

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS
ESTABILIZADAS SUBMETIDAS A TRATAMENTO
SUPERFICIAL COM ADITIVOS CRISTALIZANTES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ana Cláudia Akele Jantsch

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS
ESTABILIZADAS SUBMETIDAS A TRATAMENTO
SUPERFICIAL COM ADITIVOS CRISTALIZANTES**

Ana Cláudia Akele Jantsch

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Materiais de Construção, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

Coorientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Jantsch, Ana Cláudia Akele
Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes / Ana Cláudia Akele Jantsch.-2015.
142 p.; 30cm

Orientador: Eduardo Rizzatti
Coorientador: Gihad Mohamad
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2015

1. Argamassa estabilizada 2. Permeabilidade à água e ao vapor 3. Cristalizantes I. Rizzatti, Eduardo II. Mohamad, Gihad III. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Ana Cláudia Akele Jantsch. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: akele.jantsch@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS
ESTABILIZADAS SUBMETIDAS A TRATAMENTO
SUPERFICIAL COM ADITIVOS CRISTALIZANTES**

elaborada por
Ana Cláudia Akele Jantsch

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

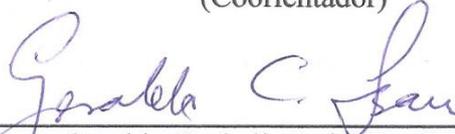
COMISSÃO EXAMINADORA:



Eduardo Rizzatti, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Coorientador)



Geraldo Cechella Isaia, Dr. (UFSM)



Flávio Antônio dos Santos, Dr. (CEFET-MG)

Santa Maria, 27 de agosto de 2015.

*Dedico esse trabalho aos meus pais,
Dercy Akele e Ari Paulo Jantsch,
e ao meu companheiro, Jordan Junges,
pelo apoio, dedicação e
compreensão infinitos.*

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer aos professores Eduardo Rizzatti e Gihad Mohamad, pela oportunidade, pela orientação e, principalmente, pela confiança depositada em mim ao longo dessa jornada.

Aos meus colegas do grupo GPDAE, Aldo, Giovana, Juliana, Marcelo e Poliana por todas as contribuições dadas a essa pesquisa e pelo companheirismo dentro e fora do laboratório.

Aos colegas de mestrado, Diego Willian, Diego, Raquel e Ronei pela disposição, educação e presteza ao oferecerem tanto seus materiais quanto sua ajuda.

Aos técnicos do laboratório, José Pedro, Eduardo, Vilson, Vítor, Diego e William por toda assistência fornecida, trabalhando, inclusive, fora do horário de trabalho, de forma a ajudar na conclusão desta pesquisa.

À Marília, funcionária da Secretaria da Pós-Graduação, por se revirar para ajudar, ouvir e aconselhar os mestrandos durante todo período do curso.

À Universidade Federal de Santa Maria por disponibilizar a infraestrutura do Laboratório de Materiais de Construção Civil para a realização dos ensaios necessários à realização desta pesquisa.

À empresa Concretex e as demais empresas envolvidas nesta pesquisa que forneceram sem custo os materiais utilizados para a realização dos ensaios.

E por fim, gostaria de agradecer à minha querida mãe Dercy, por absolutamente tudo que ela fez por mim até hoje, além de revisar todo o meu trabalho. Ao meu pai Ari Paulo Jantsch, que sempre me incentivou a ir além, e que certamente ficaria feliz de ver essa etapa finalizada se estivesse aqui. E ao meu companheiro, Jordan Junges, pela infinita compreensão e apoio durante todas as horas despendidas para a conclusão desse trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DA PERMEABILIDADE DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS SUBMETIDAS A TRATAMENTO SUPERFICIAL COM ADITIVOS CRISTALIZANTES

AUTORA: ANA CLÁUDIA AKELE JANTSCH

ORIENTADOR: EDUARDO RIZZATTI

CO-ORIENTADOR: GIHAD MOHAMAD

Data e local da defesa: Santa Maria, 27 de Agosto de 2015.

A presença da água é uma das principais causas para o aparecimento e disseminação de manifestações patológicas em revestimentos argamassados. Tal problema põe em risco a capacidade de proteção desses revestimentos e, em consequência, a durabilidade, permitindo assim a degradação precoce de materiais e estruturas. Por outro lado, a utilização de aditivos impermeabilizantes promete solucionar essa questão, criando uma barreira à penetração de água. No entanto, poucos estudos - não comerciais - são encontrados sobre a utilização de agentes cristalizantes em materiais cimentícios, mais raro ainda pesquisas de sua utilização em argamassas comuns ou estabilizadas. Diante disso, a presente pesquisa analisou argamassas estabilizadas de 36h e 72h produzidas em Santa Maria com e sem a adição de tratamentos cristalizantes para verificar seu desempenho. Os métodos empregados consistiram na avaliação das características no estado fresco e endurecido desses materiais. Ao fim da bateria de ensaios, se pode concluir que as argamassas de 36h apresentaram desempenho superior ao das argamassas de 72h e a aplicação dos tratamentos cristalizantes, apesar de não tornarem as argamassas impermeáveis, contribuíram para a redução de absorção de água, a resistência ao desgaste e a permeabilidade ao vapor.

Palavras-chave: Argamassa estabilizada. Permeabilidade à água e ao vapor. Cristalizantes.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Civil Engineering Master's Program
Federal University of Santa Maria

PERMEABILITY ANALYSIS OF READY-TO-USE MORTARS WITH WATERPROOFING TREATMENT

AUTHOR: ANA CLÁUDIA AKELE JANTSCH

ADVISOR: EDUARDO RIZZATTI

ADVISOR: GIHAD MOHAMAD

Date and location: Santa Maria, August 27th, 2015.

Water presence is one of the major causes of pathological manifestations in mortar coatings. Such problem endangers the material durability, and the protection ability of these coatings, thus allowing early degradation of materials and structures. On the other hand, the use of waterproofing treatment promises to solve this issue, creating a barrier to water penetration. However, few non-commercial studies are found on this matter, even rarer are the researches that focus on ready-to-use mortars. Therefore, the present study sought to analyze 36h and 72h ready-to-use mortars produced in the city of Santa Maria with and without the application of crystallizing treatment to evaluate these mortars performance. The methods consisted in evaluating the fresh and hardened characteristics of these materials. At the end of the experiments, it was concluded that the 36h mortar showed superior performance in comparison to the 72h mortar and although the application of crystallizing treatments did not waterproof the mortars, it did contributed to reduce their water absorption, abrasion resistance and improve vapor permeability.

Keywords: Ready-to-use mortar. Water and vapor permeability. Crystallizers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Anomalias mais encontradas em edifícios	23
Figura 2 – Processo de hidratação do cimento	36
Figura 3 – Relação entre permeabilidade e relação a/c de pastas maduras	37
Figura 4 – Relação entre permeabilidade e porosidade	39
Figura 5 – Tipos de poros existentes na estrutura de uma argamassa	39
Figura 6 – Influência da porosidade sobre a resistência de diversos materiais.....	40
Figura 7 – Comportamento de materiais hidrófilos e hidrófobos.....	41
Figura 8 – Movimentação de íons dentro da rede porosa de um material saturado pelo efeito de um campo elétrico	42
Figura 9 – Representação do mecanismo de difusão.....	43
Figura 10 – Processo de cura de uma tinta	45
Figura 11 – Funcionamento das reações de cristalização no poro capilar.....	49
Figura 12 – Colmatção de fissura	49
Figura 13 – Colmatção de fissura vista em microscópio de varredura	50
Figura 14 – Traço das argamassas estabilizadas.....	55
Figura 15 – Materiais necessários para a realização do ensaio	59
Figura 16 – Etapas do ensaio de exsudação de água conforme RILEM MR-6.....	61
Figura 17 – Diferença de exsudação de água entre argamassas (3h de ensaio)	62
Figura 18 – Absorção de água do material pela técnica do cachimbo.....	67
Figura 19 – Determinação do tipo de vedante a ser utilizado.....	69
Figura 20 – Procedimento de ensaio.....	71
Figura 21 – Copo de ensaio com solução e corpo-de-prova.....	72
Figura 22 – Preparação da amostra para o ensaio de permeabilidade	75
Figura 23 – Direcionamento do fluxo de vapor na amostra	76
Figura 24 – Representação do ensaio de abrasão por desgaste	77
Figura 25 – Desenho da distribuição de água interna absorvida por capilaridade	79
Figura 26 – Forma de ruptura de um revestimento sem chapisco	80
Figura 27 – Diferença entre amostras desmoldadas conforme a norma e após 7 dias	81
Figura 28 – Coleta e armazenamento das argamassas estabilizadas	83
Figura 29 – Legenda de condições de moldagem.....	84
Figura 30 – Diagrama de ensaios para cada tipo de argamassa ensaiada.....	84
Figura 31 – Processo de moldagem dos corpos-de-prova prismáticos.....	85
Figura 32 – Processo de moldagem dos corpos-de-prova para o ensaio de abrasão	85
Figura 33 – Processo de moldagem das placas de argamassa de revestimento.....	86
Figura 34 – Diagrama de moldagem e ensaio da permeabilidade ao vapor	87
Figura 35 – Processo de moldagem das bolachas de argamassa para o ensaio do copo	87
Figura 36 – Processo de moldagem das placas de aderência.....	88
Figura 37 – Processo de aplicação do cristalizante R.....	90
Figura 38 – Processo de mistura do cristalizante P	91
Figura 39 – Processo de aplicação do cristalizante P	91
Figura 40 – Legenda com idade de ensaio, tipo de tratamento e solução utilizada.....	93
Figura 41 – Ensaio preliminar de permeabilidade à água.....	95
Figura 42 – Ensaio de densidade e teor de ar incorporado	96
Figura 43 – Ensaio preliminar de exsudação de água.....	97
Figura 44 – Ensaio de exsudação de água	97
Figura 45 – Ensaio de índice de consistência	98
Figura 46 – Ensaio de retenção de água	99

Figura 47 – Processo de ensaio de absorção de água por capilaridade.....	101
Figura 48 – Desagregação de parte da camada rasada.....	102
Figura 49 – Elevação de água pela camada rasada.....	103
Figura 50 – Diferença entre a distribuição interna de água nos corpos-de-prova.....	103
Figura 51 – Ensaio de desgaste por abrasão.....	104
Figura 52 – Corpos-de-prova ao final do ensaio.....	105
Figura 53 – Diferença entre ensaio teste e ensaio definitivo.....	106
Figura 54 – Esquema de ensaios de permeabilidade à água.....	106
Figura 55 – Desagregação da camada de tratamento cristalizante.....	110
Figura 56 – Mancha de água no ensaio sem cristalizantes.....	110
Figura 57 – Mancha de água no ensaio com tratamento cristalizante.....	111
Figura 58 – Profundidade de absorção.....	113
Figura 59 – Retração visível na placa com cristalizante P após o ensaio.....	114
Figura 60 – Geometria do manchamento.....	114
Figura 61 – Câmara climática com os copos usados no ensaio.....	116
Figura 62 – Ganho de massa das amostras ensaiadas por Temp (2014).....	117
Figura 63 – Inspeção visual das amostras de 36h ao fim do ensaio de permeabilidade.....	120
Figura 64 – Inspeção visual das amostras de 72h ao fim do ensaio de permeabilidade.....	121
Figura 65 – Ensaio de resistência de aderência.....	122
Figura 66 – Placas de ensaio com ruptura na argamassa.....	123
Figura 67 – Ensaio de aderência aos 40 dias, após aplicação de cristalizantes.....	124
Figura 68 – Amostras extraídas das placas de resistência de aderência.....	124
Figura 69 – Ensaio de resistência à compressão.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos e critérios de desempenho de uma argamassa impermeável em relação a uma argamassa convencional.....	32
Tabela 2 – Uso indicado para cada sistema de impermeabilização por membrana	47
Tabela 3 – Recomendações de proporção de ativo pelo fabricante	51
Tabela 4 – Caracterização do agregado miúdo	56
Tabela 5 – Caracterização do cimento CP II Z-32-RS.....	57
Tabela 6 – Características dos aditivos	57
Tabela 7 – Propriedades das argamassas e ensaios realizados.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos tipos de argamassas	28
Quadro 2 – Propriedades esperadas das argamassas nos estados fresco e endurecido	30
Quadro 3 – Características de desempenho em serviço de rebocos exteriores	31
Quadro 4 – Relação de ensaios de exsudação por diferentes autores	60
Quadro 5 – Relação de ensaios de permeabilidade por diferentes autores	66
Quadro 6 – Relação de ensaios de permeabilidade por diferentes autores	74
Quadro 7 – Relação de ensaios de abrasão por diferentes autores	77
Quadro 8 – Relação da quantidade de cristalizante aplicado por superfície	89
Quadro 9 – Relação da quantidade de cristalizante aplicado por superfície	90
Quadro 10 – Resumo dos resultados dos ensaios preliminares no estado fresco.....	93
Quadro 11 – Resumo dos resultados dos ensaios preliminares no estado endurecido.....	94
Quadro 12 – Resultado dos ensaios de densidade de massa e teor de ar	96
Quadro 13 – Resumo dos resultados encontrados.....	100
Quadro 14 – Comparativo com pesquisas de outros autores	100
Quadro 15 – Resultados de absorção de água por capilaridade	101
Quadro 16 – Resultado geral de permeabilidade à água	107
Quadro 17 – Resultados da permeabilidade à água por diversos autores	115
Quadro 18 – Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor.....	119
Quadro 19 – Comparativo com o resultado de outros autores	120
Quadro 20 – Ensaio de resistência de aderência	122
Quadro 21 – Resultados comparativos do ensaio de resistência de aderência.....	123
Quadro 22 – Resultados comparativos do ensaio de resistência à compressão	125
Quadro 23 – Resultados comparativos do ensaio de resistência à tração na flexão.....	127
Quadro 24 – Resultados dos ensaios no estado endurecido	128

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Retenção de água para argamassas estabilizadas	99
Gráfico 2 – Absorção de água por capilaridade	102
Gráfico 3 – Resultados do ensaio de desgaste por abrasão	104
Gráfico 4 – Ensaio de permeabilidade aos 28 dias	108
Gráfico 5 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante R	108
Gráfico 6 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante P	109
Gráfico 7 – Ensaio de permeabilidade aos 28 dias	111
Gráfico 8 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante R	112
Gráfico 9 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante P	113
Gráfico 10 – Perda de massa das amostras de 36h	118
Gráfico 11 – Perda de massa das amostras de 72h	118
Gráfico 12 – Resultados de resistência à compressão antes e após tratamento	126
Gráfico 13 – Resultados de resistência à tração na flexão antes e após tratamento	127

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Objetivos	24
1.1.1	Objetivo geral	24
1.1.2	Objetivos específicos.....	25
1.2	Justificativa	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	Revestimento de argamassa	27
2.1.1	Funções do revestimento	28
2.1.2	Características físicas e mecânicas.....	29
2.2	Argamassas estabilizadas	32
2.2.1	Histórico	32
2.2.2	Composição	33
2.2.3	Aplicações	34
2.2.4	Recomendações	35
2.3	Mecanismos de transporte	35
2.3.1	Permeabilidade	36
2.3.2	Porosidade	38
2.3.3	Absorção capilar.....	41
2.3.4	Migração elétrica.....	42
2.3.5	Difusão	43
2.4	Sistemas de proteção impermeabilizante	44
2.4.1	Sistemas formadores de películas.....	45
2.4.1.1	Tintas e vernizes	45
2.4.1.2	Membranas	46
2.4.2	Sistemas com capacidade de penetração	48
2.4.2.1	Cristalizante de uso posterior	48
2.4.3	Sistemas com uso de aditivos.....	51
2.4.3.1	Cristalizante para mistura.....	51
2.4.3.2	Aditivos hidrófugos.....	51
2.4.3.3	Argamassa polimérica	52
3	INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL	55
3.1	Caracterização dos materiais	55
3.1.1	Areia	56
3.1.2	Cimento	56
3.1.3	Aditivos	57
3.2	Técnicas de ensaio	58
3.2.1	Ensaio no estado fresco.....	58
3.2.1.1	Densidade e teor de ar incorporado.....	58
3.2.1.2	Exsudação de água (<i>bleeding</i>).....	60
3.2.1.3	Índice de consistência.....	63
3.2.1.4	Retenção de água.....	64
3.2.2	Ensaio no estado endurecido.....	65
3.2.2.1	Permeabilidade à água pelo método do cachimbo (Tubo Karsten).....	65
3.2.2.2	Permeabilidade ao vapor pelo método do copo.....	70
3.2.2.3	Abrasão.....	76

3.2.2.4	Absorção por capilaridade	77
3.2.2.5	Aderência	79
3.2.2.6	Resistência à compressão.....	80
3.2.2.7	Resistência à tração na flexão	82
3.2.3	Coleta do material	82
3.2.3.1	Argamassa de 36h.....	83
3.2.3.2	Argamassa de 72h.....	83
3.2.4	Moldagem, cura e desmoldagem	83
3.2.4.1	Amostras prismáticas	84
3.2.4.2	Amostras para abrasão	85
3.2.4.3	Amostras para permeabilidade à água	86
3.2.4.4	Amostras para permeabilidade ao vapor.....	86
3.2.4.5	Amostras para resistência de aderência	88
3.2.5	Aplicação dos tratamentos cristalizantes	88
3.2.5.1	Aplicação do cristalizante R	89
3.2.5.2	Aplicação do cristalizante P.....	90
4	RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS	93
4.1	Ensaio preliminar.....	93
4.2	Ensaio no estado fresco	95
4.2.1	Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	95
4.2.2	Exsudação de água.....	97
4.2.3	Índice de consistência	98
4.2.4	Retenção de água	98
4.2.5	Resumo dos resultados encontrados com os ensaios no estado fresco	100
4.3	Ensaio no estado endurecido	101
4.3.1	Absorção de água por capilaridade	101
4.3.1.1	Particularidades do ensaio	103
4.3.2	Desgaste por abrasão	104
4.3.2.1	Particularidades do ensaio	105
4.3.3	Permeabilidade à água	106
4.3.3.1	Argamassa estabilizada de 36h	107
4.3.3.2	Particularidade do ensaio de 36h	109
4.3.3.3	Argamassa estabilizada de 72h	111
4.3.3.4	Particularidade do ensaio de 72h	113
4.3.3.5	Comparativo.....	115
4.3.4	Permeabilidade ao vapor de água	116
4.3.4.1	Análise visual pós-ensaio.....	120
4.3.5	Resistência de aderência	122
4.3.5.1	Particularidades do ensaio	124
4.3.6	Resistência à compressão.....	125
4.3.7	Resistência de tração na flexão	126
4.3.8	Resumo dos resultados encontrados com os ensaios no estado endurecido	128
5	CONCLUSÕES.....	129
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

1 INTRODUÇÃO

É com frequência que se vem discutindo, no setor da construção civil, a importância da durabilidade e vida útil das construções, principalmente nos dias atuais em que a busca pela sustentabilidade e racionalização de processos se tornam indispensáveis para a criação de obras de qualidade, compatíveis com as necessidades do meio e das exigências do mundo contemporâneo.

Nesse sentido, é vital a aplicação de sistemas eficientes que proporcionem à obra as condições adequadas de segurança estrutural, salubridade, capacidade funcional, conforto e confiabilidade das instalações.

A ausência de um desses fatores pode-se constituir em risco, inviabilizando a obra como um todo e causando sérios prejuízos, com reflexos nos segmentos políticos, sociais e ambientais, além de consequências danosas para o ser humano.

Dentre as condições acima mencionadas, destacamos que um dos problemas recorrentes mais encontrados em qualquer sistema construtivo no Brasil é causado pela presença da água ou umidade, por vezes associados a fissurações. Essa premissa é corroborada pela pesquisa de Richter (2007), na qual 6 empreendimentos de habitação de interesse social no Rio Grande do Sul, a infiltração de água foi a manifestação mais encontrada; e pelo trabalho de Brito et al. (2011) em que, a infiltração de água no sistema de vedação vertical de 42 empreendimentos habitacionais, foi apontado por 75% dos entrevistados como um dos maiores problemas. Ilustramos esse aspecto na Figura 1 do CTSC¹ (in OLIVEIRA, 2013, p. 7):

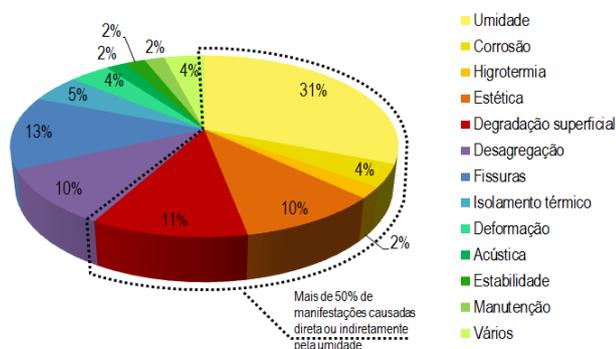


Figura 1 – Anomalias mais encontradas em edifícios

Fonte: CSTC in Oliveira (2013).

¹ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC), - *L'humidité dans les constructions*. CSTC, NIT 210, Bruxelles, 1998.

Diante deste problema, é constante a busca por soluções efetivas que consigam não apenas minimizar esses efeitos, mas acabar de fato com eles, proporcionando uma melhor qualidade de vida aos usuários e mantendo um nível esperado de vida útil da construção.

Para sanar tais problemas nos revestimentos de obras já concluídas, tem-se feito, apesar de inicialmente oneroso, a aplicação de aditivos impermeabilizantes de efeito cristalizante. Os referidos aditivos prometem vedar os poros capilares das misturas de argamassa e concreto, para impedir a penetração de água, na forma líquida, e, ao mesmo tempo, permitir a passagem de ar ou vapor. Essa solução é mais vantajosa do ponto de vista econômico, uma vez que não restringe nem impede o uso do ambiente em questão, além de evitar novos retrabalhos, como a retirada do revestimento existente, aplicação de um novo sistema impermeabilizante e reaplicação do revestimento. Processos esses demorados, custosos e que não conseguem garantir totalmente a estanqueidade do sistema.

Em paralelo ao exposto acima, a demanda por produtividade só vem aumentando, o que revela a necessidade da criação de materiais mais adequados à atual realidade. Nesse cenário, a argamassa estabilizada surge como uma solução viável, sendo dosada em central, e garantindo a trabalhabilidade de seu produto, por até 72h sem a perda de suas propriedades.

A produção de argamassa estabilizada, no ano de 2007, no Brasil, ainda era pequena, existindo apenas 12 fábricas com produção anual de 400m³. Agora, em 2014, só na cidade de Santa Maria, a produção anual beira os 2000m³. Porém, por ser um produto relativamente novo, com aplicação restrita a alguns mercados locais, pouco se sabe ainda sobre suas características e desempenho em serviço.

Por isso, a seguinte pesquisa busca verificar a eficiência da aplicação dos aditivos de superfície, acima elencados, em argamassas estabilizadas, através de ensaios de laboratório que testarão o nível de permeabilidade dessas amostras.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de argamassas de revestimento monocamada externas e internas com aditivos cristalizantes e estabilizadas disponíveis no mercado de Santa Maria.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar as características físicas e mecânicas das argamassas estabilizadas no estado fresco e endurecido;
- Avaliar o efeito do aditivo cristalizante na capacidade de modificar as propriedades superficiais das argamassas estabilizadas;
- Verificar se há diferença no resultado de permeabilidade e absorção de água ao se aplicar tratamento impermeabilizante em uma argamassa com estabilização de 36h e outra de 72h;

1.2 Justificativa

A premissa deste trabalho se justifica no fato de ser a presença da água uma das principais causas para o aparecimento e disseminação de manifestações patológicas em revestimentos argamassados. Tal problema põe em risco a durabilidade e, em consequência, a capacidade de proteção desses revestimentos, permitindo assim a degradação precoce de materiais e estruturas. Por outro lado, a utilização de aditivos impermeabilizantes promete solucionar essa questão, criando uma barreira à penetração de água. No entanto, poucos estudos - não comerciais - são encontrados sobre a utilização de agentes cristalizantes em materiais cimentícios, mais raro ainda pesquisas de sua utilização em argamassas comuns ou estabilizadas. Diante disso, a presente pesquisa acadêmica busca contribuir com resultados sobre a eficácia da aplicação de tratamento cristalizante em argamassas estabilizadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Revestimento de argamassa

A NBR 13281 (2001) define argamassa como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria, tal como a argamassa industrializada.

Com a evolução tecnológica da construção civil, novos materiais passaram a ser criados e disponibilizados no mercado. As argamassas, por vezes relegadas a material secundário, passaram a ganhar novas atribuições específicas, sendo possível classificá-las de acordo com suas propriedades, utilização, tipo de concepção, local de produção, aplicação ou tipos de ligantes utilizados (APPS, 2011), conforme ilustra o Quadro 1.

(continua)

Classificação	Tipo	Descrição
Propriedades e utilização	Argamassa de uso geral	Argamassa sem propriedades especiais
	Argamassa leve	Densidade após endurecimento de $< 1300\text{kg/m}^3$
	Argamassa colorida	Pigmentada para uma função decorativa
	Monocamada	Única, sem chapisco, emboço e reboco
	Argamassa de restauro	Usada em obras antigas onde é feita a recomposição do traço
	Argamassa de renovação	Usadas em obras com presença de sais e elevada porosidade e permeabilidade
	Argamassa de isolamento	Com propriedades de isolamento térmico
Tipo de concepção	Argamassas de desempenho	Argamassas onde o traço é um resultado das propriedades requeridas
	Argamassas de formulação	Argamassa onde as propriedades dependem da proporção entre os componentes, possui composição pré-determinada
Local de produção	Argamassas tradicionais	Produzidas em obra
	Argamassas não tradicionais	Pré-dosadas em fábrica ou central

(conclusão)

Tipo de ligantes	Um só ligante	Argamassa com ligantes aéreos, hidráulicos ou materiais com comportamento de ligante
	Mistura de ligantes	Argamassas mistas ou compostas
Classificação	Tipo	Descrição
Aplicação	Assentamento	Usada para elevação de alvenaria
	Revestimento	Usada para revestir muros e paredes
	Cimento-cola	Usada para colar elementos cerâmicos
	Rejuntas	Preenche juntas por razões estéticas e/ou funcionais
	Suporte para revestimento	Regularizam o pavimento

Quadro 1 – Classificação dos tipos de argamassas

Fonte: Adaptado de Apps (2011, p. 11).

A escolha da composição de uma argamassa depende, então, diretamente da função que ela deve desempenhar e do local em que será utilizada. No caso de sua aplicação em paredes, a argamassa funciona como um revestimento, que se caracteriza pela “proteção de uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas, com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber de maneira adequada uma decoração final” (ABCP, s.d., p. 11).

Tal revestimento é, portanto, o responsável pela blindagem da edificação, visto ser a primeira barreira encontrada pelas ações climáticas, poluição ou demais agentes agressivos. O objeto de investigação desta pesquisa é justamente argamassas de revestimento com aplicação interna e externa, que serão detalhados neste corpo teórico.

2.1.1 Funções do revestimento

No que se refere às funções, as argamassas de revestimento têm um papel mais importante do que apenas cobrir os materiais de vedação, já que se apresentam como um primeiro obstáculo a qualquer agente de degradação.

De acordo com Veiga et al. (2004), os revestimentos exteriores influenciam na existência de condensações dentro da parede, na estanqueidade à água e no isolamento térmico do sistema, além de protegerem a estrutura e as alvenarias, proporcionando

durabilidade à obra. Os revestimentos interiores, por outro lado, precisam garantir a regularidade, o aspecto estético, o conforto higrométrico, o conforto térmico e a acústica.

Além dessas funções, ainda, é importante salientar que os revestimentos devem contribuir para a salubridade das construções, assegurar sua aderência ao suporte e serem suficientemente resistentes e seguros contra a ação de fogo, a variações climáticas e a agentes agressivos (PÁSCOA, 2012; VEIGA, 2005; ALVES, 2010). Também do ponto de vista econômico, vale mencionar que a manutenibilidade é uma característica importante, pois garante o aumento da durabilidade do revestimento.

Entretanto, a estanqueidade à água ainda se mostra uma das maiores preocupações do setor da construção civil, uma vez que a presença e acúmulo imprevisto de água é uma fonte abundante de manifestações patológicas, tais como infiltrações, bolores, insalubridade, manchas, bolhas, entre outros. Veiga (1998 in GONÇALVES, 2010) declara que as infiltrações de água nas paredes afetam a durabilidade dos edifícios, pois o seu contato prolongado e os ciclos de umedecimento e secagem provocam a degradação das alvenarias e até mesmo dos materiais estruturais. Tal afirmação demonstra a representatividade que os revestimentos possuem para a proteção integral do sistema construtivo.

2.1.2 Características físicas e mecânicas

Conforme Santos (2012), as características de desempenho físico e mecânico traduzem a capacidade de resposta dos revestimentos, face às funções exigidas, logo, a qualidade e o comportamento das argamassas dependem dessas características.

Como a argamassa é um elemento composto, que precisa ser misturado e curado para se tornar um material rígido, ela alterna entre um estado fresco e um estado endurecido, cada qual com diferentes propriedades de desempenho requeridas.

Para Alves et al. (2010), as propriedades no estado fresco que definem a trabalhabilidade são: consistência, plasticidade, adesão inicial, viscosidade, entre outras. Já, a argamassa no estado endurecido deve apresentar: baixa retração, reduzida permeabilidade à água, boa aderência, capacidade de absorver deformações, boa resistência mecânica e resistência superficial.

Essas propriedades, juntamente com outras complementadas no Quadro 2, são, então, avaliadas por meio de ensaios e requisitos preestabelecidos por normas brasileiras, internacionais ou técnicas validadas por pesquisadores.

	Característica	Descrição
Estado fresco	Adesão inicial	Relacionada ao fenômeno que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguida do endurecimento progressivo da pasta.
	Consistência	É a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas.
	Exsudação	É o fenômeno de separação de parte da água de amassamento de uma argamassa fresca, mantida em repouso sem qualquer tipo de vibrações ou choques.
	Massa específica	Diz respeito à relação entre a massa e o volume.
	Retração na secagem	Ocorre em função da evaporação da água de amassamento, pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. Causa fissurações na argamassa.
	Retenção de água	Representa a capacidade de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. Perda de água mais lenta promove maior resistência.
	Teor de ar incorporado	É a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa. À medida que cresce o teor de ar, a massa específica relativa da argamassa diminui.
	Trabalhabilidade	É uma propriedade de avaliação qualitativa. Para ser trabalhável a argamassa deve ser coesa, não pode ser fluida em demasia e nem endurecer rapidamente.
	Estado endurecido	Absorção capilar
Aderência		É a propriedade de o revestimento se manter fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento.
Condutividade térmica		Propriedade térmica da argamassa endurecida. Depende da densidade do material. Mais cimento, menor isolamento.
Dureza superficial		Determina a dureza dos revestimentos através da medida do índice esclerométrico. Quanto mais brando o material, maior é a energia absorvida e menor o ressalto.
Permeabilidade		A permeabilidade está relacionada à passagem de líquido pelo revestimento, o qual deve ser estanque à água, mas permeável ao vapor para favorecer a secagem.
Porosidade		A porosidade pode ser definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total de sólidos.
Resistência ao fogo		Propriedade de resistir à ação do fogo por determinado período mantendo sua estabilidade.
Resistência ao desgaste		Resistência ao desgaste da superfície por ação mecânica.
Resistência ao gelo		Resistência do material a ciclos de gelo e degelo.
Resistência ao impacto		Caracteriza a resistência superficial (deformabilidade)
Resistência mecânica		Capacidade de suportar esforços mecânicos e tensões que lhe estão associadas. Relacionado à compacidade.

Quadro 2 – Propriedades esperadas das argamassas nos estados fresco e endurecido

Fonte: Adaptado de Alves (2010), EMO (s.d.), Maciel (1998), Pagnussat (2012), Santos (2008), Santos (2012).

Além das características acima citadas, as argamassas usadas especificamente como revestimentos de paredes externas precisam atender a outras propriedades de desempenho descritas no Quadro 3.

Comportamento	Características
Processo de endurecimento	Retenção de água; variações dimensionais; retração livre e restringida; teor de ar incorporado.
Comportamento mecânico	Massa volúmica; resistência à compressão e à compressão por flexão; resistência aos impactos e ao atrito; aderência ao suporte; módulo de elasticidade dinâmico; resistência à fissuração; reação ao fogo; condutibilidade térmica; coeficiente de expansão higrotérmico; coeficiente de absorção da radiação solar.
Comportamento face à água	Susceptibilidade de crescimento de microrganismos; permeabilidade à água líquida sob baixa pressão; coeficiente de capilaridade; absorção de água capilar; teor de umidade higroscópico para várias umidades relativas; permeabilidade ao vapor de água; teor de sais solúveis.
Comportamento da superfície do reboco	Resistência a agentes químicos; resistência à formação de manchas; susceptibilidade à fendilhação; integridade das arestas; dureza; rugosidade; homogeneidade da textura, cor e brilho; boa aparência e ausência de degradação; adequado estado da pintura; grau de limpeza.

