

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO, INOVAÇÃO E EXTENSÃO –
PROPIEX
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS – PPGCEM**

LAVÍNIA FAVARO MORGEROT

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS
UTILIZADAS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS**

Criciúma, fevereiro de 2024

LAVÍNIA FAVARO MORGEROT

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS
UTILIZADAS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Raupp-Pereira

Coorientadora: Dra. Juliana Acordi

Criciúma, fevereiro de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M851e Morgerot, Lavínia Favaro.

Estudo das propriedades de argamassas estabilizadas utilizadas em fachadas de edifícios / Lavínia Favaro Morgerot. - 2024.

101 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, 2024.

Orientação: Fabiano Raupp-Pereira.

Coorientação: Juliana Acordi

1. Argamassa estabilizada. 2. Materiais cimentícios. 3. Revestimentos - Processos. 4. Argamassas - Propriedades termomecânicas. 5. Fissuração de revestimento de fachadas. - I. Título.

CDD 23. ed. 620.135

Bibliotecária Elisângela Just Steiner - CRB 14/1576
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

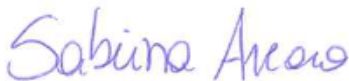
Lavínia Favaro Morgerot

Estudo das propriedades de argamassas estabilizadas utilizadas em fachadas de edifícios

Esta Dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre(a) em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 28 de fevereiro de 2024.

Banca Examinadora:



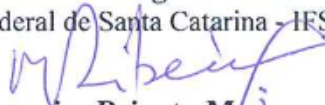
Profª Sabrina Arcaro

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Anderson Augusto Müller

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC



Prof. Manuel Joaquim Peixoto Marques Ribeiro

Instituto Politécnico de Viana do Castelo- IPVC

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou e incentivou a seguir meus sonhos. Em especial, gostaria de agradecer aos meus pais, Claudio Morgerot e Graziela Scarabelot Favaro Morgerot, pela educação exemplar que me deram e pelo amor incondicional que sempre me dedicaram.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Dr. Fabiano Raupp Pereira, e à minha coorientadora, Dra. Juliana Acordi, pela orientação, paciência e apoio durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Sem a orientação e o suporte de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Agradeço também aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, pela formação acadêmica sólida e pelo incentivo à pesquisa e produção científica.

Gostaria de agradecer aos colegas do programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, pelos debates, discussões e trocas de experiências que enriqueceram o meu conhecimento e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Não poderia deixar de agradecer à minha família e amigos, em especial ao meu namorado, Mateus Ronçani Fernandes, pelo amor, apoio e compreensão em todos os momentos, desde os desafios iniciais até a conclusão deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica e profissional.

“Aqueles que buscam a verdade devem estar dispostos a aceitar as consequências.”
(Albert Einstein)

RESUMO

O revestimento de argamassa em fachadas possui a função de proteger a estrutura contra a entrada de água e agentes agressivos, por esse motivo, precisa estar isento de fissuras e trincas. A adoção de argamassas estabilizadas que mantêm suas propriedades no estado fresco por até 72 h, oferecendo maior tempo de manuseio e aplicação, impulsiona a produtividade nos canteiros de obra, apesar disso, estas argamassas tem apresentado uma série de manifestações patológicas, como trincas e fissuras. Sendo assim, objetiva-se analisar as propriedades e o comportamento em relação à tendência à fissuração de argamassas estabilizadas, tanto no estado fresco quanto no endurecido, moldadas após 24 e 72 horas, e submetidas a diferentes condições de temperatura de armazenamento. Quatro condições de temperatura foram empregadas: 7 °C, 23 °C, 35 °C, bem como a condição com oscilação entre 7 e 35 °C. Posteriormente, as argamassas foram submetidas a ensaios no estado fresco e endurecido, tais como: densidade, índice de consistência, análise térmica em sistema semi-adiabático, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico e estático e retração. Os resultados revelam variações no desempenho da argamassa estabilizada, como módulo de elasticidade com faixa de variação de 2 GPa, e análise térmica com faixa de variação de 4 d para reação, frente às diferentes condições de temperatura aplicadas. Desta forma, por meio da compreensão do comportamento relacionado à fissuração destes materiais cimentícios de revestimento em fachadas de edifícios, este estudo trouxe uma contribuição para a compreensão do desenvolvimento de propriedades de argamassas estabilizadas. Para a minimização deste problema, os resultados obtidos estabelecem a implementação de técnicas de cura controlada após a aplicação, ajustes na formulação da argamassa e a escolha da argamassa com base nas suas propriedades como possíveis soluções.

Palavras-chave: Argamassa estabilizada, Materiais cimentícios, Propriedades, Fissuração de revestimento de fachadas.

ABSTRACT

The mortar coating on facades serves to protect the structure against the ingress of water and aggressive agents; for this reason, it needs to be free from cracks and fissures. The adoption of stabilized mortars that maintain their properties in the fresh state for up to 72 hours, offering greater handling and application time, boosts productivity on construction sites. However, these mortars have exhibited a series of pathological manifestations, such as cracks and fissures. Therefore, the objective is to analyze the properties and behavior regarding the tendency to crack of stabilized mortars, both in the fresh and hardened state, molded after 24 and 72 hours, and subjected to different storage temperature conditions. Four temperature conditions were employed: 7 °C, 23 °C, 35 °C, as well as the condition with oscillation between 7 and 35 °C. Subsequently, the mortars were subjected to tests in the fresh and hardened state, such as density, consistency index, thermal analysis in a semi-adiabatic system, flexural tensile strength, compressive strength, dynamic and static modulus of elasticity, and shrinkage. The results reveal variations in the performance of stabilized mortar, such as a modulus of elasticity with a variation range of 2 GPa, and thermal analysis with a variation range of 4 d for reaction, under different temperature conditions applied. Thus, through understanding the behavior related to the cracking of these cementitious coating materials on building facades, this study has contributed to the understanding of the development of properties of stabilized mortars. To minimize this problem, the obtained results establish the implementation of controlled curing techniques after application, adjustments in mortar formulation, and the choice of mortar based on its properties as possible solutions.

Keywords: Stabilized mortar, Cementitious materials, Properties, Facade coating cracking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lei de Sitter e a relação entre custo de manutenção e tempo.	20
Figura 2: Dados das principais origens de problemas construtivos de alvenaria civil no Brasil.	21
Figura 3: Relação de possíveis medidas preventivas para evitar problemas construtivos.	22
Figura 4: Representação esquemática para os diferentes tipos de argamassas de revestimento vertical (ARV), para utilização externa em edifícios de diferentes alturas (10, 60 e >60 metros).	28
Figura 5: Ilustração mostrando a variação de temperatura, entre dia e noite, a que as edificações estão sujeitas (com base na região de interesse da pesquisa).	35
Figura 6: Imagem representativa do momento da entrega (a), e do armazenamento (b) da argamassa estabilizada na obra.	51
Figura 7: Representação das etapas experimentais desenvolvidas: diagnóstico das fissuras/ edificações e caracterização das argamassas estabilizadas.	52
Figura 8: Ensaio de resistência potencial à tração com o equipamento "dolly".	53
Figura 9: Imagens demonstrativas da ruptura no ensaio de resistência potencial de aderência à tração.	54
Figura 10: Processo de moldagem dos corpos de prova de argamassa estabilizada.	56
Figura 11: Condições de temperaturas durante o tempo de manuseio da argamassa estabilizada: geladeira (7 °C) (a); ar condicionado (23 °C) (b); estufa (35 °C) (c).	57
Figura 12: Representação esquemática do ensaio para determinação da densidade de massa no estado fresco, detalhando as camadas compactas.	59
Figura 13: Imagem do aparato experimental para o ensaio de índice de consistência, sendo que as setas em cores representam três diâmetros do abatimento.	60
Figura 14: Ilustração do equipamento de análise térmica em sistema semi-adiabático.	61
Figura 15: Imagens representativas do processo experimental de realização do ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático.	62
Figura 16: Imagens do ensaio de resistência à tração na flexão.	63
Figura 17: Imagem do ensaio de resistência mecânica à compressão realizados com parte do corpo de prova utilizado no ensaio de resistência à tração na flexão.	64

Figura 18: Ensaio de módulo de elasticidade com o equipamento de prensa universal, com detalhe para a medição da deformação elástica do corpo da argamassa.....	65
Figura 19: Aparato experimental do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico e do sistema de aquisição de dados do equipamento Suporte para amostras de pequenos portes e engastadas.....	66
Figura 20: Corpos de provas utilizados no suporte para amostras de pequenos portes e engastadas, para a realização dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico.....	67
Figura 21: Sequência de preparação dos corpos de prova e realização do ensaio de retração: (a) período de cura do corpo de prova; (b) armazenamento dos corpos de provas em temperatura ambiente de 23 °C; (c) instrumento de medição para o ensaio de retração; (d) realização do ensaio de retração no corpo de prova cerâmico.....	69
Figura 22: Apresentação dos dados que demonstram a capacidade de resistência potencial de aderência à tração e onde a linha verde representa o valor de referência da norma NBR 13749:2013.....	70
Figura 23: Percentual de registros de manifestações patológicas obtidos no período de setembro de 2021 a dezembro de 2023.....	73
Figura 24: Mapeamento de fissuras na fachada: fissuras destacadas pelos círculos e flechas em vermelho.	74
Figura 25: Fachada externa de um edifício com fissuras: detalhe das imperfeições destacadas, evidenciando a necessidade de intervenção e manutenção.....	75
Figura 26: Aspecto da parede interna devido à fissura externa: a imagem evidencia a presença de bolhas na superfície da parede, resultando em um visual comprometido e indicando a urgência de reparos.	76
Figura 27: Análise do percentual de problemas de fissuração relacionados com a argamassa estabilizada.....	79
Figura 28: Resultados de densidade da massa no estado fresco da argamassa estabilizada.	81
Figura 29: Resultados do índice de consistência da argamassa estabilizada.....	82
Figura 30: Resultado do ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático: variação de temperatura da amostra ao longo do tempo e para diferentes condições de temperaturas ambiental.....	84

Figura 31: Representação conjunta dos resultados de análise térmica em sistema semi-adiabático da argamassa estabilizada realizada em diferentes condições de temperatura ambiental.	85
Figura 32: Resultados à tração na flexão e compressão da argamassa estabilizada nas diferentes temperaturas.....	86
Figura 33: Imagens dos corpos de prova para ensaio de resistência à tração na flexão e compressão mostrando a fragilidade da argamassa e evidenciando a falta de resistência nas primeiras idades no corpo de prova.	87
Figura 34: Resultados à tração na flexão e compressão comparados com os valores de referência da NBR 13281 (2015).....	88
Figura 35 - Resultado do módulo de elasticidade em equipamento universal de ensaios.....	89
Figura 36: Resultado do módulo de elasticidade dinâmico obtido com o equipamento suporte para amostras de pequenos portes e engastadas.	91
Figura 37: Comportamento de retração e expansão: exibição dos resultados que ilustram a variação dimensional, evidenciando os fenômenos de retração e expansão das argamassas. Mudar análises semais.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos da norma NBR13281 para a escolha de argamassas.	37
Tabela 2: Retenções de água da argamassa para revestimento interno e externo conforme a NBR 13821 (2023).....	38
Tabela 3: Densidade de massa no estado fresco da argamassa para revestimento interno e externo conforme a NBR 13821 (2023).....	39
Tabela 4: Resistência potencial à tração superficial da argamassa de revestimento interno e externo.	42
Tabela 5: Módulo de elasticidade dinâmico conforme a NBR 13281.	43
Tabela 6: Variação dimensional (retração ou expansão linear) da argamassa para revestimento interno e externo.	44
Tabela 7: Densidade de massa no estado endurecido das argamassas para revestimento interno e externo.	46
Tabela 8: Resistência à tração na flexão da argamassa para revestimento interno e externo.	47
Tabela 9: Resultados da resistência potencial de aderência à tração e sua forma de ruptura.....	71
Tabela 10: Dados das manifestações patológicas coletados durante setembro de 2021 a dezembro de 2023.	72
Tabela 11: Diagnóstico dos 23 empreendimentos com fissuração nas fachadas.	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Requisitos classificatórios e informativos para a argamassa de revestimento de parede e teto interno e externo.	29
Quadro 2: Propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido.	38
Quadro 3: Critério classificatório para uso de módulo de elasticidade para argamassas de revestimento interno e externo.....	43
Quadro 4: Critério classificatório de uso de variações dimensionais para argamassas de revestimento interno e externo.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AET – Argamassa especial de traço.

ARV – Argamassa de revestimento vertical

ATE – Análise de transmissão spectral

CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*

E – Módulo de elasticidade

GPa – Giga Pascal

IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia

IParque – Parque Científico e Tecnológico

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1 MEDIDAS PARA EVITAR MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	20
3.1.1 Planejamento de projetos	22
3.1.2 Qualidade dos materiais	23
3.1.3 Análise de especificações construtivas	25
3.1.4 Manutenção preventiva	25
3.2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	26
3.2.1 Argamassa estabilizada	29
3.2.1.1 Manuseio da argamassa estabilizada	30
3.2.1.2 Aditivos de argamassas	31
3.2.2 Tipos de fissuras que ocorrem em argamassas	33
3.2.2.1 Fissuras de retração	33
3.2.2.2 Fissuras de dilatação térmica	34
3.2.2.3 Fissuras devido à falta de aderência	35
3.3 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	36
3.3.1 Retenção de água	38
3.3.2 Densidade de massa no estado fresco	39
3.3.3 Teor de ar incorporado	40
3.3.4 Resistência potencial de aderência à tração	40
3.3.5 Módulo de elasticidade dinâmico	42
3.3.6 Variação dimensional: retração ou expansão linear	44
3.3.7 Densidade de massa aparente no estado endurecido	45
3.3.8 Resistência à tração na flexão	46
3.3.9 Resistência à compressão	47
3.3.10 Permeabilidade	48
4. MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1 MATERIAIS	49

4.2 MÉTODOS	51
4.2.1 1° Etapa	52
4.2.2 2° Etapa	55
4.2.3 3° Etapa	55
4.2.3.1 Densidade de massa no estado fresco	58
4.2.3.2 Índice de consistência	59
4.2.3.3 Análise térmica em sistema semi-adiabático.....	60
4.2.3.4 Resistência à tração na flexão e compressão	62
4.2.3.5 Módulo de elasticidade estático	64
4.2.3.6 Módulo de elasticidade dinâmico	66
4.2.3.7 Retração	67
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1 1° ETAPA.....	70
5.2 2° ETAPA.....	72
5.3 3° ETAPA.....	80
5.3.1 Densidade de massa no estado fresco	80
5.3.2 Índice de consistência	81
5.3.3 Análise térmica em sistema semi-adiabático	83
5.3.4 Resistência à tração na flexão e compressão	86
5.3.5 Módulo de elasticidade estático	89
5.3.6 Módulo de elasticidade dinâmico	90
5.3.7 Retração	91
6 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS.....	96

1. INTRODUÇÃO

Os materiais de construção estão em constante evolução para atender as técnicas construtivas cada vez mais eficientes e duráveis. Neste contexto, os sistemas de revestimento cimentício de fachadas, para além da agregação de valor ao imóvel, desempenham um importante papel contra os principais agentes externos do processo de intemperismo, provenientes de condições atmosféricas, como a temperatura e o clima. Assim, as argamassas estabilizadas, que consistem na mistura de ligantes (geralmente cimento Portland), agregado miúdo, aditivos e podendo ter, adições minerais, têm sido amplamente utilizadas em revestimentos de fachadas de edifícios em todo o Brasil (SERRALHEIRO; DE BRITO; SILVA, 2017).

Apesar da ampla popularidade das argamassas estabilizadas, a ocorrência frequente de fissuras e infiltrações decorrentes de sua aplicação requer uma análise aprofundada. Esses problemas não apenas comprometem a qualidade das edificações, mas também acarretam custos adicionais de manutenção, principalmente em fachadas. Fissuras são o resultado de diversos fatores, incluindo retração, variações de temperatura, movimentação estrutural e inadequações na formulação e aplicação da argamassa. Essas fissuras, quando não tratadas, permitem a entrada de água, levando a infiltrações, comprometendo a integridade do edifício e causando danos estéticos e estruturais. Sendo assim, torna-se importante investigar e compreender as propriedades das argamassas estabilizadas (CONSOLI, 2006).

Para minimizar as manutenções corretivas, pode-se trabalhar com o planejamento durante o desenvolvimento dos projetos, desde a escolha e armazenamento correto dos materiais até à execução da obra. Uma edificação tem que ser projetada e construída para atender aos requisitos e necessidades dos usuários, com foco na interação das propriedades dos diferentes materiais e processos de construção (SANTOS FILHO, 2015).

A manutenção predial, do ponto de vista econômico, representa uma parcela de aproximadamente 1 a 2% do custo total da edificação. Esse custo é significativo quando consideramos o conjunto de fatores empregados na obra, sendo os prédios parte integrante dos ativos imobilizados de muitas empresas. Em particular, empreendimentos imobiliários, como hotéis, shoppings e outros,

dependem fortemente da qualidade e eficiência da manutenção dos seus edifícios, impactando os custos de operação desses negócios (ALMEIDA, 2018).

O Brasil possui um ambiente diversificado de construção, com diferentes tipos de climas, materiais disponíveis e práticas construtivas regionais. Isso torna vultosa a análise das argamassas estabilizadas utilizadas em fachadas no país, pois as condições climáticas influenciam o desempenho desses revestimentos. Portanto, entender como as argamassas estabilizadas são produzidas e aplicadas em diferentes regiões do Brasil resulta em um passo essencial para abordar o problema das fissuras e infiltrações em fachadas de edifícios (MARQUES *et al.*, 2019).

Este estudo propõe investigar as propriedades das argamassas estabilizadas usadas em fachadas de edifícios, visando compreender o comportamento desses materiais e propor possíveis soluções para minimizar os problemas observados. Para isso, realizaram-se ensaios de densidade de massa no estado fresco, índice de consistência, análise térmica em sistema semi-adiabático, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, resistência potencial de aderência à tração, módulo de elasticidade dinâmico e estático e retração, para determinação de características e propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Compreender o comportamento da argamassa estabilizada utilizada em fachadas de edifícios, relacionado à fissuração nos materiais cimentícios, a partir do estudo das propriedades desenvolvidas no estado fresco e endurecido.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar fachadas de edifícios de uma construtora do sul de Santa Catarina, para a identificação do desempenho de diferentes tipos de argamassas cimentícias para revestimentos;
- Simular ciclos de armazenamento da argamassa estabilizada de 72 h, moldadas após 24 e 72 h, a partir do diagnóstico de desempenho, e caracterizar o material cimentício no estado fresco e endurecido;
- Avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada de 72 h, para compreender os fatores que levam à fissuração dos revestimentos cimentícios.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

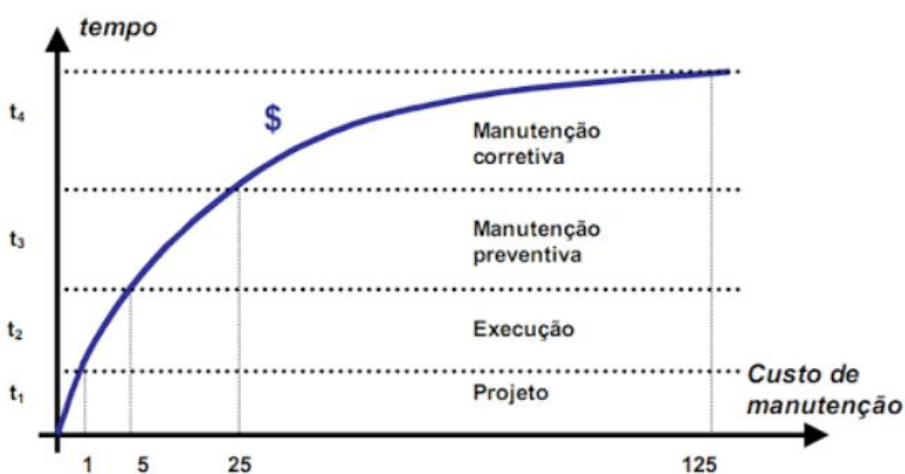
O desempenho de argamassas de fachadas é influenciado por variáveis tais como composição, condições ambientais e processo de aplicação.

Nesse sentido, este capítulo apresenta uma revisão teórica dos principais aspectos relacionados com as propriedades das argamassas cimentícias utilizadas em fachadas de edifícios, incluindo estudos sobre a composição desses materiais, métodos de aplicação, influência das condições ambientais, comportamento mecânico, durabilidade e possíveis problemas construtivos. A partir dessa revisão e da correlação com os dados experimentais obtidos, buscou-se compreender melhor o comportamento das argamassas, bem como a identificação das causas relacionadas com a fissuração de revestimentos cimentícios.

3.1 MEDIDAS PARA EVITAR MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Conforme a Lei de Sitter (Figura 1), que avalia os custos de manutenção de uma estrutura ao longo do tempo, os custos de recuperação de uma estrutura aumentam em média cerca de 5 vezes a cada etapa. Assim, quanto mais tempo uma estrutura fica sem manutenção adequada, mais caro e complexo se torna o processo de restauração ou reparo (PALMER, 2019).

Figura 1: Lei de Sitter e a relação entre custo de manutenção e tempo.

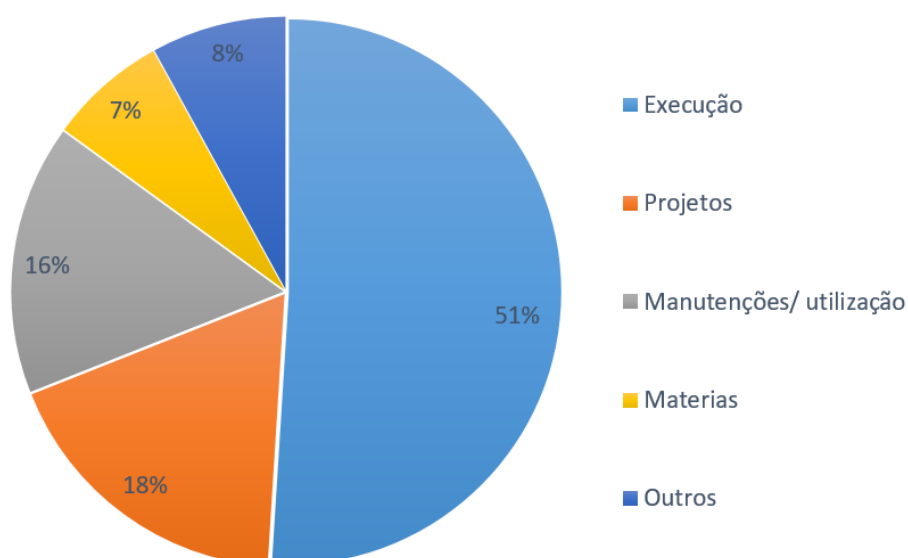


Fonte: Palmer (2019).

