

ISABELLA VENÂNCIO ALEIXO

MATRÍCULA: 2141116/4

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ADITIVOS  
HIDROFUGANTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTOS DE PAREDES

Brasília  
2018

ISABELLA VENANCIO ALEIXO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ADITIVOS  
HIDROFUGANTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTOS DE PAREDES

Monografia apresentada como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

Orientadora: Eng.º Civil Luciana  
Nascimento Lins, M. Sc

Brasília  
2018

**ISABELLA VENÂNCIO ALEIXO**  
**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ADITIVOS HIDROFUGANTES**  
**NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS DE PAREDES**

Monografia apresentada como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

---

Isabella Venâncio Aleixo

Aprovada em: Brasília/DF, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Eng°. Civil: Luciana Nascimento Lins, M.Sc. Orientadora

---

Eng°. Civil: Ivonne Alejandra Maria Gutierrez

---

Eng°. Civil: Erika Regina Costa Castro

*A Deus, acima de tudo, por ter me guiado com saúde, coragem e alegria para encarar os desafios, aos meus pais, Isabel Venâncio e Eduardo Aleixo, que foram o alicerce para que eu pudesse sonhar mais alto, dando todo o suporte essencial ao meu crescimento acadêmico e como ser humano. Dedico também aos demais familiares e amigos que de forma direta ou indireta participaram da minha história, e foram peças importantes para essa etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

À minha professora orientadora Luciana Nascimento Lins pelo empenho, dedicação, disponibilidade, colaboração e ajuda ao longo de toda a elaboração deste trabalho. Além, claro, de toda paciência e confiança que depositou em mim.

À minha família, em especial meus pais e minha irmã, por terem me apoiado na escolha do curso, me incentivado a entrar no UniCeub, me ajudado a ter persistência nos momentos mais difíceis desses anos de graduação, por terem sido meu pilar sempre e, principalmente, por toda a paciência que tiveram comigo.

Ao meu namorado, Patrick Spanopoulos, que nunca mediu esforços para me ajudar independente da situação, e que além disso foi compreensivo com os momentos em que permaneci distante. Meu amor, essa conquista é nossa.

À minha amiga de faculdade Bruna Vieria que esteve comigo durante muitos momentos difíceis na graduação e se tornou uma amizade verdadeira e importante, a qual irei levar para toda a vida.

Aos demais amigos pelos incentivos, companheirismo e amizade, que durante esses anos de graduação foram essenciais para a minha formação.

Ao pessoal do Laboratório de Materiais e Solos do Uniceub pela atenção e disposição para me ajudar, foram muito importantes para essa conquista.

A todos os professores que me fizeram chegar onde cheguei, desde os professores do ensino fundamental, passando pelos professores do ensino médio, até aos do UniCEUB, em especial às professoras Irene de Azevedo Lima Joffily e Ana Luiza Alves que me deram grande suporte para conseguir concluir meu curso, pois sem todos eles não poderia me tornar o que me tornei e realizar meus sonhos.

Principalmente a Deus, por abençoar o meu caminho durante esse trabalho. A fé que tenho em ti alimentou meu foco, minha força e minha disciplina. Sou imensamente grata pelas bênçãos que recaíram não só sobre mim, mas também sobre todos aqueles que eu amo.

Obrigada a todos que fizeram parte da minha graduação.

## RESUMO

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 sobre o assunto. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a eficiência de três diferentes aditivos hidrofugantes quando associados à argamassa de revestimento. Para tanto, foram realizados ensaios de consistência, determinação do teor de ar incorporado, densidade de massa, resistência, absorção de água por capilaridade, cachimbo, absorção, índice de vazios e massa específica. Foram utilizados quatro traços de argamassas, uma de referência, sem aditivo, e outras três acrescidas de aditivos hidrofugantes. Verificou-se com esse trabalho que os aditivos não mudaram significativamente a consistência das argamassas, contudo os aditivos acarretaram na maior necessidade de água. Nenhum dos aditivos atendeu aos requisitos da norma NBR 16072 (ABNT, 2012), com relação a resistência já que tiveram uma perda maior que 20% em relação a dosagem de referência. O ensaio de aderência mostrou que todas as argamassas foram insatisfatórias para atender ao requisito de desempenho para revestimentos internos estipulado pela NBR 13749 (ABNT,2013) de 0,2 MPa. A ascensão capilar foi menor nas argamassas aditivadas A e B, de acordo com os ensaios de capilaridadee do cachimbo, em que absorveram, respectivamente, 22% e 17% a menos que a dosagem de referência. O aditivo C não apresentou resultados significativos em relação a absorção por capilaridade. No ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica, as argamassas dosadas com os aditivos A e C obtiverama maior absorção em relação às demais argamassas que ficaram com os resultados próximos a de referência. A ação dos aditivos possivelmente inibiu a incorporação de ar nas argamassas. As argamassas A e B apresentaram redução na permeabilidade.

**Palavras-chave:** Argamassa; Aditivo; Hidrofugante; Capilaridade.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	11
LISTA DE GRÁFICOS .....	13
LISTA DE QUADROS .....	14
LISTA DE EQUAÇÕES.....	15
LISTA DE SIMBOLOS .....	17
1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1. Hipótese .....	16
1.2. Justificativa .....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo Geral .....	17
2.2. Objetivos Específicos .....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. Argamassas no estado fresco .....	18
3.1.1. Trabalhabilidade.....	18
3.1.2. Consistência.....	18
3.1.3. Plasticidade.....	19
3.1.4. Densidade de Massa .....	19
3.1.5. Retenção de Água .....	19
3.1.6. Adesão Inicial.....	20
3.2. Argamassas no estado endurecido .....	20
3.2.1. Aderência .....	20
3.2.2. Capacidade de absorção de deformações.....	21
3.2.3. Resistência mecânica .....	21
3.2.4. Retração.....	22
3.3. Aditivos.....	22

3.3.1. Aditivos Impermeabilizantes.....	23
3.3.2. Incorporadores de Ar .....	27
3.4. Classificação das umidades .....	28
3.4.1. Mecanismos de transporte da umidade .....	29
3.4.2. Fatores que interferem na capilaridade.....	32
3.5. Umidade ascendente.....	33
4. METODOLOGIA .....	36
4.1. Caracterização dos materiais .....	36
4.1.1. Cimento.....	36
4.1.2. Agregado.....	37
4.1.3. Aditivos.....	39
4.2. Ensaio com a argamassa no estado fresco.....	40
4.2.1. Ensaio de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado	40
4.2.2. Ensaio do índice de consistência .....	42
4.3. Ensaio com a argamassa no estado endurecido.....	44
4.3.1. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	46
4.3.2. Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade....	48
4.3.3. Ensaio do Cachimbo .....	50
4.3.4. Ensaio para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	51
4.3.5. Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração .....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
5.1. Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado ..	56
5.2. Índice de consistência .....	57
5.3. Absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	59
5.4. Absorção de água por capilaridade .....	61

5.5.	Ensaio de Permeabilidade pelo método do Cachimbo.....	64
5.6.	Ensaio da determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	66
5.7.	Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração .....	68
5.8.	Resumo dos resultados.....	70
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	72
6.1.	Sugestões de trabalhos futuros.....	73
	REFERÊNCIA.....	74

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TRATAMENTO DA CAPILARIDADE COM HIDRÓFUGOS .....	25
FIGURA 2 - TRATAMENTO DA CAPILARIDADE COM GEL CRISTALIZANTE .....	25
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DE UMA MOLÉCULA DE TENSOATIVO .....	27
FIGURA 4- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FENÔMENO DA CAPILARIDADE .....	31
FIGURA 5 - TRANSPORTE DE UMIDADE COMBINADO EM UM MATERIAL POROSO COMO SÉRIES DE TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA E ÁGUA LÍQUIDA.....	31
FIGURA 6 – DETALHE DA MASSA ENDURECIDA .....	31
FIGURA 7 - ALTURA DA ASCENSÃO CAPILAR DA ÁGUA ENTRE DUAS SUPERFÍCIES .....	34
FIGURA 8– EFEITOS DA UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES RESIDENCIAIS .....	35
FIGURA 9 - LOCAL DE ARMAZENAGEM DA AREIA NA EMPRESA .....	37
FIGURA 10 - ASPECTO DA AREIA APÓS PENEIRAMENTO .....	38
FIGURA 11 - ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA.....	39
FIGURA 12 - CILINDRO PARA ENSAIO .....	40
FIGURA 13 - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR.....	41
FIGURA 14 –TRONCO DE CONE USADO COMO MOLDE.....	42
FIGURA 15 - MEDIÇÃO DO ESPALHAMENTO DA ARGAMASSA.....	43
FIGURA 16 - CORPO DE PROVA CILÍNDRICOS .....	45
FIGURA 17 - CORPO DE PROVA PRISMÁTICO NO MOLDE.....	45
FIGURA 18 – MESA DE ADENSAMENTO COM O MOLDE PRISMÁTICO .....	45
FIGURA 19 - MOLDE DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	46
FIGURA 20– CORPOS DE PROVA SENDO LEVADOS À FERVURA POR 5H.....	48
FIGURA 21 –RECIPIENTE PREENCHIDO POR ÁGUA .....	49
FIGURA 22 - ROMPIMENTO DIAMETRAL.....	49
FIGURA 23–ALTURA DA ASCENSÃO CAPILAR.....	50
FIGURA 24 – TUBOS DE CARSTEN .....	50
FIGURA 25 - SILICONE UTILIZADO PARA ADERIR OS CACHIMBOS AO CORPO DE PROVA.....	51
FIGURA 26- CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS.....	51
FIGURA 27 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	52
FIGURA 28 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	53
FIGURA 29 - REALIZAÇÃO DOS FUROS COM FURADEIRA SERRA COPO .....	54
FIGURA 30 - MASSA ADESIVA PLÁSTICA E BLOCO COM PASTILHAS ACOPLADAS .....	54
FIGURA 31 - TIPOS DE RUPTURA NO ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTOS .....	55
FIGURA 32 - ENSAIO DE ARRANCAMENTO .....	55
FIGURA 33 – ESPALHAMENTO DAS ARGAMASSAS.....	58
FIGURA 34 - AMOSTRAS ROMPIDAS DIAMETRALMENTE .....	63
FIGURA 35 - ENSAIO DO CACHIMBO.....	65
FIGURA 36 – CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS DEPOIS DE SEREM ROMPIDOS NA TRAÇÃO .....	67

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	21
TABELA 2 - CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES .....	24
TABELA 3 - REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DA ARGAMASSA COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE...	24
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DOS ADITIVOS .....	26
TABELA 5 - ÍNDICES FÍSICOS E MECÂNICOS DO CIMENTO.....	36
TABELA 6 - GRANULOMETRIA DO AGREGADO UTILIZADO NA PESQUISA.....	38
TABELA 7 - MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO UTILIZADO.....	39
TABELA 8- MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO UTILIZADO .....	39
TABELA 9 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS ADITIVOS .....	40
TABELA 10 - DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO .....	56
TABELA 11 - TRAÇOS DAS ARGAMASSAS .....	57
TABELA 12 – RESULTADOS DOS ÍNDICES DE CONSISTÊNCIAS DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS .....	57
TABELA 13–RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO .....	59
TABELA 14 – RESULTADOS MÉDIOS OBTIDOS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO .....	59
TABELA 15 - ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS .....	61
TABELA 16 – ABSORÇÃO EM RELAÇÃO A REFERÊNCIA.....	62
TABELA 17 - RESULTADOS DA ASCENSÃO CAPILAR E TEMPERATURA.....	64
TABELA 18 – RESULTADO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO OU CACHIMBO .....	65
TABELA 19 - COMPARAÇÃO DA REDUÇÃO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO MÉTODO DO CACHIMBO .....	66
TABELA 20 - ENSAIO MECÂNICO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E A COMPRESSÃO .....	68
TABELA 21 - RESULTADOS PARA O ENSAIO DE ADERÊNCIA .....	68
TABELA 22 - FORMA DE RUPTURA .....	69
TABELA 23 - RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM E SEM ADITIVO .....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	26
GRÁFICO 2 - CURVA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DE ARGAMASSAS COM HIDROFUGANTES ....	26
GRÁFICO 3 - INFLUÊNCIA DO TEOR DE AR NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO .....	28
GRÁFICO 4 - CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO UTILIZADO .....	38
GRÁFICO 5 - RELAÇÃO DO TEOR DE AR COM A DENSIDADE DE MASSA .....	56
GRÁFICO 6 – DIÂMETROS MÉDIOS E QUANTIDADE DE ÁGUA PARA CADA TRAÇO.....	58
GRÁFICO 7 - COMPARAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE VAZIOS E ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	60
GRÁFICO 8 - RESULTADO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS .....	61
GRÁFICO 9 – RELAÇÃO DA ASCENSÃO CAPILAR E TEMPERATURA MÉDIA.....	64
GRÁFICO 10 - RESULTADO EM ML DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO OU CACHIMBO....	65
GRÁFICO 11 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E À COMPRESSÃO.....	67
GRÁFICO 12 - RESISTÊNCIAS MÉDIAS DE ADERÊNCIA .....	69
GRÁFICO 13 - ANÁLISE DAS RUPTURAS DAS AMOSTRAS .....	70

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - FATORES ASSOCIADOS À TRABALHABILIDADE.....	18
QUADRO 2 - ORIGEM DA UMIDADE NAS CONSTRUÇÕES .....	29
QUADRO 3 - MECANISMOS DE DESLOCAMENTO DE UMIDADE NOS MATERIAIS.....	30
QUADRO 4 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA AREIA .....	37
QUADRO 5 - ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDA .....	44

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - DENSIDADE DE MASSA DAS ARGAMASSAS.....	41
EQUAÇÃO 2 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR INCORPORADO: .....	42
EQUAÇÃO 3 - DENSIDADE TEÓRICA. ....	42
EQUAÇÃO 4- ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO .....	47
EQUAÇÃO 5 - ÍNDICE DE VAZIOS .....	47
EQUAÇÃO 6 - MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA. ....	47
EQUAÇÃO 7 - MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SATURADA. ....	47
EQUAÇÃO 8 - MASSA ESPECÍFICA REAL DA AMOSTRA.....	47
EQUAÇÃO 9 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE:.....	49
EQUAÇÃO 10 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO: .....	52
EQUAÇÃO 11 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL .....	53

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

a/c – Relação água cimento

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – American Concrete Institute

cm– Centímetro

CP – Cimento Portland

Cp– Corpo de prova

g– Grama

h– Hora

m.c.a – Metros de coluna de água

Máx – Máximo

Mín – Mínimo

min– Minuto

ml– Mililitro

mm– Milímetro

MPa – Mega Pascal

N – Newton

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

Nº– Número

°C– Graus Celsius

pH– Acidez

UniCEUB – Centro Universitário de Brasília

## LISTA DE SIMBOLOS

- $m_{sat}$  – Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura
- $m_s$  – Massa da amostra seca em estufa
- $m_i$  – Massa da amostra saturada imersa em água após fervura
- $I_v$  – Índice de vazios
- $\rho_s$  – Massa específica da amostra seca
- $\rho_{sat}$  – Massa específica da amostra saturada
- $\rho_r$  – Massa específica real da amostra
- $S$  – Área da seção transversal
- $C$  – Absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos
- $R_t$  – Resistência à tração na flexão
- $F_t$  – Carga aplicada verticalmente no centro do prisma
- $L$  – Distância entre os suportes
- $R_c$  – Resistência à compressão
- $F_c$  – Carga máxima aplicada

## 1. INTRODUÇÃO

O revestimento de argamassa pode ser entendido como o subsistema que recobre uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber o acabamento final.