Quadro 3 – Características de desempenho em serviço de rebocos exteriores

Fonte: Adaptado de Flores-Colen (2009, in Apps, 2011).

Para Veiga (2005), nos rebocos executados em obras, cada camada possui uma função principal específica e, portanto, devem cumprir requisitos diferenciados. Já revestimentos monocamada ou camada única devem cumprir todos os requisitos, exigindo desempenho superior ao sistema comum de chapisco, emboço e reboco.

Uma vez que o objeto da pesquisa são revestimentos argamassados monocamada e a umidade é um elemento preponderante no surgimento de manifestações patológicas, o comportamento da argamassa face à ação da água é determinante para o desempenho do sistema.

Nessa linha de pensamento, Páscoa (2012), recomenda que sejam levadas em consideração as seguintes propriedades: permeabilidade à água sob pressão, permeabilidade ao vapor, absorção capilar, susceptibilidade de crescimento de microrganismos, teor de umidade higroscópico e teor de sais solúveis.

A NBR 16072 (2012) salienta que, para uma argamassa ser impermeável à água ela deve ser constituída de agregados minerais inertes, cimento e aditivo, cujo desempenho deve estar dentro dos parâmetros estabelecidos pela Tabela 1. Além disso, sua função também é a de resistir a álcalis e ácidos dissolvidos nas águas pluviais e apresentar reduzida absorção de água por capilaridade.

Tabela 1 – Requisitos e critérios de desempenho de uma argamassa impermeável em relação a uma argamassa convencional

Requisitos		Variação	Ensaio
Resistência de ruptura à compressão	7 dias	$\leq 20 \%$	NBR 13279
	28 dias	$\leq 20 \%$	
Resistência à tração na flexão	28 dias	$\leq 20 \%$	
Tempo de pega	Início	Não mais do que 1h antes nem 1:30 depois	NBR NM 9
	Fim	Não mais do que 1h antes nem 1:30 depois	
Absorção por capilaridade	28 dias	Mínimo 50%	NBR 9779
Resistência à penetração de água sob pressão	120h. ^a	Mínimo 5 m.c.a.	NBR 10787
Tensão de aderência	28 dias	Mínimo 0,3 MPa	NBR 15258
Variação de consistência	1h	Máximo 10%	NBR 13276

Fonte: NBR 16072 (2012).

2.2 Argamassas estabilizadas

Nunes (2010), define a argamassa estabilizada como uma argamassa dosada em central, úmida, estabilizada (com retardamento do início da pega), pronta para utilização, podendo se manter trabalhável de 36 até 72h, dependendo da sua composição.

2.2.1 Histórico

De acordo com Casali (2011) na Alemanha, por volta da década de 1970, foi desenvolvida uma argamassa industrializada com adição de aditivos que era capaz de manter

suas características de uso por até três dias. Essa nova tecnologia foi inicialmente exportada para o continente americano cerca de dez anos depois. Posteriormente, em 1985, foi trazida ao Brasil, mais especificamente para São Paulo.

Após sua introdução no Brasil, as argamassas dosadas em central passaram a ter boa aceitação pela indústria da construção, uma vez que demonstravam grande capacidade em atender às necessidades dos construtores. Com produção em larga escala, materiais classificados, controle tecnológico, assistência técnica e acompanhamento, essas argamassas conseguiam acelerar o processo construtivo, atendendo a obras de grandes volumes em curto espaço de tempo (DJANIKIAN, 1999).

Entretanto, Pagnussat et al. (2012, p. 1), argumentam que o uso de argamassas estabilizadas ainda é "muitíssimo pequeno no Brasil, ficando restrito a alguns mercados regionais bem específicos". Tal informação é corroborada por Schmid (2011) afirmando que no ano de 2007 a Europa contava com mais de 500 fábricas de argamassa estabilizada, com produção anual de 6.000m³, enquanto o Brasil dispunha de apenas 12 fabricantes e produção anual de 400m³ de material por mês, por empresa.

Diante do exposto, pode-se dizer que ainda existe pouco conhecimento acerca das reais propriedades das argamassas estabilizadas. Também se destaca que, diferentemente das argamassas normais, as estabilizadas, por serem pouco difundidas no território nacional, não possuem atualmente norma brasileira para regulamentar suas características ou seu desempenho, originando incertezas sobre sua qualidade.

2.2.2 Composição

A composição das argamassas estabilizadas para Matos (2013) é semelhante às industrializadas, porém sem adição de cal à mistura. Uma vez que é a cal que confere melhor plasticidade à massa, no dizer de Alves et al. (2005), é necessário se fazer o uso de aditivos incorporadores de ar para promover os mesmos efeitos de trabalhabilidade, diminuição da exsudação e retenção de água.

Normalmente essa argamassa é composta por cimento, agregado miúdo, água potável e aditivos retardador de pega e incorporador de ar.

Os referentes aditivos são usados respectivamente para garantir a ampliação do tempo de uso da argamassa e para conferir maior trabalhabilidade, estabilidade e retenção de água.

Apesar das vantagens acima mencionadas, o uso de aditivos também possui um lado negativo. A incorporação de ar, embora necessária para conferir trabalhabilidade à argamassa, a deixa mais porosa (ROMANO, 2011, p. 2) e, portanto, mais suscetível à ação negativa da umidade e de agentes agressivos.

O retardador de pega usado, por sua vez, para ampliar o tempo em que o material se mantém trabalhável, tem como desvantagem o aumento de retração plástica e exsudação de água conforme Neville (2013).

Essas informações nos permitem indagar sobre as reais propriedades de estanqueidade do revestimento composto por essas argamassas, mostrando que, um estudo sobre a permeabilidade de um material teoricamente mais poroso se mostra necessário.

2.2.3 Aplicações

Apesar de ainda ter pouco espaço no mercado nacional, a argamassa estabilizada já vem sendo bastante utilizada localmente para revestimentos interno e externo e assentamento de alvenaria de vedação. O fornecedor de argamassa estabilizada, utilizada nesta pesquisa, sugere as seguintes aplicações:

- Alvenaria comum ou aparente;
- Chapiscos, rebocos e emboços de interiores e exteriores;
- Regularização de pisos, sacadas, soleiras e marquises;
- Rejunte de telhas;
- Enchimento de tubulações e impermeabilização de locais inundáveis;
- Porões, salas subterrâneas, adegas, garagens, poços, sarjetas;
- Muros de contenção;
- Argamassa leve para enchimento;
- Argamassa para assentamento de pedras em calçadas.

Entretanto, ainda não foram desenvolvidos estudos, recomendando sua utilização para fins estruturais.

E uma vez confirmadas as expectativas sobre a porosidade do material, sua gama de aplicações seria consideravelmente reduzida, principalmente em situações onde a presença de umidade e acúmulo de água são inevitáveis.

2.2.4 Recomendações

O armazenamento e manuseio das argamassas estabilizadas devem seguir à risca as orientações dos fabricantes para que possa haver garantia de suas propriedades.

Após o recebimento do lote de argamassa, a recomendação feita é que ela seja armazenada até o próximo dia, antes de seu uso efetivo.

Para realizar o correto armazenamento, a argamassa deve ser colocada em um recipiente próprio e deve ter sua superfície alisada. Concluído o alisamento, deve-se aplicar uma película de água potável de aproximadamente 20mm diretamente sobre a massa. No dia seguinte, antes de usá-la, é preciso remover a película de água e realizar a homogeneização da mistura armazenada.

No entanto, Casali et al. (2011), realizaram uma pesquisa em Curitiba com cinco lotes de argamassas estabilizadas de 36 e 72h, a fim de determinar a real influência da colocação ou não da película de água. A conclusão a que chegaram foi de que as argamassas com película tiveram uma menor queda no índice de consistência, porém os lotes sem a colocação de película obtiveram maiores valores de resistência à compressão e resistência à tração na flexão.

Por isso, não há real garantia sobre a importância da recomendação dada pelo fabricante, necessitando, contudo, pesquisas com maior representatividade, que verifiquem e confirmem o desempenho e as particularidades dessas argamassas.

2.3 Mecanismos de transporte

Conforme Medeiros (2008), diversos mecanismos são responsáveis pelo transporte de massa em um material, com características porosas, como o concreto ou as argamassas. Alguns desses mecanismos são: sorção, absorção capilar, difusão, migração elétrica,

porosidade e permeabilidade. Sua ocorrência pode acontecer de forma individual ou em conjunto, acelerando a degradação do material.

2.3.1 Permeabilidade

Para Neville (1997, p. 482), “permeabilidade é a facilidade com a qual os fluidos, tanto líquidos como gases, podem ingressar no concreto e se deslocar em seu interior”. A permeabilidade ao vapor é uma característica desejável para qualquer material, considerando-se que justamente o aprisionamento, e não a existência, do vapor é o fator nocivo ao material. Já a permeabilidade de água ou outros líquidos, representa um risco por si só, e também permite a infiltração de agentes agressivos, sendo, portanto uma característica indesejável.

O processo de formação de um material permeável é explicado por Neville (1997), quando esclarece que a permeabilidade de uma pasta de cimento varia com a evolução da hidratação. Em uma pasta fresca, o escoamento da água é controlado pelo tamanho, forma e concentração das partículas de cimento. Com a evolução da hidratação da pasta, a permeabilidade decresce, pois o volume total do gel - incluindo os poros de gel - preenche parte do espaço inicialmente ocupado pela água. Já em uma pasta madura, o tamanho, forma e concentração das partículas de gel e a descontinuidade ou não dos capilares é que definem a permeabilidade do material como ilustra a Figura 2.

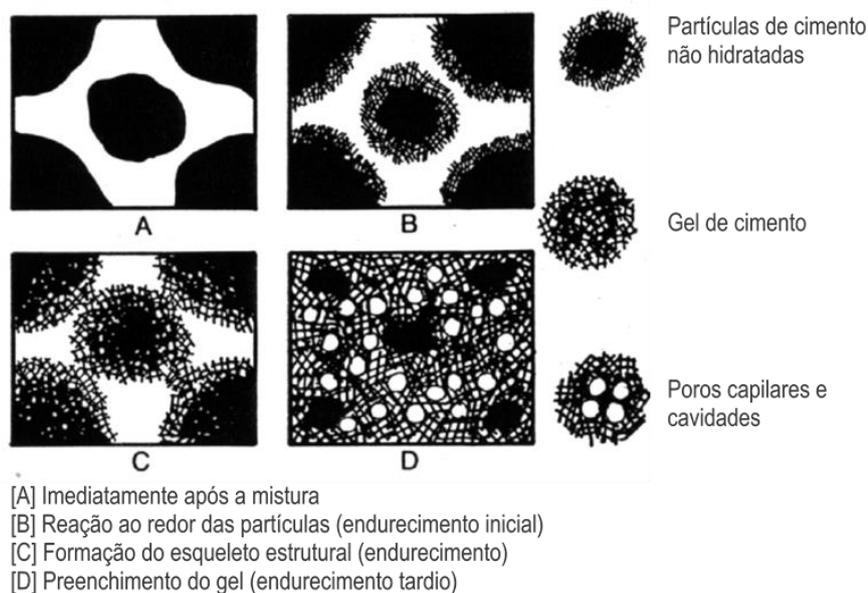


Figura 2 – Processo de hidratação do cimento

Fonte: Adaptado de Bennison (s.d.).

Também para Baía et al. (2000, p. 25) a permeabilidade de um material “depende: da natureza da base; da composição e dosagem da argamassa; da técnica de execução; da espessura da camada de revestimento; e do acabamento final”. Essas características, de fato, influenciam a macroestrutura do material, em vista da facilidade à penetração de água, mas também existem propriedades da microestrutura que são decisivas, como a porosidade. Para Neville (1997) a permeabilidade depende das dimensões, distribuição, forma, tortuosidade e continuidade dos poros existentes no material. Sendo que um material poroso precisa ter uma rede aberta para permitir o transporte de líquidos em seu interior.

Outro fator influente é apresentado por Neville (2013) que demonstra que, assim como a porosidade capilar é governada pela relação água/cimento e pelo grau de hidratação da pasta, a permeabilidade também é dependente desses parâmetros. E exemplifica, declarando que uma relação água/cimento baixa, próxima a 0,6, torna os poros descontínuos ou segmentados, diminuindo por consequência a permeabilidade do material. Isso ocorre porque durante o processo de hidratação, os produtos de hidratação vão expandindo, tomando o lugar antes ocupado pela água, e com a diminuição de água, o preenchimento dos vazios é maior, como ilustra a Figura 3.

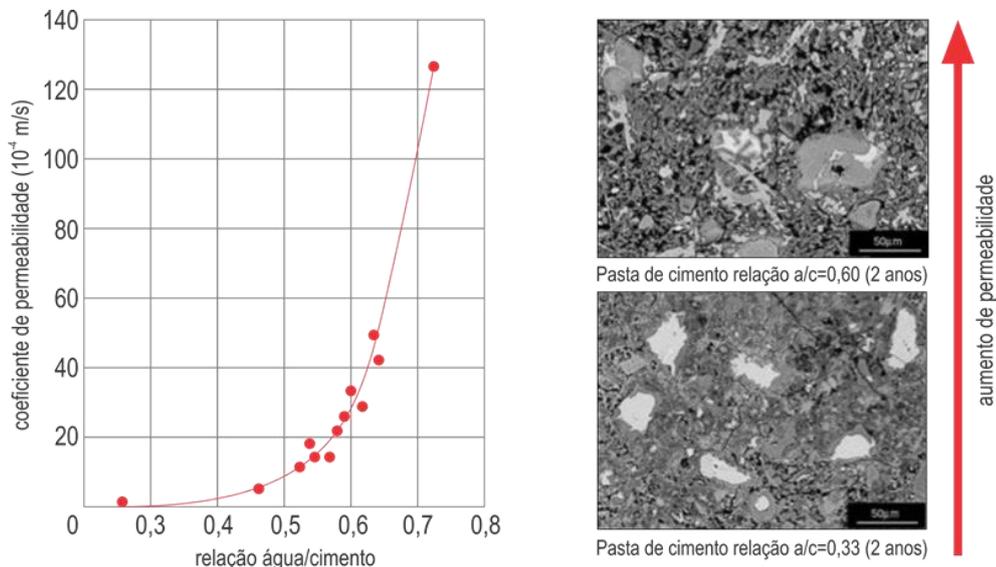


Figura 3 – Relação entre permeabilidade e relação a/c de pastas maduras

Fonte: Adaptado de Neville (2013) e www.understanding-cement.com/water-cement-ratio-estimate.html.

A permeabilidade de um material pode ser medida de diversas formas: método do cachimbo (tubo karsten), ensaio de absorção capilar, imersão em água, método cembureau,

método de figg, método de paulmann, método de germann, método de hong-parrot, método de torrent, método do copo, teste do vácuo, entre outros (SENTONE, 2011; PEDRO, 2011).

2.3.2 Porosidade

Neville (1997), caracteriza a porosidade como a medida da proporção do volume total do concreto ocupada pelos poros, geralmente expressa em porcentagem. Já, Bertolini (2010), amplia essa ideia, acrescentando que os referidos poros funcionam como uma rede interna do material, a qual permite o transporte de substâncias gasosas ou líquidas, base dos principais fenômenos de degradação.

A formação da rede porosa pode ser explicada pelo processo de hidratação da argamassa. A pasta fresca é um composto de partículas de areia e cimento dispersas em água. Uma vez que a pega tenha ocorrido, seu volume permanece aproximadamente constante. Essa pasta consiste de vários compostos hidratados de cimento, e o espaço disponível para esses produtos de reação é a soma do volume do cimento anidro com o volume da água de amassamento. Devido à hidratação, essa água assume a forma de água combinada, água de gel ou água capilar.

A água combinada é a água não evaporável, que se combinou física ou quimicamente com os produtos de hidratação. A água de gel é aquela retida ou adsorvida e está localizada entre os produtos da hidratação, nos poros do gel ou espaços interlamelares, representando 28% do volume do gel de cimento. E a água capilar é a água livre.

Os produtos sólidos hidratados ocupam inicialmente, um volume menor do que o volume inicial de cimento anidro, mais o volume de água, ou seja, existe um espaço residual na pasta. Esse espaço forma os vazios ou poros capilares, os quais são maiores do que os poros do gel. Caso a mistura de argamassa tenha mais água do que o necessário para que ocorram as reações de hidratação, existirão poros em excesso, devido à evaporação dessa água (NEVILLE, 2013).

Essa formação porosa pode ser altamente prejudicial para o material em questão. Se a porosidade for grande e os poros estiverem interligados, eles contribuirão para o deslocamento de fluidos dentro do material, ou seja, o material será poroso e permeável como ilustra a Figura 4. No entanto, se existirem muitos poros, mas eles não são conectados por redes capilares, o material será muito poroso, mas pouco permeável (id. *ibid.*). Ainda

conforme o mesmo autor os poros importantes para a permeabilidade são aqueles contínuos e com diâmetro de, pelo menos, 120nm ou 160nm.

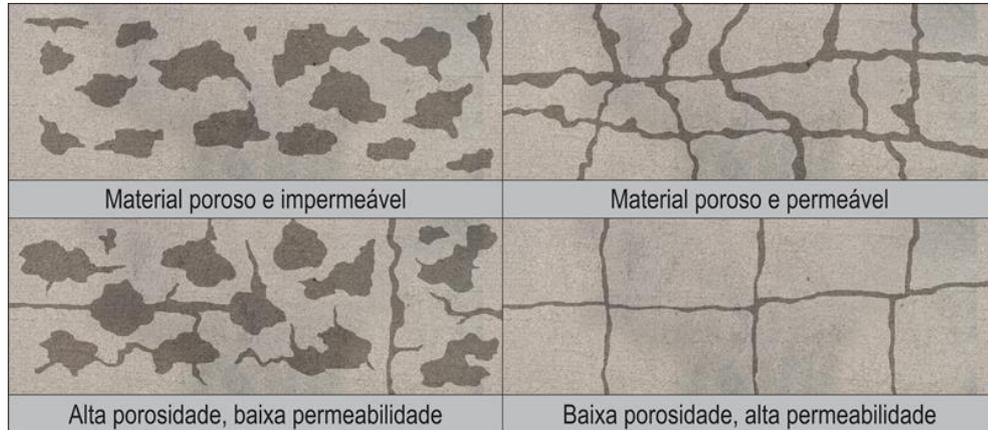


Figura 4 – Relação entre permeabilidade e porosidade

Fonte: Adaptado de Concrete Society (1987, in Coutinho, 2005).

A porosidade contínua, onde há a formação de uma rede de poros conectada, é denominada de porosidade aberta. Já a porosidade fechada, não contribui para o escoamento de água, pois ela é constituída por poros ou agrupamentos de poros isolados. Naturalmente, apenas a porosidade aberta contribui para o transporte de líquidos e gases pelo material. Deve, ainda, distinguir-se, na porosidade aberta, um tipo específico de poros: os chamados poros cegos que apenas contatam com a rede porosa aberta contínua por uma das suas extremidades (RATO, 2006). A Figura 5 ilustra os tipos de poros que podem ser encontrados em uma amostra de argamassa endurecida.

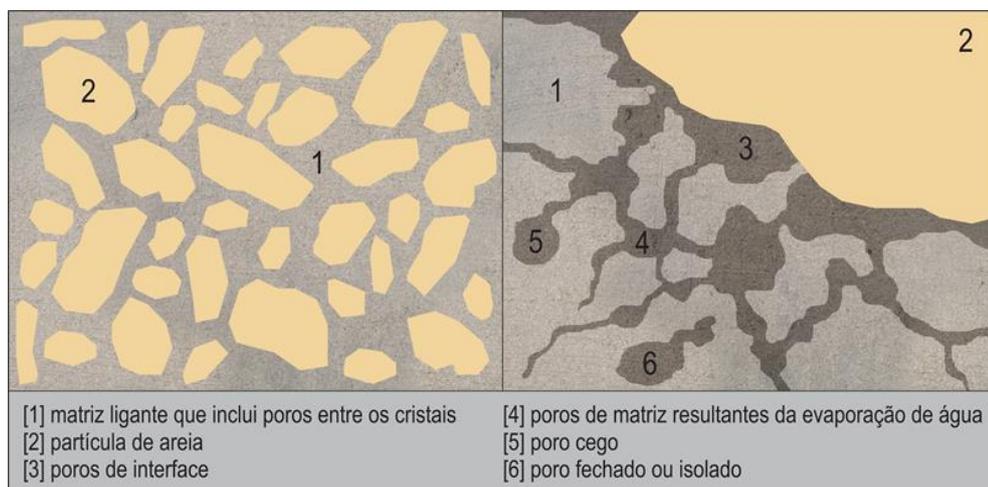


Figura 5 – Tipos de poros existentes na estrutura de uma argamassa

Fonte: Adaptado de Rato (2006).

Além da facilidade de penetração de fluidos, os materiais porosos ainda têm outra desvantagem significativa: materiais cujas partículas apresentam maior nível de empacotamento, ou seja, com reduzido conteúdo de vazios, são mais resistentes do que materiais porosos. De fato, o gráfico da Figura 6 demonstra a relação entre porosidade e resistência de vários materiais:

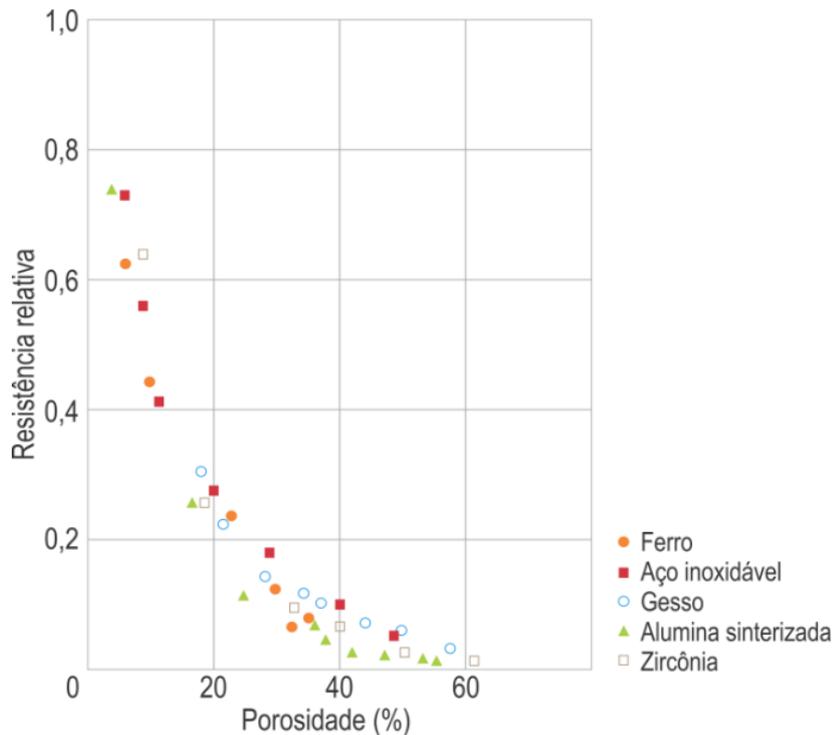


Figura 6 – Influência da porosidade sobre a resistência de diversos materiais

Fonte: Adaptado de Neville (1997).

Para conseguir determinar a porosidade de um material, existem alguns ensaios que podem ser realizados, como: intrusão de mercúrio, ensaio de imersão em água, picnometria com hélio, cálculo dos volumes para previsão de porosidade, processamento de imagens, tomografia computadorizada com raios-X, entre outros.

A quantidade e distribuição dos poros podem ser controladas pela inclusão de aditivos, diminuição da relação água/cimento, escolha dos materiais, tipo de cura, e diversos outros fatores. No entanto a presença de água, tanto em estado líquido quanto em forma de vapor é inevitável, se fazendo necessária a utilização de produtos que proporcionem a proteção dos revestimentos constituídos de materiais porosos.

2.3.3 Absorção capilar

De acordo com Mehta e Monteiro (2008, p. 30) "vazios capilares representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da pasta de cimento hidratada". Esses vazios, por sua vez, representam uma rede de caminhos interligados distribuídos aleatoriamente dentro do material, permitindo que qualquer elemento que penetre, por esses vazios, se espalhe rapidamente pela rede de capilares.

Neville (1997) ao descrever a absorção capilar, declara que ela "é um fenômeno que ocorre em estruturas porosas e consiste na ação de forças de atração dos poros da estrutura sobre os líquidos que estão em contato com sua superfície". Amplia, ainda, essa ideia, afirmando que os poros exercem atração sobre as moléculas da superfície dos líquidos, fazendo com que o mesmo se desloque verticalmente. Tal fato ocorre até que as forças de atração dos capilares sejam equilibradas pelo peso do líquido. E quanto menor for o diâmetro desses capilares, maiores são as pressões, conseqüentemente, mais rápida será a absorção de água.

Esse fenômeno ocorre apenas quando a água entra em contato com um material hidrófilo, uma vez que a tendência da água é a de aumentar sua superfície de contato com esse tipo de material, formando um ângulo agudo. Na existência de poros capilares, as interações entre o líquido e a superfície do material determinam uma depressão que atrai a água para o interior desse poro. O mesmo não ocorre com materiais hidrófobos, ou hidrorrepelentes, pois devido a interações com o material não absorvente a superfície de contato da água diminui, formando um ângulo de contato superior a 90° , como ilustrado na Figura 7.

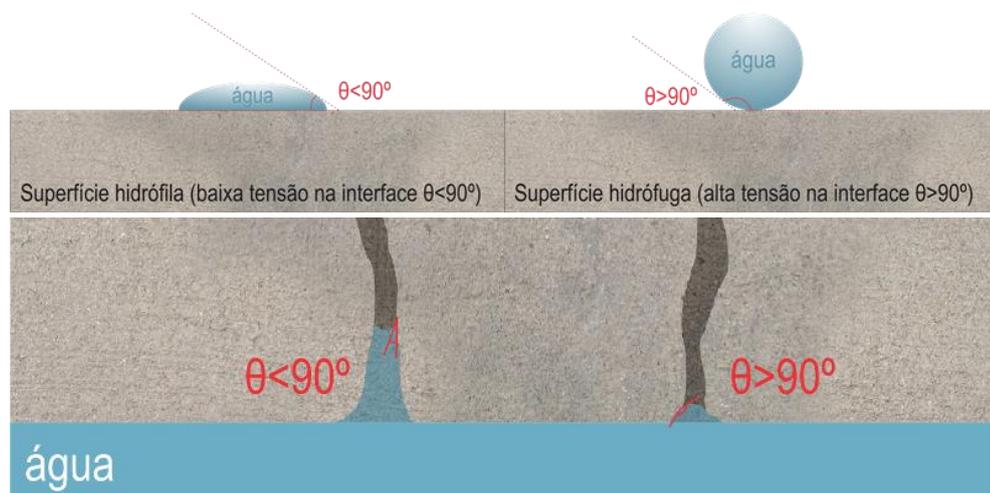


Figura 7 – Comportamento de materiais hidrófilos e hidrófobos

Fonte: Adaptado de Bertolini (2010).

Quanto ao processo de entrada de água pelos poros capilares de um material, Crauss (2010) explica que este depende de algumas propriedades do próprio líquido, como viscosidade, densidade e tensão superficial, bem como de características do material absorvente, como sua estrutura porosa. Atendidos todos esses fatores, sempre que houver presença de água ela será absorvida pela superfície do material. No entanto, para conseguir criar uma descontinuidade na rede capilar, Neville (1997) recomenda que seja feito um bom proporcionamento da relação água/cimento e uma cura úmida prolongada.

Pode, ainda, a capilaridade ser determinada através de ensaio normatizado, experimento esse que, no Brasil, é descrito pela norma NBR 15259/2005 - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

2.3.4 Migração elétrica

No que diz respeito à migração iônica, Santos (2006), a conceitua como o processo de transporte que ocorre quando existe um potencial elétrico, o qual possibilita o deslocamento dos íons presentes no material, de forma a neutralizar o efeito de diferença do potencial. Essa movimentação é ilustrada pela Figura 8.

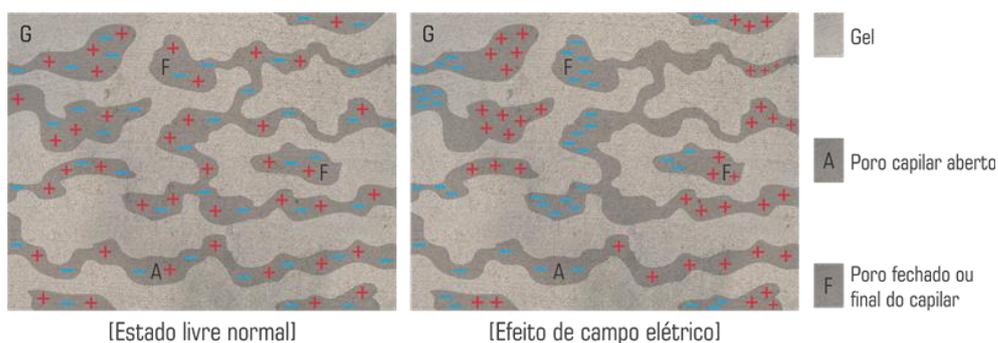


Figura 8 – Movimentação de íons dentro da rede porosa de um material saturado pelo efeito de um campo elétrico

Fonte: Brameshuber (2003).

Para Bertolini (2010, p. 42), "a diferença de potencial produzida pelo campo elétrico entre dois pontos do material, determina a circulação de uma corrente produzida pelo

movimento das espécies iônicas dissolvidas". Com isso os íons positivos migram no sentido da corrente convencional e os negativos vão para o lado contrário. Essa movimentação induz um transporte de matéria, desestabilizando a estrutura normal do material.

O tipo de transporte referido é essencial para a ocorrência de fenômenos corrosivos em materiais metálicos presentes em um material poroso. Nepomuceno (2005, in SANTOS, 2006) afirma que a migração iônica pode ocorrer em estruturas de concreto com proteção catódica, estruturas submetidas à extração de cloretos e realcalinização, e em estruturas suporte de veículos que utilizam corrente elétrica para sua movimentação. Também, na mesma linha de raciocínio, Kulakowski (1994 in HOFFMANN, 2001), esclarece que “este campo elétrico pode ser proveniente da existência de pilhas de corrosão eletroquímica ou de uma diferença de potencial gerada por uma fonte externa”.

A migração elétrica é um fenômeno representativo para estruturas de concreto armado e de outros materiais, em que materiais metálicos estejam presentes, no entanto ele não é o fenômeno mais relevante para estudos de durabilidade das argamassas.

2.3.5 Difusão

Para Bertolini (2010), o transporte de substâncias por difusão ocorre por efeito de um gradiente de concentração, ou seja, uma substância se move através dos poros de uma região mais concentrada para uma menos concentrada. Esse fenômeno é ilustrado pela Figura 9.

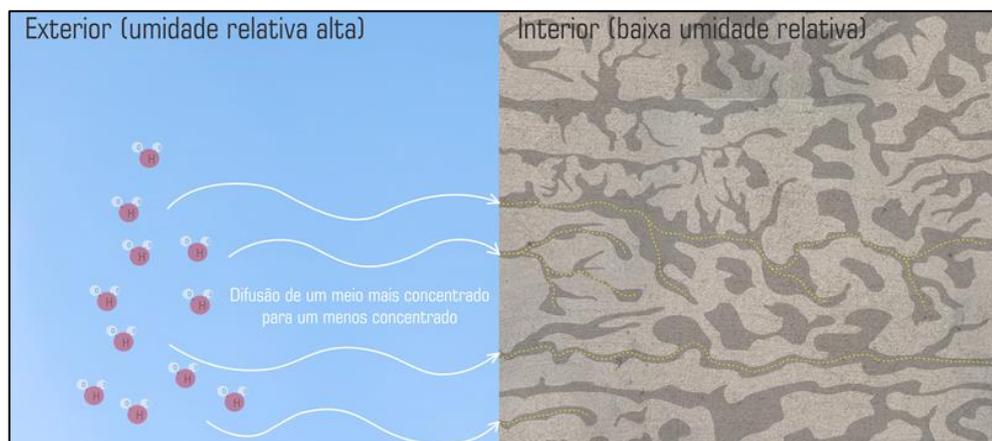


Figura 9 – Representação do mecanismo de difusão

Fonte: Adaptado de Helene (1993, in HOFFMANN, 2001).

Ao discorrer sobre mecanismo de difusão, Medeiros (2008, p. 10) o distingue, ressaltando que “ao contrário do que ocorre nos mecanismos de permeabilidade e de absorção capilar, a difusão não depende do fluxo de água para a penetração de cloretos e sim da existência de eletrólito e um gradiente de concentração”.