De acordo com Palmer (2019), essa regra é baseada em observações e experiências acumuladas ao longo do tempo por muitos profissionais que trabalham na área de gestão de infraestruturas e propriedades. A Lei de Sitter é voltada para o planejamento financeiro de proprietários de imóveis e gestores de infraestruturas, pois indica que a manutenção preventiva é mais eficaz e econômica do que a manutenção corretiva, que só é realizada quando a estrutura já apresenta danos significativos.

De acordo com Silva e Jonov (2011), os problemas nas construções estão ocorrendo cada vez mais cedo, já na fase de projeto. Contudo, a Figura 2 demonstra que a maior deficiência ocorre na etapa de execução da obra, devido à ausência de vistorias de acompanhamento de obras, organização e planejamento.

Figura 2: Dados das principais origens de problemas construtivos de alvenaria civil no Brasil.



Fonte: Adaptado de Silva e Jonov (2011).

A prevenção de possíveis problemas construtivos em edificações é voltada para garantir a qualidade, a segurança e a durabilidade das construções. São necessárias medidas adequadas ao longo do processo construtivo, desde o planejamento até à manutenção preventiva, incluindo a seleção de materiais de qualidade e o cumprimento de especificações construtivas. Na Figura 3 são mostradas medidas que podem ser adotadas para evitar a ocorrência de manifestações patológicas em edificações ao longo do tempo.

Figura 3: Relação de possíveis medidas preventivas para evitar problemas construtivos.



Fonte: Autora (2023).

3.1.1 Planejamento de projetos

Ao adotar uma abordagem integrada no desenvolvimento do projeto, é possível pré-definir cada etapa para alcançar um resultado mais eficiente. Nesse contexto, a equipe de projeto fornece orientações técnicas ao cliente e procura responder questões importantes, tais como: o que precisa ser feito, quem será responsável, quando será executado, quais os recursos que serão utilizados, qual será o custo e qual será a qualidade final do produto (SILVA, 2016).

Conforme destacado por Silva e Jonov (2011), um projeto bem-planejado deve abranger todos os aspectos relevantes e estar consoante as normas técnicas aplicáveis. O projeto precisa ser claro e completo, com todos os detalhes necessários para a sua execução, a fim de minimizar o risco de manifestações patológicas. Projetos deficientes têm sido responsáveis por cerca de 18% dos casos de patologias em construções no Brasil.

Para que o projeto de fachadas seja eficiente, torna-se necessário analisar a NBR 15575 (2013), a qual estabelece as condições para a durabilidade das fachadas. Segundo consta na norma, as obras têm que ter uma vida útil de no mínimo 50 anos, porém, na prática, os problemas ocorrem muito antes.

A elaboração do projeto de uma edificação é um processo complexo que envolve a descentralização em setores, mostrando assim, que é essencial a compatibilização de informações entre os diferentes projetos de modo a garantir a coesão durante o gerenciamento. A falta de processamento adequado dessas

informações pode resultar em problemas na concepção da edificação, como planejamento inadequado, orçamento excessivo e desperdício de material. Portanto, o projeto deve ser iniciado com estudos preliminares de viabilidade e consultas aos potenciais clientes, garantindo que seja elaborado de forma precisa e influenciando positivamente as fases subsequentes de sua elaboração (NASCIMENTO, 2015).

3.1.2 Qualidade dos materiais

A seleção dos materiais e técnicas de construção garante a adequação do projeto às normas e necessidades dos usuários, ao mesmo tempo, em que preserva as propriedades e características desejadas. Cada aplicação requer materiais específicos, levando em consideração propriedades como a resistência mecânica, durabilidade, isolamento térmico, resistência à corrosão, entre outras. O preço não deve ser o único critério de escolha, pois a economia obtida a curto prazo pode resultar no comprometimento e segurança do projeto. Uma especificação detalhada dos materiais é essencial para assegurar que atendam aos requisitos técnicos e funcionais, promovendo a integridade e longevidade das estruturas construídas (FERREIRA, 2014).

A ausência de controle tecnológico dos materiais na construção é apontada como responsável por aproximadamente 7% das causas de manifestações patológicas no Brasil, conforme destacado por Silva e Jonov (2011). Para prevenir esses inconvenientes, devem ser adotadas práticas de controle tecnológico rigorosas, especialmente no caso das argamassas.

O controle tecnológico das argamassas envolve a verificação sistemática de diversas propriedades, tais como a composição, granulometria dos agregados, teor de umidade, resistência mecânica, entre outras. Uma seleção adequada dos materiais que compõem as argamassas leva em consideração fatores como a compatibilidade dos materiais, características específicas do local de aplicação e as exigências do projeto (VON DAAKE; STEPHAN, 2017).

A dosagem dos materiais constituintes, como cimento, areia e aditivos, é uma etapa do controle tecnológico das argamassas. Isso garante não apenas a resistência desejada, mas também propriedades como aderência, trabalhabilidade e durabilidade. Além disso, a execução de ensaios ao longo do processo construtivo, desde a produção até à aplicação das argamassas, permite identificar eventuais

desvios nas especificações e corrigi-los a tempo, evitando problemas futuros. Assim, o controle tecnológico contribui para a qualidade e a durabilidade das construções, reduzindo o surgimento de problemas construtivos decorrentes de falhas nos materiais utilizados (CONSOLI, 2006).

Uma definição de produto ou serviço de qualidade é aquele que satisfaz plenamente as necessidades do cliente, garantindo confiabilidade, acessibilidade, segurança e pontualidade (OLIVEIRA, 2016). Desta forma, as empresas podem obter vantagens competitivas e destacar-se no mercado ao oferecer serviços de qualidade, que garantem um melhor custo-benefício na realização das obras, com redução de desperdícios e utilização de materiais eficientes e adequados às normas técnicas (SILVEIRA, 2010).

A aquisição de materiais no canteiro de obras não pode prescindir do requisito qualidade, como aponta Ferreira (2014), em razão do uso de materiais provenientes de diferentes origens. Segundo o autor, a qualidade na aquisição é composta pelos seguintes elementos: especificações técnicas para compra de produtos, controle de recebimento dos materiais em obra, orientações para o armazenamento e transporte dos materiais, além da seleção e avaliação de fornecedores de materiais e equipamentos.

Para as argamassas estabilizadas, estabelecer especificações técnicas claras, que abranjam elementos como a composição dos materiais constituintes, proporções adequadas, aditivos específicos, bem como as propriedades físicas e mecânicas desejadas, garante assim a qualidade e a eficácia do produto final (TARMAC, 2023).

O controle de recebimento das argamassas estabilizadas no canteiro de obras envolve a verificação das condições dos materiais entregues em relação às especificações previamente estabelecidas. Isso inclui a avaliação visual, ensaios laboratoriais, e se necessário, amostragem representativa (BAUER *et al.*, 2015).

As argamassas estabilizadas podem ser sensíveis a condições inadequadas de armazenamento e transporte. Deve-se seguir procedimentos adequados desde a produção até a aplicação para que as argamassas estabilizadas não tenham suas propriedades alteradas.(MARIO, 2019).

3.1.3 Análise de especificações construtivas

De acordo com Silva e Jonov (2011), a etapa de execução do projeto é um desafio significativo na construção civil e pode resultar em custos adicionais. Os autores apontam que uma equipe mal preparada está diretamente relacionada à principal causa de patologia na construção civil brasileira. Os erros cometidos na execução da obra correspondem a mais de 50% de todas as falhas construtivas, o que contribui diretamente para o surgimento de manifestações patológicas.

A fiscalização desempenha um papel relevante na construção civil. Ela assegura o cumprimento de projeto, contrato e demais documentos. Suas tarefas incluem a aprovação de materiais, vigilância dos processos de execução e verificação de dimensões. Além disso, é responsável pelo acompanhamento do progresso da obra e observância de prazos. Também identifica possíveis infrações contratuais e legais.

Paralelamente, o engenheiro da obra e o mestre de obras têm a responsabilidade de gerenciar a mão de obra e a produção, buscando garantir o cumprimento dos padrões estabelecidos, motivando e orientando os funcionários para uma execução eficiente dos serviços (FERREIRA, 2014). A presença de mão de obra especializada garante a correta execução dos projetos, evitando erros de construção que podem resultar em falhas estruturais e patologias na edificação. Além disso, uma equipe técnica qualificada é capaz de identificar problemas e propor soluções de forma ágil, minimizando a ocorrência de atrasos e custos adicionais na obra. A falta de fiscalização e a contratação de mão de obra não especializada são comuns na construção civil e podem causar diversos problemas, como má execução de serviços, uso de materiais inadequados e descumprimento de normas técnicas e de segurança, além de manifestações patológicas futuras. Para evitar tais problemas, é necessário investir na contratação de profissionais qualificados e na fiscalização eficiente dos serviços realizados, garantindo a qualidade e a segurança da obra (LEITE, 2014).

3.1.4 Manutenção preventiva

As manutenções preventivas são consideráveis, pois à medida que as edificações vão ficando mais velhas, garante-se o prolongamento da vida útil, bem

como o desempenho estrutural e funcional. Esse tipo de ação sempre deverá fazer parte da gestão de construção, haja visto que os inconvenientes resultantes da inexistência de atividades de manutenção preventivas e periódicas, tornam-se mais frequentes e geram insegurança nos usuários, em relação à qualidade dos serviços. Nesse sentido, para Silva e Jonov (2011), as faltas de manutenções preventivas correspondem a 3% das origens das patologias no Brasil.

A manutenção preventiva consiste em um conjunto de atividades programadas com base em critérios técnicos e administrativos para prevenir a necessidade de reparos em equipamentos e sistemas, podendo ser realizada com base nos históricos de manutenção. Destaca-se que a manutenção preventiva seja feita de forma analítica e preditiva, a fim de evitar custos elevados e substituições antecipadas sem análise de desempenho e causas. Para programar as atividades de manutenção preventiva, pode-se recorrer às informações dos fabricantes, históricos de manutenção e avaliação sistêmica das instalações por meio de rotinas periódicas simples e vistorias de inspeção predial abrangentes. O emprego da manutenção preventiva contribui para aumentar a vida útil das partes do edifício, das suas instalações e equipamentos, bem como para reduzir o custo final dos serviços de manutenção, quando associada a aspectos de manutenção proativa (GOMIDE *et al.*, 2019).

Um estudo realizado pelo IBAPE (2012) constatou que, no ano de 2012, 66% dos acidentes prediais, tiveram como provável causa de origem a falta de manutenção, ocorrendo com maior frequência em edifícios com mais de 30 anos. A manutenção feita de forma inadequada e sem critérios técnicos, pode ser provocar a falha e acarretar gastos sem os benefícios esperados, com prejuízo para os usuários, desvalorização acentuada do imóvel, impedimento ao uso, ações judiciais por negligência, entre outros danos.

3.2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A argamassa de revestimento com cimento portland, também conhecida como argamassa de reboco, é utilizada para aplicação sobre as superfícies das paredes para fins de proteção e acabamento. É composta basicamente por cimento, agregados miúdos (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais em sua composição (NBR 13749, 2017).

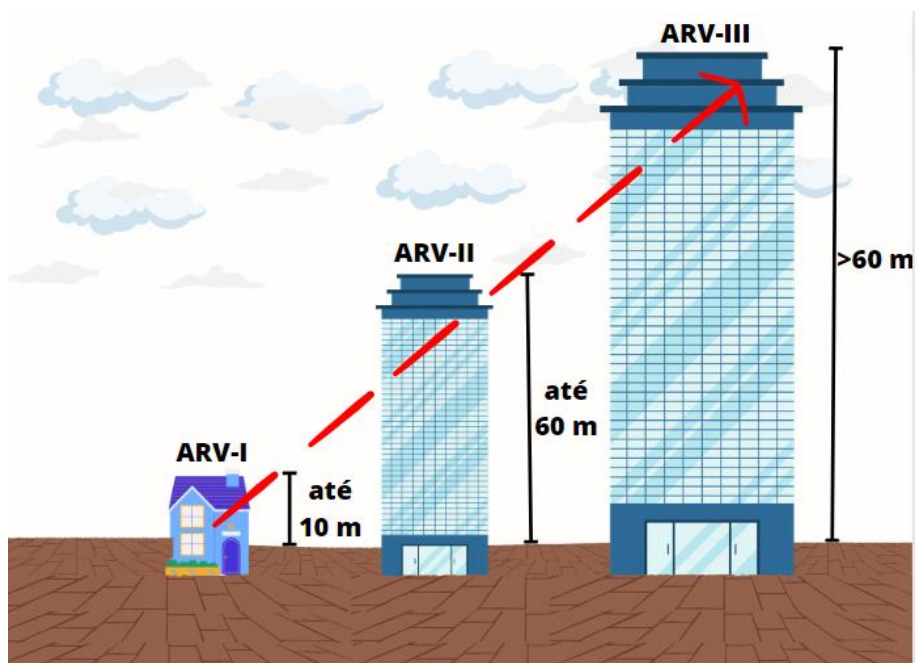
A principal função da argamassa de revestimento é proteger a alvenaria contra intempéries e agentes externos como chuva, vento, sol e poluição, além de promover o acabamento estético da construção. Existem diferentes tipos de argamassas de revestimento, que variam conforme o uso e as características do substrato (NBR 13749, 2017).

Para garantir o desempenho adequado do sistema de revestimento de argamassa, observam-se as condições de aplicação, como o preparo da superfície, o tempo de cura e a espessura da camada de revestimento. Além disso, devem-se seguir as normas técnicas e recomendações do fabricante, quanto à proporção dos materiais e à utilização de aditivos podem melhorar as propriedades da argamassa e aumentar sua durabilidade (NBR 13281, 2023).

Na construção civil, diversas argamassas inorgânicas, tais como ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET, são amplamente empregadas para revestimentos internos e externos. Vale ressaltar que essas siglas significam argamassa de revestimento vertical e referem-se a formulações específicas desses materiais, sendo ARV-I, ARV-II e ARV-III variantes distintas, cada uma com propriedades particulares, enquanto AET significa argamassa especial de traço.

A ARV-I é indicada para revestir áreas com até 10 metros de altura a partir do nível médio da rua na fachada principal. A ARV-II é apropriada para revestir áreas de até 60 metros a partir do nível médio da rua na fachada principal, mantendo os mesmos padrões de durabilidade, resistência e estética em construções de média altura. Por sua vez, a ARV-III destina-se a revestir edifícios com altura superior a 60 metros a partir do nível médio da rua na fachada principal, conforme ilustrado na Figura 4. Todas as argamassas tem como foco garantir padrões de desempenho e segurança, particularmente em construções de grande altura, levando em consideração fatores ambientais e estruturais (NBR 13281, 2023).

Figura 4: Representação esquemática para os diferentes tipos de argamassas de revestimento vertical (ARV), para utilização externa em edifícios de diferentes alturas (10, 60 e >60 metros).



Fonte: Autora (2023).

Os critérios de classificação e caracterização das argamassas em ARV-I, ARV-II, ARV-III ou AET (argamassas de emboço técnico) estão estabelecidos na norma NBR 13281, como pode ser observado no Quadro 1. Estão incluídos requisitos como resistência potencial de aderência à tração ao substrato, resistência potencial à tração superficial, módulo de elasticidade dinâmico e variação dimensional (retração ou expansão linear). Os demais elementos relacionados ao desempenho devem ser fornecidos pelo responsável pela produção da argamassa (NBR 13281, 2023).

Quadro 1: Requisitos classificatórios e informativos para a argamassa de revestimento de parede e teto interno e externo.

Argamassa para revestimento de parede e tetos ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET	
Requisitos classificatórios	Requisitos informativos
	Retenção de água
	Densidade de massa no estado fresco
	Teor do ar incorporado
	Tempo de uso
	Densidade de massa no estado endurecido
	Resistência à tração na flexão
	Coefficiente de absorção de água por capilaridade
	Fator de resistência à difusão de vapor de água
Estado endurecido	Estado endurecido
Resistência potencial de aderência à tração ao substrato	
Resistência potencial à tração superficial	
Módulo de elasticidade dinâmico	
Variação dimensional (retração ou expansão linear)	

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

3.2.1 Argamassa estabilizada

A argamassa estabilizada tem suas raízes na evolução das técnicas construtivas, remontando aos primórdios da construção civil. Originalmente, argamassas eram compostas por ligantes como cal e areia, empregadas para unir elementos construtivos. Com o avanço da engenharia, surgiram formulações mais complexas, incorporando aditivos e estabilizantes para aprimorar propriedades como resistência e durabilidade. Ao longo do tempo, esse desenvolvimento culminou na argamassa estabilizada moderna, uma versão refinada que atende a exigências específicas de desempenho e durabilidade. Sua origem reflete a constante busca por materiais construtivos mais eficazes, destacando-se como uma solução avançada no cenário da construção contemporânea (HERMANN; ROCHA, 2013).

Argamassa estabilizada é um tipo de argamassa que possui uma formulação específica, contendo aditivos que conferem estabilidade e resistência a algumas propriedades do material. Esses aditivos são adicionados à mistura durante o processo de fabricação da argamassa, visando melhorar suas características e

desempenho. Os aditivos desempenham um papel crucial na composição das argamassas estabilizadas, que podem incluir aditivos incorporadores de ar, estabilizadores de hidratação, retentores de água e redutores de água. Tais elementos são fundamentais para controlar a quantidade de ar na mistura, estabilizar a hidratação do cimento, manter a retenção de água na argamassa e reduzir a quantidade de água necessária para atingir a consistência adequada. Essas argamassas são comumente aplicadas em contextos que demandam alto desempenho, como os revestimentos de fachadas (MARIO, 2019).

A formulação básica da argamassa estabilizada compreende cimento Portland, agregado miúdo, água e aditivos, como aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação. Adicionalmente, podem ser empregados aditivos retentores de água e redutores de água, e, em algumas situações, materiais finos como pozolanas ou cargas minerais podem ser adicionados para ajuste do comportamento reológico da argamassa. Após a aplicação, a evaporação da água inicia as reações do cimento, permitindo o desenvolvimento das características desejadas (MARIO, 2019).

Para o revestimento de argamassa estabilizada, o tempo de utilização varia geralmente entre 24 a 72 horas. Isso significa que a argamassa pode ser utilizada para aplicação revestimento de argamassa dentro desse intervalo de tempo após a sua preparação. É importante respeitar esse tempo de utilização para garantir um bom desempenho e aderência do reboco (TARMAC, 2023).

3.2.1.1 Manuseio da argamassa estabilizada

Conforme Tarmac (2023), a aplicação da argamassa estabilizada segue um processo similar ao das argamassas convencionais. Essa argamassa não deve ser aplicada em temperaturas acima de 30 °C, devido à alta evaporação de água, nem em temperaturas abaixo de 5 °C, pois a resistência da argamassa geralmente se desenvolve em temperaturas acima de 4 °C. Além disso, é desaconselhado aplicar o material em dias com vento forte, superfície gelada ou sob sol intenso. Para obter melhores resultados, recomenda-se, em condições ambientais adversas, como em dias muito quentes ou frios, proteger a parede na qual a argamassa será aplicada.

Após a aplicação, é recomendado realizar a cura do revestimento segundo as especificações da norma. O processo consiste no umedecimento da parede nas primeiras 24 horas após a aplicação, com repetições nos três dias subsequentes a fim de garantir um bom desempenho e durabilidade da argamassa (TARMAC, 2023).

Para garantir o armazenamento correto da argamassa estabilizada em caixas plásticas, existem algumas diretrizes, por exemplo: certificar que as caixas estejam limpas, a fim de evitar a contaminação do produto e manter sua qualidade; etiquetar cada caixa com informações como o tipo de argamassa, data de fabricação e prazo de validade. Essa etiquetagem adequada facilitará o controle do estoque e garantirá o uso da argamassa dentro do prazo adequado. Antes de fechar as caixas, a superfície da argamassa precisa ser nivelada e adicionada uma fina camada de água, geralmente em torno de 1 a 2 cm, para manter a umidade do material. Essas medidas contribuirão para preservar a qualidade e o desempenho da argamassa estabilizada durante o armazenamento (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

3.2.1.2 Aditivos de argamassas

Aditivos são compostos adicionados em pequenas quantidades à mistura da argamassa para modificar uma ou mais propriedades do material. Essas substâncias promovem melhoria nas características de trabalhabilidade, tempo de pega, aderência, resistência e durabilidade. Os aditivos são selecionados com base nas necessidades específicas de cada aplicação, permitindo ajustes personalizados nas propriedades da argamassa para atender aos requisitos do projeto e otimizar seu desempenho ao longo do tempo (NBR 11768-1, 2019).

Conforme a classificação estabelecida pela NBR 11768-1 (2019), existem diferentes tipos de aditivos, cada um com funções distintas. Entre os principais: aditivo estabilizador de pega, aditivo incorporador de ar, aditivo redutor de água/ plastificante, aditivo de alta redução de água/ superplastificante tipo I, aditivo de alta redução de água/ superplastificante tipo II, aditivo acelerador de pega e aditivo acelerador de resistência.