Segundo Carasek (2007) as principais funções de um revestimento de argamassa são: proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, integrar o sistema de vedação dos edifícios (térmico, acústico e estanqueidade à água), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais. O revestimento é responsável de 70% a 100% pela estanqueidade à água do sistema de vedação.

A fim de garantir as funções citadas, as argamassas precisam apresentar algumas propriedades como trabalhabilidade, retração, aderência, permeabilidade à água, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações. Os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos são padronizados pela Norma Brasileira ABNT NBR 13281:2005.

A composição dos revestimentos argamassados podem variar bastante, a depender das condições de exposição do sistema, mas basicamente é constituída por cimento, areia e água, podendo conter outros componentes adicionados com o intuito de melhoramento de sua eficiência, como por exemplo a cal, aditivos hidrofugantes, incorporadores ar, superplastificantes, dentre outros com as mais diversas finalidades.

A água é elemento imprescindível em várias etapas na construção civil, contudo um dos principais causadores de manifestações patológicas. De acordo com Leal (2004 apud DARDENGO, 2010) “as patologias mais ocorrentes em edificações brasileiras convencionais com mais de quatro anos de idade são decorrentes da deficiência nas impermeabilizações”.

Atualmente o mercado da construção civil apresenta vários produtos que atuam diretamente no revestimento argamassado para torná-lo mais resistente a penetração da umidade, encontrados na forma de argamassas industrializadas e aditivos. Este trabalho teve como finalidade avaliar os efeitos dos aditivos hidrofugantes. Para isso serão realizados ensaios para comparar a eficiência dos mesmos com relação as propriedades físicas e químicas.

### **1.1. Hipótese**

Esse estudo tem como base o princípio de que o uso de aditivos hidrofugantes e incorporados de ar em argamassas resulta em modificações da mesma tanto no estado fresco como no endurecido, bem como alterações no arranjo da estrutura porosa. Além disso, espera-se resultados pouco expressivos em relação a modificações quanto a resistência mecânica, contudo, efeitos satisfatórios nas propriedades que se referem ao controle da permeabilidade e absorção da água.

### **1.2. Justificativa**

No Brasil as residências populares em sua grande maioria ainda adotam o método construtivo com revestimento à base de argamassas. Apesar dessa técnica estar amplamente difundida ainda são poucos os trabalhos científicos, e definições normativas a seu respeito. Decorrente disso, seu adequado uso fica quase sempre encarregado da experiência adquirida pelos construtores, que possuem apenas o conhecimento empírico. (RESENDE, 2010)

Escassos são os fabricantes que fornecem os dados dos produtos químicos que são utilizados para a produção dos aditivos hidrofugantes, bem como sua dosagem, em vista disso são necessários estudos que demonstrem os efeitos desses aditivos nas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco como no endurecido.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os principais aspectos físicos e mecânicos que o uso de aditivos hidrofugantes ocasiona para o revestimento argamassado.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Verificar se as argamassas aditivadas atenderão à norma NBR 16072 (ABNT 2012), argamassa impermeável;
- Avaliar a influência dos aditivos hidrofugantes na penetração de água por absorção capilar nas argamassas, considerando, para um mesmo traço, diferentes aditivos;
- Comparar a ação dos aditivos hidrofugantes com a dos incorporadores de ar na penetração de água por absorção capilar nas argamassas;
- Verificar a influência do tipo de aditivo (hidrofugantes) nas propriedades estudadas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas, de acordo com os trabalhos de diversos pesquisadores as classificações de umidade, bem como seus mecanismos de transporte e fixação. A abordagem também abrange os fatores que afetam a capilaridade, e como funcionam os aditivos hidrofugantes e incorporadores de ar.

#### 3.1. Argamassas no estado fresco

##### 3.1.1. Trabalhabilidade

Trabalhabilidade pode ser entendida como a associação de várias características da argamassa como a plasticidade, coesão, viscosidade, consistência, adesão inicial, retenção de água e massa específica que permitem a boa execução do serviço de revestimento.

Segundo Carasek (2007), trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas em uma condição homogênea.

Dessa forma, trabalhabilidade é considerada uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, o Quadro 1 sintetiza os fatores externos e internos associados a ela. (BAUER,2005)

Quadro 1 - Fatores associados à trabalhabilidade

<b>Fatores Internos</b>	Teor de água, muitas vezes definida em função da consistência necessária, proporção entre aglomerantes e agregado, distribuição granulométrica, forma e textura dos grãos do agregado, natureza e teor de aditivos (incorporadores de ar, retentores de água, etc.)
<b>Fatores externos</b>	Tipo de mistura, transporte, aplicação no substrato, operações de sarrafeamento e desempenho e características da base de aplicação – tipo de preparo, rugosidade, absorção, etc

Fonte: Adaptado Bauer,2005

##### 3.1.2. Consistência

A consistência é tida como a propriedade da argamassa de resistir aos esforços que causam deformação, bem como a capacidade de a argamassa manter essa tendência ao longo do tempo de aplicação.

Carasek (2007) define a consistência de uma argamassa como “A maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas”.

Para Valdehita Rosello (1976), a depender do teor de água de uma argamassa ela pode ser classificada em:

- Seca quando os agregados se encontram ainda em contato o que gera atrito entre as partículas e por consequência uma aparência mais áspera,
- Plástica quando possui pasta aglomerante nos espaços vazios entre os agregados, o que confere uma boa adesão entre eles sem causar tanto atrito, esse estágio é o considerado mais adequado para argamassas destinadas ao revestimento.
- Fluída quando a coesão entre as partículas se perde devido ao excesso de pasta, nesse estágio os grãos de areia não oferecem nenhum tipo de resistência e o trabalho fica impossibilitado devido a excessiva liquidez da pasta.

### 3.1.3. Plasticidade

É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação. (CARASEK, 2007)

Um fator importante a ser observado é que tal propriedade sofre influência de parâmetros que estão relacionados ao princípio ativo do material, e é vigorosamente acentuada em argamassas com aditivos incorporados de ar. (ALVES, 2002).

### 3.1.4. Densidade de Massa

A densidade de massa, também conhecida como massa específica, determina a relação de peso de um material e seu volume. É determinada pelo método da NBR 13278 (ABNT, 2005), sendo expressa em g/cm<sup>3</sup>.

De acordo com Carasek (2007) a densidade de massa das argamassas varia com teor de ar incorporado por meio de aditivos e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, principalmente do agregado.

### 3.1.5. Retenção de Água

Propriedade da argamassa de assentamento de reter a água de amassamento quando sujeita a forças que proporcionem a perda de água, seja por absorção

excessiva pelo substrato ou perda para o meio por evaporação. A retenção proporciona que o fenômeno de hidratação do cimento possa ocorrer de forma gradativa gerando assim uma melhor resistência final. (HERALDO apud MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998)

A determinação da retenção de água pode ser avaliada pelo método da norma NBR 13277 (ABNT, 2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.

#### 3.1.6. Adesão Inicial

A adesão inicial pode ser entendida como a capacidade de associação inicial da argamassa no estado fresco a um substrato. Esta propriedade está intimamente ligada com a tensão superficial do material. O aditivo incorporador de ar pode atuar como redutor da superfície específica. (CARASEK, 2007)

### **3.2. Argamassas no estado endurecido**

#### 3.2.1. Aderência

A NBR 13528 (ABNT, 2010) - Determinação da resistência de aderência à tração define aderência como a propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. Ainda, afirma que a aderência não é uma propriedade da argamassa e sim das camadas componentes do sistema que se pretende avaliar.

Bauer (2005) admite o fenômeno da aderência como complexo devido a sua dependência da interação entre vários elementos, dos quais podem ser citados o intertravamento mecânico, a difusão de moléculas, a transferência de elétrons no contato interfacial e a adsorção de partículas. Em suma para um melhor aproveitamento da argamassa deve-se buscar uma compatibilização das propriedades do substrato com a argamassa.

Carasek (2001) afirma que a aderência, é uma propriedade essencial para as argamassas de assentamento, uma vez que é ela quem proporciona à parede resistir aos esforços de cisalhamento e de tração, além de garantir a estanqueidade das juntas, impedindo a penetração da água das chuvas.

A aderência possui limites fixados pela NBR 13749 (ABNT, 2013), os quais são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites de resistência de aderência à tração

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

### 3.2.2. Capacidade de absorção de deformações

Carasek (2007) afirma que capacidade de deformação é complexo pois está associada ao módulo de elasticidade da argamassa e influenciará tanto na fissuração como na aderência dos revestimentos. O revestimento argamassado deve poder deformar-se sem romper, de modo a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade.

A capacidade de absorção de deformações do sistema de revestimento é essencial para o desempenho final do conjunto. O aumento do consumo de cimento gera acréscimo no módulo de deformação, tornando a estrutura mais rígida tornando as mesmas mais suscetíveis a deformações que gerem fissuras. (BAUER, 2005)

### 3.2.3. Resistência mecânica

Um dos grandes problemas relacionados a resistência mecânica é produzir a baixa resistência superficial dos revestimentos que se traduz na pulverulência o que prejudica a fixação das próximas camadas de acabamento como a pintura e o revestimento cerâmico. (CARASEK, 2007).

Segundo Bauer (2005), o cimento é o elemento essencial para esta propriedade, pois por meio dele que a argamassa adquire rigidez e por conseguinte resistência. Contudo, o aumento exagerado desse material pode deixar a argamassa pouco deformável, o que pode vir a gerar fissuras e até mesmo deslocamento.

Algumas pesquisas avaliaram o efeito do uso de aditivos sobre a resistência mecânica das argamassas. Salomão (2016) ensaiou várias argamassas com cinco diferentes aditivos hidrofugantes e um incorporador de ar, e concluiu que a resistência das argamassas com aditivos hidrofugantes aumentou em relação à referência, contudo aquela com aditivo incorporador de ar teve perda de resistência. Já Resende

(2010) em sua pesquisa avaliando apenas aditivos incorporadores de ar, constata que, até certo teor, o aditivo pode conferir maior resistência mecânica a argamassa pois diminui sua relação a/c.

#### 3.2.4. Retração

A retração é um mecanismo que está essencialmente associado a variação de volume da pasta devido à perda rápida e acentuada da água de amassamento pelas reações que ocorrem na hidratação dos aglomerantes. Esse fenômeno se não for bem controlado é o principal causador de fissuras nos revestimentos. Portanto argamassas com maior teor de cimento estão mais propícias ao aparecimento de fissuras. (SANTOS, 2008)

De acordo com Carasek (2007), o fenômeno da retração é resultado de um mecanismo complexo, relacionado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade.

Resende (2010) afirma que o aditivo incorporador de ar diminui substancialmente a retração hidráulica, reduzindo a fissuração das argamassas.

### **3.3. Aditivos**

Vários são os produtos oferecidos no mercado da construção civil destinados a manter a estanqueidade das argamassas, contudo pouco se sabe sobre a real eficiência dos mesmos, segundo Bauer (2006):

“O surgimento no mercado de uma gama considerável de materiais (como novas alternativas) para a produção de argamassas. Como exemplos cabe destacar, desde cales (hidratadas, aditivadas e pré-misturadas com cimento), aditivos para produção das argamassas industrializadas ou para a produção em canteiro de obra (incorporadores de ar, retentores de água, aditivos poliméricos), fibras sintéticas, e até novas concepções de agregados com dimensões e granulometrias específicas para cada aplicação. Neste contexto, é cada vez mais notório que a simples experiência não é suficiente, sendo necessária uma avaliação mais precisa sobre a parcela de contribuição de cada material na composição das argamassas.”

Os aditivos são produtos que podem ser utilizados na confecção de argamassas, concretos e caldas de cimento com o intuito de modificar certas propriedades do material no estado fresco ou endurecido. Eles podem ser classificados em três grupos

segundo sua ação principal, física, química e físico-química. Suas substâncias ativas podem ser tanto orgânicas como inorgânicas dispersadas em veículo pastoso, líquido ou sólido, tais substâncias são: sais minerais, sais de ácidos orgânicos, resinas, tensoativos, dispersores, umectantes e emulsionantes. (BAUMGART, 1999).

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), aditivos são produtos adicionados à argamassa em pequena proporção com o propósito de aprimorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido. A norma ainda aborda a definição dos principais aditivos com suas respectivas funções:

- Hidrofugante: aditivo que reduz a absorção de água da argamassa por capilaridade, este aditivo será melhor abordado no tópico seguinte;
- Incorporador de ar: aditivo capaz de formar microbolhas de ar, homogeneamente distribuídas na argamassa, reduzindo sua densidade e conferindo-lhe melhor trabalhabilidade, este tópico será melhor abordado futuramente;
- Retentor de água: aditivo que reduz a evaporação e exsudação de água da argamassa no estado fresco e lhe confere capacidade de retenção de água frente a sucção por bases absorventes;
- Polímero auxiliador de aderência: aditivo polimérico que melhora as propriedades de aderência e deformação das argamassas;
- Espessante aumenta a viscosidade das argamassas;
- Acelerador/retardador de pega: altera a velocidade de pega do aglomerante;

### 3.3.1. 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 aditivos é muito considerado. Devido a isso 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, LANAS e ÁLVARES, 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) afirma que a aceitação de um aditivo depende do seu desempenho e fixa requisitos mínimos exigidos para seu desempenho. (Tabela 2 e Tabela 3).

