

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

Mariana Salines Maffini

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REVESTIMENTO CERÂMICO
APLICADO EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

Santa Maria, RS
2018

Mariana Salines Maffini

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REVESTIMENTO CERÂMICO APLICADO
EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

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

Orientador: Prof Dr. Eduardo Rizzatti
Coorientador: Prof PhD. Gihad Mohamad

Santa Maria, RS
2018

Maffini, Mariana Salines
Avaliação do desempenho do revestimento cerâmico
aplicado em diferentes substratos / Mariana Salines
Maffini.- 2018.
109 p.; 30 cm

Orientador: Eduardo Rizzatti
Coorientador: Gihad Mohamad
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Desempenho do sistema de revestimento cerâmico 2.
Estanqueidade do sistema de revestimento cerâmico 3.
Permeabilidade ao vapor de água 4. Aderência do
revestimento cerâmico I. Rizzatti, Eduardo II. Mohamad,
Gihad III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Mariana Salines Maffini


**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REVESTIMENTO CERÂMICO APLICADO
EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

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

Aprovado em 26 de Março de 2018:

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

Gihad Mohamad, PhD. (UFSM)
(Coorientador)



Emil de Souza Sánchez Filho, Dr. (UFF) - Videoconferência

Taís Maria Peixoto Alves, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me iluminar e me guiar nos caminhos da vida.

A minha mãe Laura por todo apoio durante minha trajetória acadêmica, sempre me incentivando nos estudos e me proporcionando todo o suporte necessário.

A minha irmã Verônica por sempre estar ao meu lado me acompanhando e me apoiando em todos os momentos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Rizzatti e ao meu coorientador Prof. PhD. Gihad Mohamad, por todos os ensinamentos, paciência e dedicação durante meu mestrado.

Aos laboratoristas José Pedro, William, Wilson e Diego por toda ajuda no laboratório e apoio. Ao funcionário Valério que concedeu a mão de obra necessária para a execução dos modelos experimentais.

As empresas Prontomix e Grupo DB pela doação de materiais utilizados neste estudo.

Agradeço a todos que contribuíram, de alguma forma, para a conclusão deste estudo.

RESUMO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO REVESTIMENTO CERÂMICO APLICADO EM DIFERENTES SUBSTRATOS

AUTORA: Mariana Salines Maffini

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

COORIENTADOR: Prof. PhD Gihad Mohamad

O presente estudo avaliou o sistema de revestimento cerâmico em três aspectos distintos, em uma primeira etapa foi avaliada a estanqueidade à água, na segunda etapa avaliou-se a permeabilidade ao vapor de água e por fim, na terceira etapa a resistência de aderência à tração foi avaliada. Para este estudo construiu-se quatro caixas em blocos estruturais de concreto, e cada caixa recebeu um sistema de revestimento cerâmico. A Caixa 1 reproduziu o sistema tradicional, composto por bloco de concreto, chapisco, emboço, argamassa colante, placa cerâmica e rejunte. Na Caixa 2 o revestimento cerâmico foi aplicado apenas na camada de chapisco. Na Caixa 3 o revestimento cerâmico foi aplicado sobre uma camada de impermeabilizante rígido e a Caixa 4 teve o revestimento cerâmico aplicado diretamente sobre o bloco de concreto. Como conclusões deste estudo tem-se que os quatro sistemas apresentaram um bom desempenho quanto a resistência de aderência a tração, com resultados acima do mínimo exigido por norma. A Caixa 4 apresentou a maior resistência de aderência seguida pela Caixa 1, Caixa 2 e Caixa 3. Nenhum sistema mostrou-se eficaz quanto a estanqueidade, todos apresentaram pontos de infiltração. O sistema com menor perda de água foi a Caixa 3, seguida pela Caixa 1, Caixa 4 e Caixa 2. Para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, as caixas foram submetidas à incidência de vapor de água durante 6 horas, nenhuma mancha de umidade nas faces externas das caixas foi verificada, no entanto, todas as caixas registraram um aumento de temperatura nas faces externas, esse aumento de temperatura foi maior quanto menor era o número de camadas do sistema, sendo assim, a Caixa 4 apresentou a maior média de temperatura, seguida pela Caixa 2, Caixa 3 e Caixa 1. Com os resultados apresentados neste estudo torna-se evidente a necessidade de desenvolver melhorias no desempenho do sistema de revestimento cerâmico, tornando-o um sistema eficaz tanto quanto a aderência, quanto a estanqueidade e a permeabilidade ao vapor de água.

Palavras-chave: Sistema de Revestimento Cerâmico. Estanqueidade. Permeabilidade ao Vapor de Água. Aderência.

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF CERAMIC COATING APPLIED IN DIFFERENT SUBSTRATES

AUTHOR: Mariana Salines Maffini
ADVISOR: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti
CO-ADVISOR: Prof. PhD. Gihad Mohamad

This study evaluated the ceramic tiling in three distinct aspects, impermeability to water, water vapor permeability and tensile adhesion strength. For this study, four boxes in concrete structural blocks were built, and each box received a ceramic tiling system. Box 1 reproduced the traditional system, composed of concrete block, roughcast, plaster, adhesive mortar, tile and grout. In Box 2, the tile was applied in roughcast. In the Box 3 the tile was applied on a rigid waterproofing layer and Box 4 had the ceramic tiling applied directly on the concrete block. As conclusions of this study, all systems presented a good performance regarding the adhesion resistance to traction, with results above the minimum required by standard. The Box 4 presented the biggest adhesion resistance followed by Box 1, Box 2 and Box 3. No system proved effective for watertightness, all showed infiltration points. The system with less water loss was the Box 3, followed by boxes 1, 4 and 2. For testing permeability to water vapor, the boxes were subjected to water vapor during 6 hours, no moisture stain on the outside of the boxes has been verified, however, all registered a temperature increase in the external faces, this increase in temperature was greater the lower was the number of system layers, thus, Box 4 presented the highest mean temperature, followed by Box 2, Box 3 and Box 1. With the results presented in this study, it becomes evident the need to develop improvements in the performance of the ceramic tiling system, making it an effective system as much as the adhesion, as the watertightness and permeability to water vapor.

Palavras-chave: Ceramic Tiling System. Watertightness. Permeability to Water Vapor. Adherence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de revestimento cerâmico – método convencional.....	18
Figura 2 – Máquina de arrancamento por tração	34
Figura 3 – Formas de ruptura que podem ocorrer no ensaio de arrancamento	35
Figura 4 – Projeto do modelo experimental.....	39
Figura 5 – Sistema de revestimento da Caixa 1 e Caixa 2.....	39
Figura 6 – Sistema de revestimento da Caixa 3 e Caixa 4.....	40
Figura 7 – Fases de execução do modelo experimental	41
Figura 8 – Lajes no dia da concretagem	42
Figura 9 – Laje no local definitivo da construção das caixas.....	42
Figura 10 – Execução da camada de chapisco.....	44
Figura 11 – Camada de emboço sendo executada (a), Caixa 1 finalizada (b)	47
Figura 12 – Aplicação da argamassa colante no substrato (a) e no tardo (b)	48
Figura 13 – Caixa com régua instalada.....	51
Figura 14 – As quatro caixas sendo aquecidas simultaneamente.....	53
Figura 15 – Modelo experimental para o ensaio de permeabilidade	54
Figura 16 – Caixa 1 com as pastilhas já coladas, pronta para ser ensaiada.....	56
Figura 17 – Ensaio de resistência à tração sendo executado na Caixa 1	56
Figura 18 – Níveis de água de cada sistema no decorrer dos dias de ensaio	58
Figura 19 – Primeiras manchas de vazamentos nas faces externas da Caixa 1	60
Figura 20 – Primeiras manchas de vazamentos nas faces externas da Caixa 2	61
Figura 21 – Evolução das manchas de umidade na Caixa 2	63
Figura 22 – Primeiras manchas de vazamentos nas faces externas da Caixa 3	65
Figura 23 – Primeiros vazamentos na Caixa 4.....	67
Figura 24 – Evolução das manchas após o preenchimento com mais água.....	68
Figura 25 – Fotos térmicas com a água ainda fria	71
Figura 26 – Comparação dos ensaios de água fria e água quente	72
Figura 27 – Registro de temperatura nas juntas de assentamento	73
Figura 28 – Locais com maior umidade e menor temperatura	74
Figura 29 – Temperatura mais elevada na parte superior das faces	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Nível da água no decorrer do ensaio	59
Gráfico 2 – Nível da água no decorrer do ensaio	62
Gráfico 3 – Nível de água da Caixa 3 no decorrer dos dias de ensaio.....	64
Gráfico 4 – Nível de água da Caixa 4 no decorrer dos dias de ensaio.....	66
Gráfico 5 – Redução de água em cada sistema.....	69
Gráfico 6 – Comparação da redução de água durante os dias de ensaio.....	70
Gráfico 7 – Temperatura média dos sistemas.....	75
Gráfico 8 – Média das temperaturas nas faces externas de cada caixa	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Classificação das argamassas colantes industrializadas	22
Tabela 2 – Resistência de aderência à tração para as argamassas colantes.....	23
Tabela 3 – Métodos de fabricação das placas cerâmicas	24
Tabela 4 – Grupos de absorção das placas cerâmicas.....	25
Tabela 5 – Métodos de fabricação e grupos de absorção das placas cerâmicas	25
Tabela 6 – Classificação das argamassas de rejunte	26
Tabela 7 – Resultados do ensaio de granulometria da areia grossa.....	44
Tabela 8 – Resultados do ensaio de granulometria da areia média.....	45
Tabela 9 – Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de emboço ...	46
Tabela 10 – Resultado do ensaio de permeabilidade da argamassa de rejunte	50
Tabela 11 – Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de rejunte ..	50
Tabela 12 – Quantidade de água inicial e final em cada sistema.....	57
Tabela 13 – Resistência de aderência à tração de cada sistema	78
Tabela 14 – Análise de variância dos substratos	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO	17
2.1.1	Componentes do sistema de revestimento cerâmico	17
2.1.1.1	<i>Base ou substrato</i>	18
2.1.1.2	<i>Chapisco</i>	19
2.1.1.3	<i>Emboço</i>	20
2.1.1.4	<i>Argamassa colante</i>	21
2.1.1.5	<i>Placa cerâmica</i>	23
2.1.1.6	<i>Rejunte</i>	25
2.1.1.7	<i>Juntas</i>	27
2.1.1.8	<i>Impermeabilizante</i>	28
2.2	PROJETO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO	29
2.2.1	Principais causas e soluções para as patologias no sistema de revestimento cerâmico	29
2.3	ADERÊNCIA	31
2.3.1	Fatores que influenciam a aderência	31
2.3.2	Ensaio da resistência de aderência à tração	33
2.3.3	Formas de ruptura	34
2.4	PERMEABILIDADE À ÁGUA E AO VAPOR DE ÁGUA	36
2.5	TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO E SEU USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	ETAPA 1 – CONSTRUÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL	38

3.1.1	Construção das caixas	40
3.1.2	Execução das lajes	41
3.1.3	Execução das paredes	43
3.1.3.1	<i>Chapisco</i>	43
3.1.3.2	<i>Emboço</i>	45
3.1.3.3	<i>Impermeabilizante</i>	47
3.1.3.4	<i>Revestimento cerâmico</i>	48
3.1.3.5	<i>Rejunte</i>	49
3.2	ETAPA II – PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS	50
3.2.1	Ensaio de estanqueidade à água	50
3.2.1.1	<i>Etapa I</i>	51
3.2.1.2	<i>Etapa II</i>	52
3.2.2	Ensaio de estanqueidade ao vapor da água	53
3.2.3	Ensaio da resistência da aderência à tração	55
4	RESULTADOS	57
4.1	ETAPA I - ENSAIO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA FRIA	57
4.1.1	Resultados Caixa 1	58
4.1.2	Resultados Caixa 2	60
4.1.3	Resultados Caixa 3	64
4.1.4	Resultados Caixa 4	65
4.2	ETAPA II - ENSAIO DE ESTANQUEIDADE COM ÁGUA QUENTE ..	70
4.2.1	Resultados Caixa 1	70
4.2.2	Resultados das Caixa 2, Caixa 3 e Caixa 4	74
4.3	ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	76
4.4	ENSAIO DE ARRANCAMENTO	78
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
5.1	ESTANQUEIDADE À ÁGUA	80
5.2	PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA	82
5.3	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	82
5.4	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS	84

ANEXO A – ANÁLISE DIMENSIONAL E RESISTÊNCIA À COMPREENSÃO DO BLOCO DE CONCRETO	89
ANEXO B – ANÁLISE DA ABSORÇÃO E UMIDADE DO BLOCO DE CONCRETO	90
ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO AOS 7 DIAS	91
ANEXO D – CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO AOS 28 DIAS	92
ANEXO E – CURVA GRANULOMÉTRICA AREIA GROSSA E MÉDIA.....	93
ANEXO F – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA COLANTE.....	94
ANEXO G – RESULTADO DO ENSAIO DE DESLIZAMENTO DA ARGAMASSA COLANTE.....	97
ANEXO H – REGISTROS TERMOGRÁFICOS DOS SISTEMAS NO ENSAIO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA.....	98
ANEXO I – REGISTROS TERMOGRÁFICOS DOS SISTEMAS NO ENSAIO DE ESTANQUEIDADE AO VAPOR DA ÁGUA	102
ANEXO J – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	106

1 INTRODUÇÃO

O revestimento cerâmico que em seu surgimento tinha unicamente a finalidade decorativa vem sendo aperfeiçoado, e devido as suas características como estanqueidade e durabilidade assume importância crescente no mercado da construção civil. Formado por um conjunto de camadas, placa cerâmica, argamassa colante e rejunte, onde essas camadas unidas devem garantir um bom desempenho para o sistema. Esse conjunto é composto por uma placa cerâmica, a argamassa colante e o rejunte, espera-se que a combinação desses três itens garanta o bom desempenho do revestimento.

Por apresentar vantagens quando comparado a outros revestimentos, Medeiros e Sabbatini (1999) citam principalmente a durabilidade do material, facilidade de limpeza, estanqueidade superior, aumento do conforto térmico e acústico e valorização econômica do empreendimento, seu uso é muito difundido na construção civil, sendo utilizado nos mais variados ambientes, externos ou internos, com incidência solar, de umidade e vapor de água e produtos químicos.

O Brasil é destaque no setor do revestimento cerâmico nos quesitos produção e consumo conforme apresentado na revista *Ceramic World* (2017), ocupando terceiro lugar no ano de 2016 com uma produção de 6,1% e um consumo de 5,5% da totalidade mundial, perdendo apenas para a China e Índia em ambos os casos. O consumo mundial vem sendo aumentando ao longo dos anos, crescendo 16,6% quando comparado ao ano de 2012.

Embora o revestimento cerâmico apresente vantagens frente a outros revestimentos e seu consumo seja crescente, diversas manifestações patológicas podem ocorrer nesse revestimento afetando o bom desempenho do sistema. O deslocamento cerâmico é a patologia mais frequente e relevante para o sistema, gerando consequências como risco de queda da placa cerâmica em pedestres (no caso de fachadas de edifícios), danos estéticos, e deixa o caminho livre para a penetração da água para as demais camadas, conseqüentemente gerando outras manifestações patológicas.

Conforme Bauer (1995), Medeiros e Sabbatini (1999) e Nastri *et al.* (2015), o deslocamento ocorre por diversas causas como expansão térmica, expansão por umidade, deformações excessivas, utilização de materiais inadequados, erros de execução, movimento da estrutura, inexistência ou distanciamento incorreto das

juntas, desconhecimento das normas técnicas. Devido à todas as partes do sistema de revestimento cerâmico têm papéis fundamentais no bom desempenho, todas os materiais e etapas necessitam ser cuidadosamente determinados e executados.

Devido à uma busca incessante do mercado da construção civil por soluções que visem diminuir o custo e tempo de construção, novos produtos e técnicas são empregados sem uma pesquisa avançada sobre a real efetividade do desempenho destes. Essas alternativas vêm gerando crescentes manifestações patológicas, reduzindo o desempenho e a vida útil das edificações. Esse comportamento é visto no sistema de revestimento cerâmico, onde construtoras estão modificando o sistema tradicional, originalmente composto pelas camadas de base, chapisco, emboço, argamassa colante, placa cerâmica e rejunte, e aplicando diretamente a placa na base.

A umidade excessiva é um dos principais fatores que interferem no desempenho da construção, sendo a causa de diversas manifestações patológicas que geram grandes prejuízos econômicos. Por essa razão o sistema de revestimento cerâmico de áreas úmidas necessita ser estanque à água e permeável ao vapor de água. No entanto, o atual sistema de revestimento cerâmico vai de encontro com a norma de desempenho NBR 15575:1 (2013), onde é previsto a necessidade de locais internos que têm contato com água gerada na ocupação sejam estanques.

Por essas razões torna-se necessária a realização de pesquisas científicas mais aprofundadas sobre o sistema de revestimento cerâmico. Onde mais critérios sejam avaliados e não apenas a resistência de aderência, mas sim, outros fatores que estão atrelados ao bom desempenho do sistema de revestimento cerâmico, como a estanqueidade à água e a permeabilidade ao vapor de água. Sendo assim, afim de colaborar para um melhor desenvolvimento do sistema de revestimento cerâmico, este estudo se propõe a realizar uma pesquisa direcionada aos critérios mencionados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral avaliar e comparar o desempenho do sistema de revestimento cerâmico interno vertical aplicado em diferentes substratos quanto a resistência de aderência à tração, a estanqueidade à água e a permeabilidade ao vapor de água.

1.1.2 Objetivos Específicos

Serão avaliados quatro diferentes substratos onde a cerâmica será aplicada, cada sistema será submetido aos três ensaios descritos no objetivo geral. Os objetivos específicos estão dispostos nos itens a seguir:

1) avaliar a resistência de aderência à tração, a estanqueidade à água e a permeabilidade ao vapor de água do sistema de revestimento cerâmico aplicado sobre camada de emboço, chapisco e bloco de concreto;

2) avaliar a resistência de aderência à tração, a estanqueidade à água e a permeabilidade ao vapor de água do sistema de revestimento cerâmico aplicado sobre camada de chapisco e bloco de concreto;

3) avaliar a resistência de aderência à tração, a estanqueidade à água e a permeabilidade ao vapor de água do sistema de revestimento cerâmico aplicado sobre a camada de impermeabilizante e bloco de concreto;

4) avaliar a resistência de aderência à tração, a estanqueidade à água e a permeabilidade ao vapor de água do sistema de revestimento cerâmico aplicado diretamente sobre o bloco de concreto.

1.2 JUSTIFICATIVA

O sistema de revestimento cerâmico desempenha um papel fundamental na construção civil, é possível observar sua importância pelo crescente aumento tanto na fabricação quanto no consumo de placas cerâmicas, conforme dados da revista Ceramic World (2017) e em 2016 foram consumidos aproximadamente 12,9 milhões de m² (5,0% a mais que no ano de 2015), ficando o Brasil em terceiro lugar com um consumo de 706 milhões de m². Embora, a utilização de placas cerâmicas no mercado

da construção civil seja crescente, o desempenho dos sistemas de revestimento cerâmico tem se mostrado não ser eficaz, apresentando diversas falhas e patologias.

A realização deste estudo se justifica pelo fato de não existirem pesquisas mais aprofundadas sobre o sistema de revestimento cerâmico quanto a estanqueidade à água e ao vapor de água. Por mais que a resistência à aderência seja um importante fator para o desempenho do sistema, não é o único que deve ser considerado no momento do projeto. Sendo a umidade a causa de diversas patologias, é de grande importância seu estudo, e que pesquisas sejam realizadas buscando soluções para melhorar o desempenho deste sistema que é tão amplamente utilizado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo está estruturado em cinco capítulos. Neste primeiro, buscou-se introduzir o tema a ser desenvolvido ao logo deste estudo, apresentando o tema proposto e a importância deste no cenário atual da construção civil.

No segundo capítulo é desenvolvida a revisão bibliográfica, apresentando o sistema de revestimento cerâmico, as camadas e materiais que o compõe e os fatores que influenciam no bom desempenho do sistema e devem ser considerados.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada neste estudo, desde o projeto do modelo experimental bem como todos os procedimentos e materiais necessários para a execução do experimento e os ensaios necessários para atingir os objetivos propostos.

O quarto capítulo traz os resultados experimentais de cada um dos ensaios propostos e a análise do comportamento de cada sistema frente à resistência de aderência à tração, estanqueidade à água e permeabilidade ao vapor de água.

No quinto capítulo são apresentadas as considerações finais e as conclusões de cada um dos ensaios propostos, juntamente com sugestões para estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os tópicos centrais para o desenvolvimento deste estudo, abordando os conceitos mais relevantes do sistema de revestimento cerâmico.

2.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

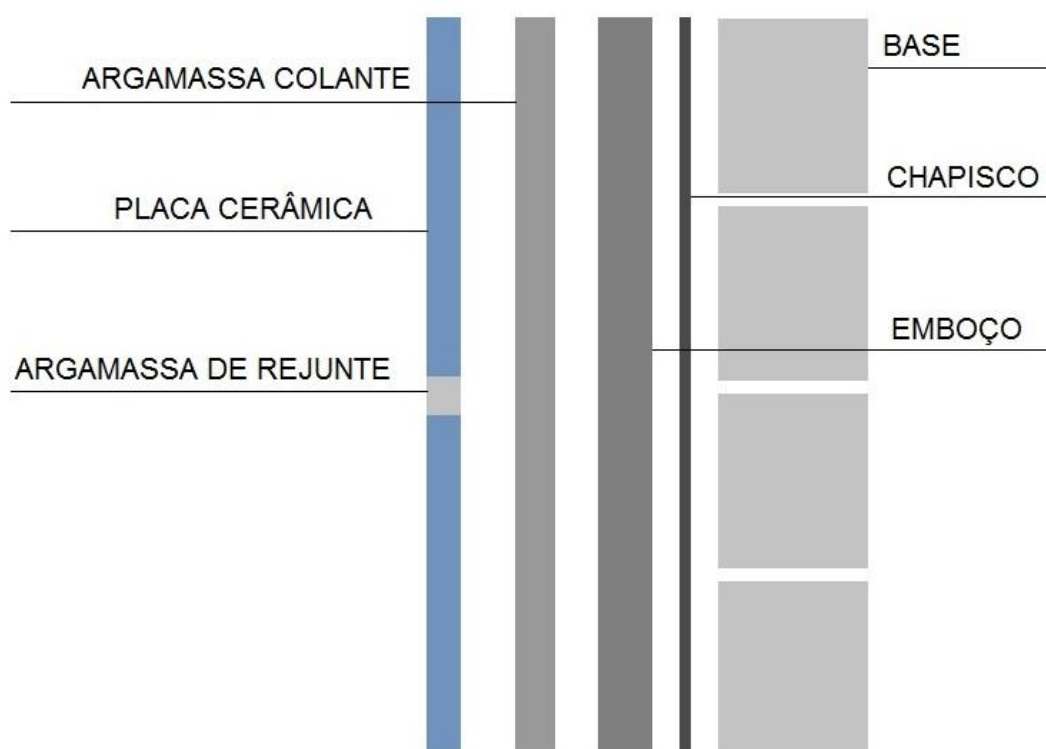
A NBR 13816 (1997) define revestimento cerâmico como o conjunto formado por placa cerâmica, argamassa de assentamento e rejunte. Devido a suas diversas vantagens frente aos demais tipos de revestimentos, como pintura, pedras, tijolo aparente entre outros, tem sido amplamente utilizado na construção civil.

Para Paes e Carasek (2002) existem diversas vantagens que estimulam a utilização do revestimento cerâmico ao invés de revestimentos de argamassa com pintura, exemplos são as reduções de manifestações patológicas como trincas, bolores e empolamentos, e ainda problemas de fixação, como no caso de revestimentos com pedras naturais. Esses são alguns dos fatores que tornam revestimento cerâmico tão atrativo e sua crescente expansão.

2.1.1 Componentes do sistema de revestimento cerâmico

O sistema de revestimento cerâmico é composto por camadas que unidas devem garantir as qualidades desejáveis ao sistema para que apresente um bom desempenho, como durabilidade e estanqueidade. A Figura 1 exibe a composição do sistema de revestimento cerâmico convencional, detalhando cada camada, nos itens 2.1.1 ao 2.1.6 serão abordadas cada camada individualmente para um melhor entendimento.

Figura 1 – Sistema de revestimento cerâmico: método convencional



Fonte: Autora.

2.1.1.1 Base ou substrato

A base ou substrato como o próprio nome diz, é base de aplicação para as demais camadas do sistema de revestimento cerâmico. Pode ser composta por blocos de vedação ou estruturais, como blocos cerâmicos ou blocos de concreto, por elementos como pilares e vigas de concreto armado, bem como paredes em gesso e drywall. Usualmente o mais utilizado são blocos de concreto ou cerâmico, com ou sem função estrutural.

Para Paes (2004) os substratos têm diferentes características que influenciam na velocidade e na quantidade de água que é transportada da argamassa fresca para o substrato, algumas dessas propriedades são a porosidade, o tamanho e a distribuição dos poros, a capacidade de absorção e a textura de contato da base.

Segundo Prudêncio Júnior *et al.* (2002) blocos de concreto apresentam diversas vantagens, como são constituídos de misturas de cimento, agregados miúdos e graúdos, estão disponíveis em quase todas as cidades de médio e grande porte

do país, podem ser fabricados com diferentes resistências, formas, cores e texturas e apresentam baixa variação nas dimensões (diminuindo dessa forma as espessuras dos revestimentos aplicados sobre os blocos de concreto). Conforme Paes (2004), blocos de concreto por terem poros maiores e maior rugosidade, seus valores de resistência a aderência são superiores quando comparados com blocos cerâmicos, bem como uma maior adesão inicial da argamassa.

2.1.1.2 Chapisco

Segundo a NBR 13529:2013, chapisco é uma camada de preparo da base que tem como objetivo uniformizar a superfície em relação à absorção e melhorar a aderência das demais camadas do revestimento. A mistura de chapisco é composta por cimento, areia e água, a NBR 13754 (1997) define o traço em volume do chapisco de 1:3 de cimento Portland e areia grossa úmida.

Para Scartezini *et al* (2002), chapisco é o pré-tratamento mais utilizado em obras, tendo como objetivo aumentar a rugosidade superficial e regularizar a absorção da água. Conforme resultados expostos por esses autores, a execução de chapisco altera as características do substrato em relação à absorção de água, onde o aumento da absorção resulta em um aumento da resistência de aderência.

Segundo Kazmierczack, Brezezinski e Collatto (2007) o uso do chapisco tem como finalidade a regularização da capacidade de aderência da base, especialmente quando a base apresentar uma superfície muito lisa e/ou com porosidade e capacidade de sucção inadequadas. O uso de chapisco altera a distribuição de poros da argamassa, aumentando a resistência de aderência à tração.