O aditivo estabilizador de pega, também conhecido como estabilizador de hidratação, desempenha a função de controlar o tempo de pega da argamassa estabilizada. A pega é o processo pelo qual a argamassa passa do estado plástico

para o estado endurecido, sendo importante que esse processo ocorra de maneira controlada e adequada. A função do aditivo estabilizador de pega é retardar a hidratação inicial do cimento na argamassa, prolongando o tempo de trabalhabilidade do material antes que ele comece a endurecer. Isso é especialmente útil em situações em que é necessário um tempo maior para a aplicação da argamassa (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

O aditivo incorporador de ar desempenha a função de introduzir pequenas bolhas de ar na argamassa estabilizada. Essas bolhas de ar atuam como agentes de melhoria na trabalhabilidade do material no estado fresco (MARIO, 2019). A incorporação de ar na argamassa resulta em uma maior durabilidade e resistência ao congelamento e descongelamento, pois as bolhas de ar atuam como uma espécie de alívio de pressão, reduzindo a possibilidade de danos causados pela expansão da água durante o congelamento. Isso é especialmente importante em regiões com climas frios ou em estruturas expostas a ambientes úmidos. Além disso, o aditivo incorporador de ar também pode melhorar a trabalhabilidade da argamassa, facilitando a sua aplicação e posterior acabamento. A presença das bolhas de ar na mistura torna o material mais leve, reduzindo sua densidade e tornando-o mais fácil de manusear (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

O aditivo redutor de água, também conhecido como plastificante, desempenha a função de melhorar a trabalhabilidade da argamassa estabilizada ao reduzir a quantidade de água necessária para a mistura. Isso é alcançado por meio de uma interação química com os componentes da argamassa. A principal função do aditivo redutor de água na argamassa é conferir maior plasticidade e fluidez ao material sem comprometer sua resistência. Ao reduzir a quantidade de água necessária para obter uma argamassa com as características desejadas, o aditivo permite que a mistura fique mais coesa, facilitando sua aplicação, compactação e acabamento. Além disso, o aditivo redutor de água/ plastificante também contribui para a redução da quantidade de vazios na argamassa, o que resulta em uma maior densidade e resistência do material endurecido. Isso pode levar a um aumento na resistência mecânica da argamassa (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

Os aditivos de alta redução de água/ superplastificante tipo I e tipo II são classificados com base em suas características químicas e propriedades de desempenho específicas. A classificação leva em consideração fatores como a composição química do aditivo, sua capacidade de redução de água, a faixa de

dosagem recomendada e outras propriedades relevantes para o desempenho da argamassa ou do concreto. Eles têm funções semelhantes na argamassa estabilizada, sendo ambos tipos de plastificantes de alto desempenho. Sua principal função é proporcionar uma significativa redução na quantidade de água necessária para a mistura, ao mesmo tempo, em que melhoram a sua trabalhabilidade e plasticidade. Esses aditivos são capazes de conferir uma alta fluidez à argamassa, permitindo que ela se torne mais coesa e moldável, facilitando a sua aplicação, compactação e acabamento. Eles promovem uma melhor dispersão dos componentes, diminuindo a viscosidade do material e tornando-o mais homogêneo (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

A principal diferença entre os aditivos de alta redução de água/ superplastificante tipo I e tipo II reside na sua eficiência de redução de água. O tipo I oferece uma redução significativa na quantidade de água necessária para a mistura, proporcionando uma maior trabalhabilidade, enquanto o tipo II possui uma capacidade ainda maior de reduzir a quantidade de água, conferindo uma maior fluidez ao material. Ambos os aditivos melhoram a compacidade da argamassa, reduzindo a porosidade e aumentando a sua resistência final (ANTONIAZZI *et al.*, 2020).

3.2.2 Tipos de fissuras que ocorrem em argamassas

As fissuras em argamassas são um problema comum na construção civil, afetando a estética e a durabilidade das edificações. Elas podem ocorrer devido a causas como: retração da argamassa durante a secagem, movimentações estruturais, variações de temperatura, entre outras.

Para prevenir e tratar as fissuras em argamassas, adotam-se medidas preventivas como a preparação da superfície, o uso de argamassas compatíveis, com propriedades adequadas ao uso, a incorporação de aditivos, a aplicação em condições favoráveis e a correta cura da argamassa.

3.2.2.1 Fissuras de retração

As fissuras por retração ocorrem em revestimentos de argamassa devido a perda de água no estado fresco da argamassa. Esta perda de água é natural e

ocorre tanto para o substrato como para o meio através da evaporação. Durante o processo de secagem, a água evapora e a argamassa se contrai, criando tensões internas que podem levar à formação de fissuras. Para minimizar o risco de fissuras de retração, se aplica o revestimento em camadas finas e evita-se aplicá-lo em condições de alta temperatura ou baixa umidade relativa do ar (SILVA, 2015).

De acordo com Santos (2018), as fissuras de retração em reboco são um problema comum em construções de alvenaria e podem ser causadas por diversos fatores, como a qualidade do material utilizado, a espessura do revestimento, o método de aplicação e o controle da umidade. Para mitigar o risco de fissuras, além de seguir rigorosamente as normas técnicas, opta-se por materiais de desempenho para uso e deve-se garantir a proteção da parede contra a exposição direta ao sol e ao vento durante o processo de cura.

As fissuras de retração em reboco podem permitir a infiltração de água da chuva ou da umidade presente no ar para o interior das paredes, causando problemas como manchas, descascamento da tinta e até mesmo bolor. Esses problemas se agravam em regiões com clima úmido ou em edificações localizadas em áreas com alta incidência de chuvas. Portanto, a prevenção da ocorrência de fissuras de retração no reboco se realiza por meio da adoção de técnicas construtivas apropriadas e da utilização de materiais de alta qualidade, conforme indicado por Oliveira (2019).

3.2.2.2 Fissuras de dilatação térmica

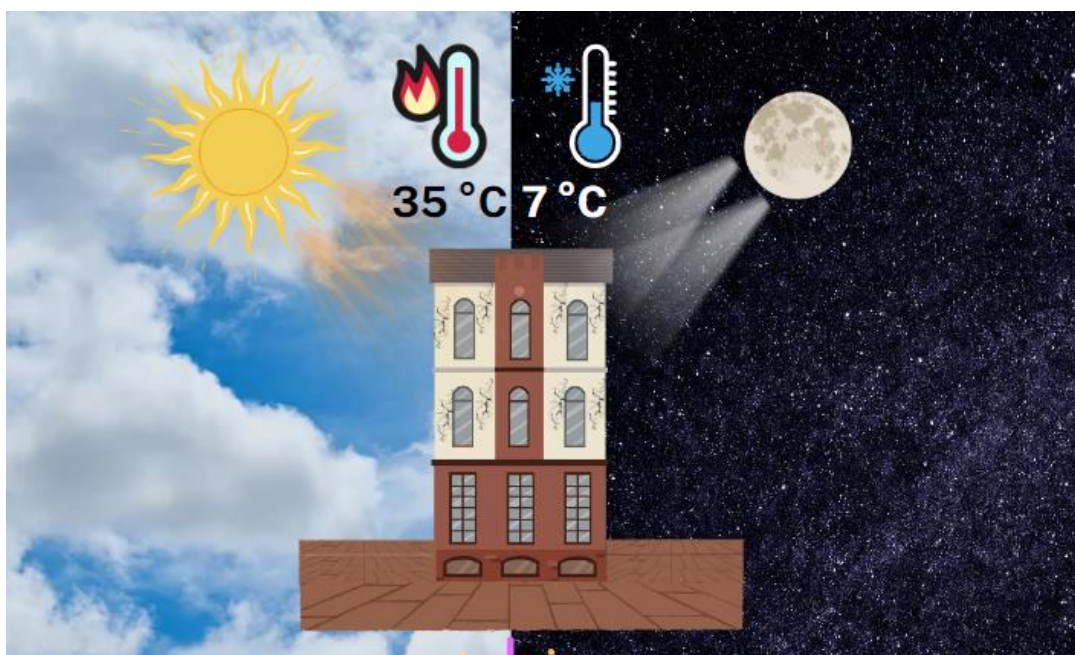
As variações de temperatura podem causar tensões internas no reboco que podem levar à formação de fissuras (CUNHA, 2012).

Conforme o ACI *Committee* 305 (2010), a variação térmica pode causar fissuração por dilatação em argamassa estabilizada, devendo-se, portanto, garantir uma cura adequada após a sua aplicação, a fim de evitar o ressecamento e a formação de fissuras.

A fissuração por variação de temperatura é um problema comum em argamassas estabilizadas, principalmente em locais com variações climáticas significativas, como representado na Figura 5. A oscilação da temperatura pode gerar tensões internas na argamassa, levando à formação de fissuras e trincas que prejudicam a integridade da estrutura. Para prevenir ou minimizar esse problema,

busca-se empregar materiais de qualidade e adotar técnicas adequadas de mistura, aplicação e cura da argamassa. Além disso, a adição de aditivos específicos pode ser uma alternativa para melhorar a resistência à compressão e a flexibilidade da argamassa, reduzindo o risco de fissuração por variação de temperatura (SILVEIRA, 2018).

Figura 5: Ilustração mostrando a variação de temperatura, entre dia e noite, a que as edificações estão sujeitas (com base na região de interesse da pesquisa).



Fonte: Autora (2023).

3.2.2.3 Fissuras devido à falta de aderência

A presença de óleo, poeira, excesso de umidade ou sujeira na superfície do substrato pode causar a falta de aderência da argamassa. Para evitar a falta de aderência e, conseqüentemente, o surgimento de fissuras no revestimento, adotam-se medidas preventivas durante a execução da obra, como a limpeza adequada da superfície e a escolha de argamassas de requisitos para uso (OLIVEIRA, 2015).

De acordo com Botelho (2008), a falta de aderência da argamassa ao substrato é um dos principais fatores responsáveis pelo surgimento de fissuras em revestimentos. Para evitar esse problema, tem que ter-se uma correta preparação da superfície do substrato e escolher a argamassa adequada para cada tipo de aplicação.

De acordo com Ferreira *et al.* (2011), as fissuras devido à falta de aderência em argamassa estabilizada podem comprometer a resistência e durabilidade das estruturas.

3.3 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A argamassa de revestimento possui diversas características para garantir o seu desempenho. Dentre elas: trabalhabilidade, aderência, resistência à compressão, densidade de massa aparente no estado endurecido, resistência à tração, durabilidade, impermeabilidade e retração (ALVARENGA, 2018).

Conforme a Tabela 1, a escolha da argamassa deve ser feita levando em consideração os requisitos estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis que variam conforme o tipo de argamassa e sua aplicação. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece uma série de normas que regulamentam a produção e utilização de argamassas. A NBR 13281:2023 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, por exemplo, estabelece os requisitos para argamassas utilizadas em assentamento e revestimento, como pintura e textura para paredes e tetos. Essa norma define aspectos como a composição da argamassa, suas propriedades mecânicas, trabalhabilidade, aderência, absorção de água, resistência à compressão, entre outros.

Tabela 1: Requisitos da norma NBR13281 para a escolha de argamassas.

Requisitos	Recomendação	Unidade	Método de ensaio	Classificação NBR 13281
Resistência à compressão	1,5 a 6,5	MPa	NBR 13279	P2 à P4
Densidade de massa aparente no estado endurecido	1500 a 2000	kg/m ³	NBR 13280	M4, desde que ≤ 1500 M5
Resistência à tração na flexão	2,0 a 3,5	MPa	NBR 13279	R4
Densidade de massa no estado fresco	1600 a 2000	kg/m ³	NBR 13278	D4
Retenção de água	86 a 97	%	NBR 13277	U4 e U5
Resistência potencial de aderência à tração	$\geq 0,3$	MPa	NBR 13258	A3
Teor de ar incorporado	16 a 23	%	NBR 13278	-
Módulo de elasticidade dinâmico	$\leq 7000 \leq 9500$	MPa	NBR 15630	E3 e E4
Variação dimensional (retração ou expansão linear)	$0,0 \geq \epsilon_i \geq -0,70$ (retração entre 0 e 0,70)	mm/m	NBR 1561	VD4 e VD5

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

As argamassas possuem propriedades distintas nos estados fresco e endurecido, como mostra o Quadro 2. No estado fresco, tem-se a trabalhabilidade, plasticidade e aderência. A trabalhabilidade refere-se à facilidade de moldagem, a plasticidade mantém a forma e a aderência garante a fixação. No estado endurecido, destacam-se a resistência mecânica, durabilidade e porosidade. A resistência suporta cargas, a durabilidade enfrenta intempéries e a porosidade influencia a absorção de água e a resistência a infiltrações (SILVEIRA, 2018).

Quadro 2: Propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido.

Estado fresco	Estado endurecido
Densidade de massa no estado fresco	Resistência à compressão
Retenção de água	Densidade de massa aparente no estado endurecido
Teor de ar incorporado	Resistência à tração na flexão
Reologia	Resistência potencial de aderência à tração
Adensamento	Módulo de elasticidade dinâmico
	Variação dimensional (retração ou expansão linear)
	Coefficiente de absorção de água por capilaridade

Fonte: Autora (2023).

3.3.1 Retenção de água

A retenção de água na argamassa de revestimento também pode afetar a sua trabalhabilidade e o tempo de pega, uma vez que a quantidade de água presente influencia diretamente essas características. Argamassas com alta retenção de água, como mostrado na Tabela 2, podem apresentar maior plasticidade, facilitando sua aplicação. Porém, também podem ter maior tendência à exsudação (fenômeno migratório da água existente na composição para superfície) e à formação de fissuras durante a secagem. Por outro lado, as argamassas com baixa retenção de água podem ser mais rígidas e menos deformáveis, dificultando sua aplicação e prejudicando a aderência. Portanto, encontrar um equilíbrio na retenção de água pode garantir um reboco de qualidade e minimizar os problemas relacionados à fissuração (OLIVEIRA, 2015).

Tabela 2: Retenções de água da argamassa para revestimento interno e externo conforme a NBR 13821 (2023).

Classe	Retenção de água (U) %
U0	$U < 70$
U1	$70 \leq U < 80$
U2	$80 \leq U < 90$
U3	$U > 90$

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

As categorias delineadas na Tabela 2 são uma derivação direta dos parâmetros estabelecidos pela norma NBR 13281 (2023), e estão intimamente associadas à capacidade de retenção de água. À medida que a classe aumenta, a capacidade de retenção de água também se eleva proporcionalmente.

3.3.2 Densidade de massa no estado fresco

A densidade de massa no estado fresco está diretamente relacionada com a trabalhabilidade e consistência de uma argamassa. Segundo Mendes (2013), argamassas com baixa densidade de massa no estado fresco podem apresentar maior exsudação (separação da água) e segregação dos seus componentes, o que pode prejudicar a sua qualidade e aumentar a probabilidade de surgimento de fissuras.

Argamassas com baixa densidade de massa no estado fresco tendem, como mostrado na Tabela 3, a apresentar maior retração durante a secagem, o que também pode gerar fissuras no reboco. Por outro lado, argamassas com alta densidade de massa no estado fresco podem ser difíceis de aplicar e demandar maior consumo de água para garantir a trabalhabilidade adequada, resultando em problemas de aderência e coesão no reboco. Portanto, deve-se encontrar um equilíbrio entre a densidade de massa no estado fresco e a trabalhabilidade da argamassa, para garantir um revestimento de reboco de qualidade e minimizar a probabilidade de fissuração (MENDES, 2013).

Tabela 3: Densidade de massa no estado fresco da argamassa para revestimento interno e externo conforme a NBR 13821 (2023).

Classe	Densidade de massa no estado fresco (DF) kg/m³
DFO	DF < 1400
DF1	1400 ≤ DF 1600
DF2	1600 ≤ DF 1800
DF3	1800 ≤ DF 2000
DF4	DF ≥ 2000

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

As categorias mencionadas na Tabela 3 são diretamente derivadas dos critérios estabelecidos pela norma NBR 13281 (2023), guardando uma relação direta

com a densidade de massa no estado fresco. À medida que a classe se eleva, observa-se um aumento correspondente na densidade de massa no estado fresco.

A trabalhabilidade se refere à facilidade com que a mistura pode ser moldada e aplicada sobre a superfície. Essa propriedade está diretamente relacionada com a quantidade de água presente na mistura e com a granulometria dos agregados utilizados. Uma argamassa com alta trabalhabilidade é mais fácil de aplicar, espalhar e nivelar, o que aumenta a produtividade da obra. Porém, observa-se que a adição excessiva de água pode comprometer outras propriedades da argamassa, como a resistência mecânica e a durabilidade, tornando-se um fator limitante para a obtenção de um bom desempenho do revestimento (GOMES; COSTA, 2016).

3.3.3 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado em argamassas de reboco influencia diretamente as propriedades da argamassa como: a resistência mecânica e a permeabilidade. O ar incorporado é adicionado à argamassa visando melhorar a trabalhabilidade e a plasticidade da mistura, além de aumentar sua capacidade de absorção de deformações. Porém, quando o teor de ar incorporado na argamassa é muito elevado (acima de 23 %), pode ocorrer uma redução na resistência mecânica e uma maior susceptibilidade ao surgimento de fissuras (SANTANA; ALEIXO, 2017).

De acordo com estudos realizados por Santana e Aleixo (2017), argamassas com teores de ar incorporado acima do recomendado, de 16 à 23 % apresentaram maior número de fissuras, devido à redução da coesão da argamassa e à maior facilidade de deformação e descolamento das camadas de reboco.

3.3.4 Resistência potencial de aderência à tração

A resistência potencial de aderência à tração influencia diretamente a capacidade da argamassa de aderir ao substrato. Conforme mencionado por Ramos (2017), argamassas com baixa resistência potencial de aderência à tração tendem a apresentar menor aderência ao substrato e maior probabilidade de descolamento, o que pode gerar pontos de tensão, e conseqüentemente, o surgimento de fissuras. Diversos fatores podem influenciar essa propriedade, como a granulometria e a

dosagem dos materiais, assim como as propriedades químicas dos aditivos utilizados. Portanto, a escolha dos materiais e dosagens adequadas pode resultar em argamassas com maior resistência potencial de aderência à tração, o que pode prevenir o surgimento de fissuras em reboco.

Conforme Marques Filho e Silva (2015), a aderência da argamassa de revestimento é uma propriedade que garante a fixação do revestimento na superfície e a sua durabilidade ao longo do tempo. O uso de aditivos específicos, como os modificadores de aderência, também pode contribuir para melhorar a aderência da argamassa, especialmente em casos de superfícies mais lisas ou com baixa porosidade.

Quando a argamassa não adere adequadamente à parede, podem surgir problemas como desprendimento, fissuras, infiltrações e baixa durabilidade. Isso compromete a integridade da construção, tornando-a menos segura, esteticamente prejudicada e sujeita a danos estruturais (PELISSER, FERNANDES, ATAÍDE, 2017).

A resistência potencial à tração superficial das argamassas de revestimento, tanto internas quanto externas, apresenta requisitos eliminatórios definidos pela ABNT NBR 13281-1, como podemos observar na Tabela 4. Esses requisitos são categorizados em três modalidades: a primeira é aplicável a argamassas usadas internamente, para fins de pintura e textura; a segunda se destina a argamassas empregadas para aplicação de peças cerâmicas internas, pintura e textura externas; e a terceira modalidade é exclusiva para argamassas utilizadas externamente com aplicação de cerâmica, exigindo um valor mínimo de 0,5 MPa.

Tabela 4: Resistência potencial à tração superficial da argamassa de revestimento interno e externo.

Argamassa	Resistência potencial à tração superficial (MPa)
ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET para produção de revestimento interno destinado à aplicação de pintura e/ou textura	≥ 0,20
ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET para produção de revestimento interno destinado à aplicação de peças cerâmicas ou revestimento externo destinado à aplicação de pintura e/ou textura	≥ 0,30
ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET para produção de revestimento externo destinados à aplicação de cerâmica	≥ 0,50

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

3.3.5 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade indica a capacidade de um material de se deformar sob ação de uma carga e retornar à sua forma original quando a carga é removida. Em outras palavras, é uma medida da rigidez do material. No contexto do reboco, um alto módulo de elasticidade indica que o material é mais rígido e menos propenso a se deformar ou ceder sob cargas aplicadas. Isso significa que, se um substrato se mover ou se deformar, o reboco com um módulo de elasticidade mais baixo terá uma melhor capacidade de acompanhar essa deformação e reduzir a probabilidade de fissuração. Por outro lado, se o reboco tiver um módulo de elasticidade mais alto, ele será mais propenso a se deformar e ceder sob cargas aplicadas, o que pode levar ao surgimento de fissuras (FARIA *et al.*, 2012). Contudo, esse ponto vai ser analisado para as argamassas estudadas.

O critério de classificação em quatro classes para o módulo de elasticidade dinâmico da argamassa é estabelecido de forma inversa, ou seja, quanto menor o valor do módulo de elasticidade dinâmico, melhor é o desempenho da argamassa, como pode ser observado na Tabela 5. Isso ocorre porque um módulo de elasticidade dinâmico menor indica uma maior capacidade de deformação e flexibilidade da argamassa. Essa flexibilidade é desejada em

aplicações de revestimento, especialmente em fachadas, para acomodar movimentos estruturais e térmicos sem gerar fissuras ou danos ao revestimento. Portanto, argamassas com módulos de elasticidade dinâmicos menores são mais adequadas para esse fim, resultando em um melhor desempenho (NBR 13281, 2023).

Tabela 5: Módulo de elasticidade dinâmico conforme a NBR 13281.

Classe	Módulo de elasticidade dinâmico (Ed) MPa
E1	$12000 < E_d \leq 14000$
E2	$9500 < E_d \leq 12000$
E3	$7000 < E_d \leq 9500$
E4	$E_d \leq 7000$

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

As categorias apresentadas na Tabela 5 são uma derivação direta dos parâmetros estabelecidos na norma NBR 13281, e estão diretamente correlacionadas com o módulo de elasticidade. À medida que a classe aumenta, verifica-se uma diminuição correspondente no módulo de elasticidade.

Para argamassas de revestimento de fachadas que utilizam a classificação ARV-III ($h > 60$), como mostrado anteriormente no Quadro 3, o critério de módulo de elasticidade dinâmico deve estar na faixa de 7000 a 9500, enquanto valores menores ou iguais a 7000 são aplicáveis (NBR 13281, 2023).

Quadro 3: Critério classificatório para uso de módulo de elasticidade para argamassas de revestimento interno e externo.

Requisito	Classe	Critério por tipo de argamassa			
		ARV-I ($h \leq 10$ m)	ARV-II ($10 < h \leq 60$ m)	ARV-III ($h > 60$)	AET (todas)
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	E	E1 a E4	E2 a E4	E3 a E4	E4

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

3.3.6 Variação dimensional: retração ou expansão linear

Conforme Gomes *et al.* (2017), a retração na argamassa de revestimento é um fenômeno em que ocorre a contração do material durante o processo de secagem, resultando em tensões internas que podem levar à formação de fissuras. Essa retração está diretamente relacionada com a quantidade de água presente na mistura, o teor de cimento, a granulometria dos agregados e a presença de aditivos. Para minimizar o impacto da retração e reduzir a ocorrência de fissuras, adotam-se práticas adequadas de cura, como a utilização de aditivos retentores de água, controle da relação água/ cimento e adequada espessura da camada de revestimento.

Na classificação da variação dimensional (retração e expansão linear) de argamassas de revestimento externo, a ideia é que, quanto menor a retração e expansão linear, melhor a argamassa se comporta (Tabela 6). Isso ocorre porque baixos valores de retração e expansão linear indicam que a argamassa mantém a sua forma e dimensões de maneira mais consistente ao longo do tempo, o que é fundamental para a durabilidade e integridade do revestimento externo. Quando a retração e expansão linear são excessivas, ocorrem fissuras, descolamentos e danos na superfície do revestimento, comprometendo a estética e a funcionalidade do sistema construtivo. Portanto, valores menores dessas características são desejáveis para garantir o desempenho adequado da argamassa de revestimento externo.

Tabela 6: Variação dimensional (retração ou expansão linear) da argamassa para revestimento interno e externo.

Classe	Variação dimensional e_i (mm/m)
VD1	$-1,10 > e_i \geq -1,20$ (retração entre 1,11 e 1,20)
VD2	$-0,90 > e_i \geq -1,10$ (retração entre 0,91 e 1,10)
VD3	$-0,70 > e_i \geq -0,90$ (retração entre 0,71 e 0,9)
VD4	$0,0 \geq e_i \geq -0,70$ (retração entre 0 e 0,70)
VD5	$e_i > 0,00$ (expansão)

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

As categorias mencionadas na Tabela 6 são uma decorrência direta dos critérios estabelecidos pela norma NBR 13281 e guardam uma relação direta com a

variação dimensional. À medida que a classe se eleva, observa-se uma diminuição correspondente na variação dimensional.