Tabela 2 - Critérios de desempenho de argamassas com aditivos impermeabilizantes

Item	Critérios		Variação	Método de ensaio
	Requisitos	Unidade		
1	Resistência à penetração de água sob pressão por 120h.	m.c.a	mín. 5	ABNT NBR 107787
2	Tensão de aderência, após 28 dias de cura.	MPa	mín. 0,3	ABNT NBR 15258
3	Variação de consistência após 1h.	%	máx. 10	ABNT NBR 13276

Fonte: NBR 16072 (ABNT, 2012)

Tabela 3 - Requisitos e critérios de desempenho da argamassa com aditivo impermeabilizante

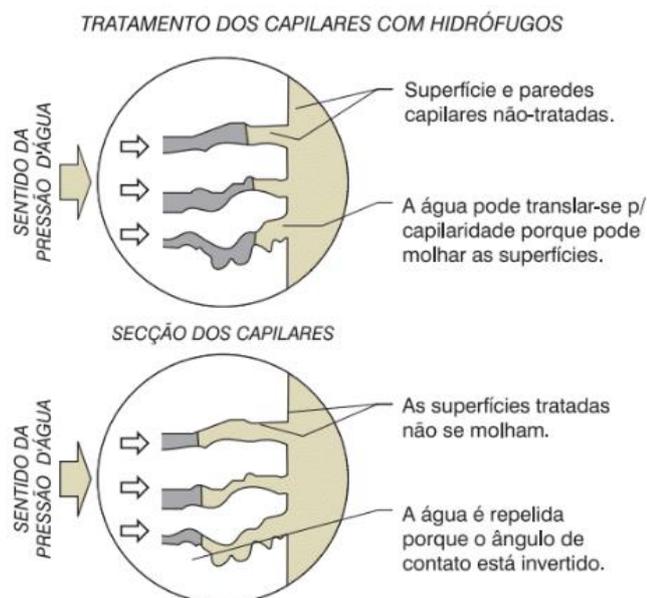
Item	Requisitos		Critérios		Método de ensaio
			Unidade	Variação	
1	Resistência de ruptura à compressão	7 dias	%	≤ 20	ABNT NBR 13279
		28 dias	%	≤ 20	
2	Resistência à tração na flexão após 28 dias	%	≤ 20		
3	Tempo de pega	Inicial	h	Não mais do que 1h antes nem 1h e 30 min depois	ABNT NBR NM 9
		Final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

Fonte: NBR 16072 (ABNT, 2012)

Segundo Baumgart (1999) há essencialmente três tipos de impermeabilizantes, são eles, os sais orgânicos, que proporcionam o bloqueio dos poros por meio dos sais de cálcicos insolúveis resultantes da reação dos sais com a cal livre do cimento. Os materiais hidrófugos que já estão em sua forma final, portanto não reagem com o

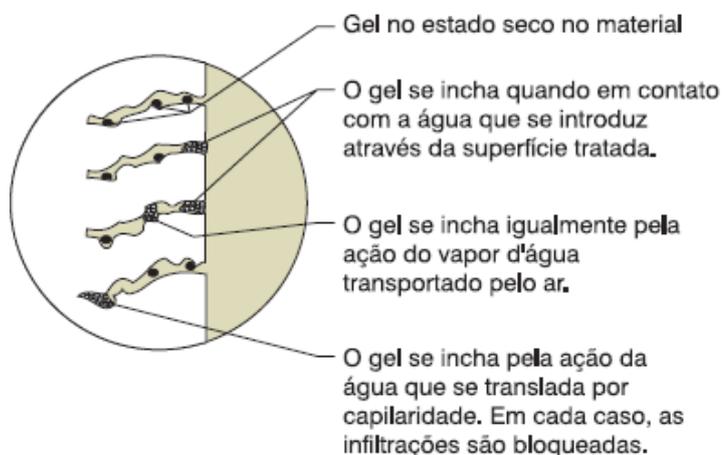
cimento (Figura 1) e por fim os géis orgânicos ou inorgânicos que são compostos por células globulares que se quebram no meio alcalino do cimento e aglutinam-se na presença de água reduzindo a seção dos poros, princípio cristalizante (Figura 2).

Figura 1 - Tratamento da capilaridade com hidrófugos



Fonte: Baumgard, 1999

Figura 2 - Tratamento da capilaridade com gel cristalizante



Fonte: Baumgard, 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, as características dos aditivos utilizados, Tabela 4. 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%,

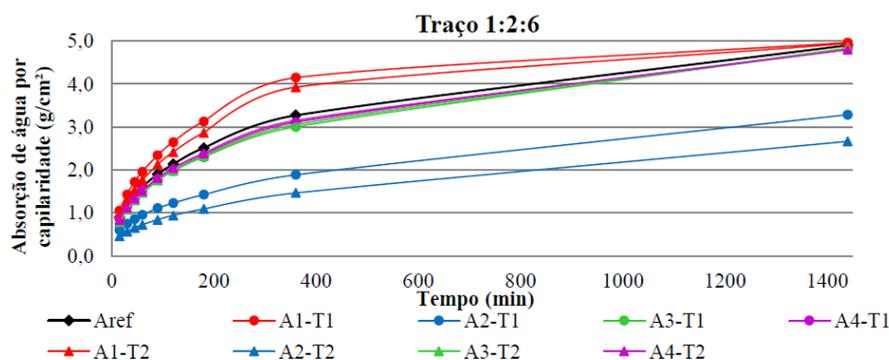
Gráfico 1. Observa-se uma redução significativa na absorção por capilaridade apenas na argamassa com aditivo 2 (hidrofugante).

Tabela 4 - Características dos aditivos

Tipo de aditivo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade	Dosagem recomendada pelo fabricante	Composição
Aditivo 1	1,10	Impermeabilizante	1% da massa do cimento	Cimento Portland, sílica e diversas substâncias químicas ativas
Aditivo 2	0,30	Hidrofugante	0,15 a 0,5% da massa de materiais secos	Estretrato de cálcio (99,5% de concentração)
Aditivo 3	1,05	Impermeabilizante	4% da massa de cimento	Sais metálicos e silicatos
Aditivo 4	1,00 - 1,10	Impermeabilizante	4% da massa de cimento	Sais inorgânicos

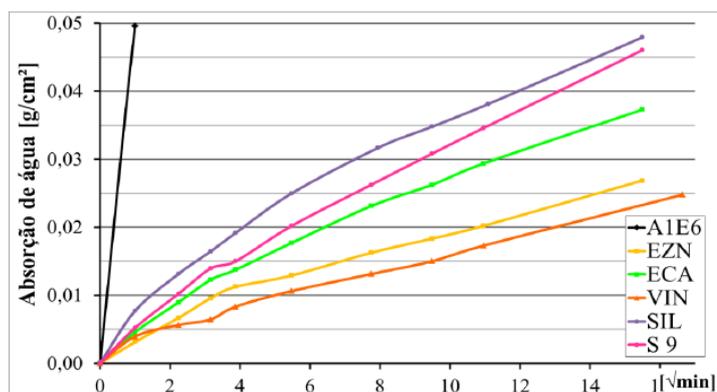
Fonte: Gasques, Rigo, & Gava ,2016

Gráfico 1 - Absorção de água por capilaridade



Outro estudo na área de impermeabilizantes foi o realizado por Salomão (2016) que avaliou a mudança na estrutura porosa de argamassas aditivadas, para tanto foram testados quatro aditivos hidrofugantes e uma argamassa industrializada. A pesquisa concluiu que o uso dos produtos conseguiu reduzir a permeabilidade da argamassa em relação a de referência (A1E6), conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 - Curva de absorção de água por capilaridade de argamassas com hidrofugantes



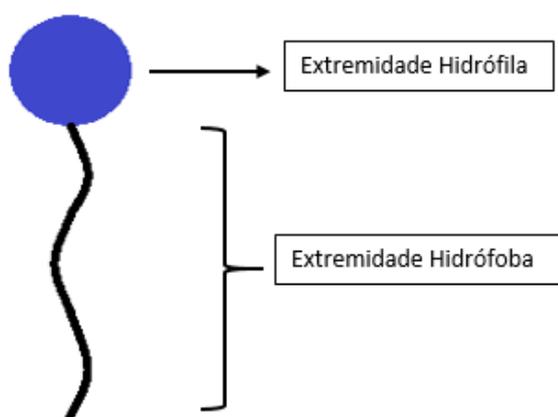
Assim, os trabalhos apresentados demonstram que os aditivos impermeabilizantes já foram tema de estudo de alguns trabalhos e, apesar de seu desempenho não ser ainda totalmente compreendido, suas propriedades vêm sendo cada vez mais investigadas.

### 3.3.2. Incorporadores de Ar

Os aditivos incorporadores de ar (IA) podem ser definidos basicamente como substâncias orgânicas que quando adicionadas ao concreto ou à argamassa geram microbolhas de ar não interconectadas e espalhadas de forma uniforme. (ALVES 2002)

Os IA são classificados como de ação física e possuem como matéria-prima básica o ácido abiético, alquil-arilsulfonatos e os sais de ácidos graxos. Esses aditivos têm como característica a propriedade de reduzir a tensão superficial da água devido a suas longas cadeias de carbono, que possuem duas extremidades conforme Figura 3. Além disso, as microbolhas possuem estabilidade ao se aderirem às partículas sólidas dos agregados o que gera uma significativa redução da exsudação, para mais, o fato dos poros não serem interconectados reforça a impermeabilidade das argamassas e concretos. (BAUMGART, 1999)

Figura 3 - Representação de uma molécula de tensoativo

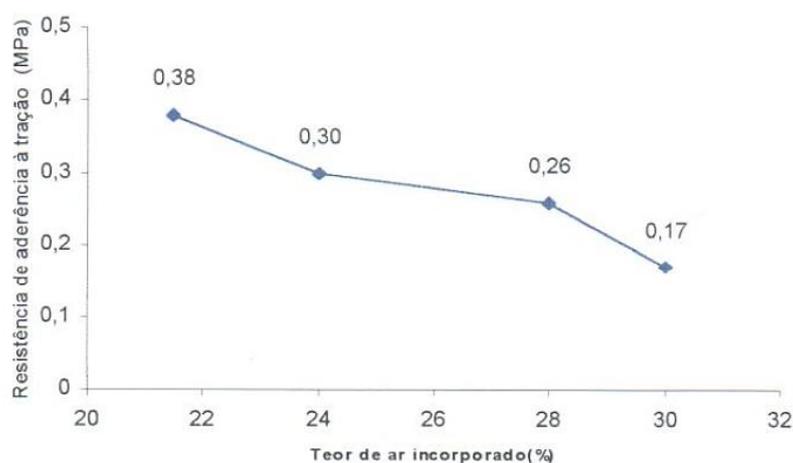


Fonte: adaptado de RESENDE Apud MARTIN,2005

Outra definição é aquela encontrada na NBR 11768 (ABNT, 2011), substância que durante o amassamento permite introduzir uma quantidade controlada de pequenas bolhas de ar na argamassa, uniformemente distribuídas, que permanecem no estado endurecido.

Vale a pena destacar alguns trabalhos na área de avaliação desse tipo de aditivo. A exemplo de Alves (2002) que estudou sua ação em argamassas de revestimento, em relação ao seu mecanismo de ação e à sua influência nas principais propriedades da argamassa e concluiu que quase todas as propriedades são melhoradas, a exceção da resistência de aderência a tração a qual é inversamente proporcional ao teor de ar. (Gráfico 3)

Gráfico 3 - Influência do teor de ar na resistência de aderência à tração



Fonte: Alves, 2002

Resende (2010) também examinou a influência da variação do teor de ar nas propriedades mecânicas das argamassas e revestimentos por meio de experimentos, que verificaram como a mudança do tipo de superfície influencia na resistência de aderência à tração e no desgaste do corte. Concluiu também que existe um teor ótimo de ar incorporado, no qual todas as propriedades mecânicas são mantidas e ainda ocorre a melhoria de desempenho quanto à redução da permeabilidade.

### 3.4. Classificação das umidades

A água é elemento essencial em quase todas as fases de uma obra, como por exemplo, na fabricação de argamassas, concretos e até mesmo no processo de produção de alguns tipos de tintas e solventes. 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).

Durante toda a vida útil da obra, mesmo depois de finalizada, a água permanece interferindo nas construções. Sua interação pode ocorrer devido às chuvas, à umidade do ar ou até mesmo à 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.

Verçoza (1991) afirma que a umidade é um fenômeno complexo pois, não apenas causa patologia como também proporciona meios para que grande parte das patologias em construções se realizem, como por exemplo, eflorescências, ferrugens, bolores, perdas de pintura entre outros.

A umidades podem ser classificadas conforme sua origem nas construções, como demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Origem da umidade nas construções

<b>Origem</b>	<b>Localização</b>
Execução da construção	Confecção do concreto e argamassa Execução de pinturas
Oriunda das chuvas	Coberturas Paredes Lajes de terraços
Trazida por capilaridade	Solo, através do lençol freático
Vazamentos de redes de esgoto e água	Paredes Telhados Pisos Terraços
Condensação	Paredes Locais com pouca ventilação Ambientes molhados

Fonte: adaptado KLEIN, 1999

### 3.4.1. Mecanismos de transporte da umidade

Os efeitos da umidade em alvenaria em contato com o solo são de difícil estudo e controle, pois a água que se aloja no revestimento advém da umidade natural presente no solo, que é variável a depender das condições climáticas. Segundo Salomão (2016) a forma de transferir e fixar a água (umidade) por meio de um corpo poroso se dá por quatro tipos de mecanismos a difusão, condensação, evaporação e capilaridade.

Além das condições de contorno, o movimento de água e outros líquidos nos sólidos porosos depende de características intrínsecas do material, como estrutura dos poros (tamanho efetivo), configuração e distribuição, assim como das propriedades dos líquidos, tensão superficial e viscosidade. (BAUER, 2006)

Alguns dos materiais mais comuns na construção civil, como os blocos cerâmicos e as argamassas, são constituídos de pequenos poros. Esses vazios são

interconectados, formando uma rede porosa capaz de transportar substâncias gasosas e líquidas. (SALOMÃO, 2012)

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.

Segundo Berger (2014) a migração da umidade é estreitamente relacionada a estrutura porosa, visto que à escala microscópica, os materiais porosos são heterogêneos. Todavia, para o estudo do comportamento do material em relação à estocagem de umidade, considera-se como homogêneo na escala macroscópica.

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). No Quadro 3 apresentam-se esquematicamente os mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais conforme o estado físico em que se encontra a água.