Porém, um fator preponderante na difusão de gases é a umidade presente dentro do material, a qual depende também da umidade relativa do ambiente. Esse fenômeno ocorre de forma mais efetiva em poros parcialmente saturados com água, o que corresponde, na visão de Parrot (1987, in VAGHETTI, 2005), com uma umidade relativa de 50% a 80% do ambiente.

Ao relacionar essa informação com os estudos de Sedlbauer (2001, in CUNHA, 2008) que mostram que elevadas taxas de umidade relativa do ar - acima de 80%, com temperaturas acima de 10°C - são condições ideais para a formação das mais de 200 espécies de mofo e bolor, podemos concluir que a difusão é um mecanismo de transporte de fluidos a ser combatido.

Outra questão apontada por Helene (1993, in HOFFMANN, 2001), é o fato de o dióxido de carbono, o oxigênio e os íons de cloreto, penetrarem no concreto justamente por meio do fenômeno da difusão. Essa afirmação demonstra a importância desse efeito frente à degradação dos materiais e durabilidade das construções.

2.4 Sistemas de proteção impermeabilizante

A NBR 9575 (2003) define impermeabilização como um produto resultante de um conjunto de componentes, cujo objetivo é a proteção das construções frente a ação deletéria de fluidos, vapores e umidade.

Para falar desse produto, serão apresentados, a seguir, alguns tipos de materiais de proteção superficial para argamassas, classificados como: sistemas formadores de película, sistemas com capacidade de penetração e sistemas com uso de aditivos com características impermeabilizantes para argamassas.

2.4.1 Sistemas formadores de películas

2.4.1.1 Tintas e vernizes

Dentre esses sistemas, Dornelles et al. (2007), apontam para as tintas como um dos principais tipos de revestimento utilizados na construção civil. Esses produtos são formados por resinas, pigmentos e solventes (CRAUSS, 2010), aplicados sobre uma superfície para promover proteção e acabamento estético. Oliveira (2013, p. 35) acrescenta que "esses produtos caracterizam-se principalmente pelas grandes dimensões das moléculas que evitam sua penetração nos substratos e pela aderência de uma película sobre a superfície".

A resina presente nas tintas é o ligante, material responsável pela aderência, brilho, durabilidade, flexibilidade e tenacidade da tinta. E quando uma resina é aplicada a um substrato ela passa por dois estágios de secagem conforme mostra a Figura 10.

O primeiro estágio é chamado de seco ao toque (*dry to touch*), em que uma película é formada na superfície da tinta. Isso acontece devido à evaporação do solvente, fazendo com que as partículas restantes se empacotem.

O segundo estágio é a fase de formação do filme, chamado de cura, ele acontece quando todo líquido evapora e as partículas são forçadas a se grudarem umas às outras, formando um filme coeso e homogêneo. Esse processo pode levar de dias a meses, dependendo dos seguintes fatores: qualidade da tinta, espessura da pintura, quantidade de corante e presença de aditivos na mistura.

Temperaturas muito baixas ou altas também afetam a secagem da tinta, principalmente durante o segundo estágio, onde vazios podem se formar entre a superfície do substrato e a tinta, causando problemas de aderência (MATRIX, s.d.).

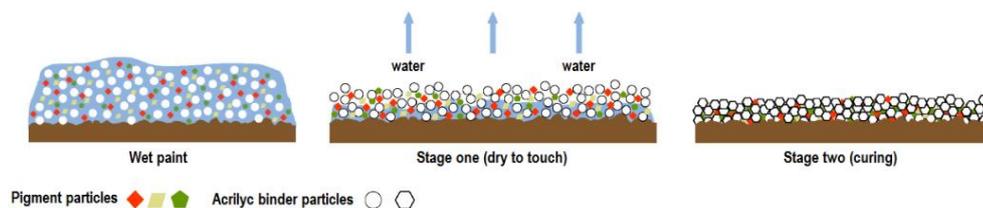


Figura 10 – Processo de cura de uma tinta

Fonte: Matrix (s.d.).

Já o verniz é um material composto de óleos, resinas, derivados de petróleo e algum solvente que seca quando em contato com o ar, formando uma película de acabamento quase transparente.

Os vernizes, em matéria de composição, são similares às tintas, exceto pela falta de pigmento, o qual promove uma proteção extra ao substrato. Os pigmentos controlam a cor, o brilho, o poder de cobertura e também afetam a resistência e permeabilidade do composto (AGOPYAN, 2000 in MEDEIROS, 2008). Por essa razão, os vernizes possuem qualidades de proteção inferiores às das tintas.

Além das tintas e vernizes, Oliveira (2013) ainda menciona outros tipos de formadores de película como: estereatos, ceras minerais, uretanos e resinas de silicone.

Esses tratamentos além de constituírem soluções práticas, de fácil limpeza e com muitas opções no mercado, são, comparativamente mais baratas do que outros sistemas de proteção. Entretanto, eles também possuem suas desvantagens: impedem a evaporação de água presente no material; são mais vulneráveis à fissurações; possuem baixa durabilidade, precisando de aplicações periódicas; não apresentam boa aderência à superfícies rugosas; entre outros (OLIVEIRA, 2013).

Nesse sentido, a proteção proporcionada por um sistema formador de película não apresenta um desempenho eficiente e adequado frente à ação da água líquida ou em forma de vapor, se revelando uma solução paliativa.

2.4.1.2 Membranas

A membrana é um "produto impermeabilizante, moldado no local, com ou sem estruturante" NBR 9575 (2003, p. 4). Sua natureza é flexível, permitindo que se movimente em conjunto que a estrutura que ela protege, ou seja, o aparecimento de trincas e fissurações deve ser atípico.

Na posição de Righi (2009), a impermeabilização com membranas pode ser estruturada ou não, sendo que os principais estruturantes são: tela de poliéster termo estabilizada; véu de fibra de vidro; e o não-tecido de poliéster. O tipo de material estruturante é definido conforme as especificações de projeto, este o qual, torna a membrana mais resistente aos esforços de punção e de tração (VEDACIT, 2010).

Para execução da impermeabilização em geral, se aplica o produto com trincha, rodo ou broxa, como se fosse uma pintura. A recomendação é que se dê mais de uma demão, procurando aplicar o produto no sentido perpendicular à demão anterior, sempre em intervalos recomendados pelo fabricante. As principais diferenças entre a execução de um tipo de membrana e outro são: a aplicação à frio ou a quente, à necessidade de diluir o produto para imprimação, os intervalos de aplicação e o tipo de cura do produto.

A Tabela 2, adaptada da norma regulamentadora NBR 9575 (2003), apresenta as principais recomendações de aplicação para cada tipo de membrana.

Tabela 2 – Uso indicado para cada sistema de impermeabilização por membrana

Tipo	Água de percolação	Água de condensação	Umidade do solo	Fluido sob pressão
Membrana epoxídica (natureza rígida)	X	X	X	X
Membrana acrílica	X	X		
Membrana de emulsão asfáltica	X	X	X	X
Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero	X	X	X	X
Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico	X	X	X	X
Membrana de asfalto elastomérico (solução)	X	X	X	X
Membrana de poliuretano	X	X	X	X
Membrana poliuréia	X	X	X	X
Membrana de polímero modificado com adição cimento	X	X	X	X
Membrana de poliuretano modificado com adição de asfalto	X	X	X	X
Membrana elastomérica (SBS)	X	X		
Membrana elastomérica (IIR) em solução	X	X	X	X
Membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado	X	X		

Fonte: Adaptado de NBR 9575 (2003).

Além de possuir natureza flexível, uma das principais vantagens da vedação por membrana em relação às mantas é a inexistência de emendas (RIGHI, 2009). No entanto, não

é usual sua aplicação em paredes de vedação ou estruturais, pois além de ser um processo trabalhoso, os custos de sua execução em todas as paredes que precisam de tratamento impermeabilizante seria muito elevado.

2.4.2 Sistemas com capacidade de penetração

2.4.2.1 Cristalizante de uso posterior

No que concerne aos bloqueadores de poros, compõem-se, em geral, de produtos capazes de penetrar na rede capilar do material, chegando até seus poros e reagindo quimicamente com os elementos que constituem a pasta para criar um sistema capaz de obstruir a passagem de água. Takagi (2004), explica que:

O tratamento químico cristalizante define-se como sendo um processo físico-químico que visa preencher as porosidades e capilaridades características da microestrutura do concreto, desencadeando um processo catalítico de formação de cristais não solúveis e não tóxicos numa profundidade mínima de 50 mm na estrutura do concreto, de modo a garantir que não haja a penetração de água por capilaridade (TAKAGI, 2004, p. 2).

Para Bilesky et al. (2009, p. 24), “os sistemas de impermeabilização do concreto por cristalização capilar são mais resistentes [...]. Isso é explicado pelo sistema de cristalização se integrar ao concreto, ou seja, não há filme superficial”. De fato, a promessa dos cristalizantes é que se infiltrem por toda rede capilar do material, unindo-se a ele, diferentemente de proteções formadoras de películas.

Esses produtos impermeabilizantes - à base de sais de silicato - penetram no material por meio do mecanismo de difusão, utilizando a água como agente propagador. Os produtos, então, reagem com os elementos presentes nos poros do material (hidróxido de cálcio, sais minerais, óxidos minerais e partículas de cimento não hidratadas) formando uma estrutura cristalina não solúvel (CRAUSS, 2010, p. 38; TAKAGI, 2004, p. 2), como ilustra a Figura 11. Essa formação cria descontinuidades na rede capilar, impedindo não só a penetração de água por fontes externas, mas também, a migração da água existente entre os poros do material. Porém essas formações não impedem a passagem de vapor de água ou outros gases.

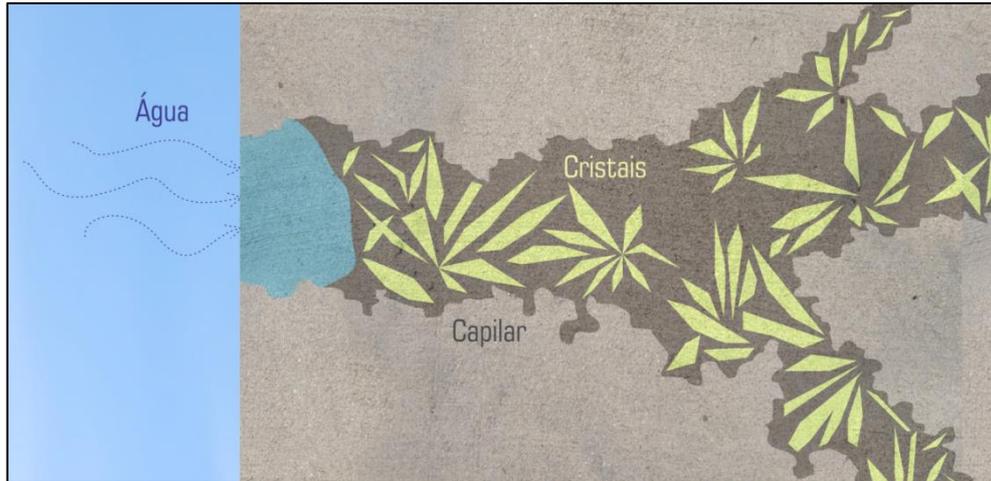


Figura 11 – Funcionamento das reações de cristalização no poro capilar

Fonte: Adaptado de PENETRON® (<https://www.youtube.com/watch?v=S3MNF0eIOM>).

Além disso, no dizer dos mesmos autores, a reação cristalizante é permanente, ou seja, mesmo sendo aplicada apenas uma vez, toda vez que o material entrar em contato com água, o processo de formação de cristais vai se reativar, desde que existam subprodutos de hidratação para reagirem com o químico (id. ibid.).

Outra particularidade importante do produto cristalizante, destacada por Bilesky et al. (2009), é a capacidade em colmatar fissuras de até 0,4mm de abertura, propriedade essa denominada de auto-cicatrização. Essa capacidade de selamento funciona em materiais já fissurados ou mesmo em fissuras que vão aparecer ao longo da vida útil do mesmo. Essa propriedade é ilustrada nas Figuras 12 e 13.

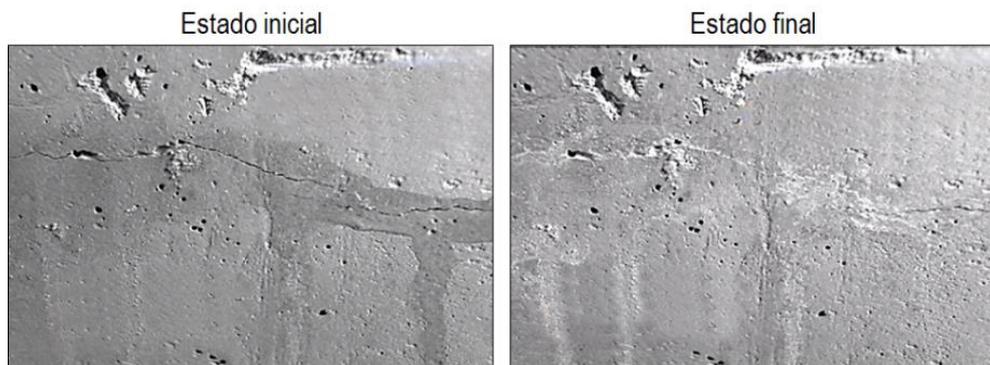


Figura 12 – Colmatação de fissura

Fonte: Adaptado de PENETRON®.

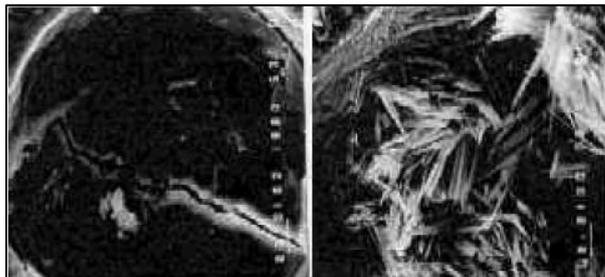


Figura 13 – Colmatação de fissura vista em microscópio de varredura

Fonte: Takagi (2004).

O fornecedor de um dos produtos cristalizantes usados nessa pesquisa - o qual é específico para aplicação em argamassas - ainda garante o aumento da resistência superficial do material pelo aglutinamento de partículas soltas. Essa afirmação motivou a realização do ensaio de desgaste por abrasão de forma a verificar se existe alteração das propriedades superficiais das argamassas.

Por ser de natureza atóxica, o produto é recomendado para aplicação em: argamassas de revestimento e rejuntamento externo e interno; reservatórios; caixas d'água; piscinas; baldrames; fundações; solos; túneis; e como endurecedor de superfícies para pisos e paredes.

Quanto à aplicação do produto, pode se dar de três formas: como injeção em paredes maciças; como selamento superficial; ou como aditivo para mistura de argamassas ou concretos. As duas primeiras formas funcionam como sistema penetrante, já a última é considerada um aditivo.

Ainda é recomendada a limpeza da superfície do material, estando esse sólido e livre de qualquer substância - graxa, óleo, revestimento, produto de cura, entre outros - que possa comprometer a absorção do produto. Ainda se pode ressaltar o seguinte:

A superfície do concreto deve ser preparada de modo a possuir um sistema capilar aberto para obter-se porosidade e rugosidade necessária; e deve ser completamente saturada com água antes da aplicação, para permitir que as substâncias químicas ativas do tratamento cristalizante possam permear para dentro da matriz do concreto (TAKAGI et al., 2004, p. 9).

A princípio, quanto mais tempo o agente cristalizante atuar sobre o material onde foi aplicado, melhor seria seu desempenho, uma vez que ele precisa reagir com os subprodutos da hidratação para criar a rede de cristais. Segundo Bilesky et al. (2004, p. 24), “para os sistemas de impermeabilização por cristalização capilar, a permeabilidade é reduzida ao longo do tempo de exposição à água, exigindo mais tempo para que os resultados sejam medidos”.

2.4.3 Sistemas com uso de aditivos

2.4.3.1 Cristalizante para mistura

Os princípios funcionais do sistema cristalizante em pó é o mesmo do produto em forma líquida, é modificada apenas sua forma de aplicação. Para utilizar o componente como aditivo concentrado é preciso agitá-lo e adicioná-lo à água de amassamento conforme proporção estabelecida na tabela abaixo:

Tabela 3 – Recomendações de proporção de ativo pelo fabricante

Aplicação	Proporção (volume)
Rebocos e revestimentos	0,50 litro por saco de 50kg de cimento
Reservatório em concreto	0,40 litro por saco de 50kg de cimento
Subsolos e túneis	0,75 litro por saco de 50kg de cimento
Outros	2,00 litro por saco de 50kg de cimento

Fonte: Ficha técnica do fabricante.

2.4.3.2 Aditivos hidrófugos

Um hidrófugo, “é um produto destinado a repelir água através da redução do ângulo de molhagem dos poros de um determinado substrato, podendo ser adicionado ao material ou aplicado sobre ele” (VEDACIT, 2010, p. 93).

Conforme a NBR 9575 (2003, p. 2), uma argamassa impermeável com aditivo hidrófugo é um "tipo de impermeabilização não industrializada aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de areia, cimento, aditivo hidrófugo e água formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes". Sendo uma impermeabilização de natureza rígida, ou seja, não suporta movimentações da estrutura sem fissurar ou trincar.

Para Medeiros (2008), esses aditivos à base de silicone, atuam revestindo a superfície dos poros, invertendo a polaridade da superfície de modo que os poros passem a repelir os

líquidos. Na mesma linha de pensamento, Costa (2009), reforça que, mais do que afastar a água das superfícies, esses impermeabilizantes também promovem o fechamento dos poros capilares por meio dos géis formados pelas reações, e impedem a penetração de água na argamassa pela redução da tensão capilar no sistema poroso. No entanto, na presença de fendilhamento, seus efeitos são ineficazes.

Outras vantagens apresentadas por Crauss (2010) e Costa (2009), são melhoramento da trabalhabilidade, redução da relação água/cimento, permeabilidade ao vapor de água, redução da lixiviação e estética.

No entanto, para Righi (2009) é necessário fazer o uso de outro tipo de sistema impermeabilizante conjuntamente com os hidrófugos, pois eles são muito suscetíveis à fissuração devido a movimentações da estrutura, não sendo indicados para revestimentos em locais com grande movimentação estrutural ou dilatação térmica.

Costa (op. cit.) também revela que esse tipo de aditivo pode limitar a aderência entre as camadas de material e ao próprio suporte, sendo indicado o uso de não mais de 2% de aditivo em relação à massa.

Medeiros (2008) ainda ressalta que os hidrófugos tem vantagem sobre os impermeabilizantes formadores de película por permitirem a circulação do vapor de água, mas por outro lado não são tão eficazes como barreira contínua aos agentes agressivos. O que significa que eles se apresentam como uma solução paliativa e ineficaz se usados com a intenção única de proteger um material dos efeitos nocivos da umidade.

2.4.3.3 Argamassa polimérica

De acordo com a NBR 9575 (2003) a argamassa polimérica é um tipo de impermeabilização industrializada, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes. Assim como a argamassa com hidrófugo, a polimérica é uma impermeabilização rígida.

Outra definição, de acordo com sua composição química, Crauss (2010), explica que a argamassa polimérica é produto da associação de um composto inorgânico – o cimento - e um composto orgânico – látex polímero – resultando em uma estrutura cimentícia mais resistente com a presença de microfibras do polímero.

Sayegh (2001, in RIGHI, 2009) complementa que o produto resiste a pressões positivas e negativas além de acompanhar, de maneira satisfatória, pequenas movimentações das estruturas. Ainda diz que a impermeabilização decorre da formação de um filme de polímeros que impede a passagem da água e da granulometria fechada dos agregados contidos na porção cimentícia.

A introdução dos polímeros nas argamassas de cimento, de acordo com a Viapol (s.d.) pode ser feita das seguintes formas:

- Impregnação de uma argamassa endurecida por monômero, seguido de polimerização, resultando em uma argamassa impregnada;
- Mistura do monômero com o agregado, seguido de polimerização após moldagem e adensamento, resultando em uma argamassa de resina;
- Introdução direta do monômero ou polímero durante o amassamento, seguido de polimerização após a cura, resultando em uma argamassa polimérica.

A aplicação desse tipo de argamassa é indicada para conter a umidade e evitar infiltrações em estruturas sujeitas a pouca ou nenhuma movimentação, que seria o caso de: cortinas de contenção; reservatórios enterrados; piscinas; cisternas; baldrames; rodapés e subsolos; banheiros; cozinhas; áreas de serviço; entre outros (NAKAMURA, 2013).

3 INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

3.1 Caracterização dos materiais

Segundo informações do produtor local, responsável pelas argamassas estabilizadas referidas nesta pesquisa, os materiais utilizados na composição são: Cimento Portland composto com pozolana (CP II Z-32-RS), agregado miúdo (areia média), água potável, aditivo retardador de pega e aditivo incorporador de ar. O traço utilizado pela empresa para a confecção das argamassas de 36h e 72h é o seguinte:

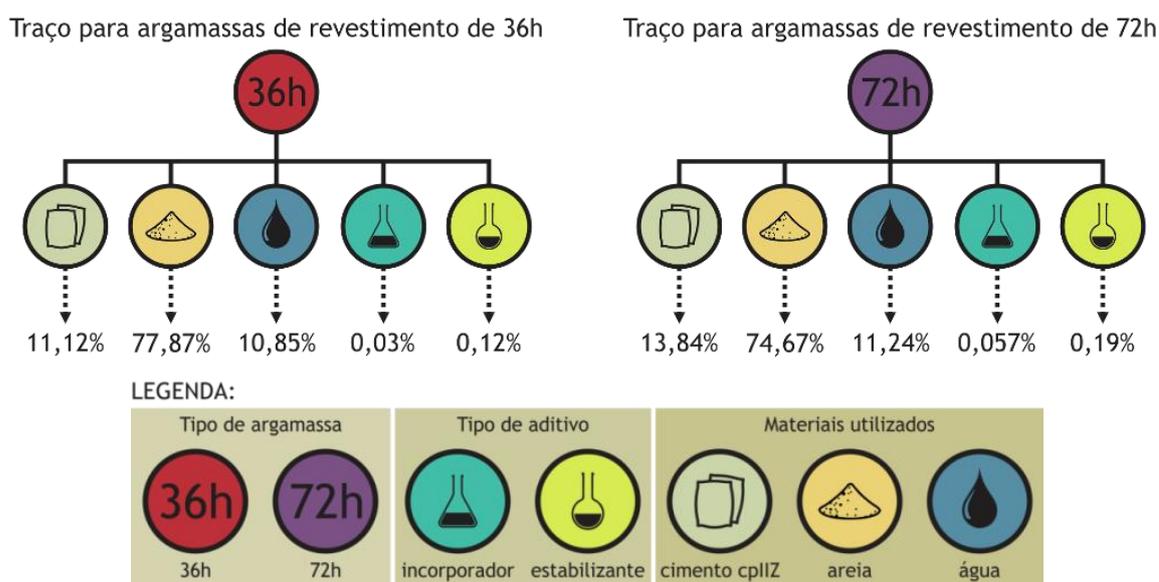


Figura 14 – Traço das argamassas estabilizadas

Pela imagem apresentada acima, podemos observar que a argamassa de 72h possui maior quantidade de aditivo estabilizante de forma a se manter trabalhável por um maior período de tempo, o mesmo vale para o incorporador de ar, que é quase o dobro da quantidade usada para o traço da argamassa de 36h.

A caracterização desses materiais, conforme dados do fabricante é apresentada nos próximos itens.

3.1.1 Areia

A areia empregada no traço é uma areia média proveniente de jazida própria, com armazenamento ao ar livre no pátio da empresa fornecedora de argamassa estabilizada. De acordo com a empresa, a areia não é lavada antes de ser utilizada para confecção do traço. Os dados de caracterização obtidos com a empresa são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização do agregado miúdo

Porcentagem retida acumulada (%)							Ø máximo característico (mm)	Ø mínimo característico (mm)	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)
Abertura da malha (mm)										
4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	Fundo				
0	2	7	32	75	93	100	2,63	< 0,15	2,09	2,63

Fonte: Fabricante da argamassa estabilizada (Dados de julho de 2014).

3.1.2 Cimento

O cimento é do tipo CP II Z-32-RS, fornecido por empresa nacional. Em sua composição pode haver de 76-94% de clínquer e gesso, 6-14% de material pozolânico e até 10% de filer conforme a NBR 11578 (1997).

A ABCP (s.d.) sugere que esse tipo de cimento seja aplicado em "obras civis em geral, subterrâneas, marítimas, industriais, argamassas, concreto simples, armado, protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento". Ainda é dito que o concreto feito com esse tipo de cimento seria mais impermeável e, portanto, de maior durabilidade.

A argamassa estabilizada, mesmo contendo esse produto em sua formulação, também faz o uso de aditivo incorporador de ar, sendo que as propriedades hidrorrepelentes do cimento perderiam sua capacidade impermeável frente à porosidade resultante das microbolhas de ar.

Os resultados dos ensaios de caracterização do cimento fornecidos pela empresa estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização do cimento CP II Z-32-RS

Tipo	Ensaio	Limite de norma	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	
Químico	Perda ao fogo (%)	≤ 6,5	3,3	0,3	2,8	4,2	
	MgO (%)	≤ 6,5	6,2	0,2	5,9	6,5	
	SO ₃ (%)	≤ 4	2,1	0,1	2,0	2,4	
	Resíduo insolúvel (%)	≤ 16	12,6	0,7	11,2	13,9	
Físico	Finura #200 (%)	≤ 12	0,3	0,1	0,2	0,6	
	Finura #325 (%)	N / A	2,8	0,2	2,5	3,2	
	Blaine (cm ² /g)	≥ 2600	4704	244	3850	4970	
	Água de consistência (%)	N / A	30,2	0,3	29,8	30,8	
	Início tempo de pega (min)	≥ 60	229	24	195	270	
	Fim tempo de pega (min)	≤ 600	298	27	255	360	
	Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5	0	0	0	1	
	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	≥ 10	26,1	1,8	20,1	27,7
		7 dias	≥ 20	31,7	1,5	29,3	34,4
28 dias		≥ 32; ≤ 49	39,3	0,1	39,3	39,4	

Fonte: Fabricante do cimento Portland (Dados de julho de 2014).

3.1.3 Aditivos

Na composição das argamassas estabilizadas são utilizados dois tipos de aditivos, o primeiro com função de retardar a pega para que a argamassa possa ser utilizada durante um maior período de tempo e um segundo com função de incorporador de ar que proporciona maior trabalhabilidade à argamassa. Os dados das características dos aditivos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Características dos aditivos

Características	Incorporador de Ar	Retardador de pega
Solubilidade com água	Solúvel em água	Solúvel em água
Densidade à 23°C (g/cm ³)	1,00	1,17
pH à 23°C	7,0 – 9,0	5,0 – 7,0
Estado físico	líquido	líquido
Coloração	amarelo	marrom claro
Dosagem recomendada	0,1 – 0,5% do peso do cimento	0,2 – 1,5% do peso do cimento

Fonte: Fabricante dos aditivos (Dados de julho de 2014)

3.2 Técnicas de ensaio

A seguinte tabela apresenta as propriedades das argamassas a serem ensaiadas, bem como as normas utilizadas para a determinação destas. Nem todos os ensaios seguem alguma norma brasileira ou internacional, estes então fazem referência ao nome dos autores das pesquisas que originaram ou utilizaram o ensaio.

Tabela 7 – Propriedades das argamassas e ensaios realizados

	Ensaio	Norma	Autor
Estado fresco	Densidade e teor de ar incorporado	NBR 13278	-
	Exsudação de água (<i>bleeding</i>)	NBR 15558/RILEM MR-6	Tristão e Roman-1999
	Índice de consistência	NBR 13276	-
	Retenção de água	NBR 13277	-
Estado endurecido	Absorção por capilaridade	NBR 9779	-
	Desgaste por abrasão	NBR 12042	Meneguini-2003
	Microscopia eletrônica de varredura	-	Bertolini-2010/Dedavid-2007
	Permeabilidade à água	NBR 14992/RILEM 11.4	Dias e Carasek-2003
	Permeabilidade ao vapor	ASTM E-96/EN 1015-19	Pedro-2011/Temp-2014
	Resistência de aderência	NBR 13528	-
	Resistência à compressão	NBR 13279	-
	Resistência à tração na flexão	NBR 13279	-

3.2.1 Ensaios no estado fresco

3.2.1.1 Densidade e teor de ar incorporado

A norma NBR 13278 regula os ensaios de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

Conforme ilustrado na Figura 15, a aparelhagem necessária para a execução do ensaio é: balança com resolução de 0,1g; recipiente cilíndrico com capacidade aproximada de 400ml;

espátula com bordas retas e cabo de madeira; régua com comprimento de 102mm; soquete de material não absorvente; colher ou concha.



Figura 15 – Materiais necessários para a realização do ensaio

O recipiente vazio e seco deve ser pesado para registrar sua massa (M_v). Em seguida deve-se encher o mesmo com água e registrar seu volume (V_r). Após essas etapas, a argamassa deve ser introduzida com uma colher ou concha em três camadas iguais. A cada camada se aplicam 20 golpes com a espátula, posteriormente, na última camada, deve-se aplicar 5 golpes com o soquete ao redor da parede externa do recipiente. Com a régua, se deve rasar a superfície em duas passadas e limpar o copo. Finalmente se deve pesar e registrar a massa do molde (M_c).

Para calcular a densidade de massa da argamassa (A) se usa a seguinte equação:

$$A = \frac{m_c - m_v}{v_r}$$

Onde:

M_c : Massa do recipiente cilíndrico com argamassa (em g)

M_v : Massa do recipiente cilíndrico vazio (em g)

V_r : Volume do recipiente cilíndrico (em cm^3)

Já para o cálculo do teor de ar incorporado (A_l) se usa a seguinte equação:

$$A_l = 100 \times \left(1 - \frac{A}{B}\right)$$

Onde:

A : Valor da densidade de massa

B : Densidade de massa teórica da argamassa sem vazios

Para argamassa industrializadas, no nosso caso, argamassa estabilizada, o B é determinado pela seguinte equação:

$$B = \frac{Ms + M\acute{a}gua}{M\acute{a}gua + \frac{Ms}{\gamma_s}}$$

Onde:

Ms: Massa de argamassa anidra

Mágua = Massa de água que compõe a argamassa fresca

γ_s = Densidade de massa da argamassa anidra conforme NBR 6474

3.2.1.2 Exsudação de água (*bleeding*)

Existe mais de um ensaio normatizado para definir a exsudação de água de um material em seu estado fresco. No Brasil e norma NBR 15558 - Concreto, determinação da exsudação, é a única que descreve esse tipo de ensaio, estabelecendo dois métodos de medição. Já internacionalmente, a RILEM e a ASTM, propõem ensaios específicos para medir a exsudação em argamassas.

Abaixo está a relação de ensaios executados por diferentes autores para determinar a exsudação de água:

Autor	Ensaio realizado	Nº ensaios	Tempo
RILEM MR-6 por Tristão, 1995	Tendency of water to separate from mortars	-	Uma leitura por amostra: 15 min. na 1ª amostra, 30 min. na 2ª...até 240 min.
F. A. Tristão, 1995	Exsudação de água	-	15, 30, 60, 120, 240 min.
Tristão e Roman, 1999	RILEM MR-6	5 amostras com 500ml cada	15, 30, 60, 120, 240 min.
O. Pimenta, 2007	Exsudação	-	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 min.
Elizabeth Jennifer Cappeto, 2003	Bleeding RILEM MR-6	5 amostras de 500ml por lote	15, 30, 60, 120, 240 min.
	Bleeding ASTM C232-92	Amostra com 12,9cm³	Tirar água a cada 10 min por 40 min. e depois a cada 30 min. até não ter mais exsudação.
	Bleeding ASTM C243-95	-	A cada 2 min. por 30 min. depois a cada 10 min. até não exsudar mais.

Quadro 4 – Relação de ensaios de exsudação por diferentes autores

A determinação da quantidade de água exsudada pela argamassa será realizada de acordo com a metodologia da RILEM MR-6 (*Tendency of water to separate from mortars, bleeding*) descrita pelos autores Cappeto (2003) e Tristão et al. (1999).

De acordo com Cappeto (2003) e Tristão et al. (1999), para realizar corretamente o ensaio é preciso dos seguintes materiais:

- 14 béqueres com vidro vertedor e volume de 600ml;
- 2 cilindros graduados de 10ml com precisão de 0,1ml;
- Pipeta graduada de 20ml com precisão de 0,1ml;
- Faca e colher de material inoxidável;
- Cronômetro.