Para Azeredo (1987) o chapisco proporciona uma aspereza em superfícies muito lisas e com baixa porosidade, criando condições de aderência para que estas superfícies possam receber outras camadas de argamassa. Conforme Paes (2004) o chapisco fornece ao substrato uma textura rugosa e com uma porosidade apropriada ao desenvolvimento da aderência. O chapisco regula a capacidade de sucção do substrato. Apresentando grande importância em blocos de concreto, por terem elevada sucção, a camada de chapisco diminui a intensidade do transporte de água das argamassas para o substrato.

2.1.1.3 Emboço

A NBR 13754 (1997) define o emboço como uma mistura de cimento, cal hidratado e areia média úmida, tendo um traço em volumes variando de 1:1:6 a 1:2:9, devendo ser sarrafeado ou desempenado. Deve ter espessura entre 5 e 20 mm para paredes internas e de 20 a 30 mm para paredes externas. Conforme Silveira (2014) o emboço tem função de regularizar a base, promovendo o nivelamento da superfície (alinhamento e prumo), servindo de suporte e permitindo o assentamento adequado das placas cerâmicas.

Para Pezzato (2010) a camada de emboço além de regularizar a superfície e contribuir na vedação, tem ainda como função assimilar as deformações existentes entre a camada de revestimento cerâmico e a base. É necessário que seja capaz de assimilar e distribuir as tensões das movimentações diferenciais, responsáveis pelas tensões de cisalhamento e tração. Junginger (2003) ressalta a importância da camada de regularização para diminuição das solicitações originárias da deformação da base, para o autor quanto menor a espessura da camada de regularização e maior o módulo de elasticidade, menor será a capacidade de a camada assimilar as deformações, transmitindo dessa maneira mais solicitações para o revestimento cerâmico.

Conforme estudo realizado por Camacho *et. al* (2016) onde foram ensaiadas paredes de alvenaria estrutural executadas com blocos cerâmicos com o intuito de avaliar o comportamento dos revestimentos cerâmicos frente aos carregamentos na alvenaria. Algumas paredes receberam uma camada prévia de emboço para então receberem o revestimento cerâmico, enquanto outras tiveram a cerâmica assentada diretamente sobre o bloco cerâmico. Todas as paredes foram carregadas à compressão axial, no entanto as paredes com camada de emboço apresentaram um desempenho superior às sem camada de emboço.

Na mesma pesquisa concluiu-se que nas paredes sem emboço houve uma maior deformação comparada as paredes com emboço. Durante os ensaios o revestimento cerâmico despreendeu-se a uma carga média correspondente a 95% da carga média de ruptura nas paredes sem emboço, e nas paredes com emboço o desprendimento se deu a uma carga praticamente igual à carga de ruptura das paredes. No entanto, conforme os autores ressaltam, nas faixas de utilização da edificação, independente se com ou sem camada de emboço, essas não apresentam

sinais de problemas patológicos como fissurações e descolamento do revestimento cerâmico.

Um estudo realizado por Medeiros, Mello e Asamura (2017), onde a placa cerâmica foi aderida diretamente sobre o bloco de concreto, mostrou que toda deformação do bloco é transmitida para a placa cerâmica e a argamassa colante não se mostrou capaz de assimilar as deformações originadas da parede, transferindo tensões para a placa cerâmica.

2.1.1.4 Argamassa colante

Pela definição da NBR 14081-1 (2012), argamassa colante industrializada é o produto composto por cimento Portland, agregados minerais e aditivos químico, que com a adição da água forma uma pasta viscosa, plástica e aderente, que é utilizada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento. As argamassas colantes industrializadas são designadas pela sigla AC e são classificadas conforme a Tabela 1. A diferenciação das argamassas considera basicamente o tempo em aberto e a resistência de aderência. Entende-se por tempo aberto o máximo intervalo de tempo no qual uma placa cerâmica pode ser assentada sobre a argamassa colante.

Tabela 1– Classificação das argamassas colantes industrializadas

Tipo	Características
I	Possui características de resistência às solicitações mecânicas e termo-higrométricas típicas de revestimentos internos, exceção daquelas aplicadas em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.
II	Possui características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termo-higrotérmica e à ação do vento.
III	Apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e II.

Fonte: NBR 14081-1 (2012).

As argamassas colantes industrializadas, tanto tipo I, II e III podem ainda ter o tempo em aberto estendido, essas serão seguidas pela letra E, exemplo, AC III-E, também ter o deslizamento reduzido, nesse caso será acrescida a letra D, exemplo AC III-D.

Em argamassas colantes à base de cimento Portland a variável que mais interfere nos resultados de resistência de aderência à tração é a condição de cura do sistema, seguido então pelo tipo de argamassa colante (Valentini e Kazmierczak, 2016). Segundo NASTRI *et al* (2015), para a correta especificação da argamassa colante é preciso estabelecer limites máximos para a expansão por umidade e dessa maneira especificar argamassas que resistam aos níveis de tensões geradas na interface placa cerâmica-argamassa. Conforme a NBR 14081-1 (2012) os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração aos 28 dias devem obedecer aos valores mostrados na Tabela 2.

Para Lima, Sichieri e Gonçalves (1998) falhas no assentamento em função da incorreta especificação da argamassa colante, do espaçamento das juntas e rejunte, juntamente com uma mão de obra não qualificada, são as maiores causas dos problemas ocorridos no sistema de revestimento cerâmico, por essa razão torna-se fundamental que cada material seja corretamente especificado no projeto do sistema de revestimento cerâmico.

Tabela 2 – Resistência de aderência à tração para as argamassas colantes

Requisito	Unidade	Critério			
		AC I	AC II	AC III	
Resistência de aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura.	Cura normal	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	
	Cura submersa	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura em estufa			≥ 0,5	≥ 1,0

Fonte: NBR 14081-1 (2012).

2.1.1.5 Placa cerâmica

A NBR 13816 (1997) define placa cerâmica para revestimento como o material composto por argila e outras matérias-primas inorgânicas. A placa cerâmica é composta na maior parte das vezes por um biscoito (corpo cerâmico), que é a parte mais espessa da placa, o tardez representando a superfície de aderência da placa e a face que é superfície de uso da placa. O tardez precisa apresentar uma superfície rugosa e com ranhuras para garantia de uma melhor aderência da placa com o substrato.

Segundo Rebelo (2010) as propriedades das placas cerâmicas, como a absorção d' água, resistência à flexão, resistência à abrasão, expansão por umidade, dilatação térmica, resistência ao risco, resistência a machas entre outras propriedades, estão ligadas à composição da massa e ao esmalte utilizado no acabamento superficial.

A NBR 13817 (1997) define as classificações das placas para o revestimento cerâmico, os critérios utilizados nas classificações são a classe de resistência à abrasão superficial, a resistência ao manchamento, a resistência ao ataque de

agentes químicos, o aspecto superficial ou análise visual, juntamente com os critérios descritos nos seguintes itens:

a) esmaltadas e não esmaltadas – a NBR 13816 (1997) define esmalte como sendo uma cobertura vitrificada impermeável. Segundo a norma NBR 13817 as placas cerâmicas podem ser esmaltadas ou não esmaltadas. Placas esmaltadas ou glazed recebem a terminologia GL, as não esmaltadas ou unglazed tem a terminologia UGL. A esmaltação confere a placa cerâmica além da impermeabilidade, aspectos higiênicos e de resistência mecânica;

b) métodos de fabricação – a NBR 13817 classifica as placas cerâmicas em três métodos de fabricação, conforme a Tabela 3. Placas extrusadas são assim denominadas porque seu corpo é conformado no estado plástico em um extrusora, para então ser cortada. As placas que passam pelo processo de fabricação prensado têm seu corpo conformado em prensas a partir de uma mistura finamente moída (NBR 13816, 1997).

Tabela 3 – Métodos de fabricação das placas cerâmicas

Método de fabricação		Simbologia
Tipo		
Extrutada	Artesanal	(A)
	Precisão	
Prensada		(B)
Outros processos		(C)

Fonte: NBR 13817 (1997).

c) grupos de absorção de água – a absorção de água de um determinado revestimento cerâmico está relacionada com a porosidade do mesmo. A NBR 13817 (1997) classifica as placas em grupos conforme a absorção de água, exibido na Tabela 4, e em grupos em função da absorção de água conforme o método de fabricação Tabela 5. As letras A, B e C referem-se ao método de fabricação, os número I, II e III referem-se a absorção, tendo subgrupos identificados como a ou b.

Tabela 4 – Grupos de absorção das placas cerâmicas

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 < \text{Absorção} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Absorção} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Absorção} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Absorção} \leq 10,0$
III	Absorção acima de 10,0

Fonte: NBR 13817 (1997).

Tabela 5 – Métodos de fabricação e grupos de absorção das placas cerâmicas

Absorção de água (%)	Métodos de Fabricação		
	Extrudado (A)	Prensado (B)	Outros (C)
Absorção $\leq 0,5$	AI	Bla	CI
$0,5 < \text{Absorção} \leq 3,0$		BIIb	
$3,0 < \text{Absorção} \leq 6,0$	AlIa	BIIa	CIa
$6,0 < \text{Absorção} \leq 10,0$	AlIb	BIIb	CIb
Absorção acima de 10,0	AlII	BIII	CIII

Fonte: NBR 13817 (1997).

2.1.1.6 Rejunte

A NBR 14992 (2003) define argamassa de rejunte a mistura industrializada de cimento Portland e outros componentes homogêneos e uniformes, utilizadas para preencher as juntas de assentamento de placas cerâmica. Essa norma classifica a argamassa de rejunte em dois tipos, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação das argamassas de rejunte

Tipo	Requisitos
I	<p>Esta argamassa pode ser aplicada em ambientes internos e externos desde que sejam observadas as seguintes condições:</p> <p>a) aplicação restrita a locais de trânsito de pedestres/transeuntes, não intenso;</p> <p>b) aplicação restrita a placas cerâmicas com absorção de água acima de 3% (grupos II e III - segundo a NBR 13817);</p> <p>c) aplicação em ambientes externos, piso ou parede, desde que não excedam 20 m² e 18 m², respectivamente, limite a partir do qual são exigidas as juntas de movimentação, segundo a NBR 13753 e NBR 13755.</p>
II	<p>Esta argamassa pode ser aplicada em ambientes internos e externos desde que sejam observadas as seguintes condições:</p> <p>a) todas as condições do tipo I;</p> <p>b) aplicação em locais de trânsito intenso de pedestres/transeuntes;</p> <p>c) aplicação em placas cerâmicas com absorção de água inferior a 3% (grupo I - segundo a NBR 13817);</p> <p>d) aplicação em ambientes externos, piso ou parede, de qualquer dimensão, ou sempre que exijam as juntas de movimentação;</p> <p>e) ambiente internos ou externos com presença de água estancada (piscinas, espelhos d'água, etc).</p>

Fonte: NBR14992 (2003).

Segundo Junginger (2003) o rejunte tem como principais funções a vedação do revestimento cerâmico, otimização da aderência das placas cerâmicas, alívio de tensões, difusão do vapor de água, regularidade superficial e auxílio no desempenho estético do revestimento. Para o mesmo autor o rejunte tem que ser capaz de aliviar e resistir as solicitações vindas da movimentação das placas cerâmica e da base. A flexibilidade e a aderência estão relacionadas, pois quando ocorre o aparecimento de alguma fissura no rejunte devido à falta de aderência, passa a existir um caminho livre para a penetração de água e outros agentes nocivos para o sistema. O excesso de adição de água na mistura da argamassa de rejunte, com o intuito de deixá-lo mais fluído, tornando-o assim mais trabalhável, pode gerar um aumento na porosidade,

uma queda de resistência e uma desagregação prematura, facilitando a penetração de água.

Para Bauer (1995) falhas de rejunte nas juntas de assentamento podem provocar o descolamento das placas cerâmicas, pois se houverem falhas na vedação ocorrerá à infiltração da água nessas juntas, permitindo o acesso da água na argamassa de assentamento e no corpo cerâmico, essa água gera solicitações nas peças por dilatação e contração por absorção da água.

Conforme Silvestre e Brito (2009) a argamassa de rejunte precisa ser impermeável a água, resiliente e compressível, no entanto, tendo em vista que a placa cerâmica é impermeável tanto a água quanto ao vapor d'água, é necessário que a argamassa de rejuntamento seja permeável ao vapor d'água para que possam ocorrer trocas de umidade através das juntas.

Para os autores Rubin, Moore e Moon (2015), o rejunte é um material poroso, que absorve umidade e pequenas partículas, o que significa uma via para água e os materiais orgânicos dissolvidos penetrarem para o interior do sistema, estes problemas seriam solucionados com a aplicação de um selante sobre o rejunte.

Segundo Junginger (2003), as falhas no rejunte como a queda, permitem a infiltração de água por trás da placa cerâmica ocasionando na saturação da argamassa. A argamassa irá expandir e gerará tensões que podem causar o deslocamento. O vapor de água retido na argamassa de emboço, quando encontra uma barreira impermeável gera uma pressão de vapor que também pode ocasionar o deslocamento, por essa razão o sistema de revestimento cerâmico necessita ser permeável ao vapor de água.

2.1.1.7 Juntas

A NBR 13754 (1997) define junta como sendo o espaço regular entre duas peças podendo ser de materiais idênticos ou distintos, e define os seguintes tipos de juntas:

a) junta de assentamento – espaço regular entre duas placas cerâmicas adjacentes;

b) junta de movimentação – espaço regular que tem como função subdividir o revestimento com a finalidade de aliviar as tensões provocadas pela movimentação da parede ou do próprio revestimento;

c) junta de dessolidarização – espaço regular com função de separar o revestimento para aliviar as tensões provocadas pela movimentação da parede ou do próprio revestimento;

d) junta estrutural – espaço regular com função de aliviar as tensões provocadas pela movimentação da estrutura de concreto.

Para Fiorito (2009) além do alívio das tensões as juntas de assentamento têm como finalidade compensar as diferenças de bitola das placas cerâmicas, garantindo um perfeito alinhamento o alinhamento, higiene, estética e a facilitam a remoção e troca das peças. Para Lima, Sichieri e Gonçalves (1998) as juntas entre as placas cerâmicas são fundamentais e obrigatórias para auxiliarem nas dilatações, para isso o rejunte precisa ser flexível para conseguir assimilar as movimentações.

Segundo Bauer (1995) as juntas de assentamento precisam ter largura suficiente para que ocorra a correta infiltração da argamassa de rejuntamento e o revestimento cerâmico consiga se assimilar às movimentações da argamassa de assentamento e da alvenaria. As juntas de movimentação são na maioria das vezes mais largas que as juntas de assentamento, tendo como função aliviar as tensões que são geradas por movimentações da parede e dos revestimentos. Essas tensões são causadas por variações de temperaturas e por deformação lenta do concreto onde o revestimento está aplicado.

2.1.1.8 Impermeabilizante

Segundo a NBR 9575 (2010) a impermeabilização é definida como o conjunto de operações e técnicas construtivas que têm como finalidade a proteção das construções contra a ação insalubre de fluídos, vapores e umidade. Nessa mesma norma são definidos dois tipos principais de impermeabilizantes, os flexíveis e os rígidos. Atualmente existem dois tipos de impermeabilizantes que são mais utilizados em obras, o impermeabilizante rígido e o flexível.

2.2 PROJETO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Para o sistema de revestimento cerâmico ser capaz de apresentar um bom desempenho é imprescindível a especificação correta dos materiais a serem utilizados (Mansur (2007), Lima, Schieri e Gonçalves (1998), Chew (1999), Jurienger (2003), Valentini e Kazmierczak (2016)). Segundo Sagave (2001) para existir um desempenho adequado do revestimento cerâmico são necessários fatores como a qualidade do material cimentante, a porosidade da cerâmica, a formação do tardo, e a rugosidade da base. No entanto, não raro esses fatores são desprezados e a escolha dos materiais é realizada com base no menor custo dos materiais ou pelo fator estético. No entanto, como será apresentado neste item, todos os componentes do sistema de revestimento cerâmico exercem uma influência no desempenho do sistema, por essa razão torna-se tão importante o projeto do sistema de revestimento cerâmico.

Segundo Mansur (2007) e Valentini e Kazmierczak (2016), é fundamental para o bom desempenho do sistema de revestimento cerâmico além da correta especificação dos materiais a serem utilizados, considerar o ambiente ao que o sistema estará exposto e as solicitações a que estarão submetidos, juntamente com o correto procedimento de execução de cada camada.

2.2.1 Principais causas e soluções para as patologias no sistema de revestimento cerâmico

Para Mansur (2007) as patologias, na maior parte das vezes, são causadas pela interação de várias falhas que atuam simultaneamente, como erros de projeto, erros de execução, mão de obra não qualificada, entre outros, e não apenas por uma razão. Conforme Lima, Schieri e Gonçalves (1998) e Franco *et. al* (2016) as patologias como o deslocamento, estufamento, gretamento e fissuras, devem-se a falhas nas especificações dos materiais a serem utilizados ou no assentamento das placas e não somente pela utilização de materiais de má qualidade ou mão de obra não qualificada. Mesmo utilizando materiais de boa qualidade, se esses forem especificados de maneira incorreta o desempenho poderá ficar comprometido.

Chew (1999) define que as principais causas das patologias são a deformação da argamassa colante devido à secagem, movimentos diferenciais entre a cerâmica, a argamassa colante e os substratos devido a variações térmicas e umidade, falha no emboço, movimentos estruturais, retração, problemas no assentamento, vibrações,

limpeza inadequada da superfície onde vai ser assentada a placa cerâmica, seleção inadequada dos materiais e sequência errada de trabalho.

Conforme Junginger (2003) as fissuras entre o rejunte e a placa cerâmica ocorrem por motivos como a cura prejudicada por condições ambientais muito agressivas, argamassa de rejunte com retenção de água incompatível com o tipo da placa, retração excessiva da argamassa, aplicação da argamassa em juntas com sujeiras e poeiras, excesso de água de amassamento, fadiga do rejunte por ciclos higrotérmicos. Ainda sobre falhas no rejunte pode ocorrer o preenchimento da junta apenas superficialmente, muito comum em juntas muito estreitas. Esse procedimento forma apenas uma capa frágil de rejunte que com o passar do tempo pode soltar-se.

Dentre as diversas patologias que podem se manifestar no sistema de revestimento cerâmico, a que merece uma maior atenção é o deslocamento, não somente por ser a patologia mais frequente, mas também por apresentar riscos de acidentes com pessoas e influenciar o surgimento de outras patologias. Para Bauer (1995) existem diversas causas que podem levar ao deslocamento, como a inexistência ou distanciamento incorreto de juntas de movimentação e falta de manutenção, o desconhecimento das características dos materiais empregados, utilização de materiais inadequados, erros na execução que podem ser devido à mão de obra não especializada e desconhecimento das normas técnicas para esse sistema.

De acordo com Nastri *et. al* (2015) a expansão por umidade, expansão térmica, argamassa inadequada, assentamento incorreto, tempo em aberto da argamassa, movimento da estrutura, são alguns dos aspectos que podem influenciar no destacamento do revestimento cerâmico. Para Juginger (2003) a expansão por umidade exerce pouca influência para o surgimento de patologias, mas quando associada com outros fatores, juntos podem ocasionar o surgimento de patologias no sistema.

Conforme Recena (2012) devido a placa cerâmica ter maiores solicitações geradas por variações térmicas e higrométricas quando comparada com as demais partes do sistema, deve ter uma maior capacidade de deformação que as demais camadas, ou seja, as resistências das camadas que compõe o sistema de revestimento devem ser em ordem crescente a partir da placa cerâmica. Sobre placas cerâmicas podem surgir tensões de cisalhamento no plano de revestimento caso a

umidade seja elevada. Para diminuir a possibilidade de descolamento sugere-se a utilização de peças com baixa absorção e dilatação higroscópica (Bauer, 1995).

2.3 ADERÊNCIA

A NBR 13528:2010 define aderência como sendo a propriedade do revestimento em resistir às solicitações que estão atuando na interface com o substrato, não é uma propriedade exclusiva da argamassa, mas sim a interação entre as camadas que compõe o sistema de revestimento. Segundo Caraseck (2010), é a aderência que permite o revestimento de argamassa resistir as tensões normais ou tangenciais que são geradas entre a camada de argamassa e o substrato. Sem a devida aderência o revestimento argamassado não cumprirá suas funções. Segundo Sagave (2001) a aderência exerce grande influência no desempenho do sistema de revestimento cerâmico, podendo determinar a sua durabilidade e vida útil.

Conforme Roman *et al.* (2000) a aderência é composta pelos processos químico, físico e mecânico. Depende principalmente da natureza dos materiais e da área de contato real entre eles. As forças de aderência podem perder intensidade ou até mesmo deixar de existir devido às solicitações que o sistema está submetido, o que provoca o descolamento da placa cerâmica.

2.3.1 Fatores que influenciam a aderência

São diversos os fatores que interferem na aderência do sistema de revestimento cerâmico, segundo estudos realizados por diversos autores podem ser citados:

a) trabalhabilidade – para Caraseck (2010) a adequada trabalhabilidade das argamassas garantirá um desempenho adequado do revestimento. Caso não haja uma trabalhabilidade satisfatória e não ocorra a correta aplicação, o desempenho do sistema de revestimento será prejudicado, e diversas propriedades da argamassa no estado endurecido não serão satisfatórias, sendo o caso da aderência;

b) porosidade do substrato – segundo Pereira, Silva e Costa (2005) o substrato não poroso representa uma dificuldade para aderência, pois não existe a possibilidade de penetração dos compostos cimentícios, presentes na argamassa colante, nos poros do substrato, afetando desta maneira a ancoragem. Para Santos *et al.* (2011),

a porosidade exerce uma forte influência nas propriedades físicas e mecânica dos materiais, estando relacionada com a permeabilidade, resistência e durabilidade;

c) dimensões da placa cerâmica – um estudo realizado por Winnefeld *et al.* (2012) concluiu que quanto maior o tamanho da peça cerâmica maior será tensão na superfície da mesma. Para Fiorito (2009), se as dimensões da peça cerâmica aumentam existe um aumento gradativo na compressão, pois a camada de argamassa de fixação e o substrato tendem a impedir a expansão;

d) textura do tardez – segundo Winnefeld *et al.* (2012), a textura do tardez desempenha uma importante função, quanto maior a quantidade de ranhuras e mais rugoso for o tardez, maior será a aderência.

e) assentamento da placa cerâmica – Kazmierczack, Brezezinski e Collatto (2007), Roman *et al.* (2000) e Winnefeld *et al.* (2012), apontam que variação da força aplicada pelo assentador na hora do assentamento da placa cerâmica e a forma da espátula de aplicação influencia muito o contato de adesão das partes envolvidas.

f) extensão de aderência – entende-se por extensão de aderência a área efetiva que a argamassa colante promoverá aderência ao revestimento e substrato. Para Maranhão *et al.* (2003) a adequada extensão de aderência é influenciada principalmente por processos de execução. O método de assentamento indicado pelas normas em que se utiliza uma desempenadeira dentada para estender a argamassa colante, necessita de cuidados para evitar o surgimento de vazios de preenchimento. Para esses autores outros fatores que interferem na extensão de aderência é a espessura dos cordões de argamassa, que deve ser suficiente para preencher todo o tardez da placa após a prensagem, e a reologia da argamassa também tem influência, pois a trabalhabilidade é determinante para a facilidade de seu espalhamento da argamassa;

g) temperatura no momento do assentamento cerâmico – um estudo realizado por Chew (1999), onde placas cerâmicas foram aderidas com argamassa colante em três temperaturas de ambiente diferentes (10°C, 25°C e 40°C), mostrou que a temperatura ambiente tem influência no momento do assentamento das placas. As temperaturas de aplicação de 10°C e 40°C apresentaram desempenho inferior à temperatura de 25°C, sendo que com 40°C obteve o pior desempenho entre as três temperaturas. Chew (1999) acredita que a temperatura ambiente de 40°C deixa a superfície (onde o revestimento cerâmico será aplicado) muito seca, absorvendo rapidamente a água da argamassa colante, dificultando o processo de hidratação.

Para a temperatura ambiente de 10°C ocorre o contrário, a superfície encontra-se muito úmida evitando a penetração da argamassa colante no substrato, dificultando a ligação dos materiais;

h) tempo de aberto da argamassa colante – para Póvoas, John e Cincotto (2002) e Valentini e Kazmierczak (2016) o tempo de espera entre a mistura da argamassa colante com água e a sua aplicação exerce grande influência na extensão de aderência da placa cerâmica, e a perda de água reduzi progressivamente resistência à aderência.

2.3.2 Ensaio da resistência de aderência à tração

As normas brasileiras definem o ensaio de arrancamento por tração simples como o método a ser utilizado para determinar a resistência de aderência. Esse ensaio consta na NBR 14081-4, e consiste na aplicação de uma carga normal de tração no sentido revestimento-base para determinação da resistência de aderência. Nesse tipo de ensaio é utilizada uma máquina, Figura 2, que executa o arrancamento por tração com uma taxa de carregamento uniforme de (250 ± 50) N/s. A NBR 13754 define que de um total de seis determinações da resistência de aderência, no mínimo quatro valores devem ser iguais ou maiores que 0,30 MPa. Porém, esse ensaio apresenta uma grande dispersão de resultados, gerando um coeficiente de variação alto.