Quadro 3 - Mecanismos de deslocamento de umidade nos materiais

<b>Estado físico da água</b>	<b>Froças que causam o deslocamento da água</b>	
Líquido	Capilaridade	
	Forças externas	Inércia
		Gravidade
		Pressão do vento
Gasoso (vapor)	Difusão	
	Convecção	

Fonte: Polisseni, 1985

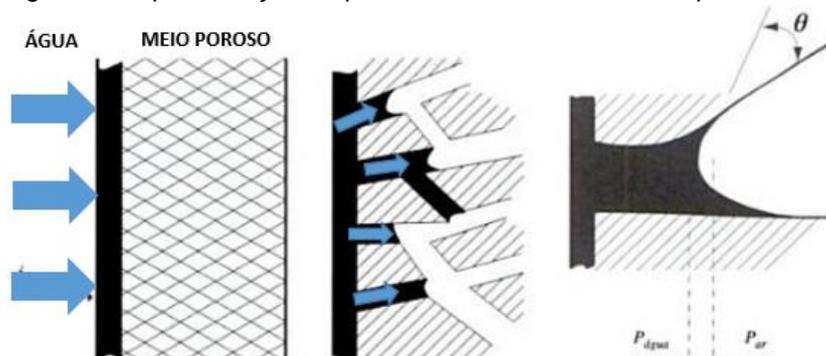
Ao mecanismo de transporte da água na fase líquida, capilaridade, será dado maior ênfase. Tal fenômeno pode ser definido como o fluxo ascendente de água, originada do solo, que permeia a estrutura porosa de um material. Essa ascensão nas alvenarias pode ocorrer a diferentes alturas, isso depende das condições de evaporação da água e da porosidade do material.

A capilaridade é a propriedade de um material de 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 e o ângulo de contato capilar. (PINTO, 1998)

De acordo com Salomão (2016), o transporte gerado pela capilaridade é consequência direta da força de atração química de contato entre o líquido e o material

sólido. Esta força pode ser descrita como a ação combinada da tensão superficial da água e da adesão das moléculas de água na superfície interna do poro. (Figura 4)

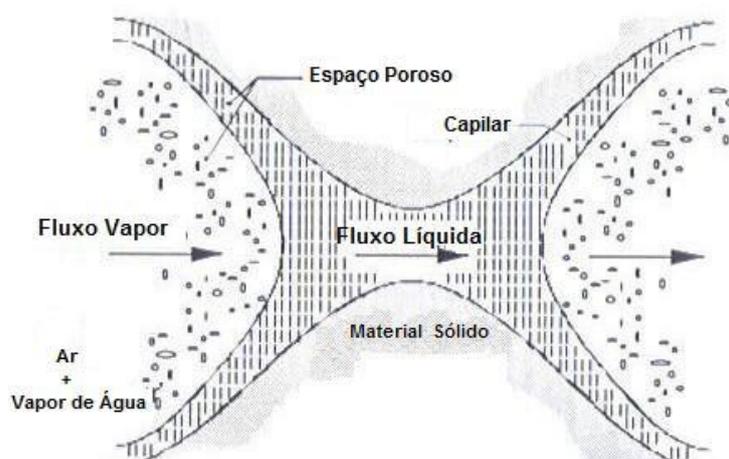
Figura 4- Representação esquemática do fenômeno da capilaridade



Fonte: Adaptado FREITAS et al., 2008

O modelo teórico proposto por Phillip e Vries (1957) tem grande aceitação no meio acadêmico e 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, como mostra com a Figura 5. (ANDERSON ,1985 apud VALEN, 1998)

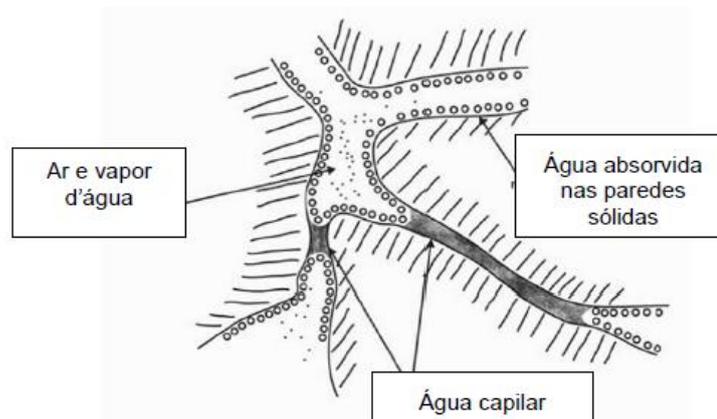
Figura 5 - Transporte de umidade combinado em um material poroso como séries de transporte de vapor de água e água líquida.



Fonte: Valen ,1998

Os poros capilares, que formam uma rede de canais intercomunicantes ao longo de toda a massa, são decorrentes essencialmente da evaporação do excesso de água de amassamento. Após o endurecimento do material, parte dessa água evapora, ficando uma rede capilar com os poros menores saturados de água e os maiores contendo ar e vapor do seu interior e uma película de água absorvida ao longo de suas paredes como é possível verificar na Figura 6 (FUSCO, 2008).

Figura 6 – Detalhe da massa endurecida



Fonte: Fusco, 2008

### 3.4.2. Fatores que interferem na 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 de os 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 ascende do solo úmido (umidade ascensional) ocorre nas fundações, nas baldrames e alvenarias das edificações devido às condições do solo úmido e à 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 essa 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 Mustelier (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 as 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 massa 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)

A diminuição da tensão superficial pelo aditivo faz com que a argamassa aditivada perca água para o substrato de forma mais lenta reduzindo a pressão capilar, além das bolhas de ar obturarem estes capilares, desconectando-os, impedindo ou reduzindo o fluxo de água, tornando estas argamassas mais impermeáveis, conforme constatado nos ensaios de absorção capilar e absorção pelo método do cachimbo. (RESENDE, 2010)

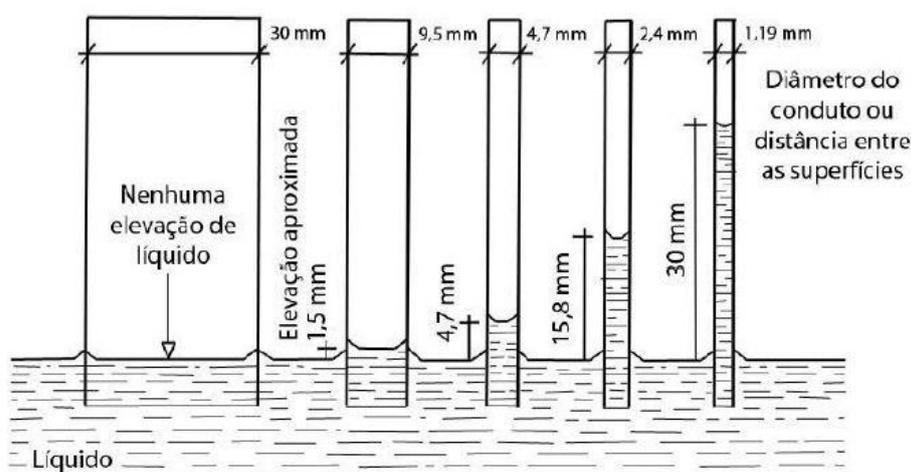
### **3.5. Umidade ascendente**

Umidade ascendente é definida como aquela na qual existe um fluxo de água no sentido vertical sendo que essa água vem do solo e vai se infiltrando na estrutura dos materiais até alturas significativas que dependem de características do próprio material e da sua estrutura porosa, da 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 esse estudo mostrando em seu trabalho que, materiais que possuem estrutura porosa fazem a água migrar por capilaridade, isto quando no material não existe 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 7.

Figura 7 - 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).

O problema típico de umidade ascensional em paredes em contato com o solo, devido ao fenômeno da capilaridade das argamassas e alvenaria. (Figura 8)

Figura 8– Efeitos da umidade ascensional em paredes residenciais



Fonte: CSTC-NIT n° 140, 2014

## 4. METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, foram elaborados 4 tipos de argamassas de revestimento de parede sendo uma de referência, composta por cimento, areia, aditivo incorporador de ar (na proporção de 0,4%) e plastificante (0,3%), e para as demais foi utilizada a mesma base variando apenas o aditivo hidrofugante adicionado a mistura.

A argamassa que não possui aditivo hidrofugante foi nomeada de referência e as outras com adição de três diferentes aditivos, receberam o nome de A, B e C.

Os aditivos escolhidos para a pesquisa foram selecionados buscando os mais vendidos no mercado da construção civil de Brasília.

### 4.1. Caracterização dos materiais

A argamassa utilizada na pesquisa foi composta de areia de rio, água, cimento Portland CP-II-F-40, produzido pela indústria Votorantim, aditivos AE 20 (plastificante e retardador de pega) e AE 10 (Incorporador de ar).

#### 4.1.1. Cimento

Os ensaios de caracterização do cimento foram os descritos nas normas: NBR 11579/91 - Determinação da Finura Por Meio da Peneira 75 Micrometros, NBR 7215 -Determinação da Resistência a compressão e por fim NBR NM 65 -Início e Fim de Pega. Os dados encontrados estão discriminados na Tabela 5.

Tabela 5 - Índices físicos e mecânicos do cimento

Ensaio Característico		Limites NBR 11578	CP-II-F-40
Finura (%)	# 200	≤10	0,1
Tempo de Pega	Início (min)	≥60	150
	Fim (min)	≤600	215
Resistência a compressão	3 Dias	≥15	36,5
	7 Dias	≥25	40,6
	28 Dias	≥40	46,1

Fonte: Autora

#### 4.1.2. Agregado

O agregado utilizado na argamassa foi areia de rio Figura 9.

Figura 9 - Local de armazenagem da areia na empresa



Fonte: Autora

Os ensaios realizados para caracterização do agregado miúdo utilizado nesta pesquisa foram três e estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Ensaio de Caracterização da areia

Descrição	Norma
Determinação da Composição Granulométrica	NM 248/09
Determinação da massa unitária e do volume de vazios	NM 45/06
Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman	NBR 9776/87

O ensaio de determinação da composição granulométrica tem os resultados expressos na Tabela 6.

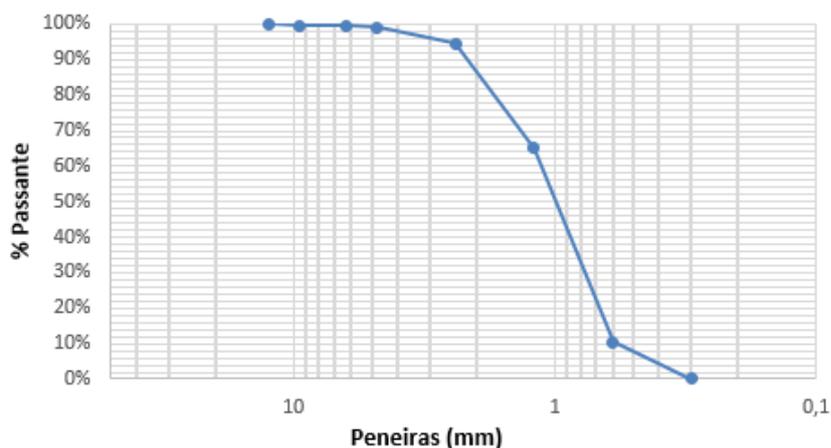
Tabela 6 - Granulometria do agregado utilizado na pesquisa

Peneiras (mm)	Massa Peneira Vazia (g)	Massa Peneira + Amostra (g)	Massa amostra (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem que passa (%)
6,3	417,32	417,32	0,00	0	0	100
4,8	441,54	442,64	1,10	0	0	100
2,4	372,59	373,03	0,44	0	1	99
1,2	341,43	342,65	1,22	0	1	99
0,6	312,25	325,46	13,21	4	5	95
0,3	323,82	412,56	88,74	30	35	65
0,15	303,18	466,28	163,10	54	89	11
0,075	315,19	346,69	31,50	11	100	0
<b>Módulo de Finura (%): 2,32</b>				<b>Dimensão Máxima (mm): 0,6</b>		

Fonte: Autora

A curva granulométrica dos resultados encontrados está representada no Gráfico 4. Já o aspecto visual da areia após peneiramento está ilustrado na Figura 10.

Gráfico 4 - Curva granulométrica do agregado utilizado



Fonte: Autora

Figura 10 - Aspecto da areia após peneiramento



Fonte: Autora

O segundo ensaio foi o de determinação da 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 7.

Tabela 7 - Massa unitária do agregado utilizado

Volume do recipiente = 2280,88 cm <sup>3</sup>	1ª medição da areia seca (g)	2ª medição da areia seca (g)	3ª medição da areia seca (g)
	2907,4	2932,1	2899,7
Massa específica unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,275	1,286	1,271
Massa específica unitária média (g/cm <sup>3</sup> )	1,27		

Fonte: Autora

Por último foi realizado o ensaio de determinação da massa específica (Figura 11), ou seja, a massa do agregado sem considerar os vazios, utilizando para isso o recipiente denominado frasco Chapman conforme, NBR 9776 (ABNT, 1987), Tabela 8.

Figura 11 - Ensaio para determinação da massa específica



Fonte: Autora

Tabela 8- Massa específica do agregado utilizado

Massa inicial de areia (g)	Quantidade de água (ml)	1ª medição do frasco (ml)	2ª medição do frasco (ml)
500	200	389	390
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,65		

Fonte: Autora

#### 4.1.3. Aditivos

Os aditivos utilizados na pesquisa foram escolhidos de tal forma que abrangessem alguns dos impermeabilizantes mais usados nas obras convencionais

em Brasília, e que trabalhassem todos pelo princípio de hidrofugação dos capilares. A partir disso, foram feitas argamassas com esses aditivos, nomeadas de A, B e C. Suas características estão demonstradas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características físico-químicas dos aditivos

Aditivo	Aparência	Peso específico	pH
A	Líquido branco pastoso	1,05	12,0 - 13,0
B	Líquido branco pastoso	0,98 - 1,12	10,7 - 11,1
C	Líquido branco gelatinoso	1,00 - 1,05	10,0 - 12,0

Fonte: Autora

De modo a proporcionar uma comparação que refletisse melhor as propriedades entre os aditivos, foi adotada uma quantidade padrão de aditivo para todas as argamassas preparadas. Essa quantidade, que é a indicada pelos fabricantes, é de 4% sobre a massa do cimento.

## 4.2. Ensaios com a argamassa no estado fresco

### 4.2.1. Ensaio de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005) – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, a qual descreve os métodos de determinação do teor de ar incorporado pelo método gravimétrico.

Com o objetivo de executar o ensaio, após o preparo da argamassa, a mesma foi introduzida em um recipiente cilíndrico, Figura 12, em três camadas aproximadamente iguais, a cada camada foi aplicado 20 golpes de um soquete.

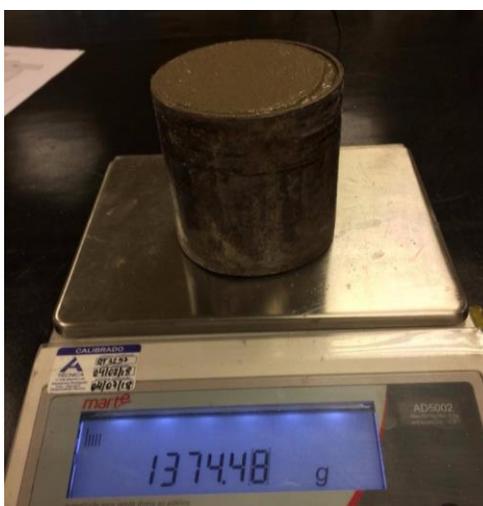
Figura 12 - Cilindro para ensaio



Fonte: Autora

Após o processo de execução e golpeamento das camadas, efetuou-se três quedas do recipiente a uma altura de 3 cm, de modo a eliminar vazios entre a argamassa e o recipiente, por fim o recipiente foi rasado e só então sua massa foi registrada (Figura 13).