A argamassa apresenta comportamentos distintos e, para avaliá-los adequadamente, é essencial considerar o critério de classificação, conforme descrito no Quadro 4. Para edificações com mais de 60 m de altura, os critérios de classificação são VD3 e VD4. Estas classes indicam variação dimensional de 0 a -0,70 (retração) e acima de 0 (zero) (expansão), respectivamente.

Quadro 4: Critério classificatório de uso de variações dimensionais para argamassas de revestimento interno e externo.

Requisito	Classe	Critério por tipo de argamassa			
		ARV-I (h ≤ 10 m)	ARV-II (10 < h ≤ 60 m)	ARV-III (h > 60)	AET (todas)
Variação dimensional ϵ_i (mm/m)	VD	VD1 a VD4	VD2 a VD4	VD3 a VD4	VD4

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

3.3.7 Densidade de massa aparente no estado endurecido

A densidade de massa aparente no estado endurecido (Tabela 7) está diretamente relacionada à porosidade do material. A argamassa com alta porosidade tende a apresentar menor resistência mecânica e maior suscetibilidade à penetração de água e agentes agressivos, o que pode levar à deterioração do revestimento e surgimento de fissuras. Portanto, a argamassa utilizada no reboco deve apresentar uma densidade de massa aparente adequada para garantir a resistência e aderência do revestimento ao substrato, minimizando a probabilidade de fissuração (ALMEIDA, 2011).

Tabela 7: Densidade de massa no estado endurecido das argamassas para revestimento interno e externo.

Classe	Densidade de massa no estado fresco (DF) kg/m³
DE0	DE < 1200
DE1	1200 ≤ DE 1400
DE2	1400 ≤ DE 1600
DE3	1600 ≤ DE 1800
DE4	DE ≥ 1800

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

As classes mencionadas na Tabela 7 derivam diretamente da norma NBR 13281 e estão relacionadas à densidade de massa no estado endurecido. Quanto mais alta a classe, maior será a densidade de massa no estado endurecido.

3.3.8 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão, conforme Fernandes et al. (2017), é um parâmetro de desempenho usado para avaliar a capacidade da argamassa de resistir à abertura de fissuras no reboco. Argamassas com baixa resistência à tração na flexão são mais suscetíveis à fissuração, especialmente quando submetidas a esforços de tração ou flexão. Portanto, a argamassa de revestimento deve apresentar uma alta resistência à tração na flexão, a fim de reduzir a probabilidade de surgimento de fissuras em situações de carga ou movimentação do substrato. As categorias indicadas na Tabela 8 são uma extensão direta dos critérios estabelecidos pela norma NBR 13281, estando intimamente associadas à resistência à tração na flexão. À medida que a classe se eleva, a resistência à tração na flexão também aumenta proporcionalmente.

Tabela 8: Resistência à tração na flexão da argamassa para revestimento interno e externo.

Classe	Resistência à tração na flexão (Rf) MPa
R1	$R_f < 0,5$
R2	$0,5 \leq R_f < 1,5$
R3	$1,5 \leq R_f < 3,0$
R4	$R_f > 1,5$

Fonte: Adaptado de NBR 13281 (2023).

A resistência das argamassas de revestimento, muitas vezes, tem um papel secundário nas obras, com traços indicados sem especificar a resistência necessária ou outras características do material. Entretanto, argamassas aplicadas em fachadas, onde a relação entre área e volume é alta e a exposição ao meio ambiente e ao substrato é intensa, resultam em tensões constantes. Portanto, essa propriedade deveria ser considerada como um indicador de controle de qualidade, permitindo avaliar a uniformidade nas operações de produção (ANTUNES; MASUERO; MAÇANEIRO, 2014).

O ensaio de resistência à tração na flexão avalia a capacidade da argamassa em resistir a forças de tração quando submetida à condição de flexão. Essas condições podem ser encontradas em situações onde há sobrecarga ou movimentação do substrato, o que pode levar à formação de fissuras na argamassa (BAUER *et al.*, 2015).

3.3.9 Resistência à compressão

Cavalaro *et al.* (2018) citam que a resistência à compressão é uma propriedade mecânica que influencia diretamente a sua capacidade de suportar esforços mecânicos, portanto, sua probabilidade de fissuração em condições de sobrecarga ou movimentação do substrato.

Conforme Pelisser *et al.* (2017), as argamassas com baixa resistência à compressão tendem a apresentar menor capacidade de suportar esforços mecânicos e menor aderência ao substrato, o que pode gerar pontos de descolamento e conseqüentemente, o surgimento de fissuras. Além disso, ao avaliar a resistência à compressão de diferentes argamassas, é possível selecionar aquelas

com melhor desempenho em relação a essa propriedade, o que contribui para a qualidade e durabilidade do revestimento ao longo do tempo.

3.3.10 Permeabilidade

A permeabilidade é uma propriedade que influencia a capacidade da argamassa de absorver e liberar umidade, desempenhando um papel na prevenção de problemas como infiltrações e crescimento de fungos. Além disso, a permeabilidade pode afetar tanto a resistência mecânica quanto a aderência da argamassa. A argamassa deve ser capaz de formar uma camada impermeável que impeça a entrada de água e proteja a estrutura contra danos causados pela umidade (SANTANA; ALEIXO, 2017).

4. MATERIAIS E METÓDOS

Para o estudo das propriedades de argamassas estabilizadas aplicadas no revestimento de fachadas de edifícios, foi realizado o levantamento de fissuras em diferentes argamassas utilizadas em edifícios no sul de Santa Catarina.

A pesquisa envolveu uma seleção de 23 edifícios de uma única construtora, onde através de inspeção visual, foram identificadas fissuras nos revestimentos de argamassa nas fachadas externas, além das consequentes infiltrações nas áreas internas correspondentes.

O ensaio de resistência potencial de aderência à tração foi o primeiro realizado para compreender o que estava ocorrendo com as fachadas dos empreendimentos, que apresentavam um número excessivo de fissuras, causando infiltrações na parte interna. Os resultados desse ensaio foram utilizados para identificar possíveis problemas de aderência e resistência, como a presença de fissuras, que poderiam se tornar problemas maiores no futuro.

Foram coletados dados sobre características construtivas, condições ambientais e históricos de chamados de manutenção.

Amostras de argamassas selecionadas, consoante o levantamento feito, foram analisadas em laboratório para entender as suas propriedades físicas e mecânicas, a fim de avaliar a qualidade do material e possíveis deficiências que contribuíram para a manifestação das fissuras.

Os dados coletados foram analisados e os resultados foram interpretados com base na literatura e resultados de ensaios em laboratório.

4.1 MATERIAIS

A argamassa estabilizada de 72 h foi escolhida para a realização do estudo com base no seu tempo em aberto, considerando a maior abertura para o manuseio e realização os ensaios. Desta forma, o estudo se concentrou nas propriedades desenvolvidas no estado fresco e endurecido, que incluem densidade de massa no estado fresco, índice de consistência, análise térmica em sistema semi-adiabático, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, resistência potencial de aderência à tração, módulo de elasticidade dinâmico e estático, além da retração.

As informações detalhadas sobre a composição quantitativa do material não foram fornecidas devido à política da empresa. Contudo, com base na literatura, a argamassa estabilizada de 72 h é composta por uma mistura de agregados finos, cimento e aditivos. Os agregados englobam areia e pedra britada, contribuindo para a resistência mecânica da argamassa. O cimento empregado é o CPIV, atuando como o principal agente ligante na argamassa estabilizada. Durante o processo de hidratação, o aglomerante reage com a água para formar uma pasta que adere aos agregados. Os aditivos incluem incorporador de ar, aditivo estabilizador de hidratação e aditivo retentor de água, os quais são adicionados à argamassa para aprimorar as suas propriedades. Essa combinação de materiais constitui a argamassa estabilizada utilizada na construção civil para o revestimento de paredes, tetos e assentamento de alvenaria.

A argamassa estabilizada de 72 h, objeto deste estudo, foi fabricada em uma central de produção industrial localizada na região sul de Santa Catarina. Ela foi transportada pronta para o local de aplicação por meio de caminhões tipo betoneira e posteriormente despejada em caixas geralmente de plástico, conforme representado na Figura 6. A escolha dessa argamassa se justificou devido ao aumento observado na incidência de manifestações patológicas, especialmente fissuras, após a sua utilização.

Figura 6: Imagem representativa do momento da entrega (a), e do armazenamento (b) da argamassa estabilizada na obra.



Fonte: Autora (2023).

Para a realização de todos os ensaios, tanto no estado fresco quanto endurecido, as amostras de argamassa foram retiradas das caixas imediatamente após a entrega. Levando-se em consideração o dia e horário da entrega, as amostras da argamassa estabilizada de 72 h foram transferidas para baldes, e imediatamente levadas ao laboratório, ambiente controlado que permitiu impor as condições de ensaio propostas para serem submetidas aos ensaios necessários para avaliação de suas propriedades e desempenho.

4.2 MÉTODOS

A Figura 7 ilustra em duas etapas o procedimento experimental realizado. Inicialmente, foi conduzido um diagnóstico dos métodos construtivos empregados, seguida pela coleta de materiais para a análise no laboratório, com duração

aproximada de 1 hora até sua chegada. Posteriormente, foram realizados ensaios tanto no estado fresco quanto endurecido para compreender o comportamento das argamassas estabilizadas coletadas. Por fim, os resultados obtidos foram analisados, proporcionando uma compreensão das causas das fissuras.

Figura 7: Representação das etapas experimentais desenvolvidas: diagnóstico das fissuras/ edificações e caracterização das argamassas estabilizadas.



Fonte: Autora (2023).

4.2.1 1ª Etapa

O método utilizado para avaliar a resistência potencial de aderência à tração da argamassa estabilizada seguiu a (NBR 13528-2, 2019).

Para a realização desse ensaio, a argamassa foi moldada diretamente no local da obra e aguardado os 28 dias para a execução do ensaio.

O ensaio de resistência potencial de aderência à tração foi realizado em algumas obras que apresentaram problemas de fissuração na parte externa.

O ensaio consistiu em aplicar uma carga de tração em uma argamassa fixada em um substrato, por meio de uma ferramenta chamada de "dolly", conforme a Figura 8.

Figura 8: Ensaio de resistência potencial à tração com o equipamento "dolly".



Fonte: Autora (2023).

Assim, a carga de tração progressiva foi aplicada à argamassa, aumentando gradualmente a intensidade até que ocorresse a ruptura conforme a Figura 9, em 12 pontos diferentes. A máquina de tração registrou a carga máxima aplicada e a deformação resultante durante o ensaio.

Figura 9: Imagens demonstrativas da ruptura no ensaio de resistência potencial de aderência à tração.



Fonte: Autora (2023).

A resistência potencial de aderência à tração foi determinada dividindo-se a carga máxima aplicada pelo bloco de argamassa pela área de sua seção transversal. Esse cálculo fornece um valor que representa a capacidade da argamassa em resistir à tração e, portanto, a sua aderência à superfície de aplicação.

Os resultados do ensaio de resistência potencial de aderência à tração foram utilizados para identificar possíveis problemas de aderência e resistência, como a presença de microfissuras que podem se tornar problemas maiores no futuro.

4.2.2 2° Etapa

Buscou-se construir um diagnóstico das ocorrências das principais manifestações patológicas em 23 (vinte e três) edificações da construtora. Esses registros possibilitaram a criação de um histórico de manutenção, incluindo informações sobre a quantidade de cada manifestação patológica, bem como a elaboração de relatórios de serviços e identificação dos locais afetados.

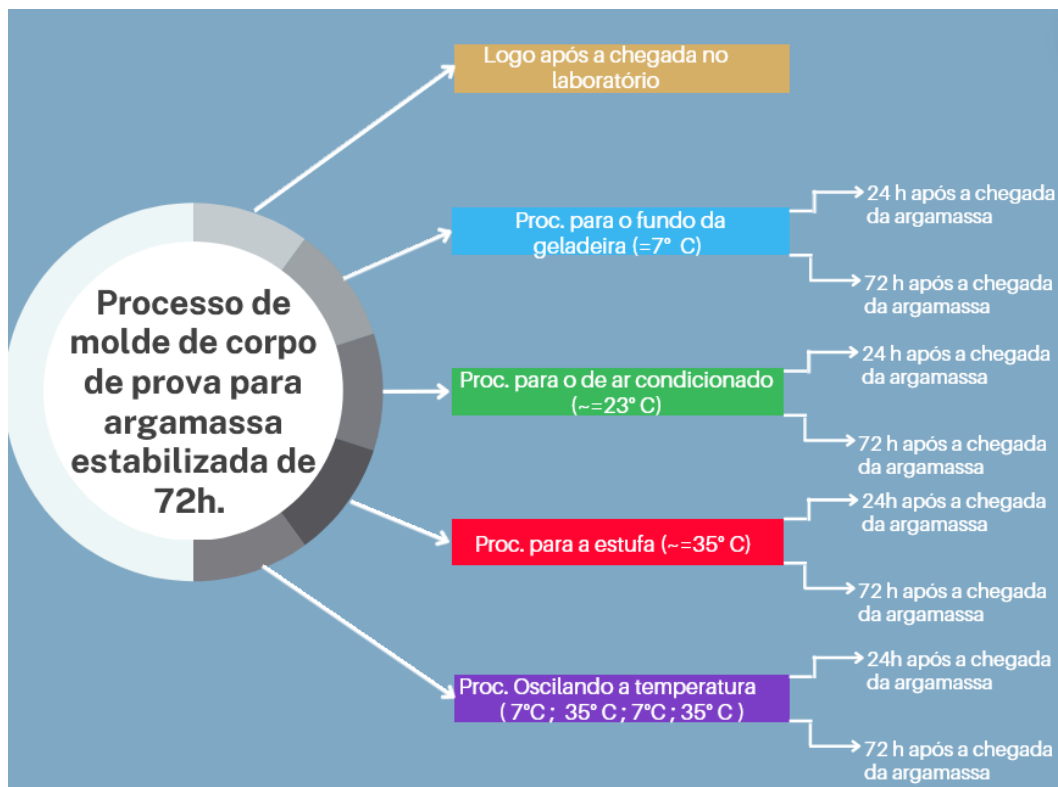
A análise das ocorrências de registro de manutenção foi realizada no período de setembro de 2021 até dezembro de 2023, permitindo verificar a incidência de todas as manifestações patológicas encontradas nas edificações dentro do prazo de garantia das construções.

Os resultados obtidos a partir do levantamento de dados incluíram informações sobre a idade do empreendimento, a quantidade de unidades construídas/entregues, o número de assistências técnicas solicitadas. Além disso, outro ponto investigado foi o tipo de argamassa utilizado na parte externa das fachadas e a identificação do fornecedor dessa argamassa. Todos esses aspectos foram considerados para a investigação.

4.2.3 3° Etapa

Na etapa de moldagem dos corpos de prova, uma parte foi moldada imediatamente após a chegada da argamassa ao laboratório, indicado pela cor azul na Figura 10. Outra parte foi submetida a diferentes condições de temperatura, indicada pelas cores vermelho, amarelo, alaranjado e verde.

Figura 10: Processo de moldagem dos corpos de prova de argamassa estabilizada.



Fonte: Autora (2023).

O grupo vermelho foi mantido a uma temperatura de 7 °C, simbolizando condições mais frias, armazenado no fundo da geladeira, conforme a Figura 11 (a). Outro grupo (alaranjado) foi mantido a uma temperatura de 23 °C, simulando condições ambientais típicas em um espaço climatizado conforme a Figura 11 (b). Um terceiro grupo foi submetido à estufa a 35 °C, replicando temperaturas mais elevadas que podem ocorrer no ambiente de construção conforme Figura 11 (c). Para que a argamassa estabilizada não perdesse a umidade, simulando as condições típicas de verão, foi colocado um recipiente com água na estufa. Por fim, um último grupo simbolizado pela cor verde, foi exposto a um ciclo de oscilação de temperatura entre 7 °C e 35 °C, onde a argamassa estabilizada passou a parte da manhã na estufa (35 °C) e a parte da noite na geladeira (7 °C) simulando as variações térmicas diárias, entre dias e noites, pois essas condições ocorrem em muitas regiões do Brasil.

Essas temperaturas foram selecionadas com base na relevância de simular uma ampla gama de condições climáticas típicas encontradas em diferentes regiões.

Figura 11: Condições de temperaturas durante o tempo de manuseio da argamassa estabilizada: geladeira (7 °C) (a); ar condicionado (23 °C) (b); estufa (35 °C) (c).



Fonte: Autora (2024).

As moldagens para os ensaios no estado endurecido e os ensaios no estado fresco, foram feitas em duas etapas distintas. A primeira etapa ocorreu aproximadamente 24 h após a adição de água à composição pelo fabricante/fornecedor, enquanto a segunda etapa foi realizada próximo às 72 h, proporcionando intervalos para a evolução das propriedades da argamassa.

O propósito desta matriz foi avaliar o comportamento da argamassa estabilizada frente às variações de temperatura, antes mesmo de sua aplicação. Essa análise proporcionou uma compreensão de como a temperatura influencia as propriedades e características do material, fornecendo informações para o uso e armazenamento adequado da argamassa. Além disso, simula condições em locais com características de regiões tanto mais quentes quanto mais frias, ampliando a relevância dos resultados para diferentes ambientes.

A segunda etapa teve como objetivo investigar e compreender as manifestações patológicas de fissuras na fachada, por meio de ensaios para verificar a conformidade das argamassas utilizadas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, avaliando as suas propriedades físicas e mecânicas.

No estado fresco, foram realizados ensaios para avaliar a consistência da argamassa, verificando se ela apresenta a trabalhabilidade adequada para aplicação

na fachada. Foram analisados parâmetros como o índice de consistência, densidade de massa no estado fresco e análise térmica em sistema semi-adiabático.

No estado endurecido, foram realizados ensaios para avaliar a resistência mecânica da argamassa. A avaliação de resistência à tração na flexão e a resistência à compressão foram feitas para verificar se as argamassas atendem aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas técnicas. Além disso, foram realizadas análises de aderência da argamassa à superfície de aplicação, avaliando a sua resistência de aderência à tração e compressão, módulos de elasticidade e retração. Após a moldagem, os corpos de prova foram curados e armazenados em condições de temperatura ambiente de 23 ± 2 °C, replicando as condições da obra com o material já aplicado na fachada.

Os ensaios no estado fresco e endurecido das argamassas estabilizadas empregadas na fachada tiveram o propósito de avaliar a comportamentos desses materiais em relação às normas técnicas, ao mesmo tempo em que se investigavam a sua influência no surgimento das fissuras.

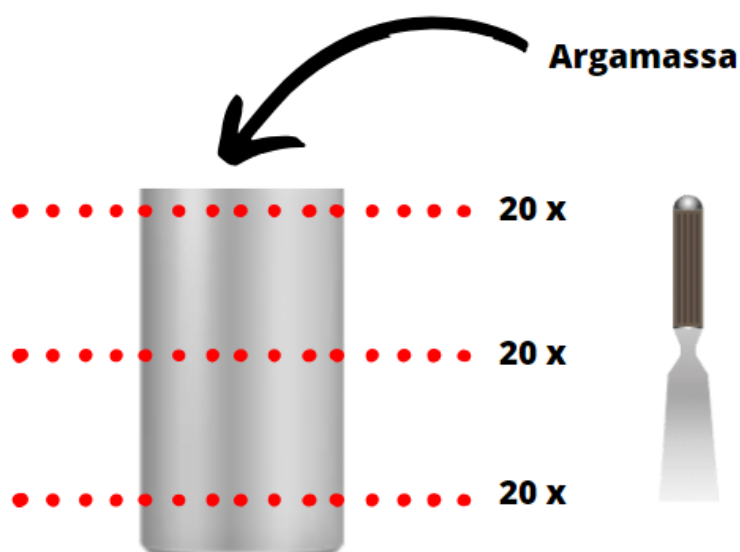
4.2.3.1 Densidade de massa no estado fresco

O ensaio de determinação da densidade de massa no estado fresco foi realizado conforme a norma ABNT NBR 13278 (2005), que descreve o procedimento padrão para determinação desse parâmetro.

Para a realização do ensaio de densidade de massa no estado fresco, foi utilizado um cilindro metálico de volume e peso conhecidos.

A argamassa foi cuidadosamente adicionada ao recipiente em duas etapas, compactada para expelir o ar e fazer a sua homogeneização. O processo de preenchimento da argamassa foi realizado em etapas, conforme a Figura 12, onde cada camada foi compactada com 20 golpes, uniformizando a argamassa. Seguido por três quedas do recipiente a uma altura de 3 cm para melhor compactação.

Figura 12: Representação esquemática do ensaio para determinação da densidade de massa no estado fresco, detalhando as camadas compactas.



Fonte: Autora (2023).

Após o preenchimento, a superfície da argamassa foi nivelada e alisada para garantir uma distribuição uniforme do material no recipiente. Em seguida, o recipiente contendo a argamassa foi pesado utilizando uma balança com precisão de 0,01 g. O valor obtido representou a massa total da argamassa no estado fresco.

A densidade de massa no estado fresco foi calculada dividindo-se a massa total do conjunto (argamassa + recipiente) menos a massa do recipiente pelo volume do recipiente, dado em kg/m^3 .

O ensaio foi realizado em triplicata, utilizando-se três amostras distintas para cada tipo de argamassa submetida a temperaturas diferentes.

4.2.3.2 Índice de consistência

O método utilizado para determinar o índice de consistência da argamassa foi baseado nas diretrizes da norma brasileira ABNT NBR 13276 (2016).

Para esse ensaio, foi utilizado o molde em formato de troncônico, que foi limpo e seco antes de realizar o ensaio. Foi colocado o molde no centro da mesa de consistência, que é plana e firme, garantindo a sua estabilidade durante o preenchimento. Com o auxílio de uma colher, foi preenchido o molde com a argamassa em três camadas, compactando-as aplicando respectivamente quinze, dez e cinco golpes uniformes com o soquete. Para nivelar a superfície da

argamassa, foi utilizada uma régua metálica rente à borda com movimentos curtos, removendo o excesso.

Após a compactação e nivelamento da argamassa, foi retirado o molde troncônico verticalmente e foi acionada a manivela da mesa de índice de consistência, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 segundos.

Para medir o índice de consistência da argamassa, foi utilizada uma régua, registrando a medida em três diâmetros conforme a Figura 13.

Figura 13: Imagem do aparato experimental para o ensaio de índice de consistência, sendo que as setas em cores representam três diâmetros do abatimento.



Fonte: Autora (2023).