Figura 2 – Máquina de arrancamento por tração



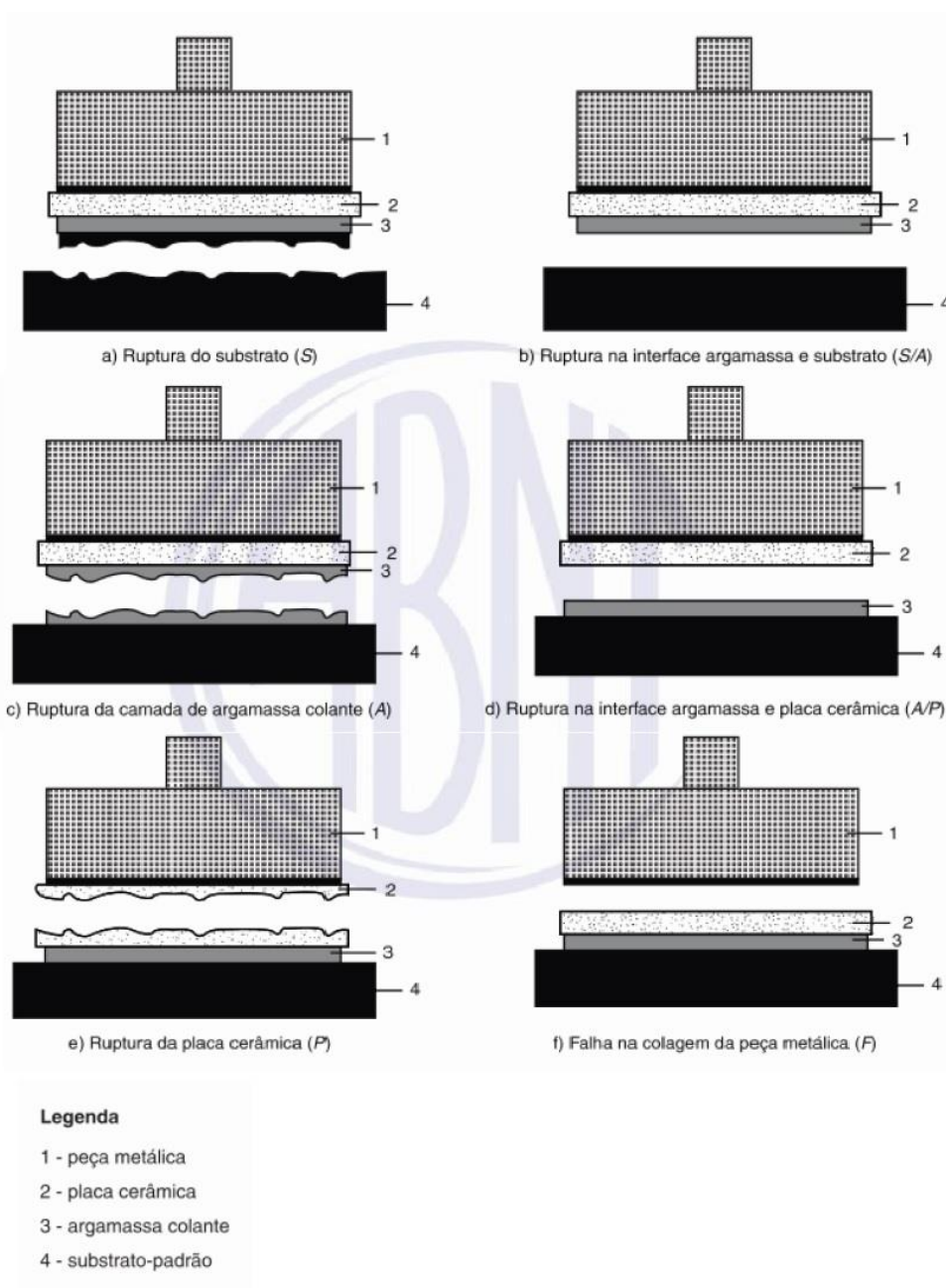
Fonte: Autora.

2.3.3 Formas de ruptura

É de extrema importância avaliar o local onde ocorreu a ruptura do sistema de revestimento cerâmico, pois ele indica qual a parte do sistema o valor de resistência pertence, além de indicar a parte provavelmente mais fraca do sistema, podendo com essa informação diagnosticar os problemas e as possíveis soluções.

Conforme a NBR 14081-4 (2012) existem cinco tipos de ruptura que podem ocorrer no ensaio de arrancamento, além da possibilidade de falha na colagem da peça metálica (F). Os tipos de ruptura estão listados a seguir e representados na Figura 3.

Figura 3 – Formas de ruptura que podem ocorrer no ensaio de arrancamento



Fonte: NBR 14081-4 (2012).

2.4 PERMEABILIDADE À ÁGUA E AO VAPOR DE ÁGUA

Conforme a NBR 15575-1 (2013) no projeto e execução a umidade proveniente do uso da edificação habitacional deve ser considerada, pois acelera os processos de deterioração e diminuiu as condições de habitabilidade e de higiene do ambiente.

A água presente no sistema é ocasionada por fatores externos, como no caso do box do banheiro onde há incidência direta de água, e fatores internos como a umidade já presente na construção, que é devido ao teor de umidade dos materiais empregados, juntamente com a água das argamassas e concreto. Segundo Henriques (1995), no final da construção um edifício podem existir milhares de litros de água em excesso. Parte dessa água evapora rapidamente, e o restante da umidade pode levar anos para ser evaporado, por essa razão o revestimento precisa apresentar permeabilidade ao vapor de água.

Para Santos (2007) e Pereira, Silva e Costa (2005) o surgimento de manifestações patológicas, como o deslocamento, têm relação direta com a umidade. Quando o sistema entra em contato com a água, essa penetra por trás do revestimento, levando ao surgimento de inúmeras patologias. No sistema de revestimento cerâmico o rejunte é o principal responsável pela entrada de água.

O revestimento cerâmico necessita ser permeável ao vapor de água para que ocorra o equilíbrio higrométrico entre os ambientes. No caso do sistema de revestimento cerâmico, devido às placas cerâmicas serem impermeáveis, esse equilíbrio ocorre através do rejunte. Entretanto, a maior parte das argamassas de rejunte são permeáveis tanto ao vapor de água quanto a água, sendo válido ressaltar que um dos principais agentes responsáveis pelo surgimento de manifestações patológicas é a água. Conforme Valiati (2009), para que o material tenha as características de ser permeável ao vapor de água e impermeável à água, é necessário que não seja muito compacto ou duro e que não tenha fissuras de retração.

2.5 TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO E SEU USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A termografia por infravermelho é uma técnica de avaliação não destrutiva que possibilita a medição de temperatura e distribuição de calor baseada na detecção da radiação. Essas avaliações podem ser realizadas com o auxílio de câmeras infravermelhas que são capazes de detectar a radiação e gerar uma imagem térmica. Cortizo (2007) define termografia como a percepção da temperatura superficial por meio da emissão da radiação térmica de um corpo.

Segundo Lourenço (2016) a termografia por infravermelho é uma técnica não destrutiva onde uma câmera infravermelha detecta as radiações infravermelhas convertendo os diferentes comprimentos de onda em uma imagem térmica, também denominada de termograma, que exhibe em diferentes cores as variações térmicas da superfície analisada.

Para Silva, Viéguas e Póvoas (2016), o uso de câmera termográfica para ensaios não destrutivos é uma ferramenta eficaz e ágil para detectar manifestações patológicas. Conforme Cortizo (2007) a câmera decodifica a radiação em forma de cor, onde cada cor representa uma temperatura.

Altoé e Filho (2012) consideram a utilização de termografia na inspeção de edifícios uma técnica valiosa, podendo detectar anomalias na estrutura física da edificação de uma forma prática e rápida. Altoé e Filho (2012), Cortizo (2007), Lourenço (2016), apresentaram resultados satisfatórios em seus estudos com a utilização da termografia por infravermelho, sendo possível detectar anomalias e a presença de umidade nos locais inspecionados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

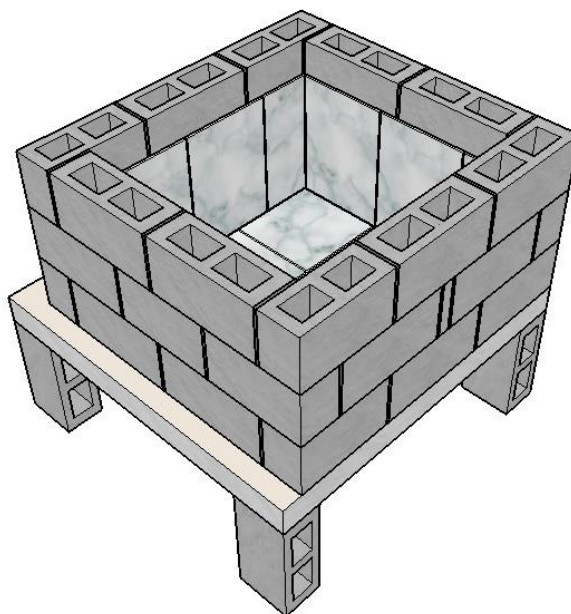
Este capítulo apresenta de maneira detalhada as etapas de desenvolvimento e levantamento de dados deste estudo. O item 3.1 apresenta o modelo experimental utilizado, bem como as fases de execução, os materiais, caracterizações destes e os métodos utilizados para construção do arranjo experimental. No item 3.2 são descritos os três ensaios realizados, estanqueidade à água, permeabilidade ao vapor d'água e resistência de aderência à tração do revestimento cerâmico.

3.1 ETAPA 1 – CONSTRUÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho foi necessário desenvolver um estudo experimental onde fosse possível realizar as avaliações de estanqueidade à água, a permeabilidade ao vapor de água e a resistência de aderência à tração. Para isso optou-se pela construção de quatro caixas em blocos de concreto de alvenaria estrutural, com a intenção de simular um box de banheiro convencional, pois é o ambiente interno com maiores incidências de umidade e vapor de água. A Figura 4 mostra o arranjo experimental criado para os ensaios serem executados.

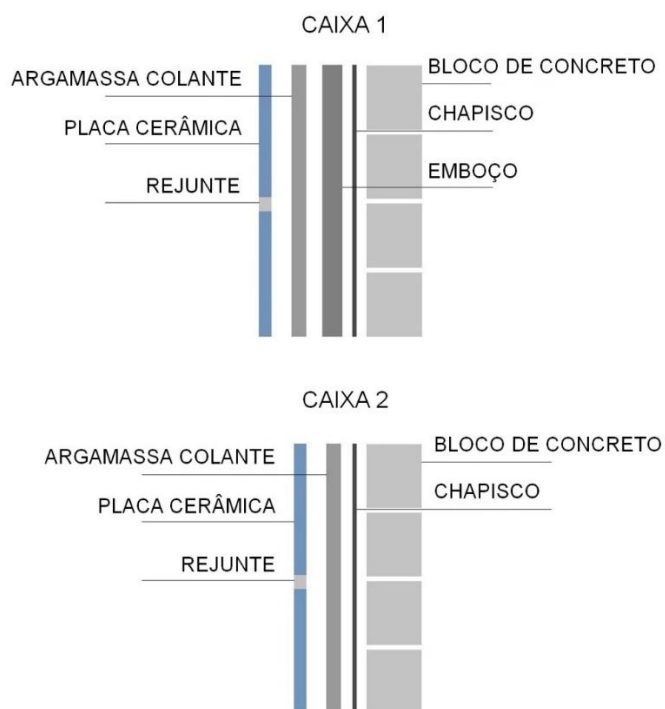
Neste estudo foram utilizados quatro diferentes tipos de substratos para aplicação do revestimento cerâmico, e cada caixa recebeu um tipo de substrato. A escolha desses sistemas foi realizada com base no mais usual na construção civil, como o caso da Caixa 1, que tem as camadas de chapisco e emboço e na Caixa 3, que tem uma camada de impermeabilizante. No mercado da construção civil técnicas não convencionais vem sendo utilizadas, como a aplicação de revestimento cerâmico diretamente no bloco, como a da Caixa 4. Para a Caixa 2 optou-se pela utilização apenas do chapisco com o intuito de avaliar a diferença do desempenho do sistema caso a camada de emboço fosse retirada. Os substratos escolhidos para cada caixa são mostrados nas Figuras 5 e 6.

Figura 4 – Projeto do arranjo experimental



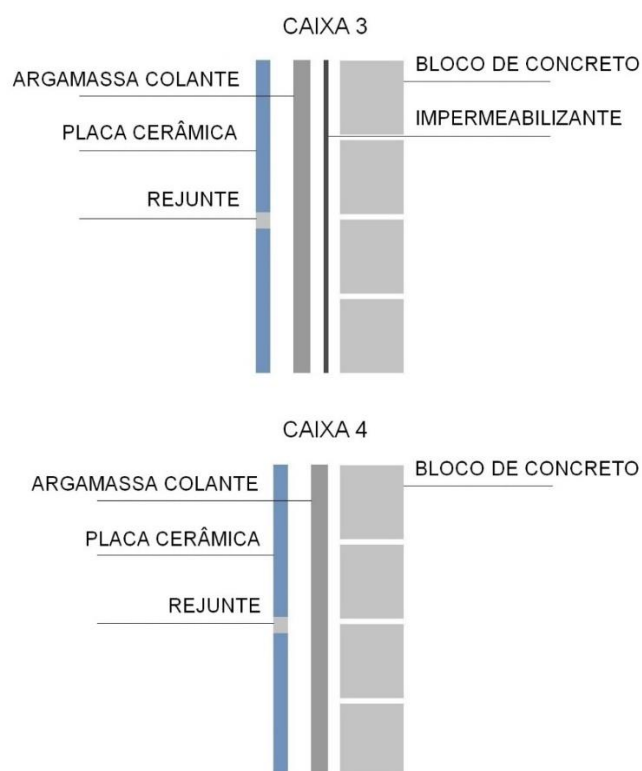
Fonte: Autora.

Figura 5 – Sistema de revestimento da Caixa 1 e Caixa 2



Fonte: Autora.

Figura 6 – Sistema de revestimento da Caixa 3 e Caixa 4

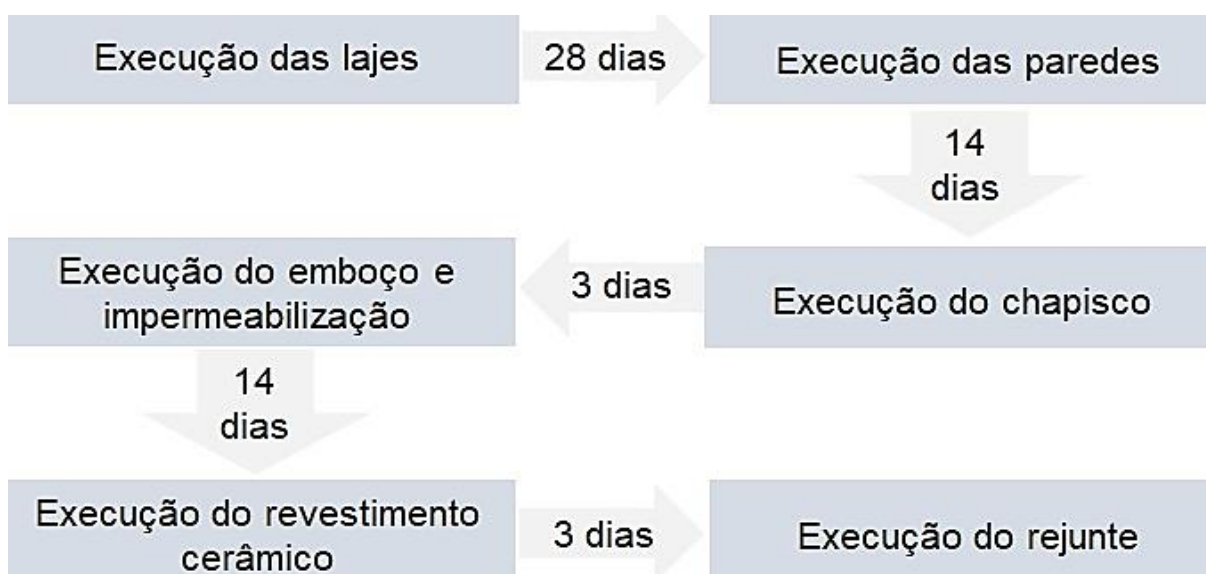


Fonte: Autora.

3.1.1 Construção das caixas

Este item abordará especificadamente cada etapa realizada para a construção dos arranjos experimentais, como a execução das lajes que servem de apoio para as paredes, a construção das mesmas, a execução do chapisco, emboço, impermeabilização, assentamento das placas cerâmicas e rejuntamento. A Figura 7 mostra cada fase da execução do arranjo experimental, juntamente com o tempo de espera entre cada fase.

Figura 7 – Fases de execução do arranjo experimental



Fonte: Autora.

3.1.2 Execução das lajes

Foram construídas quatro lajes maciças em concreto armado com espessura de 7,0 cm e dimensões 120 cm x 120 cm, com função de servir de base para a construção das caixas. Devido à falta de espaço no LMCC as lajes foram construídas em uma obra particular próxima a Universidade Federal de Santa Maria, como mostra a Figura 8. Após 28 dias foram desenformadas e transportadas para o LMCC. As lajes foram executas com concreto industrializado, apresentando os corpos de prova uma resistência à compressão aos 28 dias de 35,6 MPa e 36,11 MPa.

As lajes foram elevadas sobre uma base 40 cm de altura, como mostra a Figura 9, com a finalidade de verificar se ocorreria perda de água através da laje no momento do ensaio de estanqueidade.

Figura 8 – Lajes no dia da concretagem



Fonte: Autora.

Figura 9 – Laje no local definitivo da construção das caixas



Fonte: Autora.

3.1.3 Execução das paredes

Para execução das paredes foram utilizados blocos vazados de concreto específicos para alvenaria estrutural, sendo doados por uma empresa local da cidade de Santa Maria – RS. Empregou-se blocos com dimensões de 39,0 cm x 19,0 cm x 14,0 cm, 34,0 cm x 19,0 cm x 14,0 cm e compensadores de 4,0 cm x 19,0 cm x 14,0 cm. Todas as caixas tinham as mesmas dimensões de 1,14 m x 1,09 m.

A NBR 6136:2016 define como bloco vazado de concreto simples, o bloco com ou sem função estrutural vazado nas faces superior e inferior, sendo a sua área líquida igual ou inferior a 75% da área bruta. Para a caracterização dos blocos de concreto foram realizados os ensaios de análise dimensional, absorção da água, área líquida e resistência à compressão, todos esses definidos pela norma NBR 12118. Os resultados encontram-se nos Anexos A e B.

As paredes foram assentadas sobre as lajes por mão-de-obra profissional e especializada em alvenaria estrutural. Para o assentamento utilizou-se argamassa industrializada específica para alvenaria estrutural com resistência de 6,0 MPa, com juntas de assentamento de 1,0 cm. A quantidade de água utilizada na mistura da argamassa de assentamento ficou no limite da água recomendada pelo fabricante de 4,7 a 5,1 litros por embalagem de 25 kg. Os resultados dos ensaios de flexão e compressão aos sete e 28 dias da argamassa de assentamento estão nos Anexos C e D, respectivamente.

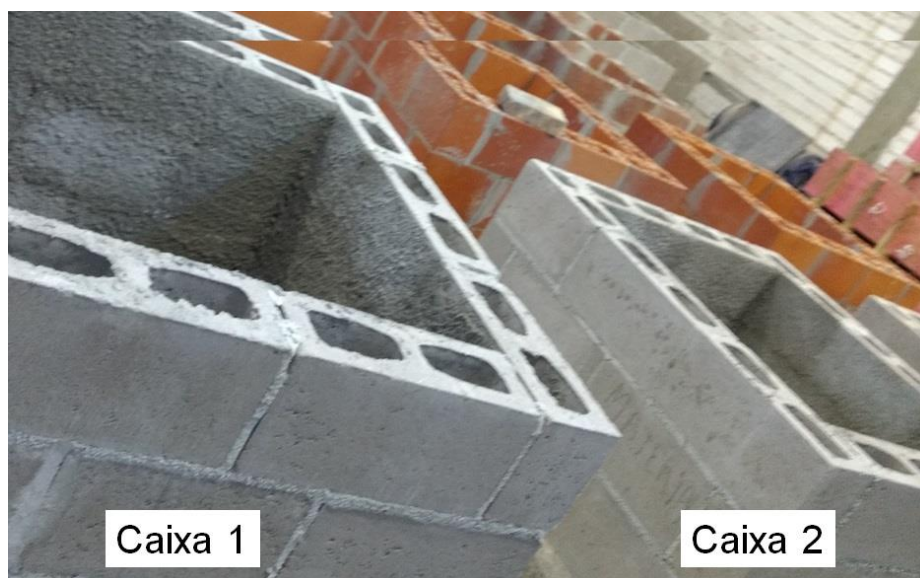
3.1.3.1 Chapisco

Para a aplicação do chapisco, conforme a NBR 7200 (1998), aguardou-se 14 dias após a execução das paredes. A camada de chapisco foi aplicada internamente na Caixa 1 e Caixa 2, sendo executado por mão de obra profissional. Foi realizada uma limpeza prévia das paredes para que partículas sólidas e pó fossem removidos e não interferissem na aderência do chapisco.

Para a argamassa de chapisco utilizou-se o traço recomendado na NBR 13754 (1996) de 1:3 de cimento Portland e areia grossa úmida. A areia grossa foi caracterizada pela NBR 7211 (2009). Os resultados do ensaio da granulometria são apresentados na Tabela 7 e a curva granulométrica da areia grossa consta no Anexo E. O cimento empregado na mistura foi do tipo CPIV-32. Escolheu-se esse tipo por

ser o mais utilizado na região de Santa Maria – RS, sendo de fácil aquisição na cidade. A Figura 10 mostra a Caixa 1 e Caixa 2 com a camada de chapisco já finalizada.

Figura 10 – Execução da camada de chapisco



Fonte: Autora.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de granulometria da areia grossa

Composição Granulométrica – Areia Grossa, NBR 7217							
Peneiras		1º Determinação		2º Determinação			
nº	mm	Massa Retido (g)	% Retida	Massa Retido (g)	% Retida	% Retida Média	% Retida Acumulada
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
1/4"	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
4	4,8	62,3	5,4	43,6	4,0	5	5
8	2,4	76,8	6,7	83,6	7,6	7	12
16	1,2	175,6	15,3	170,2	15,4	15	27
30	0,6	215,9	18,8	212,4	19,3	19	46
50	0,3	456,0	39,7	442,4	40,1	40	86
100	0,15	116,9	10,2	111,5	10,1	10	96
Fundo	<0,15	45,1	3,9	39,1	3,5	4	100
Total		1148,51	100,00	1102,75	100,00	100,00	
Diâmetro Máximo: 4,8 mm				Módulo de Finura: 2,72			

Fonte: Autora.

3.1.3.2 Emboço

Para o emboço optou-se pela utilização do traço de 1:2:8 (cal hidratada : cimento : areia média úmida). Escolheu-se esse traço por ser conforme com a NBR 13754 e por ser usualmente utilizado no mercado da construção civil.

Os materiais utilizados na argamassa de emboço foram caracterizados de acordo com as normas vigentes. A caracterização da areia média foi realizada conforme a NBR 7211. Os resultados do ensaio de granulometria são apresentados na Tabela 8, a curva granulométrica da areia média consta no Anexo E. A cal hidratada utilizada na argamassa foi do tipo CH-II, doada por uma empresa de Caçapava do Sul – RS. O cimento empregado na mistura foi o mesmo utilizado na argamassa de chapisco, o CPIV-32.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de granulometria da areia média

Composição Granulométrica – Areia Média – NBR 7217							
Peneiras		1º Determinação		2º Determinação			
nº	mm	Massa Retido (g)	% Retida	Massa Retido (g)	% Retida	% Retida Média	% Retida Acumulada
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0		0
1/4"	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
4	4,8	4,5	0,4	2,6	0,2	0	0
8	2,4	13,8	1,1	12,5	1,0	1	1
16	1,2	55,9	4,4	55,9	4,3	4	6
30	0,6	264,1	20,6	289,8	22,4	21	27
50	0,3	634,7	49,4	625,3	48,4	49	76
100	0,15	239,9	18,7	234,0	18,1	18	94
Fundo	<0,15	71,9	5,6	71,0	5,5	6	100
Total		1284,94	100,00	1291,12	100,00	100,00	
Diâmetro Máximo: 1,2 mm				Módulo de Finura: 2,05			

Fonte: Autora.

O emboço foi executado na Caixa 1 três dias após a aplicação do chapisco, conforme determinado pela NBR 7200 (1998). Para execução do emboço as paredes da caixa foram levemente molhadas, como exigido por norma, para que ocorresse uma melhor aderência entre a camada de chapisco e a de emboço. A espessura da

camada de emboço foi de 1,5 cm, estando dentro dos limites definidos pela NBR 13749 (2013), que especifica espessuras admissíveis para paredes internas de 0,5 a 2,0 cm.

A imagem (a) da Figura 11 mostra a Caixa 1 na fase de execução da camada de emboço, e na imagem (b) a camada de emboço finalizada. Foram moldados corpos de prova para avaliar a resistência a compressão e flexão da argamassa de emboço e foram executados os ensaios de índice de consistência, retenção de água e absorção de água por capilaridade. Os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de emboço

Ensaio	Resultado
Índice de consistência (mm)	280,33
Absorção de água (g/cm ³)	1,75
Retenção de água (%)	90,0
Coefficiente de capilaridade (g/(dm ³ .min ^{1/2}))	18,48
Resistência à flexão (MPa)	0,90
Resistência à compressão (MPa)	2,10

Fonte: Autora.

Figura 11 – Camada de emboço sendo executada (a), Caixa 1 finalizada (b)



Fonte: Autora.

3.1.3.3 Impermeabilizante

A Caixa 3 recebeu a aplicação de impermeabilizante diretamente nos blocos de concreto, esse procedimento foi executado 18 dias após a construção das paredes. Optou-se pela utilização de um impermeabilizante cimentício rígido, sendo a escolha realizada com base no mais usual no mercado da construção civil. A composição do produto utilizado é cimento Portland, quartzo, cargas minerais e aditivos especiais. É indicado para ser aplicado em blocos de concreto, sendo possível revesti-lo com placas cerâmicas.

Para execução da camada de impermeabilização primeiro foi realizada a limpeza e molhagem das paredes que iriam receber o revestimento cerâmico. Após a limpeza e molhagem foi realizada a mistura do produto com água, nas proporções indicadas pelo fabricante (40% de água), misturando por cinco minutos com o auxílio de um agitador mecânico.

Realizada a mistura esperou-se 15 minutos, conforme instrução do fabricante, procedeu-se a aplicação da mistura sobre a superfície da Caixa 3, que foi aplicada com a ajuda de uma broxa. Foram executadas no total três demãos do produto, para cada demão foi realizada uma nova mistura. As aplicações foram cruzadas, conforme orientações do produto, respeitando o tempo de seis horas entre cada aplicação.

3.1.3.4 Revestimento cerâmico

Para execução do revestimento cerâmico, conforme orientação da NBR 13754 (1996), aguardou-se 14 dias após a camada de emboço ser finalizada na Caixa 1. Embora a Caixa 2, Caixa 3 e Caixa 4 estejam prontas para receber o revestimento cerâmico optou-se por executar o assentamento no mesmo dia em todas as caixas para que todas estivessem submetidas as mesmas condições ambientais, como temperatura e umidade e o preparo da argamassa colante não tivesse variações.

As dimensões da placa cerâmica foram de 32,1 cm x 45,6 cm e 0,66 cm de espessura, do tipo esmaltada (GL) e prensada (B), pertencente ao grupo de absorção IIb (absorção entre 6,0 a 10%), ou seja, semi-poroso.

Para o assentamento das placas cerâmicas utilizou-se argamassa colante tipo AC-I, indicada para o assentamento de placas cerâmicas de até 60 cm x 60 cm em ambientes internos, não tendo nenhuma restrição para banheiros. Foi realizada a dupla colagem, ou seja, tanto o tardoz da placa quanto o substrato receberam uma camada de argamassa colante. A argamassa foi aplicada com desempenadeira, conforme descrito na NBR 13754 (1996), com sentidos contrários entre a placa e o substrato para que ocorresse um melhor preenchimento dos espaços vazios. Na Figura 12 tem-se a aplicação da argamassa colante e os sentidos em que foi aplicada no tardoz e no substrato.

Figura 12 – Aplicação da argamassa colante no substrato (a) e no tardoz (b)



Fonte: Autora.

A mistura da argamassa colante AC-I com água foi executada conforme descrito pelo fabricante, utilizando a quantidade recomendada de aproximadamente 4,2 litros de água por pacote de 20 kg, porém, em várias misturas foi necessário adicionar mais água para alcançar uma melhor trabalhabilidade. Obedeceu-se ao tempo de espera de 15 minutos após a AC-I ser misturada com água para ser executada a colagem da placa no substrato. Nenhuma das misturas teve seu tempo aberto de 2 horas e meia desrespeitado. Os ensaios de caracterização da argamassa colante encontram-se nos Anexos F e G.