Para execução do ensaio deve ser preparado um lote de aproximadamente 5kg de argamassa. Metade desse material será selecionado para compor a amostra ensaiada e a outra metade serve para a repetição do experimento. Nenhuma menção sobre umidade relativa ou temperatura do ambiente são recomendadas na norma.

Com a colher deve-se colocar 500ml de argamassa em cada um dos béqueres sem realizar o adensamento do material. Após preencher a marca de 500ml a argamassa deve ser cortada com a faca em movimentos horizontais para promover a retirada do ar aprisionado. Em seguida, sem rasar a superfície, o copo deve ser coberto com uma lâmina de vidro por aproximadamente 15 minutos.

A exsudação da água deve ser medida aos 15 min., 30 min., 1h, 2h e 4h após a moldagem das amostras como demonstra a Figura 16.



Figura 16 – Etapas do ensaio de exsudação de água conforme RILEM MR-6

A medição da água exsudada pode ser feita de duas formas: pelo método A, o béquer deve ser inclinado contra o cilindro graduado derramando a água em excesso para dentro do

mesmo. Deve-se ter cuidado para não agitar o copo ou derramar argamassa para dentro do cilindro; pelo método B, a água exsudada deve ser retirada da superfície com o auxílio de uma pipeta graduada.

A quantidade de água exsudada da mistura deve ser registrada a cada medição feita nos intervalos de tempo determinados.

De acordo com Cappeto (2003) não é mais necessário realizar a medição das amostras depois das 4h de ensaio, pois ocorre o início da pega do cimento portland. Tristão et al. (1999, p. 111) também observaram que "a porcentagem de água exsudada aos 240 min. é menor do que aos 120 min. e ainda, a porcentagem de água exsudada com o tempo de armazenamento apresenta uma variação linear até aos 60 min". Os autores ainda recomendam adotar a medição aos 60 minutos como o registro final do ensaio, uma vez que os resultados mostraram esse como o ponto de inflexão da curva de exsudação.

Para determinar as potencialidades e restrições do ensaio acima descrito, foram realizados testes preliminares (Figura 17) com os quais se procurou determinar: se as argamassas estabilizadas apresentavam nível significativo de exsudação de água; se a exsudação era interrompida após os 60 minutos de ensaio; e se havia diferença de resultado entre amostras vedadas com uma placa de vidro ou plástico filme.

As argamassas estabilizadas de 36h apresentaram exsudação de água contínua até os 60 minutos de ensaio, não havendo incremento no nível da água nas medições de 2h e 4h; As argamassas estabilizadas de 72h não apresentaram exsudação em decorrência da composição de seu traço possuir mais areia, sendo, portanto, mais seco; Não houve diferença entre a quantidade de água exsudada no béquer vedado com vidro para o béquer vedado com plástico filme, sendo que este último se mostrou o mais indicado por permitir uma melhor vedação do bico vertedor.



Figura 17 – Diferença de exsudação de água entre argamassas (3h de ensaio)

Após o término do ensaio é realizado o cálculo para verificar o nível de exsudação das argamassas. A quantidade de água excedente é determinada pela seguinte expressão:

$$\frac{V.P.}{V.I.} \times 100$$

Onde:

V.P.: Volume de água retirado com a pipeta (em cm³)

V.I.: Volume inicial da calda introduzida no béquer (em cm³)

3.2.1.3 Índice de consistência

Para determinar o índice de consistência, consulta-se a norma NBR 13276/2002. Para realização do experimento, o ambiente de laboratório deve apresentar temperatura de 23±2°C e umidade relativa de 60±5%.

A aparelhagem necessária para execução do ensaio é a seguinte: Balança com resolução de 0,1g; mesa de consistência; molde tronco cônico; soquete metálico; misturador mecânico; e paquímetro.

Antes de realizar o ensaio deve-se umedecer o tampo da mesa de consistência e as paredes do molde tronco-cônico. Em seguida se deve centralizar o molde na mesa e enchê-lo com três camadas de argamassa, aplicando em cada uma delas respectivamente 15, 10 e 5 golpes com o soquete. Se necessário, completar o volume do molde com mais argamassa. O rasamento é realizado com o auxílio de uma régua e depois de feito isso, o molde é retirado.

Após realizados esse procedimentos, promover a queda da mesa de consistência 30 vezes em 30 segundos. Após a última queda, deve-se medir o espalhamento da argamassa em três diâmetros com o paquímetro.

O índice de consistência corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros.

3.2.1.4 Retenção de água

A retenção de água de um material é determinada conforme experimento descrito pela norma NBR 13277/2005 e por Do Ó (2004).

A aparelhagem requerida consiste em: funil de büchner modificado com bomba à vácuo; discos de papel filtro; soquete metálico; régua metálica; balança com resolução de 0,1g; cronômetro; e utensílios de laboratório.

O prato deve ser colocado sobre o funil, procurando garantir a estanqueidade. O papel filtro deve ser umedecido e posicionado sobre o fundo do prato. Com a torneira fechada, deve-se acionar a bomba de vácuo com uma sucção de 51mm de mercúrio. Em seguida, abrir a torneira para retirar o excesso de água do papel filtro por cerca de 90s, fechando-a passado esse tempo. O conjunto funil/papel filtro úmido deve ser pesado na balança para registrar sua massa (m_v). Após esses procedimentos iniciais, deve-se colocar a argamassa no prato e fazer o adensamento com 37 golpes do soquete, sendo 16 desses aplicados à borda do prato e os outros 21 no centro. O excesso de argamassa deve ser retirado com auxílio de uma régua, deixando a superfície do prato plana. Esse conjunto deve ser pesado (m_a). Depois de colocar o prato no equipamento, deve-se abrir a torneira para aplicar sucção de 51mm de mercúrio à amostra, durante 15 minutos. Posteriormente o prato deve ser retirado do funil e pesado (m_s).

Para calcular a retenção de água da amostra, é usada a seguinte equação:

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF (m_a - m_v)} \right] \times 100$$

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w}$$

Onde:

m_a : Massa do conjunto com argamassa (g)

m_s : Massa do conjunto após a sucção (g)

m_v : Massa do conjunto vazio (g)

AF: Fator água/argamassa fresca

m_w : Massa total de água acrescentada à mistura (g)

m: Massa de argamassa industrializada

O resultado deve ser expresso em porcentagem.

3.2.2 Ensaio no estado endurecido

3.2.2.1 Permeabilidade à água pelo método do cachimbo (Tubo Karsten)

A norma NBR 14992 (2003) compreende no Anexo G o ensaio de permeabilidade para argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas. No entanto as normas internacionais NIT n.140 da CSTC e RILEM *Test Method* nº 11.4 da RILEM propõem uma metodologia mais completa do ensaio.

O ensaio do cachimbo ou tubo Karsten, é usado para determinar não somente a quantidade de água que percola através do material, mas também para descobrir o quanto dessa água é absorvida pelo revestimento. Além de poder avaliar a permeabilidade dos materiais e dos sistemas de revestimento ainda é possível verificar a eficiência de um tratamento hidrorrepelente:

Esta técnica possibilita a diferenciação entre uma amostra com e sem tratamento com hidrófugo e serve como complementar em estudos de capilaridade para saber se há degradação em profundidade. O ensaio com cachimbo pode ainda determinar o grau de proteção que é conferido a uma superfície que recebeu a aplicação de hidrófugo, além de poder acompanhar com o passar do tempo, a perda da ação deste tratamento, possibilitando que nova intervenção seja realizada em tempo ideal (GROSSI, 2013, p. 63)

No entanto, por ser um método que depende da capacidade de leitura do avaliador, é recomendável que ele seja complementado por outros ensaios de investigação à ação da água.

Abaixo está a relação de ensaios executados por diferentes autores para determinar a permeabilidade à água das amostras de argamassa:

(continua)

Autor	Ensaio realizado	Nº ensaios	Tempo (min)
C. Apps, 2011	Permeabilidade à água líquida sobre baixa pressão	No mínimo 10 por traço (pela análise estatística 2 a 3 desses ficam fora)	5,10,15,30 e 60
V. Valiati, 2009	Ensaio de permeabilidade	4 ensaios para cada traço	5,10,15,20,25,30
J. M. P. de Oliveira, 2013	RILEM, teste nº II.4	3 ensaios para cada tipo de substrato	5,10,15,30 e 60
H. Carasek e L. A. Dias, 2003	Permeabilidade e absorção de água	10 ensaios para cada data	5,10,15 (cstc)

(conclusão)

E. Cortelassi, 2003	CSTC, NIT nº 140/1982	5 ensaios para cada traço de argamassa	A cada min por 15 min.
K. de Lima, 2008	Ensaio de permeabilidade (cachimbo)	2 pontos por obra (5 obras visitadas)	5,10,15 min Aos 7 e 15 dias
A. Serafim, 2012	Ensaio de permeabilidade (cachimbo)	8,10 e 22 ensaios (dependia da obra)	5,10,15,30 e 60
D. Pedro, 2010	Permeabilidade à água líquida (tubo karsten)	3 ensaios para cada tipo de substrato	5,10,15,30 e 60
A. E. N. Gonçalves, 2010	Resistência à penetração de água (tubo Karsten)	3 tubos por parede	10,15,20,25, 30,30,90,120, 150,180 min
A. Hattge, 2004	Absorção de água	10 para cada amostra	0, 5, 10, 15 min

Quadro 5 – Relação de ensaios de permeabilidade por diferentes autores

De acordo com Dias et al. (2003), os materiais e equipamentos necessários para a realização do ensaio são os descritos abaixo:

- Pisseta plástica com capacidade de 500ml;
- Material para vedação (silicone, massa de calafetar, entre outros);
- Cachimbo de vidro normatizado;
- Cronômetro.

O ensaio pode ser realizado in situ, onde as amostras serão as superfícies da construção a ser investigada, ou pode ser realizado em laboratório com preparação e construção de amostras do material a ser ensaiado.

Conforme LNEC (2002b in APPS, 2011, p. 56) o tubo é preenchido com água até uma altura de 9.8cm – marca zero do cachimbo - correspondendo a uma pressão de 961,38 Pa ou uma pressão dinâmica do vento de 142,6 km/h. Conforme a água é absorvida pela amostra o nível de líquido no tubo vai descendo, representando a permeabilidade do material como pode ser visto na Figura 18.

Para execução do ensaio, o tubo de vidro deve ter a boca mais larga - que vai ficar em contato com a superfície ensaiada - revestida com material vedante e de fixação. O tubo deve em seguida ser fixado à zona de ensaio com uma leve pressão. O material de vedação deve secar durante aproximadamente 2 minutos antes da realização do ensaio. Passado esse tempo, se deve introduzir a água no tubo com auxílio da pisseta até que a água chegue ao nível 0cm³. Após isso são realizadas leituras da queda da coluna d'água aos 5, 10, 15, 30 e 60 min.

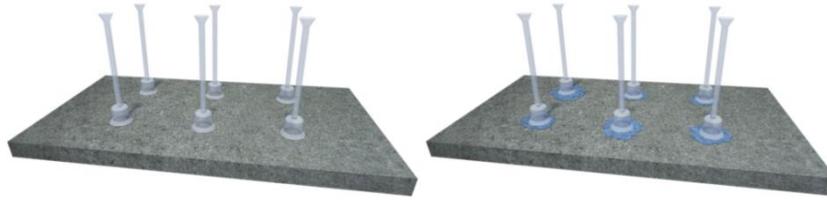


Figura 18 – Absorção de água do material pela técnica do cachimbo

As medições realizadas permitem a avaliação do volume de água absorvido pelo revestimento em função do tempo, resultando no coeficiente de absorção de água (kg/m^2) do material ensaiado. A equação que calcula a absorção de água de uma fachada sujeita à ação de vento e chuva é proposta por Künzle et al. (2004):

$$A_{\text{fachada}} = C_{\text{absorção}} \times \sqrt{T_{\text{chuva}}}$$

Onde:

A_{fachada} : Absorção de água (kg/m^2);

T_{chuva} : Tempo do ensaio (h)

$C_{\text{absorção}}$: Coeficiente de absorção de água da camada superficial ($\text{kg}/[\text{m}^2 \times \sqrt{\text{h}}]$) - inclinação da curva do gráfico com a absorção de água nas ordenadas e a raiz quadrada do tempo nas abcissas;

Outra equação é sugerida pela PROCEQ (2001 in Flores-Colen, 2009) é a seguinte:

$$C_{\text{absorção}} = \frac{x \times 10^{-3}}{d^2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}\right)}$$

Onde:

$C_{\text{absorção}}$: Coeficiente de absorção de água da camada superficial ($\text{kg}/[\text{m}^2 \times \sqrt{\text{h}}]$);

x: Quantidade de água absorvida (em ml);

d: Diâmetro da superfície em que é feita a penetração de água (mm);

t: Duração da leitura (h).

Dias et al. (2003), complementam que as leituras devem ser feitas até o nível d'água atingir a marca de 4cm^3 ou completar 15 minutos de ensaio. Essa premissa é válida em se

tratando de materiais mais porosos que absorvem a água muito rapidamente, não conseguindo completar o ciclo de 60 minutos de leitura. No entanto, para materiais considerados normais ou não porosos o ensaio deve se manter até que toda água seja absorvida.

Os mesmos autores ainda observaram que dos 7 dias de ensaio aos 2 meses, ocorreu redução da absorção de água devido às alterações da microestrutura da argamassa pela hidratação do cimento e consequente redução da porosidade.

Além da porosidade própria do material, outros fatores podem afetar os resultados obtidos pela aplicação da técnica do cachimbo conforme Serafim (2012): as características do revestimento e de seu acabamento, as condições climáticas durante o ensaio, estado de degradação da superfície e o modo de execução se mostram decisivos para obtenção de resultados válidos. Superfícies fissuradas ou trincadas não podem ser ensaiadas por esse método, uma vez que a absorção de água será superior a de uma superfície regular e homogênea.

O tipo de fixador utilizado também influencia no resultado do ensaio. A RILEM designa o uso da massa de vidraceiro para fazer a vedação e fixação dos tubos e Dias et al. (2003) recomendam o uso de massa de calafetar. Porém, estudos de diversos autores (GROSSI, 2013; APPS, 2011; SOARES, 2010; GONÇALVES, 2010) comparando vários materiais - dentre eles durepoxi®, massa de modelar, massa antivibratória - concluíram que o silicone, apesar de gerar muito resíduo e ser de difícil manuseio, ainda seria o material com melhor desempenho.

Nesta pesquisa foram confeccionadas placas de 50 x 26 x 2,5cm de argamassa para investigar o comportamento apenas do material de revestimento, sem interferência do substrato ou demais camadas. Além da verificação da quantidade de água absorvida, esperamos avaliar o espalhamento da água na parte inferior da placa a fim de comprovar a eficácia do tratamento impermeabilizante na superfície do material e em profundidade.

O ensaio de permeabilidade aconteceu primeiramente aos 28 dias de idade em todas as placas. Após esse ensaio as placas foram molhadas com água potável e se procedeu a aplicação dos dois tipos de cristalizante de uso posterior escolhidos para a pesquisa. Duas placas receberam o cristalizante específico para argamassas (R) e outras duas receberam o cristalizante para concreto (P). Depois dessa aplicação foi realizada cura úmida (apenas umedecendo diariamente as amostras, não havendo imersão ou colocação em câmara úmida) durante 7 dias conforme recomendação técnica. O segundo ensaio de permeabilidade ocorreu, portanto aos 40 dias de idade.

Também foram realizados experimentos para escolher o melhor material de vedação, sendo testados massa de modelar, massa de calafetar e silicone como ilustra a Figura 19. A massa de calafetar apresentou muitos vazamentos, pois não conseguia aderir de forma satisfatória à placa mesmo sendo realizada a limpeza da superfície; a massa de modelar se mostrou uma boa opção para testes rápidos, mas em testes mais longos, que demoram mais de uma hora, não são ideais, pois em contato com a água esse material começa a se dissolver; o silicone por sua vez, não apresentou problemas, desde que respeitado um tempo de secagem superior a 20 minutos antes da utilização, sendo este o material escolhido para utilização nos ensaios definitivos.



Figura 19 – Determinação do tipo de vedante a ser utilizado

Para o ensaio foram utilizados 6 cachimbos do tipo piso/teto em cada placa, totalizando 12 leituras por cristalizante (uma vez que foram designadas duas placas para cada tipo de cristalizante). Os cachimbos foram vedados com silicone e esperou-se em média 50 minutos de secagem do material antes da realização do ensaio. Após passado esse tempo cada cachimbo foi preenchido com 26ml de água potável e a regulagem da quantidade de água para que a coluna chegasse ao nível 0 foi feita com o auxílio de um conta-gotas.

A partir do momento em que o nível de água da coluna era estabilizado no nível 0, começava-se a contagem do tempo com um cronômetro. As leituras foram feitas aos 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 240, 300, [...], 1500 minutos, ou até que se chegasse ao nível 4 do cachimbo equivalente à 4cm³ de água absorvida.

3.2.2.2 Permeabilidade ao vapor pelo método do copo

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água para argamassas ainda não é normatizado no Brasil, por isso fazemos o uso dos procedimentos descritos nas normas EN 1015-19 (Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas) e ASTM E96 (Transmissão de vapor de água de materiais).

As referências utilizadas para realização dos experimentos dessa pesquisa se basearam principalmente na norma EN 1015-19 e nas pesquisas de Temp (2014) e Penas (2008). No entanto será feita também uma descrição parcial do ensaio preconizado pela norma ASTM E96 para determinação de alguns parâmetros não presentes nos demais trabalhos como a utilização de um copo-teste.

A norma ASTM E96 pode ser usada para determinar a transmissão em materiais como: papel, filmes plásticos, materiais em lâminas, placas fibrosas, gesso, reboco, produtos de madeira e plásticos.

Ela é dividida em Método Dessecante e Método da Água. O tipo de método escolhido deve ser aquele que mais se aproxima às condições de uso do material ensaiado, e não se deve esperar algum tipo de correlação entre os dois métodos.

No Método Dessecante a amostra é colocada sobre um recipiente próprio que contém um dessecante e selada para ser colocada em um ambiente controlado. Medições periódicas determinam a taxa de movimentação de vapor de água da amostra para o dessecante. No Método da Água, a montagem é a mesma, mas o recipiente contém água destilada. As pesagens determinam a taxa de movimentação de vapor pela amostra e para o exterior.

Para realização do ensaio são necessários os seguintes equipamentos: copo de teste leve, impermeável à água e ao vapor; câmara climática que possa manter temperatura de 32°C, umidade relativa de 50±2% e com circulação de ar; e balança.

Os materiais usados são os seguintes: para o Método Dessecante uma solução de cloreto de cálcio anidro seco a 200°C deve ser usado, ou na falta do mesmo, sílica gel ativada a 200°C pode ser usada como substituição. Já para o método da Água se usa água destilada. Além desses dois materiais, um selante é necessário para vedar as amostras em ambos os métodos.

O número de amostras deve ser representativo de acordo com o material testado: Se um material é feito para ser usado em apenas uma posição, 3 amostras devem ser testadas; Se os dois lados do material são indistinguíveis, 3 amostras devem ser testadas; Quando os lados

da amostra são diferentes e qualquer um dos lados pode estar exposto ao vapor de água, 4 amostras devem ser testadas, 2 para cada lado. No nosso caso, um revestimento de argamassa está sujeito à penetração de vapor por ambos os lados, da atmosfera exterior e da parede onde ela é aplicada. Sendo assim, o mínimo necessário para realização do teste seriam 4 amostras.

É recomendado, também, o uso de um copo-teste, onde a amostra será colocada e selada em um copo sem água ou dessecante no interior para comparar os ganhos de massa. Materiais higroscópicos podem demorar cerca de 60 dias para atingir condições de equilíbrio.

O procedimento de ensaio consiste em preencher o copo com a solução escolhida - deixando uma camada de ar - e colocar a amostra sobre o copo vedando-a. Esse corpo-de-prova deve ser pesado e colocado em uma câmara climática.

Caso tenha sido utilizado um copo teste para compensar a variabilidade nas condições do ensaio, as medições diárias de massa podem ser ajustadas calculando a mudança de massa da pesagem inicial para a pesagem atual. Com isso é possível perceber antes se as amostras atingiram ou não condições de equilíbrio.

A análise gráfica e numérica dos dados coletados é descrito nas páginas 788 e 789 da norma. Sua representação aqui não se fez necessária devido ao uso da norma EN 1015-19 para realização do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.



Figura 20 – Procedimento de ensaio

A norma EN 1015-19 já direciona o ensaio especificamente para argamassas. E os princípios de funcionamento do ensaio são apresentados abaixo:

Os provetes que irão ser ensaiados são selados na abertura de copos circulares, nos quais a pressão do vapor de água se mantém constante em níveis adequados por meio de soluções salinas saturadas. Os copos são colocados num ambiente de temperatura controlada com uma pressão de vapor constante diferente da que está dentro dos copos. O índice de transferência de umidade é determinado a partir da alteração no peso dos copos em condições de regime permanente (EN 1015-19, 2000, p. 6).

A aparelhagem necessária é similar a da norma ASTM E96, no entanto as soluções são outras e o tipo de copo é especificado de forma mais detalhada. Para o ensaio são usados então: uma balança com precisão de 1mg; um vedante impermeável; um copo circular com abertura de $0,02\text{m}^2$; solução saturada de nitrato de potássio (KNO_3); solução saturada de cloreto de lítio (LiCl); tela de algodão; colher e espátula; e câmara de armazenamento com temperatura de $20\pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $95\pm 5\%$ e/ou $50\pm 5\%$.

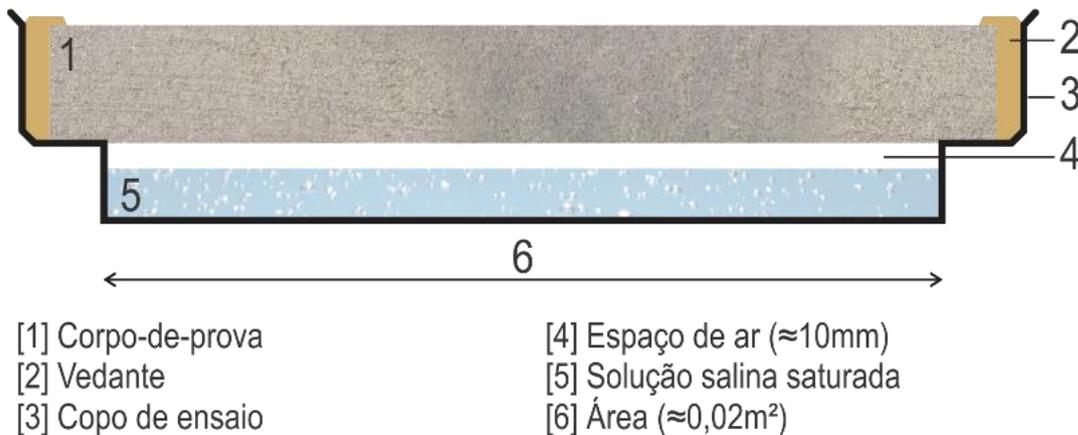


Figura 21 – Copo de ensaio com solução e corpo-de-prova

Fonte: Adaptado da EN 1015-19.

Para cada intervalo higroscópico deve-se preparar 5 amostras a serem curadas com 28 dias antes da realização do ensaio. Essas amostras devem ser colocadas em câmara climática a uma umidade relativa de $95\pm 5\%$ ou seladas em sacos plásticos a uma temperatura de $20\pm 2^\circ\text{C}$ para realizar a cura úmida por tempo determinado pelo quadro 1 da norma.

Para o ensaio, os corpos-de-prova são colocados no copo e vedados com material selador. Para o intervalo higroscópico superior o copo deve ser preenchido com KNO_3 . Já para o intervalo inferior, o controle da pressão de vapor é feito com o uso de LiCl .

A folga de ar entre as amostras e a solução deve ser de $10\pm 5\text{mm}$. Feito isso, os copos devem ser colocados em câmara climática a $20\pm 2^\circ\text{C}$ e umidade de $95\pm 5\%$.

As medições de ganho ou perda de massa devem ser feitas a intervalos de tempo adequados. O ensaio termina quando a quantidade de vapor de água que passa pela amostra por unidade de tempo é constante.

Deve-se fazer um gráfico para cada intervalo higroscópico com relação entre massa do copo e tempo. A partir desse gráfico se determina o fluxo de vapor de água e a permeância (Λ) pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Fluxo de vapor} = \frac{\Delta G}{\Delta t} \qquad \Lambda = \frac{1}{A\Delta_p / (\Delta_g / \Delta_t) - R_a}$$

Onde, conforme Temp (2014):

A: Área da abertura do copo de ensaio (m²)

Δ_p : Diferença de pressão do vapor entre ambiente e solução saturada (Pa)

$\Delta G/\Delta t$: Corresponde ao fluxo do vapor de água (kg/s)

Λ : Permeância ao vapor de água (kg/m²·s·Pa)

R_a : Resistência ao vapor de água da folga de ar entre o provete e a solução (0,048·09Pa m² s/kg por 10mm de folga)

Ainda de acordo com a pesquisa de Temp (2014), a diferença de pressão de vapor de água (Δ_p) entre os dois lados do corpo de prova é calculada pela diferença de pressão de cada um dos ambientes (P), em que P determina-se pela seguinte expressão:

$$P = P_s \times \frac{HR}{100} \quad (\text{em Pa})$$

A pressão parcial de saturação (P_s), à temperatura de 22°C corresponde a 2640 Pa. E a permeabilidade (ρ) ao vapor de água corresponde ao valor da permeância multiplicado pela espessura (e) do corpo de prova:

$$\rho = \Lambda \times e \quad (\text{em kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

A espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d) é determinada a partir das permeabilidades ao vapor de água:

$$S_d = 1,95 \times 10^{-10} \times \frac{e}{\pi} \quad (\text{em m})$$

Por último, para encontrar o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, a norma europeia EN 998-1 sugere o seguinte cálculo:

$$\mu = \frac{1,94 \times 10^{-10}}{\Lambda}$$

Autor	Ensaio realizado	Nº ensaios	Tempo
F. E. Penas, 2008	Permeabilidade ao vapor de água (EN 1015-19)	5 para cada traço	2 dias p/ desmolde. Medição diária na mesma hora por pelo menos 15 dias (até alcançar perda de água constante)
A. Temp 2014	Permeabilidade ao vapor de água	7 para cada tipo de sistema	Medição diária por 15 dias
D. A. G. Pedro, 2010	Permeabilidade ao vapor de água (EN 1015-19)	3 provetes	Cura por 28 dias depois coloca na câmara e regista diariamente por 15 dias
Labthink® s.d.	Permeabilidade ao vapor (ASTM E96)	-	O teste pode ser finalizado quando a amostra atingir equilíbrio de transmissão. (8 ou 10 mínimo)
Cemex® s.d.	Permeabilidade ao vapor de água (EN 1015-19)	5 para cada gama hidros cópica	Cura por 28 dias, não especifica medições
S. P. Miranda, 2004	Permeabilidade ao vapor de água (ASTM E96)	-	7 medições
ASTM E96, 1995	Transmissão de vapor de água	Se os lados da amostra são diferentes e qualquer um deles pode estar exposto ao vapor, 4 amostras devem ser testadas, 2 para cada lado.	Medições periódicas no mesmo horário com tolerância de 15 minutos (8 ou 10 medições no mínimo)
EN 1015-19, 2000	Permeabilidade ao vapor de água	5 amostras para cada gama hidros cópica	Cura por 28 dias e medições a intervalos de tempo apropriados* (obtidos por experiência)

Quadro 6 – Relação de ensaios de permeabilidade por diferentes autores

Com relação à preparação do ensaio, foi definida a moldagem de 15 bolachas de cada tipo de argamassa, e a cura, diferentemente do indicado na norma, não seria úmida, pois além de a argamassa estabilizada não endurecer de forma normal, devido à presença do aditivo retardador de pega, a intenção do trabalho é verificar o material como se ele fosse extraído de uma parede, imitando condições reais de obra. Nesse sentido, os moldes foram deixados em ambiente controlado de laboratório e desmoldados somente após 7 dias. Passados 28 dias de

cura nesse ambiente, parte das bolachas recebeu aplicação dos dois cristalizantes usados na pesquisa e, a partir desse ponto, foi realizada a cura úmida dessas amostras por uma semana. Esse processo é detalhado posteriormente no item 3.2.5.

Passado esse processo, as amostras eram montadas no copo teste, de modo que primeiro era preciso desenhar na bolacha o diâmetro do anel interno do copo, e a faixa resultante desse delineamento foi vedada com silicone. Isso foi feito para que o transporte de vapor da água ocorra somente na parte da bolacha exposta à solução salina, ou seja, apenas na área correspondente ao anel interno do copo.



Figura 22 – Preparação da amostra para o ensaio de permeabilidade

As soluções salinas foram adquiridas em forma sólida e foram posteriormente saturadas com água destilada à 30°C com ajuda de um agitador. As mesmas foram introduzidas nos copos até atingirem um nível de espaçamento da bolacha de 1,5cm. Essa folga é necessária para evitar o contato da solução com a argamassa durante o manuseio do copo da câmara até a balança de pesagem. Após preencher o copo com a solução, foi colocada uma fita de massa de calafetar ao redor do anel interno do copo para promover a vedação entre o copo e a amostra. A bolacha de argamassa foi então colocada com cuidado no copo sobre o cordão de massa de calafetar e levemente pressionada. Depois, para promover a vedação entre a amostra e o ambiente, outro cordão de massa de calafetar foi colocado no espaço entre a borda do copo e a bolacha.

Para esta pesquisa, a orientação da bolacha foi escolhida conforme o lado do reboco que estaria exposto ao vapor na realidade, ou seja, o lado do molde que foi rasado ficou em contato com o ambiente salino, conforme pode ser visto na Figura 23.

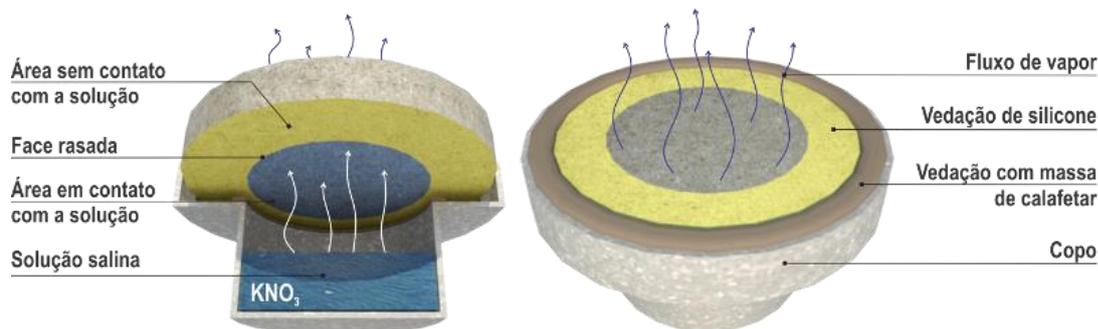


Figura 23 – Direcionamento do fluxo de vapor na amostra

3.2.2.3 Abrasão

A NBR 12042/1992 determina o desgaste por abrasão de materiais inorgânicos, já que o desgaste se dá através do atrito entre a superfície do corpo-de-prova e o anel de ferro abastecido com material abrasivo.

A aparelhagem consiste em um equipamento com as seguintes características: possibilite a rotação da pista de desgaste com velocidade de 30 ± 1 rpm; seja provido de anel de ferro fundido e sapatas de acoplamento que mantenham os corpos-de-prova em contato com a pista; possibilite a rotação dos corpos-de-prova em torno de seu eixo com velocidade de $0,6 \pm 0,02$ rpm; permita aplicar uma carga variável sobre a amostra; seja provido de dois funis para armazenar o abrasivo; seja provido de escovas que direcionem o abrasivo; e provido de contador automático do número de voltas da pista.

Para execução do ensaio deve primeiramente ser feita a leitura inicial dos corpos-de-prova. Feito isso, acoplá-los nas sapatas do equipamento e aplicar uma carga de 66N em cada um. A vazão da areia deve ser regulada em $72 \pm 6 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Após ligar o aparelho, ele deve completar 250 voltas, equivalente a um percurso 500m, e ao fim do qual deve-se fazer leitura intermediária dos corpos-de-prova. Em sequência, recolocá-los de forma invertida no aparelho e definir o percurso de 500 voltas ou 1000m. Por fim se faz a leitura final dos corpos de prova.

Para materiais frágeis é recomendado que os percursos sejam menores, como de 50 em 50m por etapa.

Os resultados relativos aos percursos de 500m e 1000m são obtidos pela diferença entre a leitura final e intermediária, e a diferença entre a leitura final e a inicial.

