comparadas com a argamassa de referência, enquanto as duas com menor desempenho, B e D, a redução foi de apenas 5,5% e 6,6%, respectivamente. No ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica, A teve a maior absorção devido à incorporação de ar e as demais argamassas ficaram com os resultados próximos à de referência. Como resultado, infere-se com este estudo, que a argamassa impermeável pronta (A) teve a menor absorção de água por capilaridade, possivelmente devido à maior incorporação de ar, entretanto nenhuma das argamassas impermeabilizantes testadas atendeu aos requisitos da norma NBR 16072.

Palavras-chave: Argamassa; Aditivo; Impermeabilidade; Capilaridade.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	7
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1.	Classificação das umidades.....	10
2.1.1.	Mecanismos de transporte da umidade.....	11
2.1.2.	Mecanismos de fixação da umidade .....	14
2.2.	Fatores que afetam a capilaridade .....	15
2.3.	Umidade ascendente .....	17
2.4.	Aditivos impermeabilizantes.....	18
3.	METODOLOGIA .....	24
3.1.	Caracterização dos materiais utilizados.....	24
3.1.1.	Cimento.....	24
3.1.2.	Agregado .....	26
3.1.3.	Aditivos.....	28
3.2.	Ensaio com a argamassa no estado fresco .....	29
3.2.1.	Ensaio do índice de consistência.....	29
3.3.	Ensaio com a argamassa no estado endurecido.....	31
3.3.1.	Ensaio de determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	33
3.3.2.	Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade.....	34
3.3.3.	Ensaio do Cachimbo.....	36
3.3.4.	Ensaio da determinação da resistência a tração na flexão e a compressão	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1.	Índice de consistência.....	40
4.2.	Absorção de água, índice de vazios e massa específica.....	42
4.3.	Absorção de água por capilaridade .....	45
4.4.	Ensaio do Cachimbo .....	49
4.5.	Ensaio da determinação da resistência à tração na flexão e a compressão	51
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6.	BIBLIOGRAFIA .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE EM UMA PAREDE POROSA	13
FIGURA 2 - TRANSPORTE DE UMIDADE COMBINADO EM UM MATERIAL POROSO COMO SÉRIES DE TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA E ÁGUA LÍQUIDA.	14
FIGURA 3 - ALTURA DA ASCENSÃO CAPILAR DA ÁGUA ENTRE DUAS SUPERFÍCIES	17
FIGURA 4 – EFEITO DA UMIDADE ASCENSIONAL EM UMA PAREDE RESIDENCIAL	18
FIGURA 5 - FUNCIONAMENTO DAS REAÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO NO PORO CAPILAR	22
FIGURA 6 - PASTA DE CONSISTÊNCIA NORMAL PARA ENSAIO DE TEMPO DE PEGA DO CIMENTO	25
FIGURA 7- ASPECTO VISUAL DO AGREGADO ANTES DE PENEIRAR	26
FIGURA 8- AGREGADO APÓS PENEIRAR	26
FIGURA 9 - MESA DE CONSISTÊNCIA E TRONCO-CÔNICO USADO COMO MOLDE	29
FIGURA 10 - MEDIÇÃO DO ESPALHAMENTO DA ARGAMASSA	30
FIGURA 11 - MEDIÇÃO DO ESPALHAMENTO DA ARGAMASSA	30
FIGURA 12 - CORPO DE PROVA CILÍNDRICO NO MOLDE	32
FIGURA 13 - CORPO DE PROVA PRISMÁTICO NO MOLDE	32
FIGURA 14 - ROMPIMENTO DIAMETRAL	35
FIGURA 15 - COPO DE PROVA CILÍNDRICO ROMPIDO DIAMETRALMENTE	35
FIGURA 16 - CORPOS DE PROVA COM TUBO GRADUADO	36
FIGURA 17- CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS	37
FIGURA 18 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	38
FIGURA 19 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	39
FIGURA 20 – ESPALHAMENTO DA ARGAMASSA DE REFERÊNCIA	41
FIGURA 21 – ESPALHAMENTO DAS DEMAIS ARGAMASSAS	41
FIGURA 22 - POROSIDADE DAS ARGAMASSAS R E A	46
FIGURA 23 - AMOSTRAS ROMPIDAS DIAMETRALMENTE	48
FIGURA 24 - ENSAIO DO CACHIMBO	49
FIGURA 25 – MOLDES ANTES E DEPOIS DE SEREM ROMPIDOS NA TRAÇÃO	51

## INDÍCE DE TABELAS

TABELA 1 - MECANISMOS DE DESLOCAMENTO DE UMIDADE NOS MATERIAIS	12
TABELA 2 - CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES	19
TABELA 3- REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DA ARGAMASSA COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE- VARIÇÃO PORCENTUAL DE PARÂMETROS EM RELAÇÃO A UMA ARGAMASSA CONVENCIONAL	20
TABELA 4 - VARIAÇÕES PERMITIDAS	20
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS DOS ADITIVOS	21
TABELA 6 - ÍNDICES FÍSICOS DO CIMENTO	25
TABELA 7 - ÍNDICE MECÂNICO	25
TABELA 8 - GRANULOMETRIA DO AGREGADO UTILIZADO NOS ENSAIOS	27
TABELA 9 - MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO UTILIZADO	28
TABELA 10- MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO UTILIZADO	28
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS ADITIVOS	28
TABELA 12 - ENSAIO NO ESTADO ENDURECIDO	31
TABELA 13 - ESPALHAMENTO OBTIDO COM O ENSAIO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	40
TABELA 14 - RESULTADOS MÉDIOS DA CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO: ENSAIO DE ÍNDICE DE VAZIOS	42
TABELA 15 – ALTERAÇÕES OCORRIDAS NAS ARGAMASSAS EM COMPARAÇÃO À REFERÊNCIA	44
TABELA 16 - ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	45
TABELA 17 - REDUÇÃO NA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM PORCENTAGEM	47
TABELA 18 - RESULTADOS DA ASCENSÃO CAPILAR	48
TABELA 19 - ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO OU CACHIMBO	49
TABELA 20 - REDUÇÃO NA ABSORÇÃO DE ÁGUA EM PORCENTAGEM	51
TABELA 21 - ENSAIO MECÂNICO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E A COMPRESSÃO	52
TABELA 22 - ALTERAÇÕES DAS RESISTÊNCIAS EM RELAÇÃO À ARGAMASSA DE REFERÊNCIA	52
TABELA 23 - RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM E SEM ADITIVO	54

## 1. INTRODUÇÃO

Nas construções tradicionais são usadas camadas de argamassas como revestimento, que é definida pela NBR 7200 (ABNT, 1997) como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições.

Os revestimentos argamassados têm propriedades como aderência e enrijecimento de alvenarias, desempenhando funções distintas. Entretanto, possuem em comum a função de proteger e prolongar a durabilidade dos elementos estruturais e de vedação, evitando a ação direta dos agentes agressivos que atuam sobre as superfícies dos edifícios, como por exemplo: umidade, infiltração, temperatura ambiente, fogo, poeira, micro-organismos, ar e gases poluentes, radiações, vibrações, cargas de impacto e forças externas.

Nessa pesquisa o foco está nas patologias associadas a água, elemento essencial para construção civil em diversas etapas construtivas, mas que nem sempre promove só benefícios. Segundo Leal (2004 apud DARDENGO, 2010) “as patologias mais ocorrentes em edificações brasileiras com mais de quatro anos de idade são decorrentes da deficiência nas impermeabilizações”.

Os efeitos da umidade em alvenaria em contato com o solo são de difícil estudo e controle, pois a água que sobe no revestimento, vem da umidade natural do solo. Do ponto de vista físico, considera-se que há três mecanismos fundamentais de fixação de umidade: higroscópica, condensação e capilaridade. A capilaridade, o principal deles, ocorre quando um material poroso é posto em contato com água na fase líquida, assunto que será melhor abordado na revisão bibliográfica (PEIXOTO, et al., 2008).

Para controlar os efeitos da umidade existem no mercado argamassas e aditivos hidrofugantes, que permitem tornar o revestimento argamassado impermeável. Os aditivos impermeabilizantes são repelentes à absorção capilar ou redutores da permeabilidade. Neste trabalho serão testados quatro produtos impermeabilizantes\ hidrofugantes disponíveis no mercado da construção civil para comparar a eficiência dos mesmos com relação à absorção por capilaridade, utilizando para isso ensaios normatizados.

### 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Os aditivos existentes no mercado da construção civil para confecção de argamassas impermeáveis apresentam redução na absorção de água por capilaridade e atendem o critério de norma?

### 1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é determinar se os aditivos impermeabilizantes quando associados à argamassa de revestimento reduzem a absorção por capilaridade, conforme requisitos previstos na NBR 16072 (ABNT, 2012).

Esta pesquisa possui os seguintes objetivos específicos:

- Comparar a influência dos aditivos impermeabilizantes na penetração de água por absorção capilar nas argamassas, considerando, para um mesmo traço, diferentes aditivos;
- Analisar a influência dos aditivos em relação ao desempenho mecânico (NBR 13279, 2005);
- Determinar se os aditivos estudados atendem aos critérios de norma NBR 16072/2012.

### 1.3. HIPÓTESE

Esse estudo parte do princípio de que a adição de aditivos impermeabilizantes na argamassa resultará em poucas modificações quanto a resistência mecânica, ou seja, propriedades que não se referem a permeabilidade e absorção da água. Espera-se, contudo um resultado satisfatório nas propriedades que garantem a impermeabilização da argamassa.

#### 1.4. JUSTIFICATIVAS

No mercado existem diferentes produtos com características impermeabilizantes (hidrofugantes/cristalizantes), seja para adicionar à argamassa, ou já incorporado às argamassas industrializadas. Porém, a eficiência dos produtos pode variar e a maioria dos fornecedores não apresenta esta informação na ficha técnica dos produtos.

Isso dificulta na escolha do melhor produto para execução de uma argamassa com baixa permeabilidade e absorção de água. Este trabalho visa verificar se o desempenho dos principais aditivos disponíveis no mercado atende os requisitos de norma e comparar os resultados entre eles, indicando aqueles com melhor resultado.

#### 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo é apresentada a introdução, na qual é detalhada a problemática da pesquisa, os objetivos, a hipótese e a justificativa.

O segundo capítulo contemplará a revisão bibliográfica do tema e será dividido em 3 partes: a primeira retrata a classificação das umidades e seus mecanismos de transporte e fixação, na segunda os fatores que afetam a capilaridade e por fim a umidade ascendente.

O terceiro capítulo apresentará a metodologia empregada, quais materiais foram utilizados, os ensaios realizados, a quantidade de corpos de provas moldados e as variáveis estudadas.

No quarto capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados e, a partir disso será possível realizar uma comparação entre os aditivos utilizados.

Por fim, no quinto capítulo, serão expostas as considerações finais sobre os resultados alcançados e analisar a eficácia dos aditivos impermeabilizantes que são comercializados no mercado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas, de acordo com os trabalhos de diversos pesquisadores renomados, as classificações de umidade, bem como seus mecanismos de transporte e fixação. Além disso, também terá explicações dos fatores que afetam a capilaridade, do que é umidade ascendente e do que são os aditivos impermeabilizantes e como funcionam.

### 2.1. Classificação das umidades

A água é utilizada como matéria prima em todas as fases de uma obra, por exemplo, na fabricação de argamassas, concretos e até mesmo no preparo de alguns tipos de tinta. Como parte inerente de técnicas construtivas, ela está presente na compactação do solo, no lançamento, na cura de concretos e argamassas e na própria limpeza da obra (SALOMÃO, 2012).

É importante frisar que a água oriunda da execução da obra é aquela necessária tanto para execução quanto para compor a estrutura química das argamassas e concretos (SELVARAJAH *et al.*, 1995).

Durante toda a vida útil da obra, mesmo depois de finalizada, a água permanece interferindo nas construções. Sua interação pode ocorrer devido as chuvas, a umidade do ar ou até mesmo a umidade do solo que passa para as fundações e alvenarias. Esse contato varia com as características climáticas do local da obra, como a incidência solar, temperatura e movimento do ar.