Figura 13 - Ensaio de determinação do teor de ar



Fonte: Autora

Com este ensaio é possível determinar a densidade de massa das argamassas, Equação 1:

$$d = \frac{mc - mv}{vr} 1000 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

mc é a massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio;

$m_v$  é a massa do recipiente cilíndrico vazio;  
 $v_r$  é o volume do recipiente cilíndrico.

A Equação 2 serve para determinação do teor de ar incorporado:

$$A = 100\left(1 - \frac{d}{dt}\right) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$d$  é o valor da densidade de massa da argamassa;

$dt$  é o valor da densidade de massa teórica da argamassa;

Segundo a norma para argamassas dosadas em obra, como é o caso da utilizada nesta pesquisa, o valor de densidade teórica deve ser calculado de acordo com a Equação 3.

$$dt = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$m_i$  é a massa seca de cada componente da argamassa;

$\gamma_i$  é a massa específica de cada componente da argamassa.

#### 4.2.2. Ensaio do índice de consistência

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

Para realização deste ensaio foi necessário preparar a argamassa coloca-la dentro do molde tronco-cônico em três camadas, aplicando 15, 10 e 5 golpes com o soquete a cada camada inserida. Após preencher o molde e efetuar o arrasamento da massa com a régua metálica foi ligou-se a mesa para que ela efetuasse 30 golpes consecutivos. (Figura 14)

Figura 14 –Tronco de cone usado como molde



Fonte: Autora

Em seguida, com o auxílio de um paquímetro foi aferido o diâmetro dos espalhamentos das argamassas. Esses 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 15).

Figura 15 - Medição do espalhamento da argamassa



Fonte: Autora

O traço padrão a ser utilizado na pesquisa foi o de 1:5,8 (cimento:areia em volume), que foi escolhido por ser um traço usual em revestimentos argamassados, conforme Barros (2010).

Além disso foi utilizado aditivo incorporador de ar em todos os traços com 0,4% em relação a massa de cimento, com propósito de melhorar a trabalhabilidade, diminuir a relação água cimento, tornar as argamassas mais leves e mais coesas, facilitando assim o seu manuseio e a moldagem dos corpos de prova conforme relatos Gava, Mancini e Sakai (2015).

O objetivo deste ensaio é definir a quantidade adequada de água da mistura da argamassa, já que inicialmente não se tem uma relação água cimento pré-definida.

Portanto seguindo instruções da norma adotou-se a quantidade de água necessária para espalhamento da argamassa sobre a mesa de  $260 \pm 5$  mm.

Para atingir esse espalhamento foi necessário dosar, experimentalmente, a quantidade de água necessária para que cada um dos 4 traços (referência, A, B e C) obtivessem o mesmo espalhamento de  $260 \pm 5$  mm. Foi adotado esse tipo de metodologia a fim de comparar se o aditivo utilizado interferiria na quantidade de água, reduzindo ou aumentando a mesma.

### 4.3. Ensaios com a argamassa no estado endurecido

As descrições dos ensaios realizados com a argamassa no estado endurecido estão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Ensaios no estado endurecido

Estado	Descrição	Norma	Corpos de Prova			Idade (dias)
			Formato	Dimensão	Quantidade de CP por ensaio	
Endurecido	Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	NBR 9778	Cilíndricos	5x10 cm	4	28
	Determinação da absorção de água por capilaridade	NBR 9779	Cilíndricos	5x10 cm	3	28
	Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	NBR 13279	Prismáticos	4x4x16 cm	3	28
	Determinação da resistência de aderência à tração	NBR 13528	Bloco de concreto	9x19x39 cm	12	28
	Determinação da absorção de água sob baixa pressão (Cachimbo)	CSTC-NIT n° 140	Bloco de concreto	9x19x39 cm	3	28

Fonte: Autora

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 1:5,8 em massa. Para confecção das argamassas, primeiramente, colocou-se o cimento, em seguida o aditivo hidrofugante já diluído na água, com exceção da de referência, depois a areia foi gradativamente adicionada.

Para a 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, por um período de 28 dias, até o prazo para a realização dos ensaios. A Figura 16 ilustra os corpos de prova cilíndricos nos moldes e em processo de cura.

Figura 16 - Corpo de prova cilíndricos



Fonte: Autora

A moldagem dos corpos de prova prismáticos (Figura 17) ocorreu conforme NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 17 - Corpo de prova prismático no molde



Fonte: Autora

Utilizou-se o adensamento mecânico com auxílio da mesa de adensamento por queda (Figura 18), com disposição de 2 camadas de argamassa aproximadamente iguais, sendo que cada camada foi adensada com 30 golpes.

Figura 18 – Mesa de adensamento com o molde prismático



Fonte: Autora

Por último efetuou-se a aplicação da argamassa sobre os blocos de concreto, que serão utilizados para o ensaio do cachimbo e aderência, com auxílio de um gabarito de madeira com espessura de 2 cm, afim de manter a energia de assentamento uniforme para todos os blocos, padronizando a altura de queda em 60 cm para todos os traços. (Figura 19)

Figura 19 - Molde dos blocos de concreto



Fonte: Autora

#### 4.3.1. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Este ensaio foi realizado conforme NBR 9778 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica) (ABNT 2005), aos 28 dias, utilizando-se 4 corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) para cada traço, totalizando 16.

A absorção de água por imersão (A) 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. (Equação 4)

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

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) corresponde à relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra. (Equação 5)

$$Iv = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

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

A massa específica da amostra seca ( $\rho_s$ ) é a relação entre a massa seca do material e o volume total, incluindo todos os poros permeáveis e impermeáveis, Equação 6.

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (\text{Eq. 6})$$

Já o cálculo da massa específica da amostra saturada ( $\rho_{sat}$ ) é dado pela Equação 7.

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (\text{Eq. 7})$$

A massa específica real da amostra ( $\rho_r$ ) é a relação entre a massa seca do material e o volume total, excluindo os poros permeáveis. (Equação 8)

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (\text{Eq. 8})$$

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 esse período, os Cp's foram levados à fervura gradual em banho maria durante 5 h, Figura 20. 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.

Figura 20– Corpos de prova sendo levados à fervura por 5h



Fonte: Autora

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

A realização deste ensaio ocorreu conforme NBR 9779 (Determinação da absorção de água por capilaridade) (ABNT, 2013) que simula a forma de ascensão capilar da água em revestimentos e concretos endurecidos.

Para este ensaio foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos para cada traço feito, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996), totalizando 12 amostras. Após 24 h os corpos de prova foram desmoldados e postos em cura por 28 dias, em seguida colocados na estufa por 24h. Logo depois, assim que completaram 28 dias, foram dispostos em um recipiente preenchido com água de forma que sua base estivesse, constantemente, em contato com uma lâmina de água de 5mm, como apresentado na Figura 21. Dessa maneira foram determinadas as massas da amostra com 3h, 6h, 24h e 48h, retornando imediatamente ao recipiente com água após a pesagem.

Figura 21 –Recipiente preenchido por água



Fonte: Autora

A absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos (C) foi calculada pela Equação 9:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{s} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

S é a área da seção transversal (em cm<sup>2</sup>), neste caso, 19,6 cm<sup>2</sup>.

Terminada as outras etapas, as amostras foram rompidas diametralmente com auxílio de uma prensa, Figura 22.

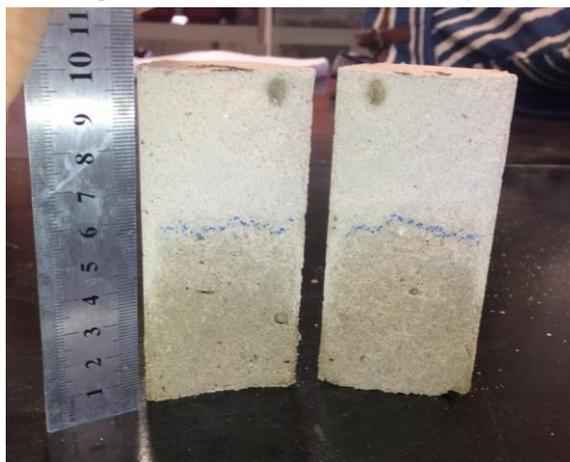
Figura 22 - Rompimento diametral



Fonte: Autora

Após o rompimento diametral, a altura máxima de ascensão capilar foi aferida com o auxílio de uma régua (Figura 23).

Figura 23–Altura da ascensão capilar



Fonte: Autora

#### 4.3.3. Ensaio do Cachimbo

Para o ensaio foram utilizados 4 blocos de concreto com revestimento de 2 cm de argamassa para cada traço estudado. Este ensaio 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 à baixa pressão exercida por uma coluna de água acoplada a amostra com o auxílio de tubos de vidro graduados de 0 a 4 ml, denominados tubos de Carsten (Figura 24).

Figura 24 – Tubos de Carsten



Fonte: Autora

Para este ensaio foram utilizadas 3 aferições por bloco de concreto. Primeiramente, fixou-se os tubos graduados (cachimbos), com auxílio de silicone (Figura 25), nos corpos de prova de argamassa.

Figura 25 - Silicone utilizado para aderir os cachimbos ao corpo de prova



Fonte: Autora

Após 40 minutos, preencheram-se os tubos com água até à graduação 4 ml e então foram feitas as leituras em cada um dos (três) cachimbos, verificando o deslocamento da lâmina d'água observado nos tubos com 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 35 minutos.

#### 4.3.4. Ensaio para determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

O ensaio ocorreu em conformidade com a NBR 13279 (ABNT, 2005) Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão, que apresenta o procedimento para a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão de argamassas.

Para à realização deste ensaio foram utilizados 3 corpos de prova prismáticos para cada traço de argamassa, Figura 26, moldados de acordo com a norma todos os traços no mesmo dia.

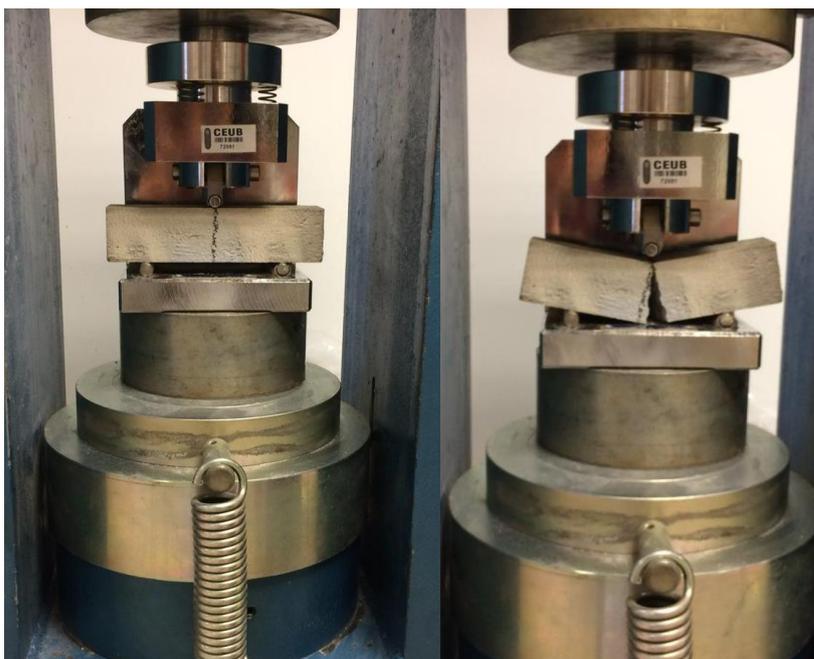
Figura 26- Corpos de prova prismáticos



Fonte: Autora

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 27).

Figura 27 - Determinação da resistência à tração na flexão



Fonte: Autor

A resistência à tração na flexão, Equação 10:

$$R_t = \frac{1,5LF_t}{40^3} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

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

$F_t$  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>

A última etapa do ensaio corresponde à resistência à compressão axial, para isso foram utilizadas as metades das amostras rompidas na etapa anterior. Posicionou-se então os corpos de prova sobre as lâminas que delimitam a área de contato para 1600cm<sup>2</sup>, no dispositivo de carga típico para ensaios de resistência a compressão e então aplicou-se uma carga até a ruptura dos mesmos (Figura 28).

A resistência à compressão axial, Equação 11:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (\text{Eq. 11})$$

Sendo:

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

$F_c$  a carga máxima aplicada (em N);

1600 a área da seção (em mm).

Figura 28 - Determinação da resistência à compressão



Fonte: Autora

Por fim, os resultados foram expressos em mega pascal (MPa) e refletem a média das aferições individuais, cumprindo o desvio absoluto máximo de 0,3 MPa para a resistência à tração e 0,5 MPa para a resistência à compressão.

#### 4.3.5. Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração é significativo para medir a força de interação entre o revestimento e o substrato proporcionando assim a

determinação da tensão de aderência máxima que o sistema suporta. Este ensaio foi realizado segundo a NBR 13528 (ABNT, 2010) - Revestimento de Paredes de Argamassas Inorgânicas: Determinação da Resistência de Aderência à Tração.

Para execução deste ensaio primeiramente moldou-se os corpos de prova com auxílio de um gabarito de madeira para manter todos os blocos com 2cm de camada de argamassa. Após esta etapa os blocos permaneceram em ambiente de laboratório (50% de umidade e 23°C de temperatura) durante 28 dias até a realização do ensaio.

Passado o período descrito acoplou-se uma serra copo em uma furadeira, e efetuou-se um total 12 (doze) furos de diâmetro igual a 50 mm para cada traço estudado, distribuídos de forma aleatória (Figura 29). Após limpeza da superfície, sobre cada furo é colada uma pastilha circular com massa adesiva plástica (Figura 30).