Para obter o resultado do índice de consistência da argamassa, foi realizada a média dos três diâmetros. O ensaio foi realizado em duplicata.

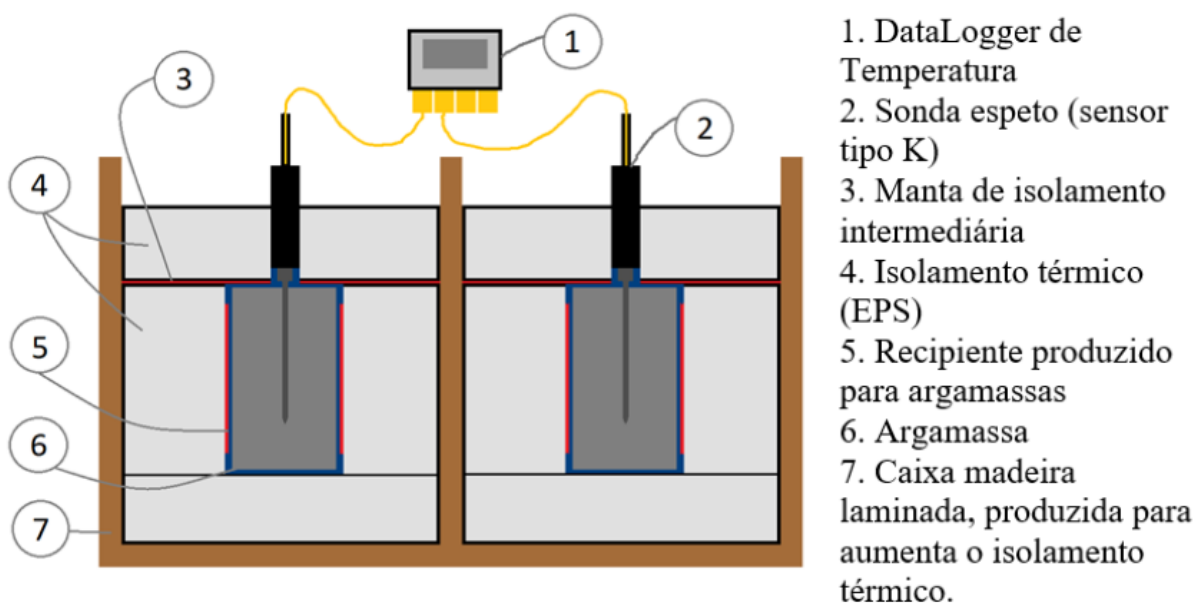
4.2.3.3 *Análise térmica em sistema semi-adiabático*

O ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático foi conduzido para avaliar a cinética das reações nas argamassas estabilizadas de 72 h submetida a diferentes temperaturas de condicionamento nas primeiras 24 h da chegada do material.

Para os estudos de análise térmica em sistema semi-adiabático, foi utilizado um calorímetro semi-adiabático como ilustrado na Figura 14. O equipamento foi construído com isolamento externo de madeira laminada e

isolamento interno de poliestireno expandido para quatro células/ cápsulas do calorímetro. Cada célula interna foi construída em três blocos de EPS para garantir isolamento térmico adequado.

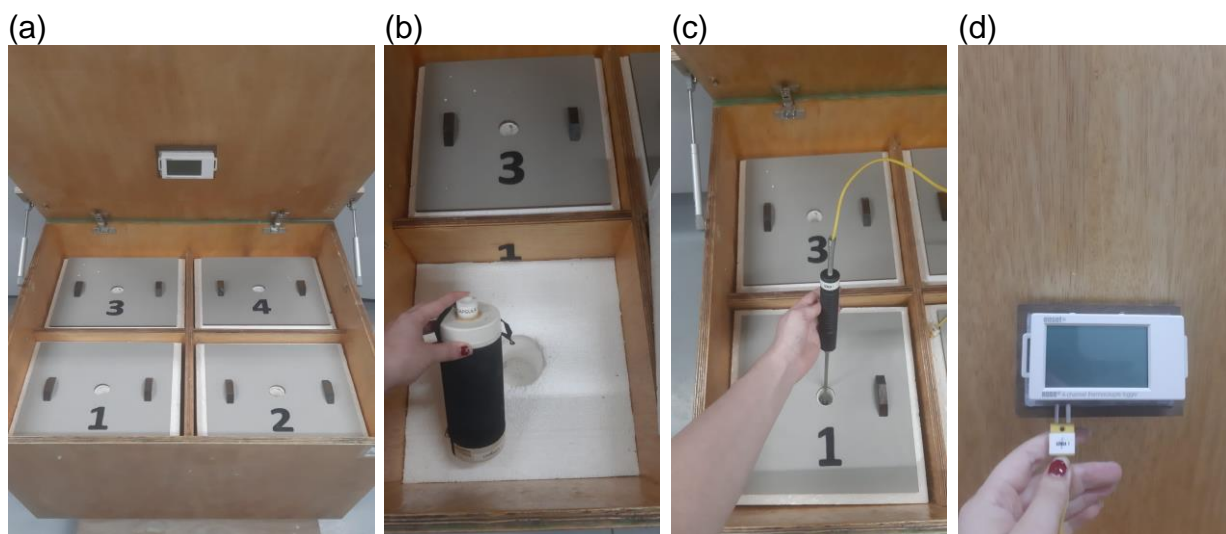
Figura 14: Ilustração do equipamento de análise térmica em sistema semi-adiabático.



Fonte: Müller (2023).

Na execução do ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático, conforme Figura 15 (a), a argamassa foi diretamente moldada no recipiente de PVC (Figura 15 b) e adensada, recebendo 1 kg do material em cada cápsula. Em seguida, as diferentes amostras foram alocadas em cápsulas específicas: a cápsula 1 continha argamassa estabilizada a 7 °C, a cápsula 2 continha argamassa estabilizada a 23 °C, a cápsula 3 continha argamassa estabilizada a 35 °C, e a cápsula 4 continha argamassa estabilizada com oscilação entre 7 °C e 35 °C. Cada cápsula foi fechada e colocada nas células correspondentes do calorímetro. Os blocos de EPS base e de encaixe foram fixados nas cápsulas. Previamente à colocação da tampa de EPS, uma manta isolante foi inserida. A sonda tipo espeto foi então posicionada nas amostras (Figura 15 c), e os termopares foram conectados ao DataLogger já programado (Figura 15 d). A tampa do calorímetro foi fechada, permitindo que o cabo USB ficasse fora da caixa semiadiabática.

Figura 15: Imagens representativas do processo experimental de realização do ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático.



Fonte: Autora (2023).

Todo o experimento foi conduzido em uma sala climatizada a uma temperatura constante de 23 °C, assegurando condições controladas para a realização do ensaio.

O sistema permitiu leituras intermediárias sem a necessidade de abrir o equipamento, garantindo a ausência de interferências externas durante as medições.

4.2.3.4 Resistência à tração na flexão e compressão

O ensaio de resistência à tração na flexão de argamassas foi realizado conforme a norma (NBR 13279, 2005). O ensaio foi feito por meio de corpos de prova prismáticos de 4,0 x 4,0 x 16,0 cm.

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado para avaliar a capacidade da argamassa estabilizada, em resistir a forças de tração quando submetida à condição de flexão. A resistência mecânica à compressão indica a capacidade do material suportar cargas compressivas sem sofrer deformações excessivas ou falhas. Essas condições podem ser encontradas em situações onde há sobrecarga ou movimentação do substrato, o que pode levar à formação de fissuras na argamassa.

O ensaio de resistência à tração na flexão foi conduzido em uma prensa servo-hidráulica modelo PC 200 CS (Emic, Brasil). O procedimento iniciou com a aplicação de uma carga inicial de compressão, simulando condições próximas ao ponto de apoio, conforme representado na Figura 16. Em seguida, procedeu-se com a aplicação gradual de uma carga de flexão até a ruptura do material.

Figura 16: Imagens do ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: Autora (2023).

A resistência à tração na flexão é calculada dividindo-se a carga máxima de flexão suportada pelo corpo de prova pela área de sua seção transversal.

Para o ensaio de resistência à compressão, as argamassas estabilizadas foram igualmente submetidas a diferentes condições de temperatura, utilizando o mesmo corpo de prova empregado no ensaio anterior, conforme representado na Figura 17. Este procedimento avalia a capacidade do material em resistir a forças de compressão.

Figura 17: Imagem do ensaio de resistência mecânica à compressão realizados com parte do corpo de prova utilizado no ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: Autora (2023).

Durante o ensaio, uma carga axial progressiva foi aplicada ao corpo de prova até que ocorresse a ruptura. Os registros detalhados de carga aplicada e deformação resultante foram registrados para análise posterior.

4.2.3.5 Módulo de elasticidade estático

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade estático da argamassa argamassado para fachada foi feito por meio de ensaios de tração e compressão. Além dos ensaios de tração e compressão, a medição da deformação durante esses ensaios foi realizada utilizando um extensômetro acoplado ao corpo de prova. O extensômetro é um dispositivo que permite medir a deformação do material durante a aplicação das forças axiais de tração e compressão. Ele é fixado

cuidadosamente na superfície do corpo de prova e registra as variações dimensionais que ocorrem à medida que a carga é aplicada.

Durante o ensaio de tração, o extensômetro registra o aumento do comprimento do corpo de prova, enquanto no ensaio de compressão, ele registra a diminuição do comprimento.

Os corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 5,0 x 10,0 cm, foram cuidadosamente fixados na prensa servo-hidráulica modelo PC 200 CS (Emic, Brasil), conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18: Ensaio de módulo de elasticidade com o equipamento de prensa universal, com detalhe para a medição da deformação elástica do corpo da argamassa.



Fonte: Autora (2023).

O módulo de elasticidade é calculado a partir do gradiente da parte linear do diagrama carga-deformação. Este gradiente representa a relação entre a carga aplicada e a deformação elástica do material. Os resultados são analisados para determinar o módulo de elasticidade do material.

4.2.3.6 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico da argamassa foi conduzido utilizando o equipamento de suporte para amostras de pequeno porte e engastadas, modelo SB-AP (Sonelastic, Brasil) conforme a Figura 19, proporcionando uma análise das propriedades mecânicas dinâmicas do material. Com a capacidade de realizar medições não destrutivas, o equipamento permitiu a avaliação do módulo dinâmico em diferentes frequências, proporcionando uma compreensão da resposta elástica da argamassa. Essa abordagem dinâmica contribui para entender como o material se comporta em condições variáveis de carga e frequência.

Os ensaios foram conduzidos após 49 d de cura dos corpos de prova. Foi realizado nesse período não devido a considerações específicas sobre a idade da argamassa, mas sim porque esse período permitiu adquirir conhecimento e habilidade suficientes para operar adequadamente os equipamentos de teste. O ensaio de Velocidade de Propagação Ultrassônica (VPU) foi conduzido utilizando o equipamento Ultracon-170, empregando o método de transmissão direta. A Análise de Transmissão Espectral (ATE) foi executada no equipamento Suporte para amostras de pequenos portes e engastadas, utilizando o modo de vibração longitudinal.

Figura 19: Aparato experimental do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico e do sistema de aquisição de dados do equipamento Suporte para amostras de pequenos portes e engastadas.



Fonte: Autora (2024).

Os métodos experimentais dinâmicos não destrutivos são preferíveis para determinar o módulo de elasticidade devido à sua precisão, enquanto a caracterização por esses ensaios ganha destaque na construção civil devido à sua não interferência direta nas amostras e possibilidade de repetição. O estudo busca aprimorar a compreensão do comportamento elástico das argamassas de revestimento, considerando variações na composição.

Para a realização do ensaio do módulo de elasticidade, foram elaborados corpos de prova com dimensões de 20 x 20 x 60 mm, conforme exemplificado na Figura 20. A necessidade de confeccionar moldes de madeira surgiu devido à fragilidade dos corpos de prova, os quais se desmanchavam ao serem cortados a partir de corpos de prova maiores. Essa fragilidade demandou a adoção de moldes nas medidas exatas do corpo de prova, garantindo a integridade dos corpos de prova para o ensaio.

Figura 20: Corpos de provas utilizados no suporte para amostras de pequenos portes e engastadas, para a realização dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico.



Fonte: Autora (2024).

4.2.3.7 Retração

O método adotado descreve o procedimento utilizado para a realização dos ensaios de retração em argamassa. Este método foi baseado nas diretrizes da norma brasileira (NBR 15261, 2005).

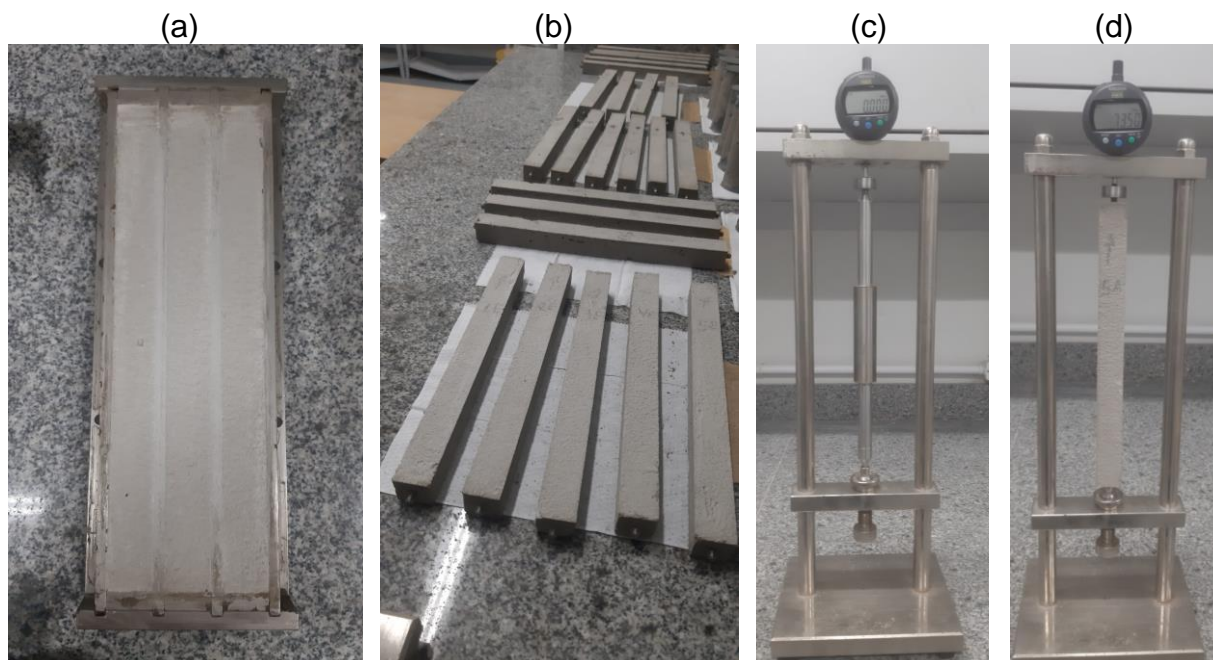
Para moldar os corpos de prova, foi utilizada uma forma prismática com dimensões de 25 x 25 x 28,5 mm e pinos que se encaixam dentro do molde prismático conforme a (NBR 15261:2005). Foi aplicado desmoldante para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova.

Foram registradas as dimensões iniciais de comprimento, largura e espessura dos corpos de prova em milímetros.

O enchimento dos moldes foi feito em duas etapas com 25 golpes cada camada, em seguida foi retirado o excesso com uma régua.

Após o período de cura, conforme a Figura 21 (a), os corpos de prova foram removidos e armazenados à temperatura ambiente de 23 °C Figura 21 (b), suas dimensões iniciais foram medidas, utilizando um instrumento de medição padrão Figuras 21 (c) e (d). Estas medidas servem como referência para calcular a magnitude da retração em relação às dimensões iniciais. Para monitorar a retração ao longo do tempo, foram realizadas medições periódicas a cada 7 dias, garantindo sempre a precisão das medições através do uso do mesmo instrumento de medição. A retração foi calculada subtraindo as dimensões atuais das dimensões iniciais em cada intervalo de tempo medido.

Figura 21: Sequência de preparação dos corpos de prova e realização do ensaio de retração: (a) período de cura do corpo de prova; (b) armazenamento dos corpos de provas em temperatura ambiente de 23 °C; (c) instrumento de medição para o ensaio de retração; (d) realização do ensaio de retração no corpo de prova cerâmico.



Fonte: Autora (2024).

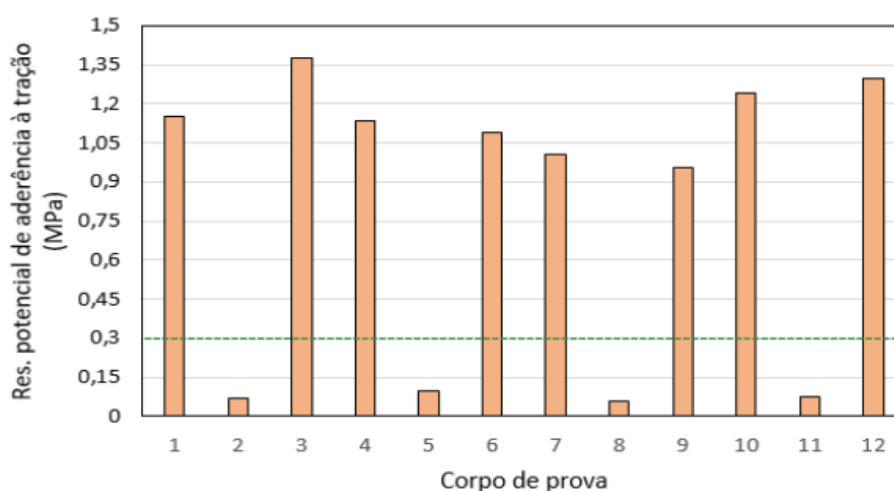
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos mediante uma abordagem sequencial. Inicialmente, realizou-se um diagnóstico dos métodos construtivos empregados, seguido pela coleta de materiais para análise em laboratório. Nas etapas seguintes foram conduzidos ensaios tanto no estado fresco quanto no endurecido da argamassa, visando compreender suas propriedades.

5.1 1º ETAPA

Nos ensaios de resistência potencial de aderência à tração, os valores variaram de 0,06 a 1,3 MPa (ver Figura 22). É possível observar que alguns desses valores ficaram abaixo do limite mínimo estabelecido pela norma NBR 13749:2013 para paredes de revestimento externo, que é de 0,3 MPa. Esses resultados contrastam com achados de outros estudos, como os de Bauer et al. (2015) e Otton et al. (2018), onde a utilização de argamassa estabilizada atendeu aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma. Esta disparidade destaca a importância de uma análise cuidadosa das condições específicas de aplicação e das características da argamassa estabilizada para garantir a conformidade com os padrões estabelecidos.

Figura 22: Apresentação dos dados que demonstram a capacidade de resistência potencial de aderência à tração e onde a linha verde representa o valor de referência da norma NBR 13749:2013.



Fonte: Autora (2024).

Alguns são os fatores que influenciam na aderência da argamassa. Eles estão ligados às condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, etc.), às propriedades das argamassas, ao substrato e à execução do revestimento (CARASEK, 2010) (RIBEIRO; CARASEK, 2023).

Na Tabela 9, estão apresentados os resultados da resistência potencial de aderência à tração, juntamente com a descrição das formas de ruptura. Destacam-se as categorias D, que representam a ruptura na interface chapisco/argamassa; categoria E, que corresponde à ruptura na argamassa; e categoria F, que caracteriza a ruptura na interface argamassa/cola. Essa classificação detalhada permite uma análise minuciosa das diferentes modalidades de falha durante o ensaio.

Tabela 9: Resultados da resistência potencial de aderência à tração e sua forma de ruptura.

CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tensão de rup. (MPa)	1,15	0,07	1,38	1,13	0,1	1,09	1,01	0,06	0,96	1,24	0,07	1,3
Forma de rup.	E	F	F	D	D	F	D	D	F	D	F	F

Fonte: Autora (2024).

Neste contexto, as categorias D, E e F na resistência potencial de aderência à tração representam distintas formas de ruptura observadas durante os ensaios. Quando um corpo de prova se enquadra na categoria F, caracterizando a ruptura na interface argamassa/cola, ele é desclassificado do ensaio, como foi o caso dos corpos de prova 2, 3, 6, 9 e 11. No entanto, mesmo após essa desclassificação, foi possível observar que dois desses corpos de prova relacionados à categoria F apresentaram baixas resistências, enquanto os outros dois mostraram-se abaixo dos padrões estabelecidos pela norma.

Esses resultados destacam a importância de uma análise das condições específicas de aplicação e das características da argamassa estabilizada, pois se a resistência potencial de aderência à tração for baixa, isso pode indicar que o revestimento não está aderindo adequadamente ao substrato, o que pode levar a

problemas como descolamento, fissuração prematura. Se a resistência potencial de aderência à tração for alta resulta em um revestimento mais rígido, o que aumenta a susceptibilidade do sistema a fissuras quando exposto a movimentações estruturais, variações de temperatura e outras deformações.

5.2 2º ETAPA

Com base nos dados coletados durante o período de setembro de 2021 a dezembro de 2023, conforme apresentado na Tabela 9, foi possível identificar as principais manifestações patológicas que surgiram ao longo dos anos nas edificações. Os resultados revelam que a infiltração por fissura externa foi responsável por um número considerável de solicitações de manutenção, totalizando 164 chamados. Esses resultados enfatizam a importância de se investigar e abordar de maneira efetiva os problemas relacionados às fissuras externas, visando garantir a durabilidade e a integridade das fachadas das edificações.

Tabela 10: Dados das manifestações patológicas coletados durante setembro de 2021 a dezembro de 2023.