Após cada placa ser aplicada no local correto essas foram batidas com um martelo de borracha para que houvesse o correto esmagamento dos cordões de argamassa colante, proporcionando dessa forma um maior contato entre a argamassa colante, a placa e o substrato. Após as paredes receberem as placas cerâmicas iniciou-se a colagem do piso cerâmico, onde utilizou-se a mesma os mesmos materiais do revestimento cerâmico vertical.

3.1.3.5 Rejunte

A vedação das juntas de assentamento das placas cerâmicas foi executada três dias após as placas serem assentadas, conforme recomendação da NBR 13754 (1996). As juntas foram preenchidas com argamassa de rejunte tipo II seguindo as recomendações da NBR 14992-2003, e por ser o mais utilizado no mercado da construção civil.

Foram moldados com a argamassa de rejunte três corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta para execução dos testes de permeabilidade, conforme descrito na NBR 1992-2003. Todos os corpos de prova perderam água. Os resultados desse ensaio são mostrados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Resultado do ensaio de permeabilidade da argamassa de rejunte

Permeabilidade da argamassa de rejuntamento				
Tempo (min)	Coluna d'água (cm ³)			
	CP1	CP2	CP3	Média
Início	0	0	0	0
60	0,75	0,65	0,63	0,68
120	1,65	1,3	1,4	1,45
180	2,4	1,9	2,1	2,13
240	3,15	2,5	2,7	2,78

CP1 – Corpo de prova 1

CP2 – Corpo de prova 2

CP3 – Corpo de prova 3

Fonte: Autora.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa de rejunte

Ensaio	Resultado	Requisito NBR 14992 (Tipo II)
Varição dimensional (mm/m)	0,97	≤ 2,00
Resistência à flexão (MPa)	3,92	≥ 3,00
Resistência à compressão (MPa)	7,57	≥ 10,0
Permeabilidade (cm ³)	2,78	≤ 1,0

Fonte: Autora.

3.2 ETAPA II – PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS

Neste item estão descritos os ensaios utilizados para a avaliação do sistema de revestimento cerâmico quanto a estanqueidade à água, a estanqueidade ao vapor d'água e a resistência de aderência quanto à tração.

3.2.1 Ensaio de estanqueidade à água

Os principais objetivos desse ensaio foram avaliar a permeabilidade da água nos diferentes substratos onde o revestimento cerâmico foi aplicado, e realizar uma

comparação entre os sistemas e verificar qual seria o mais eficaz, apresentando um bom desempenho.

Dividiu-se esse ensaio em duas etapas, numa primeira etapa as caixas foram preenchidas com água em temperatura ambiente e avaliou-se a perda de água nos sistemas. Na segunda etapa as águas das caixas foram aquecidas durante seis horas e com o auxílio de uma câmera térmica foram realizados registros fotográficos de cada parede para se obter uma melhor avaliação das áreas com infiltrações.

3.2.1.1 Etapa I

Para a realização desse ensaio aguardou-se 14 dias após a cerâmica ter sido aplicada em todas as caixas, logo após 14 dias, cada caixa recebeu a mesma quantidade de água, para isso, foram instaladas réguas dentro de cada caixa, para que fosse possível medir a quantidade correta de água a ser colocada, bem como a quantidade de água que os sistemas perderiam no decorrer dos dias. A Figura 13 mostra uma das caixas com a régua instalada.

Figura 13 – Caixa com régua instalada



Fonte: Autora.

As quatro caixas foram preenchidas com água às 17 horas do dia anterior ao início das medições. O preenchimento foi realizado até a marca de 10 cm em todas as caixas. Verificando-se se existiria um ponto de equilíbrio do sistema, onde não houvessem mais vazamentos, optou-se por preencher no terceiro dia de ensaio, às 13 horas, a Caixa 4 com água até o nível de 38 cm.

Foram realizadas as medições durante sete dias, sendo nos quatro primeiros dias foram feitas duas medições, às 9 horas e às 17 horas, e nos três dias restantes apenas a medição das 17 horas foi realizada, pois foi observado que a perda de água nos sistemas estabilizou.

Juntamente com as medições dos níveis da água, foram registrados a temperatura e a umidade do ambiente. Os registros fotográficos das paredes de caixa foram realizados com a intenção de verificar os pontos mais suscetíveis a infiltrações. Todos esses dados e registros fotográficos são apresentados no Capítulo 4.

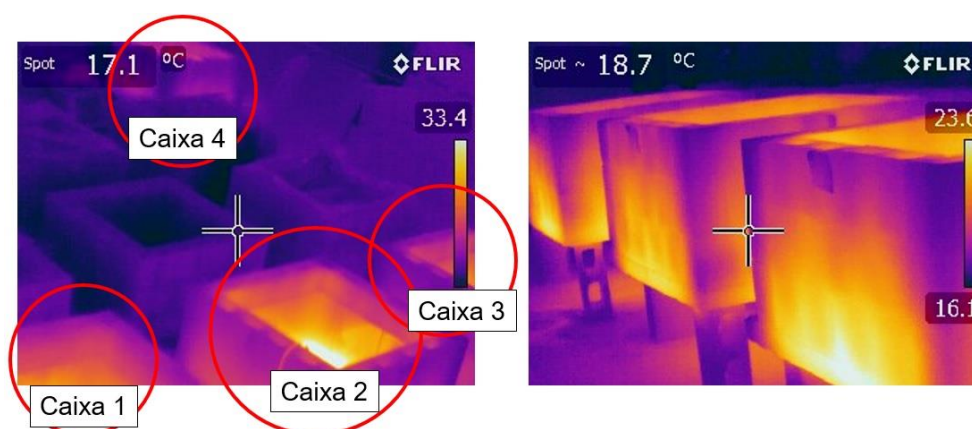
3.2.1.2 Etapa II

Com a intenção de obter uma melhor avaliação da estanqueidade dos sistemas buscou-se uma maneira de avaliar os pontos de perda de água e as regiões mais suscetíveis a futuras infiltrações. Conforme a literatura, ensaios com o auxílio da termografia vindo sendo realizados ao longo dos anos, e têm se mostrado uma boa ferramenta para avaliação das manifestações patológicas dos revestimentos, por essa razão, e por não ser um ensaio destrutivo, optou-se pela utilização dessa técnica.

Para essa avaliação foi utilizada uma câmera infravermelha modelo FLIR T440, e com o auxílio do *software* FLIR tools foi possível tratar as imagens térmicas geradas e analisar a temperatura nos locais desejados.

Em um primeiro instante foram realizados registros térmicos em todas as faces externas das caixas contendo água em temperatura ambiente. Realizado esse procedimento, todas as caixas tiveram suas águas aquecidas simultaneamente durante oito horas, como mostra a Figura 14. Após as oito horas de aquecimento quando as temperaturas chegaram a aproximadamente 50°C, foram realizados novamente os registros térmicos de todas as faces das caixas. Esses registros e análises estão mostrados no Capítulo 4.

Figura 14 – As quatro caixas sendo aquecidas simultaneamente

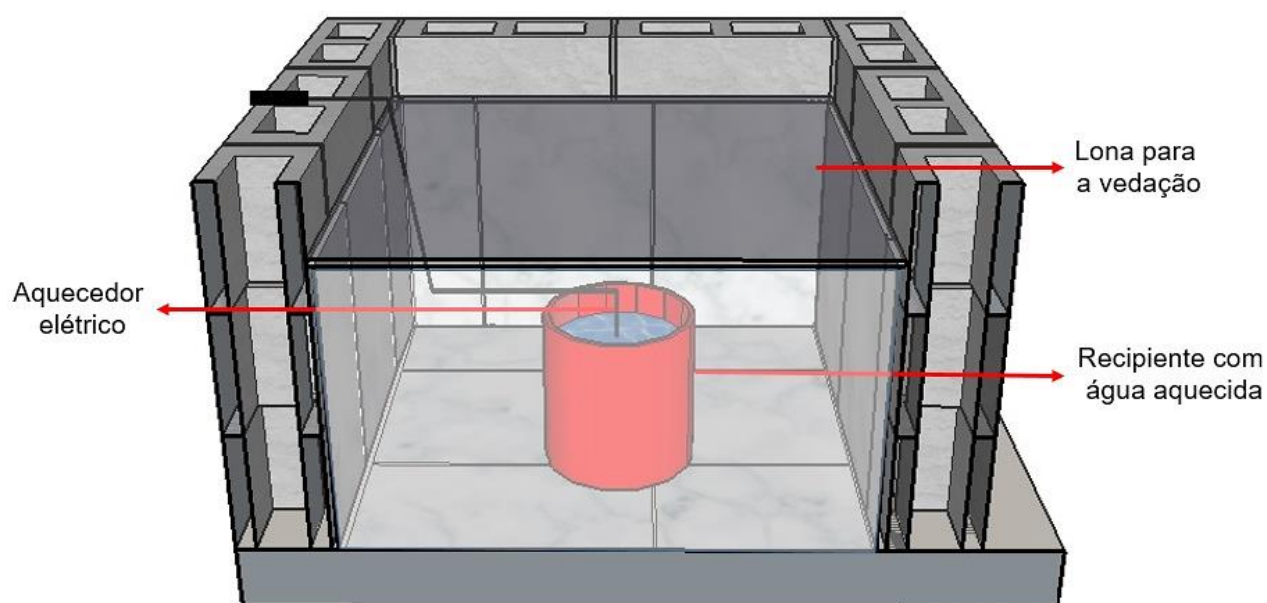


Fonte: Autora.

3.2.2 Ensaio de estanqueidade ao vapor da água

Devido ao banheiro ter incidências diárias de água e vapor de água, torna-se necessária a avaliação desses sistemas frente ao vapor. Buscando por identificar o comportamento de cada um dos sistemas, criou-se um ambiente dentro das caixas que gerasse vapor de água continuamente durante seis horas. Para isso, colocou-se baldes com água quente juntamente com um aquecedor de água elétrico dentro de cada sistema. A vedação das caixas (para que o vapor não se dissipasse no ambiente) foi realizada com a ajuda de uma lona plástica cobrindo o topo da caixa, a Figura 15 ilustra o modelo experimental utilizado nesse ensaio.

Figura 15 – Arranjo experimental para o ensaio de permeabilidade



Fonte: Autora.

Para execução desse ensaio, as caixas foram esvaziadas e aguardou-se 14 dias até que todas estivessem secas e sem manchas externas de umidade. Pois além de avaliar as variações térmicas em cada caixa, buscou-se por manchas externas que pudessem ter sido geradas pelo vapor de água, por essa razão as caixas necessitavam ficar totalmente secas e sem manchas antigas de umidade.

Após a secagem deu-se início ao ensaio, no primeiro momento, ainda com as caixas em temperatura ambiente e sem geração de vapor, foram realizados os registros fotográficos e registros termográfico das faces externas de cada caixa. Após esta essa procedeu-se com a geração de vapor de água em cada caixa. Com a diminuição do nível de água os recipientes eram preenchidos novamente com água quente. As caixas tiveram atuação do vapor durante aproximadamente seis horas, chegando a uma temperatura interna de 50°C.

Após as seis horas de constante geração de vapor, novamente foram realizados registros fotográficos e térmicos a procura de manchas de umidade nas faces externas, e de uma melhor avaliação e comparação das temperaturas das faces externas de cada sistema. Esses resultados estão apresentados no item 4.3 do capítulo 4. Todas as caixas foram ensaiadas simultaneamente uma vez que as superfícies tiveram variações térmicas devido as condições ambientais, como a

variação de temperatura e umidade relativa do ar, isso afetaria os resultados caso o ensaio fosse realizado em dias distintos em cada caixa.

3.2.3 Ensaio da resistência da aderência à tração

Segundo definição da NBR 14081-4:2012 o ensaio de resistência de aderência à tração para argamassa colante deve ser realizado com amostras quadradas de 50mm de lado, no entanto, pela dificuldade em acessar o interior das caixas e realizar os cortes, optou-se por executar o ensaio descrito na NBR 13528:2010, onde as amostras são circulares, de 50 mm de diâmetro.

O ensaio de arrancamento foi executado 233 dias após o assentamento do revestimento cerâmico. Para o corte das placas utilizou-se uma serra copo de 50 mm até alcançar profundidade do bloco de concreto. Para colagem das pastilhas utilizou-se a cola especificada na NBR 13528:2010 e a superfície estava livre de sujeira e poeira. Foram ensaiados 12 pontos em cada sistema, sendo três amostras por parede em alturas variadas, como é mostrado na Figura 16. A Figura 17 mostra o momento do arrancamento de uma amostra da Caixa 1.

Figura 16 – Caixa 1 com as pastilhas já coladas, pronta para ser ensaiada



Fonte: Autora.

Figura 17 – Ensaio de resistência à tração sendo executado na Caixa 1



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS

As avaliações e resultados dos quatro sistemas estudados nos ensaios de estanqueidade, permeabilidade ao vapor de água e resistência de aderência à tração, encontram-se expostos neste capítulo, divididos por ensaios nos itens 4.1 ao 4.3.

4.1 ETAPA I - ENSAIO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA FRIA

Embora todos os sistemas tenham apresentado infiltrações, a principal diferença entre eles foi a quantidade de água perdida, a Tabela 10 mostra essa quantidade, onde observa-se a quantidade inicial de água em cada caixa juntamente com a perda de água que cada sistema teve no final dos sete dias de ensaio. A Figura 18 mostra os gráficos das variações dos níveis de água em cada um dos sistemas durante os sete dias de ensaio.

Tabela 12 – Quantidade de água inicial e final em cada sistema

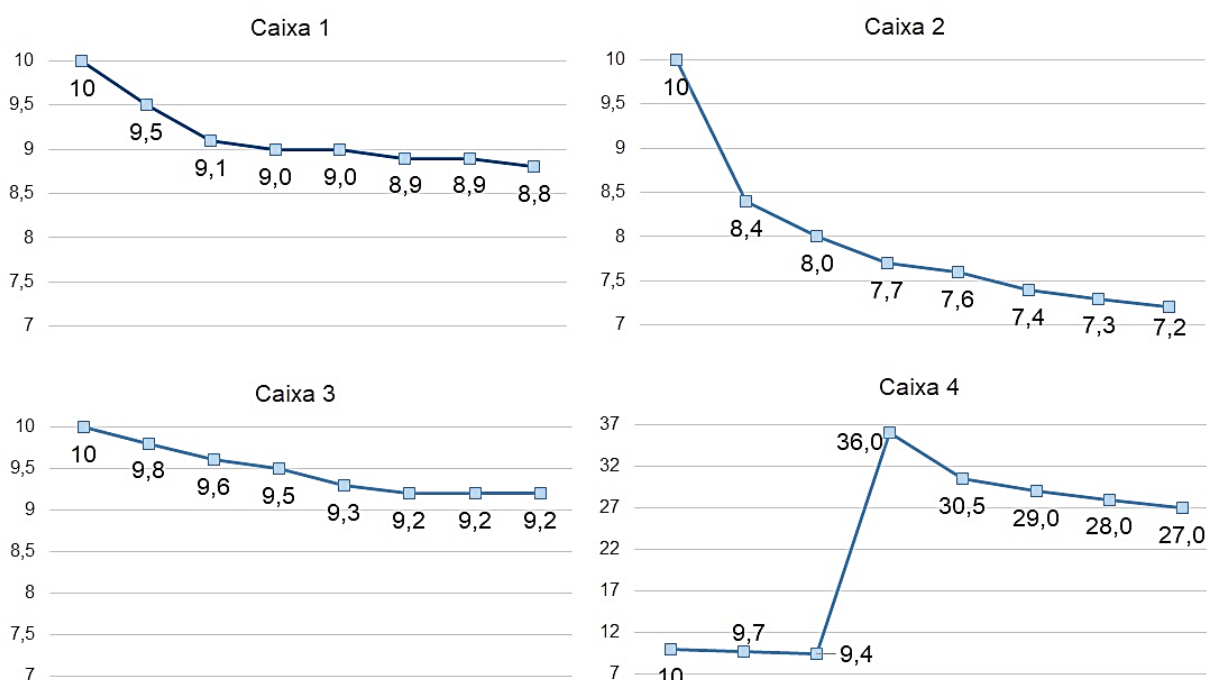
Registro da quantidade de água de cada sistema				
Sistema	Volume de água (litros)			% Perdida
	Inicial	Final	Perdida	
1	66,5	58,4	8,1	12,2
2	66,5	47,8	18,7	28,1
3	70,0	64,1	5,9	8,4
4	70,0	64,9	68,0	26,6
	251,0	188,1		

Fonte: Autora.

Como mostram os gráficos da Figura 18, juntamente com os dados da Tabela 10. A caixa que apresentou o pior desempenho e maior perda de água foi a Caixa 2, seguida pelas Caixas 4, 1 e 2. Nota-se que existem duas etapas distintas no processo de perda de água, onde na primeira fase (primeiros dias) ocorre a maior perda de água e numa segunda fase (restante dos dias de ensaio), essa perda é reduzida consideravelmente. Ressalta-se, que o pico de 36 cm no gráfico da Caixa 3 deve-se ao preenchimento da caixa com mais água no 4º dia.

Para uma melhor compreensão e facilidade de entendimento optou-se por avaliar cada caixa separadamente, os resultados dessas avaliações são apresentados nos itens 4.1.1 ao 4.1.4.

Figura 18 – Níveis de água de cada sistema no decorrer dos dias de ensaio

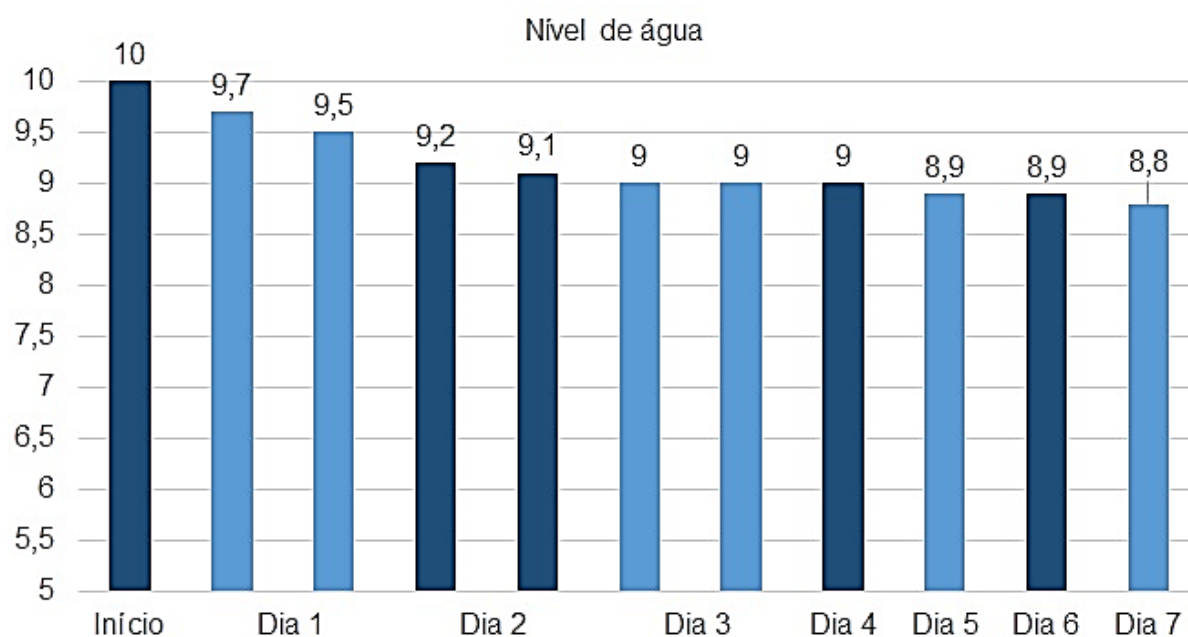


Fonte: Autora.

4.1.1 Resultados Caixa 1

A Caixa 1 tem o sistema “clássico” de revestimento cerâmico, formado pelas camadas de base, chapisco, emboço, argamassa colante e revestimento cerâmico. Constatou-se uma diminuição de 1,2 cm do nível total, o que representa uma redução de aproximadamente 12,2% (8,1 litros) do volume total. O Gráfico 1 mostra a redução do nível de água do sistema ao longo dos dias de ensaio.

Gráfico 1 – Nível da água no decorrer do ensaio



Fonte: Autora.

No Gráfico 1 verifica-se que a perda maior de água deu-se nos dois primeiros dias, onde houve uma redução de 5,97 litros, ou seja, 75% do volume total de água perdida. Do terceiro para o quarto dia o nível permaneceu constante. Houve uma redução de 0,1cm do nível do quarto para o quinto dia, o que representa 0,66 litros, 8,3% da perda total de água. No quinto e sexto dia esse comportamento mostrou-se estável, ocorrendo outra perda de água de 0,66 litros sexto para o sétimo dia.

Acredita-se que a maior perda de água ocorreu nos primeiros dias, pois os poros do sistema ainda estavam praticamente vazios, o que contribui e facilita a passagem de água. Por essa razão com o passar do tempo a perda de água começa a diminuir, pois os poros começam a ficar saturados.

Embora a perda de água no sistema tenha ocorrido desde o primeiro dia de ensaio, apenas no segundo dia as manchas de umidade começaram a se manifestar na face externa das paredes “A” e “B”, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Primeiras manchas de vazamentos nas faces externas da Caixa 1



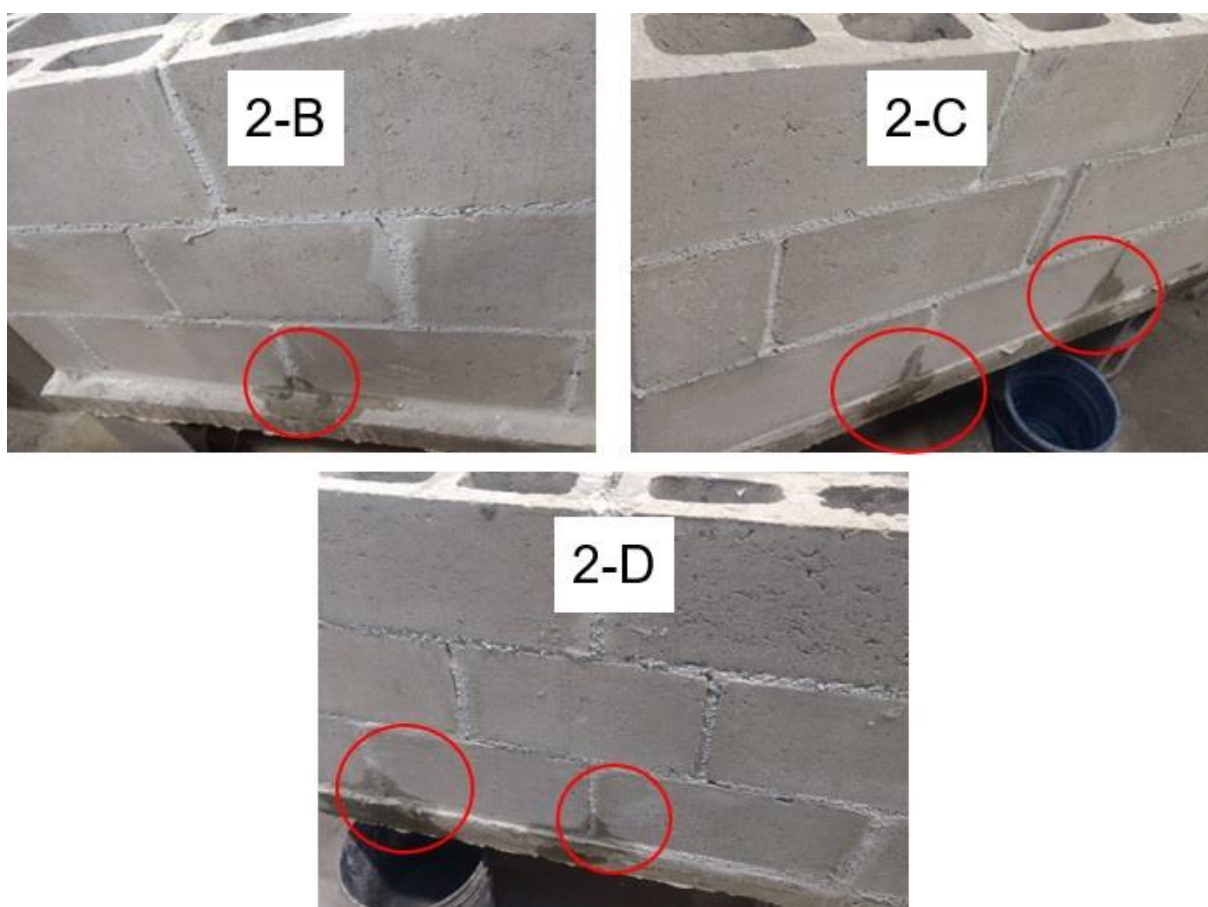
Fonte: Autora.

Buscou-se por falhas no rejunte que pudessem ter causado tais infiltrações ou alguma falha nas placas cerâmicas, mas não foi encontrada nenhuma falha visível a olho nu. A hipótese que a passagem de água se deu pelo rejunte é a mais provável, pois como verificado no ensaio de permeabilidade, esse não se mostrou impermeável.

4.1.2 Resultados Caixa 2

O sistema da Caixa 2 foi composto pelas camadas de base, chapisco, argamassa colante e placa cerâmica. Os primeiros vazamentos de água foram observados uma hora após a caixa ser preenchida com água, como mostra a Figura 20.

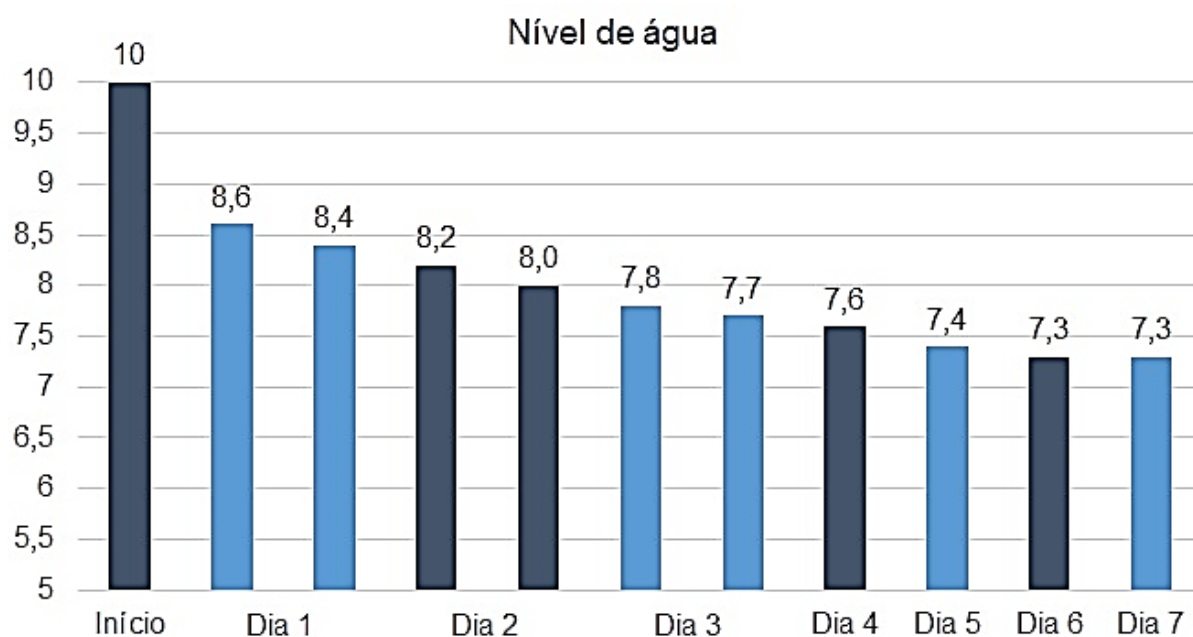
Figura 20 – Primeiras manchas de vazamentos nas faces externas da Caixa 2



Fonte: Autora.