Para garantir a estanqueidade e durabilidade das alvenarias e de seus revestimentos, na fase de projeto devem ser adotadas algumas técnicas construtivas, como pingadeiras, molduras, rufos e beirais, para dissipar as concentrações de água em pontos específicos das fachadas. Faz-se necessário também a adoção de sistemas de impermeabilização e drenagem, pois asseguram a integridade do sistema de pintura e durabilidade dos revestimentos argamassados (SALOMÃO, 2012).

Segundo Perez (1986), a origem da umidade e a forma como ela se manifesta nas edificações permitem classificá-la da seguinte maneira:

- a) construção, água necessária para a preparação dos materiais para execução da construção;
- b) infiltração, água que com o auxílio das trincas e rachaduras penetra nas alvenarias e causam patologias;
- c) condensação, vapor de água que ao entrar em contato com superfícies frias, condensam, ou seja, ficam na forma líquida;
- d) accidental, é a resultante de vazamentos em redes hidráulicas;
- e) ascensional, água que penetra nas alvenarias a partir da capilaridade.

Para Peres (2001), as ocorrências de patologias ocasionadas pela umidade são as mais complexas de solução dentro da construção civil. Isso por que a ênfase aos estudos acerca desse assunto começou a ser realizado há pouco tempo. Além disso, esses problemas, quase sempre, aparecem de forma combinada, isto é, mais de uma manifestação ao mesmo tempo.

#### 2.1.1. Mecanismos de transporte da umidade

A umidade é uma das maiores responsáveis por patologias na construção civil e ocorre durante toda a vida útil dos materiais. Quase metades dos defeitos associados a uma construção são por causa da umidade, de acordo com Killip & Cheetham (1984 *apud* SELVARAJAH & JOHNSTON, 1995). Os fenômenos que proporcionam seu transporte são complexos (de difícil compreensão), já que mais de um mecanismo pode ter interferência nesse processo e por ocorrem de forma diferente para água em fase gasosa e líquida.

Mendes (1997) enfatiza que só é possível o estudo do transporte de umidade quando se considera em dimensões microscópicas, em nível do poro, e adotando-se subdivisões do processo, de modo a facilitar o entendimento da interação da estrutura porosa dos materiais comumente utilizados em edificações.

O transporte na fase líquida acontece devido à capilaridade, ação da gravidade e efeito do gradiente de pressão, já no estado gasoso advém da difusão e movimentos convectivos (FREITAS, 1992). Na Tabela 1 apresentam-se esquematicamente os mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais conforme o estado físico em que se encontra a água.

Tabela 1 - Mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais

Estado físico da água	Forças que causam o deslocamento da água	
Líquido	Capilaridade	
	Forças externas:	Inércia
		Gravidade
		Pressão do vento
Gasoso (vapor)	Difusão	
	Convecção	

Fonte: POLISSENI (1985)

A difusão ocorre quando existem diferentes concentrações entre dois componentes gasosos, ou seja, vapor d'água e ar seco. Nessa situação os gases buscam o equilíbrio transportando moléculas até que as concentrações sejam as mesmas. Já a convecção movimenta as partículas de vapor d'água por efeito da agitação relativa das partículas que é provocada por uma alteração de pressão gerada por uma diferença de temperatura que modifica a densidade de massa fluída do gás, passando o vapor d'água da superfície mais quente para a mais fria (CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION,1982).

O mecanismo de transporte da água na fase líquida, de maior importância para este estudo, é a capilaridade. Pode ser definida como o fluxo vertical de água, originada do solo, que ascende para uma estrutura permeável, que possui poros. Essa ascensão nas alvenarias pode ocorrer a diferentes alturas, isso depende das condições de evaporação da água e da porosidade do material.

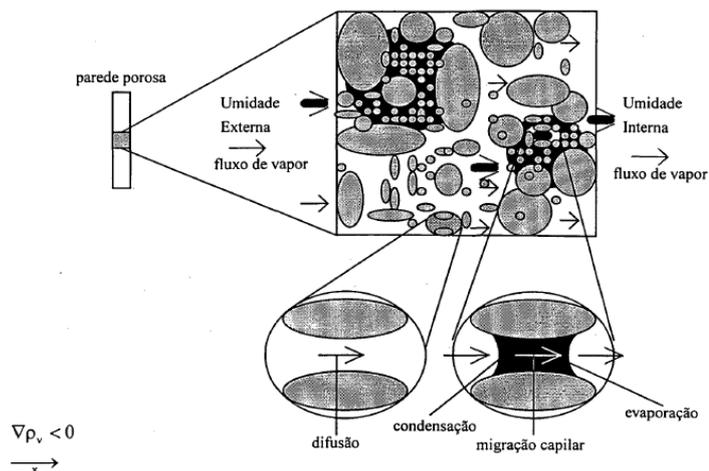
Para Pinto (1998), a capilaridade é a propriedade de um material em promover a sucção de água quando em contato com ela e depende de vários fatores, como as forças de tensão superficial água/material, a dimensão dos raios capilares, o ângulo de contato capilar.

Esse tipo de transporte é consequência direta da força de atração entre o líquido e o material sólido. Esta força é uma ação combinada da tensão superficial da água e da adesão das moléculas de água na superfície interna do poro (SALOMÃO, 2012).

Essa passagem de umidade está condicionada tanto as características do material bem como fatores externos como condição de temperatura, umidade relativa, chuvas, incidência de radiação solar e pressão do vento (PEIXOTO, et al., 2008).

A Figura 1 representa esquematicamente a entrada do vapor de água para o interior de uma parede porosa em que nos poros não preenchidos ocorre transferência de vapor por difusão, enquanto nos preenchidos as trocas de líquido ocorrem por condensação, migração capilar e evaporação.

**Figura 1 - Transferência de umidade em uma parede porosa**

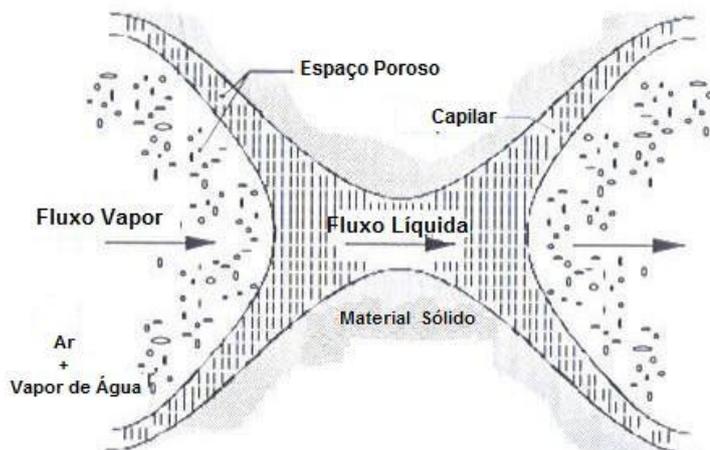


Fonte: MENDES, 1997

Logo, as análises dos fenômenos de migração da água estão intimamente ligados ao formato e dimensão da estrutura porosa do material. Por essa razão, ficam dependentes dessa composição porosa a permeabilidade e absorção de água (SALOMÃO, 2012).

Um dos modelos teóricos de transferência de umidade em meios porosos de grande aceitação no meio acadêmico, o qual serviu de base para outros pesquisadores, é aquele proposto por Phillip e Vries (1957) que demonstra a passagem simultânea de água líquida e vapor de água ocasionada pela variação do teor de umidade e temperatura. Outro pesquisador na área, propõe que a transferência ocorre em série de acordo com a Figura 2 (ANDERSON, 1985 apud VALEN, 1998).

Figura 2 - Transporte de umidade combinado em um material poroso como séries de transporte de vapor de água e água líquida.



Fonte: VALEN, 1998

### 2.1.2. Mecanismos de fixação da umidade

A fixação da umidade no material ocorre por meio de três mecanismos principais que são: higroscopicidade ou adsorção; condensação e capilaridade. O primeiro avalia a capacidade de um material de fixar água por adsorção dentro do poro (TEIXEIRA, 2007). Os materiais utilizados na construção civil possuem essa propriedade, por esse motivo sofrem influência da umidade relativa do ar ambiente, que é a razão entre a pressão de vapor do ar e a pressão de vapor de saturação do ar, modificando o teor da umidade característica do material (BERTOLINI, 2010).

- Higroscopicidade ou adsorção

Segundo Freitas (1992) o grau de higroscopicidade de um material pode variar da seguinte maneira:

- *Higroscópico*: quando a quantidade de água fixada por adsorção é relativamente importante, exemplo: o concreto celular e o gesso;
- *Não-Higroscópicos*: quando a sua massa é praticamente, independente da umidade relativa do ambiente onde se encontra, exemplo: o barro vermelho.

- Condensação

A fase líquida ocupa os vazios quando o diâmetro dos poros é suficientemente pequeno para haver contato entre as camadas absorvidas e a pressão de vapor se iguala a pressão de saturação possibilitando a condensação. Isso só é possível quando há diferença de umidade e temperatura nas extremidades do material analisado, caso contrário não haverá intercessão entre as curvas de saturação. Freitas (1992) faz distinção entre dois tipos de condensação as internas quando ocorrem dentro da parede e as superficiais que como o nome sugere acontece em sua superfície.

- Capilaridade

A capilaridade ocorre quando existe contanto de líquido com o substrato. A nível microscópico, são originadas interfaces curvas de contato entre a água e o gás existente nos poros, essa interação gera a pressão capilar e a quantidade de água que será absorvida por esse poro é função dessa pressão de sucção capilar. A curva que representa essa sucção demonstra a relação existente entre a pressão e a quantidade de água retida. Por isso, fica dependente da variação do raio dos poros presentes no material.

Segundo Roque (2009), os problemas gerados pela fixação da umidade têm consequências como:

- a) prejuízos de caráter funcional da edificação;
- b) desconforto dos usuários e em casos extremos os mesmos podem afetar a saúde dos moradores;
- c) danos em equipamentos e bens presentes nos interiores das edificações;
- d) diversos prejuízos financeiros.

## 2.2. Fatores que afetam a capilaridade

De acordo com Paranhos, Vechia, & Beltrame (2007):

“Capilaridade é o fenômeno de atração e repulsão onde se observa o contato dos líquidos com um sólido fazendo com que esse líquido suba ou desça, conforme molhe ou não a parede. A tendência dos líquidos subirem nos tubos capilares é chamada de capilaridade ou ação capilar, sendo isso consequência da tensão superficial.”

A umidade por capilaridade, ou seja, a umidade que sobe do solo úmido (umidade ascensional) ocorre nas fundações, nos baldrames e alvenarias das edificações devido às condições do solo úmido e a falta de obstáculos que impeçam a sua progressão. O estudo realizado por Salomão (2012) provou essa afirmação ao mostrar que a não impermeabilização das vigas baldrames permite uma maior passagem de umidade para as paredes que as vigas baldrames impermeabilizadas.

Alguns ensaios precisam ser realizados para que se possa determinar a permeabilidade por capilaridade dos materiais. Por isso, tanto a NBR 9779 (ABNT, 2012), que possibilita verificar a absorção de água por capilaridade em amostras de argamassas e concretos, quanto o ensaio do cachimbo, que determina o volume de água absorvido sob baixa pressão, pela superfície de um revestimento, após decorridos determinados períodos de tempo, são usadas com esse intuito.

A ascensão capilar, bem como secagem e congelamento da água dependem do tamanho e da disposição dos poros. A estrutura complexa das argamassas e sua vasta superfície interna resultam em diferentes formas de transporte de umidade por capilaridade. Estudos macroscópicos tradicionais não são suficientes para entender o comportamento detalhado de argamassas em contato com a água, pois a análise da capilaridade depende da microestrutura do material. Assume-se, geralmente, que a estrutura se caracteriza pelos seguintes valores: porosidade geral, distribuição da porosidade, sinuosidade do poro, superfície específica e de permeabilidade. (WESOLOWSKA, et al., 2015)

Muitos fatores podem afetar a capilaridade dos revestimentos, por esse motivo a *Portland Cement Association* (1980) apud Mustelieir (2008) realizou uma pesquisa em que prepararam argamassas com baixo, médio e alto teor de água, para que se pudessem analisar seus comportamentos e a permeabilidade a água. A avaliação do desempenho das paredes mostrou que argamassas com conteúdo de água médio e alto apresentam maior resistência à penetração de água, ou seja, são mais impermeáveis que argamassas com baixo teor.