Figura 29 - Realização dos furos com furadeira serra copo



Fonte: Autora

Figura 30 - Massa adesiva plástica e bloco com pastilhas acopladas

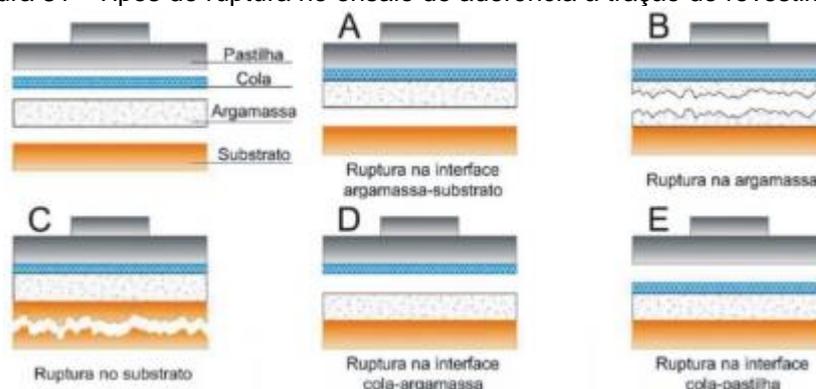


Fonte: Autora

Em seguida, realizou-se a introdução do aparelho de arrancamento (dinamômetro de tração) dotado de dispositivo para leitura de carga. As pastilhas,

então, foram arrancadas e as amostras analisadas, tomando como referência os tipos de ruptura definidos pela norma NBR 13528 (ABNT, 2010). (Figura 31)

Figura 31 - Tipos de ruptura no ensaio de aderência à tração de revestimentos



Fonte: ABNT NBR 13528 (2010)

Logo após, foi calculada a resistência de aderência à tração de cada corpo de prova, em MPa, verificada a forma de ruptura de cada um deles e aferida a umidade para cada traço. (Figura 32)

Figura 32 - Ensaio de arrancamento



Fonte: Autora

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir 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.

### 5.1. Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado

Os resultados alcançados com o ensaio de determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado estão descritos na Tabela 10, observa-se que a argamassa sem aditivo foi a que apresentou maior teor de ar incorporado, enquanto que os traços B e C apresentaram os menores resultados.

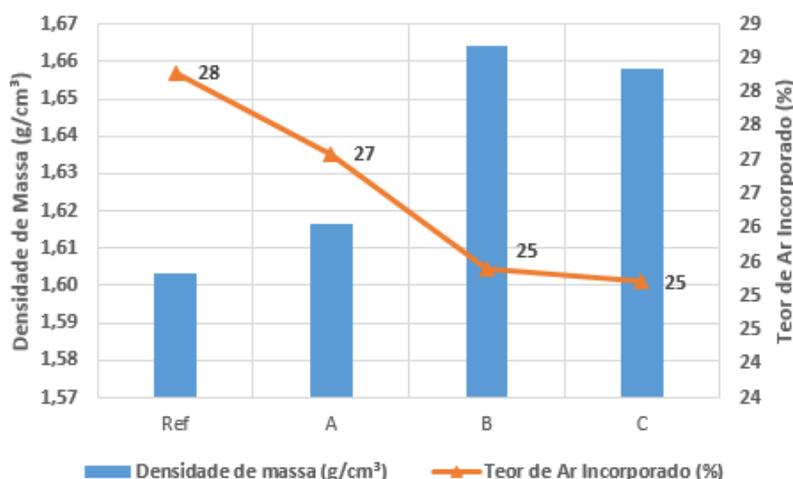
Tabela 10 - Densidade de massa e teor de ar incorporado

Argamassas	Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Ar Incorporado (%)
Ref	1,60	28
A	1,62	27
B	1,66	25
C	1,66	25

Fonte: Autora

Percebe-se que existe uma relação direta entre a densidade de massa e o teor de ar incorporado (Gráfico 5), esse resultado já era esperado por que se para um mesmo volume um material se apresentar mais leve que outro, significa que existem mais vazios ou bolhas de ar que não pesam, contudo ocupam espaço nesse material.

Gráfico 5 - Relação do Teor de ar com a densidade de massa



Fonte: Autora

Por fim, pode-se inferir que o uso dos aditivos hidrofugantes não proporcionou aumento no teor de ar incorporado, por outro lado o inibiu. Isso porque todos os traços possuíam 0,4% de ar incorporado, contudo aquele que teve o maior resultado neste ensaio foi a argamassa de referência sem aditivo hidrofugante, conforme ilustra o Gráfico 5. Esse resultado se contrapõe ao encontrado na pesquisa de Dafico, Ferro e Cavalcante (2004), com outros aditivos, em que todos os impermeabilizantes apresentaram algum efeito na incorporação de ar quando comparados à argamassa não aditivada.

## 5.2. Índice de consistência

A quantidade de água necessária para que cada traço atingisse a consistência recomendada em norma era desconhecida, portanto para se alcançar esse parâmetro, abertura de 260mm  $\pm$  5, foi necessário constatar o efeito da adição de água sobre a consistência para cada traço. Seguindo essa metodologia foi possível definir a relação a/c para cada argamassa, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Traços das argamassas

Argamassa	Relação a/c	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	Incorporador de Ar	Aditivo Estabilizante	Aditivo Hidrofugante	Resultados dos diâmetros médios (mm)
Ref.	0,95	172	1004,8	163,52	0,4%	0,3%	-	255,55
A	1	172	1004,8	164,59	0,4%	0,3%	4%	255,60
B	0,96	172	1004,8	157,7	0,4%	0,3%	4%	255,22
C	1	172	1004,8	164,59	0,4%	0,3%	4%	261,14

Obs: todas as porcentagens de aditivos são sobre a massa de cimento

Fonte: Autora

Analisando a Tabela 12 que demonstra a variação em porcentagem da relação água/cimento do traço de referência com os traços aditivados, percebe-se que todos os traços necessitaram de certo aumento de água para obter a mesma trabalhabilidade que a argamassa de referência, contudo a argamassa B foi a que necessitou de menor adição de água em relação a referência.

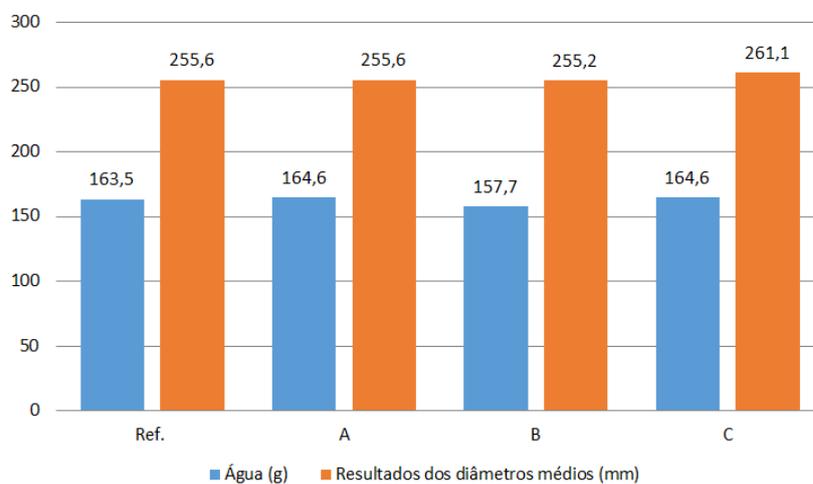
Tabela 12 – Resultados dos índices de consistências das argamassas ensaiadas

Argamassa	Relação a/c	Comparação da relação a/c com Ref. (%)
Ref.	0,95	-
A	1	6%
B	0,96	1%
C	1	6%

Fonte: Autora

O Gráfico 6 sintetiza os resultados dos diâmetros e as quantidades de água para cada traço. Por meio dele é possível visualizar melhor a diferença do espalhamento entre as argamassas.

Gráfico 6 – Diâmetros médios e quantidade de água para cada traço



Fonte: Autora

Na Figura 33 estão as imagens que ilustram tanto o espalhamento da argamassa de referência quanto das demais utilizadas, de tal forma que permite visualizar homogeneidade entre as consistências de cada uma.

Figura 33 – Espalhamento das argamassas



Fonte: autora

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

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão estão apresentados nas Tabela 13 e Tabela 14, bem como seus índices de vazios e suas massas específicas.

Tabela 13–Resultados médios obtidos no ensaio de absorção de água por imersão

Argamassa	Absorção (%)	Comparação da absorção com Ref.	Índice de Vazios (%)	Comparação do índice de vazios com Ref.	Massa específica da amostra seca (g/cm <sup>3</sup> )	Comparação da massa específica da amostra seca com Ref.
Ref.	11,8	-	18,6	-	1,58	-
A	12,6	7%	20,8	12%	1,65	4%
B	10,2	-14%	17,0	-8%	1,67	6%
C	12,2	4%	20,5	10%	1,67	6%

Fonte: Autora

Tabela 14 – Resultados médios obtidos no ensaio de absorção de água por imersão

Argamassa	Massa específica da amostra saturada (g/cm <sup>3</sup> )	Comparação da massa específica da amostra saturada com Ref.	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	Comparação da massa específica real com Ref.
Ref.	1,77	-	1,94	-
A	1,86	5%	2,09	8%
B	1,84	4%	2,01	4%
C	1,88	6%	2,11	9%

Fonte: Autora

Nota-se que a argamassa com o Aditivo B foi a que obteve melhor resultado, já que reduziu 14% da absorção de água em relação à de referência e também apresenta uma considerável redução do índice de vazios em 8%. Já as argamassas com o Aditivo A e C absorveram respectivamente 7% e 4% a mais que a de referência, logo, não desempenharam a função de impermeabilizar o material de forma adequada.

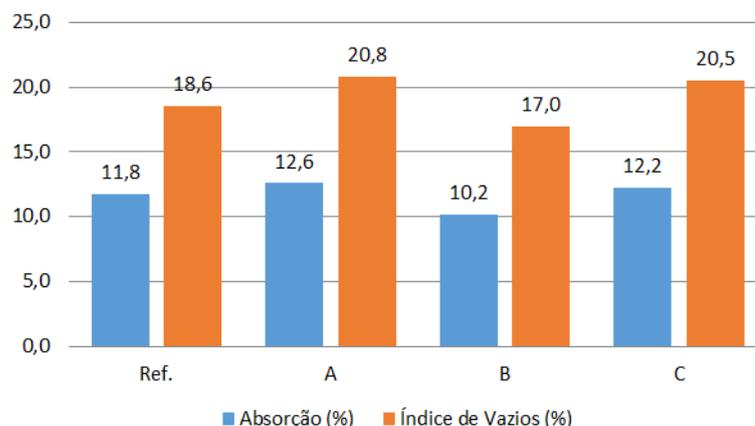
Resultados semelhantes foram encontrados no estudo realizado por Gasques, Rigo, & Gava (2016) utilizando traço 1 :0,5; 6 (cimento:cal:areia) e 0,4% de teor de ar incorporado, em que apenas um dos aditivos hidrofugantes apresentou redução na absorção total de aproximadamente 10% em relação a argamassa sem aditivos.

Uma possível explicação para o resultado insatisfatório das argamassas A e C é a possibilidade de que esses aditivos não interferiram de forma significativa na composição básica da argamassa.

Os resultados de índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e da massa específica real praticamente não sofreram

alterações se comparados à referência, variando 6% em média para mais. O Gráfico 7 permite uma melhor visualização dos resultados da absorção de água por imersão.

Gráfico 7 - Comparação entre índice de vazios e absorção de água



Fonte: Autora

Infere-se ao analisar os resultados, que há uma relação direta entre o índice de vazios e a absorção dos corpos de prova (Gráfico 7). Quanto maior o índice de vazios e o tamanho dos poros (propriedade não avaliada neste estudo), mais a argamassa é propícia a absorver água. (SALOMÃO, 2016)

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.

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 um aumento na massa específica seca em relação à de referência. Isso ocorreu pois, apesar dos volumes dos corpos de prova terem sido mantidos, suas massas se alteraram com o acréscimo dos aditivos.

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 aumento na massa específica saturada em relação à de referência. Para as argamassas A e C, isso se deve ao fato destas terem aumentado a absorção.

#### 5.4. 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 nos ensaios conforme a Tabela 15.

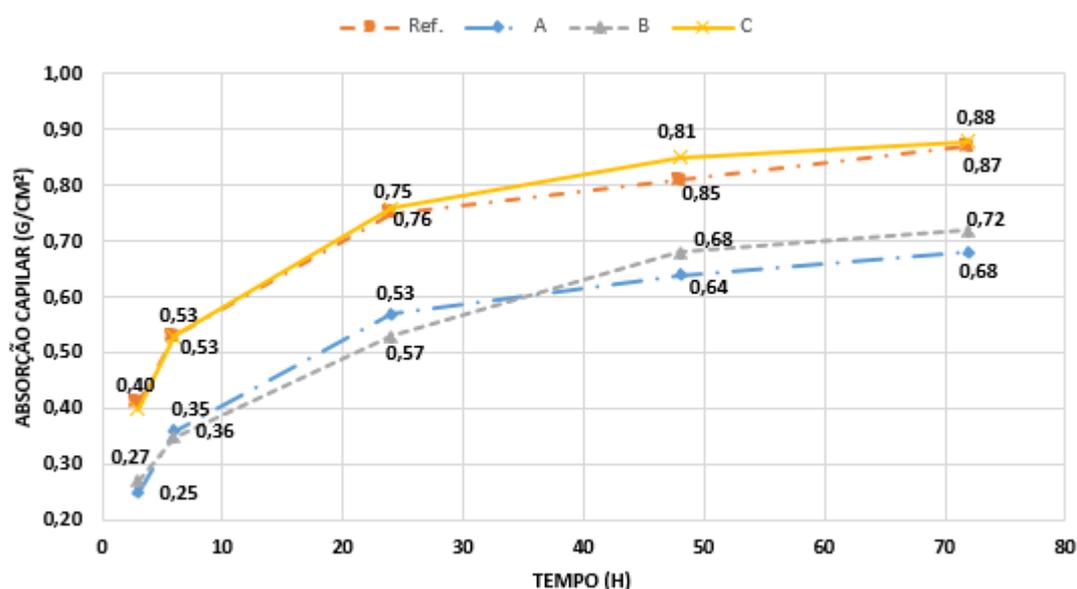
Tabela 15 - Ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos

	Argamassa	3h	6h	24h	48h	72h
Absorção (g/cm <sup>2</sup> )	Ref.	0,41	0,53	0,75	0,81	0,87
	A	0,25	0,36	0,57	0,64	0,68
	B	0,27	0,35	0,53	0,68	0,72
	C	0,40	0,53	0,76	0,85	0,88

Fonte: Autora

Considerando as análises de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova cilíndricos, constata-se que a argamassa A e B apresentaram melhor eficiência na redução de absorção de água, enquanto C apresentou o pior resultado, ficando muito próximo da argamassa sem aditivo (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autora

A Tabela 16 expõe, em porcentagem, a redução na absorção de água em relação à argamassa de referência. Com isso, fica claro que as argamassas com o aditivo A e B obtiveram melhor desempenho nesse ensaio ao longo de todas as medições, já que, ao final das 72h, absorveram respectivamente 22% e 17% a menos que a 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.