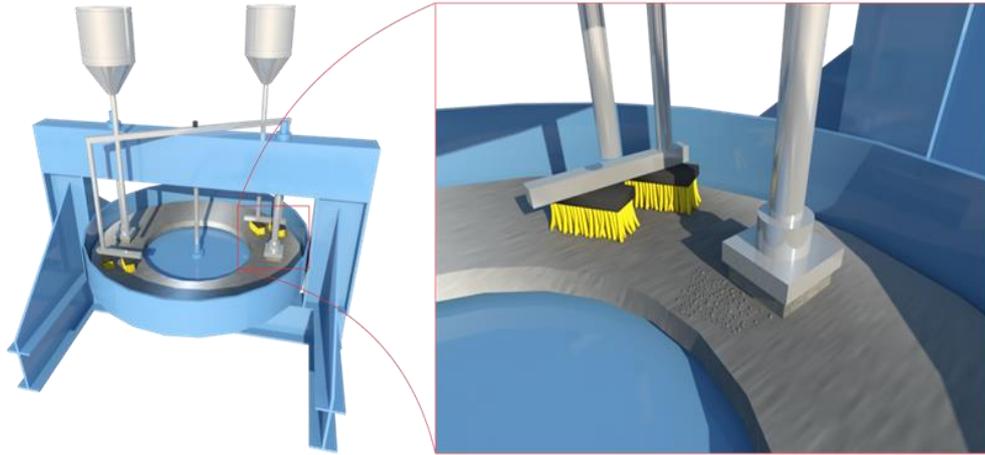


Figura 24 – Representação do ensaio de abrasão por desgaste

Autor	Ensaio realizado	Nº ensaios	Tempo
A. V. Costa, 2014	Desgaste por abrasão	4 amostras	28 dias para ensaiar as amostras, Ciclo de 250 voltas (equivalem a 500m) e ciclo de 500 voltas (equivalem a 1000m)
E. C. A. Meneguini, 2003	Desgaste por abrasão (NBR 12042)	1 amostra por traço (6 traços feitos)	28 dias para ensaiar as amostras, Ciclo de 250 voltas (equivalem a 500m) e ciclo de 500 voltas (equivalem a 1000m)
NBR 12042, 2013	Desgaste por abrasão	-	Ciclo de 250 voltas e ciclo de 500 voltas Para amostras frágeis, fazer medição a cada 50m ou 25 voltas

Quadro 7 – Relação de ensaios de abrasão por diferentes autores

3.2.2.4 Absorção por capilaridade

Para determinar a absorção de água por capilaridade podem ser usadas tanto a norma NBR 9779/2012 quanto a NBR 15259/2005. No caso, optamos por usar a segunda que é específica para argamassas de assentamento e revestimento.

Os aparelhos necessários para realização do teste consistem em: cronômetro; espátula metálica; recipiente apropriado com dispositivo que garanta nível constante de água; bases que mantenham os corpos-de-prova afastados do fundo do recipiente mas permitam contato de sua face inferior com a água; e balança com resolução 0,01g.

No mínimo três corpos-de-prova devem ser produzidos e o ensaio deve ser realizado aos 28 dias de idade das amostras.

Antes de realizar o ensaio, os corpos-de-prova devem ser lixados na superfície que entrará em contato com a água e em seguida devem ser pesados para determinar sua massa seca (m_0).

O recipiente do ensaio deve estar em ambiente com temperatura constante de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$. Os corpos-de-prova devem ser posicionados sobre os suportes colocados dentro do recipiente, e este deve ser preenchido com água a um nível de $5 \pm 1\text{mm}$. Durante o ensaio, determinar a massa saturada (m_t) dos corpos-de-prova com 10 min e 90 min. Completada a última leitura, os corpos-de-prova podem ser rompidos por compressão diametral de forma a verificar a distribuição de água em seu interior.

O resultado (expresso em g/cm^2) é dado pelo aumento de massa dos corpos-de-prova que foram parcialmente imersos em água por meio da seguinte equação:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16}$$

Onde:

A_t : Absorção de água por capilaridade (g/cm^2)

m_t : Massa do corpo-de-prova durante o ensaio (g)

t: Corresponde aos tempos de 10 min e 90 min

m_0 : Massa do corpo-de-prova seco (g)

16: Área da seção transversal (cm^2)

O coeficiente de capilaridade (C) deve igualmente ser calculado para cada corpo-de-prova de acordo com a equação abaixo:

$$C = (m_{90} - m_{10})$$

Onde:

C: Coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)

Para verificar a altura da ascensão capilar interna, consultamos a NBR 9779/2012 que especifica que a distribuição da água absorvida deve ser desenhada conforme a Figura 25.

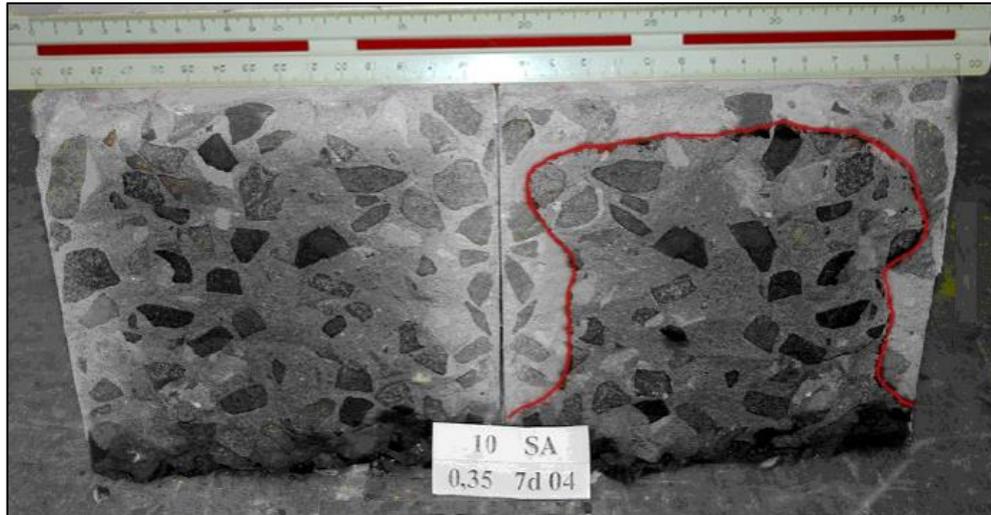


Figura 25 – Desenho da distribuição de água interna absorvida por capilaridade

Fonte: Neto (2011).

3.2.2.5 Aderência

A norma NBR 15258 (2005) determina a resistência de aderência à tração dos revestimentos de paredes e tetos.

Os materiais necessários para execução do ensaio são: equipamento de tração; pastilhas; dispositivo de corte (serra copo); paquímetro; cola; substrato padrão; e gabarito para moldagem. O equipamento de tração consiste em um dinamômetro de tração que permite a aplicação contínua de carga de forma centrada e ortogonal ao revestimento.

O ensaio deve ser realizado aos 28 dias, contado a partir da aplicação da argamassa sobre o substrato padrão.

A distribuição dos 10 corpos-de-prova no painel revestido deve ser feito de forma aleatória, desde que os pontos de arrancamento distem das bordas 40mm e entre si no mínimo 20mm.

Após determinada a localização dos pontos, deve-se fazer o corte do revestimento com a serra copo até atingir a superfície do substrato por 1mm. Feito isso, deve-se limpar a superfície da placa de modo a aplicar as pastilhas sobre os pontos de corte, pressionando-as para garantir o espalhamento da cola. Posteriormente se posiciona o equipamento sobre a pastilha, aplicando um esforço de tração constante até a ruptura do corpo-de-prova. Anotar a carga (P) ou tensão de ruptura e medir com o paquímetro o diâmetro do corpo-de-prova.

Para calcular a resistência de aderência à tração de cada amostra, se usa a equação apresentada abaixo:

$$R = P/A$$

Onde:

R: Resistência de aderência à tração (MPa)

P: Carga de ruptura (N)

A: Área do corpo-de-prova (mm²)

Além disso, a forma de ruptura dos corpos-de-prova devem ser avaliados e expressados com indicação da porcentagem de ocorrência.

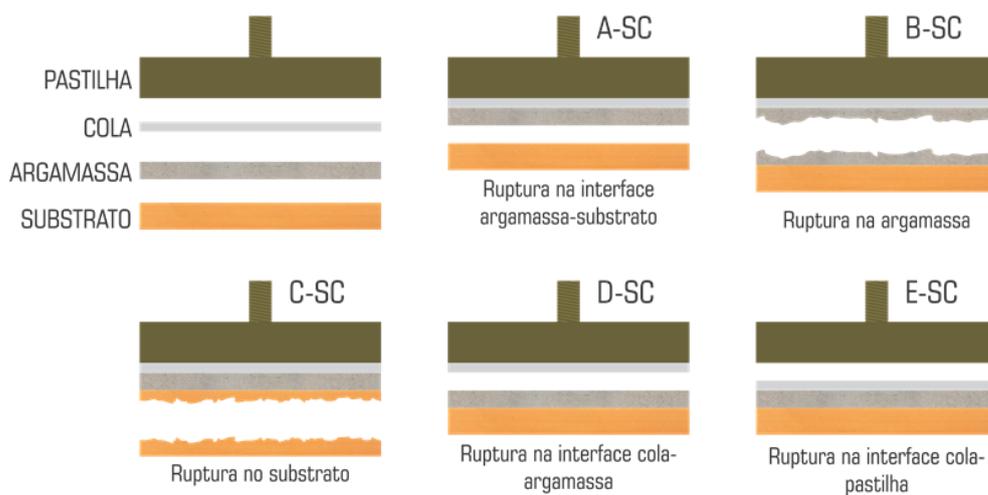


Figura 26 – Forma de ruptura de um revestimento sem chapisco

Fonte: Adaptado da norma NBR 13528 (2010).

3.2.2.6 Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos é descrita pela norma brasileira NBR 13279 (2005).

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é constituída de: moldes prismáticos de 4x4x16cm; mesa de adensamento; régua metálica; espátula; máquina para ensaios de resistência; dispositivo de carga; cronômetro; e utensílios para laboratório.

São moldadas três amostras para cada idade de ensaio de ruptura (3, 7 e 28 dias). A moldagem dos corpos-de-prova consiste na introdução da argamassa em cada compartimento do molde em duas camadas. Após a formação de cada uma das camadas, deve-se aplicar 30 quedas na mesa de adensamento antes de rasar o molde com auxílio da régua metálica.

Ainda de acordo com a norma, os corpos-de-prova devem permanecer nos moldes por 48h, em ambiente de laboratório com temperatura do ar de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$ antes de serem desmoldados. No caso das argamassas estabilizadas, objeto desse estudo, esse tempo precisa ser ampliado para 7 dias, uma vez que o aditivo retardador de pega não permite a correta desmoldagem antes desse período. A Figura 27 ilustra esse fenômeno.



Figura 27 – Diferença entre amostras desmoldadas conforme a norma e após 7 dias

Para determinar a resistência à compressão se utilizam as metades restantes dos corpos-de-prova que passaram pelo ensaio de tração na flexão. Esses novos prismas são posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio. A face do prisma rasada pela régua durante a moldagem não deve ficar em contato com o dispositivo de apoio nem com o de carga. Em seguida se aplica uma carga de $500 \pm 50\text{N/s}$ até que ocorra a ruptura do corpo-de-prova. Para calcular a resistência a compressão é utilizada a seguinte equação:

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

Onde:

R_c : Resistência à compressão (MPa)

F_c : Carga máxima aplicada (N)

1600: Área da seção do dispositivo de carga de $40 \times 40\text{mm}$ (mm^2)

3.2.2.7 Resistência à tração na flexão

A aparelhagem necessária para realização do ensaio e a execução da moldagem dos corpos-de-prova é igual ao procedimento adotado para verificação da resistência à compressão. A diferença consiste no ensaio de resistência propriamente dito.

Para verificar a resistência à tração na flexão o corpo-de-prova deve ser posicionado nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada com a régua não fique em contato com os dispositivos de carga nem com os de apoio. Em seguida se deve aplicar uma carga de $50 \pm 10 \text{ N/s}$ até que se obtenha a ruptura da amostra. O cálculo da resistência à tração na flexão é o seguinte:

$$Rf = \frac{1,5 F_f \times L}{40^3}$$

Onde:

Rf: Resistência à tração na flexão (MPa)

Ff: Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

L: Distância entre os suportes (mm)

3.2.3 Coleta do material

A coleta da argamassa foi realizada na própria empresa produtora, e, em seguida, foi transportada, em sacos plásticos, até o laboratório da Universidade Federal de Santa Maria para ser ensaiada.

No segundo semestre de 2014, a argamassa foi coletada para realizar ensaios preliminares, os quais são apresentados no item 4.1. Posteriormente, em Janeiro de 2015, foram coletadas duas amostras da argamassa de 36h para a realização dos ensaios definitivos, porém essas argamassas precisaram ser descartadas devido a um problema de dosagem relatado pela empresa fornecedora. Ainda no primeiro semestre de 2015, foram coletadas mais uma amostra da argamassa de 36h e de 72h para a moldagem e realização dos ensaios, cujos resultados são apresentados nessa pesquisa.

3.2.3.1 Argamassa de 36h

A argamassa de 36h foi utilizada logo após a chegada do material, sendo retirada dos sacos plásticos e disposta em baldes, de forma a promover a mistura e homogeneização do material.

3.2.3.2 Argamassa de 72h

No caso da argamassa com estabilização de 72h, o fabricante recomenda esperar o período de 72h para utilizá-la. Diante disso, após a chegada do material no laboratório, a argamassa foi retirada dos sacos plásticos e disposta em baldes com uma película de água de 2cm, permanecendo em repouso por 3 dias. Passado esse período, a película de água foi retirada, e foi realizada a homogeneização do material.



Figura 28 – Coleta e armazenamento das argamassas estabilizadas

3.2.4 Moldagem, cura e desmoldagem

A moldagem, cura e desmoldagem dos corpos-de-prova necessários para a realização dos ensaios é apresentada nos próximos itens. E, tendo em vista o fato de alguns processos de moldagem não serem contemplados nas normas utilizadas para esta pesquisa, optou-se por utilizar a legenda apresentada na Figura 29 para facilitar a leitura e o entendimento das condições de moldagem.



Figura 29 – Legenda de condições de moldagem

Utilizamos, também, o diagrama abaixo para demonstrar a relação de normas usadas, as condições do ambiente e o número de amostras separadas para a realização de cada ensaio.

	Nº amostras	Moldagem	Condições de cura	Desmoldagem	Ensaio aos 28 dias	Ensaio aos 40 dias
Absorção por capilaridade	6 cp's	NBR 13279/2005	Seca (20°C e 65%)	Após 7 dias	3 cp's	3 cp's
Desgaste por abrasão	6 cp's	NBR 13279/2005	Seca (20°C e 65%)	Após 7 dias	-	6 cp's
Microscopia eletrônica	3 amostras	-	-	-	-	-
Permeabilidade à água	4 placas	Não há norma	Seca (20°C e 65%)	Após 7 dias	4 placas	4 placas
Permeabilidade ao vapor	15 bolachas	Não há norma	Seca (20°C e 65%)	Após 7 dias	-	15 bolachas
Resistência de aderência	3 placas	NBR 15258/2005	Seca (20°C e 65%)	-	1 placa	2 placas
Resistência à compressão	6 cp's	NBR 13279/2005	Seca (20°C e 65%)	Após 7 dias	3 cp's	3 cp's
Resistência à tração na flexão	6 cp's	NBR 13279/2005	Seca (20°C e 65%)	Após 7 dias	3 cp's	3 cp's

Figura 30 – Diagrama de ensaios para cada tipo de argamassa ensaiada

Como ilustrado na figura acima, os corpos-de-prova foram ensaiados em duas datas, a fim de que pudesse ser feita a comparação entre as amostras antes e após a aplicação de tratamento cristalizante.

3.2.4.1 Amostras prismáticas

Para os ensaios de Absorção de água por capilaridade, Resistência à tração na flexão e Resistência à compressão foram moldados 6 corpos-de-prova prismáticos de acordo com as recomendações da norma NBR 13279/2005. No entanto, foram aguardados 7 dias para

promover a desmoldagem das amostras, uma vez que os ensaios preliminares demonstraram que 48h, conforme o recomendado, eram insuficientes para esse tipo de argamassa devido à presença de aditivo retardador de pega em sua composição.



Figura 31 – Processo de moldagem dos corpos-de-prova prismáticos

3.2.4.2 Amostras para abrasão

No caso do ensaio de abrasão, a norma NBR 12042/2013 – Determinação do desgaste por abrasão - recomenda que sejam seguidas as diretrizes da norma NBR 12041/2012 para o preparo dos corpos-de-prova de argamassa usados neste ensaio. Porém, o abrasímetro utilizado não possui sapata de acoplamento para corpo-de-prova cilíndrico, motivo pelo qual foi fabricado um molde de material não corrosível que pudesse ser usado para moldar amostras de 7,5cm x 7,5cm x 5cm (comp. x larg. x alt.).

A moldagem, por sua vez, seguiu as orientações da NBR 13279/2005 que determina o uso da *flow table* para fazer o adensamento da argamassa. A cura dessas amostras foi seca, de forma que os corpos-de-prova pudessem permanecer nas mesmas condições que as demais amostras moldadas para os outros ensaios no estado endurecido. Como explicado anteriormente, a desmoldagem foi igualmente realizada ao passar de 7 dias.



Figura 32 – Processo de moldagem dos corpos-de-prova para o ensaio de abrasão

3.2.4.3 Amostras para permeabilidade à água

Para esta pesquisa foram confeccionadas placas de 50 x 26 x 2,5cm de argamassa para investigar o comportamento apenas do material de revestimento, sem interferência do substrato ou demais camadas.

Além da verificação da quantidade de água absorvida, observou-se a área de molhagem na parte inferior da placa, a fim de verificar se o tratamento cristalizante atuava tanto na superfície do material como em profundidade.

Conforme ilustra a Figura 33, os gabaritos de madeira revestidos com papel contact foram dispostos em uma superfície metálica não aderente, previamente untada com desmoldante. Em seguida, procedeu-se a colocação da argamassa nas placas, e por fim passou-se o desempeno liso para regularizar a superfície.



Figura 33 – Processo de moldagem das placas de argamassa de revestimento

As placas permaneceram em condições controladas (temperatura de $23\pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60\pm 5\%$) e, ao passar de 7 dias, foi realizada a desmoldagem das mesmas. Após esse processo, as placas foram dispostas lado a lado em suportes e continuaram, em condições de laboratório, até o momento do ensaio.

3.2.4.4 Amostras para permeabilidade ao vapor

Para os ensaios de permeabilidade ao vapor foram moldadas 15 bolachas para cada estabilização, conforme mostra o diagrama apresentado na Figura 34.

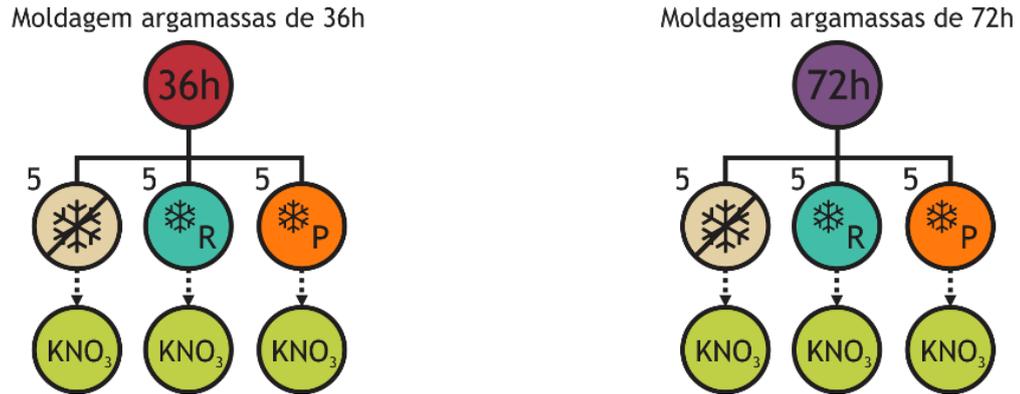


Figura 34 – Diagrama de moldagem e ensaio da permeabilidade ao vapor

Dessas 15 bolachas, 5 não receberam tratamento cristalizante, 5 receberam cristalizante do tipo P, e 5 receberam cristalizante do tipo R, todas ensaiadas com KNO_3 . O número de amostras moldadas seguiu as recomendações da norma EN 1015-19/2000.

Com relação ao processo de moldagem dessas amostras, as normas consultadas não especificavam o tipo de molde, nem o procedimento a ser seguido, por isso a metodologia utilizada se baseou nos estudos de Temp (2014).

Baseado nessa metodologia, foram confeccionados moldes não aderentes de pvc com 100mm de diâmetro interno e 20mm de altura, e a moldagem foi similar ao procedimento realizado para as placas destinadas ao ensaio de permeabilidade à água.

A princípio, o molde de pvc era restritivo, porém, em ensaios-teste foi possível notar que ele não era adequado à natureza frágil da argamassa estabilizada como pode ser visto na Figura 35. Diante desse fenômeno, optou-se por realizar um corte no pvc, de forma a permitir sua abertura e facilitar a desmoldagem das bolachas sem danificá-las.

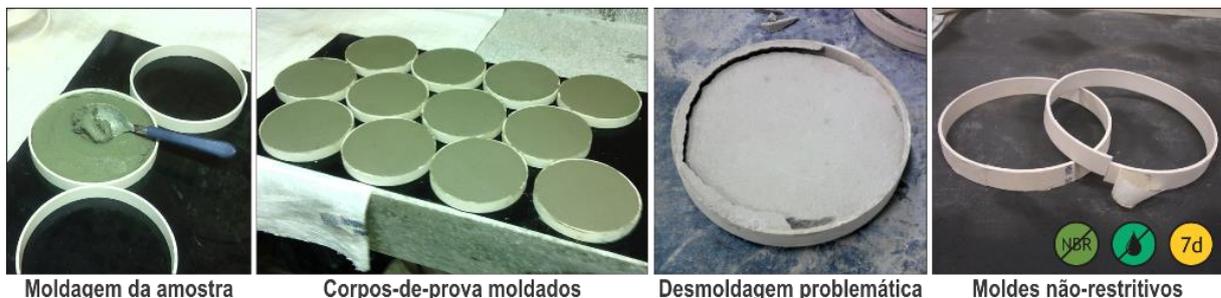


Figura 35 – Processo de moldagem das bolachas de argamassa para o ensaio do copo

3.2.4.5 Amostras para resistência de aderência

Para os ensaios de resistência de aderência foram produzidas 3 placas: a primeira, destinada a não receber nenhum tipo de tratamento; a segunda receberia tratamento com o cristalizante P; e a terceira, com o cristalizante R. A moldagem dessas placas foi realizada de acordo com os preceitos da norma NBR 15258/2005.



Figura 36 – Processo de moldagem das placas de aderência

Ressalta-se, aqui, que a placa de substrato utilizada no ensaio é a placa padrão da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), e as placas escolhidas para a moldagem foram as 3 placas intermediárias de um pacote de 5 placas. Essa seleção foi necessária, pois as placas que ficam nas extremidades possuem mais defeitos/trincas pelo manuseio e transporte do pacote, fato que poderia influenciar os resultados do ensaio.

3.2.5 Aplicação dos tratamentos cristalizantes

Esperou-se a argamassa atingir a idade de 28 dias para que o cimento atingisse um nível de hidratação, conhecido e estipulado pelas normas, para a realização da maioria dos ensaios no estado endurecido. Passado esse tempo, foi realizada aplicação dos tratamentos cristalizantes sobre os corpos-de-prova e placas moldadas. De acordo com recomendações do fornecedor e fabricante dos cristalizantes, era necessário esperar, no mínimo, duas semanas (14 dias), fazendo a cura úmida do material por metade desse tempo, para então ensaiar as

amostras. Vale ressaltar que o fabricante explica que o desempenho do tratamento continua a melhorar, ao longo do tempo, e que a presença de água se torna benéfica para a multiplicação dos cristais dentro das redes porosas.

3.2.5.1 Aplicação do cristalizante R

O cristalizante R é um material pronto, sendo vendido na forma líquida dentro de um galão de 1 litro. De acordo com a embalagem, o rendimento do cristalizante é de 1 a 2 litros por m² para aplicação “dentro e fora da parede”, mas o fornecedor indica rendimento de 250ml por m² para aplicação, apenas, na superfície de um material.

A quantidade de cristalizante usada foi calculada de acordo com a área da superfície que ia receber o tratamento, de modo que cada amostra recebeu quantidade equivalente às suas dimensões, conforme relação demonstrada no quadro abaixo:

Amostra	Quantidade	Área unitária	Cristalizante (por superfície)
Bolachas para permeabilidade ao vapor	5	0,0176m ²	4,4ml
Corpos-de-prova para abrasão	2	0,005625m ²	1,4ml
Corpos-de-prova prismático	1	0,0016m ²	0,4ml
Placas para permeabilidade à água	2	0,1313m ²	32,8ml
Placas para resistência de aderência	1	0,1313m ²	32,8ml

*O corpo-de-prova para o ensaio de abrasão recebeu tratamento em ambos os lados pois o ensaio exige a rotação da amostra após as primeiras 250 voltas.

Quadro 8 – Relação da quantidade de cristalizante aplicado por superfície

Antes da aplicação do tratamento, o fornecedor recomenda a molhagem da superfície que recebe o cristalizante, de modo a ficar saturada, mas não encharcada. Concluída esta etapa, é possível aplicar diretamente o cristalizante R sobre as amostras com o auxílio de um pincel limpo e designado apenas para este fim conforme mostra a Figura 37.



Figura 37 – Processo de aplicação do cristalizante R

3.2.5.2 Aplicação do cristalizante P

O cristalizante P é um material semi-pronto, vendido em forma de pó dentro de um saco de 25kg. O material é descrito pelo fabricante como um “material de impermeabilização por cristalização integral, aplicado superficialmente, que impermeabiliza e protege o concreto em profundidade”. Ainda, de acordo com o fabricante, o rendimento é variável, dependendo da área de aplicação, entretanto, todas as recomendações são feitas para uso em concreto. Mas o fornecedor indica um rendimento de 800g/m² por demão para aplicação na argamassa, sendo necessárias duas demãos.

A quantidade de cristalizante usada foi calculada de acordo com a área da superfície que ia receber o tratamento, e o traço indicado pelo fabricante é 5 partes de pó para 2 partes de água, sendo que cada corpo-de-prova recebeu quantidade equivalente às suas dimensões, conforme apresentado no Quadro 9.

Amostra	Quantidade	Área unitária	Cristalizante (pó)	Cristalizante (água)
Bolachas para permeabilidade ao vapor	5	0,0176m ²	10,05g	4g
Corpos-de-prova para abrasão	2	0,005625m ²	3,2g	1,3g
Corpos-de-prova prismático	1	0,0016m ²	0,9g	0,4g
Placas para permeabilidade à água	2	0,1313m ²	75g	30g
Placas para resistência de aderência	1	0,1313m ²	75g	30g

*O corpo-de-prova para o ensaio de abrasão recebeu tratamento em ambos os lados pois o ensaio exige a rotação da amostra após as primeiras 250 voltas.

Quadro 9 – Relação da quantidade de cristalizante aplicado por superfície

Antes da aplicação do tratamento, o fornecedor recomenda a molhagem da superfície que recebe o cristalizante, a qual deve estar saturada, mas não encharcada. Concluída esta etapa, o cristalizante e a água foram pesados de acordo com o traço definido para cada superfície de amostra e ambos foram misturados em um pote limpo.

O fabricante recomenda, ainda, que o material seja usado em até 20 minutos e que se promova a mistura constante do mesmo. Após uma primeira experiência, resolveu-se produzir apenas a quantidade necessária de material para a aplicação em cada tipo de amostra, pois o material reage muito rapidamente, endurecendo em menos de 1 minuto, enquanto parado, após a homogeneização da mistura.



Figura 38 – Processo de mistura do cristalizante P

A aplicação da mistura também foi feita com auxílio de um pincel novo e limpo. E o tempo aguardado para a aplicação da segunda demão de material variou entre 50 e 60 minutos, de forma que se esperava uma aparência seca e opaca na superfície da amostra.



Figura 39 – Processo de aplicação do cristalizante P

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Este capítulo tem como objetivo descrever os resultados encontrados e analisar o comportamento das argamassas estabilizadas no estado fresco e endurecido. Para facilitar a leitura das imagens apresentadas, foi utilizada a legenda abaixo:

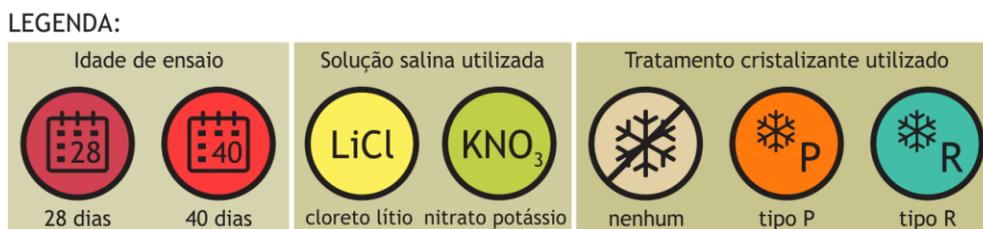


Figura 40 – Legenda com idade de ensaio, tipo de tratamento e solução utilizada

4.1 Ensaios preliminares

No segundo semestre de 2014, foram realizados ensaios preliminares com as argamassas estabilizadas. Os ensaios foram realizados de acordo com o exposto no capítulo metodologia, e os resultados foram comparados com a norma de requisitos para argamassas NBR 13281/2005 e estão resumidos nos quadros 10 e 11.

Data	Argamassa	Densidade de massa, d (kg/m ³)		Teor de ar incorporado, A(%)		Exsudação às 4h (%)		Índice de consistência (mm)		Retenção de água, Ra (%)	
		Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma
15 e 16/10/14	36h	1805,0	D4 (1600-2000)	19,78	C (>18)	0,966	-	220,7	260±5	88,44	U4(86-94)
	72h	1774,25	D4 (1600-2000)	21,49	C (>18)	0,074	-	183,0	260±5	94,70	U5(91-97)
06/01/15	36h	1821,0	D4 (1600-2000)	19,42	C (>18)	0,15	-	224,0	260±5	94,23	U5(91-97)

Quadro 10 – Resumo dos resultados dos ensaios preliminares no estado fresco

Nos ensaios no estado fresco foi possível verificar que a argamassa de 72h possui mais ar incorporado na sua composição, resultando em uma densidade menor, fato esse explicado pela maior adição de aditivo incorporador de ar em sua composição. No entanto, a exsudação de água e o índice de consistência são igualmente inferiores aos da argamassa de 36h.

Data	Argamassa	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})		Resistência de aderência (MPa)		Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração na flexão (MPa)	
		Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma
15 e 16/10/14	36h	0,16	C1 ($\leq 1,5$)	0,35	A3 ($\geq 0,3$)	8,768	P6 (> 8)	3,653	R5 (2,7-4,5)
	72h	0,55	C1 ($\leq 1,5$)	0,09	A1 ($< 0,2$)	1,813	P2 (1,5-3)	1,293	R1 ($\leq 1,5$)
06/01/15	36h	-	-	-	-	1,03	P1 (≤ 2)	0,4	R1 ($\leq 1,5$)

Quadro 11 – Resumo dos resultados dos ensaios preliminares no estado endurecido

Quanto aos resultados dos ensaios no estado endurecido, podemos concluir que a argamassa de 36h é superior à argamassa de 72h nos quesitos de resistência, de aderência, de compressão, de tração na flexão e de absorção de água por capilaridade.

No entanto, no início de 2015, foi testado outro lote de argamassa de 36h, que apresentou resultados inferiores aos da argamassa de 72h. Tais resultados demonstram que existe grande variação nas propriedades dessas argamassas, sendo necessário, portanto, a caracterização completa da argamassa a cada lote preparado.

Esse outro lote foi ensaiado quanto à permeabilidade à água, aos 28 dias. Foram feitas 4 placas, das quais 2 foram moldadas com argamassa recebida pela empresa dosadora no dia 06/01/2015 e as outras 2 foram moldadas com argamassa recebida no dia posterior. Os resultados desse ensaio estão apresentados na Figura 41.