Algumas argamassas hidrofugantes industrializadas já apresentam certo teor de ar incorporado em sua composição. A utilização do aditivo incorporador de ar implica na melhora significativa da trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, através da formação de uma grande quantidade de microbolhas de ar independentes entre si (ALVES, 2002).

Além disso, o teor de ar incorporado à argamassa afeta a absorção capilar, que é reduzida pela presença de bolhas que interrompem a passagem de líquido, pelos canais capilares, quando o concreto ou argamassa já estão endurecidos. (RAMACHANDRAN,1984).

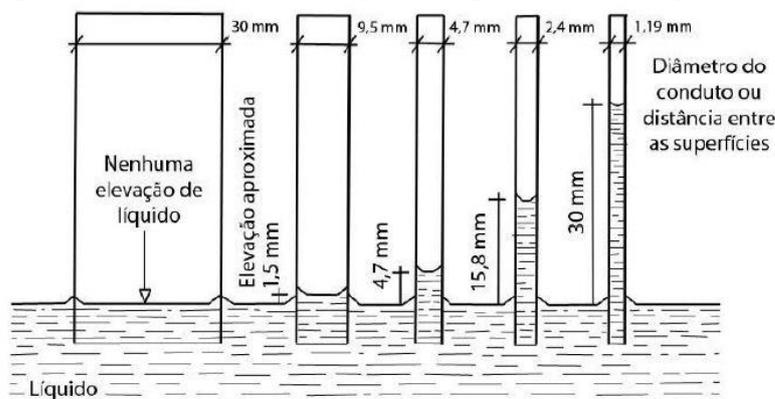
### 2.3. Umidade ascendente

Umidade ascendente é definida com aquela na qual existe um fluxo de água no sentido vertical, essa água vem do solo e vai se infiltrando na estrutura dos materiais, até alturas significativas que dependem de características do próprio material como sua estrutura porosa, permeabilidade e de características do meio como quantidade de água em contato com a parede e o clima da região onde ela se encontra (MAGALHÃES, 2008).

Para Gewehr (2004), a maioria dos materiais de construção tem a característica de serem porosos, por isso possuem elevada capilaridade pela qual a umidade do solo pode subir. Freitas et al. (2008) concorda com o estudo anterior mostrando em seu trabalho que, materiais que possuem estrutura porosa fazem a água migrar, por capilaridade, isto quando, no material não existir nenhuma barreira que impeça o seu deslocamento.

Nappi (1996) observa que a ascensão da água na alvenaria é inversamente proporcional ao diâmetro dos poros dos materiais. Assim, quanto menor é o diâmetro, maior será o nível que a água atingirá, processo ilustrado na Figura 3.

**Figura 3 - Altura da ascensão capilar da água entre duas superfícies**



Fonte: GRATWICK,1971

Normalmente, existem apenas duas fontes de água para a umidade ascensional que são as águas nos lençóis freáticos e as encontradas na superfície. Na primeira situação, as manifestações patológicas perduram ao longo do ano em detrimento da alimentação de água ser constante através dos lençóis freáticos. Já no caso de fontes de águas superficiais, os níveis de umidade variam ao longo do ano já que as chuvas e outras quantidades significativas de águas são mais perenes e inconstantes (PEIXOTO, et al., 2008).

A Figura 4 ilustra o problema típico de umidade ascensional e paredes em contato com o solo, devido ao fenômeno da capilaridade das argamassas e alvenaria.

**Figura 4 – Efeito da umidade ascensional em uma parede residencial**



Fonte: Autor

#### 2.4. Aditivos impermeabilizantes

Sistemas de impermeabilização são empregados na argamassa e no concreto para evitar os danos causados pela chuva, umidade do solo, água de infiltração ou sob pressão, pois, de acordo com o estudo realizado por Izaguirre, Lanas e Álvares (2009), esses revestimentos possuem uma alta capacidade de absorção de água por capilaridade e a grande possibilidade de sofrer mudanças volumétricas como resultado da retração.

A fim de reduzir ou mesmo resolver estes problemas, o uso de misturas pode ser considerado. No campo de argamassas de cimento, o uso de aditivos, substâncias adicionadas em percentagens menores do que 5% com a finalidade de melhorar certas propriedades da argamassa têm sido amplamente pesquisados (IZAGUIRRE, et al., 2009).

De acordo com a NBR 16072 (ABNT, 2012):

“Argamassa impermeável deve apresentar absorção de água por capilaridade reduzida e resistir a álcalis e ácidos dissolvidos nas águas pluviais. A argamassa impermeável deve compor um sistema de impermeabilização que, em função das especificidades de aplicação, pode exigir proteção adicional”.

A mesma NBR 16072 (ABNT, 2012) diz que a aceitação de um aditivo depende do seu desempenho em uma argamassa como mostra a Tabela 2. Desse modo é necessário realizar uma comparação entre uma argamassa convencional e uma com aditivo e, caso a argamassa com aditivo tenha o desempenho melhorado no requisito de absorção de água por capilaridade e mantiver os requisitos de resistência de ruptura à compressão, tempo de pega e tração na flexão, ela será considerada impermeável (Tabela 3).

**Tabela 2 - Critérios de desempenho de argamassas com aditivos impermeabilizantes**

Item	Requisitos	Critérios		Método de ensaio
		Unidade	Variação	
1	Resistência à penetração de água sob pressão por 120h.	m.c.a	mín. 5	ABNT NBR 10787
2	Tensão de aderência, após 28 dias de cura.	MPa	mín. 0,3	ABNT NBR 15258
3	Variação da consistência após 1 h.	%	máx. 10	ABNT NBR 13276

**Tabela 3- Requisitos e critérios de desempenho da argamassa com aditivo impermeabilizante-Variação percentual de parâmetros em relação a uma argamassa convencional**

Item	Requisitos		Critérios		Método de ensaio
			Unidade	Variação	
1	Resistência de ruptura à compressão	7 dias	%	≤ 20	ABNT NBR 13279
		28 dias	%	≤ 20	
2	Resistência à tração na flexão após 28 dias		%	≤ 20	
3	Tempo de pega	Inicial	h	Não mais do que 1h antes nem 1h e 30 min depois	ABNT NBR NM 9
		Final	h		
4	Absorção por capilaridade, após 28 dias de cura.		%	mín. 50	ABNT NBR 9779

O padrão a ser seguido para fabricação de aditivos tanto sólidos quanto líquidos foi estabelecido pela NBR 16072 (ABNT, 2012) de acordo com a Tabela 4.

**Tabela 4 - Variações permitidas**

Ensaio	Aditivos líquidos	Aditivos sólidos
pH	± 1,5	± 1,5
Teor de sólidos	± 8%	± 4%
Massa específica	± 0,05 g/cm	± 0,05 g/cm

Segundo Baumgart (1999) um aditivo servirá a sua finalidade quando estiver dosado de acordo com o manual do seu fabricante, contudo sua eficiência também está ligada as características dos outros materiais que constituem a argamassa.

De acordo com Cunha e Neumann (1979) existem três tipos principais de sistemas de impermeabilização: rígidos, plásticos ou elásticos e os laminares. De acordo com os mesmos, nos impermeabilizantes rígidos encontram-se os concretos e argamassas que se tornam impermeáveis devido à ação de aditivos hidrófugos.

Os aditivos impermeabilizantes trabalham fundamentalmente no reforço da impermeabilidade do concreto e argamassas ao desenvolver em sua estrutura porosa uma fina película higroscópica, preenchendo-os parcialmente. Entretanto, é necessário também reduzir ao máximo a relação a/c e que reduz também a porosidade (BAUMGART, 1999).

Em um estudo realizado por Gasques, Rigo, & Gava (2016) foram comparados aditivos impermeabilizantes e hidrofugantes aplicados em uma argamassa de traço 1:2:6 para avaliação da propriedade que se propõem alterar a absorção por capilaridade, na Tabela 5 estão demonstradas as características dos aditivos utilizados.

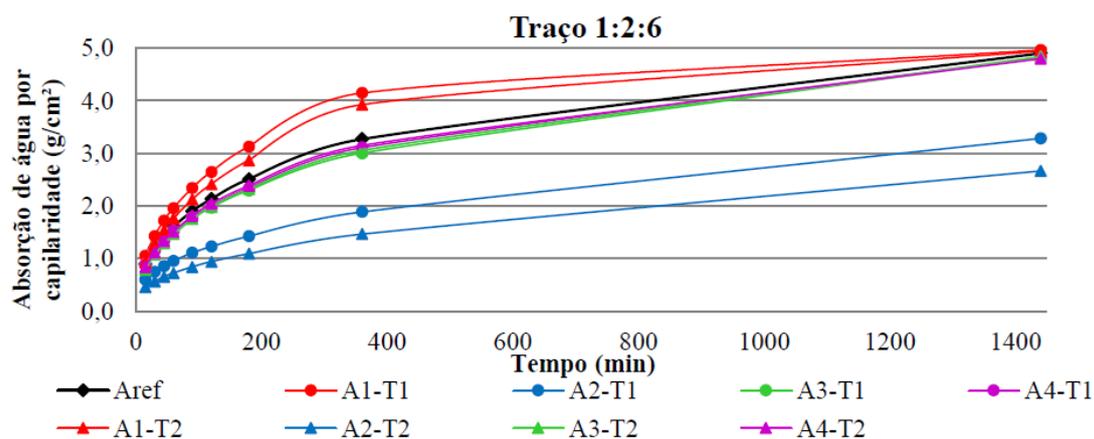
No estudo também foi modificado o teor de aditivo sendo um teor correspondendo ao teor máximo recomendado pelo fabricante e o outro teor correspondendo ao teor máximo acrescido de 50%, os resultados estão ilustrados no Gráfico 1. Observa-se uma redução significativa na absorção por capilaridade apenas na argamassa com aditivo 2 (hidrofugante).

Tabela 5 - Características dos aditivos

Tipo de aditivo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Propriedade	Dosagem recomendada pelo fabricante	Composição
Aditivo 1	1,10	Impermeabilizante	1% da massa de cimento	Cimento Portland, sílica e diversas substâncias químicas ativas
Aditivo 2	0,30	Hidrofugante	0,15 a 0,5% da massa de materiais secos	Estearato de cálcio (99,5% de concentração)
Aditivo 3	1,05	Impermeabilizante	4% da massa de cimento	Sais metálicos e silicatos
Aditivo 4	1,0 – 1,10	Impermeabilizante	4% da massa de cimento	Sais inorgânicos

Fonte: Gasques, Rigo, & Gava ,2016

Gráfico 1 - Absorção de água por capilaridade do traço 1:2:6



Fonte: Gasques, Rigo, & Gava ,2016

Outro estudo que avalia a diminuição da permeabilidade, reporta a formação de uma película hidrofóbica que divide todo o sistema da argamassa em pequenos distritos, asfixia ou até mesmo sela totalmente a maioria dos poros. Este seria o mecanismo usual de agentes repelentes de água de natureza polimérica (IZAGUIRRE, *et al.*, 2009).

Uma forma de bloquear os poros é utilizar produtos capazes de penetrar na rede capilar do material, chegando até seus poros e reagindo quimicamente com os elementos que constituem a pasta para criar um sistema capaz de obstruir a passagem de água, como, por exemplo, aditivos com ação cristalizante. Takagi (2004), explica que:

O tratamento químico cristalizante define-se como sendo um processo físico-químico que visa preencher as porosidades e capilaridades características da microestrutura do concreto, desencadeando um processo catalítico de formação de cristais não solúveis e não tóxicos numa profundidade mínima de 50 mm na estrutura do concreto, de modo a garantir que não haja a penetração de água por capilaridade.

Para Bilesky *et al.* (2009), “os sistemas de impermeabilização do concreto por cristalização capilar são mais resistentes [...]. Isso é explicado pelo sistema de cristalização se integrar ao concreto, ou seja, não há filme superficial”. A proposta dos aditivos cristalizantes é que se infiltrem por toda rede capilar do material unindo-se a ele, Figura 5, diferentemente de proteções formadoras de películas.



Fonte: JANTSCH, 2015

Outra forma de impermeabilizar um revestimento argamassado é com o uso de um aditivo hidrófugo, que é “um produto destinado a repelir água através da redução do ângulo de molhagem dos poros de um determinado substrato, podendo ser adicionado ao material ou aplicado sobre ele” (VEDACIT, 2010).