O Gráfico 2 mostra os níveis de água no decorrer dos dias de ensaio. Desde o dia do enchimento até o último dia de ensaio houve uma redução de 18,7 litros, o que representa aproximadamente 28% do volume total de água. Novamente, como pode ser observado no Gráfico 2, as maiores perdas de água ocorreram nos primeiros dias de ensaio, e no último dia de ensaio não houve nenhuma redução de volume.

Gráfico 2 – Nível da água no decorrer do ensaio

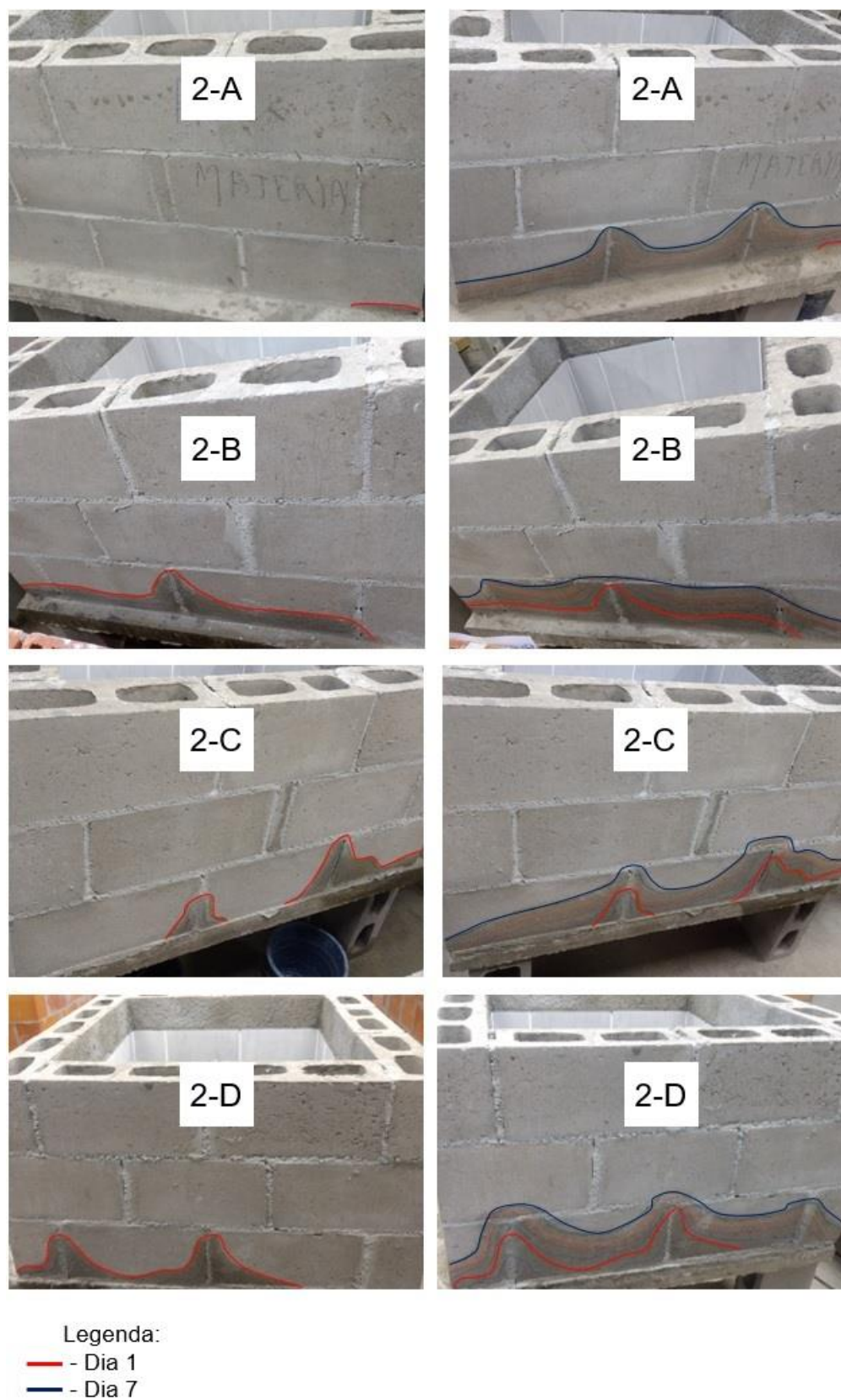


Fonte: Autora.

Com o passar dos dias e com os vazamentos ainda ocorrendo as manchas de umidade, formadas nas faces externas das caixas, foram aumentando de tamanho, como mostrado na Figura 21. Buscou-se por diferenças e falhas nas paredes que pudessem ter resultado em um maior vazamento, no entanto, todas as faces internas eram iguais, não apresentando falhas no rejunte visíveis a olho nu, ou peças cerâmicas danificadas.

Os locais de maior infiltração, umidade e perda de água foram as juntas de assentamento dos blocos, principalmente as juntas verticais, e as maiores perdas de água ocorreram nos primeiros dias de ensaio. Segundo Santos (1998), as juntas de assentamento criam pontes de passagem de umidade, levando dessa maneira a água até a face externa da caixa.

Figura 21 – Evolução das manchas de umidade na Caixa 2



Fonte: Autora.

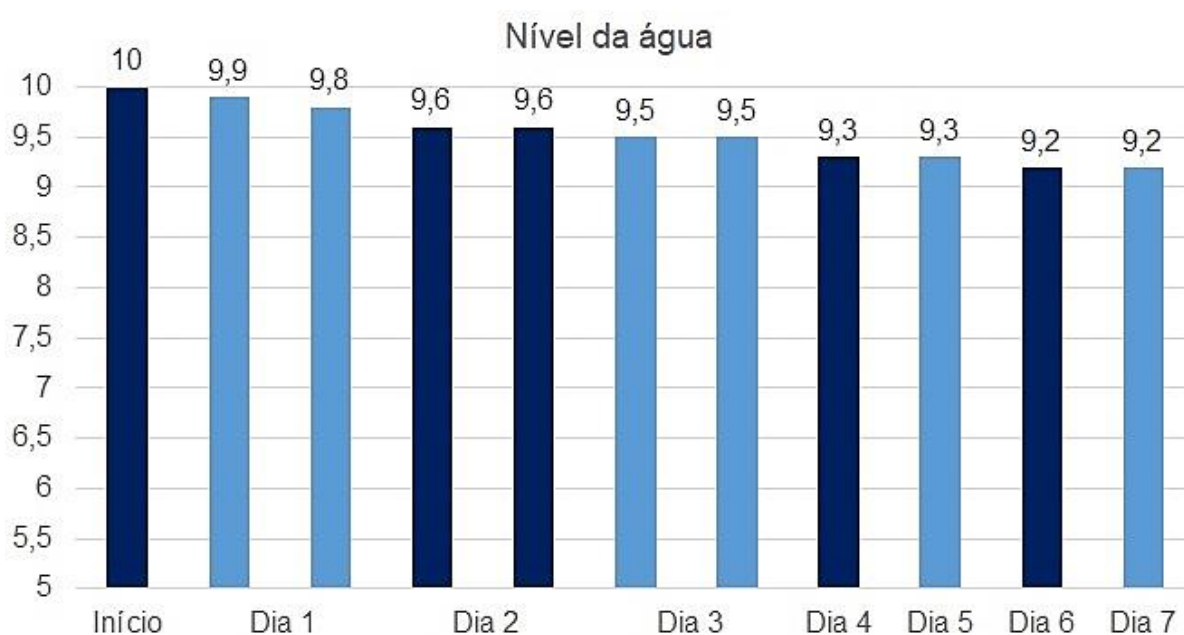
4.1.3 Resultados Caixa 3

O sistema apresentou um bom desempenho frente à água quando comparado com os demais, porém, mesmo com três demãos de impermeabilizante ocorreram infiltrações e uma perda total de 5,9 litros de água, o que representa 8,4% da água total do sistema.

O Gráfico 3 traz os resultados das medições dos níveis de água nos sete dias de ensaio, observa-se a pequena variação de nível no sistema. No quarto dia houve um aumento na perda de água quando comparado ao terceiro dia. Esse comportamento ocorreu devido às infiltrações da caixa. Nesse dia foram registrados os três primeiros pontos de perda de água, como mostra a Figura 22.

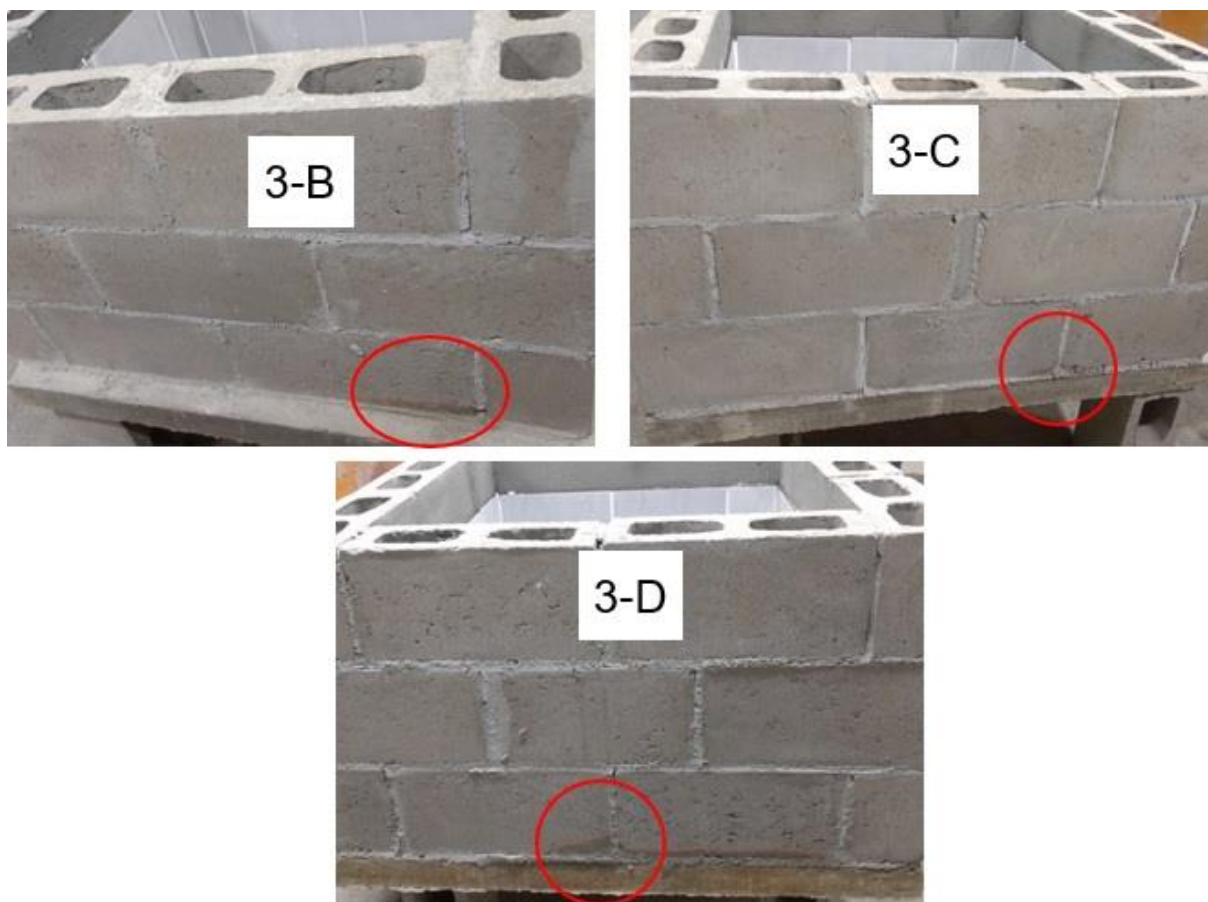
As primeiras manchas de umidade ocorreram no quarto dia nas faces B, C e D, e no quinto dia os pontos de vazamento das faces B e D estavam estancados e por fim no sexto dia o vazamento da face C estancou. Esses dados condizem com o Gráfico 3, onde observa-se que não ocorreram mais variações de nível a partir do 6º dia.

Gráfico 3 – Nível de água da Caixa 3 no decorrer dos dias de ensaio



Fonte: Autora.

Figura 22 – Primeiras manchas de vazamentos nas faces externas da Caixa 3



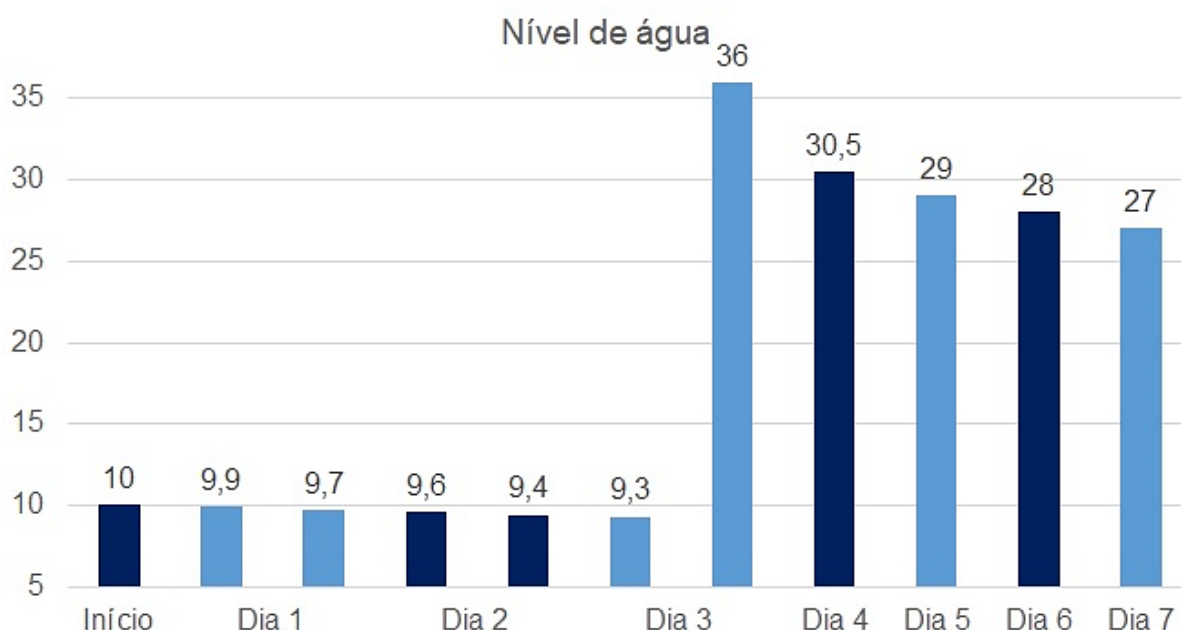
Fonte: Autora.

4.1.4 Resultados Caixa 4

O sistema da caixa 4, onde o assentamento da placa cerâmica foi executado diretamente no bloco de concreto, é muito utilizado no mercado da construção civil, no entanto, os resultados do ensaio de estanqueidade comprovam que esse sistema não atende aos requisitos exigidos pela NBR 15575-1 (2013).

Como verificado nos demais sistemas a porcentagem de água perdida foi diminuindo ao longo dos dias. No terceiro dia, às 17 horas a caixa foi preenchida com mais 186,1 litros de água, ficando com um total 251,0 litros, chegando ao nível de 36 cm, como pode ser observado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Nível de água da Caixa 4 no decorrer dos dias de ensaio



Fonte: Autora.

Devido à pressão hidrostática o nível de água diminuiu com uma maior velocidade, como pode ser verificado no Gráfico 4. O comportamento foi semelhante aos resultados apresentados pelas demais caixas, onde as maiores perdas ocorreram nos primeiros dias. A Figura 23 mostra os pontos de vazamentos ocorridos nos três primeiros dias de ensaio. O primeiro vazamento ocorreu na face B na manhã do primeiro dia de ensaio.

Cabe ressaltar que o procedimento de preencher a caixa até o nível de 36 cm foi realizado com a intenção de buscar um ponto de equilíbrio onde o sistema se tornaria estanque. Porém, com o decréscimo na perda de água ao longo dos dias de ensaio, o ponto de equilíbrio não foi atingido e as infiltrações continuaram. A Figura 24 mostra as manchas de umidade no último dia de ensaio, Nas imagens verifica-se que os pontos mais suscetíveis a infiltrações foram as juntas horizontais de assentamento estrutural.

Figura 23 – Primeiros vazamentos na Caixa 4

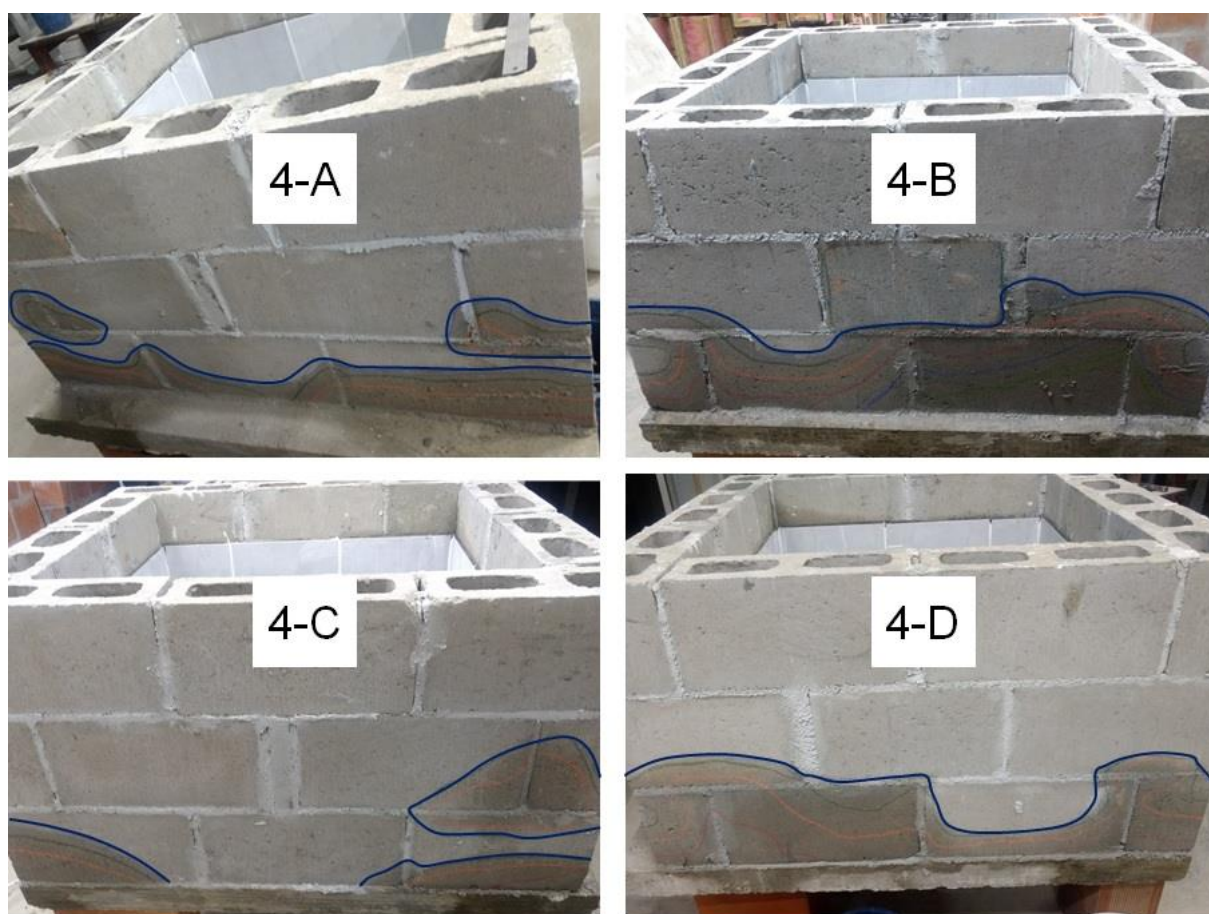


Legenda:

- - Dia 1
- - Dia 2
- - Dia 3

Fonte: Autora.

Figura 24 – Evolução das manchas após o preenchimento com mais água



Legenda:
— - Dia 7

Fonte: Autora.

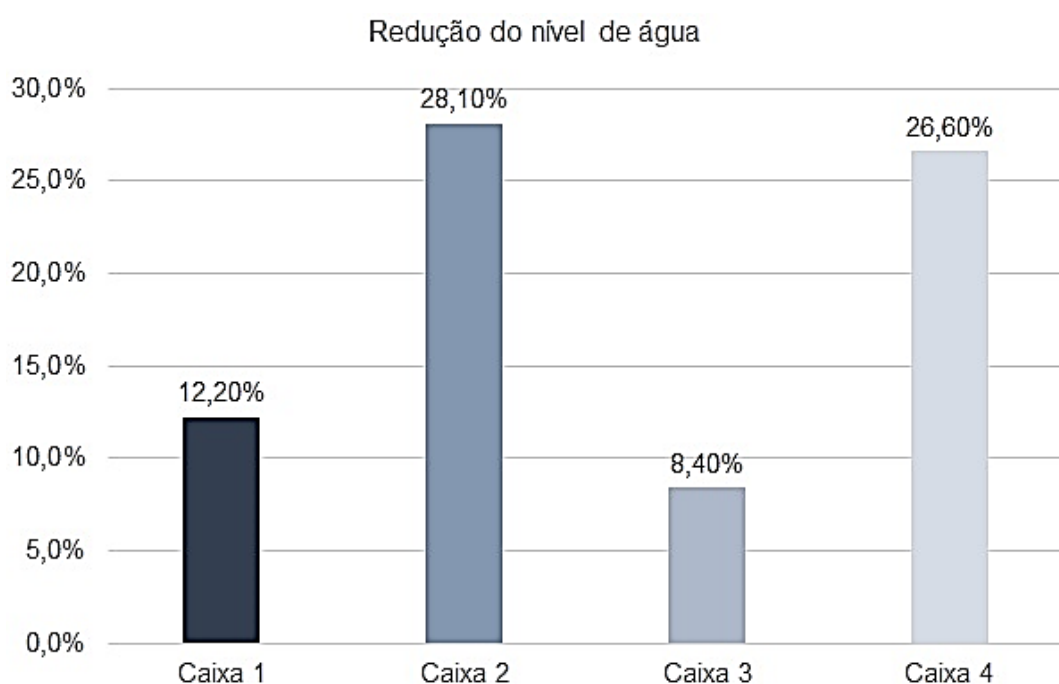
Com os resultados desse ensaio conclui-se que nenhum dos sistemas apresentou um bom desempenho frente à água, em todos os casos ocorreram infiltrações. Acredita-se que a passagem de água inicial tenha ocorrido através do rejunte, pois esse não se mostrou impermeável no ensaio de permeabilidade, e não foram constatadas fissuras ou defeitos na argamassa de rejunte e na placa cerâmica que pudessem ter influenciado na infiltração de água.

A Caixa 2 apresentou o pior desempenho em comparação com os demais sistemas, apresentando a maior perda de água. A camada de chapisco foi a principal responsável pela grande perda de água, essa camada tornou a superfície muito irregular, e no assentamento das placas cerâmicas, devido à grande irregularidade da

superfície muitos espaços vazios foram formados entre o tardez da placa cerâmica e a camada de chapisco, criando caminhos para passagem da água.

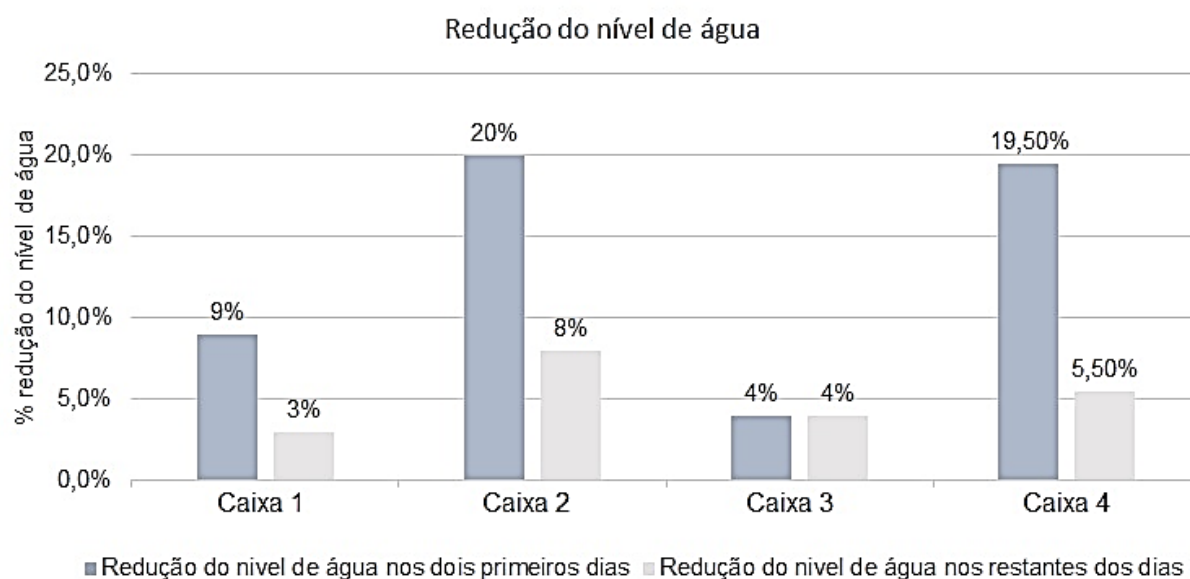
As porcentagens de perda de água em cada sistema estão detalhadas no Gráfico 5. A Caixa 2 apresentou o pior desempenho, seguida pela Caixa 4, Caixa 1 e Caixa 3. O Gráfico 6 da apresenta uma comparação com a porcentagem de perda de água dos dois primeiros dias de ensaio com os dias restantes. A comparação da Caixa 4 foi realizada com a partir do terceiro dia, com o nível inicial de 36 cm. Fica evidente o comportamento de maior perda de água nos dias iniciais dos ensaios.