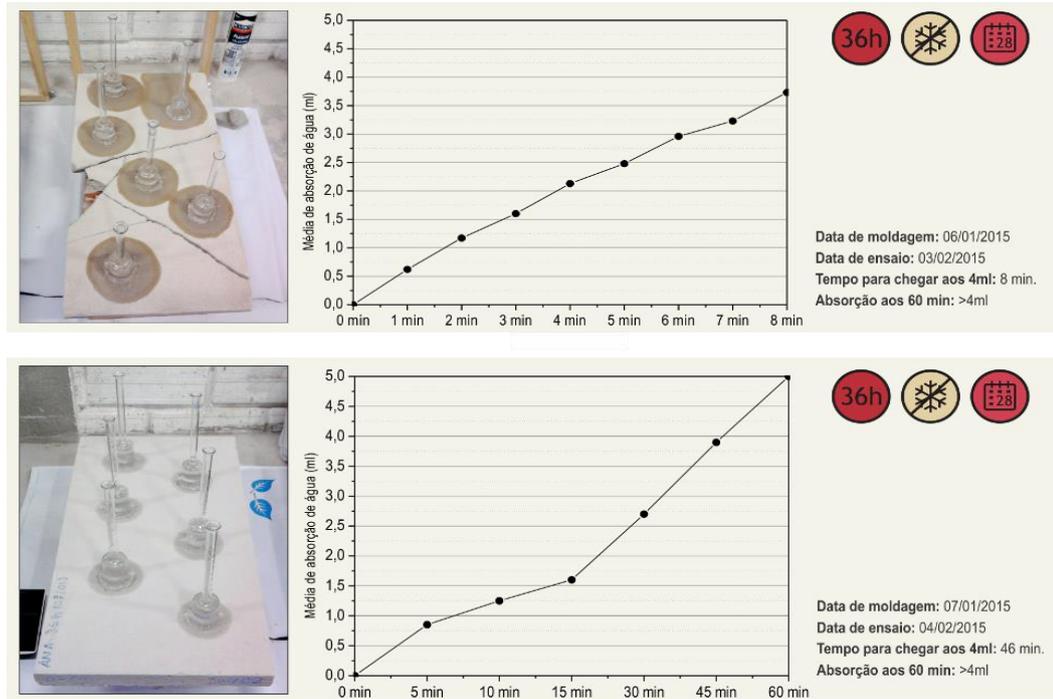


Figura 41 – Ensaio preliminar de permeabilidade à água

Em ambos os casos o ensaio foi rápido, sendo concluído em, no máximo, 50 minutos (considerando que o ensaio acabava quando a água atingia a marca de 4ml). Contudo, foi possível notar uma diferença significativa entre as placas ensaiadas, já que nas placas do primeiro lote o ensaio durou apenas 8 minutos, e no segundo lote, durou 46 minutos. A diferença nos tempos de ensaio reforça a premissa de que a argamassa estabilizada deve sempre ser ensaiada em um lote único e deve ser feita a caracterização completa do material a cada lote produzido.

4.2 Ensaio no estado fresco

4.2.1 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O experimento foi realizado de acordo com a norma NBR 13278/2005 e os resultados encontrados são apresentados a seguir. Utilizou-se no ensaio um copo de aço inox com capacidade de 400ml da empresa Solotest.

Em relação à densidade de massa, a Tabela 5 da norma NBR 13281/2005 fornece uma classificação para as argamassas de assentamento e revestimento. No caso desta pesquisa, ambas as argamassas possuem valores que as enquadram na categoria D4 (1600-2000 kg/m³).

Já para o teor de ar, a versão de 2001 dessa mesma norma, indica a que classe pertencem as argamassas de acordo com o ar incorporado. Nesse caso específico, as argamassas estabilizadas de 36h e de 72h, pertenceriam à classe C (>18%), valor alto devido à inclusão de aditivo incorporador de ar em sua formulação.



Figura 42 – Ensaio de densidade e teor de ar incorporado

Nos ensaios preliminares, apresentados no item anterior, a densidade da argamassa de 36h era maior do que a densidade da argamassa de 72h, que recebe mais incorporador de ar em sua formulação, porém o mesmo não aconteceu nos ensaios definitivos. Uma possível explicação para esse fenômeno seria a mistura prolongada da argamassa de 36h, que incorporaria mais ar, tornando-a mais leve. No entanto, a empresa fornecedora revelou que, no dia da dosagem, a válvula de cimento estava danificada e liberou mais cimento na argamassa de 36h do que o traço previa. Para compensar essa falha, foram adicionados mais 6 litros de incorporador de ar não previstos à mistura e, por esse motivo, a argamassa de 36h apresentou características similares à de 72h no estado fresco.

Autor	Jantsch (2015)		Casali (2011)		
Tipo argamassa	36h	72h	36h	36h	72h
Densidade de massa (kg/m ³)	1765,475	1737,875	1480	1590	1600
Norma NBR 13281	D4 (1600-2000)	D4 (1600-2000)	D3 (1400-1800)	D3 (1400-1800)	D3 (1400-1800)
Teor de ar incorporado (%)	21,88	22,76	31	27	26
Norma NBR 13281	C (>18)				

Quadro 12 – Resultado dos ensaios de densidade de massa e teor de ar

Ao comparar os resultados encontrados com a pesquisa de Casali et al. (2011) é possível perceber que o nível alto de teor de ar incorporado é algo comum em se tratando de argamassas estabilizadas.

4.2.2 Exsudação de água

Diferentemente dos ensaios preliminares ilustrados na Figura 43, as novas argamassas obtidas pela usina não apresentaram exsudação como pode ser visto na Figura 44. Mesmo ao passar de 4h de ensaio, ambas as amostras não apresentaram quantidade mensurável de água na sua superfície.



Figura 43 – Ensaio preliminar de exsudação de água

As condições do ambiente de laboratório se mantiveram iguais, e os métodos empregados foram os mesmos, comprovando a teoria de que ocorreu algum ajuste ou modificação no traço da argamassa fornecida, fato que foi posteriormente atestado pela empresa, ao relatar a maior quantidade de cimento adicionada.



Figura 44 – Ensaio de exsudação de água

4.2.3 Índice de consistência

O ensaio de consistência, usando a mesa de espalhamento (*flow table*) foi realizado conforme a norma NBR 13276/2005, que propõe que a argamassa deva ter um índice ideal de $260\pm 5\text{mm}$.

No entanto, Nakakura e Cincotto (2004) observaram que os aditivos presentes nas argamassas industrializadas modificam as propriedades reológicas das mesmas, como é o caso do objeto desta pesquisa que possui incorporadores de ar em sua formulação. Silva et al. (2005) também concluem que a facilidade com que a argamassa é espalhada depende dos fenômenos de movimentação e de lubrificação existentes entre suas partículas internas, proporcionado pelo aditivo incorporador de ar, no caso das argamassas industrializadas.

Comparativamente, no entanto, podemos dizer que a argamassa de 72h seria mais trabalhável do que a argamassa de 36h, uma vez que sua consistência apresenta valores superiores, apesar de não existir discrepância notável entre elas durante os ensaios como pode ser visto na Figura 45.



Figura 45 – Ensaio de índice de consistência

4.2.4 Retenção de água

A norma NBR 13281/2005 usada anteriormente, também classifica as argamassas de revestimento quanto a sua retenção de água. Nos ensaios definitivos, ambas as argamassas, de 36h e 72h se enquadram na categoria U5 (91 a 97%) de acordo com a Tabela 6 da norma, ou seja, uma alta retenção de água. No entanto, nos ensaios preliminares, a argamassa de 36h foi

classificada como U4 (86 a 94%), sendo esta considerada uma retenção normal de acordo com do Ó (2004).

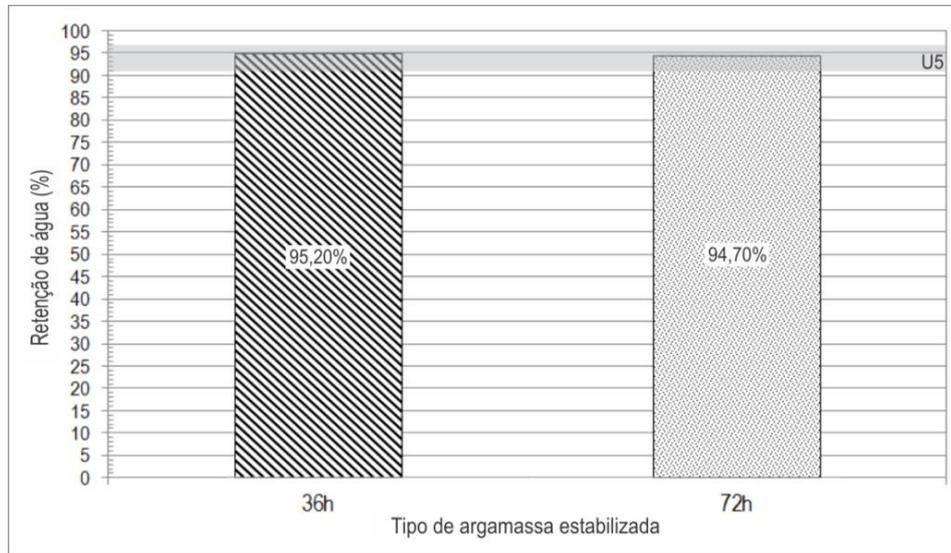


Gráfico 1 – Retenção de água para argamassas estabilizadas

Também podemos citar que em se tratando especificamente de argamassas industrializadas, a norma americana ASTM C1142 especifica 75% como sendo o valor mínimo de retenção de água necessário para a aceitação desse material.



Figura 46 – Ensaio de retenção de água

Esses valores de retenção superiores a 95% podem ocasionar uma perda de aderência entre a argamassa e a base em que ela for aplicada, uma vez que o substrato mesmo possuindo características porosas, vai ser incapaz de sugar a água e os finos.

4.2.5 Resumo dos resultados encontrados com os ensaios no estado fresco

O Quadro 13 apresenta um resumo dos resultados médios obtidos nos ensaios realizados com as argamassas estabilizadas no estado fresco. Os resultados são classificados de acordo com a norma NBR 13281/2005 que apresenta os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Tipo	Densidade de massa, d (kg/m ³)		Teor de ar incorporado, A (%)		Exsudação (%)		Índice de consistência (mm)		Retenção de água, Ra (%)	
	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma	Pesquisa	Norma
36h	1765,475	D4 (1600-2000)	21,88	C (>18)	0	-	223	260±5	95,2	U6(95-100)
72h	1737,875	D4 (1600-2000)	22,76	C (>18)	0	-	242,8	260±5	94,7	U6(95-100)

Quadro 13 – Resumo dos resultados encontrados

Na inexistência de uma norma com requisitos específicos para a determinação das propriedades das argamassas estabilizadas, fazemos também o uso de pesquisas similares de forma a conferir os resultados obtidos. No quadro 14, há uma comparação entre os dados desta pesquisa e os resultados obtidos por Casali et al. (2011).

Argamassa	Densidade de massa (kg/m ³)				Teor de ar incorporado (%)		Índice de consistência (mm)		Retenção de água (%)	
	Real		Teórica		Pesquisa	Casali 2011	Pesquisa	Casali 2011	Pesquisa	Casali 2011
	Pesquisa	Casali 2011	Pesquisa	Casali 2011						
36h (usada no dia)	1765,475	1480	2260	2170	21,88	31	223	310	95,2	30
		1590				27		227		50
72h (3º dia, com película)	1737,875	1600	2250	2170	22,76	26	242,8	255	94,7	>90

Quadro 14 – Comparativo com pesquisas de outros autores

Por meio desse comparativo, podemos perceber que existe muita variabilidade nos resultados dos ensaios feitos com argamassas estabilizadas, fato que não era esperado já que a produção desse material acontece em empresas bem equipadas e com maior controle tecnológico do que em uma situação de obra.

4.3 Ensaios no estado endurecido

4.3.1 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade, realizado conforme a norma NBR 15259/2005 consistiu na pesagem dos corpos-de-prova antes e depois de entrarem em contato com uma lâmina de água de 5mm conforme ilustra a Figura 49. Os resultados obtidos neste ensaio podem ser conferidos no Quadro 15.



Figura 47 – Processo de ensaio de absorção de água por capilaridade

Tipo argamassa	36h				72h			
	28 dias	40 dias			28 dias	40 dias		
Tipo de tratamento	Sem	Sem	P	R	Sem	Sem	P	R
Absorção aos 10 min (g/cm ²)	0,01	0,013	0,019	0,025	0,06	0,019	0,044	0,00625
Absorção aos 90 min (g/cm ²)	0,048	0,044	0,1	0,044	0,188	0,069	0,1875	0,019
Coefficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}	0,5	0,3	0,5	1,3	1,1	2,3	0,8	0,2
Norma NBR 13281	C1 (≤ 1,5)				C1 (≤ 1,5)	C3 (2-4)	C1 (≤ 1,5)	C1 (≤ 1,5)

Quadro 15 – Resultados de absorção de água por capilaridade

Os resultados apresentados no quadro acima demonstram que a absorção de água por capilaridade das argamassas de 72h é superior ao da argamassa de 36h, provavelmente devido à maior concentração de aditivo incorporador de ar no traço, o que deixaria a argamassa mais porosa.

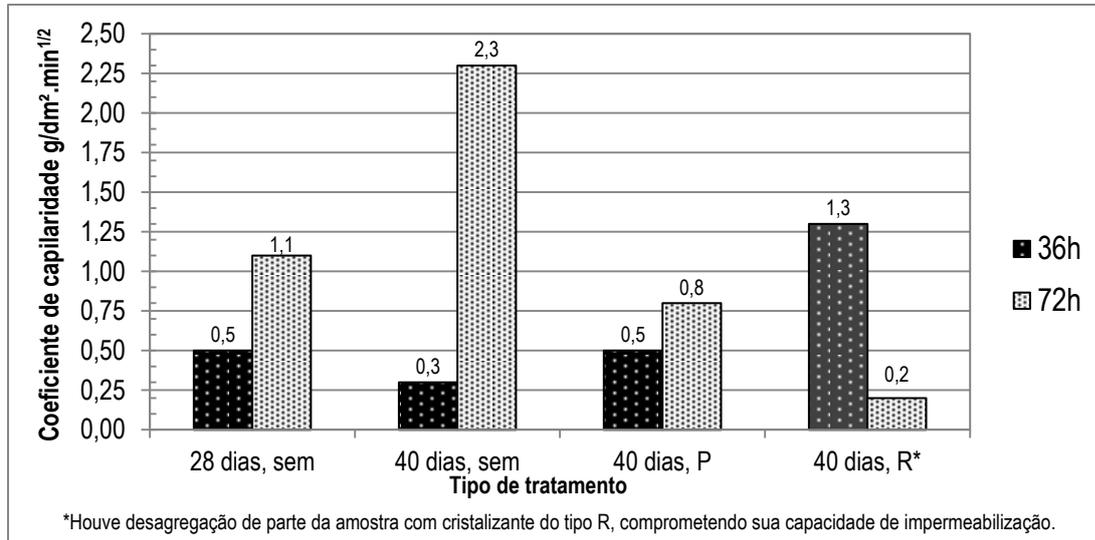


Gráfico 2 – Absorção de água por capilaridade

Também podemos observar que na argamassa de 36h, os corpos-de-prova que receberam tratamento cristalizante tiveram absorção maior do que a amostra sem tratamento algum, principalmente no caso da amostra com o cristalizante do tipo R. Esse fato pode ter ocorrido devido à desagregação da parte da amostra que foi rasada, deixando o prisma mais exposto conforme mostra a Figura 48.



Figura 48 – Desagregação de parte da camada rasada

No caso da argamassa de 72h, podemos ver que a aplicação dos cristalizantes reduziu a absorção de água pelo material em ambos os casos.

4.3.1.1 Particularidades do ensaio

Foi possível notar, durante o ensaio, que a água era absorvida principalmente pela face do corpo-de-prova que foi rasado. Essa camada se diferencia do restante da amostra, pois, ao moldar os prismas, aconteceu exsudação da água e das partes finas da argamassa, criando uma capa mais frágil na parte superior como ilustra a Figura 49.



Figura 49 – Elevação de água pela camada rasada

Outro fator observado consistiu na inspeção visual desses prismas após o ensaio de resistência à tração na flexão. Na Figura 50, é possível perceber que durante os ensaios preliminares, a água absorvida se distribuía pelo corpo-de-prova através das paredes externas, deixando o miolo seco. Já nos ensaios definitivos, havia menos água absorvida, e a percolação dela acontecia pelo centro do prisma e pela camada rasada.



Figura 50 – Diferença entre a distribuição interna de água nos corpos-de-prova

4.3.2 Desgaste por abrasão

O ensaio de abrasão foi realizado de acordo com a norma NBR 12042/2013. No entanto, a medição das amostras foi realizada com o auxílio de um paquímetro e não com o dispositivo de medida de perda de espessura indicado pela norma.



Figura 51 – Ensaio de desgaste por abrasão

Na realização do ensaio, dois corpos-de-prova foram acoplados em um abrasímetro do tipo Amsler da marca Contenco e sofreram desgaste através do anel giratório cuja superfície recebe areia IPT nº 50 para promover a abrasão do material. Os resultados deste ensaio estão expostos no Gráfico 3.

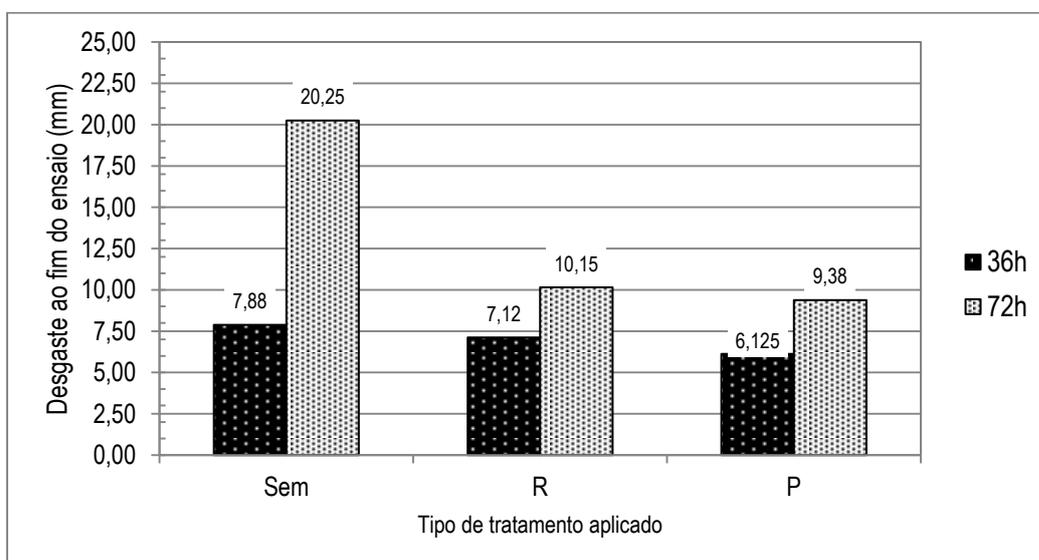


Gráfico 3 – Resultados do ensaio de desgaste por abrasão

Como podemos observar pelos resultados do ensaio, no que diz respeito às argamassas de 36h, as amostras com aplicação do cristalizante P tiveram o menor desgaste, isso ocorre devido ao fato de que esse tipo de cristalizante cria uma nova camada cimentícia mais resistente sobre o corpo-de-prova.

Em segundo lugar ficaram as amostras com aplicação do cristalizante R, que prometia promover um endurecimento da superfície na qual fosse aplicado. E, por último, as argamassas sem tratamento apresentaram desgaste mais acentuado do que as outras amostras, conforme era esperado.

O mesmo comportamento ocorreu nas argamassas de 72h, mas por ser um material mais frágil a diferença entre as amostras foi mais visível.



Figura 52 – Corpos-de-prova ao final do ensaio

Não foi encontrado nenhum parâmetro de desgaste para argamassas nas normas brasileiras e internacionais pesquisadas. Diante disso, a comparação dos resultados foi feita em relação ao comportamento das amostras antes e depois da aplicação de tratamentos cristalizantes.

4.3.2.1 Particularidades do ensaio

A norma de abrasão recomenda que sejam realizados dois percursos com as amostras ensaiadas: um que corresponde a 500m e outro a 1000m. A norma, ainda, recomenda que materiais mais sensíveis sejam ensaiados em etapas, de 50 e 50m (ou 25 voltas). Levando essas informações em conta, e lembrando que a argamassa estabilizada possui natureza mais frágil, determinou-se que os ensaios preliminares aconteceriam em mais etapas. Ainda assim, durante o ensaio-teste, a argamassa de 36h não resistiu ao número mínimo de voltas como pode ser visto na Figura 53.

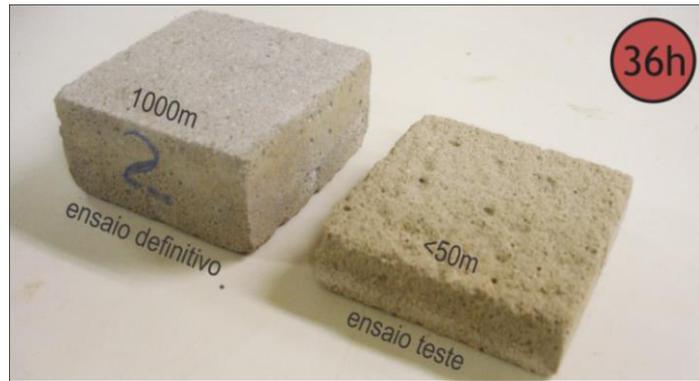


Figura 53 – Diferença entre ensaio teste e ensaio definitivo

Mas durante o ensaio definitivo, ambas as argamassas ensaiadas resistiram ao percurso total determinado pelo ensaio, mesmo sem tratamento cristalizante.

4.3.3 Permeabilidade à água

Como explicado anteriormente, para esse ensaio, foram moldadas 8 placas de argamassa estabilizada para revestimento, sendo 4 com estabilização de 36h e as outras 4 com estabilização de 72h.

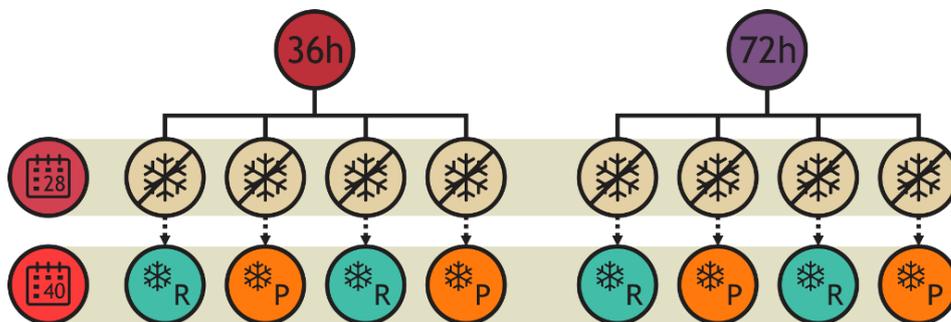


Figura 54 – Esquema de ensaios de permeabilidade à água

Aos 28 dias, as placas sem tratamento foram ensaiadas pelo método do cachimbo. Acabado o ensaio, foi aplicado tratamento cristalizante nas placas e aos 40 dias foi realizado novamente o ensaio.

De acordo com as pesquisas apresentadas no Quadro 5, o ensaio deve ser realizado até os 15 minutos, ou então até que a coluna de água chegue ao nível de 4cm³ demarcado no corpo do cachimbo. Nesta pesquisa optou-se por esperar a coluna de água chegar ao fim, de forma a verificar mais detalhadamente o tempo necessário para a argamassa absorver toda a água da coluna.

Tipo	Tipo de tratamento		Duração do ensaio	Volume de água (aos 60 min)			
				Média (ml)	Desvio padrão	C.V. (%)	Coef. Absorção kg/[m ² xvh]
36h	Sem tratamento	Placa P	900 min	0,45	0,055	12,2	0,73
		Placa R		0,533	0,113	21,1	0,87
	Cristalizante P		900 min	0,514	0,138	26,8	0,84
	Cristalizante R		1500 min	0,281	0,084	30	0,46
72h	Sem tratamento	Placa P	180 min	2,543	0,213	8,4	4,13
		Placa R		2,263	0,327	14,5	3,68
	Cristalizante P		720 min	0,769	0,429	55,8	1,25
	Cristalizante R		360 min	1,05	0,403	38,3	1,71

Quadro 16 – Resultado geral de permeabilidade à água

4.3.3.1 Argamassa estabilizada de 36h

Para as placas de argamassa de 36h sem tratamento cristalizante, o ensaio completo durou 900 minutos (15 horas) para que todos os cachimbos chegassem à marca de 4ml. E, conforme o Gráfico 4, podemos notar que as placas R, destinadas a receberem o cristalizante R, possuem uma absorção de água maior em comparação às placas P, destinadas a receberem o tratamento com o cristalizante P.

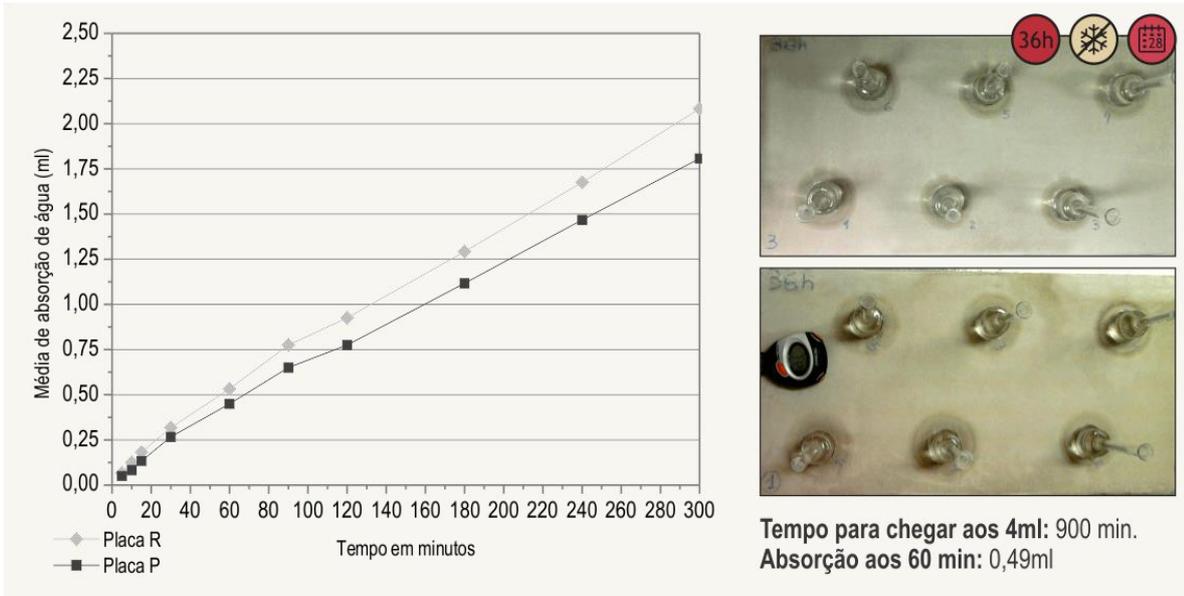


Gráfico 4 – Ensaio de permeabilidade aos 28 dias

No entanto, após a aplicação dos cristalizantes, aos 40 dias, o tempo necessário para realização do ensaio aumentou de 900 minutos (15 horas) para 1500 minutos (25 horas), demonstrando o efeito benéfico da aplicação do tratamento.

Isso pode ser notado nas placas de 36h que receberam o cristalizante do tipo R, em que a redução na absorção de água pode ser vista no gráfico abaixo:

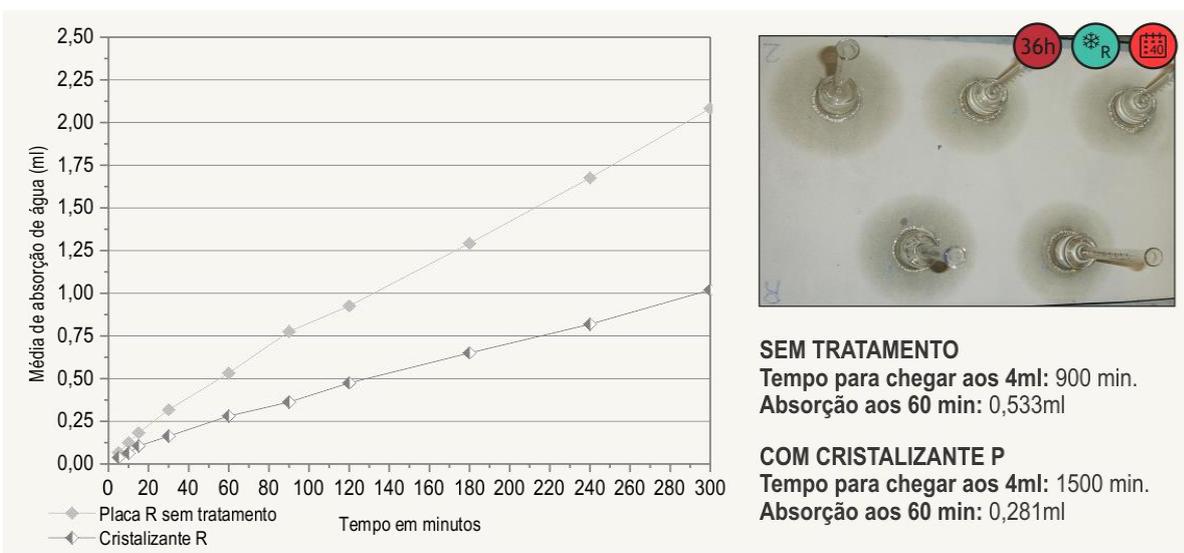


Gráfico 5 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante R

Já as placas de 36h que receberam tratamento com o cristalizante do tipo P, este sendo específico para uso em estruturas de concreto, não demonstrou uma diferença tão grande na absorção de água quanto às placas com o cristalizante R. Inclusive a absorção de água da placa que recebeu o cristalizante foi um pouco superior ao da placa sem cristalizante. Esse fenômeno ocorreu devido à presença de microfissuras por retração que se formaram na superfície do tratamento como pode ser visto na Figura 59 no item 4.3.3.4.

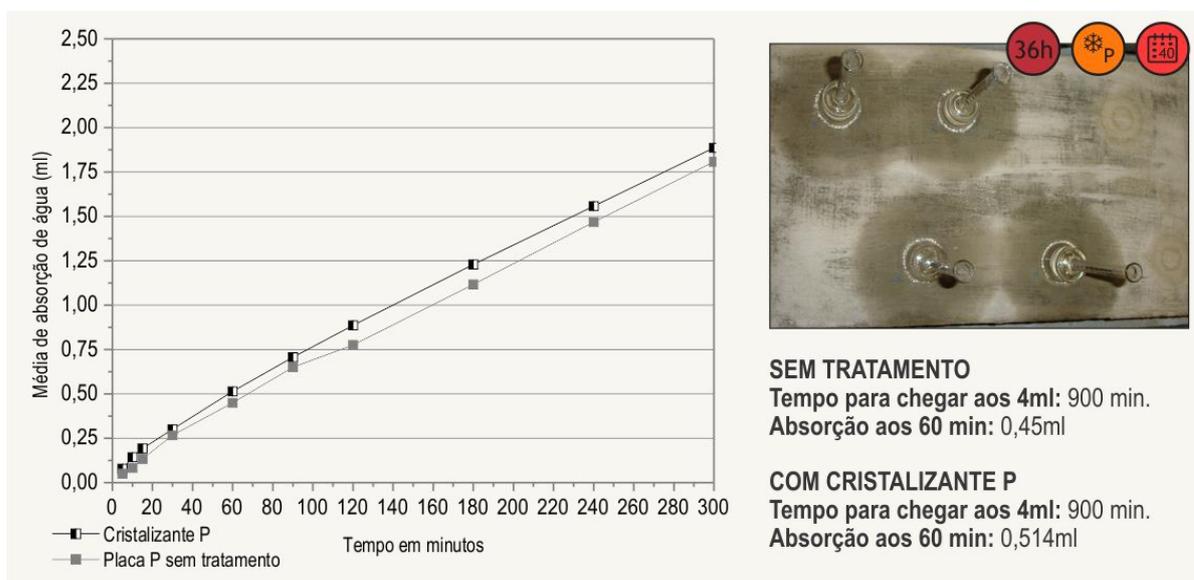


Gráfico 6 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante P

4.3.3.2 Particularidade do ensaio de 36h

Após a finalização do ensaio, foi possível notar uma diferença na aderência entre os cachimbos fixados nas placas com cristalizante P e cristalizante R. Aqueles colados nas placas com cristalizante R possuíam maior resistência ao descolamento, sendo necessário aplicação de mais força para retirá-los. Ao contrário, os cachimbos colocados nas placas com cristalizante P foram retirados facilmente. No entanto, houve a desagregação da camada de cristalizante ao se retirar um cachimbo que já se encontrava sem água como pode ser visto na Figura 55.



Figura 55 – Desagregação da camada de tratamento cristalizante

Outra peculiaridade percebida ao realizar-se o primeiro ensaio de permeabilidade nas placas com argamassa de 36h foi quanto ao manchamento de água, que não se estendeu muito pela placa, ficando concentrado em um diâmetro próximo à boca do cachimbo. Esse fato pode indicar que a água estava penetrando na placa, no sentido vertical, mesmo que não se tenha percebido sinais de manchamento na parte inferior da placa.