A NBR 9575 (ABNT, 2010) diz que uma argamassa impermeável com aditivo hidrófugo é um "tipo de impermeabilização não industrializada aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de areia, cimento, aditivo hidrófugo e água formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes". Sendo uma impermeabilização de natureza rígida, ou seja, não suporta movimentações da estrutura sem fissurar ou trincar.

Para Medeiros (2008), esses aditivos à base de silicone, atuam revestindo a superfície dos poros, invertendo a polaridade da superfície de modo que os poros passem a repelir os líquidos. Na mesma linha de pensamento, Costa (2009), reforça que, mais do que afastar a água das superfícies, esses impermeabilizantes também promovem o fechamento dos poros capilares por meio dos géis formados pelas reações, e impedem a penetração de água na argamassa pela redução da tensão capilar no sistema poroso. No entanto, na presença de fendas, seus efeitos são ineficazes.

### 3. METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, foram elaboradas cinco argamassas de revestimento de cimento e areia, sendo uma de referência R (composta apenas por cimento, areia e água, sem a adição de um aditivo), uma argamassa anti umidade pronta A (que só precisa adicionar água à mistura) e as outras três com adição de três diferentes aditivos (B, C e D). A seguir, serão descritos os materiais utilizados e sua caracterização.

#### 3.1. Caracterização dos materiais utilizados

Os materiais que foram utilizados na composição da argamassa foram: areia média lavada, água e cimento Portland CP-II-Z-32, produzido pela indústria Tocantins, sendo que durante todos os ensaios, o mesmo lote foi mantido a fim de padronizar os resultados obtidos.

##### 3.1.1. Cimento

O cimento utilizado foi o CP-II-Z-32. Ele foi escolhido por ser um dos mais utilizados em obras comuns no Brasil e foi comprado ensacado no varejo. Foram feitos quatro ensaios de caracterização no cimento.

Inicialmente foi feito o ensaio de determinação da finura do cimento, NBR 11579 (ABNT, 2012). Depois, o ensaio para determinar a pasta de consistência normal, NM 43 (ABNT, 2003). Esse ensaio é necessário para definir a quantidade ideal de água para realizar o ensaio de tempo de pega (Figura 6).

**Figura 6 - Pasta de consistência normal para ensaio de tempo de pega do cimento**



Fonte: Autor

Outro ensaio realizado foi o de determinação do tempo de início e fim de pega, NM 65 (ABNT, 2003). A Tabela 6 expressa os resultados dos ensaios (físicos) citados anteriormente para o cimento.

**Tabela 6 - Índices físicos do cimento**

<b>Ensaio Físico</b>	<b>CP- II</b>	<b>Limites NBR 11578</b>
<b>Finura (%)</b>	3,8	12%
<b>Início de Pega (min)</b>	122	≥ 60
<b>Fim de pega (min)</b>	200	≤ 600

Por fim, foi feito o ensaio da NBR 7215 (ABNT, 1996) que determina a resistência à compressão dos corpos de prova. A Tabela 7 mostra as médias das tensões do ensaio mecânico com idades de 3, 7 e 28 dias como pode ser observado o cimento utilizado está dentro dos limites aceitáveis pela NBR 11578 (ABNT, 1991) cimento portland composto.

**Tabela 7 – Resistência mecânica**

<b>Idade</b>	<b>Tensão (Mpa)</b>	<b>NBR 11578 (Mpa)</b>
3	19,6	10
7	25,2	20
28	32,8	32

### 3.1.2. Agregado

Areia lavada, comprada em lote único, foi o agregado utilizado na pesquisa. A Figura 7 mostra o aspecto visual da areia antes de ter sido peneirada, já a Figura 8 mostra após ter sido peneirada na peneira de nº 4,8 mm. Observa-se, depois do peneiramento, uma grande quantidade de agregados graúdos em sua composição.

**Figura 7- Aspecto visual do agregado antes de peneirar**



Fonte: Autor

**Figura 8- Agregado após peneirar**



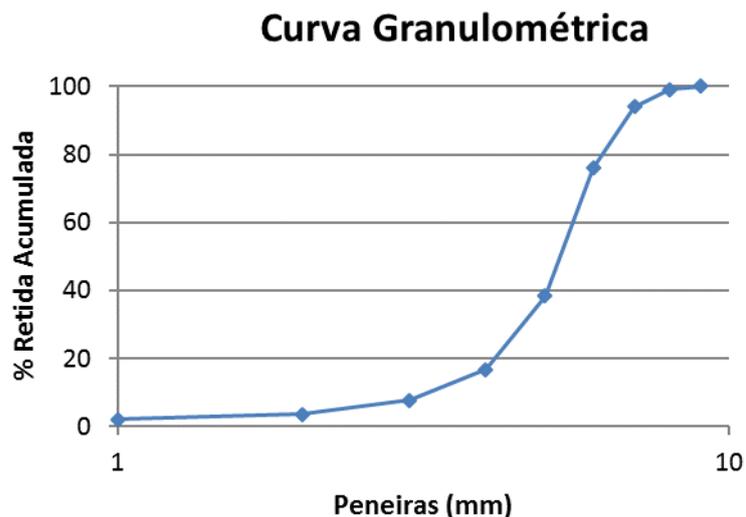
Fonte: Autor

Foram realizados três ensaios de caracterização no agregado. O primeiro, para determinar a composição granulométrica do material, foi feito de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e o resultado obtido nesse ensaio encontra-se na Tabela 8 e sua curva granulométrica no Gráfico 2.

Tabela 8 - Granulometria do agregado utilizado nos ensaios

<b>Ensaio de composição granulométrica - Agregado</b>					
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Massa Peneira Vazia (g)</b>	<b>Massa Peneira + Amostra (g)</b>	<b>Massa amostra (g)</b>	<b>Porcentagem Retida (%)</b>	<b>Porcentagem acumulada (%)</b>
6,3	410,59	431,60	21,01	2	2
4,8	466,13	480,10	13,97	1	3
2,4	382,40	424,71	42,31	4	8
1,2	361,28	451,85	90,57	9	17
0,6	327,52	543,06	215,54	22	38
0,3	301,35	677,00	375,65	38	76
0,15	279,13	460,16	181,03	18	94
0,075	283,11	334,87	51,76	5	99
Fundo	363,26	371,41	8,15	1	100
<b>Módulo de Finura (%): 2,36</b>			<b>Dimensão Máxima (mm): 4,8</b>		

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado utilizado



O segundo, para encontrar a massa unitária, ou seja, a massa do agregado considerando os vazios, foi realizado de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e os dados coletados estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Massa unitária do agregado utilizado

Volume do recipiente = 9978,17cm <sup>3</sup>	1ª medição da areia seca (g)	2ª medição da areia seca (g)	3ª medição da areia seca (g)
		14427,3	14305,6
Massa específica unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,446	1,434	1,443
Massa específica unitária média (g/cm <sup>3</sup> )	1,44		

Por fim, o último ensaio realizado no agregado foi o de determinação da massa específica, ou seja, a massa do agregado sem considerar os vazios, NBR 9776 (ABNT,1987), e os dados coletados estão expressos na Tabela 10.

Tabela 10- Massa específica do agregado utilizado

Massa inicial de areia (g)	Quantidade de água no frasco (ml)	1ª medição do frasco (ml)	2ª medição do frasco (ml)
500	200	390	390
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		2,63	

### 3.1.3. Aditivos

Os aditivos utilizados na pesquisa foram escolhidos de tal forma que abrangesse alguns dos impermeabilizantes mais usados nas obras convencionais em Brasília e disponíveis nas lojas de materiais de construção. A partir disso utilizou-se uma argamassa pronta anti umidade, que foi nomeada de A e outros três aditivos que nomeamos de B, C e D. Suas características estão demonstradas na Tabela 11.

Tabela 11 - Características físico-químicas dos aditivos

	Aparência	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	pH	Ação
A	pó cinza	1,5 – 1,7	-	impermeabilizante*
B	líquido viscoso amarelo	1,0	8,5 -11,5	cristalizante
C	líquido branco	1,0	12	hidrofugante
D	líquido branco	0,98 - 1,12	10,7 - 11,1	hidrofugante

\*não consta na ficha técnica

A fim de proporcionar uma comparação mais precisa entre os aditivos, foi adotada uma quantidade de aditivo padrão para todas as argamassas preparadas, com exceção da argamassa pronta A na qual não se conhece o traço nem o teor de aditivo. Essa quantidade, que é indicada pelos fabricantes, é de 4% sobre a massa do cimento.

### 3.2. Ensaio com a argamassa no estado fresco

#### 3.2.1. Ensaio do índice de consistência

O ensaio foi realizado conforme a NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência (ABNT, 2005), que prescreve o método para a determinação do índice de consistência da argamassa.

Para se realizar esse ensaio foi necessário preparar a argamassa, encher o molde tronco-cônico sobre o centro da mesa de consistência e aplicar, respectivamente, os 15, 10 e 5 golpes a cada camada inserida. Após preencher o molde e efetuar o arrasamento da argamassa com a régua metálica foi ligada a mesa para que ela efetuasse 30 golpes.

Posteriormente, mediu-se com um paquímetro os espalhamentos das argamassas. Tais espalhamentos foram medidos a partir de três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos. O índice de consistência refletiu a média das três medidas de diâmetro (Figura 9, Figura 10 e Figura 11).

**Figura 9 - Mesa de consistência e tronco-cônico usado como molde**



Fonte: Autor

**Figura 10 - Medição do espalhamento da argamassa**

Fonte: Autor

**Figura 11 - Medição do espalhamento da argamassa**

Fonte: Autor

Esse ensaio é realizado para definir uma quantidade adequada de água da mistura da argamassa, já que inicialmente não se tem uma relação água cimento pré-definida. De acordo com a norma, caso não se tenha essa informação, recomenda-se adotar a água necessária para o índice de consistência de (260 + ou – 5) mm.

Após adotar esse espalhamento percebeu-se que a relação água cimento ficou muito alta, próxima de 1,0. Os corpos de prova que estavam sendo moldados estavam muito fluidos, quando fresco, e sofrendo muita retração, quando secos. Para resolver esses problemas, foi necessário refazer os moldes com argamassas preparadas com um fator água cimento pré-definido de 0,85 na argamassa de referência. Para as outras misturas adotou-se a mesma quantidade de água retirando-se a medida de aditivo, 4% em relação à massa de cimento, conforme instruções do fabricante.

### 3.3. Ensaio com a argamassa no estado endurecido

As descrições dos ensaios realizados com a argamassa no estado endurecido estão apresentadas na Tabela 12 - Ensaio no estado endurecido.

**Tabela 12 - Ensaio no estado endurecido**

Estado	Descrição	Norma	Corpos de prova		Nº CP	Idade
Endurecido	Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	NBR 9778	5x10 cm	cilíndricos	4	28
	Determinação da absorção de água por capilaridade	NBR 9779	5x10 cm	cilíndricos	4	28
	Determinação de absorção de água sob baixa pressão (Cachimbo)	-	5x10 cm	cilíndricos	3	28
	Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão	NBR 13279	4x4x16 cm	prismáticos	3	28

Os corpos de prova cilíndricos e prismáticos foram confeccionados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), com a ajuda de um misturador mecânico, para o traço de 1:4,75 em massa. Para confecção das argamassas, primeiramente, colocou-se o cimento, em seguida o aditivo, já diluído na água com exceção da argamassa de referência, depois foi adicionando areia gradativamente.

Para moldagem dos corpos de prova cilíndricos utilizou-se o método manual que consiste na colocação da argamassa em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo 30 golpes uniformes, com o soquete, em cada camada. Ao final, realizou-se o arrasamento com régua metálica.

Por fim, os corpos de prova foram executados seguindo a mesma metodologia e curados submersos em água saturada em cal, por um período de 28 dias, até o prazo para a realização dos ensaios. A figura 12 ilustra os corpos de prova cilíndricos nos moldes.

**Figura 12 - Corpo de prova cilíndrico no molde**

(Fonte: Autor)

A moldagem dos corpos de prova prismáticos ocorreu conforme NBR 13279 (ABNT, 2005), utilizou-se o adensamento mecânico, com auxílio da mesa de adensamento por queda, com disposição de 2 camadas de argamassa aproximadamente iguais, sendo que cada camada foi adensada com 30 golpes (Figura 13).