Gráfico 5 – Redução de água em cada sistema



Fonte: Autora.

Gráfico 6 – Comparação da redução de água durante os dias de ensaio



Fonte: Autora.

4.2 ETAPA II – ENSAIO DE ESTANQUEIDADE COM ÁGUA QUENTE

Nesta etapa II do ensaio os sistemas foram avaliados estando preenchidos com água quente. Com o auxílio de uma câmera infravermelha foram registradas as faces externas de cada caixa quando a temperatura da água ainda estava fria, e após seis horas de aquecimento contínuo da água de cada caixa.

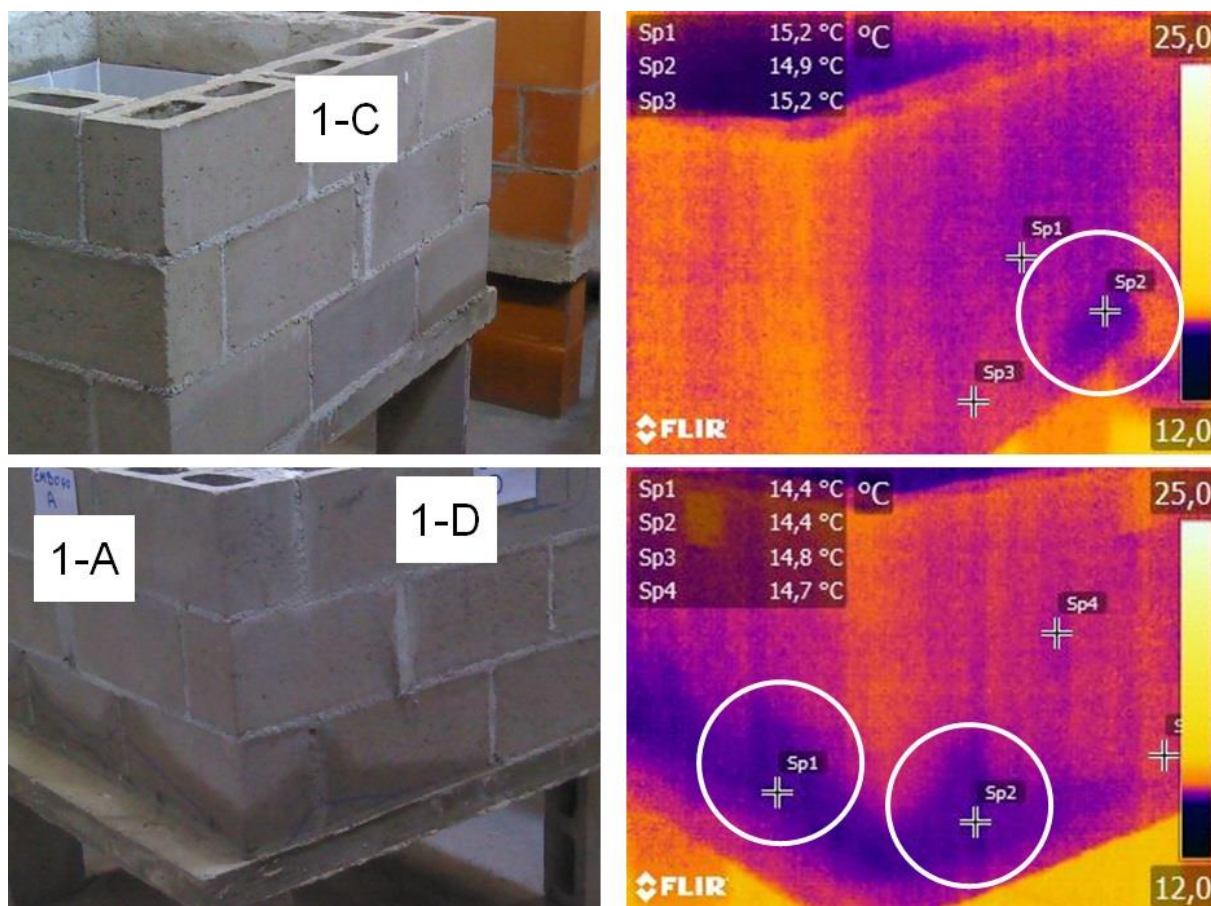
Com as fotografias térmicas foi possível verificar os pontos de maior umidade dos sistemas. O objetivo desse ensaio consistia em avaliar se existiriam outros locais de infiltrações, mas que ainda não teriam atravessado a parede externa dos blocos de concreto. Com o ensaio também foi possível verificar a diferença de temperaturas das paredes externas em cada caixa, e verificar a variação de temperatura existente em cada sistema. Essas avaliações estão descritas nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

4.2.1 Resultados Caixa 1

As imagens da Figura 25 foram obtidas no início do ensaio com a água ainda fria. Nessas imagens verifica-se que os locais onde existem manchas de umidade apresentam temperaturas mais baixas que as demais partes do sistema, como são os

casos dos pontos Sp2 da face C, Sp1 da face A e Sp2 da face D. As manchas de umidade ficam nitidamente mapeadas nas imagens térmicas.

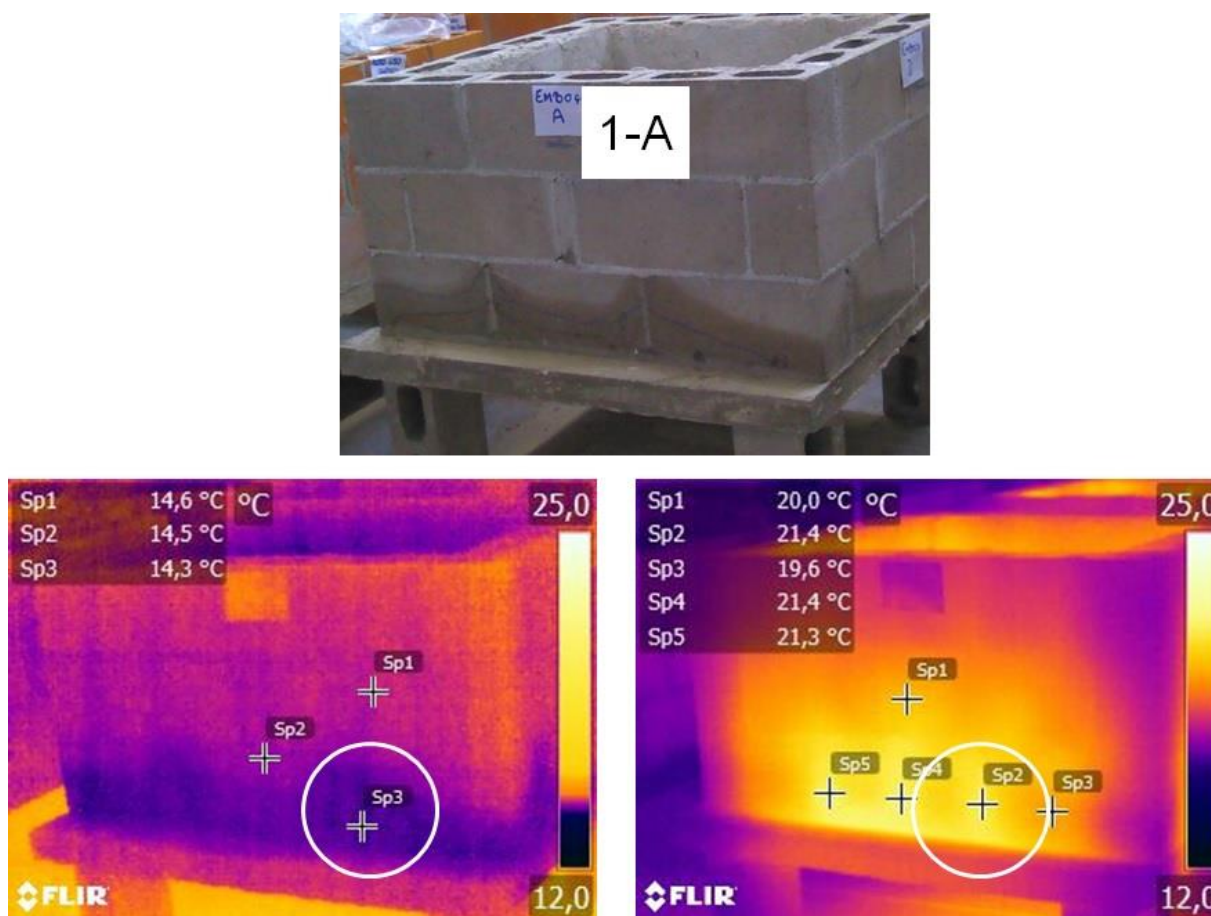
Figura 25 – Fotos térmicas com a água ainda fria



Fonte: Autora.

A Figura 26 mostra os registros térmicos da mesma face antes do aquecimento da água e após. Nos locais de maior umidade foram registradas as temperaturas extremas, como é o caso dos pontos Sp3 no ensaio com água fria, e o ponto Sp2 no ensaio com água quente, que apresentaram, respectivamente, as temperaturas de 14,3 °C e 21,4 °C.

Figura 26 – Comparação dos ensaios de água fria e água quente



Fonte: Autora.

Com esse ensaio outra hipótese pode ser considerada, a de que os pontos de maior umidade do sistema e de maior temperatura foram as juntas de assentamento, tanto verticais quanto horizontais, e as paredes do bloco, tanto as paredes externas quanto a interna. Esse comportamento foi verificado na caixa com a água já aquecida, onde os locais com temperaturas mais elevadas, Sp3 na face D e Sp1 na face B, foram as juntas de assentamento, como pode ser observado na imagem térmica da Figura 27.

Figura 27 – Registro de temperatura nas juntas de assentamento



Fonte: Autora.

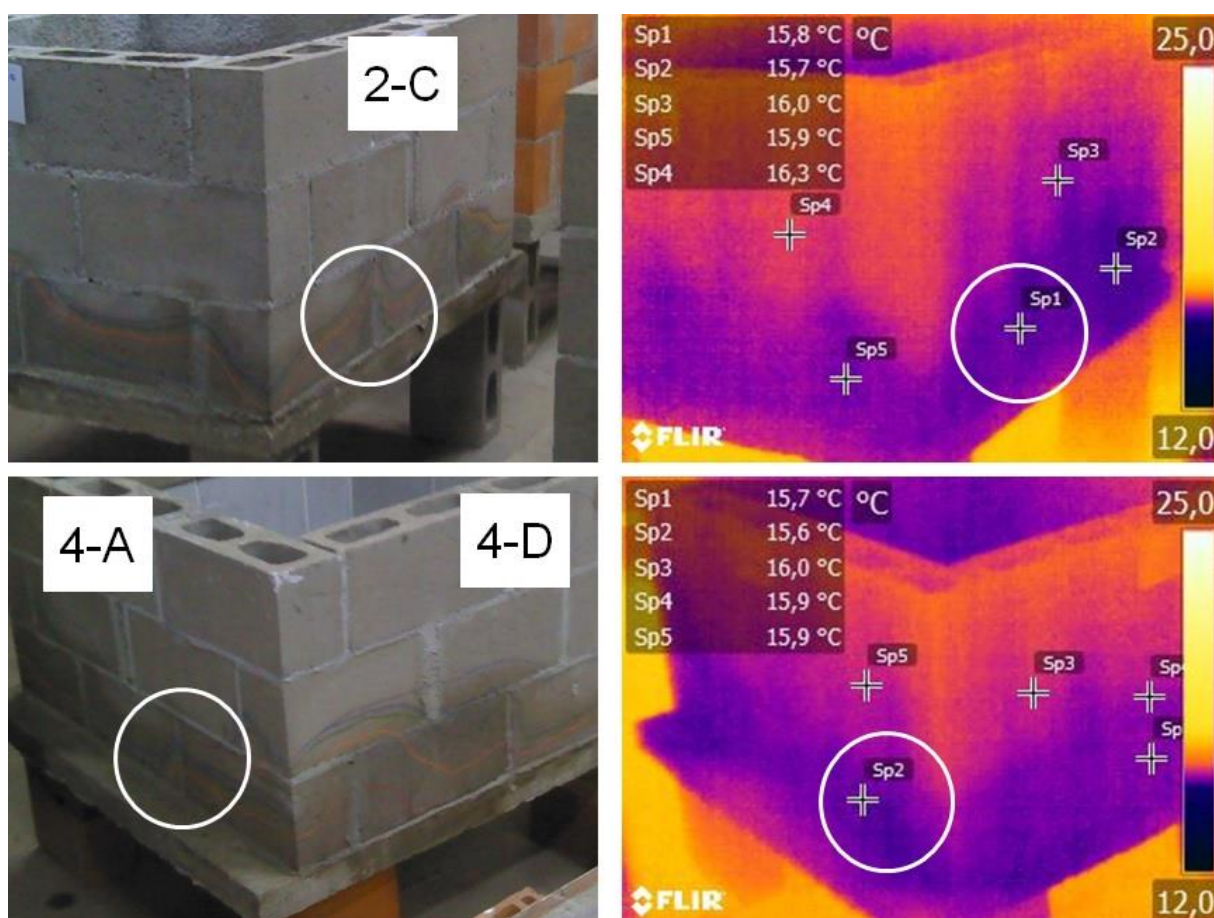
Uma das hipóteses do porquê as juntas de assentamento terem maiores temperaturas que as demais partes do sistema, deve-se ao fato de que esses locais apresentam uma continuidade de material e poros por onde a água pode percorrer, ou seja, após a água infiltrar através do rejunte e da argamassa colante e chegar na face do bloco e nas juntas de assentamento, a água é levada para o exterior através dos poros desses materiais. Outra razão é que devido a essa continuidade de material a transferência de calor ocorre por condução através das juntas e das paredes do bloco.

4.2.2 Resultados das Caixa 2, Caixa 3 e Caixa 4

Devido aos sistemas das Caixas 2, 3 e 4 apresentarem o mesmo comportamento da Caixa 1, os resultados desses sistemas não foram tratados individualmente como foi realizado com a Caixa 1. Este item traz os resultados mais relevantes do ensaio de água quente em cada sistema, como os locais de maior umidade, infiltrações e variações de temperatura.

Como mostram as fotografias térmicas com água fria da Figura 28, novamente os locais com maiores manchas de umidade foram os que registraram menores temperaturas. As análises entre a temperatura e umidade com água fria não puderam ser realizadas na Caixa 3, pois as manchas externas de umidade já haviam secado e registros termográficos não ficaram nítidos.

Figura 28 – Locais com maior umidade e menor temperatura

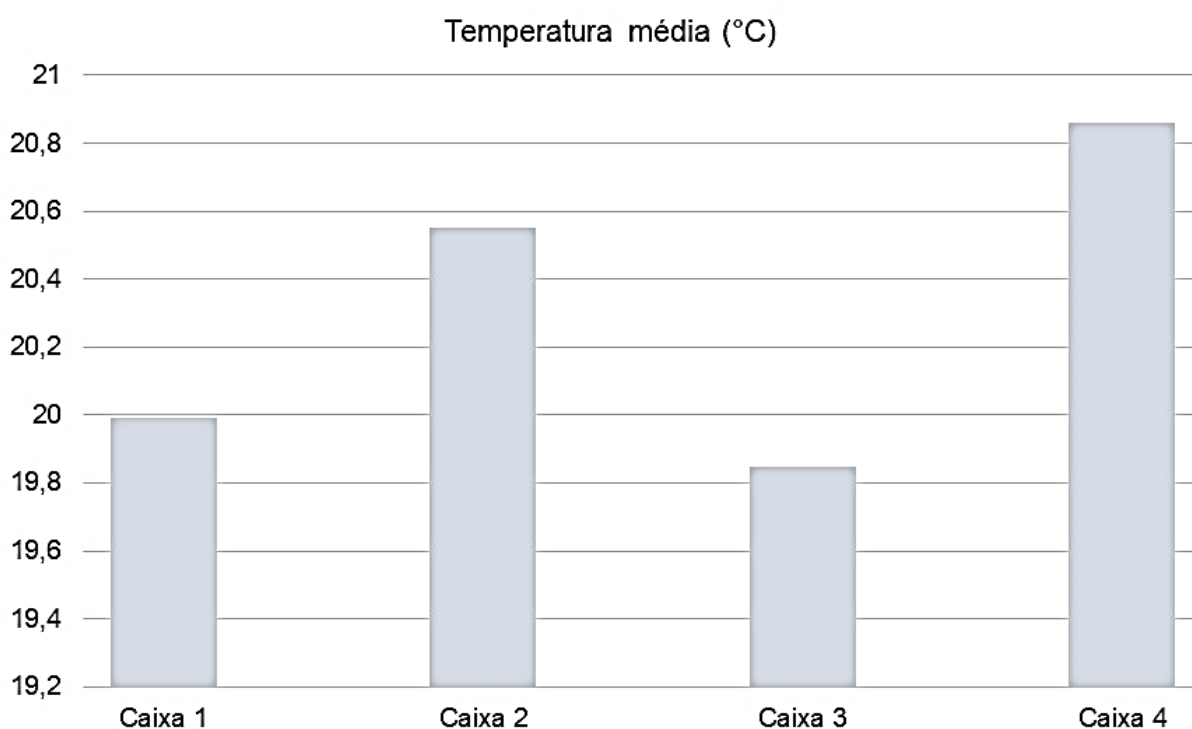


Fonte: Autora.

Com base nos dados do Gráfico 7 onde foi verificada a temperatura de 20 pontos aleatórios nas faces A e D de cada caixa com água quente e montado o gráfico com a média das temperaturas. Verifica-se que a Caixa 3 teve as menores variações de temperatura, com uma temperatura média de 19,8 °C, enquanto a Caixa 4 apresentou uma média de temperatura de 20,9 °C. A maior variação de temperatura da Caixa 4 deve-se a elevada umidade interna das paredes desse sistema. As imagens térmicas dessa análise constam no Anexo H.

Quanto maior foi a perda de água registrada nos sistemas maior foi a variação de temperatura, por essa razão a Caixa 3 apresentou a menor variação de temperatura. Sendo assim, a Caixa 2 deveria apresentar a maior variação de temperatura, no entanto não foi o que ocorreu, a razão para esse comportamento é devido a Caixa 4 ter sido preenchida com uma maior quantidade de água no 3º dia, tendo um nível maior de água que a Caixa 2, apresentando assim uma maior umidade.

Gráfico 7 – Temperatura média dos sistemas



Fonte: Autora.

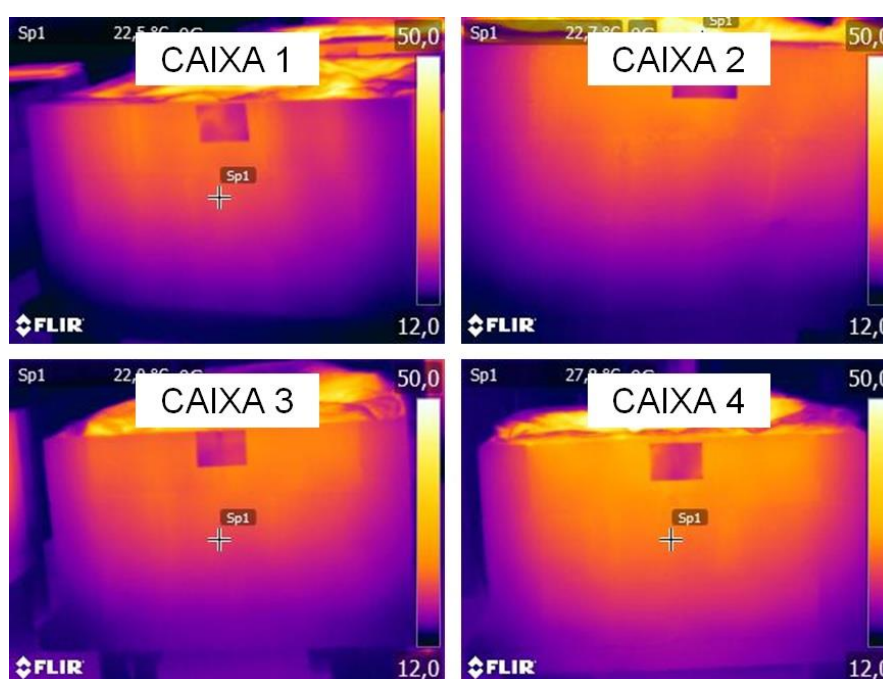
4.3 ENSAIO DE PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

Para realização desse ensaio, as caixas foram esvaziadas e secadas, após o processo de secagem, os sistemas foram expostos a seis horas contínuas de incidência de vapor de água, na fase inicial do ensaio foram realizados registros termográficos sem a incidência de vapor e após as 6 horas de incidência de vapor novamente foram feitos os registros de cada caixa.

Os resultados encontrados nesse ensaio foram similares para todos os sistemas. Em uma primeira etapa, buscou-se pelo surgimento de umidade nas faces externas causadas pelo vapor de água, no entanto, em nenhuma das caixas foi observado o surgimento de manchas causadas pela umidade.

Nos resultados de temperatura, todas as caixas registraram temperaturas mais elevadas na parte superior da caixa, este comportamento deve-se ao fato do ar quente ter uma densidade menor que o ar frio, concentrando-se nos locais mais elevados. Nas imagens da Figura 29 verifica-se esse comportamento nos sistemas, onde as regiões com maiores temperaturas apresentam tons mais alaranjados e regiões com menores temperaturas apresentam tons azulados.

Figura 29 – Temperatura mais elevada na parte superior das faces

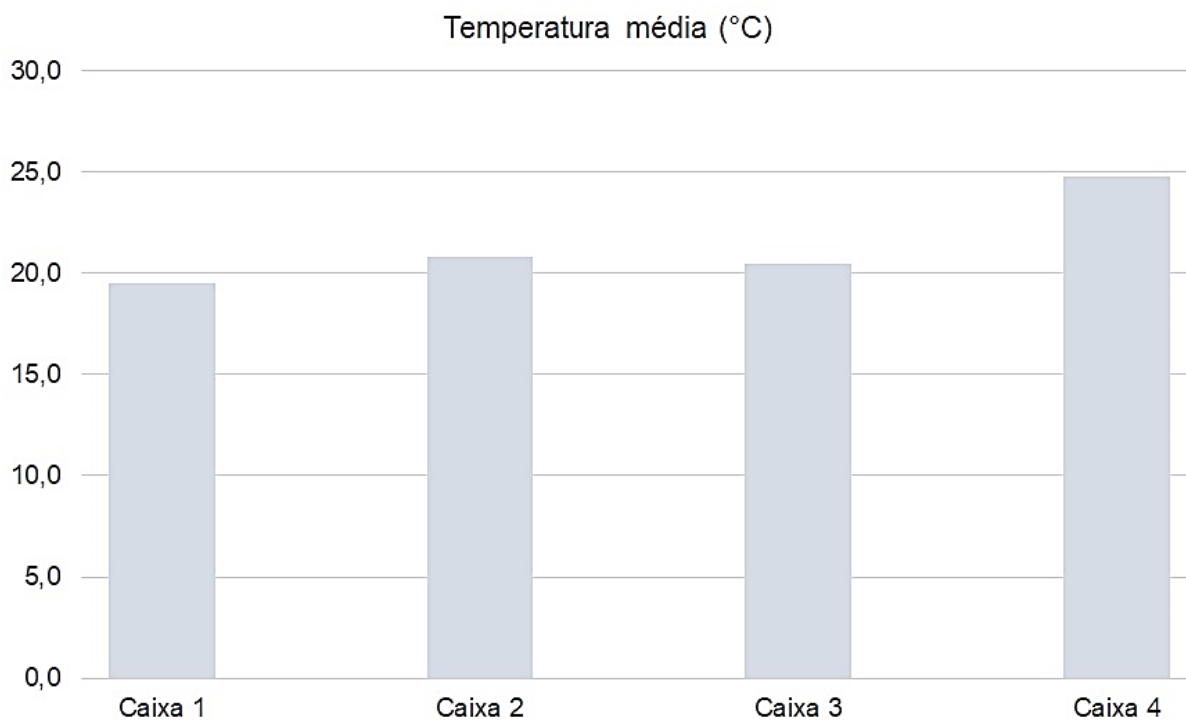


Com o auxílio do *software* FLIR tools foram avaliadas as temperaturas das faces externas de cada sistema. Ao todo foram coletadas as temperaturas de 20 pontos em cada caixa, sendo 10 pontos nas faces A e 10 pontos nas faces D de cada sistema. Com os resultados montou-se o Gráfico 8. As imagens e os registros termográficos desse ensaio se encontram no Anexo I.

Conforme o Gráfico 8 a Caixa 4 apresentou a maior temperatura externa, acredita-se que esse comportamento se deve ao revestimento cerâmico ter sido aplicado diretamente ao bloco. As camadas de chapisco e emboço criam uma barreira contra a passagem do vapor de água e sem essas camadas, como é o caso da Caixa 4, o vapor tem uma maior facilidade em atravessar o sistema. Por ter o maior número de camadas (chapisco e emboço), a Caixa 1 obteve a menor temperatura registrada.

Novamente, como observado no ensaio de estanqueidade à água quente, as juntas de assentamento dos blocos foram os pontos mais frágeis, registrando as maiores variações de temperaturas.

Gráfico 8 – Média das temperaturas nas faces externas de cada caixa



Fonte: Autora.

4.4 ENSAIO DE ARRANCAMENTO

Os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração mostraram uma alta variabilidade. A Tabela 11 apresenta a média das resistências de aderência de cada caixa, os resultados detalhados dos ensaios encontram-se no Anexo J. Todos os sistemas apresentaram bons resultados quanto a resistência de aderência, atendendo aos requisitos estabelecidos pela NBR 14081-4 (2012) que define a resistência mínima de 0,30 MPa.

A maior resistência de aderência foi registrada na Caixa 4, acredita-se que esse sistema tenha apresentado o melhor desempenho devido à alta porosidade que o substrato do bloco de concreto tem, o que permite uma melhor penetração da argamassa colante.

A menor resistência de aderência foi verificada na Caixa 3, esse comportamento se deve a camada de impermeabilizante criar um substrato não poroso, o que dificulta a penetração dos compostos cimentícios nos poros do substrato.

A Caixa 1 e Caixa 2 apresentaram resultados de resistência de aderências semelhantes, no entanto, devido a Caixa 2 ter um substrato irregular devido a camada de chapisco, essa caixa apresentou um maior coeficiente de variação quando comparada com a Caixa 1, que devido a camada de emboço tem um substrato regular.

Tabela 13 – Resistência de aderência à tração de cada sistema

Ensaio de resistência de aderência à tração			
Sistema	Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação
Caixa 1	0,508	0,217	42,82%
Caixa 2	0,486	0,596	122,81%
Caixa 3	0,363	0,335	92,24%
Caixa 4	0,530	0,275	51,77%

Fonte: Autora.