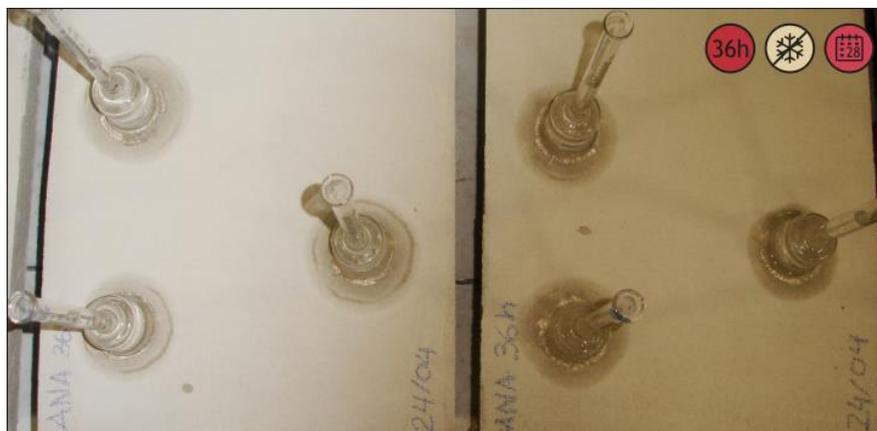


Figura 56 – Mancha de água no ensaio sem cristalizantes

No segundo ensaio de permeabilidade, que ocorreu após a aplicação dos cristalizantes nas placas, foi possível perceber uma alteração nas características do manchamento, que apresentavam uma configuração mais horizontal de espalhamento de água conforme mostra a Figura 57. Isso pode ter ocorrido devido ao efeito dos cristalizantes que impedem a penetração de água em profundidade.

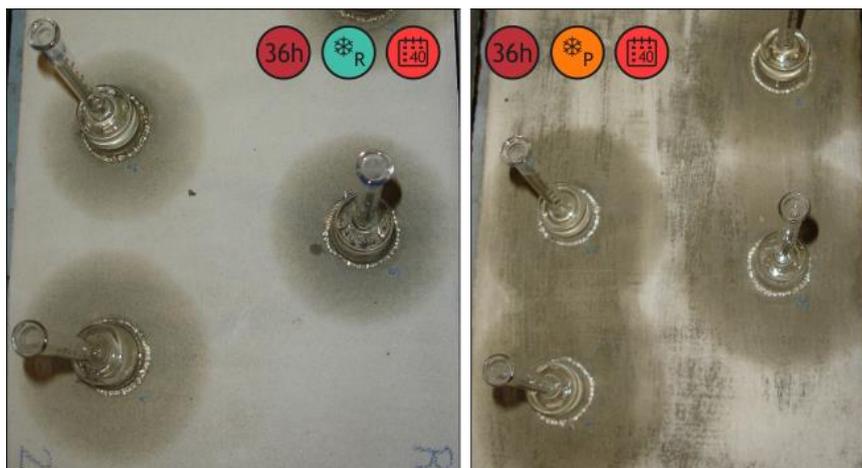


Figura 57 – Mancha de água no ensaio com tratamento cristalizante

4.3.3.3 Argamassa estabilizada de 72h

Quanto às placas de argamassa de 72h sem tratamento cristalizante, o ensaio completo durou 180 minutos (3 horas) para que todos os cachimbos chegassem à marca de 4ml. E conforme o gráfico abaixo, podemos notar que as placas P, destinadas a receberem o cristalizante P possuem uma absorção de água um pouco maior em comparação às placas R, essas destinadas a receberem o cristalizante R.

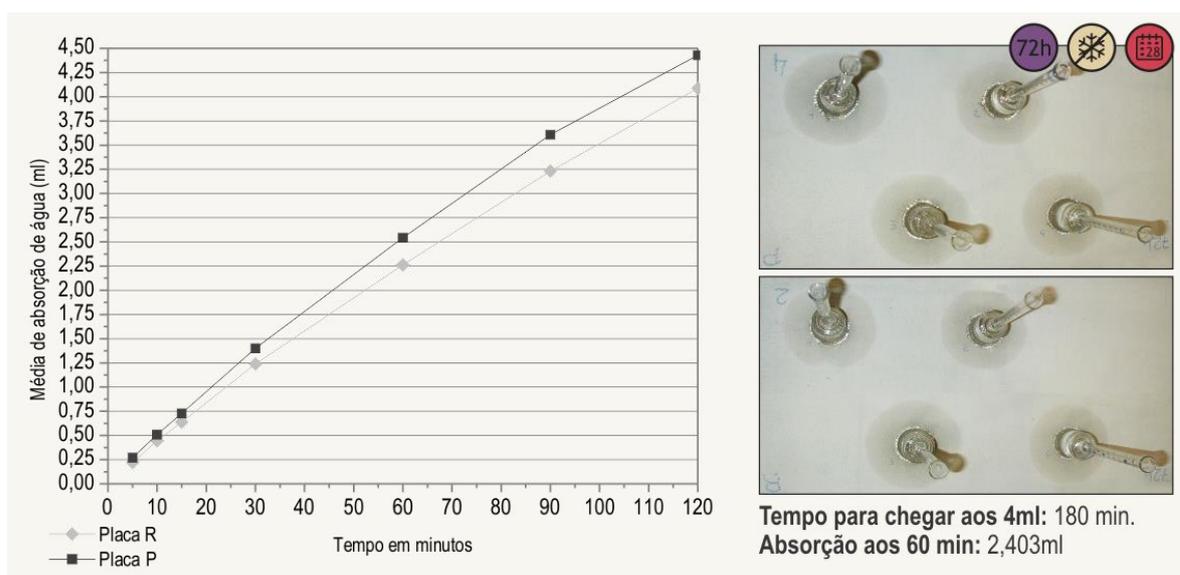


Gráfico 7 – Ensaio de permeabilidade aos 28 dias

No entanto, após a aplicação dos cristalizantes, aos 40 dias, o tempo necessário para realização do ensaio aumentou de 180 minutos (3 horas) para 720 minutos (12 horas), demonstrando que a aplicação do cristalizante retardou a absorção da água.

Isso pode ser notado nas placas de 72h que receberam o cristalizante do tipo R, cristalizante específico para argamassas, que obtiveram redução na absorção de água como pode ser visto no gráfico abaixo:

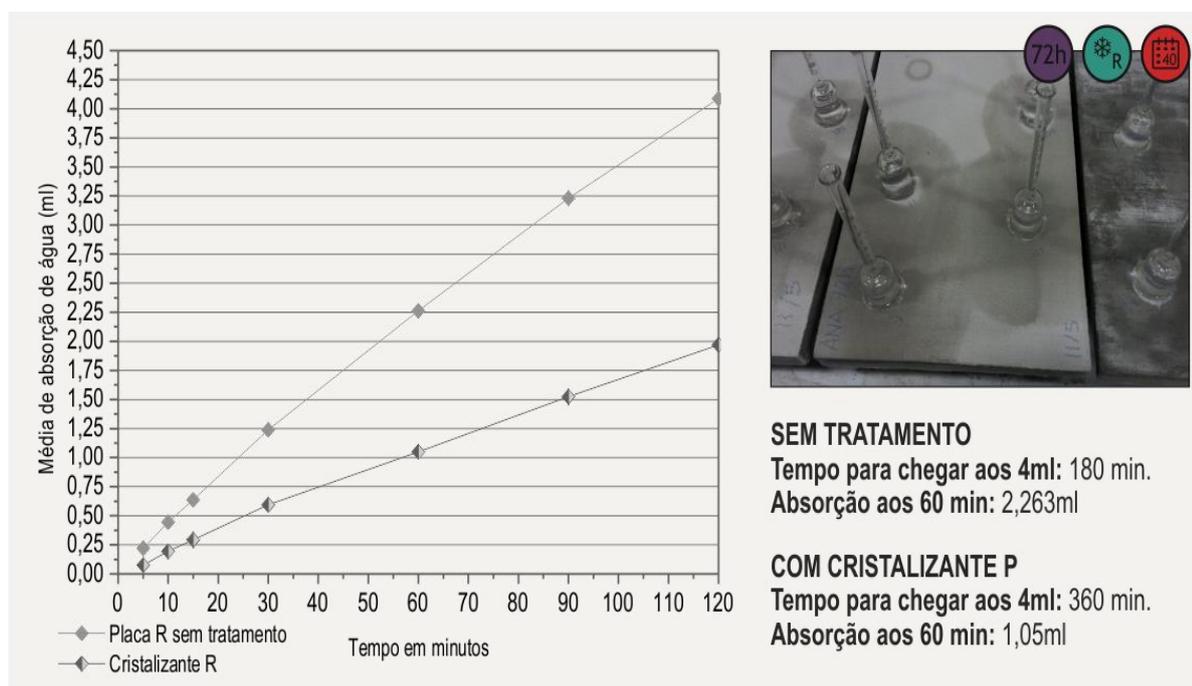


Gráfico 8 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante R

Igualmente, as placas de 72h que receberam tratamento com o cristalizante do tipo P, específico para uso em estruturas de concreto, evidenciaram redução da absorção. Inclusive, o cristalizante do tipo P teve um desempenho superior em relação ao tipo R, ao contrário do que aconteceu com a argamassa de 36h. Esse resultado pode ser conferido no Gráfico 9.

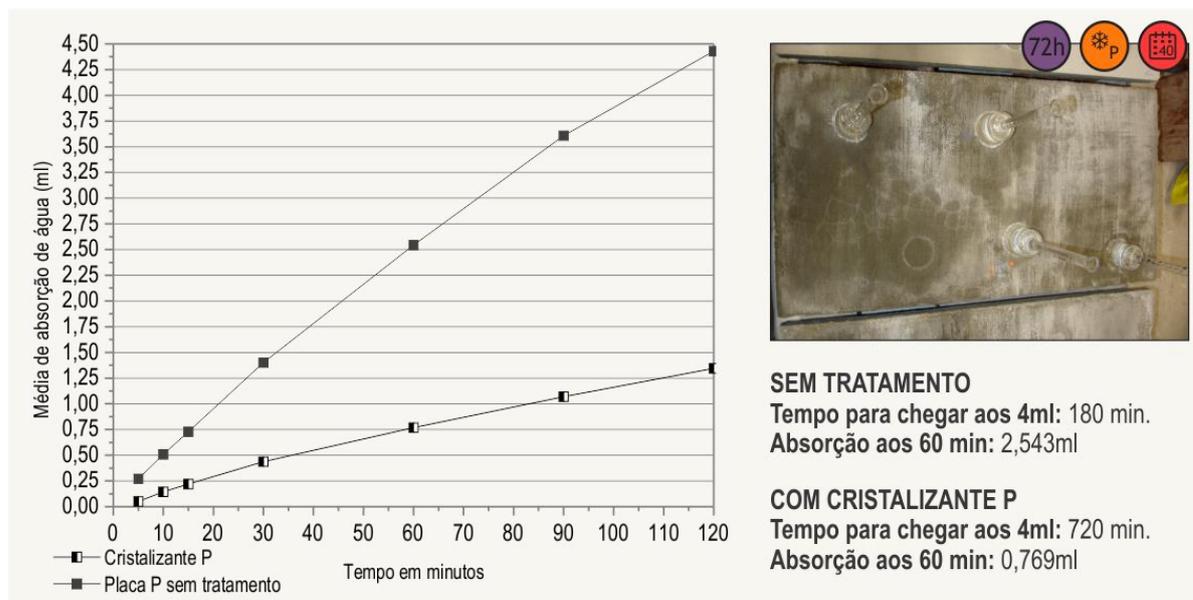


Gráfico 9 – Ensaio de permeabilidade aos 40 dias com cristalizante P

4.3.3.4 Particularidade do ensaio de 72h

As particularidades encontradas durante o ensaio com as placas de 72h estão apresentadas nas imagens abaixo.

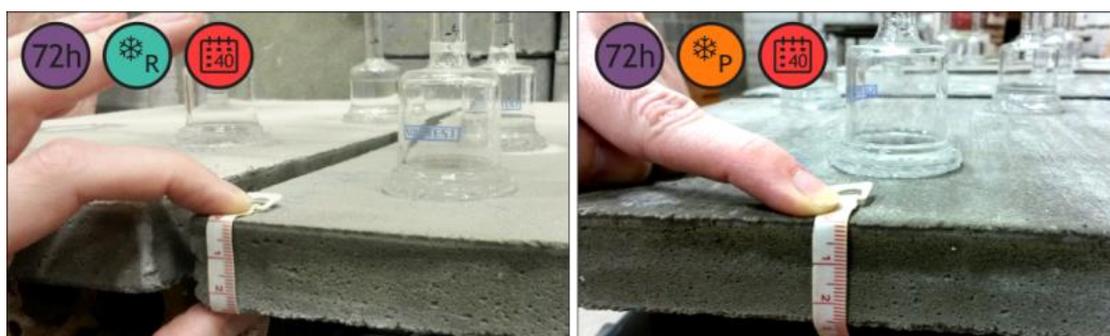


Figura 58 – Profundidade de absorção

Como pode ser observado pela imagem acima, a profundidade de absorção de água na placa de argamassa de 72h que recebeu tratamento com cristalizante P chegou, no máximo, a 1,1cm e a 1,3cm na placa com cristalizante R, revelando que houve mais espalhamento da

água na horizontal do que no ensaio feito aos 28 dias, antes do tratamento. Neste primeiro ensaio, não foi possível medir a profundidade da água, pois ela não se espalhou suficiente para alcançar as bordas da placa.

Ainda é importante ressaltar que em todos os ensaios de permeabilidade, tanto de 36h quanto de 72h, a mancha de água nunca foi notada na parte inferior da placa, ou seja, não atravessou a camada de 2,5cm de argamassa.

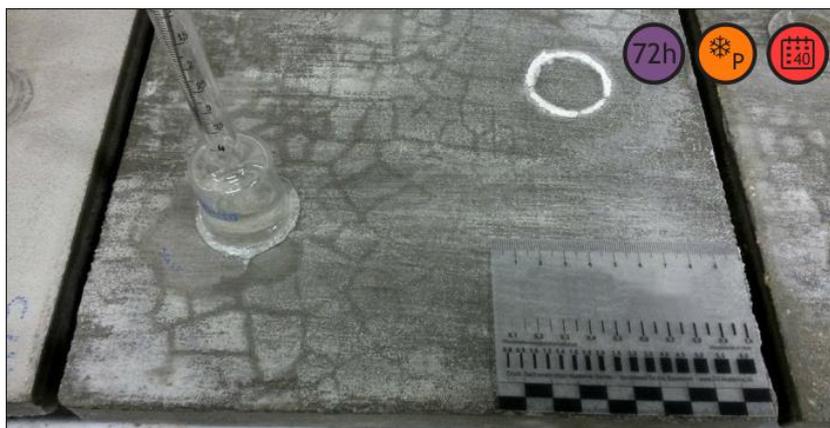


Figura 59 – Retração visível na placa com cristalizante P após o ensaio

Outra característica percebida durante o ensaio foi a presença de fissurações mapeadas na superfície da placa. A configuração das fissuras se tornou perceptível, apenas, após a absorção de água pela placa de argamassa e deve ter ocorrido devido à diferença de retração entre a argamassa e o cristalizante.

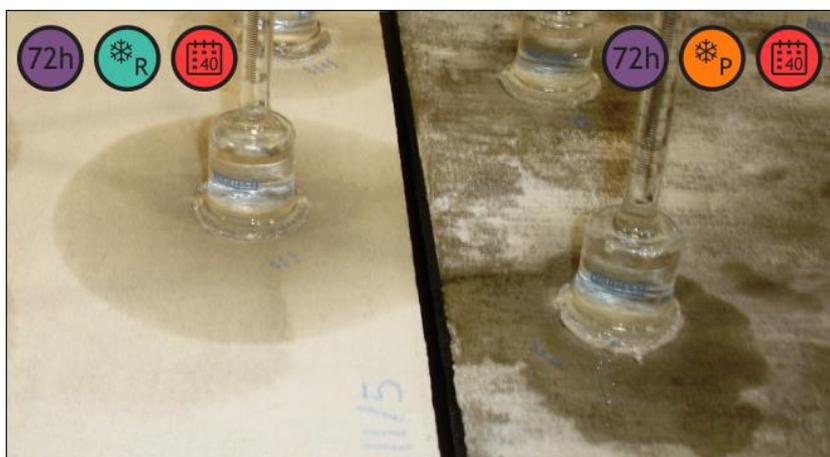


Figura 60 – Geometria do manchamento

Por último, nas placas com cristalizante R, o manchamento pela absorção de água aconteceu de forma simétrica, formando uma circunferência cujo centro era o cachimbo. Já nas placas com cristalizante P, o manchamento foi irregular, provavelmente devido à configuração das fissuras presentes na placa.

4.3.3.5 Comparativo

Abaixo é apresentado um quadro retirado da pesquisa de Apps (2011) que expõe os resultados dos estudos de outros autores para o ensaio de permeabilidade à água com o método do cachimbo. O quadro foi adaptado para incluir também os dados encontrados pelo próprio autor.

Referência	Aplicabilidade		Absorção média de água aos 60 min (cm ³)	Coefficiente de absorção kg/[m ² x\h]	
Duarte (2009)	Reboco exterior tradicional sem revestimento		1,2 (sul), 2,5 (norte)	< 1,5	
	Reboco exterior tradicional revestido		3,7		
Flores-Colen (2009)	Reboco exterior tradicional de cimento		0,6 - 1,4	0,2 – 0,4	
	Tijolo mais reboco monocamada		0,1	0,04	
Gonçalves (2010)	Argamassa tradicional multicamada		1,4 – 11,9	0,3 – 2,68	
	Argamassa industrial monocamada		0,4 – 1,1	0,09 – 0,26	
Apps (2011)	Reboco cimentício pré-dosado monocamada		1,61	-	
Jantsch (2015)	Argamassa estabilizada de 36h	28 dias	Sem	0,4915	0,8
		40 dias	P	0,514	0,84
			R	0,281	0,46
	Argamassa estabilizada de 72h	28 dias	Sem	2,403	3,905
		40 dias	P	0,769	1,25
			R	1,05	1,71

Quadro 17 – Resultados da permeabilidade à água por diversos autores

Analisando os valores obtidos por esses autores e os valores encontrados nas argamassas desta pesquisa, podemos concluir que as estabilizadas de 36h possuem um

comportamento similar ao das argamassas monocamada estudadas por Gonçalves (2010) e Apps (2011). Já a argamassa de 72h sem tratamento – a qual absorve mais água que a argamassa de 36h - mostra valores um pouco superiores, aproximando-se aos valores dos rebocos tradicionais.

Os estudos acima mencionados foram utilizados por não existir parâmetro para este ensaio nas normas brasileiras. A Tabela 3 da norma NBR 16072/2012 descreve alguns critérios de desempenho para argamassas com aditivo impermeabilizante - em que poderíamos enquadrar as argamassas com tratamento cristalizante - porém o ensaio requerido pela norma para definir a resistência à penetração de água sob pressão da argamassa é direcionado à avaliação de amostras de concreto.

4.3.4 Permeabilidade ao vapor de água

Conforme explicado anteriormente, para esse ensaio, foram moldadas 15 bolachas de argamassa estabilizada para revestimento em cada estabilização com $\varnothing=10\text{cm}$. Aos 28 dias foi realizada a aplicação de tratamento cristalizante em 10 das amostras e aos 40 dias as 15 bolachas foram ensaiadas pelo método do copo. Conforme os autores referenciados no Quadro 6, o ensaio deve ser realizado por 15 dias, com pesagens diárias.

O equipamento utilizado foi uma câmara climática da marca Feutron, modelo KPK 200, com configuração de 20°C de temperatura e 50% de umidade relativa, valores especificados pela norma EN 1015-19 para o ensaio no intervalo higroscópico superior, em que as amostras perdem peso diariamente. Os copos utilizados foram os mesmos presentes na pesquisa de Temp (2014).



Figura 61 – Câmara climática com os copos usados no ensaio

Fonte: Adaptado de <https://www.benad24.de/documents/image/12/1234572897/828-1.jpg>.

Os resultados obtidos neste ensaio evidenciam mais profundamente a permeância das amostras e sua perda de massa. No entanto, também descrevemos a permeabilidade e o coeficiente de permeabilidade para futura referência.

Na pesquisa de Temp (2014), com o uso da solução salina de cloreto de lítio, houve um ganho contínuo de massa nos primeiros dias de ensaio. Em um segundo momento, o ganho permaneceu contínuo, mas se mostrou menos expressivo, exceto pelo 10º e 12º dias. Também é possível notar pelo figura 64 que a argamassa estabilizada de 36h ensaiada pelo autor teve um comportamento discrepante em relação aos outros materiais ensaiados.

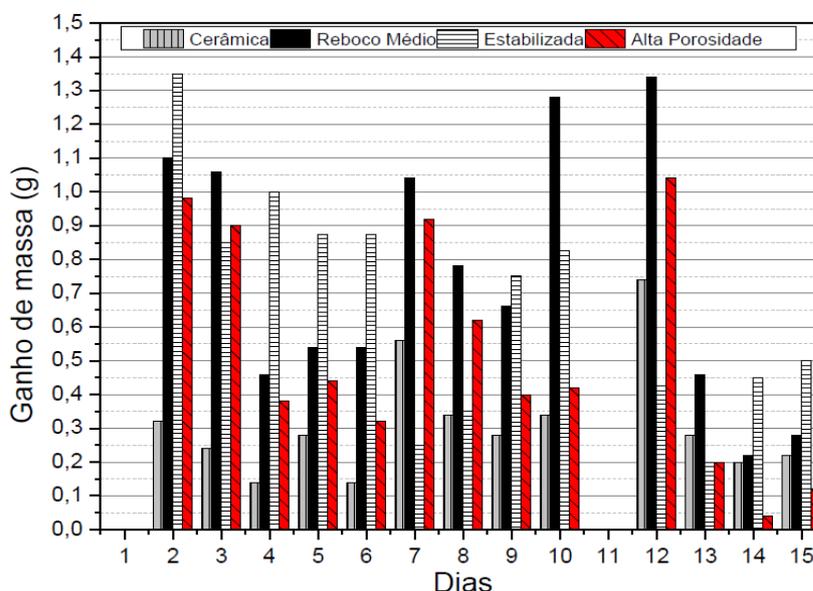


Figura 62 – Ganho de massa das amostras ensaiadas por Temp (2014)

Nesta pesquisa, a solução salina usada foi o nitrato de potássio, em que o efeito esperado é a perda de massa das amostras. Para a argamassa estabilizada de 36h ensaiada, ao contrário do que se esperava, houve um acréscimo de massa no 2º dia, fato esse que pode ter ocorrido porque a câmara ainda não havia conseguido estabilizar sua umidade relativa em 50%, tendo permanecido em 85% durante esse dia. A partir do 5º dia, em que aconteceu a estabilização da umidade relativa, a perda de massa das amostras foi contínua, tanto para as argamassas tratadas com os cristalizantes quanto as que não receberam tratamento.

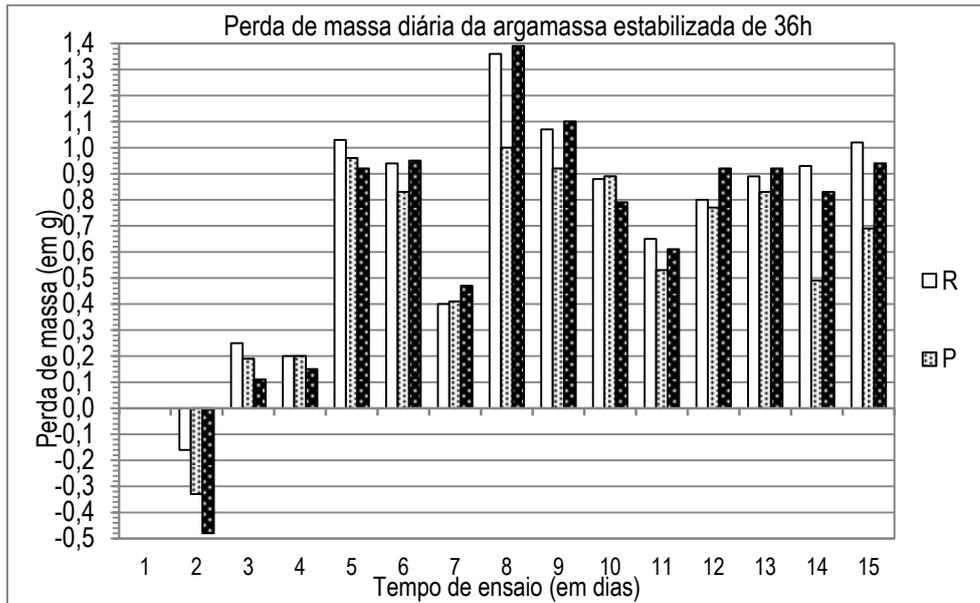


Gráfico 10 – Perda de massa das amostras de 36h

Já no caso das amostras de 72h ensaiadas, a perda de massa se mostrou contínua do primeiro ao último dia de ensaio, conforme Gráfico 11.

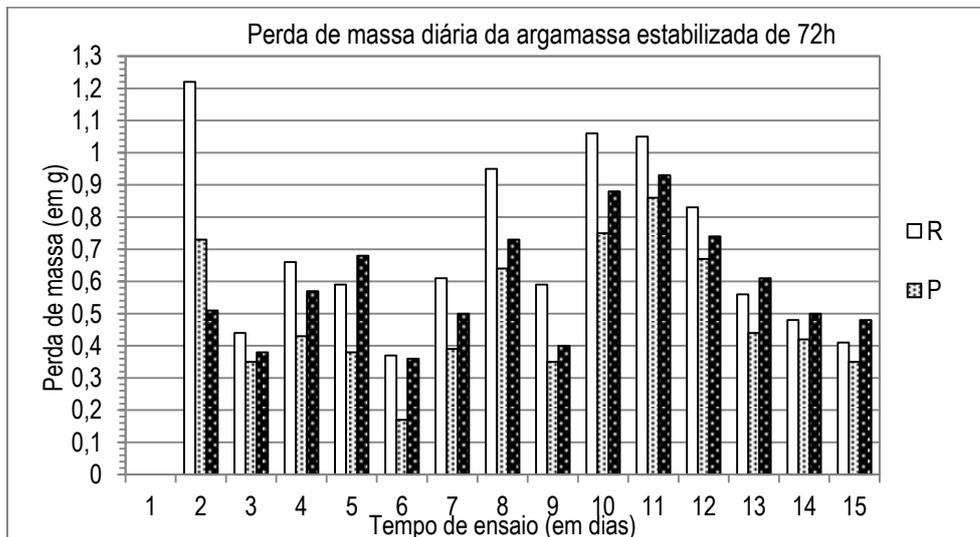


Gráfico 11 – Perda de massa das amostras de 72h

Tanto no ensaio da argamassa de 36h quanto no da de 72h, a perda de massa foi mais expressiva nas amostras com cristalizante R, enquanto as-com cristalizante P se mostraram mais impermeáveis ao fluxo de vapor.

Quanto à permeância (Λ) e permeabilidade (π) das amostras, tanto a argamassa de 36h quanto a de 72h obtiveram resultados similares em relação à aplicação de tratamento cristalizante (quadro abaixo):

Tipo de argamassa	Tratamento	Perda de massa (g)	Permeância Λ (kg/m ² .s.Pa)	Permeabilidade π (ng/m.s.Pa)	EN 998-1, Coeficiente de permeabilidade μ	Ordem de maior permeabilidade
36h	Cristalizante P	8,39	8,50 E ⁻¹⁰	17,01	0,23	3°
	Sem tratamento	9,69	9,89 E ⁻¹⁰	19,78	0,20	2°
	Cristalizante R	10,23	10,47 E ⁻¹⁰	20,95	0,19	1°
72h	Cristalizante P	6,94	6,98 E ⁻¹⁰	13,96	0,28	3°
	Sem tratamento	8,27	8,37 E ⁻¹⁰	16,75	0,23	2°
	Cristalizante R	9,84	10,05 E ⁻¹⁰	20,09	0,19	1°

Quadro 18 – Resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor

Todas as amostras que receberam tratamento com o cristalizante P tiveram transmissão de vapor reduzida. Isso se deve ao fato de que esse cristalizante cria uma nova camada cimentícia sobre a amostra, dificultando a passagem do vapor. Em contraponto, as amostras com o cristalizante R se mostraram mais permeáveis ao vapor do que as que sequer receberam tratamento. Esse efeito é descrito pelo fabricante do cristalizante R, que promete a livre passagem de água em forma de vapor, mas não em forma líquida.

Ainda, constatou-se, pelos elementos acima expostos, que a argamassa de 36h é mais permeável que a de 72h, possivelmente indicando maior conexão entre os poros.

Além disso, também se verificou o desempenho do material, por meio da norma EN 998-1, que define alguns parâmetros para argamassas de revestimento, sendo um deles a permeabilidade ao vapor. Porém, essa norma apenas especifica que o valor encontrado deve ser menor do que o valor declarado pelo fabricante. Por isso, foram buscados resultados em diferentes pesquisas para endossar nossos resultados como mostra o Quadro 19.

Autor	Jantsch (2015)						Temp (2014)			Penas (2008)		Pedro (2011)	
Tipo argamassa	36h			72h			Alta porosidade	36h	Reboco médio	Média traço 1:3	Média traço 1:1:6	0% borracha	15% borracha
	P	S	R	P	S	R							
Permeabilidade p (ng/m.s.Pa)	17,01	19,78	20,95	13,96	16,75	20,09	±7,0	9,0	9,0	26,62	29,46	7,46	11,01
Coefficiente de permeabilidade μ	0,23	0,2	0,19	0,28	0,23	0,19	-	-	-	-	-	-	-
Solução salina utilizada	KNO ₃						NiCl			H ₂ O			

Quadro 19 – Comparativo com o resultado de outros autores

Apesar de as soluções utilizadas não serem as mesmas, os valores encontrados nesta pesquisa se aproximam mais dos resultados encontrados por Penas (2008), que analisou argamassas de traço 1:3 (cal hidráulica e areia) e 1:1:6 (cal hidráulica, cal aérea e areia) do que com os resultados de Temp (2014) que também ensaiou a argamassa estabilizada de 36h. Essa diferença entre os resultados das argamassas estabilizadas de 36h pode ter acontecido devido a maior adição de cimento no traço da amostra desta pesquisa.

4.3.4.1 Análise visual pós-ensaio

Após a realização do ensaio de permeabilidade ao vapor, as amostras de argamassa foram retiradas dos copos e inspecionadas visualmente para verificar qualquer manifestação que possa ter ocorrido na superfície exposta.



Acúmulo de cristais na amostra

Manchas de fluxo de umidade

Provável reação de lixiviação na amostra

Figura 63 – Inspeção visual das amostras de 36h ao fim do ensaio de permeabilidade

A argamassa de 36h apresentou acúmulo de sais tanto na face exposta ao ambiente salino como na face em contato com o ambiente controlado da câmara. Além disso, alguns cristais em forma de agulha puderam ser encontrados nas bordas das amostras, mais frequentemente nas amostras com tratamento cristalizante.

Foi igualmente perceptível a presença de lixiviação do hidróxido de cálcio nas superfícies que estavam em contato com o ambiente salino criado no interior do copo. Essas manifestações foram notadas principalmente nas amostras que receberam tratamento com o cristalizante do tipo P, porém há de se destacar que durante a cura já havia indícios desse fenômeno, sendo que o ambiente salino apenas intensificou-o.

Já, no caso da argamassa de 72h, também pôde-se comprovar a presença de eflorescências nas superfícies das amostras, principalmente nas bolachas que haviam recebido o cristalizante do tipo P. Além disso, pode ser notada a presença de algumas manchas que demonstram o fluxo contínuo de umidade através do material, característica comprovada pelos resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor.



Figura 64 – Inspeção visual das amostras de 72h ao fim do ensaio de permeabilidade

Outra peculiaridade percebida foi a fragilidade da camada de cristalizante do tipo P. Esse fenômeno, juntamente com a presença de microfissuras encontradas na superfície das amostras, pode indicar que a diferença entre a retração da argamassa e do cristalizante pode ter prejudicado a aderência entre essas camadas.

4.3.5 Resistência de aderência

O ensaio de aderência demonstrado pela figura 67 foi realizado conforme a norma brasileira NBR 15258/2005.



Figura 65 – Ensaio de resistência de aderência

Devido aos resultados do ensaio de retenção de água, realizado no estado fresco, era esperado que houvesse alguma deficiência de aderência das argamassas ao substrato, porém a argamassa de 36h apresentou resistência de aderência maior do que o dobro exigido pela norma NBR 13749. Já a argamassa de 72h, que teve retenção similar à de 36h, teve resistência inferior ao menor valor exigido, que seria para paredes internas com pintura (0,2MPa).