**Figura 13 - Corpo de prova prismático no molde**

Fonte: Autor

### 3.3.1. Ensaio de determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Este ensaio foi realizado conforme NBR 9778/05 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica), aos 28 dias, utilizando-se 4 corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) para cada argamassa.

A absorção de água por imersão é o procedimento que faz com que a água tenda a se conduzir para os poros permeáveis de determinado corpo poroso com o intuito de preenchê-los. Já o índice de vazios corresponde à relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra. A massa específica é a relação entre a massa seca do material e o volume total, incluindo todos os poros permeáveis e impermeáveis, e a massa específica real é a mesma relação excluindo os poros permeáveis.

Para realização do ensaio após os 28 dias de cura, primeiramente, os corpos de provas ficaram na estufa, aproximadamente a 105 °C, por um período de 72 h para registro de suas massas secas. Em seguida, para se obter a saturação as amostras foram imersas em água a uma temperatura de 23 °C e mantidas assim por mais 72 h. Logo após o período, os CP's foram levados à fervura gradual durante 5 h, terminada a etapa, determinou-se a massa com auxílio de balança hidrostática. Em seguida, retirou-se as amostras da água e aferiu-se novamente suas massas.

A absorção (A), em porcentagem, é calculada pela seguinte expressão:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

$m_{sat}$  é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (em g);

$m_s$  é a massa da amostra seca em estufa (em g);

O índice de vazios ( $Iv$ ), em porcentagem, é calculado pela seguinte expressão:

$$Iv = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100$$

Onde:

$m_i$  é a massa da amostra saturada imersa em água após fervura (em g)

O cálculo da massa específica da amostra seca ( $\rho_s$ ) é dado por:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$$

O cálculo da massa específica da amostra saturada ( $\rho_{sat}$ ) é dado por:

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$$

O cálculo da massa específica real da amostra ( $\rho_r$ ), é dado por:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$$

### 3.3.2. Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade

A realização deste ensaio ocorreu conforme NBR 9779 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade) que simula a forma de ascensão capilar da água em revestimentos e concretos endurecidos.

Para este ensaio foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos para cada aditivo mais o de referência, de acordo com a NBR 7215, totalizando 20 CP's produzidos. Após 24 h os corpos de prova foram desmoldados e postos em cura por 28 dias, em seguida colocados na estufa por 24 h, logo depois foram dispostos em um recipiente preenchido com água de forma que sua base estivesse, constantemente, em contato com a água com altura de 5 mm. Dessa maneira foram determinadas as massas da amostra com 3h, 6h, 24h e 48h, retornando imediatamente ao recipiente com água após a pesagem.

A absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos ( $C$ ) foi calculada com a seguinte equação:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S}$$

Onde:

$S$  é a área da seção transversal (em  $\text{cm}^2$ ), neste caso,  $19,6 \text{ cm}^2$ .

Terminada as outras etapas as amostras foram rompidas diametralmente com auxílio de uma prensa, figura 14, e a altura máxima de ascensão capilar foi aferida com o auxílio de uma régua (figura 15).

**Figura 14 - Rompimento diametral**



Fonte: Autor

**Figura 15 - Copo de prova cilíndrico rompido diametralmente**



Fonte: Autor

### 3.3.3. Ensaio do Cachimbo

Para este ensaio foram moldados 3 corpos de prova, e baseou-se na ficha de ensaio - Revestimento de paredes – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão (MOPTH– Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Portugal Departamento de Edifícios – Núcleo de Comportamento de Construções) de junho de 2002, que se destina a determinar a permeabilidade da água em argamassa.

O ensaio do cachimbo avalia a absorção de água pelo corpo poroso submetido a baixa pressão exercida por uma coluna de água acoplada a amostra com o auxílio de tubos de vidro graduados de 0 a 4 cm<sup>3</sup>, denominados tubos de Carsten.

Para este ensaio foram utilizados 3 corpos de prova cilíndricos com os aditivos (A, B, C e D) e o de referência. Primeiramente, as amostras foram deixadas na estufa até que alcançassem constância de massa, logo depois fixou-se os tubos graduados (cachimbos), com auxílio de silicone, nos corpos de prova de argamassa. Após 20 minutos, preencheram-se os tubos com água até à graduação 0 cm<sup>3</sup> e então foram feitas a leituras em cada um dos (três) cachimbos, verificando o deslocamento da lâmina d'água observado nos tubos com 5, 10, 15, 30 e 60 minutos (Figura 16).

**Figura 16 - Corpos de prova com tubo graduado**



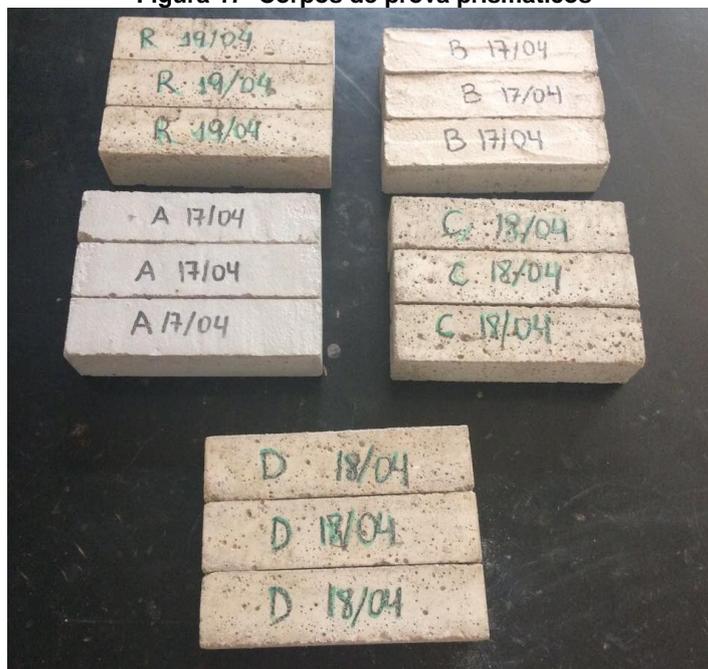
Fonte: Autor

### 3.3.4. Ensaio da determinação da resistência a tração na flexão e a compressão

O ensaio ocorreu em conformidade com a NBR 13279/2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão) apresenta o procedimento para a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência a compressão de argamassas.

Para realização deste ensaio foram utilizados 3 corpos de prova prismáticos para cada aditivo mais a argamassa de referência (figura 17), moldados de acordo com a norma, confeccionados em dias diferentes devido a limitações das quantidades de moldes no laboratório.

**Figura 17- Corpos de prova prismáticos**



Fonte: Autor

O procedimento de ruptura das amostras ocorreu com 28 dias, sendo que a aferição da resistência à tração na flexão ocorreu com o auxílio de uma prensa para ensaio de resistência recomendada por norma (Figura 18).

Figura 18 - Determinação da resistência à tração na flexão



Fonte: Autor

A resistência à tração na flexão é calculada segundo a equação:

$$R_t = \frac{1,5LF_t}{40^3}$$

Onde:

$R_t$  é a resistência a tração na flexão (em MPa);

$F$  é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (em N);

$L$  é a distância entre os suportes (em mm);

$40^3$  é (a) altura x (a)<sup>2</sup> largura<sup>2</sup>

Para a outra etapa do ensaio, que corresponde à resistência a compressão axial foram utilizadas as metades das amostras rompidas na etapa anterior. Posicionou-se então os corpos de prova no dispositivo de carga típico para ensaios de resistência a compressão e então aplicou-se uma carga até a ruptura dos mesmos. (Figura 19).

A resistência à compressão axial é calculada com a seguinte expressão:

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

Sendo:

$R_c$  a resistência a compressão (em MPa);

$F$  a carga máxima aplicada (em N);

1600 a área da seção (em mm).

**Figura 19 - Determinação da resistência à compressão**



Fonte: Autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo serão apresentados os valores médios encontrados após os ensaios descritos no capítulo anterior. Os dados exibidos estão de acordo com as normas apresentadas e são mostrados em tabelas, gráficos e imagens.

### 4.1. Índice de consistência

Esse ensaio foi realizado com a finalidade de encontrar a quantidade adequada de água da mistura da argamassa e, para isso, a norma recomenda adotar a água necessária para o índice de consistência de (260 + ou – 5) mm.

Após adotar esse espalhamento percebeu-se que a relação água cimento ficou muito alta, próxima de 1,0, e os corpos de prova que estavam sendo moldados estavam muito fluidos, quando fresco, e sofrendo muita retração, quando secos. Por isso foi necessário refazer os moldes com argamassas preparadas com um fator água cimento pré-definido de 0,85, e o espalhamento dessa relação foi medido. Os resultados encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Espalhamento obtido com o ensaio do índice de consistência

Argamassa	Relação a/c	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	Aditivo (g)	Resultados diâmetro médio (cm)
R	0,85	471	2238	400,35	-	22,24
A	-	2709		501,17	-	23,54
B	0,85	471	2238	381,51	18,84	21,78
C	0,85	471	2238	381,51	18,84	20,30
D	0,85	471	2238	381,51	18,84	23,63

É válido ressaltar que, como a argamassa A era uma argamassa anti umidade pronta, a quantidade de água usada foi a definida pelo fabricante, portanto essa relação a/c de 0,85 não foi adotada para ela. Isso tirou a isonomia entre os aditivos, porém prosseguiu-se a pesquisa e as comparações entre os produtos.

Abaixo estão as imagens que ilustram tanto o espalhamento da argamassa de referência, figura 20, quanto das demais usadas, Figura 21 21, de tal forma que permita visualizar as consistências de cada uma.

Figura 20 – Espalhamento da argamassa de referência



Fonte: autor

Figura 21 – Espalhamento das demais argamassas



Fonte: autor

Os espalhamentos foram obtidos, após definir uma relação água cimento fixa, porém, percebeu-se, posteriormente, que a quantidade de areia utilizada foi acima da necessária. A intenção inicial era fazer um traço de 1:3, mas, por erro de cálculo, a relação ficou de 1:4,75, com exceção da argamassa A que já vem pronta e, portanto, não se conhece sua relação a/c, apenas a quantidade de água da mistura que foi a recomendada pelo fabricante. Como o erro só foi percebido após o término de todos os ensaios e o intuito primordial dessa pesquisa era comparar os aditivos, esse erro não impediu que esse objetivo fosse alcançado.

Comparando-se as argamassas é possível observar quais delas eram mais fluidas que a de referência e quais não eram. Percebeu-se que as argamassas com os aditivos A e D obtiveram maiores diâmetros de espalhamento e as com aditivos B e C apresentaram menores diâmetros, se compararmos à argamassa de referência R.

Logo, os aditivos utilizados não alteraram de forma significativa a consistência das argamassas, já que não variam tanto com relação à de referência. Entretanto, é importante frisar que, como a argamassa A é industrializada, pode possuir incorporador de ar em sua composição fazendo com que ela apresente uma maior plasticidade que a argamassa R.

#### 4.2. Absorção de água, índice de vazios e massa específica

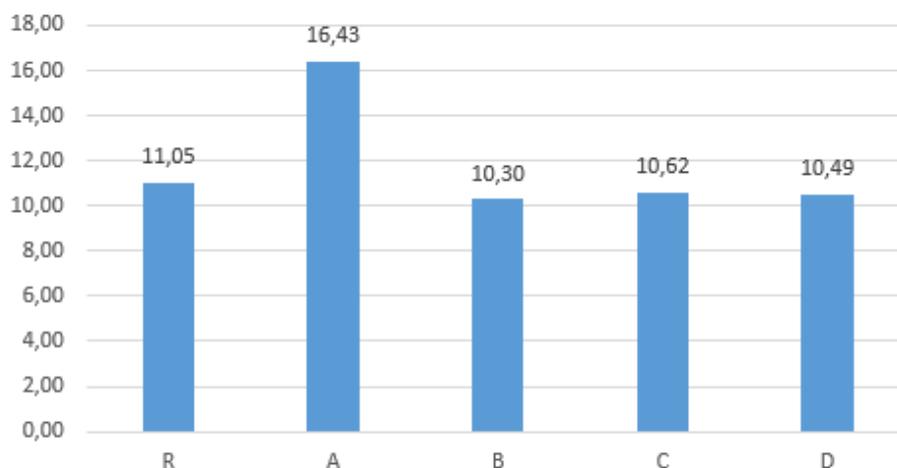
Os resultados obtidos nesse ensaio de absorção de água por imersão estão apresentados na

, bem como seus índices de vazios e suas massas específicas. Já o Gráfico 3 apresenta os resultados para a absorção de água por imersão.