Tabela 16 – Absorção em relação a referência

	<b>Argamassa</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>72</b>
<b>Absorção em relação a Ref. (%)</b>	<b>A</b>	-39%	-32%	-24%	-21%	-22%
	<b>B</b>	-34%	-34%	-29%	-16%	-17%
	<b>C</b>	-2%	0%	1%	5%	1%

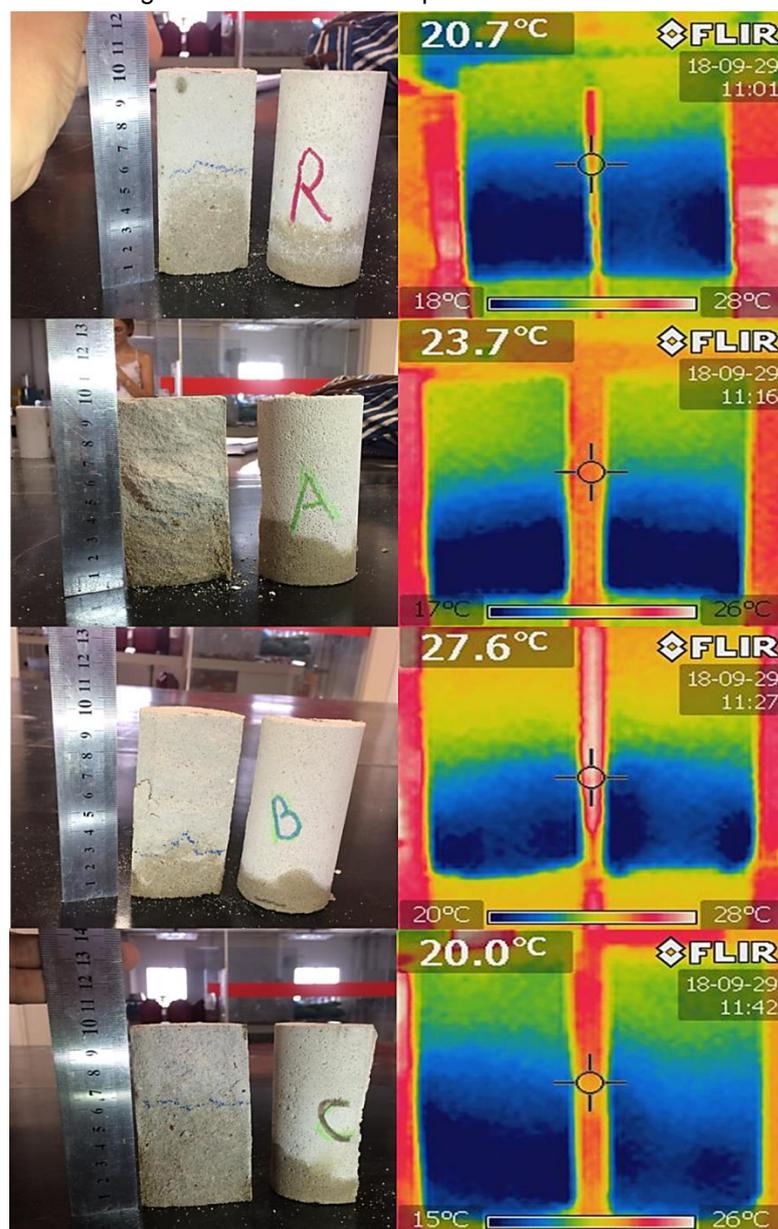
Fonte: Autora

Também foi observado a partir dos resultados que a argamassa C apresentou o pior desempenho em relação à absorção por imersão como apresentado no tópico anterior, Gráfico 7, e também a pior eficiência em relação ao bloqueio da absorção capilar.

Percebeu-se que, todas as argamassas aditivadas apresentaram um desempenho melhor que a de referência. Apesar disso, a que possuía o aditivo C absorveu uma quantidade de água muito próxima à de referência chegando até a absorver mais 5% na medição de 48 horas.

Por fim, após romper os corpos de prova diametralmente, foi medida a ascensão capilar com uma régua e para melhor visualização foi utilizada imagens geradas por uma câmera termográfica que mediu a temperatura das amostras. (Figura 34)

Figura 34 - Amostras rompidas diametralmente



Fonte: autora

A Tabela 17 e o Gráfico 9 exprimem os resultados das alturas e temperaturas médias dos corpos de prova ensaiados.

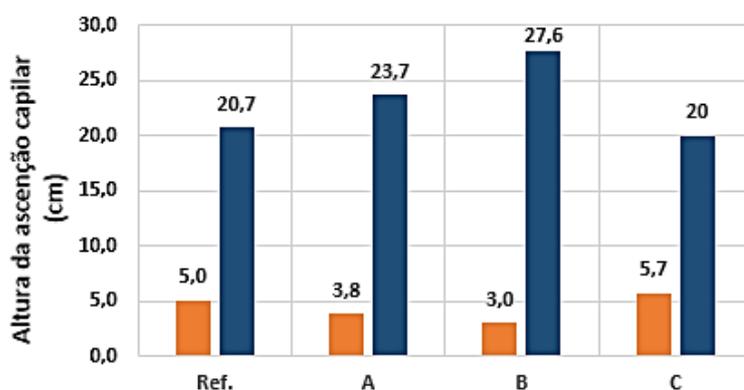
Observa-se que o traço C como esperado demonstrou a maior altura de ascensão capilar, superando em 14% a argamassa sem aditivo hidrofugante, já o traço com aditivo B apresentou o resultado mais eficiente para esse ensaio, 40% de redução na altura de ascensão capilar em relação a dosagem de referência. O eficaz desempenho do traço B neste ensaio, em comparação aos outros traços, pode ser explicado pelo fato dessa argamassa ter apresentado o menor índice de vazios, Tabela 13.

Tabela 17 - Resultados da ascensão capilar e temperatura

Argamassa	Altura média atingida pela água (cm)	Temperatura Média (°C)
Ref.	5,0	20,7
A	3,8	23,7
B	3,0	27,6
C	5,7	20

Fonte: Autora

Gráfico 9 – Relação da ascensão capilar e temperatura média



Fonte: Autora

Por fim conclui-se que o traço C foi o que mais absorveu água e também o que atingiu a maior altura na ascensão capilar. Já a argamassa com o aditivo B foi a que manteve a menor absorção ao longo do ensaio além de apresentar a menor altura de ascensão capilar.

O trabalho realizado por Gasques, Rigo, & Gava (2016) também avaliou o uso de aditivos impermeabilizantes utilizando o traço 1:0,5:6 cimento:cal:areia, em volume e obteve resultado semelhante aos encontrados nesse ensaio, com redução da absorção por capilaridade em torno de 25%. Santana e Aleixo (2016) ao realizar o mesmo ensaio com aditivos impermeabilizantes com traço 1: 4,75 cimento:areia, em volume e obtiveram até 28,6% de redução na capilaridade.

### 5.5. Ensaio de Permeabilidade pelo método do Cachimbo

O ensaio do Cachimbo, Figura 35, que analisa a absorção de água sob baixa pressão, teve como resultados os valores expressos na Tabela 18. Percebe-se que os materiais não tiveram resultados homogêneos, a argamassa de referência e a com aditivo C atingiram o valor máximo de absorção aos 10 min de ensaio, enquanto que

as argamassas com aditivo A e B foram alcançar seus maiores valores de absorção com quase 35 min.

Figura 35 - Ensaio do cachimbo



Fonte: autora

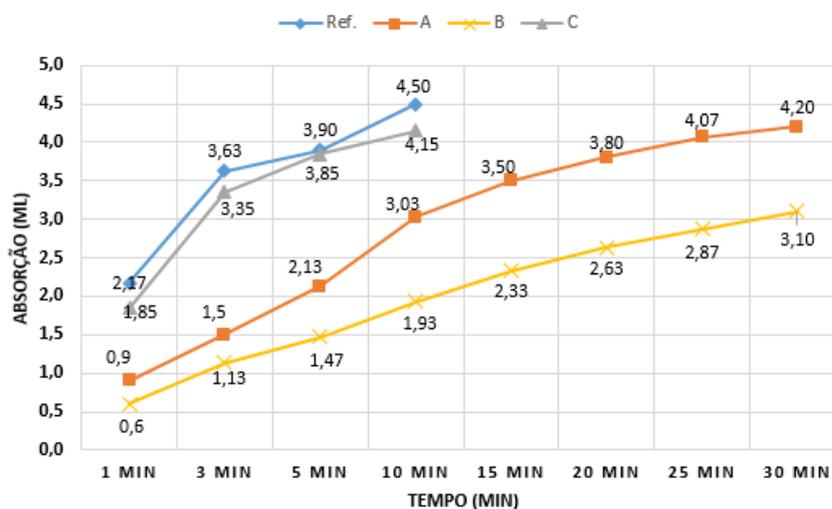
Tabela 18 – Resultado ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo

	Argamassa	1 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min
Absorção (ml)	Ref.	2,17	3,63	3,90	4,50	-	-	-	-	-
	A	0,9	1,5	2,13	3,03	3,50	3,80	4,07	4,20	4,50
	B	0,6	1,13	1,47	1,93	2,33	2,63	2,87	3,10	3,30
	C	1,85	3,35	3,85	4,15	-	-	-	-	-

Fonte: Autora

Ao analisar o Gráfico 10, percebe-se que a argamassa B obteve os melhores resultados ao longo de todo o ensaio. Já a C obteve pior desempenho, pois foi a que ficou mais próxima do traço de referência.

Gráfico 10 - Resultado em ml do ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo



Fonte: Autora

Verifica-se que os aditivos A e B obtiveram resultado satisfatório no ensaio de capilaridade e no do cachimbo. Essa semelhança se deve ao fato de os dois ensaios 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. Confirmando o esperado, o aditivo C apresentou o pior desempenho neste ensaio e no de capilaridade.

A Tabela 19 expõe, em porcentagem, a redução na absorção de água em relação à argamassa de referência. É preciso salientar que só é possível uma comparação entre as argamassas até o tempo de 10 min, devido a rápida absorção ocorrida na argamassa de referência e na argamassa na qual se utilizou o aditivo B.

Tabela 19 - Comparação da redução de absorção de água pelo método do cachimbo

	Argamassas	1 min	3 min	5 min	10 min
Redução da absorção em relação a Ref. (%)	A	-59%	-59%	-45%	-33%
	B	-15%	-69%	-62%	-57%
	C	-15%	-8%	-1%	-8%

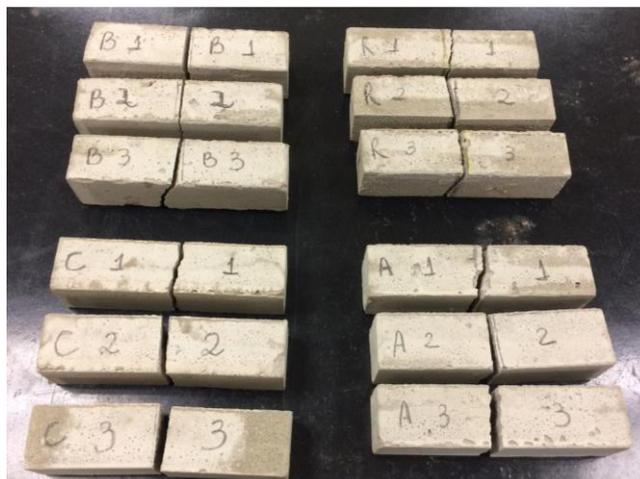
Fonte: Autora

Com isso, nota-se que a argamassa com o aditivo B apresentou um melhor desempenho dentre as demais, uma vez que absorveu 57% a menos que a de referência após 10 min de ensaio. As outras argamassas aditivadas também absorveram menos que a argamassa de referência, mas a com o aditivo C foi a que teve pior desempenho, já que absorveu apenas 8% a menos.

### **5.6. Ensaio da determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**

Os ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, realizados com corpos de prova prismáticos, Figura 36.

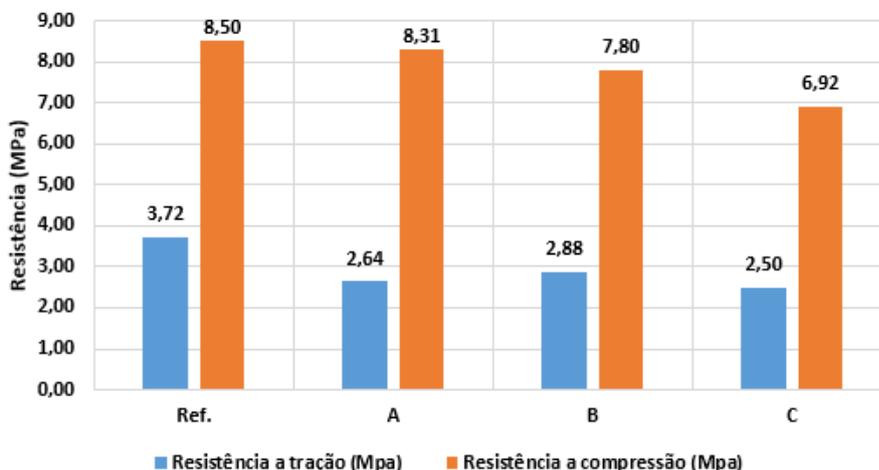
Figura 36 – Corpos de prova prismáticos depois de serem rompidos na tração



Fonte: Autora

Os resultados (Gráfico 11) por meio dele podemos perceber que todos os traços perderam resistência ao receberem aditivos. O aditivo C foi o que ocasionou a maior perda tanto de resistência a tração como a compressão.

Gráfico 11 - Resistência à tração e à compressão



Fonte: Autora

A Tabela 20 exhibe, em porcentagem, as alterações ocorridas nas resistências das argamassas em relação à de referência. Como esperado, as argamassas apresentaram aproximadamente o dobro de resistência à compressão em relação a tração na flexão. Observa-se que todos os aditivos tiveram redução na resistência a tração e a compressão em relação a dosagem sem aditivos, esse resultado pode ser explicado pelo fato da relação a/c de todos os traços com aditivo hidrofugante ser maior que a de referência, Tabela 12. A resistência é diretamente influenciada pela quantidade de água de um traço. (BAUMGART, 1999)

Tabela 20 - Ensaio mecânico de determinação da resistência à tração na flexão e a compressão

Argamassa	Resistência a tração (Mpa)	Comparação da resistência à tração com Ref.	Resistência a compressão (Mpa)	Comparação da resistência à compressão com Ref.
Ref.	3,72	-	8,50	-
A	2,64	-29%	8,31	-2%
B	2,88	-23%	7,80	-8%
C	2,50	-33%	6,92	-19%

Fonte: Autora

Para atender aos critérios de desempenho da argamassa impermeável prescritos na NBR 16072 (2012), é necessário que após ser aditivada, não perca mais que 20% da resistência à tração na flexão no estado endurecido. Logo, nenhuma das argamassas passaria nesse critério. Contudo vale ressaltar que a norma determina o traço de 1:3 cimento:areia (volume) e nessa pesquisa o traço utilizado é de 1:5,8 cimento:areia (volume) ou seja mais pobre.