Para uma melhor análise da influência dos substratos na resistência de aderência à tração utilizou-se a análise de variância ANOVA. Os resultados são mostrados na Tabela 12. Considerando-se o nível de significância de 5% (valor-P < 0,05), verifica-se que os tipos de substratos avaliados neste estudo não interferiram significativamente na resistência de aderência à tração, pois $0,71558 > 0,05$, aceitando dessa maneira a hipótese de igualdade entre os sistemas.

Um novo teste da análise de variância ANOVA foi gerado não contendo os valores espúrios, no entanto não houve uma mudança significativa dos resultados encontrados quando comparados os dois testes,

Tabela 14 – Análise de variância dos substratos

ANOVA						
Fonte da variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média dos quadrados	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,20113	3	0,06704	0,45429	0,71558	2,81647
Dentro dos grupos	6,49353	44	0,14758			
Total	6,69466	47				

Fonte: Autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos propostos neste estudo de avaliar o desempenho do sistema de revestimento cerâmico em diferentes substratos foram alcançados, e as conclusões obtidas por meio das avaliações dos ensaios são expostas nos itens 5.1 ao 5.3.

5.1 ESTANQUEIDADE À ÁGUA

O ensaio de estanqueidade à água desenvolvido neste estudo mostrou-se eficiente como meio de avaliação da estanqueidade de cada sistema, sendo possível determinar as caixas que apresentaram maiores perdas de água, infiltrações e manchas de umidade nas paredes externas.

Nenhum dos sistemas garantiu a vedação necessária para que não ocorressem vazamentos, todas as caixas permitiram a passagem de água para o exterior em algum momento. Em ordem crescente, os sistemas que apresentaram maiores perdas de água foram a Caixa 3, Caixa 1, Caixa 4 e Caixa 2, com respectivamente 8,4%, 12,2%, 26,6% e 28,1% de perda de água.

Embora a Caixa 3 tenha apresentado a menor perda de água, isto não é suficiente para garantir o bom desempenho do sistema. Como ocorreram infiltrações, possivelmente essa umidade desencadeará o surgimento de patologias. No entanto, cabe ressaltar que apenas com uma avaliação não se pode condenar o sistema, pois podem ter ocorrido falhas de execução.

O sistema tradicional de revestimento cerâmico recomendado pela NBR 13816 (1997) e exemplificado na Caixa 1, não se mostrou eficaz quanto a estanqueidade, permitindo a passagem de água para as demais camadas do sistema. No entanto, mais avaliações são necessárias antes de condenar o desempenho desse sistema tradicional, pois podem também ocorrer falhas de execução. Porém, é válido ressaltar que a mão de obra e os procedimentos para a execução das caixas foram conformes ao que ocorre no canteiro de obra, ou seja, o que foi replicado em laboratório é exatamente o que ocorre no momento de execução da obra.

A Caixa 4 reproduziu o sistema de revestimento que construtoras vem adotando em suas obras, o assentamento cerâmico direto no bloco estrutural, no entanto, os resultados do ensaio comprovam a ineficácia desse sistema, mostrando que não houve estanqueidade. Nesse caso, embora possam ter ocorrido falhas de

execução, não foram essas que desencadearam as infiltrações, mas sim o baixo desempenho desse sistema quanto a estanqueidade a água.

Devido as saliências da camada de chapisco muitos espaços vazios entre a placa cerâmica e a base foram formados, facilitando a passagem de água. Por essa razão a Caixa 2 teve o pior desempenho entre todos os sistemas, permitindo a passagem de água no momento em que ela foi preenchida com água. As primeiras manchas de umidade surgiram nas faces externas uma hora após o enchimento da caixa, enquanto nos outros sistemas as manchas surgiram horas e dias depois.

Os comportamentos da redução dos níveis de água de cada caixa foram similares, onde as maiores perdas de água foram registradas nos dois primeiros dias. A razão para que esse comportamento ocorra deve-se ao fato de que em um primeiro momento os poros do sistema estão praticamente vazios, e após a caixa ser preenchida com água e começar a infiltrações para dentro das paredes, os poros dos materiais começam a ser preenchidos, até o momento em que ficam totalmente saturados e os níveis de água se estabilizam.

Na Etapa II onde as águas das caixas foram aquecidas simultaneamente até 50 °C, os registros fotográficos mostraram uma maior variação de temperatura conforme o número de camada dos sistemas diminuía. Ou seja, quanto maior o número de camadas menor a variação de temperatura externa nas paredes das caixas. A temperatura está relacionada com a dilatação dos materiais, quanto maior a variação de temperatura mais propenso a ter maiores dilatações, o que irá gerar o surgimento de maiores tensões nas camadas do sistema, podendo gerar o deslocamento do revestimento cerâmico ao longo do tempo.

O rejunte escolhido para a vedação das juntas de assentamento não teve um bom desempenho, sendo ineficaz quanto a estanqueidade, permitindo a passagem de água no instante em que as caixas eram preenchidas. Porém, a qualidade e eficácia do sistema não é responsabilidade apenas do rejunte, todos os materiais devem ser corretamente especificados conforme as solicitações a que estarão expostos. Em todos os sistemas as maiores perdas de água foram verificadas nas juntas de assentamento horizontais e verticais, como pode ser visto em ambos os ensaios da etapa I e etapa II.

5.2 PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

Neste ensaio os sistemas foram submetidos a uma contínua incidência de vapor de água durante seis horas. Os resultados obtidos foram similares para a Caixa 1, Caixa 2 e Caixa 3, todas apresentando valores de temperaturas nas faces externas muito próximos e apenas a Caixa 4 apresentou uma maior variação.

As maiores temperaturas, em todas as caixas, foram registradas na parte superior devido ao ar quente ser menos denso que o ar frio daí tende a subir. Após seis horas de incidência de vapor buscou-se por manchas de umidade nas faces externas, no entanto nenhuma caixa apresentou manchas de umidade provenientes da passagem do vapor de água.

Como ocorreram mudanças de temperaturas nas faces externas com o ensaio do vapor de água, tem-se a hipótese de que quanto maiores as temperaturas nas faces externas, maior é o fluxo de vapor, ou seja, mais permeável ao vapor de água é o sistema. Sendo que a permeabilidade ao vapor de água é uma propriedade procurada pelo sistema de revestimento, pois permite trocas de umidade entre o sistema e o meio externo prevenindo a ocorrência de manifestações patológicas.

As médias das temperaturas da Caixa 1, Caixa 2, Caixa 3 e Caixa 4 foram, respectivamente 19,5 °C, 20,8 °C, 20,5 °C e 24,8 °C. A maior variação de temperatura das faces externas foi entre a Caixa 1 e Caixa 4, com 5,3 °C de diferença. Acredita-se que quanto maior o número de camadas do sistema as faces externas atingiam menores temperaturas. Por essa razão a Caixa 4 apresentou uma maior temperatura, pois o revestimento cerâmico foi aplicado diretamente no bloco de concreto.

Como a dilatação dos materiais é relacionada com o aumento das temperaturas, ou seja, quanto maiores forem as temperaturas maiores serão as dilatações térmicas, e maiores serão as tensões geradas. O sistema que apresentou um melhor desempenho nesse quesito foi a Caixa 1.

5.3 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Os quatro sistemas apresentaram um bom desempenho quanto a resistência de aderência, todas as caixas obtiveram resultados acima do especificado na NBR 14081-4 (2012) que é 0,30 MPa. No entanto todos os sistemas apresentaram um elevado coeficiente de variação, destacando-se a Caixa 2, que teve uma variação de

122,81%. Uma das razões para esse elevado valor, é a irregularidade da camada de chapisco, que devido as saliências criou espaços vazios entre a argamassa colante e o substrato, interferindo dessa maneira na extensão de aderência.

A Caixa 4 apresentou a maior resistência de aderência à tração, seguida pela Caixa 1, Caixa e Caixa 3, com valores médios de resistência de 0,508 MPa, 0,486 MPa, 0,363 MPa e 0,530 MPa, respectivamente. O bom desenho apresentado pela Caixa 4 deve-se à adequada porosidade apresentada pelo bloco de concreto, proporcionando a boa penetração dos materiais cimentícios ao substrato.

A Caixa 3 teve o pior resultado de resistência de aderência à tração devido à baixa porosidade e permeabilidade que a camada de impermeabilizante criou, o que dificultou a penetração dos materiais cimentícios, influenciando na ancoragem e aderência do revestimento cerâmico.

Conforme a análise de variância ANOVA os diferentes substratos onde o revestimento cerâmico foi aplicado não apresentaram uma variação significativa na resistência de aderência à tração.

5.4 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas sugestões para trabalhos futuros com o objetivo de avaliar e melhorar o desempenho do sistema de revestimento cerâmico:

- a) avaliar o desempenho do revestimento cerâmico aplicado em outros substratos além dos abordados neste estudo, como por exemplo, um sistema com as camadas de impermeabilizante e emboço;
- b) executar a impermeabilização com outros tipos de impermeabilizantes existentes no mercado, como exemplo mantas líquidas a base de asfalto;
- c) avaliar o desempenho do sistema de revestimento cerâmico aplicado com argamassa colante AC II e AC III;
- d) como alternativa ao rejunte tipo I utilizado neste estudo, preencher as juntas de assentamento com rejunte acrílico ou epóxi.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010. 14p.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10p.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 11p.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013. 13p.

_____. **NBR 13754**: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997. 11p.

_____. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997. 4p.

_____. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação. Rio de Janeiro, 1997. 3p.

_____. **NBR 14081-1**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 9p.

_____. **NBR 14081-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2012. 9p.

_____. **NBR 14081-3**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012. 7p.

_____. **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012. 8p.

_____. **NBR 14081-5**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 5: Determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 2012. 6p.

_____. **NBR 14992**: A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003. 16p.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71p.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

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

_____. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997. 4p.

AGUIAR, J.B.; HENRIQUES, L. S. Influência da composição no desempenho de argamassas adesivas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2., 2007, Lisboa, **Actas...** Lisboa: APFAC, 2007. Não paginado.

ANFANCER. Manual Setorial Orientativo para Atendimento à Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013. 1ªed. Fevereiro, 2016.

ALTOÉ, L.; FILHO, D. O. Termografia Infravermelha Aplicada à Inspeção de Edifícios. ACTA Tecnológica, Maranhão, v.7, p. 55-59, 2012.

AZEREDO, H. A. **O edifício e seu acabamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.
BAUER, R. Descolamento em revestimentos cerâmicos, análises e recomendações. 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, Agosto, 1995.

CAMACHO, J. S.; DORNELES, V. P.; PARSEKIAN, G. A.; FELIPE, A. S. **Aderência de revestimentos em paredes de bloco cerâmicos com função estrutural**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 2, 2016. p. 109-119.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 2º ed, 2010, 1712p.

CERAMIC WORLD REVIEW. Itália, n. 123, ago./out. 2017, p. 56-70.

CHEW, M. Y. L. **Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding**. **Construction and Building Materials**. v. 13, n. 5, p. 293-296, 1999.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico**. Tese (Doutorado Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2007.

FRANCO, J. C.; BONDANÇA, N. H.; FABRÍCIO, M. M.; DORNELLES, K. A. Aplicação mobile de especificação de revestimento cerâmico, argamassas e rejuntas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimento: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2009.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em Paredes**. LNEC, 4.^a ed. Lisboa, 1995, 170p.

JUGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de panéis**. 2003. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.

KAZMIERCZACK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 3, n. 1, 2007. p. 47-58.

LIMA, L. C.; SICHIERI, E. P., GONÇALVES, P. S. Parâmetros para utilização dos revestimentos cerâmicos. 5^o Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis, Abril, 1998.

LOURENÇO, T. C. **Anomalies detection in adhesive wall tiling systems by infrared thermography**. 2016. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2016.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos físico-químicos de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. Tese. Belo Horizonte, 2007.

MARANHÃO, F. L.; COSTA E SILVA, A. J.; MEDEIROS, J. S.; BARROS, M. M. S. B. Influência do tipo de argamassa colante e do revestimento na microestrutura e na resistência de aderência. In: V SBTA, 2003, São Paulo. p. 519-528.

MEDEIROS, J. S.; MELLO, M. B.; ASAMURA, R. E. **Estudo experimental da influência da deformação da base na aderência de revestimentos cerâmicos**. 12^o Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, Agosto, 2017.

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H., Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil*. São Paulo, 1999.

NASTRI, S.; CONSERVA, L. R. S.; MELCHIADES, F. G; BOSCHI, A. O. **A expansão por umidade (EPU) revisitada, 20 anos depois: Convivendo com a inevitabilidade da EPU**. *Revista Cerâmica Industrial*, v. 20, n. 2, 2015. p. 24-29.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassas nos momentos iniciais pós-aplicação**. Tese de Doutorado. UnB. Brasília, DF, 2004. 265p.

PAES, I. N. L.; CARASEK, H. **Desempenho das argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 2, 2002. p. 93-103.

PEREIRA, E., SILVA, I. J., COSTA, M. R. M. M. **Avaliação dos mecanismos de aderência entre argamassa colante e substrato não poroso.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.13, n. 2, p. 139-149, abr./jun. 2005.

PEZZATO, L., M. **Patologias no sistema de revestimento cerâmico: um estudo de casos em fachadas.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo - São Paulo, SP, 2010.

PÓVOAS, Y. V.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência entre argamassa colante e placa cerâmica.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, 2002. p. 7-18.

SANTOS, J. O. Diretrizes para a elaboração e projeto para produção de revestimento cerâmico em paredes internas. Monografia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTOS, T. P.; VAZ, M. F.; PINTO, M. L.; CARVALHO, A. P. **Porosity characterization of old Portuguese ceramic tiles.** Construction and Building Materials, v. 28, p 104-110, mar. 2012.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. **Juntas em revestimentos cerâmicos aderentes (RCA): da concepção à manutenção.** Engenharia Civil UM, 2009, n. 35, p. 75-91.

PRUDÊNCIO JÚNIOR. L. R.; OLIVEIRA, A. L. de; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.** Florianópolis: Pallotti, 2002.

REBELO, C. R. Projeto e execução de revestimento cerâmico – interno. Monografia. UFMG. Belo Horizonte, MG, 2010. 55p.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa.** 2^o ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. 188p.

ROMAN, L. M. F.; SAGAVE, A.; ROMAN, H. R.; ALARCON, O. E. Análise da resistência de aderência em sistemas de revestimento cerâmico submetidos à ciclos higrotérmicos. In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: ENTAC, 2000. v. 1. p. 9-17.

RUBIN, K. M., MOORE, E. P., MOON, R. E. **Can a single flood event result in fungal growth beneath tile.** 7^o Congress on Forensic Engineering: Performance of the Built Environment, EUA, 2015. pg 608-619.

RUDUIT, F., R. **Contribuição ao estudo de aderência de revestimentos de argamassa e chapisco em substrato de concreto.** Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, RS, 2009. 175p.

SAGAVE, A. M. **Desenvolvimento de método de ensaio de aderência ao cisalhamento de peças cerâmicas de revestimento.** Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis, SC, 2001. 130p.

SANTOS, M. D. F. **Técnicas Construtivas em Alvenaria Estrutural: Contribuição ao Uso**. 1998. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

SCARTEZENI, L. M.; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 85-92, abr./jun. 2002.

SILVA, A. J.; VIÉGAS, D. J. A.; PÓVOAS, Y. V. O Uso de Termografia Infravermelha para Detecção de Manifestações Patológicas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SILVEIRA, A. R. **Avaliação experimental da resistência de aderência à tração de revestimentos cerâmicos aplicados sobre diferentes substratos em blocos estruturais**. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, SC, 2014.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. **Juntas em Revestimentos Cerâmicos Aderentes (RCA): da concepção à manutenção**. Engenharia Civil UM, Portugal, n. 35, 2009. p. 75-91.

VALENTINI, P.; KAZMIERCZAK, C. S. **Avaliação da aderência de placas cerâmicas aplicadas como revestimento de fachada**. Alconpat, México, v. 6, n. 2, 2016. p. 116-128.

VALIATI, V. G. **Estudo da estanqueidade de rejuntas em revestimentos cerâmicos externos**. 2009. 110p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

WINNIFELD, F.; KAUFMANN, J.; HACK, E.; HARZER, S.; WETZEL, A.; ZURBRIGGEN, R. **Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strenght**. Construction and Building Materials. v. 30, p. 426-438, 2012.

ANEXO A – ANÁLISE DIMENSIONAL E RESISTÊNCIA À COMPREENSÃO DO BLOCO DE CONCRETO

Determinação dimensional e Resistência à compressão

Corpo-de-prova nº	Dimensões (mm)			Espessura das Paredes (mm)		Raio das mísulas (mm)		Vazado (mm)				Carga máxima de ruptura (kN)
	Largura	Altura	Comprimento	Longitudinais	Transversais	1	2	1	2	1	2	
1	142,0	195,0	395,0	27,25	29,0	42,0	42,0	81,0	156,0	88,0	155,0	50,0
2	142,0	194,0	395,0	28,25	28,3	47,0	46,0	85,0	157,0	86,0	156,0	53,0
3	141,0	193,0	395,0	27,75	29,0	41,0	45,0	85,0	157,0	88,0	156,0	52,0
4	141,0	193,0	395,0	27,25	28,3	46,0	46,0	89,0	157,0	88,0	157,0	42,0
5	140,0	191,0	395,0	26,25	27,3	42,0	42,0	88,0	159,0	89,0	152,0	43,0
6	141,0	189,0	396,0	27,5	28,3	43,0	45,0	86,0	156,0	85,0	157,0	45,5

ANEXO B – ANÁLISE DA ABSORÇÃO E UMIDADE DO BLOCO DE CONCRETO

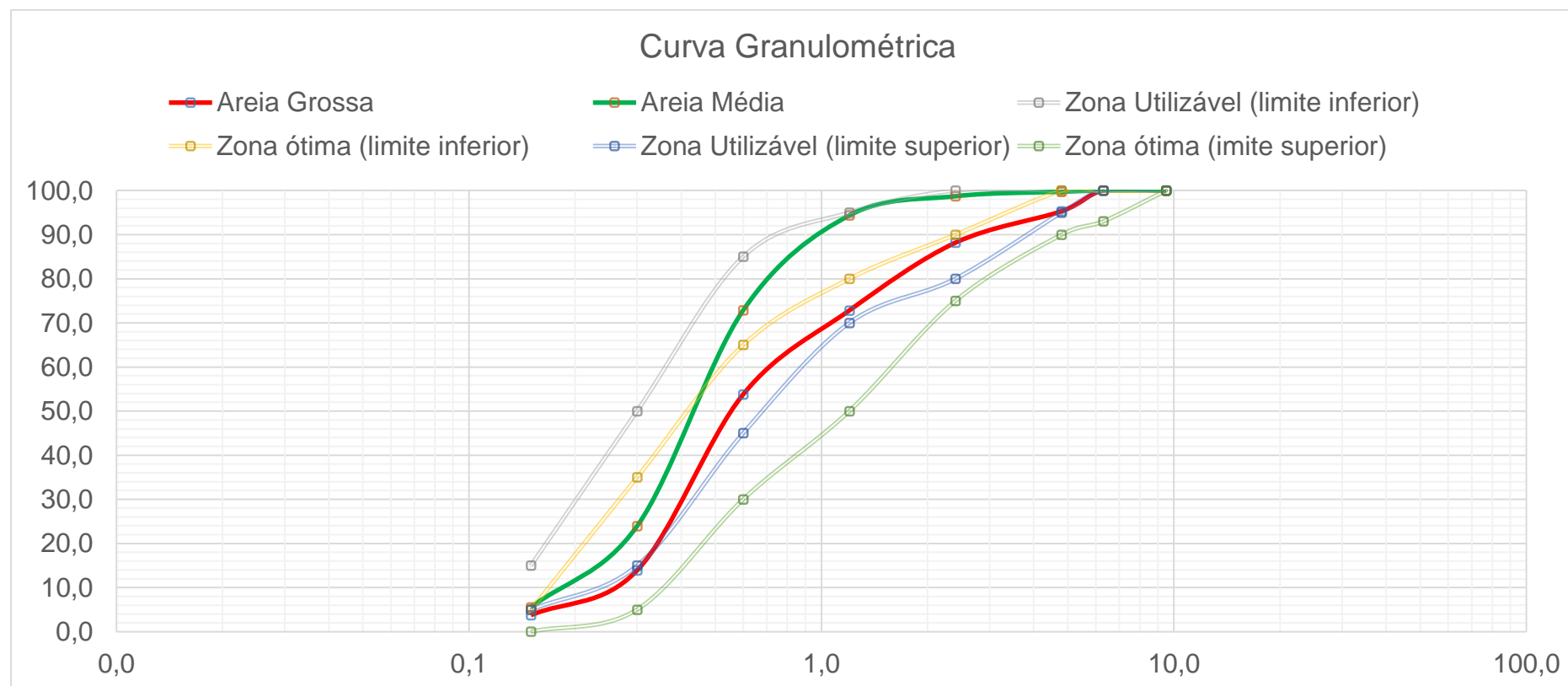
Absorção e Umidade							
Amostra	Massa (g)				Absorção (%)	Área líquida (mm ²)	Umidade (%)
	Absoluta	Seco	Saturado	Aparente			
1	12927,0	12644,0	13348,0	7174,0	5,57	32640,76	40,20
2	13042,0	12781,0	13499,0	7338,0	5,62	32739,93	36,35
3	13192,0	12911,0	13602,0	7385,0	5,35	33208,70	40,67

ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO AOS 7 DIAS

Argamassa de assentamento – Idade de ensaio 7 dias											
Amostra	Lado (mm)	Leitura (mm)	Carga flexão (N)	Tensão (MPa)	Compressão (N)	Tensão (MPa)	Média tensão (MPa)	Desvio Padrão tensão	Média compressão (MPa)	Desvio padrão compressão	Índice de consistência (mm)
1	40	56	822	1,93	13.500 11.800	8,44 7,38					
2	40	71	1028	2,41	13.000 14.300	8,13 8,94	2,2	0,2	8,4	0,6	286
3	40	64	932	2,18	14.000 13.900	8,75 8,69					
4	40	57	836	1,96	10.300 10.300	6,44 6,44					
5	40	55	808	1,89	10.500 10.000	6,56 6,25	2,0	0,2	6,5	0,3	280
6	40	65	945	2,22	11.300 10.400	7,06 6,50					

ANEXO D – CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO AOS 28 DIAS

Argamassa de assentamento – Idade de ensaio 28 dias										
Amostra	Lado (mm)	Leitura (mm)	Carga flexão (N)	Tensão (MPa)	Compressão (N)	Tensão (MPa)	Média tensão(MPa)	Desvio Padrão tensão	Média compressão (MPa)	Índice de consistência (mm)
1	40	107	1522	3,57	20.200 19.200	12,63 12,0				
2	40	110	1563	3,66	20.000 20.400	12,5 12,75	3,7	0,11	12,6	286
3	40	114	1618	3,79	21.000 20.400	13,13 12,75				
4	40	80	836	2,7	14.400 14.200	9,00 8,88				
5	40	85	808	2,86	14.200 15.800	8,88 9,88	2,8	0,09	9,1	280
6	40	80	945	2,7	14.800 14.000	9,25 8,75				

ANEXO E – CURVA GRANULOMÉTRICA AREIA GROSSA E MÉDIA

ANEXO F – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA COLANTE

Resistência de aderência à tração – Ensaio de arrancamento – Cura normal												
Amostra	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura					Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
					S	S/A	CA	A/P	PC			
1	50	2500	1.402	0,561			100			0,59	0,05	8,10
2	50	2500	1.397	0,559			100					
3	50	2500	1.447	0,579			100					
4	50	2500	1.411	0,564			100					
5	50	2500	1.386	0,554			100					
6	50	2500	1.762	0,705			100					
7	50	2500	1.450	0,580			100					
8	50	2500	1.399	0,560			100					
9	50	2500	1.587	0,635			100					
10	50	2500	1.429	0,572			100					

Resistência de aderência à tração – Ensaio de arrancamento – Cura submersa

Amostra	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
					S	S/A	CA	A/P	PC	F			
1	50	2500	926	0,370	80	20					0,37	0,03	8,26
2	50	2500	846	0,340	90	10							
3	50	2500	997	0,400	90	10							
4	50	2500	1.008	0,400	90	10							
5	50	2500	940	0,380	80	20							
6	50	2500	964	0,390	100								
7	50	2500	833	0,330	80	20							
8	50	2500	871	0,350	80	20							
9	50	2500	1.019	0,410	90	10							
10	50	2500	817	0,330	70	30							

Resistência de aderência à tração – Ensaio de arrancamento – Cura ao ar

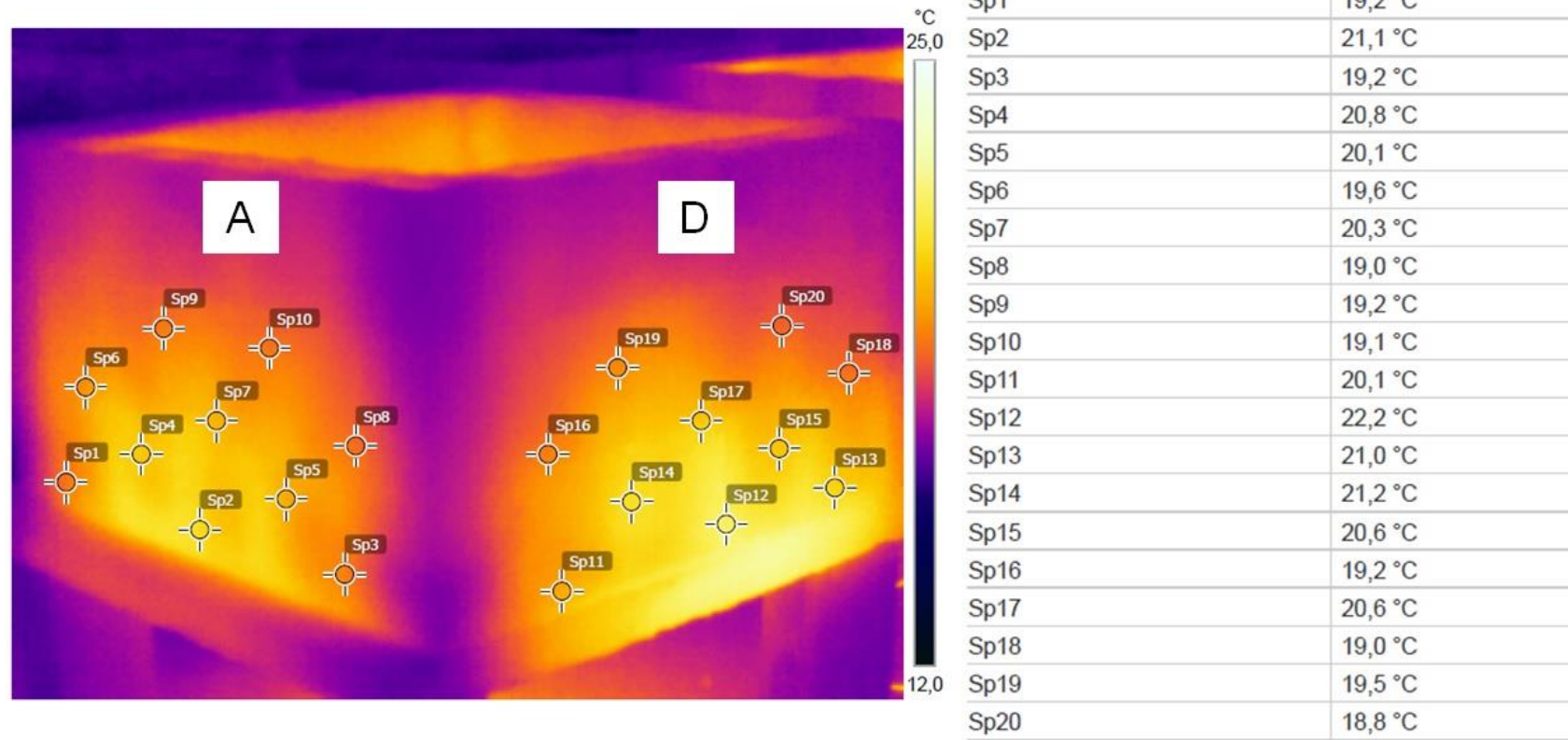
Amostra	Largura (mm)	Área (mm ²)	Carga (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura						Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
					S	S/A	CA	A/P	PC	F			
1	50	2500	1.362	0,540			100				0,57	0,06	10,22
2	50	2500	1.255	0,500			100						
3	50	2500	1.591	0,640			100						
4	50	2500	1.603	0,640			100						
5	50	2500	1.599	0,640			100						
6	50	2500	1.483	0,590			100						
7	50	2500	1.388	0,560			100						
8	50	2500	1.237	0,490	80	20							
9	50	2500	1.305	0,520	100								
10	50	2500	1.371	0,550	100								