**Tabela 14 - Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido: Ensaio de índice de vazios**

Argamassa	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica da amostra saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )
R	11,05	20,88	1,89	2,10	2,39
A	16,43	28,52	1,74	2,02	2,43
B	10,30	19,32	1,88	2,07	2,33
C	10,62	18,70	1,78	1,97	2,19
D	10,49	18,49	1,74	1,93	2,14

**Gráfico 3 - Resultado ensaio de absorção de água**  
Absorção (%)



Nota-se que os resultados obtidos estão coerentes, já que as argamassas com maiores índices de vazios absorveram mais água. Esse índice foi maior na argamassa A, de 28,5%, portanto ela foi a que apresentou a maior absorção, de 16,4%. Ao compará-la à argamassa de referência, percebe-se que ela apresentou um aumento de 36,6% do índice de vazios e absorveu 48,7% a mais de água (Tabela 15).

Uma possível explicação para esse resultado é o fato da relação água/cimento da argamassa pronta A ter sido diferente das outras argamassas, pois foi usada a quantidade de água indicada pelo fabricante. Mas também é importante salientar que, devido à argamassa A ser industrializada ela possui incorporador de ar para melhorar a trabalhabilidade, entretanto isso a torna mais porosa.

Por outro lado, as outras argamassas absorveram menos que a de referência, como é possível visualizar na Tabela 15. A argamassa B reduziu a absorção de água em 6,8% em relação a R. Logo em seguida têm as argamassas D e C que absorveram, respectivamente 5,1% e 3,9% a menos que a R.

Percebe-se, ao analisar os resultados, que há uma relação direta entre o índice de vazios e a absorção dos corpos de prova. Vale ressaltar que os ensaios de absorção de água e do índice de vazios estão mais associados à porosidade total da argamassa endurecida, enquanto que os ensaios de capilaridade e do método do cachimbo estão relacionados com as características dos poros superficiais (ARAÚJO JR., 2004). Como o foco do trabalho era ascensão capilar, os resultados obtidos nesse ensaio não são suficientes e satisfatórios para tal objetivo.

Tabela 15 – Alterações ocorridas nas argamassas em comparação à referência

Argamassa	Alterações ocorridas em relação à argamassa R (%)				
	Absorção	Índice de Vazios	Massa específica da amostra seca	Massa específica da amostra saturada	Massa específica real
A	48,7	36,6	-8,2	-3,7	1,7
B	-6,8	-7,4	-0,7	-1,4	-2,6
C	-3,9	-10,5	-5,7	-6,2	-8,2
D	-5,1	-11,4	-7,8	-8,2	-10,5

A massa específica seca de uma amostra representa a relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra. Nessa massa estão inclusos os poros permeáveis e impermeáveis. É possível perceber, ao analisar as tabelas acima, que todas as argamassas apresentaram uma redução na massa específica seca em relação à de referência. Isso ocorreu, pois, apesar dos volumes dos corpos de prova terem sido mantidos, as massas deles se alteraram com o acréscimo dos aditivos.

A argamassa A foi a que teve maior redução da massa específica seca, de 8,2% em relação a R, isso provavelmente se deve ao fato de ela ter incorporador de ar e, por isso, sua massa é menor, já que tem mais vazios, diferentemente da argamassa B que não apresentou uma alteração significativa na massa.

Já a massa específica saturada de uma amostra representa a relação entre a massa do material saturado e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis. Todas as argamassas ensaiadas apresentaram uma redução na massa específica saturada em relação à de referência. Isso se deve ao fato de as argamassas aditivadas terem diminuído a absorção, embora a argamassa A não tenha feito isso.

Consequente, os corpos de prova encharcaram menos que o de referência, ficando com menor massa e, como os volumes dos corpos de provas eram os mesmos, as massas específicas saturadas diminuíram. A argamassa A absorveu bastante água e ficou com uma massa específica saturada pouco menor que a R, isso porque, como sua massa seca era consideravelmente mais baixa que R, mesmo após absorver água sua massa específica saturada ainda ficou menor.

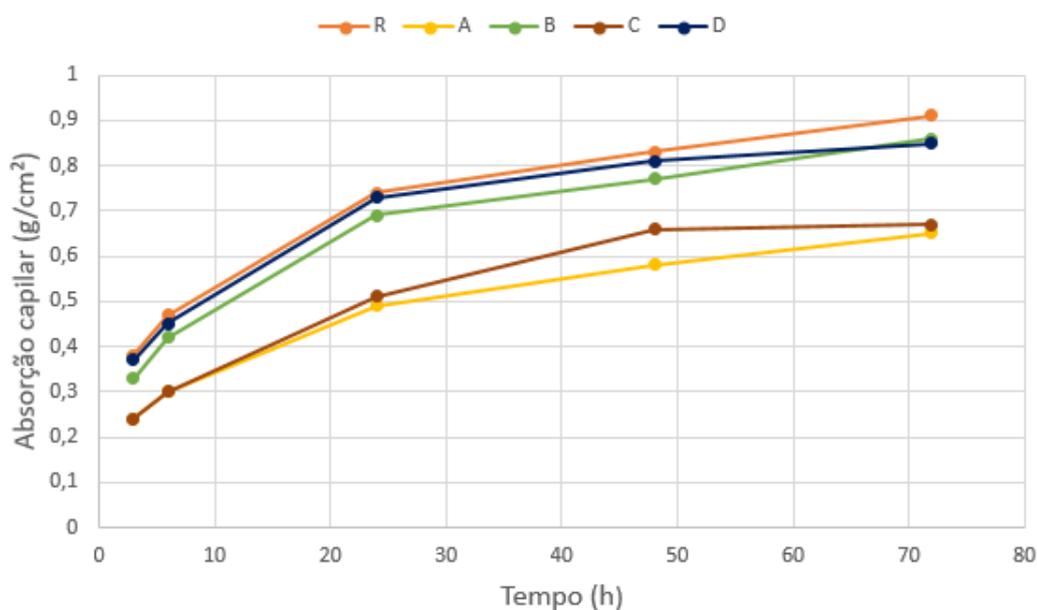
### 4.3. Absorção de água por capilaridade

Para determinação da absorção por capilaridade foi realizado o ensaio previsto na norma - NBR 9779 (ABNT, 2012). Os resultados estão apresentados pelos valores médios encontrados no ensaio conforme Tabela 16 e Gráfico 4.

**Tabela 16 - Ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos**

Absorção (g/cm <sup>2</sup> )	Argamassa	Tempo (horas)				
		3	6	24	48	72
	R	0,38	0,47	0,74	0,83	0,91
	A	0,24	0,3	0,49	0,56	0,65
	B	0,33	0,42	0,69	0,77	0,86
	C	0,24	0,3	0,51	0,66	0,67
	D	0,37	0,37	0,73	0,81	0,85

**Gráfico 4 - Resultado ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos**



Considerando as análises de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova cilíndricos, constata-se que as argamassas A e C apresentaram melhor eficiência na redução de absorção de água. Contudo, as argamassas aditivadas com B e D mostraram pouca redução em comparação com a de referência.

A Tabela 17 expõe, em porcentagem, a redução na absorção de água em relação à referência R. Com isso, fica claro que a argamassa com o aditivo A obteve melhor desempenho nesse ensaio ao longo de todas as medições, já que, ao final das 72h, absorveu 28,6% a menos que a argamassa de referência. Contudo, esse valor ainda não atende a NBR 16072 (ABNT, 2012) que define uma porcentagem mínima de redução de 50% para que uma argamassa seja considerada impermeável.

Algo também observado a partir dos resultados foi que a argamassa A teve o pior desempenho em relação à absorção por imersão como apresentado no tópico anterior, gráfico 3. Porém, teve a melhor eficiência em relação ao bloqueio da absorção capilar.

Na figura 22 é possível visualizar que tanto a argamassa R, quanto a A apresentam poros e macroscopicamente os poros da argamassa R são maiores e em menor quantidade, enquanto na argamassa A são menores, porém em maiores quantidades.

**Figura 22 - Porosidade das argamassas R e A**



Fonte: autor

Acredita-se que, devido à argamassa pronta A ser industrializada, ela possuía aditivo incorporador de ar, e por esse motivo ela tenha mais poros, porém fechado, o que dificulta a ascensão da água por capilaridade, uma vez que os poros não se comunicam. Diferentemente da argamassa de referência, em que se acredita haver conectividade entre os poros, facilitando a subida da água pela capilaridade.

Outro ponto a ser destacado, é que não se conhece a relação a/c da argamassa A, pois se trata de argamassa pronta. E sabe-se que a relação a/c interfere diretamente sobre a porosidade e conseqüentemente na absorção capilar.

O desempenho ruim verificado na argamassa B pode ser justificado pelo pouco tempo de ensaio (28 dias), em vista que esse tipo de aditivo, cristalizante, necessita de maior prazo para formação de cristais compostos que trabalham no preenchimento dos poros, portanto seus resultados poderiam ter sido melhores a longo prazo.

**Tabela 17 - Redução na absorção de água em porcentagem**

	Argamassa	Tempo (horas)				
		3	6	24	48	72
Redução da absorção em relação a R (%)	A	36,8	36,2	33,8	30,1	28,6
	B	13,2	10,6	6,8	7,2	5,5
	C	36,8	36,2	31,1	20,5	26,4
	D	2,6	4,3	1,4	2,4	6,6

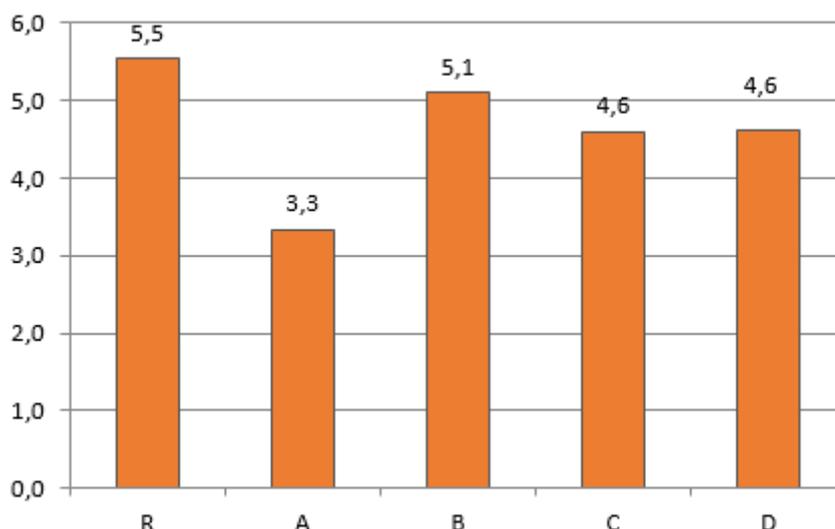
Constatou-se que, todas as argamassas aditivadas apresentaram um desempenho melhor que a argamassa de referência. Apesar disso, as que possuíam os aditivos B e D absorveram uma quantidade de água muito próxima à de referência. Tomando a medição de 72h como base, a argamassa com o aditivo B absorveu 5,5% a menos que a de referência, já a com D absorveu 6,6% a menos. Entretanto as argamassas com os aditivos A e C demonstraram ter melhor eficiência na redução de absorção de água, pois reduziram, respectivamente, 28,6% e 26,4% em relação à argamassa de referência.

Por fim, a tabela 18 e o gráfico 5 exprimem o resultado das alturas médias de ascensão capilar encontradas nas diferentes argamassas após rompimento diametral do corpo de prova cilíndrico, figura 23. Percebe-se que a argamassa A apresentou a menor altura, enquanto a argamassa B, como esperado por motivos anteriormente explicados, apresentou a maior.