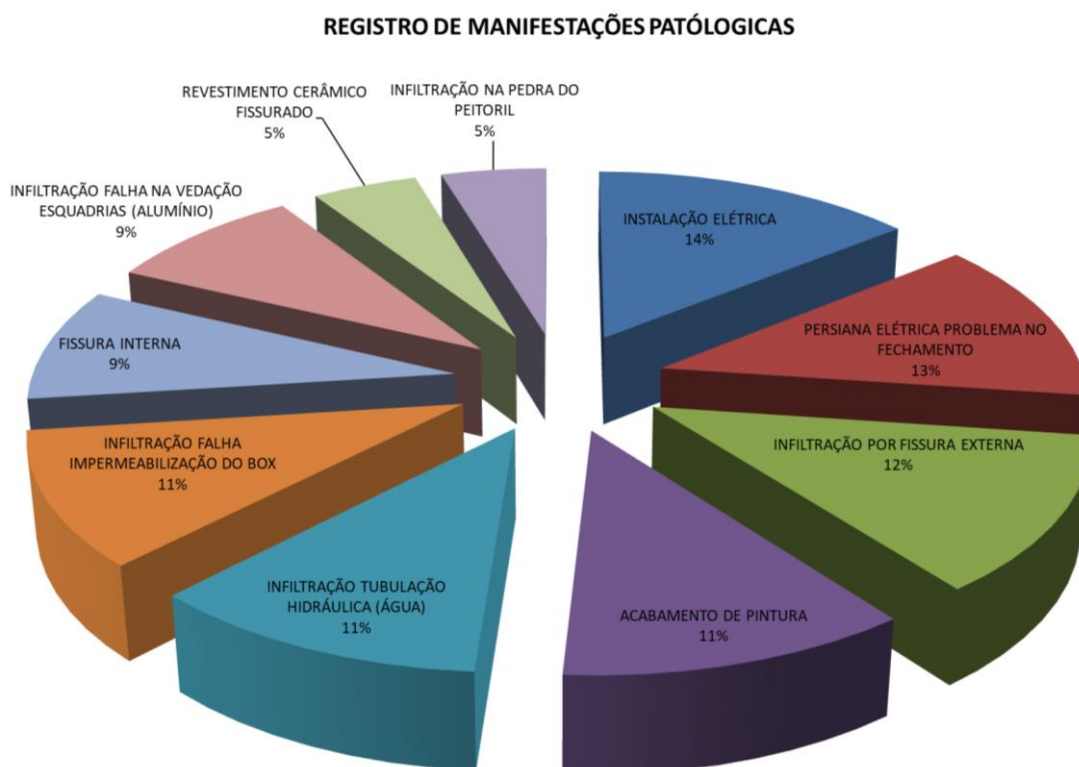
Manifestações patológicas	Total
Instalação elétrica	187
Persiana elétrica com problema no fechamento	171
Infiltração por fissura externa	164
Acabamento de pintura	151
Infiltração tubulação hidráulica (água)	148
Infiltração falha impermeabilização do box	141
Fissura interna	119
Infiltração falha na vedação esquadrias (alumínio)	115
Revestimento cerâmico fissurado	61
Infiltração na pedra do peitoril	61

Fonte: Autora (2023).

Ao analisar a Figura 23, pode-se destacar que a infiltração por fissura na parte externa é uma das principais preocupações identificadas, representando uma porcentagem significativa de chamados em aberto, correspondendo a 12% do total. Essa concentração de solicitações de manutenção indica que a infiltração por fissura

na fachada é uma questão relevante e demanda uma atenção especial por parte dos profissionais envolvidos na construção e manutenção das edificações.

Figura 23: Percentual de registros de manifestações patológicas obtidos no período de setembro de 2021 a dezembro de 2023.



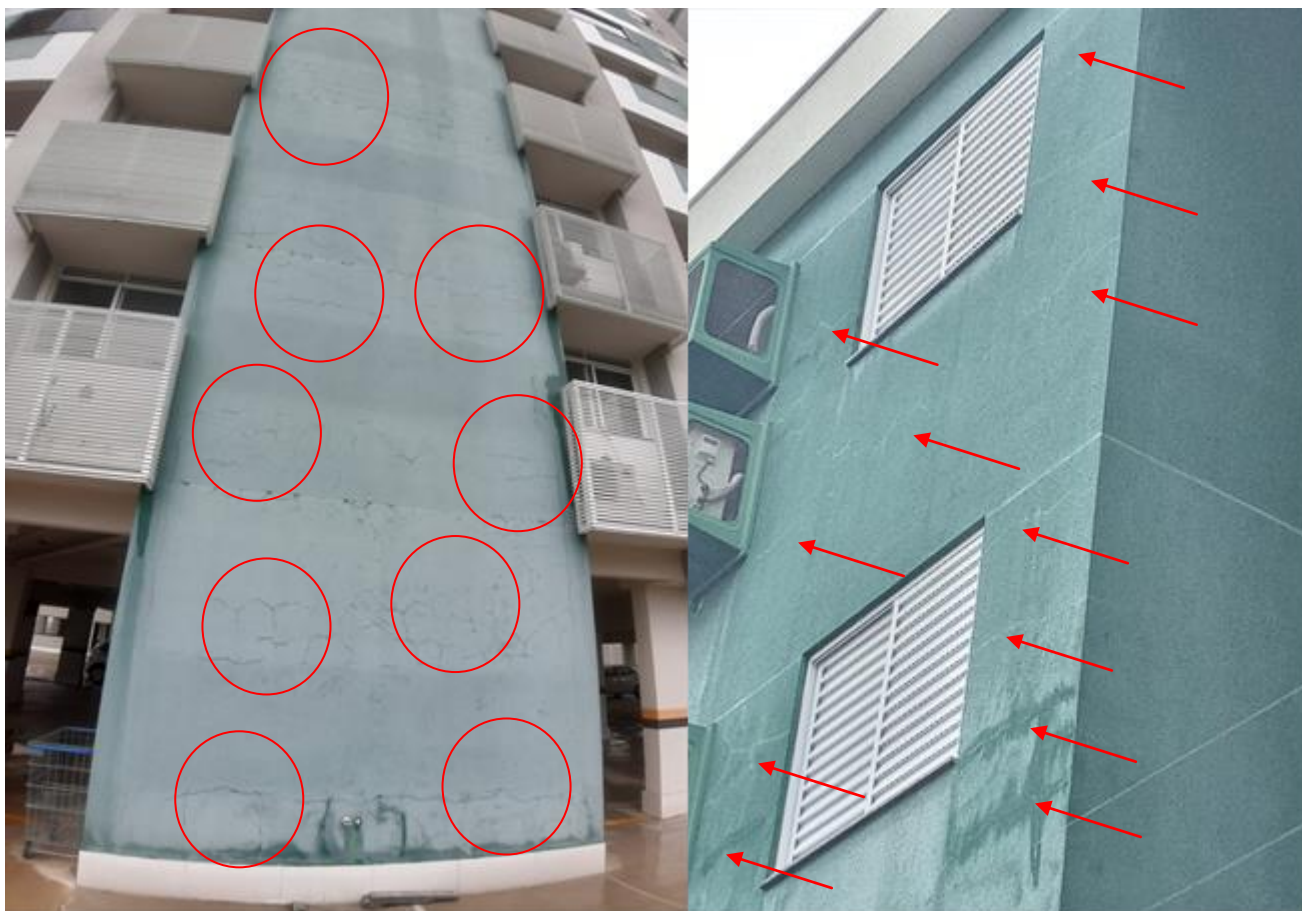
Fonte: Autora (2023).

Esses dados reforçam a necessidade de investigar e compreender as causas e os mecanismos que levam ao surgimento dessas fissuras externas, a fim de investigar as propriedades das argamassas estabilizadas utilizadas na fachada.

A identificação dessa demanda relacionada às fissuras na parte externa oferece um direcionamento importante para ações futuras, como o aprimoramento dos métodos construtivos, a escolha adequada de materiais e a adoção de técnicas de monitoramento e inspeção preventiva. Dessa forma, busca-se garantir a durabilidade, a segurança e o conforto dos usuários das edificações.

A presença de fissuras na parede externa de uma edificação, como mostrado na Figura 24, é um que requer atenção imediata. Essas fissuras podem ter diferentes origens e são geralmente resultados de diversos fatores, um deles é a escolha do material empregado na fachada.

Figura 24: Mapeamento de fissuras na fachada: fissuras destacadas pelos círculos e flechas em vermelho.



Fonte: Autora (2023).

As fissuras na parede externa podem ter uma série de impactos negativos. Em primeiro lugar, elas comprometem a estanqueidade do sistema de vedação da fachada de edifícios, permitindo a entrada de água e agentes contaminantes para o interior. Isso pode levar à deterioração de materiais, como o revestimento e a pintura, além de danificar elementos estruturais e causar problemas de umidade, mofo e bolor nas áreas internas.

Outro aspecto importante é o impacto financeiro. As fissuras na parede externa exigem intervenções de reparo e manutenção, que podem ser custosas. Além disso, se não forem devidamente tratadas, as fissuras podem se agravar ao longo do tempo, aumentando os custos e a complexidade das intervenções necessárias.

É fundamental compreender que as fissuras na parede externa (Figura 25) não devem ser ignoradas. Um monitoramento contínuo e uma abordagem

proativa na prevenção e solução de fissuras são essenciais para garantir a integridade e a qualidade das fachadas das edificações.

Figura 25: Fachada externa de um edifício com fissuras: detalhe das imperfeições destacadas, evidenciando a necessidade de intervenção e manutenção.



Fonte: Autora (2023).

A detecção de infiltração por fissuras externas na fachada de uma unidade pode ser realizada por meio da observação de características visuais que evidenciam problemas de umidade. Um dos sinais mais comuns é a presença de manchas de mofo ou bolor nas paredes, indicando acúmulo de umidade proveniente da infiltração. Essas manifestações são facilmente percebíveis e alertam para a existência do problema. Outro indicador visual é a observação de manchas de umidade na tinta da fachada. Nestes casos, a tinta pode apresentar amolecimento e ser facilmente removida com o uso de uma espátula ou objeto pontiagudo, resultando da infiltração de água que compromete a aderência da tinta à superfície.

Além disso, a presença de bolhas sob a tinta, conforme ilustrado na Figura 26, também sugere infiltração. Essas bolhas formam-se devido à presença de água entre a parede e o revestimento, resultando em uma aparência irregular e comprometendo a integridade da superfície.

Figura 26: Aspecto da parede interna devido à fissura externa: a imagem evidencia a presença de bolhas na superfície da parede, resultando em um visual comprometido e indicando a urgência de reparos.



Fonte: Autora (2023).

Além disso, sinais como o som oco ou a sensação de descolamento da parede podem indicar problemas de aderência causados pela infiltração e requerem uma avaliação mais detalhada.

Outras evidências podem ser observadas, como o aspecto inchado de um móvel encostado na fachada afetada pela infiltração, ou manchas amareladas, ou pretas, que surgem ao aplicar papel de parede.

Ao reunir todas essas informações visuais, é possível localizar a área afetada pela infiltração e determinar o ponto exato que necessita de intervenção. A detecção precoce desses sinais visuais é fundamental para evitar danos maiores na estrutura do edifício e nos revestimentos, possibilitando uma ação rápida e adequada para solucionar o problema de infiltração.

Nos 23 edifícios analisados, conforme a Tabela 10, destacam-se em vermelho 9 (nove) empreendimentos onde sugeriram algum tipo de manifestação

patológica decorrente de fissuras externas e como consequência a entrada de umidade. Desta forma, foram estudadas as argamassas utilizadas nas fachadas desses empreendimentos, já que a partir da utilização das mesmas ocorreu um maior índice de fissuração em fachadas.

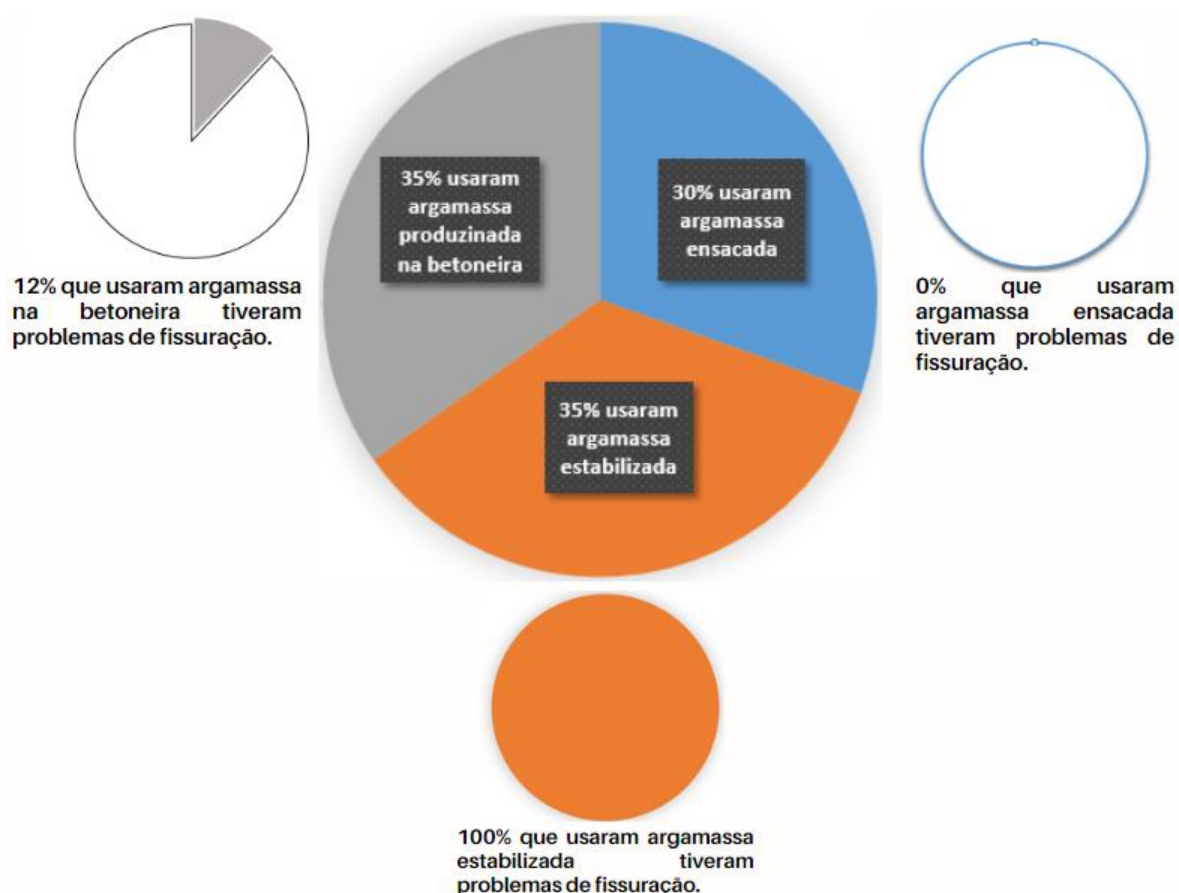
Tabela 11: Diagnóstico dos 23 empreendimentos com fissuração nas fachadas.

n°	Edifício	Conclusão	Tempo	N° Aptos	Aptos Vendidos	% Aptos Vendidos	Manutenções de Fissura de Fachada	Pastilha ou pintura	Projetista Estrutural	Reboco Externo (Argamassa)	Fornecedor de argassa
01	A	ago-17	6 anos e 5 meses	27	27	100	0	Pintura	AB	Betoneira	-
02	B	ago-17	6 anos e 5 meses	280	275	98	0	Pintura	EF	Betoneira	-
03	C	nov-17	6 anos e 2 meses	61	61	100	0	Pintura	AB	Betoneira	-
04	D	abr-18	5 anos e 9 meses	16	15	94	0	Pintura	EF	Pré-misturada	-
05	E	jul-18	5 ano e 6 meses	80	74	93	0	Pintura	AB	Pré-misturada	-
06	F	ago-18	5 anos e 5 meses	92	91	99	0	Pintura	AB	Pré-misturada	-
07	G	out-18	5 anos e 3 meses	118	118	100	0	Pintura	AB	Betoneira	-
08	H	nov-18	5 anos e 2 meses	52	52	100	0	Pintura	AB	Betoneira	-
09	I	fev-19	4 anos e 11 meses	17	17	100	18	Pastilha	CD	Estabilizada	KL
10	J	mar-19	4 anos e 10 meses	36	36	100	10	Pintura	AB	Estabilizada	IJ
11	K	abr-19	4 anos e 9 meses	28	17	61	0	Pintura	AB	Betoneira	-
12	L	mai-19	4 anos e 8 meses	256	236	92	74	Pintura	AB	Estabilizada	IJ
13	M	out-19	4 anos e 3 meses	60	54	90	0	Pastilha	EF	Betoneira	-
14	N	nov-19	4 anos e 2 meses	72	52	72	0	Pintura	AB	Pré-misturada	-
15	O	mar-20	3 anos e 10 meses	48	46	96	21	Pintura	GH	Pré-misturada	-
16	P	ago-20	3 anos e 5 meses	24	24	100	9	Pintura	CD	Estabilizada	KL
17	Q	jan-21	2 ano	32	27	84	0	Pintura	AB	Pré-misturada	-
18	R	ago-21	2 ano e 5 meses	140	91	65	33	Pintura	AB	Estabilizada	MN
19	S	out-21	2 ano e 3 meses	28	9	32	0	Pintura	AB	Betoneira	-
20	T	nov-21	2 ano e 2 meses	96	79	82	19	Pintura	AB	Estabilizada	MN
21	U	abr-22	1 ano e 9 meses	192	181	94	46	Pintura	AB	Estabilizada	MN
22	V	mai-22	1 ano e 8 meses	40	40	100	0	Pintura	CD	Pré-misturada	MN
23	W	ago-22	1 ano e 5 meses	192	164	85	51	Pintura	AB	Estabilizada	MN

Fonte: Autora (2024).

Conforme ilustrado na Figura 27, dos 23 empreendimentos pesquisados, 35% optaram por utilizar argamassa produzida na betoneira, enquanto 30% escolheram a argamassa ensacada e os restantes 35% optaram pela argamassa estabilizada. Notavelmente, dos que utilizaram argamassa da betoneira, 12% enfrentaram problemas de fissuração. Em contraste, nenhum dos empreendimentos que optaram pela argamassa ensacada apresentou problemas de fissuração. Surpreendentemente, 100% dos empreendimentos que escolheram a argamassa estabilizada enfrentaram problemas relacionados à fissuração. Esses resultados indicam variações significativas nos desempenhos das diferentes formulações de argamassa, sugerindo a necessidade de uma análise mais aprofundada das condições específicas de aplicação e características dos materiais utilizados.

Figura 27: Análise do percentual de problemas de fissuração relacionados com a argamassa estabilizada.



Fonte: Autora (2024).

5.3 3° ETAPA

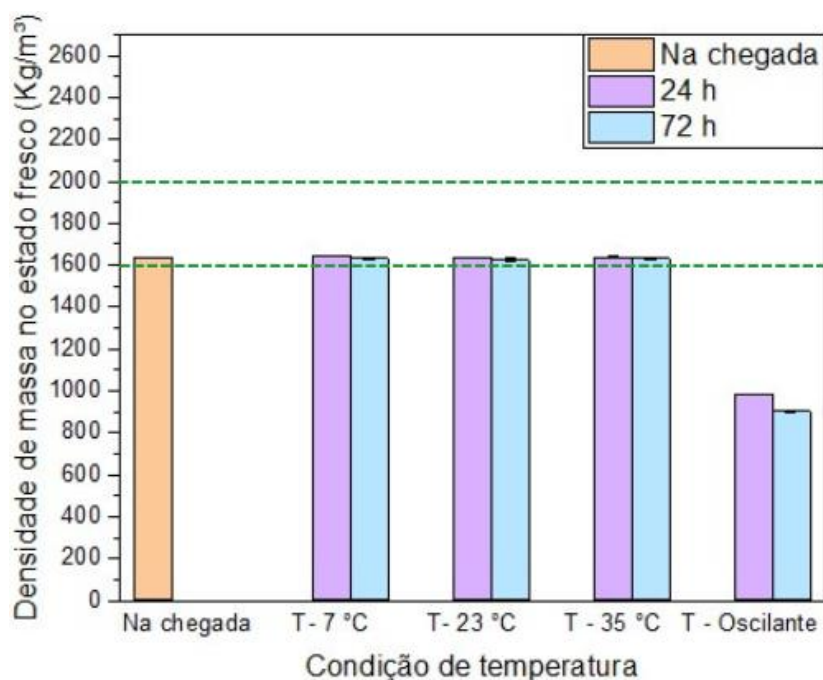
São apresentados os ensaios conduzidos na argamassa estabilizada no estado fresco e endurecido. Os resultados desses ensaios fornecem a melhor compreensão do comportamento inicial do material, influenciando diretamente o desenvolvimento e a qualidade do produto final.

5.3.1 Densidade de massa no estado fresco

A densidade de massa no estado fresco das argamassas contribuiu para a compreensão das características físicas desses materiais e a sua influência nas propriedades no estado fresco para o desempenho nas fachadas de edifícios.

Os experimentos conduzidos para avaliar a densidade da massa no estado fresco revelaram resultados alterados quando a argamassa estabilizada foi sujeita à condição de temperatura oscilante entre 7 °C e 35 °C durante o seu tempo de manuseio, conforme observado na Figura 28. Essa observação corrobora com estudos anteriores, como o trabalho de Pang (2015), que também destacaram a sensibilidade da hidratação do cimento a variações de temperatura. Esses resultados evidenciam a influência direta da temperatura nas propriedades físicas da argamassa, afetando não apenas a consistência e a reologia, mas também a capacidade de compactação e a distribuição de partículas, como discutido na literatura citada.

Figura 28: Resultados de densidade da massa no estado fresco da argamassa estabilizada.



Fonte: Autora (2024).

Ao confrontarmos os requisitos estipulados pela norma NBR 13281, (2023) para a escolha de argamassa em fachadas, que preconiza uma densidade entre 1600 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 , observamos que os resultados obtidos em condições de temperatura oscilante não alcançaram 1000 kg/m^3 , evidenciando a não conformidade com a norma.

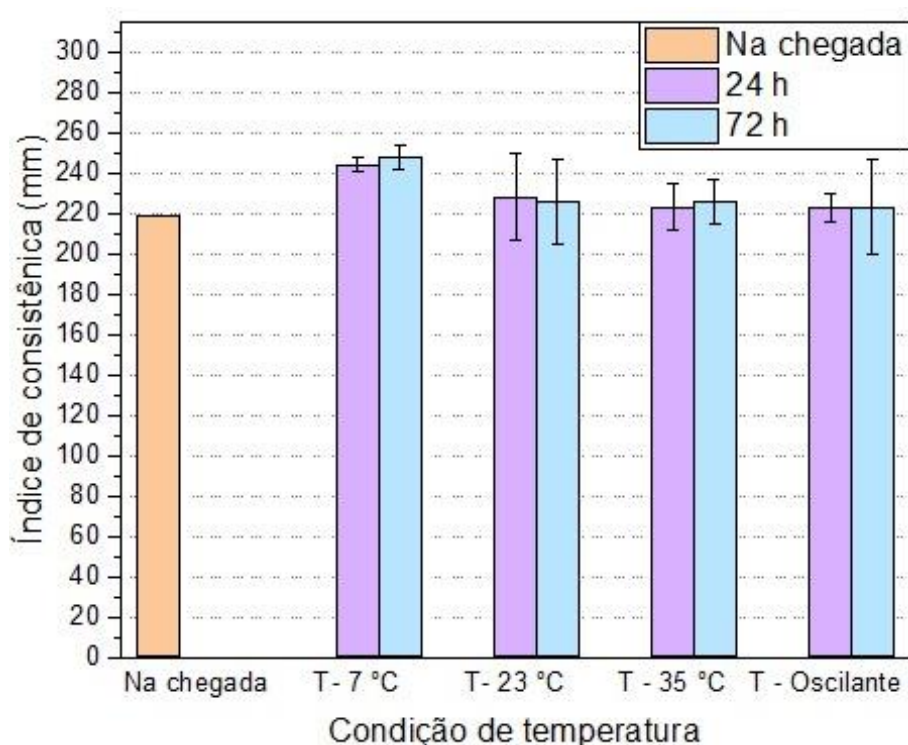
A análise da densidade da massa em diferentes intervalos de temperatura aponta para possíveis efeitos na hidratação dos constituintes da argamassa, o que pode influenciar nas propriedades mecânicas e na durabilidade do material após a cura. Pesquisas anteriores, como o estudo conduzido por Li *et al.* (2022), destacam a sensibilidade da argamassa à variação térmica. Essa sensibilidade à temperatura mostra a importância de considerar as condições ambientais durante o processo de aplicação e cura da argamassa, visando garantir um desempenho adequado e consistente do material ao longo do tempo.