### 5.7. Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração

Os resultados obtidos com a execução dos ensaios de determinação da resistência de aderência à tração do revestimento tipo reboco/emboço para os blocos ensaiados estão apresentados na Tabela 21, que demonstra os valores médios de resistência obtidos através dos quatro ensaios executados.

Tabela 21 - Resultados para o ensaio de aderência

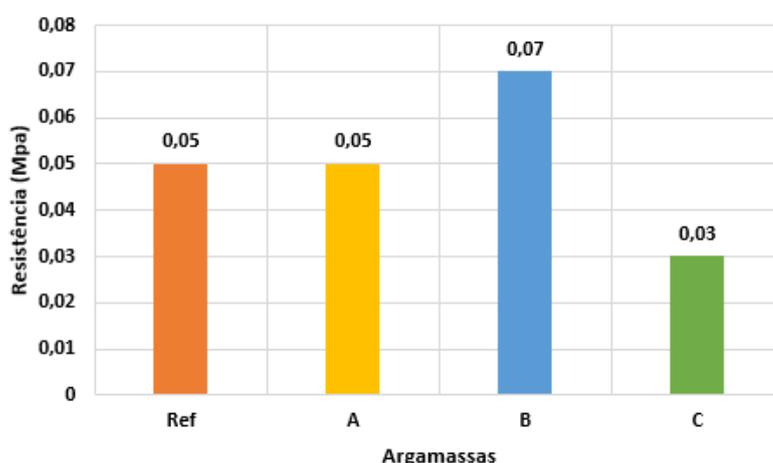
Argamssa	Resistência de aderência à tração Média (Mpa)	Umidade média (%)
Ref	0,05	2,5
A	0,05	3,4
B	0,07	1,7
C	0,03	1,4

Fonte: Autora

Verificou-se, através da extração do revestimento argamassado que as resistências de aderência à tração estavam insatisfatórias, visto que todas as médias dos ensaios executados foram inferiores ao mínimo estabelecido para revestimentos internos pela NBR 13749:2013 (Determinação da resistência de aderência à tração), de 0,20 MPa. Tais resultados podem ter explicação no teor de ar incorporado a massa que possivelmente tornou a argamassa mais frágil.

Por meio do Gráfico 12 observa-se que a argamassa com aditivo B foi a que obteve melhor resultado e a C, como esperado em vista dos outros resultados, foi a que apresentou a menor resistência. Já a argamassa A não mostrou alteração em relação a argamassa de referência. Uma possível explicação para o Traço A ter apresentado resultado tão próximo a dosagem de referência é por que a umidade nesse corpo de prova estava mais elevada, o que ocasionou sua perda de resistência.

Gráfico 12 - Resistências médias de aderência



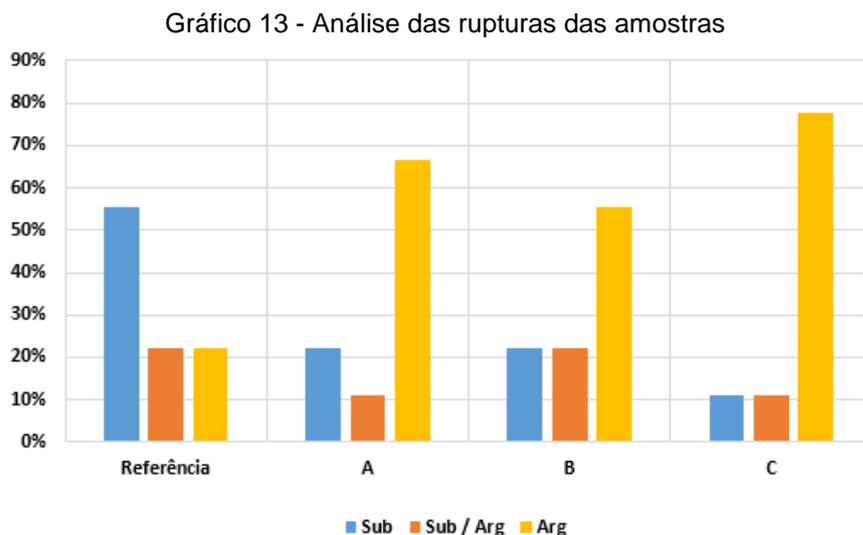
Fonte: Autora

Os baixos valores obtidos podem ser justificados pelos procedimentos de ensaio como o corte, com a serra-copo (vibração), e o ajuste do equipamento de tração que podem induzir tensões laterais ao Cp reduzindo ou até anulando a aderência e produzindo uma alta variabilidade nos resultados conforme explica Resende (2010).

Por fim, na Tabela 22 - Forma de Ruptura estão os resultados da forma de ruptura das amostras. Por meio do Gráfico 13 - Análise das rupturas das amostras é possível visualizar que o modo de rompimento para as argamassas aditivadas ocorreu essencialmente na argamassa enquanto que na argamassa de referência essa ruptura localizou-se particularmente no substrato.

Tabela 22 - Forma de Ruptura

Traço	Sub	Sub / Arg	Arg
Referência	56%	22%	22%
A	22%	11%	67%
B	22%	22%	56%
C	11%	11%	78%



Analisando os tipos de ruptura pode-se classificar a ruptura como do tipo coesiva pois ocorre no interior da argamassa ou no substrato (tipo B e C, Figura 31).

### 5.8. 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 verde são os melhores para cada ensaio realizado.

Observa-se que as argamassas com aditivo A e B obtiveram os melhores resultados nos ensaios que avaliam a capilaridade (absorção por capilaridade e cachimbo) e tiveram resultados medianos no ensaio de índice de vazios, que mede a absorção pelos poros permeáveis. 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.

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

Ensaio de Determinação	Resultados					
	Argamassas	Ref	A	B	C	
Densidade de massa e ar incorporado	densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )	1,60	1,62	1,66	1,66	
	teor de ar incorporado (%)	28	<b>27</b>	25	25	
Índice de consistência	cimento (g)	172	172	172	172	
	areia(g)	1004,8	1004,8	1004,8	1004,8	
	água(g)	163,52	164,59	157,70	164,59	
	AE 10 (g)	0,70	0,70	0,70	0,70	
	AE 20 (g)	0,50	0,50	0,50	0,50	
	aditivo hidrofugante(g)	-	6,91	6,91	6,91	
	Relação a/c	0,95	1,00	<b>0,96</b>	1,00	
Ensaio de imersão	Absorção (%)	11,80	<b>12,60</b>	<b>10,20</b>	12,20	
	Índice de Vazios (%)	18,60	20,80	<b>17,00</b>	<b>20,50</b>	
	Massa Específica Seca	1,58	1,65	1,67	1,67	
	Massa Específica Saturada	1,77	1,86	1,84	1,88	
	Massa Específica Real	1,94	2,09	2,01	2,11	
Capilaridade dos corpos de prova cilíndricos	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )	3 horas	0,41	<b>0,25</b>	0,27	<b>0,40</b>
		6 horas	0,53	0,36	<b>0,35</b>	<b>0,53</b>
		24 horas	0,75	0,57	<b>0,53</b>	<b>0,76</b>
		48 horas	0,81	<b>0,64</b>	0,68	<b>0,85</b>
		72 horas	0,87	<b>0,68</b>	0,72	<b>0,88</b>
	Altura de ascensão	5,00	3,80	<b>3,00</b>	<b>5,70</b>	
	Temperatura média	20,70	23,70	<b>27,60</b>	<b>20,00</b>	
Cachimbo	Absorção (ml)	1 mim	2,17	0,90	<b>0,60</b>	<b>1,85</b>
		3 mim	3,63	1,50	<b>1,13</b>	<b>3,35</b>
		5 mim	3,90	2,13	<b>1,47</b>	<b>3,85</b>
		10 mim	4,50	3,03	<b>1,93</b>	<b>4,15</b>
		15 mim	-	3,50	<b>2,33</b>	-
Resistência Mecânica	Resistência a tração (Mpa)	3,72	2,64	<b>2,88</b>	<b>2,50</b>	
	Resistência a compressão (Mpa)	8,50	<b>8,31</b>	7,80	<b>6,92</b>	
	Resistência de aderência à tração (Mpa)	0,05	0,05	<b>0,07</b>	<b>0,03</b>	

Fonte: Autora

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou o funcionamento dos principais aditivos disponíveis no mercado por meio de ensaios. As principais considerações serão apresentadas a seguir:

- Os aditivos utilizados não alteraram de forma significativa a consistência das argamassas com relação à referência, mas todos os traços aditivados necessitaram de maior quantidade de água. Isso possivelmente ocorreu, porque a ação dos aditivos inibiu a incorporação de ar conforme constatado no ensaio de determinação do teor de ar incorporado NBR 13278 (ABNT, 2005).
- Os aditivos A e B apresentaram melhor eficiência na redução da ascensão capilar tanto no ensaio de capilaridade quanto no do cachimbo. Isso provavelmente ocorreu por que esses ensaios são semelhantes pois avaliam a entrada de água apenas nos poros permeáveis;
- O traço C obteve o pior resultado em todos os ensaios, demonstrando a ineficiência deste aditivo na dosagem estudada.
- Os resultados obtidos no ensaio de absorção, índices de vazios e massa específica mostraram que as argamassas A e C foram as que mais absorveram água, mais até que a de referência, enquanto B apresentou resultado melhor que a dosagem de referência. Considerando esse resultado infere-se que a argamassa com aditivo B teria certa eficiência para ambientes externos onde existe incidência direta de água;
- Todas as argamassas com aditivo apresentaram uma perda considerável tanto na resistência à tração quanto à compressão, sendo que a argamassa que obteve maior redução foi o traço C. O requisito mínimo estabelecido pela NBR 16072 (ABNT, 2012) não foi alcançado para nenhum traço, já que a redução da resistência mecânica, em relação a referência, não poderia ser maior que 20%.
- 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 NBR 9779 (ABNT, 2012);

- As argamassas A e B foram as que alcançaram os melhores resultados, pois obtiveram redução de absorção em relação à referência de, respectivamente, 22% e 17%. Porém, a argamassa C, teve o pior desempenho chegando a absorver até mais 5% que a argamassa de referência.
- Verificou-se, por meio da extração do revestimento argamassado que as resistências de aderência à tração estavam insatisfatórias, visto que todas as médias dos ensaios executados foram inferiores ao mínimo estabelecido para revestimentos internos pela NBR 13749:2013 (Determinação da resistência de aderência à tração), de 0,20 MPa

Por fim, infere-se com este estudo, que a utilização de aditivos hidrofugantes 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 B desempenharam melhor o papel de impedir a ascensão capilar, principal objetivo deste estudo, sem reduzir demasiadamente a resistência mecânica do material no estado endurecido.

#### 6.1. 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 os resultados;
- Avaliar se diferentes dosagens de aditivos melhoram a eficiência do material;
- Realizar o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade conforme NBR 15259 (ABNT, 2005).
- Avaliar o uso de aditivos “in loco” utilizando para isso protótipos de substrato analisando a capilaridade;
- Utilizar maior dosagem de incorporador de ar nos traços e verificar sua influência;

## REFERÊNCIA

\_\_\_\_\_. **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 11768 –Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos.** ABNT, Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **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 13278 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** 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 13528 - Revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração.** ABNT, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529 - Revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas: Terminologia.** ABNT, Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação.** ABNT, Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **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 15575 - Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1.** ABNT, Rio de Janeiro. 2013.

\_\_\_\_\_. **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).

BARROS, M.M.S.B.; RIBEIRO, F.A. **Juntas de Movimentação em revestimentos cerâmicos de fachada.** São Paulo, PINI, 2010.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassas: características e peculiaridades.** Brasília, ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 59 p, 2006.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A. **Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI. 2005, Florianópolis. Anais. Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 95-105.

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

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

BERGER, J. **Contribution à lamodélisationhygrothermiquedesbâtiments :Applicationdesméthodes de réduction de modèle.** Tese de doutorado, Université de Grenoble, França, 2014.

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.

CARASEK, H.CASCUDO, O. SCARTEZINI, L. M., **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** 2001. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília.

CARASEK, H. Argamassas. In: G. J. Isaia (ed) **Materiais de Construção Civi I e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** . pp. 863-904, vol .2. São Paulo: IBRACON, 2007.

CASALI, J. M.; GAVA, G. P.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **Avaliação do desempenho de aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes empregados em argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Hydrofuges de surface: choixetmiseen oeuvre.** Bruxelles, 1982. 24p. (Note D'Information Technique – NIT n. 140).

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

DAFICO, D. A; FERRO, K. M. S;CAVALCANTE, M. C. O. **Análise de desempenho de aditivos impermeabilizantes para argamassas.** São Paulo, 2004.X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

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.

V. FREITAS, M. TORRES, and A. GUIMARÃES, **Humidade Ascensional:** FEUP edições,2008.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural.** 2ª Ed. PINI, 2008.

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.

GAVA, Giovanna Patricia; MANCINI, Paula Simoni; SAKAI, Henrique Haruo. **Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de assentamento.** In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 72., 2015, Fortaleza. Artigo. Fortaleza: 2015. p. 1 - 4.

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 en la construcción: sus causas y sus remedios.**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.

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

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

MARTINS, A. **Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco.** Lisboa, 2008, Tese (Mestrado em Engenharia Civil).Instituto Superior Técnico de Lisboa.

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.

MENDONÇA, Bruno V. **Estudo do desempenho de argamassas hidráulicas. Influência do ligante.** Lisboa, 2007, Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.

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.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**, 2<sup>o</sup> Ed. São Paulo: PINI, 1997.

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.

RESENDE, P. S. O. **Efeito do ar incorporado em argamassas de revestimentos.** Goiânia, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás - UFG.

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.

SANTANA, B. V.; & ALEIXO, I. V. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes.** Brasília, 2016. Projeto (Iniciação científica). Centro Universitário de Brasília - UniCEUB.

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.** Belo Horizonte, 2008. Dissertação (Monografia de conclusão de curso). Escola de Engenharia da UFMG.

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

SALOMÃO, M. C. F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água.** Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-06A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 248p, 2016.

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

SOUSA, A., J., C. **Aplicação de Argamassas Leves de Reboco e Assentamento em Alvenarias.** Porto, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto.

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.

TAYLOR, H. F. W. *Cement chemistry.* 2. ed. London: Thomas Telford, 1997.

TEIXEIRA, A. M. **Caracterização experimental do funcionamento de ventilação da base das paredes para tratamento de umidade 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.

VALDEHITA ROSELLO, M. T. **Morteros de cemento para albañilería.** Madrid: IETcc, 1976. 55 p. Monografía, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1976

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

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações.** Sagra, 1991.

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

VALDEHITA ROSELLO, M. T. **Morteros de cemento para albañilería.** Madrid: **IETcc**, 1976. 55p. Monografía, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1976.