Tabela 18 - Resultados da ascensão capilar

Argamassa	Altura média atingida pela água (cm)
R	5,5
A	3,3
B	5,1
C	4,6
D	4,6

Gráfico 5 - Ascensão capilar



É interessante observar que as argamassas C e D possuíam valores idênticos de ascensão capilar, apesar de D ter apresentado maior absorção capilar em relação a C, como pode ser visto no gráfico 4 e análises anteriores. Isso pode ter ocorrido por que a amostra C, menos homogênea que a D, possuía poros muito grandes apenas superficialmente, devido ao contato com o molde, mas internamente o diâmetro interno dos poros era propício à ascensão capilar.

Figura 23 - Amostras rompidas diametralmente

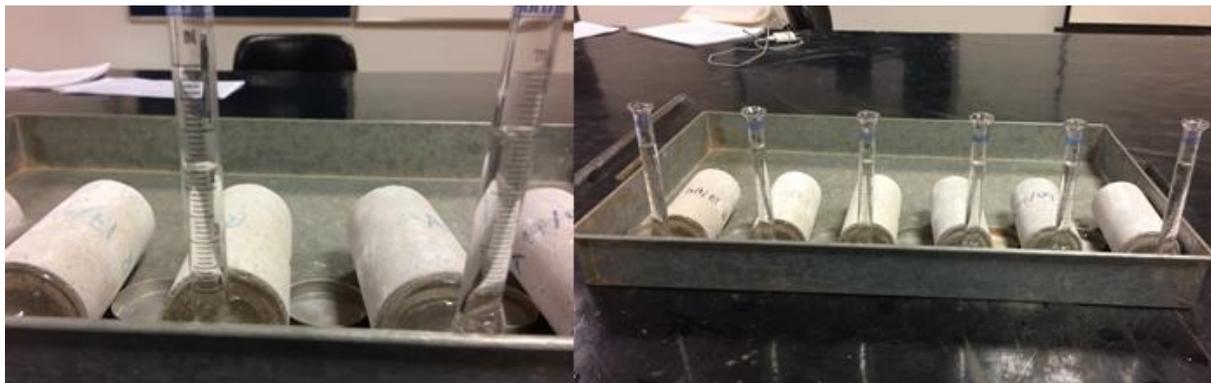


Fonte: autor

#### 4.4. Ensaio do Cachimbo

O ensaio do Cachimbo, figura 24, que analisa a absorção de água sob baixa pressão, permitiu verificar que as argamassas com os aditivos A e C obtiveram resultados melhores que as demais, principalmente ao compará-las nos tempos de 30 e 60 minutos de ensaio conforme mostrado na Tabela 19 e Gráfico 6.

Figura 24 - Ensaio do cachimbo

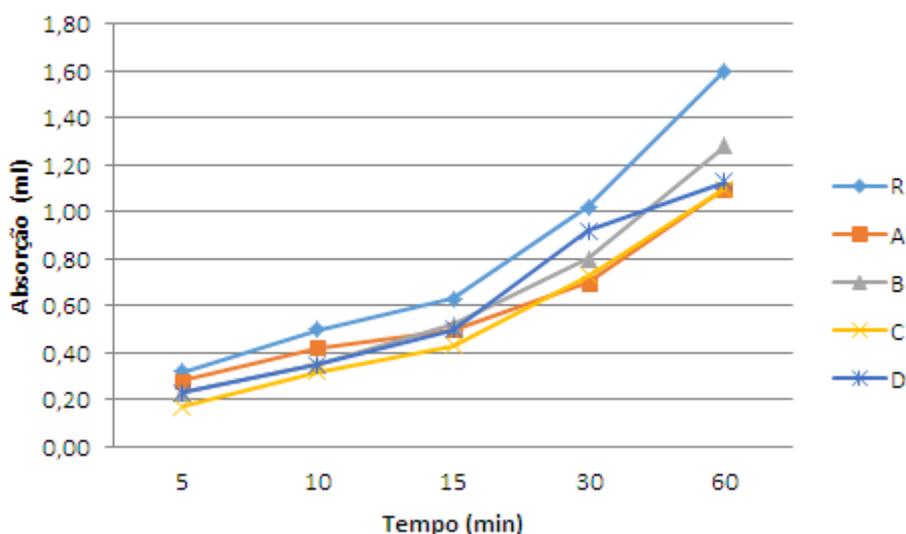


Fonte: autor

Tabela 19 - Ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo

Argamassa		Tempo (min)				
		5	10	15	30	60
Absorção (ml)	R	0,32	0,50	0,63	1,02	1,60
	A	0,28	0,42	0,50	0,70	1,10
	B	0,23	0,35	0,52	0,80	1,28
	C	0,17	0,32	0,43	0,73	1,10
	D	0,23	0,35	0,5	0,92	1,13

Gráfico 6 - Resultado ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo



Como observado pelo gráfico 6, a argamassa A obteve os melhores resultados após 30 e 60 minutos de ensaio. Isso pode ser justificado pelo fato da argamassa pronta possuir incorporador de ar e, com isso, apresentar maior índice de vazios e poros sem fechados, ou seja, sem comunicação com os demais, dificultando a absorção da água. A argamassa B obteve pior desempenho aos 60 minutos de ensaio, pois o aditivo usado tem uma ação cristalizante e possivelmente precisaria de um período maior de cura para ter melhor eficácia.

Verifica-se bastante coerência entre os resultados do ensaio de capilaridade e de cachimbo, essa semelhança deve ao fato de os dois avaliarem a absorção por capilaridade das argamassas, contudo com uma pequena diferença por haver no ensaio do cachimbo uma pequena pressão de coluna de água

A Tabela 20 expõe, em porcentagem, a redução na absorção de água em relação à argamassa de referência R. Com isso, nota-se que as argamassas com aditivos A e C novamente apresentaram um melhor desempenho dentre as demais, principalmente na medição realizada após 1 hora de ensaio. A partir disso é possível verificar que ambas proporcionaram uma redução de 31,3% da absorção em relação à argamassa de referência R. A argamassa com aditivo D também obteve uma redução considerável, se comparada às outras, de 29,4%, enquanto a com aditivo B teve o pior desempenho, pois reduziu apenas 20% da absorção. Embora as argamassas aditivadas tenham diminuído a absorção, a redução em relação a de referência foi abaixo do esperado, que era de 50%.

Tabela 20 - Redução na absorção de água em porcentagem

	Argamassa	Tempo (min)				
		5	10	15	30	60
Redução da absorção em relação a R (%)	A	12,5	16,0	20,6	31,4	31,3
	B	28,1	30,0	17,5	21,6	20,0
	C	46,9	36,0	31,7	28,4	31,3
	D	28,1	30,0	20,6	9,8	29,4

#### 4.5. Ensaio da determinação da resistência à tração na flexão e a compressão

Os ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e a compressão, realizados com corpos de prova prismáticos, figura 25, no geral não apresentaram grandes reduções na resistência ao se adicionar aditivos, com exceção da argamassa pronta A. Os resultados estão ilustrados na Tabela 21 e Gráfico 7.

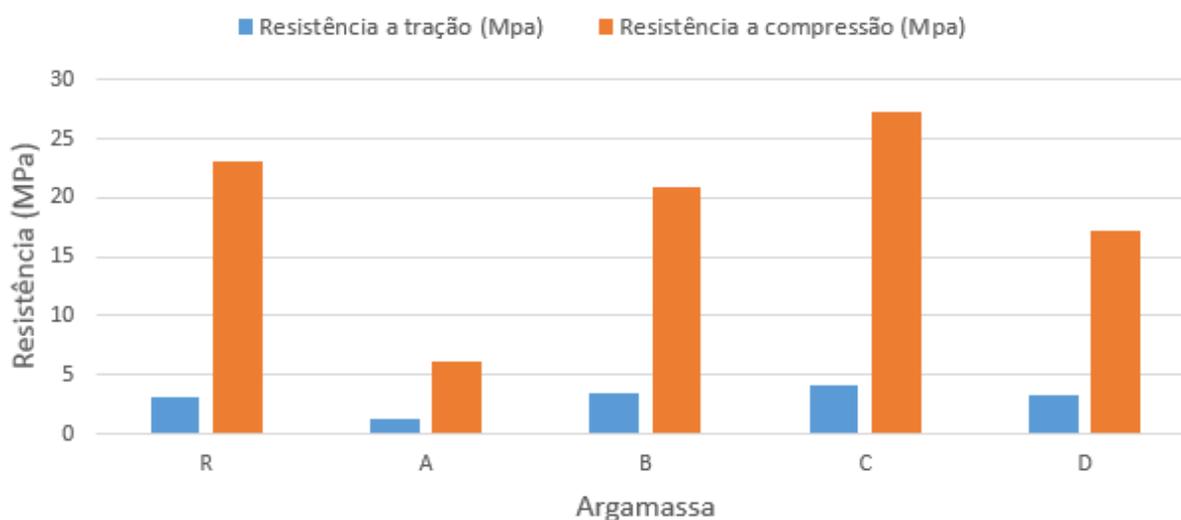
Figura 25 – Moldes antes e depois de serem rompidos na tração



Tabela 21 - Ensaio mecânico de determinação da resistência à tração na flexão e a compressão

Argamassa	Resistência a tração (Mpa)	Resistência a compressão (Mpa)
R	3,07	23,00
A	1,32	6,05
B	3,47	20,95
C	4,09	27,25
D	3,33	17,21

Gráfico 7 - Resistência à tração e compressão



A Tabela 22 exibe, em porcentagem, as alterações ocorridas nas resistências das argamassas em relação à de referência. Para permitir uma melhor visualização de quais apresentaram desempenhos melhores que a argamassa R e quais não, foram colocados sinais negativos a frente dos valores que tiveram e uma diminuição da resistência em comparação com R. Para os valores sem sinal a frente, representam as argamassas que obtiveram um desempenho melhor no quesito resistência que a R.

Tabela 22 - Alterações das resistências em relação à argamassa de referência

	Argamassa	Resistência a tração	Resistência a compressão
Alterações das resistências em relação a R (%)	A	-61,8	-73,6
	B	2,9	-8,9
	C	23,5	18,3
	D	0,0	-25,1

Com exceção da argamassa pronta A, que obteve uma redução significativa tanto na resistência à tração, de 61,8%, quanto na resistência à compressão, de 73,6%, em comparação com a argamassa R, as outras não apresentaram grandes reduções na resistência. Inclusive, a argamassa com o aditivo C obteve uma resistência melhor que a de referência, pois resistiu 23,5% a mais na tração e 18,3% a mais na compressão. A argamassa B apresentou um aumento de 2,9% na resistência à tração e uma redução de 8,9% na resistência à compressão. Já a argamassa D teve o mesmo desempenho que a argamassa de referência na resistência à tração e uma redução da resistência à compressão de 25,1%.

Comparando os resultados da tabela 22 com os critérios de desempenho da argamassa impermeável prescritos na NBR 16072 (2012), apenas a argamassa B e C atenderiam o critério, em que a redução tanto para à tração como compressão deve ser menor ou igual a 20%. A argamassa B apresenta melhora na resistência a tração na flexão e pior desempenho à compressão, já C tem os melhores resultados, com resistência melhor do que a de referência. Por fim D, que na tração obteve mesmo desempenho que a de referência, contudo à compressão teve perdas significativas, ficando abaixo do critério exigido por norma.

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), existe alguns limites mínimos aceitáveis para os valores de resistência alcançados com o ensaio de compressão aos 28 dias, classificando a argamassa aditivada com A como P1, com limite de  $\leq 2,0$  MPa, e as outras como P2 por se encontrarem entre 1,5 e 3,0 MPa. Já em relação ao limite de resistência à tração na flexão todas as argamassas são classificadas como R1, com limite de resistência de  $\leq 1,5$  MPa.

Observa-se ainda pelo gráfico 7 que nesse ensaio os efeitos do aditivo C tiveram resultados superiores aos demais, isso pode ser devido ao fato dele possuir o menor índice de vazios o que lhe confere mais resistência. Destaca-se também o resultado da argamassa com o aditivo A, que apresenta o pior resultado de resistência o que pode ser explicado pelo seu alto índice de vazios. (Tabela 14)

#### 4.6. Resumo dos resultados

Na

Tabela 23 está apresentado o resumo de todos os resultados obtidos para as argamassas ensaiadas na presente pesquisa. Os valores destacados em vermelho apresentam o pior resultado dentre as argamassas testadas, enquanto aqueles em azul são os melhores para cada ensaio realizado.