5.3.2 Índice de consistência

Os resultados da análise do índice de consistência da argamassa revelaram variações notáveis entre diferentes condições de temperatura.

Surpreendentemente, observou-se que o índice de consistência da argamassa a 7 °C foi significativamente mais alto em comparação com as temperaturas de 23 °C e 35 °C, assim como com a condição oscilante entre 7 e 35 °C, conforme a Figura 29. Essa disparidade pode ser atribuída a uma série de fatores, incluindo a influência na viscosidade e fluidez da argamassa em temperaturas mais baixas, o que impacta diretamente na sua trabalhabilidade, ou seja, na capacidade de manuseio e moldagem do material.

Figura 29: Resultados do índice de consistência da argamassa estabilizada.



Fonte: Autora (2024).

O tema da sensibilidade do índice de consistência de argamassas e concretos à variação térmica é abordado por Mehta e Monteiro (2005). Suas conclusões sugerem que temperaturas mais baixas podem levar a um aumento na viscosidade e, conseqüentemente, em um índice de consistência mais elevado. No entanto, é importante destacar que uma alta viscosidade está associada a uma menor trabalhabilidade do material. Isso ressalta a importância de considerar não apenas a temperatura ambiente, mas também a influência das condições térmicas no momento da aplicação e moldagem da argamassa, uma vez que esses fatores podem impactar diretamente as propriedades reológicas do material.

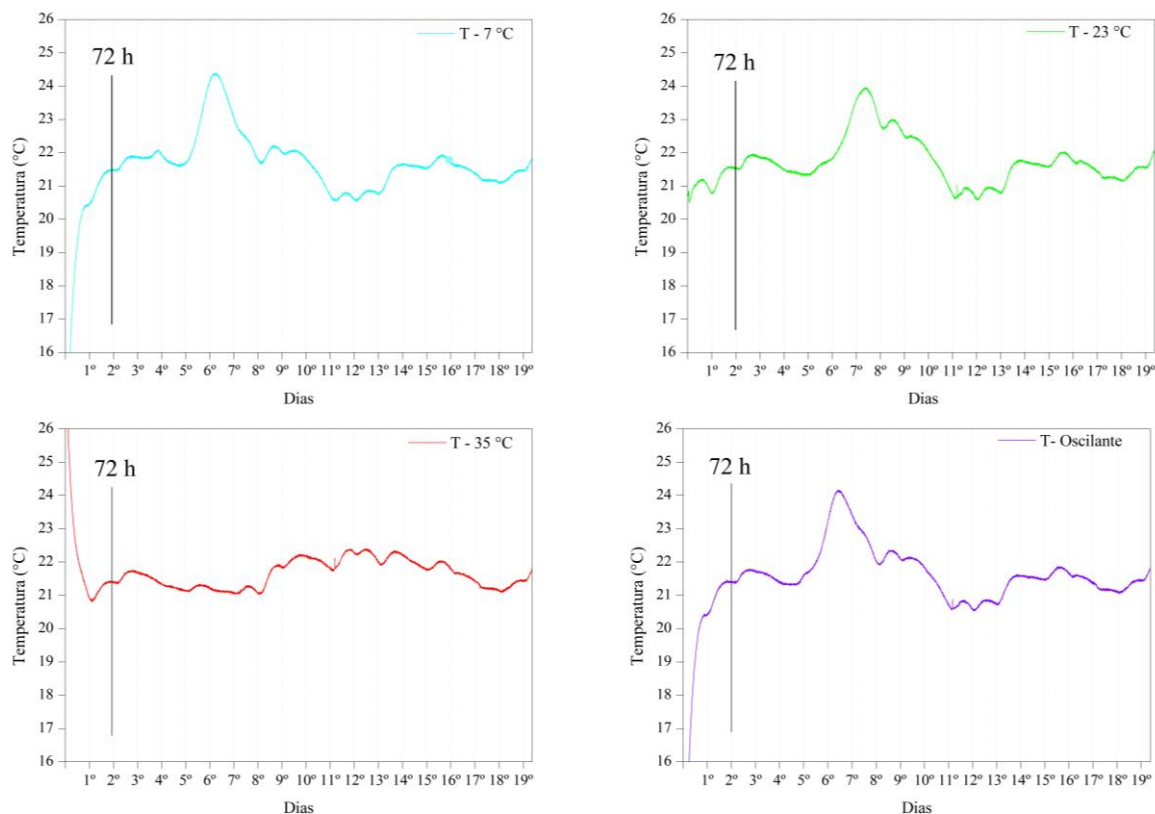
Isso acontece porque, durante a fase inicial das reações de hidratação, a temperatura exerce influência não apenas na taxa de hidratação, isto é, no desenvolvimento das reações de hidratação, mas também nas características e na disposição dos produtos resultantes dessas reações. Em virtude da elevada velocidade inicial de hidratação, não há tempo suficiente para ocorrer a difusão adequada dos produtos para regiões mais distantes das partículas de cimento, nem para uma precipitação uniforme nos espaços intersticiais, fenômeno observado em temperaturas mais baixas (SECCHI; PIOVESAN, 2017).

Em geral, observou-se uma considerável perda de espalhamento ao longo do tempo à temperatura mais alta. Conforme relatado por ZHANG *et al.*, (2016), pastas cimentícias com elevado teor de superplastificante tendem a ser menos suscetíveis à redução de desempenho frente a variações de temperatura. O aumento da temperatura, de forma geral, reduziu as tensões de escoamento e as viscosidades plásticas das pastas cimentícias, comportamento semelhante ao identificado nos estudos de FERNÁNDEZ-ALTABLE e CASANOVA (2006). A temperatura pode ter um impacto significativo na consistência da pasta de cimento fresca. Geralmente, quando a temperatura é mais baixa, a reação de hidratação do cimento é mais lenta, resultando em uma pasta mais fluida, portanto, um índice de consistência maior. Isso ocorre porque a baixa temperatura reduz a taxa de reações químicas envolvidas na formação da matriz de cimento.

5.3.3 Análise térmica em sistema semi-adiabático

Na Figura 30 destaca-se uma curvatura distintiva na condição de temperatura de 35 °C, em comparação com as demais condições térmicas analisadas. O ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático revela que essa disparidade na curva térmica está intrinsecamente ligada às características específicas do processo de hidratação da argamassa sob essa condição térmica (CASALI *et al.*, 2020). Este resultado evidencia a influência da temperatura de 35 °C no comportamento termoquímico da argamassa, como um fator relevante a ser considerado na compreensão mais ampla das propriedades do material, conforme mostram os resultados.

Figura 30: Resultado do ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático: variação de temperatura da amostra ao longo do tempo e para diferentes condições de temperaturas ambiental.

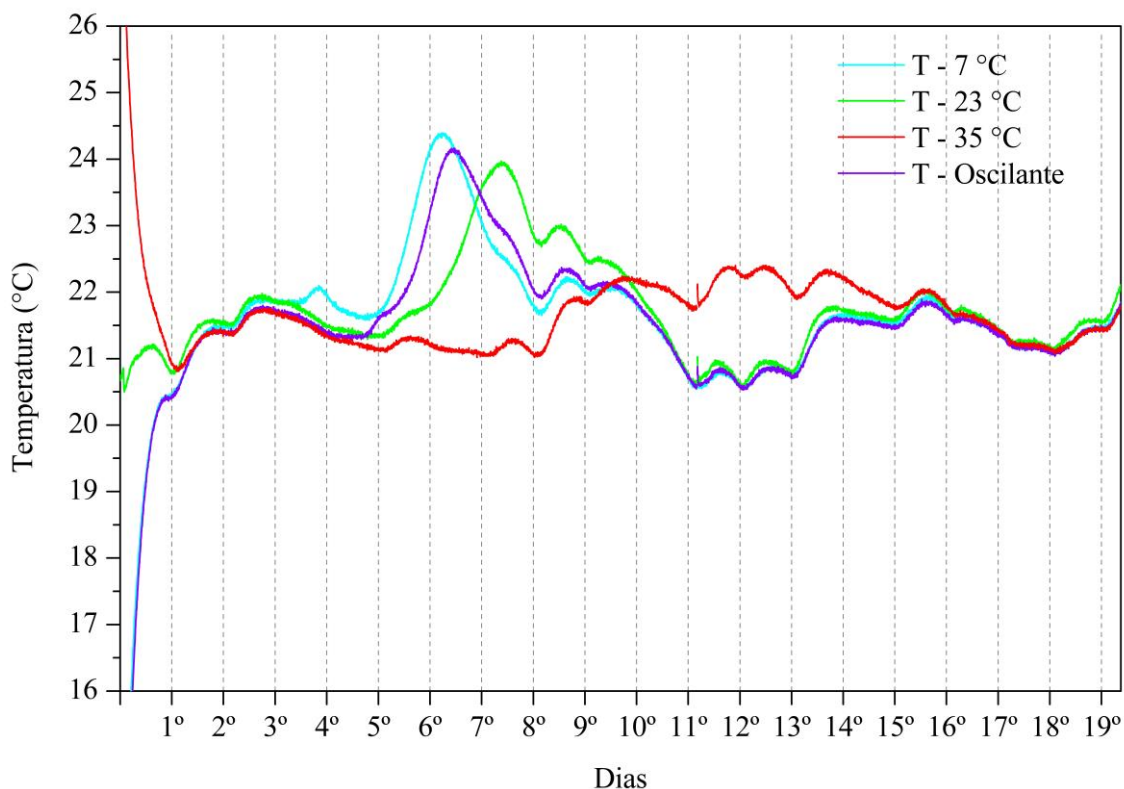


Fonte: Autora (2024).

Antes de serem inseridas nas cápsulas do ensaio de análise térmica em sistema semi-adiabático, as amostras de argamassa estabilizada foram submetidas às variações de temperatura durante as primeiras 24 h. O ensaio foi conduzido ao longo de 19 dias para observar a reação completa da argamassa estabilizada sob as condições de temperatura durante o processo de manuseio. Já no segundo dia, após 72 h de exposição ao calorímetro, a argamassa não estava mais apta para o manuseio. Entretanto, a reação efetiva da argamassa ocorreu entre o 5º e o 8º dia do ensaio.

Na Figura 31, a representação conjunta de todas as faixas de temperatura oferece uma visão abrangente que facilita a análise da variação observada. Destaca-se, de maneira mais nítida, a curvatura distintiva da faixa de 35 °C em comparação com as demais temperaturas.

Figura 31: Representação conjunta dos resultados de análise térmica em sistema semi-adiabático da argamassa estabilizada realizada em diferentes condições de temperatura ambiental.



Fonte: Autora (2024).

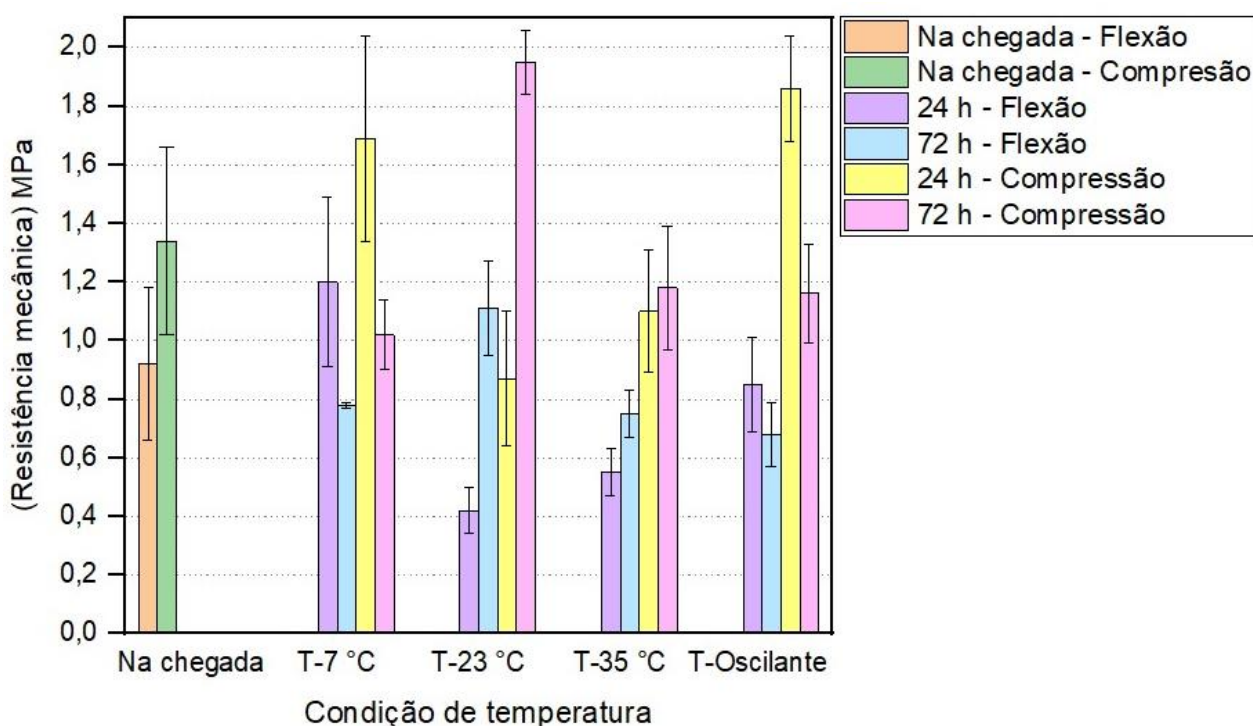
Quanto mais elevada for a temperatura de manuseio da argamassa estabilizada, maior será a alteração na análise térmica em sistema semi-adiabático do material. Este fenômeno resulta em mudanças nas propriedades reativas dos constituintes da argamassa, afetando diretamente o processo de hidratação do cimento e, por conseguinte, as propriedades finais do produto endurecido (MÜLLER, 2023). A variação térmica durante o amassamento pode impactar não apenas a taxa de liberação de calor, mas também a cinética das reações químicas envolvidas (MARGALHA, 2007).

Ao analisar a temperatura de manuseio mais elevada (35°C), torna-se evidente um comportamento notavelmente distinto em comparação com as demais temperaturas de manuseio (7°C; 23°C e oscilante), com a reação ocorrendo três dias após as condições térmicas mais baixas. Esses resultados corroboram estudos conduzidos por Muller (2023) sobre pastas cimentícias, reforçando a importância dessas observações para uma compreensão mais abrangente do comportamento dos materiais em diferentes ambientes térmicos.

5.3.4 Resistência à tração na flexão e compressão

Os resultados apresentados para a resistência à tração na flexão e compressão, Figura 32, não mostram, ao longo do período de estabilização analisado, uma tendência significativamente diferente quando comparados com o estado fresco.

Figura 32: Resultados à tração na flexão e compressão da argamassa estabilizada nas diferentes temperaturas.



Fonte: Autora (2024).

Analisando especificamente a resistência de tração na flexão, destaca-se que a argamassa submetida às condições de temperatura de 7 °C – 24 h sobressai em relação às demais pelas baixas resistências e, em relação ao ensaio de compressão, o que se destaca é a condição de temperatura de 23 °C – 72 h como sendo o melhor resultado. No entanto, ao comparar esses resultados com o estudo de Roque e Polesello (2019), observa-se que todos os valores ficaram aquém do referido estudo, incluindo a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão.

Ao confrontar os resultados obtidos no presente estudo com as descobertas de Melo *et al.*, (2019), que investigou a argamassa estabilizada em

relação a diferentes métodos de cura, especificamente no ensaio de resistência à compressão, evidenciou-se que o processo de cura ao ar exibiu uma redução de 35% em comparação com a prática mais eficaz de cura (aspersão). Este achado ressalta a influência significativa do processo de cura na resistência mecânica da argamassa, corroborando com a importância de considerações específicas sobre o processo de cura ao avaliar o desempenho do material endurecido.

Notavelmente, mesmo após o período de 5 dias, conforme especificado pela norma para desmoldagem, os corpos de prova não apresentavam completa firmeza, evidenciando uma película sólida ao redor de toda a sua superfície, conforme ilustrado na Figura 33. Essa película dava a impressão de que a amostra estava completamente pronta para a desmoldagem.

Figura 33: Imagens dos corpos de prova para ensaio de resistência à tração na flexão e compressão mostrando a fragilidade da argamassa e evidenciando a falta de resistência nas primeiras idades no corpo de prova.



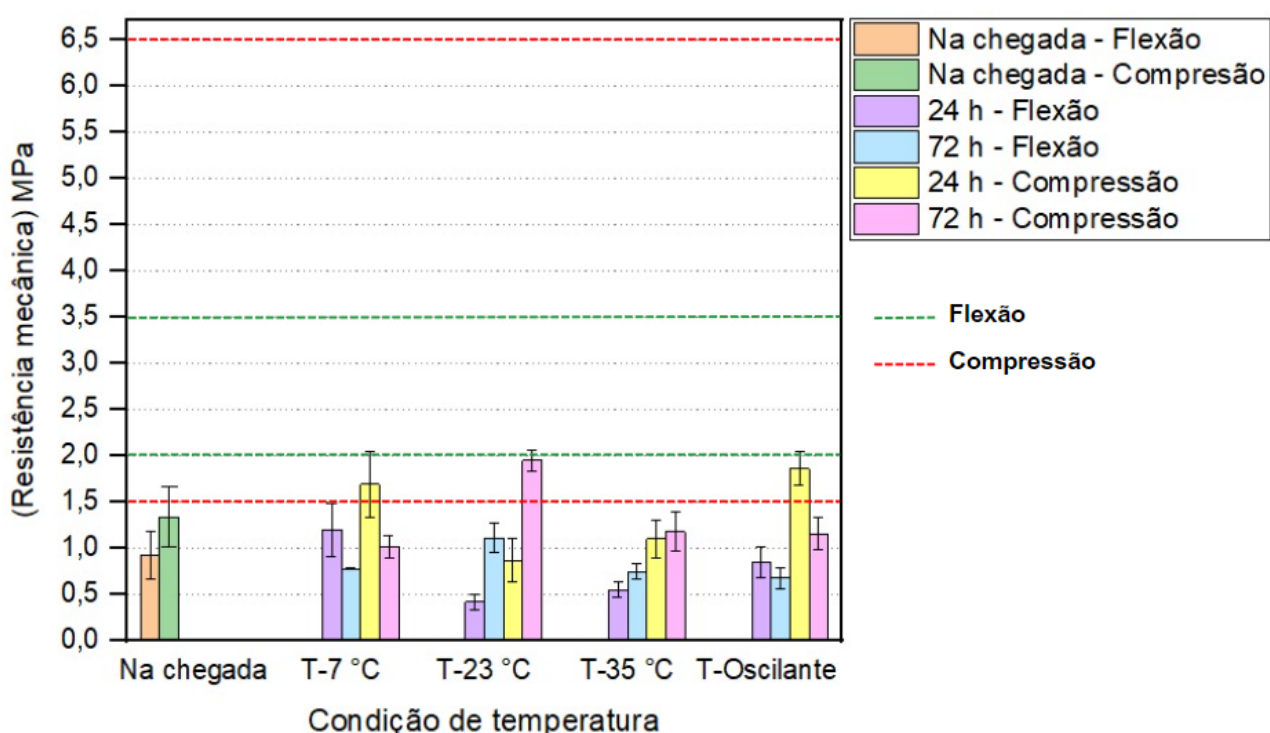
Fonte: Autora (2024).

Nos estágios iniciais, os materiais que consistem em aglomerantes hidráulicos são altamente sensíveis às flutuações climáticas/temperatura, podendo resultar na evaporação da água da mistura e, por conseguinte, impactar a hidratação

do cimento (BAUER *et al.*, 2015). Mehta e Monteiro (2005) destacam que tanto a temperatura quanto a umidade relativa do ar exercem influência sobre a velocidade de perda de água em materiais cimentícios. No contexto específico de argamassas estabilizadas, é conhecido que a estabilização de materiais cimentícios, como concreto e argamassa, é afetada por diversos fatores, incluindo o tipo de cimento, teor de aditivo e a composição química do estabilizador. Adicionalmente aos fatores mencionados, Secchi e Piovesan (2017) mencionam que as condições climáticas do ambiente também desempenham um papel crucial no tempo de estabilização, ou seja, no processo de endurecimento do material.

Ao compararmos os resultados obtidos com os requisitos estabelecidos pela norma NBR 13281 (2015), observamos que, no ensaio de resistência à tração na flexão, cujos valores esperados estão entre 2 MPa e 3,5 MPa, nenhuma condição de temperatura alcançou o patamar mínimo estabelecido. Similarmente, no que diz respeito à resistência à compressão, cuja faixa prevista é de 1,5 MPa a 6,5 MPa, apenas três condições conseguiram atingir o limite mínimo, conforme mostrado na Figura 34.

Figura 34: Resultados à tração na flexão e compressão comparados com os valores de referência da NBR 13281 (2015).

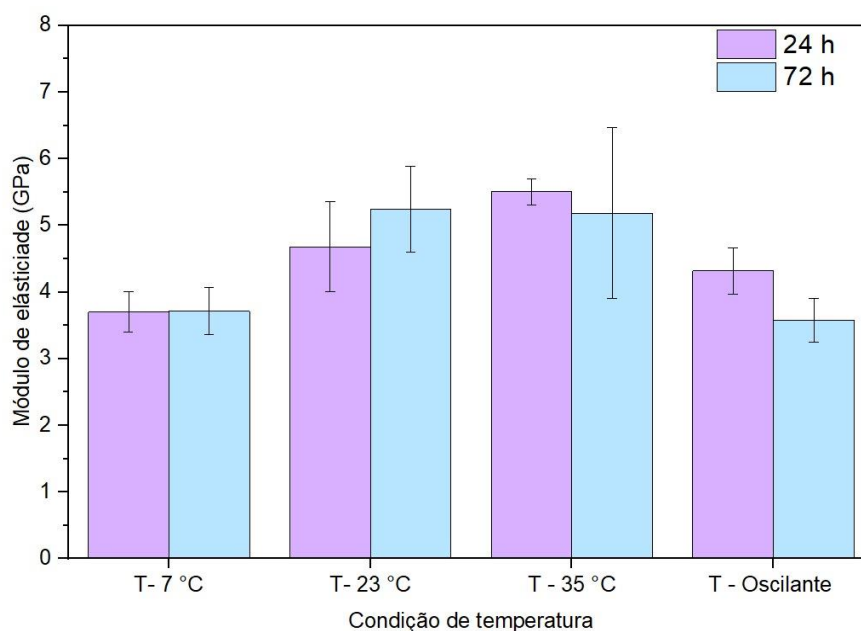


Fonte: Autora (2024).