ANEXO G – RESULTADO DO ENSAIO DE DESLIZAMENTO D ARGAMASSA COLANTE

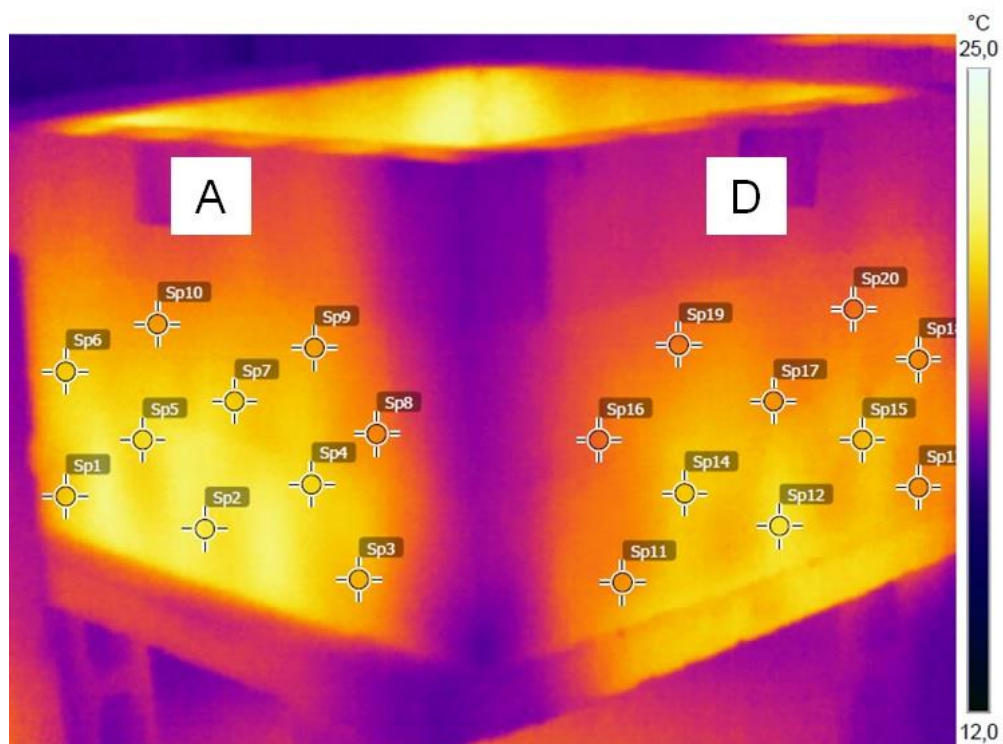
Argamassa Colante – Deslizamento				
Amostra	Leitura inicial (mm)	Leitura final (mm)	Diferença entre leituras (mm)	Deslizamento médio (mm)
1	25,21	25,44	0,23	
2	25,07	25,24	0,17	
3	25,72	25,86	0,14	0,17
4	25,87	26,05	0,18	
5	25,04	25,18	0,14	
6	25,08	25,23	0,15	

ANEXO H – REGISTROS TERMOGRÁFICOS DOS SISTEMAS NO ENSAIO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA

Caixa 1



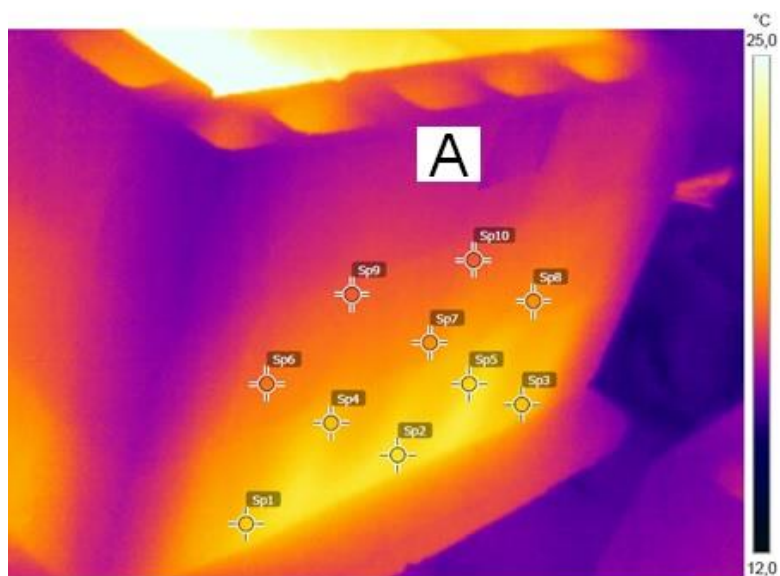
Caixa 2



Medições

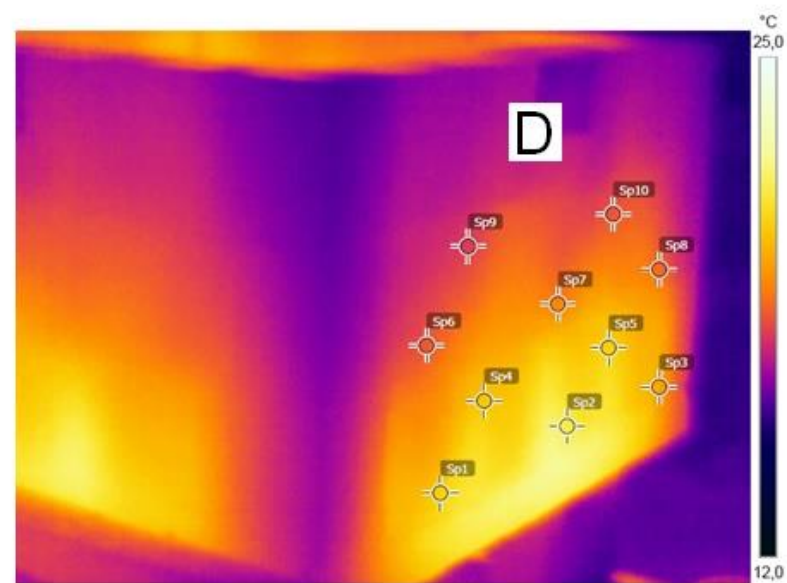
Sp1	21,0 °C
Sp2	21,7 °C
Sp3	20,7 °C
Sp4	21,1 °C
Sp5	21,3 °C
Sp6	21,0 °C
Sp7	20,9 °C
Sp8	20,0 °C
Sp9	20,3 °C
Sp10	20,3 °C
Sp11	20,2 °C
Sp12	21,5 °C
Sp13	20,1 °C
Sp14	21,0 °C
Sp15	20,8 °C
Sp16	19,5 °C
Sp17	20,2 °C
Sp18	20,0 °C
Sp19	19,6 °C
Sp20	19,8 °C

Caixa 3



Medições

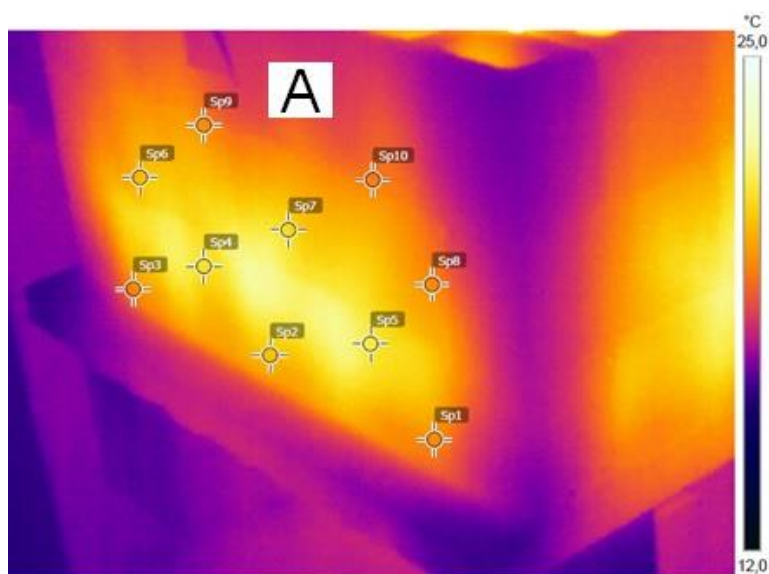
Sp1	21,0 °C
Sp2	21,6 °C
Sp3	20,8 °C
Sp4	20,5 °C
Sp5	21,3 °C
Sp6	18,6 °C
Sp7	19,5 °C
Sp8	19,4 °C
Sp9	18,5 °C
Sp10	18,5 °C



Medições

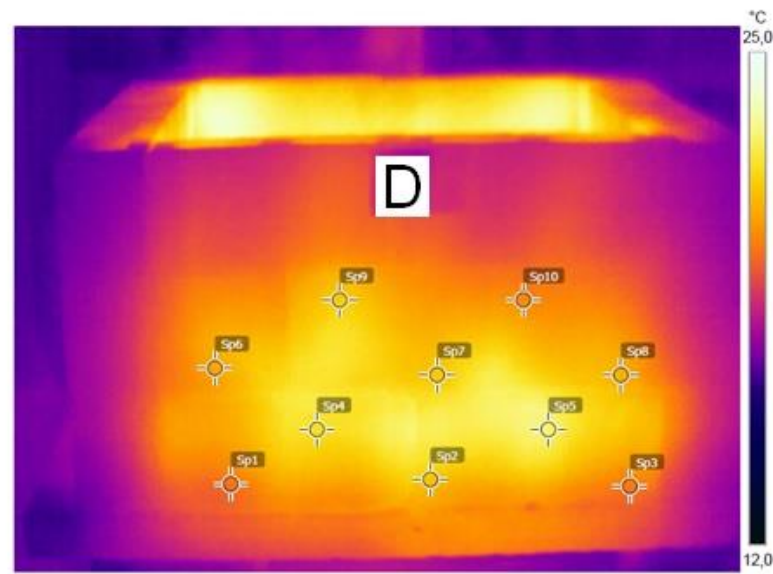
Sp1	20,9 °C
Sp2	21,7 °C
Sp3	20,0 °C
Sp4	20,6 °C
Sp5	20,9 °C
Sp6	18,5 °C
Sp7	19,3 °C
Sp8	18,8 °C
Sp9	18,0 °C
Sp10	18,5 °C

Caixa 4



Medições

Sp1	19,7 °C
Sp2	20,8 °C
Sp3	19,7 °C
Sp4	21,6 °C
Sp5	21,8 °C
Sp6	20,7 °C
Sp7	21,4 °C
Sp8	19,8 °C
Sp9	19,9 °C
Sp10	19,6 °C

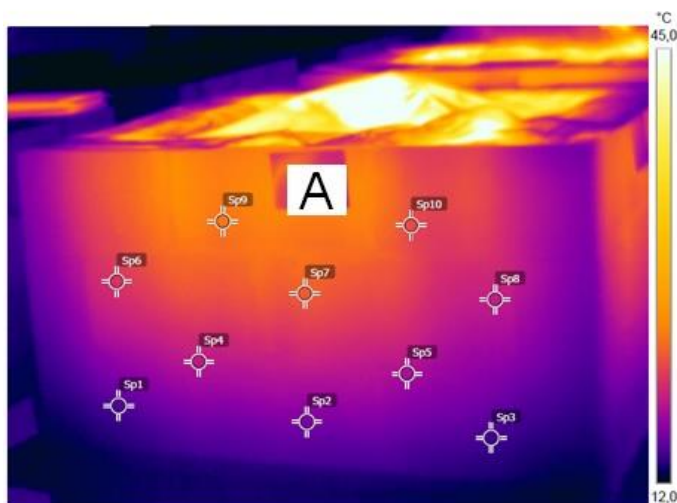


Medições

Sp1	19,9 °C
Sp2	21,5 °C
Sp3	20,0 °C
Sp4	22,2 °C
Sp5	22,9 °C
Sp6	21,0 °C
Sp7	21,6 °C
Sp8	21,0 °C
Sp9	21,7 °C
Sp10	20,4 °C

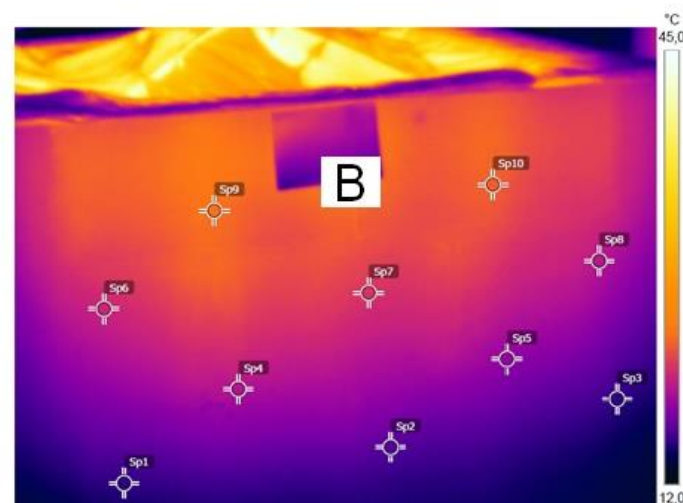
ANEXO I – REGISTROS TERMOGRÁFICOS DOS SISTEMAS NO ENSAIO DE ESTANQUEIDADE AO VAPOR DA ÁGUA

Caixa 1



Medições

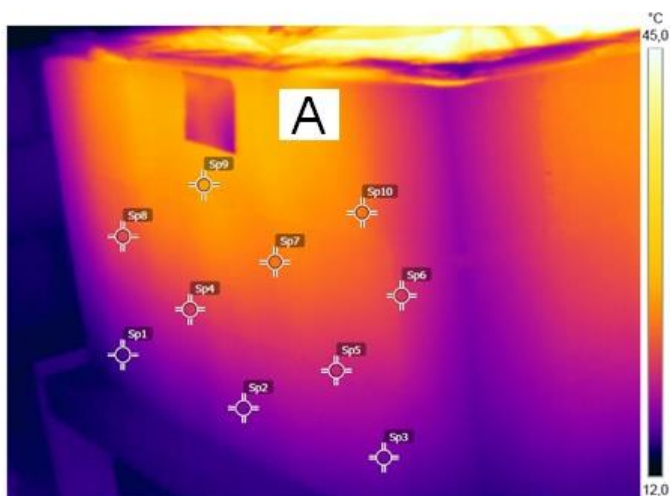
Sp1	14,9 °C
Sp2	16,3 °C
Sp3	14,5 °C
Sp4	18,9 °C
Sp5	18,1 °C
Sp6	20,7 °C
Sp7	22,8 °C
Sp8	19,2 °C
Sp9	24,2 °C
Sp10	22,0 °C



Medições

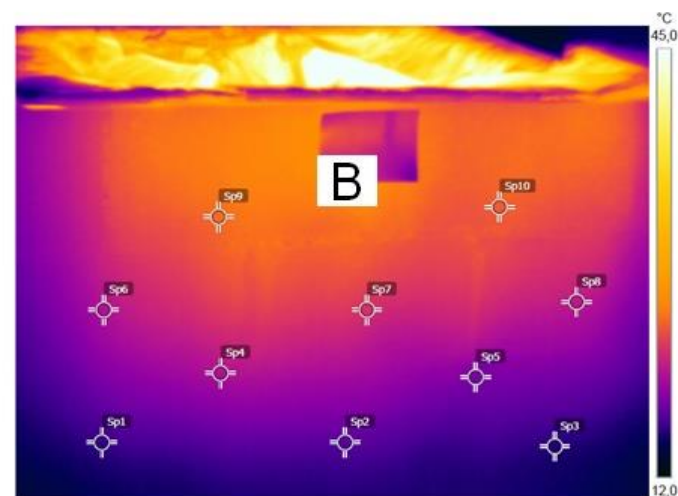
Sp1	15,7 °C
Sp2	16,8 °C
Sp3	15,7 °C
Sp4	20,1 °C
Sp5	18,6 °C
Sp6	21,2 °C
Sp7	21,9 °C
Sp8	20,2 °C
Sp9	24,4 °C
Sp10	23,5 °C

Caixa 2



Medições

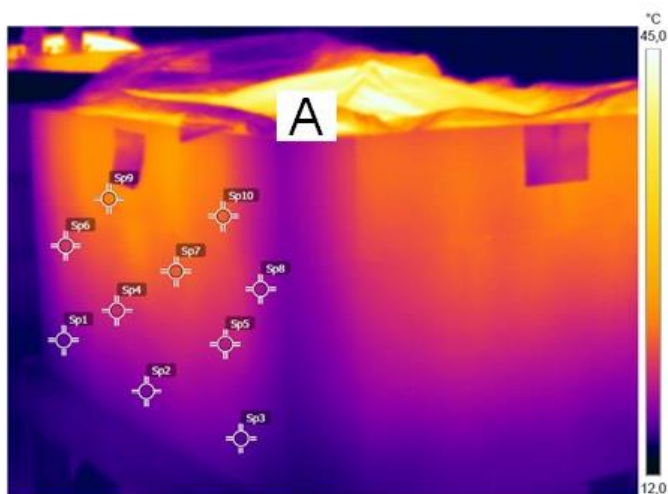
Sp1	15,9 °C
Sp2	17,7 °C
Sp3	17,1 °C
Sp4	21,4 °C
Sp5	20,4 °C
Sp6	21,3 °C
Sp7	24,8 °C
Sp8	22,3 °C
Sp9	26,9 °C
Sp10	24,8 °C



Medições

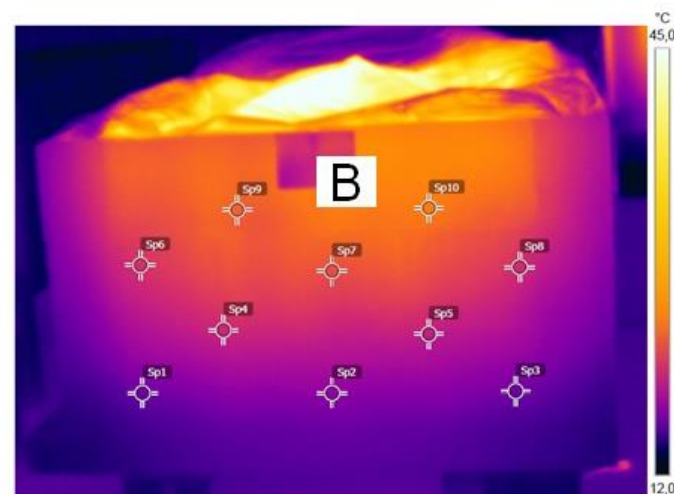
Sp1	16,2 °C
Sp2	17,3 °C
Sp3	15,8 °C
Sp4	20,9 °C
Sp5	18,6 °C
Sp6	20,6 °C
Sp7	22,8 °C
Sp8	21,4 °C
Sp9	25,3 °C
Sp10	24,8 °C

Caixa 3



Medições

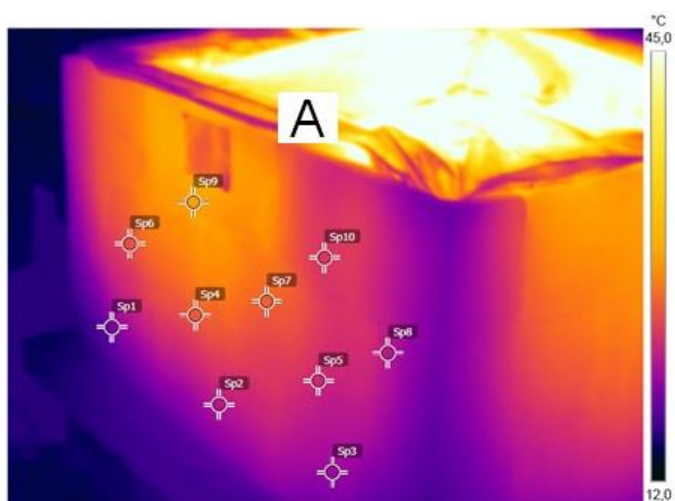
Sp1	16,7 °C
Sp2	17,5 °C
Sp3	16,3 °C
Sp4	20,8 °C
Sp5	19,9 °C
Sp6	21,4 °C
Sp7	23,3 °C
Sp8	19,0 °C
Sp9	24,7 °C
Sp10	23,6 °C



Medições

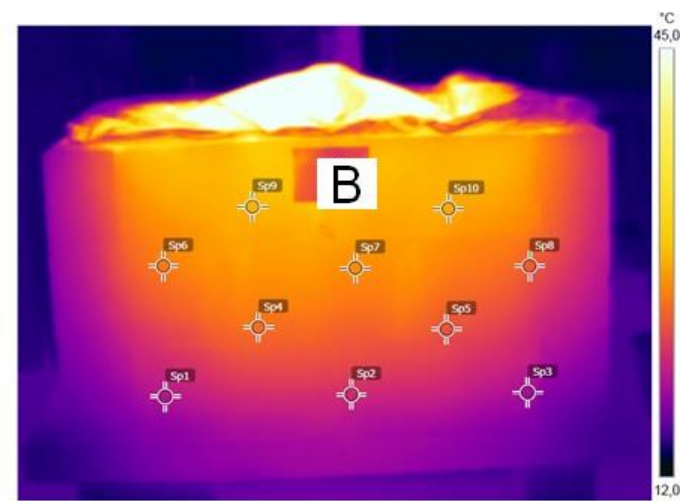
Sp1	16,6 °C
Sp2	17,6 °C
Sp3	16,8 °C
Sp4	20,9 °C
Sp5	19,9 °C
Sp6	21,5 °C
Sp7	23,0 °C
Sp8	21,1 °C
Sp9	23,8 °C
Sp10	25,1 °C

Caixa 4



Medições

Sp1	19,4 °C
Sp2	22,1 °C
Sp3	20,7 °C
Sp4	26,4 °C
Sp5	23,5 °C
Sp6	26,0 °C
Sp7	27,0 °C
Sp8	22,2 °C
Sp9	30,4 °C
Sp10	24,5 °C



Medições

Sp1	20,5 °C
Sp2	22,3 °C
Sp3	19,6 °C
Sp4	26,4 °C
Sp5	24,7 °C
Sp6	27,1 °C
Sp7	28,0 °C
Sp8	25,2 °C
Sp9	30,0 °C
Sp10	29,5 °C

ANEXO J – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Ensaio de resistência de aderência à tração – Caixa 1									
Amostra	Carga de ruptura (kgf)	Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)					
				Sub.	Sub/Arg	Arg.	Arg/placa	Placa	Falha
1	81,2	795,8	0,405			100			
2	137,0	1342,6	0,684			100			
3	122,6	1201,5	0,612		100				
4	146	1430,8	0,729			100			
5	40,9	400,8	0,204			10		90	
6	77,7	761,5	0,388	100					
7	120,2	1178,0	0,600			100			
8	152,8	1497,4	0,763			100			
9	145,4	1424,9	0,726	100					
10	36,6	358,7	0,183			90		10	
11	115,1	1128,0	0,574	100					
12	44,8	439,0	0,224	100					
Média (MPa) =				0,508					
Desvio padrão =				0,217					
Coeficiente de variação (%) =				42,82%					

Ensaio de resistência de aderência à tração – Caixa 2									
Amostra	Carga de ruptura (kgf)	Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)					
				Sub.	Sub/Arg	Arg.	Arg/placa	Placa	Falha
1	282,2	2765,6	1,408			100			
2	185,4	1816,9	0,925			100			
3	1,7	16,7	0,008		100				
4	21	205,8	0,105			100			
5	7,5	73,5	0,037			10		90	
6	293,7	2878,3	1,466	100					
7	248,9	2439,2	1,242			100			
8	0	0,0	0,000			100			
9	73,6	721,3	0,367	100					
10	1,1	10,8	0,005			90		10	
11	2,5	24,5	0,012	100					
12	49,9	489,0	0,249	100					
Média (MPa) =				0,486					
Desvio padrão =				0,596					
Coeficiente de variação (%) =				122,81%					

Ensaio de resistência de aderência à tração – Caixa 3									
Amostra	Carga de ruptura (kgf)	Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)					
				Sub.	Sub/Arg	Arg.	Arg/placa	Placa	Falha
1	0	0,0	0,000			100			
2	3,1	30,4	0,015			100			
3	120,1	1177,0	0,599		100				
4	136,4	1336,7	0,681			100			
5	119,8	1174,0	0,598			10		90	
6	14,7	144,1	0,073	100					
7	179,7	1761,1	0,897			100			
8	129,2	1266,2	0,645			100			
9	119,9	1175,0	0,598	100					
10	43,7	428,3	0,218			90		10	
11	0	0,0	0,000	100					
12	5,9	57,8	0,029	100					
Média (MPa) =				0,363					
Desvio padrão =				0,335					
Coeficiente de variação (%) =				92,24%					

Ensaio de resistência de aderência à tração – Caixa 4									
Amostra	Carga de ruptura (kgf)	Carga de ruptura (N)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (%)					
				Sub.	Sub/Arg	Arg.	Arg/placa	Placa	Falha
1	41,9	410,6	0,209			100			
2	90,8	889,8	0,453			100			
3	101,7	996,7	0,508		100				
4	152,5	1494,5	0,761			100			
5	147,7	1447,5	0,737			10		90	
6	44,9	440,0	0,224	100					
7	131,0	1283,8	0,654			100			
8	96,6	946,7	0,482			100			
9	3,3	32,3	0,016	100					
10	150,6	1475,9	0,752			90		10	
11	119,5	1171,1	0,596	100					
12	194,7	1908,1	0,972	100					
Média (MPa) =				0,530					
Desvio padrão =				0,275					
Coeficiente de variação (%) =				51,77%					