**Tabela 23 - Resultados de caracterização das argamassas com e sem aditivo**

Ensaio de Determinação	Resultados						
	Argamassas	R	A	B	C	D	
Índice de consistência	cimento (g)	471	2709	471	471	471	
	areia(g)	2238	-	2238	2238	2238	
	água(g)	400,35	501,17	381,51	381,51	381,51	
	aditivo(g)	-	-	18,84	18,84	18,84	
	Média : índice de consistência (cm)	22,24	23,54	21,78	20,30	23,63	
Ensaio de índice de vazios	Absorção (%)	11,05	16,43	10,30	10,62	10,49	
	Índice de Vazios (%)	20,88	28,52	19,32	18,49	18,70	
	Massa Específica Seca	1,89	1,74	1,88	1,74	1,78	
	Massa Específica Saturada	2,10	2,02	2,07	1,93	1,97	
	Massa Específica Real	2,39	2,43	2,33	2,14	2,19	
Capilaridade dos corpos de prova cilíndricos	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )	3 horas	0,38	0,24	0,33	0,24	0,37
		6 horas	0,47	0,30	0,42	0,30	0,37
		24 horas	0,74	0,49	0,69	0,51	0,73
		48 horas	0,83	0,56	0,77	0,66	0,81
		72 horas	0,91	0,65	0,86	0,67	0,85
Cachimbo	Absorção (ml)	5 mim	0,32	0,28	0,23	0,17	0,23
		10 mim	0,50	0,42	0,35	0,32	0,35
		15 mim	0,63	0,50	0,52	0,43	0,50
		30 mim	1,02	0,70	0,80	0,73	0,92
		60 mim	1,60	1,10	1,28	1,10	1,13
Resistência na flexão e a compressão	Resistência a tração (Mpa)	0,34	0,13	0,35	0,42	0,34	
	Resistência a compressão (Mpa)	2,35	0,62	2,14	2,78	1,76	

Observa-se que a argamassa A obteve os melhores resultados nos ensaios que avaliam a capilaridade (absorção por capilaridade e cachimbo), porém os piores no ensaio de índice de vazios que medem a absorção pelos poros permeáveis e resistência à tração e compressão. Isso mostra que esse tipo de argamassa terá melhor eficácia se utilizada em pisos e rodapés em vista que trabalha de melhor forma reduzindo a ascensão da umidade, porém deve-se verificar se essa argamassa atende ao critério de aderência, uma vez que apresentou baixos valores de resistência mecânica.

Outra dado a ser observado é em relação aos resultados da argamassa B , que apresentou os piores resultados nos ensaios de absorção capilar e pelo cachimbo. Possivelmente por se tratar de um aditivo cristalizante, em que o prazo de 28 dias não foi suficiente para cristalização dos compostos.

Nota-se que a argamassa C apresentou desempenho similar a argamassa A, pois teve valores próximos nos ensaios de absorção por capilaridade e cachimbo, entretanto nenhuma das duas atendeu o critério da norma para argamassa impermeável. Com relação à resistência mecânica, a argamassa C atendeu a norma enquanto a argamassa A apresentou redução significativa e fora do limite da norma.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa buscou-se verificar a eficiência de aditivos impermeabilizantes quando associados à argamassa de revestimento com relação à absorção por capilaridade. Os resultados obtidos são importantes para comparar os diferentes aditivos disponíveis no mercado, bem como analisar seus impactos na consistência, resistência à compressão e absorção de água. As principais considerações serão apresentadas a seguir:

- Os aditivos utilizados não alteraram de forma significativa a consistência das argamassas com relação à de referência. Muito embora seja importante frisar a argamassa A é industrializada e possui incorporador de ar em sua composição fazendo com que ela apresente uma maior trabalhabilidade que a argamassa R, portanto era mais fluida;
- As argamassas A e C apresentaram melhores eficiências na redução da ascensão capilar tanto no ensaio de capilaridade quanto no do cachimbo. Contudo, a argamassa A não permitiu uma comparação de forma isonômica com as outras argamassas tendo em vista que, por se tratar de argamassa pronta, não se conhecia sua relação água cimento;
- As argamassas B e D tiveram os piores resultados nos ensaios de capilaridade e cachimbo. A argamassa B talvez tenha tido esse desempenho, pois o aditivo usado tem uma ação cristalizante e possivelmente precisaria de um maior tempo de cura para ter melhor eficácia;
- Os resultados obtidos no ensaio de absorção, índices de vazios e massa específica mostraram que a argamassa A foi a que mais absorveu água, inclusive mais até que a argamassa de referência, pois possuía maior índice de vazios, enquanto as outras apresentaram resultados semelhantes entre si e melhores que R. A argamassa pronta A, por ser industrializada, possui incorporador de ar para melhorar a fluidez e isso a torna mais porosa, justificando os resultados de índice de vazios e massa específica;

- A argamassa com o aditivo A apresentou uma perda considerável na resistência tanto na tração quanto na compressão, enquanto a com D a redução ocorreu apenas na resistência à compressão. Em ambos os casos os requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 16072 (ABNT, 2012) não foram alcançados, já que a variação em relação a referência não poderia passar de 20% a menos. A argamassa com o aditivo B não teve grandes alterações, já C apresentou uma significativa melhoria na resistência e as duas atendem à norma;
- Apesar de todas as argamassas terem demonstrado redução na ascensão capilar, nenhum dos aditivos conseguiu atender ao critério de redução mínimo de 50% estabelecido pela NBR 16072 (ABNT, 2012) para o ensaio de absorção por capilaridade. As argamassas A e C foram as que alcançaram os melhores resultados, pois obtiveram redução de absorção em relação à argamassa de referência de, respectivamente, 28,6% e 26,4%. Entretanto as argamassas B e D tiveram os piores desempenhos.

Por fim, infere-se com este estudo, que a utilização de aditivos impermeabilizantes não expressou resultados que atendessem à norma NBR 16072 (ABNT, 2012). Muito embora eles não tenham sido satisfatórios, percebeu-se que tanto o aditivo A quanto o C desempenharam melhor o papel de impedir a ascensão capilar, principal objetivo deste estudo, sendo um por incorporação de ar e o outro pela ação hidrofugante do aditivo nos poros.

### 5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Recomenda-se para pesquisas futuras, relativas a esse assunto sugere-se:

- Refazer o trabalho com diferentes traços de argamassa e comparar com o traço 1:3, recomendado pela NBR 16072 (ABNT,2012);
- Verificar apenas aditivos com o mesmo princípio atuação em todas as argamassas para melhor isonomia;
- Determinar se os usos dos aditivos impermeabilizantes reduzem à aderência à tração do revestimento argamassado;
- Avaliar no caso de aditivos impermeabilizantes cristalizantes, resultados em períodos maiores de tempo;
- Realizar o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade conforme NBR 15259 (ABNT, 2005).

## 6. BIBLIOGRAFIA

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 43 - Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal.** ABNT, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** ABNT, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65 - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7200- Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas-Procedimentos .** ABNT, Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência a compressão.** ABNT, Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 9575 - Impermeabilização - Seleção e projeto.** ABNT, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** ABNT, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.** ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578- Cimento Portland composto .** ABNT, Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579- Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) .** ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16072- Argamassa impermeável .** ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento.** Brasília: UnB. 2002, 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

BAUMGART, O. **Aditivos para concretos, argamassas e caldas de cimento.** 12<sup>a</sup> ed revisada. Indústria e comércio S.A, 1999.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção, patologia, reabilitação e prevenção.** São Paulo: Oficina de textos, 2010.

BILESKY, P. C.; OURIVES, C. N.; YOKOYAMA, C. M. Avaliação do desempenho dos sistemas de impermeabilização por cristalização capilar do concreto. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, ano XXXVII, nº 55. julho/agosto/setembro, 2009.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Hydrofuges de surfasse – choix et mise em ocuvre.** Bruxelles: Note d' information Technique, 1982.

CUNHA, A; NEUMANN, W. **Manual de impermeabilização e isolamento térmico.** 5<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Argus, 1979.

DARDENGO, C. F. **Identificação de patologias e proposição de diretrizes de manutenção preventiva em edifícios residenciais multifamiliares.** Viçosa, 2010. Dissertação (Magister Scientiae em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa.

FREITAS, V. P. **Transferência de humidade em paredes e edifícios – análise do fenómeno de interface.** Porto, 1992. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Porto.

GASQUES, E. G, RIGO, E., & GAVA, G. P. (2016). **Avaliação da influência de aditivos higrofurantes\impermeabilizantes nas propriedades das argamassas.**Foz do Iguaçu, 2016. *CONTECC-* congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia.

GEWEHR, U. **Aplicabilidade e eficiência de métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de um estudo de caso.** Porto, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GRATWICK, R. T. **La humedad em la construcción: sus causas y sus remédios.**Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1971.

IZAGUIRRE, A., LANAS, J., & ÁLVAREZ, J. I. Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars. **Cement and concrete research**. Spain, p.1095-1104, 2009. Disponível em: <https://ees.elsevier.com/cemcon/default.asp?acw=&utt=>

JANTSCH, A. C. A. **Análise Do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. Santa Maria, 2015, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Ficha de ensaio- Absorção de água sob baixa pressão, cachimbo**. Portugal, junho de 2002.

MAGALHÃES, D. T. **Inspeção, diagnóstico e controle da ascensão capilar de águas do terreno pelas alvenarias**. Vila Real, 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MENDES, N. **Modelos para previsão da transferência de calor e de umidade em elementos porosos de edificações**. Florianópolis, 1997. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina.

MUSTELIER, N. L. **Estimativa do comportamento de paredes no ensaio de penetração de água de chuva através das propriedades de transferência de umidade dos materiais constituintes**. Florianópolis, 2008. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina.

NAPPI, S. B. **Umidade em paredes**. Florianópolis, 1996. Disponível em: <[www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br)>. Acesso em: 3 fev. 2017.

PARANHOS, A., VECHIA, D., & BELTRAME, M. (2007). **Capilaridade: um fenômeno de superfície com aplicações cotidianas**. São José dos Campos, 2007. Projeto (Iniciação científica). Universidade do Vale do Paraíba.

PEIXOTO, V. F., TORRES, M. I., & GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. 1. ed. Porto: FEUP, 2008.

PERES, R. M. **Levantamento e identificação de manifestações patológicas em prédio histórico: um estudo de caso**. 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001

PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações**. São Paulo, 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo.

PINTO, F. C. **Influência da pressão exterior na embebição de materiais de construção**. Porto, 1998. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Porto.

RAMACHANDRAN, V. M. **Concrete admixtures handbook**. Noyes Publications, New York, 1984.

ROQUE, J. A. **O desempenho quanto à durabilidade de alvenarias de blocos cerâmicos de vedação com função auto-portante: o caso da Habitação de Interesse Social**. Campinas, 2009. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de Campinas.

SALOMÃO, M. F. **Estudo da umidade ascendente em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos**. Uberlândia, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia.

SELVARAJAH, S., & JOHNSTON, A. J. **Water permeation through cracked single skin masonry**. *Buildings and Environment*, V.30, n. 1, p. 19-28, 1995.

TAKAGI, E. M.; JUNIOR, W. A.; OLIVEIRA, F. S. **Tratamento químico cristalizante para impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado**. 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, 2004.

TEIXEIRA, A. M. **Caracterização experimental do funcionamento de ventilação da base das paredes para tratamento de humidade ascensional**. Porto, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto.

VALEN, M. S. (1998). **Moisture transfer in organic coatings on porous materials - the influence of varying environmental conditions**. Norway, 1998. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil, Dep. of Building and Construction Engineering). Norwegian University of Science and Technology.

VEDACIT. **Manual Técnico de Impermeabilização de Estruturas**. 6. ed. [s.l.], 2010. Disponível em: <[docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/manuaisobre-impermeabilizacao](http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/manuaisobre-impermeabilizacao)>. Acesso em: 07/11/2014.

WESOLOWSKA, M., & KACZMAREK, A. **The effect of modifications on humidity parameters of cement mortar**. Switzerland, 2015. *Materials Science Forum*. University of Science and Technology in Bydgoszcz. Disponível em: <<https://www.scientific.net/MSF.865.178>> . Acesso em: 3 de fev. 2017