Argamassa	Resistência de aderência	Valores pela norma NBR 13281	Tipo de ruptura	Configuração da ruptura
Estabilizada 36h	0,719 MPa	$\geq 0,30$ MPa	Superficial	Na argamassa
Estabilizada 72h	0,057 MPa	$< 0,2$ MPa	Coesiva	Na argamassa

Quadro 20 – Ensaio de resistência de aderência

Em ambas as argamassas, como se pode visualizar na Figura 66, a ruptura aconteceu no próprio material, ou seja, é uma ruptura coesiva, que não apresenta maior perigo à segurança já que não é responsável por deslocamentos.

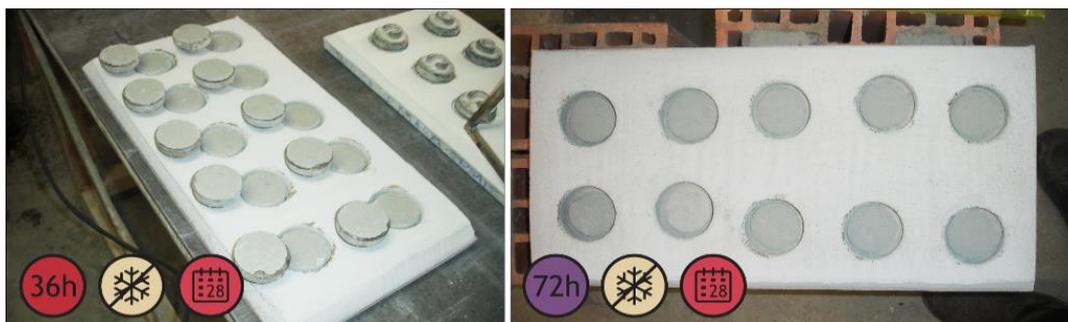


Figura 66 – Placas de ensaio com ruptura na argamassa

Também foi realizado o ensaio após a aplicação dos tratamentos cristalizantes, de forma a verificar se havia ocorrido alguma alteração nas características da argamassa. Os resultados dos ensaios aos 28 dias, sem tratamento, e aos 40 dias, após o tratamento são apresentados no quadro abaixo.

Autor	Jantsch (2015)						Macioski et al. (2013)	
	36h			72h			48h	
	28 dias	40 dias		28 dias	40 dias		Média 1º dia sem película	Média 2º dia com película
		Sem tratamento	P		R	Sem tratamento		
Resistência (MPa)	0,719	0,59	0,623	0,057	0,09	0,05	0,2	0,22
Classificação pela NBR 13281 (MPa)	A3 ($\geq 0,3$)			A1 ($< 0,2$)			A2 ($\geq 0,2$)	
Tipo de ruptura	Superficial	Adesiva		Coesiva			Coesiva	
Configuração da ruptura	Na argamassa	Interface argamassa / substrato		Na argamassa			Na argamassa	

Quadro 21 – Resultados comparativos do ensaio de resistência de aderência

Analisando os resultados obtidos, não é possível concluir se houve alguma influência dos tratamentos, uma vez que os valores encontrados foram inferiores aos das placas ensaiadas aos 28 dias e que não haviam recebido tratamento cristalizante. Mas a argamassa de 36h, mais uma vez, apresentou valores superiores aos encontrados para a argamassa de 72h.

Vale ressaltar que até o momento desta pesquisa, não foram encontrados resultados de ensaios de aderência para argamassas estabilizadas de 36h ou 72h. Mas no trabalho de Macioski et al. (2013) foram ensaiadas argamassas com estabilização de 48h, em que o substrato foi a superfície de blocos de concreto, situação similar ao da placa padrão da ABCP.

No entanto, os resultados identificados pelos autores não são compatíveis com os resultados achados nesta pesquisa.

Apesar de os valores encontrados não serem conclusivos, eles apontam, conforme a visualização abaixo, que houve uma mudança no perfil de ruptura das amostras de 36h após a aplicação do tratamento cristalizante. Aos 28 dias, a ruptura era superficial e acontecia na camada de argamassa, já aos 40 dias e após tratamento, a ruptura foi adesiva, acontecendo entre as camadas de substrato e argamassa. Essa configuração não é desejável, pois pode representar risco à segurança.



Figura 67 – Ensaio de aderência aos 40 dias, após aplicação de cristalizantes

4.3.5.1 Particularidades do ensaio

Após a realização do ensaio de aderência, foi possível perceber um esfarelamento acentuado da argamassa de 72h. Ao compará-la visualmente com a pastilha do ensaio da argamassa de 36h, conforme a Figura 68, percebe-se a diferença entre as características dos dois materiais. Essa discrepância foi confirmada no ensaio de desgaste por abrasão, em que a argamassa de 36h apresentou uma resistência ao desgaste superior à argamassa de 72h.



Figura 68 – Amostras extraídas das placas de resistência de aderência

4.3.6 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada conforme a NBR 13279 aos 28 dias, sem aplicação de cristalizante e, posteriormente, aos 40 dias com tratamento.

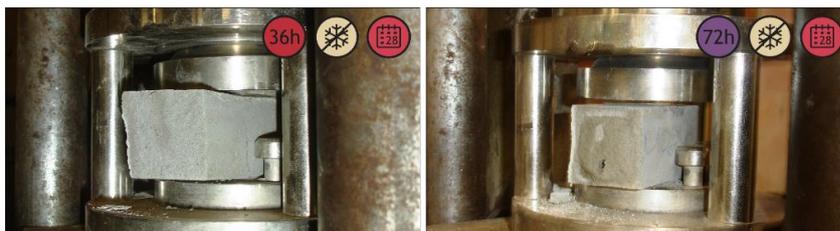


Figura 69 – Ensaio de resistência à compressão

Os valores encontrados foram comparados aos parâmetros definidos pela norma NBR 13281, resultados encontrados por outros pesquisadores e também pela norma europeia EN 998-1/2003. Neste último caso, a argamassa desta pesquisa foi classificada como OC (*one coat rendering mortar* ou monocamada), em que os valores de resistência à compressão deveriam ficar entre as classes CS I e CS IV (mínimo 0,4MPa e máximo 7,5MPa). Os resultados estão descritos no quadro abaixo:

Autor	Jantsch (2015)								Casali et al. (2011)			Macioski et al. (2013)	
	36h				72h				36h		72h	48h	
	Sem tratamento		P	R	Sem tratamento		P	R	1º dia sem película	1º dia sem película	3º dia com película	1º dia sem película	2º dia com película
	28	40			28	40							
Resistência (MPa)	14,56	12,71	13,87	15,71	2,33	4,13	6,19	6,65	± 5,0	± 9,0	< 2	± 5,9	± 5,93
Classificação pela NBR 13281 (MPa)	P6 (≥ 8)			P2 (1,5-3,0)	P3 (2,5-4,5)	P4 (4-6,5)	P5 (5,5-9)	P4 (4-6,5)	P6 (≥ 8)	P1 (≤ 2)	P4 (4-6,5)		
Classificação pela EN 998-1 (N/mm²)	CS IV (≥ 6)			CS I (0,4-2,5)	CSIII (3,5-7,5)	CS IV (≥ 6)		CSIII (3,5-7,5)	CS IV (≥ 6)	CS I (0,4-2,5)	CSIII (3,5-7,5)		

Quadro 22 – Resultados comparativos do ensaio de resistência à compressão

Pelos resultados dos ensaios evidencia-se que a argamassa de 36h possui uma resistência à compressão alta, que poderia estar relacionada à perda de água mais lenta. No

entanto, foi verificado, na empresa fornecedora, que devido a um problema na válvula que dosava o cimento, o traço da argamassa de 36h recebeu mais material do que o pretendido. Em contrapartida, a argamassa de 72h, cujo traço não foi alterado, apresentou resistência inferior, ficando classificada na classe P2 da norma NBR 13281/2005.

Comparando os resultados encontrados nesta pesquisa com os valores obtidos por Casali et al. (2011) no Quadro 22, pode-se observar um mesmo comportamento das argamassas, em que o traço de 36h apresenta resistência superior ao traço de 72h.

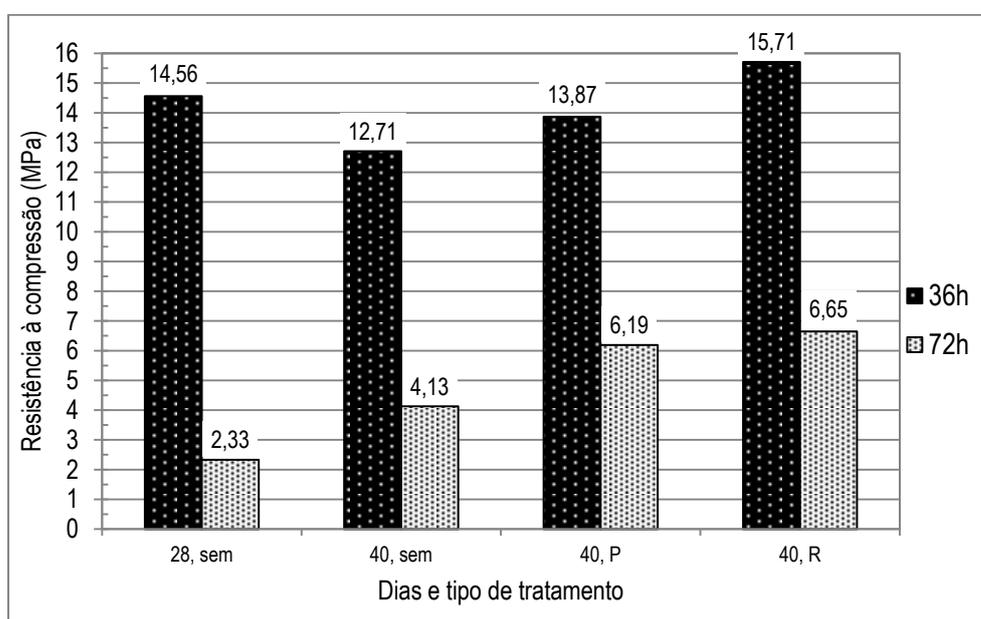


Gráfico 12 – Resultados de resistência à compressão antes e após tratamento

Quanto aos resultados após a aplicação de tratamento, pode-se notar uma diferença maior na resistência das argamassas de 72h.

4.3.7 Resistência de tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi determinada conforme a NBR 13279 aos 28 dias, sem aplicação de material cristalizante e, posteriormente, aos 40 dias com aplicação do tratamento. Os resultados estão descritos no Quadro 23.

Autor	Jantsch (2015)								Casali et al. (2011)			Macioski et al. (2013)	
Tipo de argamassa	36h				72h				36h		72h	48h	
	Sem		P	R	Sem		P	R	1º dia sem película	1º dia sem película	3º dia com película	1º dia sem película	2º dia com película
	28	40			28	40							
Resistência (MPa)	4,67	3,68	4,91	4,41	1,23	3,27	2,96	3,02	2	±3	< 1	± 2,67	± 2,2
Classificação pela NBR 13281 (MPa)	R6 (≥ 3,5)	R5 (2,7-4,5)	R6 (≥ 3,5)		R1 (≤ 1,5)	R4 (2-3,5)			R3 (1,5-2,7)	R4 (2-3,5)	R1 (≤ 1,5)	R4 (2-3,5)	R3 (1,5-2,7)

Quadro 23 – Resultados comparativos do ensaio de resistência à tração na flexão

Os valores obtidos neste ensaio apresentaram o mesmo comportamento verificado no ensaio de resistência à compressão, ou seja, a argamassa de 72h manifestou valores inferiores em relação à argamassa de 36h, comportamento idêntico ao apresentado pelas argamassas ensaiadas por Casali et al. (2011).

Quanto à aplicação de tratamentos cristalizantes, o comportamento do material também foi similar ao apresentado no ensaio de resistência à compressão, entretanto observamos uma diferença maior na resistência das argamassas de 72h em relação às argamassas de 36h.

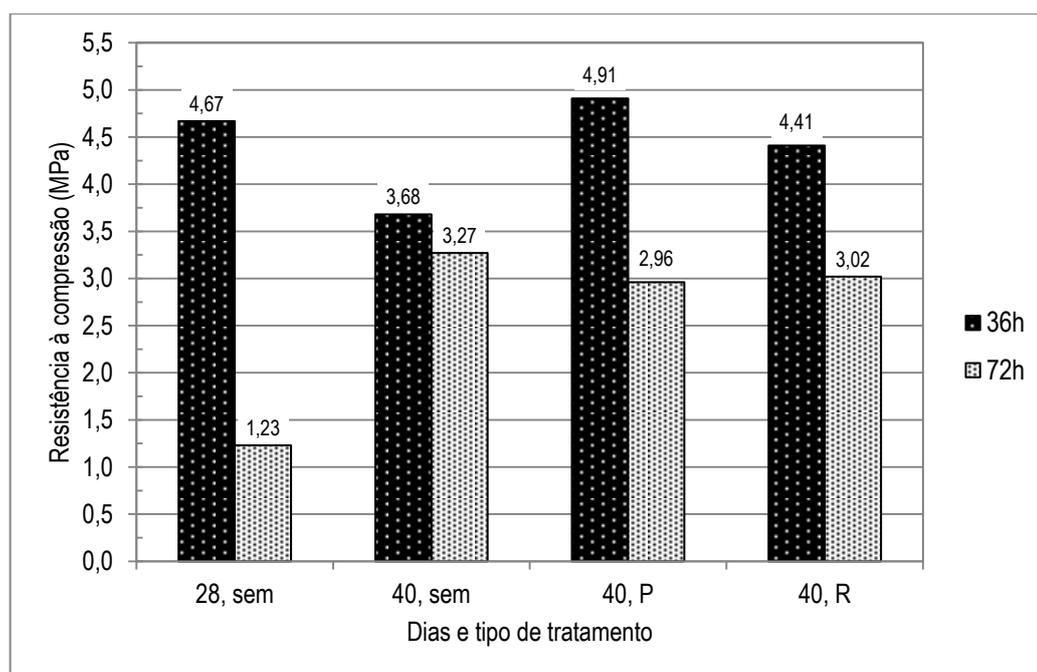


Gráfico 13 – Resultados de resistência à tração na flexão antes e após tratamento

4.3.8 Resumo dos resultados encontrados com os ensaios no estado endurecido

O Quadro 24 apresenta uma síntese dos resultados encontrados para os ensaios realizados no estado endurecido.

Tipo de argamassa	36h				72h			
	28 dias	40 dias			28 dias	40 dias		
	Sem	Sem	P	R	Sem	Sem	P	R
Desgaste por abrasão (mm)	-	7,88	6,125	7,12	-	20,25	9,38	10,15
Absorção por capilaridade (g/dm².min^{1/2})	0,5	0,3	0,5	1,3	1,1	2,3	0,8	0,2
Permeabilidade à água (ml aos 60 min)	0,4915	-	0,514	0,281	2,403	-	0,769	1,05
Permeabilidade ao vapor (ng/m.s.Pa)	-	19,78	17,01	20,95	-	16,75	13,96	20,09
Resistência de aderência (MPa)	0,719	-	0,59	0,623	0,057	-	0,09	0,05
Resistência à compressão (MPa)	14,56	12,71	13,87	15,71	2,33	4,13	6,19	6,65
Resistência à tração na flexão (MPa)	4,67	3,68	4,91	4,41	1,23	3,27	2,96	3,02

Quadro 24 – Resultados dos ensaios no estado endurecido

Ao analisar o Quadro 24, é possível afirmar que em todos os quesitos, a argamassa de 36h apresenta desempenho superior ao da argamassa de 72h.

Também é possível inferir que, para a maioria dos ensaios, a aplicação de tratamento cristalizante influenciou positivamente os resultados.

Contudo, a aplicação dos cristalizantes promete impermeabilizar o material ao qual foi aplicado, além de promover o aumento da resistência superficial. Realmente houve aumento ao desgaste por abrasão e diminuição da absorção de água da ordem de até 42,83% para argamassa de 36h, e até 68% para argamassa de 72h, mas isso não torna a argamassa impermeável.

Quanto à permeabilidade ao vapor – cujo livre fluxo também é prometido pelos tratamentos – apenas o cristalizante do tipo R cumpre o anunciado.

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa procurou avaliar o desempenho de argamassas estabilizadas disponíveis no mercado de Santa Maria, RS, por meio de ensaios no estado fresco e endurecido.

Quanto à composição das argamassas estabilizadas estudadas, verificou-se que não existe um padrão, por parte da empresa produtora, uma vez que qualquer alteração no traço, modifica por completo as propriedades do material estudado, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido. Diante disso, seria preciso realizar uma bateria completa de ensaios a cada lote produzido pela empresa, algo que se tornaria física e economicamente inviável.

Ainda, quanto à dosagem do material, podemos concluir que a formulação da argamassa de 72h, a qual possui 28,3% mais aditivo estabilizante e 90% mais aditivo incorporador de ar em relação à argamassa de 36h, torna-a mais fraca e promove a perda de desempenho da argamassa em todos os quesitos analisados.

No que se refere à análise dos resultados no estado fresco das argamassas estabilizadas, podemos concluir que:

- A densidade de massa de ambas as argamassas foi muito próxima, o que não deveria ter acontecido de acordo com suas formulações. Esse fenômeno provavelmente aconteceu devido à adição excessiva de cimento no traço da argamassa de 36h, o que obrigou a adição de mais incorporador de ar para deixá-la trabalhável e consequentemente aumentou o tempo de mistura do material.
- A alteração no traço afetou também a quantidade de ar incorporado na mistura, o que levou, novamente, ambas as argamassas a terem valores parecidos.
- Em se tratando da exsudação de água, os ensaios preliminares mostravam que a argamassa de 36h possuía uma tendência de exsudação. No entanto, em ambas as argamassas, não foi evidente/considerável a subida de água para a superfície da amostra. Esse resultado também reflete a alteração do traço das amostras ensaiadas.
- Com relação ao índice de consistência, ambas as argamassas estão abaixo do considerado ideal pela norma. Mas os estudos de Gomes et al. (apud SILVA, 2005), Nakakura e Cincotto (2004) e Silva et al. (2005), revelam que a trabalhabilidade da argamassa depende de outros fatores que não conseguem ser medidos pelo ensaio com a *flow table*.

- Levando em consideração o ensaio de retenção de água, novamente ambas as argamassas apresentaram resultados parecidos, os quais diferem dos valores encontrados em ensaios anteriores. A retenção encontrada foi alta para as duas amostras, o que poderia posteriormente prejudicar a resistência de aderência das argamassas.
- Por último, ao comparar os resultados no estado fresco desta pesquisa com os encontrados por Casali et al. (2011), podemos afirmar que não existe uma uniformidade de valores para as propriedades das argamassas estabilizadas, tornando difícil medir o desempenho ideal desse material.

No que concerne à análise dos resultados no estado endurecido das argamassas estabilizadas, podemos concluir que:

- Considerando o ensaio de absorção de água por capilaridade, é possível notar que a argamassa de 72h apresenta valores de absorção superiores aos da argamassa de 36h. Esse fato pode ser explicado devido à maior concentração de aditivo incorporador na composição dessa argamassa, tornando-a mais leve pela presença das bolhas de ar, e conseqüentemente mais porosa.
- Ainda quanto à capilaridade, não foi possível precisar a influência dos cristalizantes na argamassa de 36h, uma vez que os ensaios não forneceram dados confiáveis. Mas no caso da argamassa de 72h pode-se perceber uma redução da absorção com a utilização do tratamento.
- Em relação ao ensaio de desgaste por abrasão, a argamassa de 36h se mostrou mais resistente em relação a de 72h, principalmente antes da aplicação de tratamento. No caso das amostras que receberam cristalizante, a argamassa de 72h demonstrou redução expressiva do desgaste e o mesmo não aconteceu com a de 36h.
- No que se refere ao ensaio de permeabilidade de água pelo método do cachimbo, a argamassa de 36h se mostrou menos permeável do que a de 72h em ambas as idades de ensaio. Também foi notável a redução da capacidade de penetração da água após a aplicação dos tratamentos, sendo que a argamassa de 72h teve melhores resultados com o cristalizante P e a de 36h com o cristalizante R. Porém, apesar de reduzir a absorção de água, nenhuma das argamassas se tornou impermeável conforme prometido pelos fabricantes.

- A permeabilidade ao vapor das argamassas de 36h foi maior do que as de 72h. O ensaio também demonstrou que em ambos os casos, as amostras com cristalizante P tiveram a permeabilidade reduzida, devido à presença de uma camada extra sobre a superfície da bolacha. Já o cristalizante R, que promete a livre passagem de vapor pelos poros capilares da argamassa cumpre o prometido. Considerando esses fatos, o uso deste último tratamento parece ser mais indicado para esse tipo de material, uma vez que as bolhas de ar criadas pelo aditivo incorporador e a água capilar (ou livre) precisam ser expulsas sem danificar a microestrutura da argamassa endurecida.
- Apesar de ambas as argamassas apresentarem grande retenção de água, no ensaio de resistência de aderência, apenas a argamassa de 72h apresentou valores inferiores aos determinados por norma. A aplicação dos cristalizantes também não demonstrou ter influência sobre os valores encontrados, mas pode ter interferido na forma de ruptura do material.
- Assim como nos demais ensaios, a argamassa de 36h se mostra mais resistente que a de 72h nos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão, tanto antes quanto depois da aplicação dos cristalizantes. Os valores encontrados para a argamassa de 36h são fruto da maior quantidade de cimento adicionado ao traço, mesmo assim, em ensaios preliminares essa argamassa já apresentava valores altos.

Em resumo, as argamassas estabilizadas de 36h possuem desempenho superior às de 72h e a aplicação de tratamentos cristalizantes realmente produz uma diferença nas propriedades dessas argamassas, mesmo que de forma reduzida. No entanto, a variabilidade entre os resultados de um mesmo tipo de argamassa ensaiada demonstra que é preciso investir no controle de qualidade do material para evitar inconvenientes em situações reais de obra.

Também é necessário que exista uma norma com parâmetros de desempenho para argamassas de assentamento e revestimento que inclua as estabilizadas, uma vez que esse material se distingue dos demais existentes no mercado e vem sendo mais requisitado pela promessa de agilidade, rendimento e qualidade.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para uma maior compreensão das propriedades e desempenho das argamassas estabilizadas, sugerem-se os seguintes estudos:

- Analisar a microestrutura desse material para verificar as modificações causadas pelo uso dos aditivos incorporadores e ar e estabilizantes e também as transformações decorrentes do uso de tratamentos cristalizantes.
- Dosar as argamassas em laboratório para entender o efeito de cada um dos componentes do traço bem como da ordem de mistura dos materiais e da influência do tempo de mistura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de revestimentos de argamassa**. [s.l], [s.d.]. Disponível em: <www.comunidadeconstrucao.com.br/ativos/279/manual-de-revestimentos-de-argamassa.html>. Acesso em: 03/05/2014.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e projeto**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 12042: Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

_____. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 14992: A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração**. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 15558:** Concreto - Determinação da exsudação. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 16072:** Argamassa impermeável. Rio de Janeiro, 2012.

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

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR MB 3432:** Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75um (nº200). Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR NM 248:** Agregados - **Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

ALVES, A.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio. In: 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, 2010, Lisboa. **Anais...** Lisboa - Portugal: APFAC, 2010, v. 1. p. 1-13.

ALVES, N. J. D.; do Ó, S. W. Aditivos incorporadores de ar e retentores de água. In: **Revestimentos de argamassa:** características e peculiaridades. Brasília: SINDUSCON-DF; LEM-UnB, 2005, v. 1, p. 30-37.

APPS, C. A. C. P. **Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio do tubo de Karsten na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas.** 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2011.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E-96: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission on Materials.** [s.l.], 1995.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

BARIN, D. S. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativados químico.** 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

BENNISON, P. **The design of reinforced cement-based protective coatings.** [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <www.cortecvci.com/Publications/Papers/MCIProducts/Aston_U/Aston.html>. Acesso em: 12/04/2015.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: Patologia, Reabilitação, Prevenção.** Tradução Leda Maria Marques Dias Beck – São Paulo: Oficina de textos, 2010.

BILESKEY, 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.

BRAMESHUBER, W.; RAUPACH, M. **Non-destructive determination of the water-content concrete cover using the multiring-electrode.** In: BB 85-CD International Symposium, Berlim, 2003.

BRITO, J. N. S.; FORMOSO, C. T.; ECHEVESTE, M. E. S. Análise de dados de reclamações em empreendimentos habitacionais de interesse social: Estudo no Programa de Arrendamento Residencial. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, out./dez., 2011.

CAPPETO, J. E. **A performance of repair mortars for the Ayyubid wall of Cairo.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade da Pensilvânia, Filadélfia, 2003.

CASALI, J. M.; MANN NETO, A.; ANDRADE, D. A.; ARRIAGADA, N. T. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento.** In: IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011, Minas Gerais. IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011.

CEMEX. Cemex Mortars. **Educational guide to mortar testing**. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: < www.cemex.co.uk/Userfiles/datasheets/mortar-mortartesting.pdf >. Acesso em: 01/10/2014.

CORTELASSI, E. M.; FERREIRA, T. G.; VIEIRA, J. K.; LOPES, L. R.; RODRIGUES, M. E.; MANZANO, R. M.; TORALLES-CARBONARI, B. M. Influência do tipo de cimento, do traço e da orientação solar na propriedade de estanqueidade à água de argamassas de revestimento. In: IV Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura, 2003, Maringá. **Anais...** Maringá: ENTECA, 2003.

COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDÃO, P. R. G. Piso intertravado produzido com rejeito de sínter feed. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 7, n. 2, Abril, 2014.

COSTA, L. L. **O uso de argamassas tradicionais e pré-doseadas para impermeabilização em revestimentos exteriores**. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 2008.

COUTINHO, Maria Joana Álvares Ribeiro de Sousa. **Melhoria da Durabilidade dos betões por tratamento da cofragem**. Porto: FEUP edições, 2005.

CRAUSS, C. **Penetração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CUNHA, E. G.; LUECKING, R. M.; VAUPEL, K. Verificação da formação de mofo e bolor em superfícies interiores de paredes. In: NUTAU 2008 - **Espaço Sustentável, Inovações em Edifícios e Cidades**, 2008, São Paulo. 7º Seminário Internacional Espaço Sustentável, Inovações em Edifícios e Cidades. São Paulo: NUTAU USP, 2008.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras - materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2007.

DIAS, L. A.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003.

DJANIKIAN, J. G.; NETO, A. A. A. M. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP. EPUSP, São Paulo, 1999.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, 2004.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações. In: X Congresso Internacional de Tintas, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRAFATI, 2007.

DUARTE, R. D. M. **Técnicas de medição in-situ para avaliação do comportamento em serviço face à água de fachadas rebocadas: Humidímetro e tubo de Karsten.** 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

EMO (EMOdicO). **Dicionário Técnico Online.** European Mortar Industry Organization. Disponível em: <www.euromortar.com/emodico/en/index/>. Acesso em: 10/12/2014.

EN. EUROPEAN NORM. **1015-19:** Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. 2000.

EN. EUROPEAN NORM. **998-1:** Specification for mortar for masonry: Rendering and plastering mortar. 2003.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.** Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

GONÇALVES, A. E. N. **Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio *in-situ*.** 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.

GROSSI, D. **Análise do estado de conservação do Monumento a Ramos de Azevedo com utilização de métodos não destrutivos.** 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geológicas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto.** 2004. 138 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

HOFFMANN, A. T. **Influência da adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos.** 2001. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

KÜNZEL, H. M.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. **Rain protection of stucco facades**. In: IX International conference, Clearwater, Florida, Estados Unidos. Disponível em: <www.hoki.ibp.fraunhofer.de/ibp/publikationen/konferenzbeitraege/Rain_Protection_of_Stucco_Facades.pdf>. Acesso em: 05/11/2014.

LABTHINK. **An Outline of Standard ASTM E96 for Cup Method Water Vapor Permeability Testing**. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <www.labthinkinternational.com.cn/literatures/an-outline-of-standard-for-cup-method-water-vapor-permeability-testing.html>. Acesso em: 01/10/2014.

LIMA, K. B. **Avaliação da permeabilidade em revestimentos argamassados: Patologias mais frequentes e soluções**. 2008. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

LIMA, S. M. **Concreto de alto desempenho aplicado a sistemas de processamento e armazenagem de alimentos em baixas temperaturas**. 2008. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

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

MACIOSKI, G.; COSTA, M. R. M. M.; CASALI, J. M. Caracterização de argamassas estabilizadas submetidas à sucção de substrato poroso. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2015, Porto Alegre. **Anais...** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Porto Alegre, 2015.

MATOS, P. R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2013. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MATRIX, Paint inspections. **Effects of temperature on acrylic/latex paint**. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <www.matrixpi.ca/Pages/Article.aspx>. Acesso em: 06/11/2014.

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.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. New York: McGraw-Hill, 2006.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com o emprego de pó de borracha**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MIRANDA, S. P.; GARNICA, O.; LARA-SAGAHON, V.; CÁRDENAS, G. Water vapor permeability and mechanical properties of chitosan composite films. **Journal of the Chilean Chemical Society**, Concepción, v. 49, n. 2, jun. 2004.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Boletim Técnico da USP, São Paulo: EPUSP, 2004.

NAKAMURA, J. **Argamassa Polimérica**. Equipe de Obra, ed. 61, Julho, 2013. Disponível em: <equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/61/argamassa-polimerica- saiba-como-funciona-esse-sistema-de-impermeabilizacao-291311-1.aspx>. Acesso em: 09/11/2014.

NETO, C. Z. M. **Absorção capilar e resistividade elétrica de concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. Tradução Salvador E. Giammusso – São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Tradução Ruy Alberto Cremonini - Porto Alegre: Bookman, 2013.

NUNES, J. C. D. P. **Argamassa estabilizada pronta para uso - Sistema Mormix**. 2010. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2010.

OLIVEIRA, J. M. P. **Estudo da durabilidade e eficácia da ação de repelentes de água em fachadas de edifícios recentes**. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Portugal, 2013.

PAGNUSSAT, D. T.; VIDOR, D.; MASUERO, A. B. **Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo de seu tempo de utilização**. In: 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, 2012, Coimbra.

PANIAGUA, T. **Hidratação dos aluminados de cálcio**. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <slideplayer.com.br/slide/355351/#>. Acesso em: 01/12/2014.

PÁSCOA, L. S. N. **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores.** 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto técnico de Lisboa, Lisboa, 2012.

PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus.** 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.

PENAS, F. E. **Argamassas de cal hidráulica para revestimentos de paredes.** 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

PENETRON. **How Penetron Works.** Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=S3MNKf0elOM>. Acesso em: 11/06/2014.

PIMENTA, O. C. L. **Caracterização dos betões auto-compactáveis.** 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** 2006. 316 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: Uma análise da confiabilidade e da conformidade.** 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

RIGHI, G. V. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: Patologias, prevenções e correções, análise de casos.** 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ROMANO, R. C. O.; CARDOSO, F. A.; MENDES, T. M.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Impacto do uso de incorporador de ar nas propriedades reológicas de argamassas.** In: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (SBTA). Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto.** 2006. 178 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SANTOS, L. M. A. A. **Análise *in-situ* do comportamento mecânico de argamassas de revestimento de fachadas.** 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil.** Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SCHMID, A. G. **Argamassa estabilizada - Uma importante ferramenta para melhorar a sustentabilidade na construção civil.** Seminário apresentado no 53º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Florianópolis, 2011.

SENTONE, D. T. **Desenvolvimento de métodos para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa.** 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2011.

SERAFIM, A. C. M. **Análise *in-situ* do comportamento físico de argamassas de revestimento de fachadas.** 2012. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.

SILVA, R.; BARROS, M.; PILEGGI, R.; JOHN, V. **Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e squeeze flow.** VI SBTA, Florianópolis, 2005.

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.

TEMP, A. L. **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 1995. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. **Análise do método de ensaio para determinação da exsudação de água em argamassas de revestimento.** 3º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, 1999.

VAGHETTI, M. A. O. **Estudo da corrosão do aço, induzida por carbonatação, em concretos com adições minerais**. 2005. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

VALIATI, V. G. **Estudo da estanqueidade de rejuntas em revestimentos cerâmicos externos**. 2009. 110 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

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

VEIGA, M. R. **Comportamento de revestimentos de fachadas com base ligante mineral: Exigências funcionais e avaliação do desempenho**. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, 2005.

VEIGA, M. R.; VIEGAS, J.; PINTO, A.; SOUSA, H.; FARIA, J. Amorim. **A envolvente dos edifícios**. 2º Congresso Nacional da Construção, Porto, 2004.

VIAPOL. **Argamassa Polimérica como revestimento impermeável: Viaplus 1000**. Boletim Técnico. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <www.viapol.com.br/boletins_cont.php?menu=boletins&codigo=16>. Acesso em: 09/11/2014.