5.3.5 Módulo de elasticidade estático

Os resultados apontaram um aumento no valor do módulo de elasticidade em resposta ao aumento da temperatura como ilustrado na Figura 35.

Figura 35 - Resultado do módulo de elasticidade em equipamento universal de ensaios.



Fonte: Autora (2024).

A relação intrínseca entre o módulo de elasticidade da argamassa e sua rigidez é fundamental para compreender o comportamento das fissuras em fachadas. Como indicado por NENEVÊ et al. (2021), um aumento no módulo de elasticidade está diretamente relacionado à maior rigidez do material, o que geralmente resulta em uma maior resistência à deformação sob cargas externas. No entanto, esse aumento excessivo na rigidez pode aumentar a susceptibilidade à fissuração. A rigidez elevada pode levar à concentração de tensões e, conseqüentemente, à formação de fissuras, especialmente em fachadas sujeitas a variações térmicas e movimentações estruturais.

Ao analisar os resultados do presente estudo em relação aos achados de Fabro et al. (2022), observamos que os dados corroboram essa relação entre o módulo de elasticidade e a ocorrência de fissuras. Por exemplo, os resultados mostram que argamassas com módulos de elasticidade mais altos tendem a

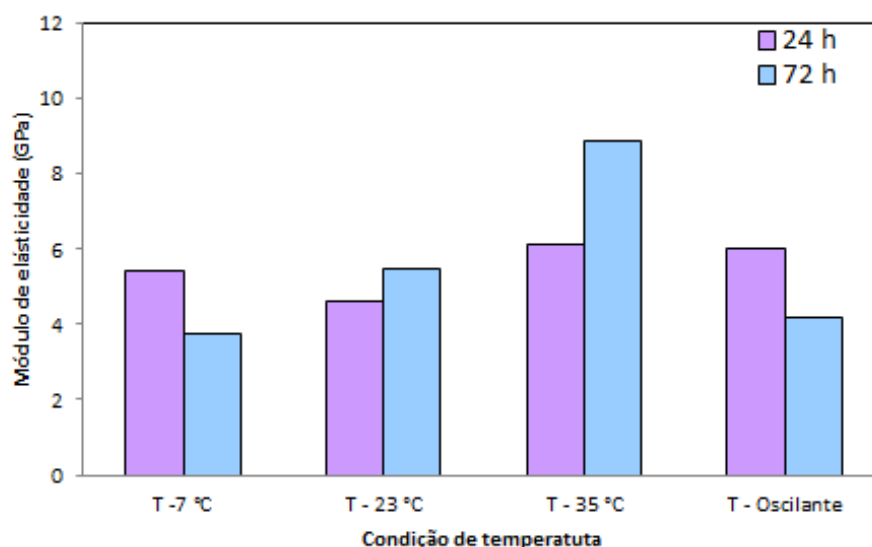
apresentar uma rigidez aumentada, o que pode estar associado a uma maior propensão à fissuração. No entanto, também identificamos que há uma necessidade de equilíbrio entre o módulo de elasticidade e outras propriedades da argamassa para minimizar os riscos de fissuração.

A relação intrínseca entre o módulo de elasticidade da argamassa e sua rigidez é fundamental para compreender o comportamento das fissuras em fachadas. Como indicado por Nenevê et al. (2021), um aumento no módulo de elasticidade está diretamente relacionado à maior rigidez do material, o que geralmente resulta em uma maior resistência à deformação sob cargas externas. No entanto, esse aumento excessivo na rigidez pode aumentar a susceptibilidade à fissuração. A rigidez elevada pode levar à concentração de tensões e, conseqüentemente, à formação de fissuras, especialmente em fachadas sujeitas a variações térmicas. Portanto, a nossa pesquisa destaca a importância de considerar não apenas a rigidez, mas também outras propriedades da argamassa, como a resistência à tração e a capacidade de deformação, na busca pelo equilíbrio ideal entre resistência e flexibilidade. Isso contribui não apenas para a otimização da durabilidade e integridade das fachadas, mas também para a mitigação dos riscos de fissuração, conforme sugerido por Fabro et al. (2022).

5.3.6 Módulo de elasticidade dinâmico

No ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, cujos resultados podem ser observados na Figura 36, que há um aumento do módulo associado a condições de temperaturas mais elevadas. Contrariamente com os resultados do Casali et al., (2020) os resultados de módulo de elasticidade obtidos nesse trabalho foram menores.

Figura 36: Resultado do módulo de elasticidade dinâmico obtido com o equipamento suporte para amostras de pequenos portes e engastadas.



Fonte: Autora (2024).

No ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, registrado pelo equipamento suporte para amostras de pequenos portes e engastadas, é evidenciada a influência das condições de temperaturas mais elevadas sobre o melhor desempenho das propriedades mecânicas do material. Este fenômeno denota uma resposta diferenciada em relação à variação térmica.

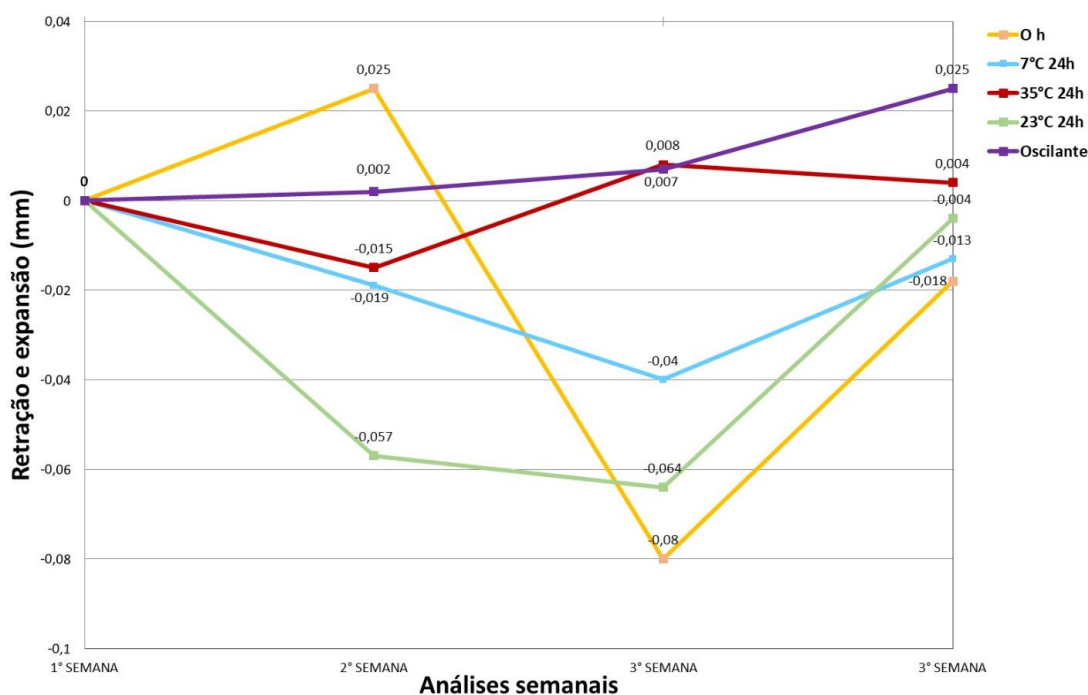
Ao comparar os nossos resultados obtidos com as observações de Aggelakopoulo, Bakolas e Moropoulou (2019), constatamos uma concordância quanto à influência da velocidade de propagação de ondas de ultrassom nas disparidades do módulo de elasticidade, tanto estático quanto dinâmico, das argamassas. Os dados corroboram a ideia de que o aumento da velocidade de propagação pode ajudar a atenuar essas disparidades. Essa associação sugere que a heterogeneidade da microestrutura das argamassas, juntamente com sua falta de homogeneidade e as características dos poros, pode ser uma das principais causas dessas divergências.

5.3.7 Retração

A análise dos resultados obtidos nos ensaios de retração e expansão da argamassa estabilizada na Figura 37 proporciona a compreensão do comportamento

deste material em diferentes condições. Na análise, a argamassa a 7°C após 24 h apresentou uma retração adicional, indicada pelo valor de -0,019 mm. As condições mais frias podem influenciar a taxa de endurecimento da argamassa, contribuindo para uma retração mais acentuada nesse cenário. Em uma temperatura mais elevada (35°C após 24 h), observou-se uma ligeira expansão, evidenciada pelo valor positivo de 0,008 mm. As condições térmicas mais quentes podem acelerar o processo de endurecimento, resultando em uma expansão compensatória.

Figura 37: Comportamento de retração e expansão: exibição dos resultados que ilustram a variação dimensional, evidenciando os fenômenos de retração e expansão das argamassas.



Fonte: Autora (2024).

Os resultados sugerem que as condições térmicas exercem uma influência nas propriedades de retração e expansão da argamassa estabilizada. A variação nas análises destaca a importância de considerar as condições ambientais durante a aplicação e cura da argamassa, para minimizar o risco de fissuração em fachadas.

A presença de cimento na composição da argamassa desempenha diversas funções essenciais, tais como garantir a resistência das misturas, melhorar a aderência, contribuir para a trabalhabilidade e favorecer a retenção de água. No entanto, é necessário atentar para a dosagem adequada, pois o uso excessivo de

cimento pode resultar em um aumento significativo na retração da argamassa. Esse aumento na retração pode impactar diretamente na durabilidade da aderência, uma vez que a elevação do calor de hidratação na argamassa, ocasionada pelo excesso de cimento, pode desencadear processos de retração excessiva, culminando na formação de trincas e fissuras. Portanto, a dosagem cuidadosa do cimento serve para equilibrar as suas vantagens, mantendo a estabilidade e a durabilidade da argamassa aplicada (LEGGERINI; KALIL, 2011).

6 CONCLUSÕES

Destaca-se inicialmente a relevância das análises realizadas para compreender o comportamento das argamassas estabilizadas em condições diversas de temperatura, tanto no estado fresco quanto no endurecido. A busca por maior produtividade nos canteiros de obra, através do uso de argamassas com propriedades prolongadas no estado fresco, tem levado a um aumento na incidência de trincas e fissuras em fachadas, conforme observado nos resultados obtidos.

Os valores de densidade das argamassas no estado fresco não alcançaram os padrões estabelecidos pela norma NBR 13281, mostrando sua não conformidade com os requisitos mínimos. Por exemplo, ao confrontarmos os requisitos estipulados pela norma NBR 13281, que preconiza uma densidade entre 1600 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 , observamos que os resultados obtidos em condições de temperatura oscilante não alcançaram 1000 kg/m^3 .

O índice de consistência e a análise térmica em sistema semi-adiabático, mostrou que, em temperaturas mais elevadas ocorreu uma rápida pega inicial, evidenciada pela perda substancial de trabalhabilidade.

Os resultados obtidos no estado endurecido indicam variações no desempenho das argamassas estabilizadas. Por exemplo, no módulo de elasticidade, observamos valores variando de 3,5 a 5,5 MPa, com um notável aumento para condições de temperaturas mais elevadas.

Quanto à resistência à tração na flexão, ao compararmos os resultados obtidos com os requisitos estabelecidos pela norma NBR 13281, cujos valores esperados estão entre 2 e 3,5 MPa, nenhuma condição de temperatura alcançou o patamar mínimo estabelecido.

No que diz respeito à resistência à compressão, cuja faixa prevista é de 1,5 a 6,5 MPa, apenas algumas condições conseguiram atingir o limite mínimo.

Nos ensaios de resistência potencial de aderência à tração, os valores variaram de 0,06 a 1,3 MPa. É possível observar que alguns desses valores ficaram abaixo do limite mínimo estabelecido pela norma para paredes de revestimento externo, que é de 0,3 MPa.

No ensaio de variação dimensional, observamos uma retração de 0,08 mm e uma expansão linear de 0,25 mm. Esses números representam as mudanças

dimensionais do material após a cura, o que pode afetar sua integridade estrutural e estética.

As análises mostraram que dias quentes podem promover uma maior incidência de trincas e fissuras devido à rápida evaporação da umidade, enquanto dias frios podem resultar em problemas devido à retração excessiva do material durante o processo de endurecimento.

Portanto, conclui-se que este estudo não apenas amplia o conhecimento sobre as propriedades das argamassas estabilizadas, mas também fornece orientações práticas para a melhoria da qualidade e durabilidade das construções, alinhando-se com as demandas do setor da construção civil por materiais mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ACI COMMITTEE 305. **Hot Weather Concreting**, 2010. . (Nota tecnica).
- AGGELAKOPOULOU, E.; BAKOLAS, A.; MOROPOULOU, A. Lime putty versus hydrated lime powder: Physicochemical and mechanical characteristics of lime based mortars. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 633–641, 20 nov. 2019.
- ALMEIDA, C. A. L. **Influência da porosidade da argamassa no desempenho do revestimento de argamassa colante em substratos de concreto**. 2011. Universidade Federal de Uberlândia, 2011.
- ALMEIDA, P. S. de. **Gestão da manutenção: Aplicado às áreas industrial, predial e elétrica**. São Paulo: 05/02/2018, 2018. 176 p.
- ALVARENGA, M. G. de L. **Análise de desempenho de argamassas com utilização de resíduos de construção e demolição de alvenaria como substituto parcial de agregado miúdo natural**. 2018. Universidade de Estado do Rio de Janeiro, 2018.
- ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J. M.; SCHMIDT, R. P. B.; TRINDADE, B. Ação dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 249–262, 2020.
- ANTUNES, G. R.; MASUERO, A. B.; MAÇANEIRO, M. N. Avaliação do desempenho de argamassa reforçada com tela metálica através do ensaio de tração na flexão. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 1, n. 1, p. 1753–1762, 2014.
- BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, n. 1, 2015.
- BOTELHO, M. H. C. **Patologia das Construções**. São Paulo: Blucher, 2008. 300 p.
- CASALI, J. M.; MEES, S.; OLIVEIRA, A. L. de; BETIOLI, A. M.; CALÇADA, L. M. Propriedades mecânicas das argamassas estabilizadas: evolução com a idade e o grau de hidratação. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 263–283, 2020.
- CAVALARO, S. H. P.; SANTOS, S. F.; DANTAS, T. N. S.; SOUSA, T. B. DE; SILVA, M. G. da. Influência da adição de resíduo de caulim na resistência à compressão de argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, 2018.
- CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. 2006. Universidade Federal De

- Santa Catarina Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil, 2006.
- CUNHA, E. M. F. da. **Fissuração em revestimentos argamassados: causas, prevenção e recuperação**. 2012. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.
- FABRO, J. R.; SILVA, S. H. L. da; FAGANELLO, A. M. P.; ALTOÉ, S. P. S. **Avaliação Do Desempenho De Argamassas Estabilizadas**. [s.l: s.n.]2516–2529 p.
- FARIA, M. C. G.; LOURENÇO, P. B.; OLIVEIRA, J. G.; MARQUES, R. A.; VARUM, A. Effects of the modulus of elasticity on cracking in renderings. **Construction and Building Materials**, 2012.
- FERNANDES, PEDRO; VARUM, HUGO; COSTA, A. Influence of Reinforcement on the Flexural Behavior of Cementitious Renders. **Construction and Building Materials**, p. 13, 2017.
- FERNÁNDEZ-ALTABLE, V.; CASANOVA, I. Influence of mixing sequence and superplasticiser dosage on the rheological response of cement pastes at different temperatures. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 7, p. 1222–1230, 2006.
- FERREIRA, RICARDO CARRAZEDO CHAVES, SAVASSI, ONOFRE NOVAIS, GONÇALVES, J. P. P. Effect of Bond Strength on the Flexural Strength of Reinforced Concrete Beams. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 2011.
- FERREIRA, M. A. **Importância da Qualidade dos Materiais na Construção Civil: Um Estudo sobre a Percepção dos Profissionais da Área**. 2014. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- GOMES, G.C., GOMES, J.F., E PEREIRA, A. . Shrinkage and Cracking of Cementitious Renders: A Review. **Construction and Building Materials**, p. 21, 2017.
- GOMES, C. F.; COSTA, J. E. R. **Influência do teor de água e granulometria dos agregados na trabalhabilidade da argamassa de revestimento**.Fortaleza. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Civil, 2016.
- GOMIDE, T. L. F.; NETO, J. C. P. F.; GULLO, M. A.; FLORA, S. M. D. **Inspeção Predial Total**. São Paulo: Oficina de textos, 2019. v. 3^a Ed.169 p.
- HERMANN, A.; ROCHA, J. P. D. A. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco**Pato Branco. 2013.
- IBAPE. **Norma Nacional de Inspeção Predial**2012.
- LEGGERINI, M. R. C.; KALIL, S. B. Estruturas Mistas: Concreto Armado x Alvenaria

Estrutural. **Boletim Técnico**, p. 1–54, 2011.

LEITE, F. A. **Análise da Qualidade em Obras de Edificações Residenciais: Um Estudo de Caso**. 2014. Universidade Federal de Pernambuco., 2014.

LI, T.; CHEN, G.; YANG, J.; CHONG, L.; HU, X. Case Studies in Construction Materials Influence of curing conditions on mechanical properties and microstructure of magnesium potassium phosphate cement. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, n. March, p. 12, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01264>>.

MARGALHA, M. G. Argamassas - Conservação e Recuperação do Património. **Repositório Universidade de Évora**, p. 1–32, 2007.

MARIO, M. **Argamassas estabilizadas produzidas na cidade de Porto Alegre/RS: avaliação de suas propriedades ao longo do tempo**. 2019. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

MARQUES, A. I.; MORAIS, J.; SANTOS, C.; MORAIS, P.; DO ROSÁRIO VEIGA, M. **Static elasticity modulus analysis of coating mortars**. **Procedia Structural Integrity**. Lisboa. Elsevier B.V., 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.09.001>>.

MARQUES FILHO, GERALDO CEHELLA ISAIA. SILVA, P. I. Aderência de Argamassas de Revestimento ao Substrato Cerâmico. **Revista Materiais de Construção**, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, properties, and materials**. [s.l.] 26 setembro, 2005. 659 p.

MELO, F. D. de; BRITO, L. A. P.; OLIVEIRA, A. L. de; CASALI, J. M.; CALÇADA, L. M. Influence of Humid Cure in Rendering Performed With Ready Mix. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, p. 179–187, 2019.

MENDES, A. L. A. **Estudo do desempenho de argamassas para revestimento externo de edificações**. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

MÜLLER, A. A. **VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS INDUSTRIAIS COMO ADIÇÃO MINERAL EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS POR MEIO DE AVALIAÇÕES CALORIMÉTRICAS**. 2023. UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC, 2023. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558907/>>.

NASCIMENTO, R. L. do. **Compatibilização de projetos de edificações**. Rio de Janeiro. 2015.

- NBR 11768-1. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.
- NBR 13276. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**2016.
- NBR 13278. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**2005.
- NBR 13279. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**2005.
- NBR 13281. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.
- NBR 13528-2. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência de aderência à tração**2019.
- NBR 13749. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- NBR 15261. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)**2005.
- NBR 15575. **Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais.** Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2013.
- NENEVÊ, B. L.; PEDRO, J.; ORELLANA, L.; RIBEIRO, B. E.; RAMOS, M. L.; MARON, M. Avaliação da aderência e da deformabilidade de argamassas de revestimentos industrializados. **Revista Técnico-científica do CREA-PR**, p. 1–19, 2021.
- OLIVEIRA, A. M. **Patologia das construções: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de textos, 2015.
- OLIVEIRA, L. Fissuras de retração em reboco: causas e consequências para a umidade em edificações. **Revista de Engenharia e Arquitetura**, p. 87–98, 2019.
- OLIVEIRA, R. M. de. **Modelo de avaliação da qualidade de serviços na construção civil.** 2016. Universidade Federal Fluminense, 2016.
- OTTON, T. P.; MARQUEZAN, J. P.; MOHAMAD, G.; LUBECK, A.; RIZATTI, E. Estudo do Potencial de Aderência à tração em diferentes blocos de alvenaria com e sem uso do chapisco. **Ambiente Construído**, p. 89–96, 2018.
- PALMER, R. **Maintenance Planning and Scheduling Handbook.** Nova York: McGraw-Hill Companies, 2019. 960 p.

- PANG, X. The effect of water-to-cement ratio on the hydration kinetics of Portland cement at different temperatures. **The 14th International Congress on Cement Chemistry**, n. October, p. 1–12, 2015.
- PELISSER, F, FERNANDES, P, ATAÍDE, C. Avaliação da aderência de argamassas de revestimento aplicadas sobre substratos de concreto com diferentes características superficiais. **Revista ALCONPAT**, p. 217- 231., 2017.
- RAMOS, M. A. R. et al. Avaliação de argamassas de revestimento com adição de resíduo de vidro visando ao desempenho. **Ambiente Construído**, p. 187–202, mar. 2017.
- RIBEIRO, F. F.; CARASEK, H. Controle técnico na produção de argamassa estabilizada. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, p. 10, 2023.
- ROQUE, D. C.; POLESELLO, E. Analysis of the Properties of Ready Mix Mortars for Coatings At Different Times Along Their Stabilization Period. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, p. 610–616, 2019.
- SANTOS, A. **Fissuras de retração em reboco: causas e prevenção**. São Paulo. Congresso Brasileiro de Construção Civil, 2018.
- SANTOS FILHO, V. M. dos. **Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho. Estudo de caso em Brasília-DF**. 2015. Universidade de Brasília, 2015.
- SECCHI, H.; PIOVESAN, A. Z. Avaliação das propriedades da argamassa estabilizada com aditivo inibidor de hidratação com variação da temperatura. **Anuário Pesquisa E Extensão Unoesc Joaçaba**, v. 2, n. 13294, p. 16, 2017.
- SERRALHEIRO, M. I.; DE BRITO, J.; SILVA, A. **Methodology for service life prediction of architectural concrete facades**. Lisboa: 15/02/2017, 2017. v. 133261–274 p.
- SILVA, ANTONIO PEREIRA DA; JONOV, C. M. P. **Curso de Especialização em Construção Civil**Paraná. 2011.
- SILVA, M. C. M. da. **Metodologia para planejamento integrado de projetos de engenharia: um estudo de caso em um empreendimento imobiliário**. 2016. Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- SILVA, J. Fissuras em rebocos: Causas e soluções. **Revista Técnica de Edificações**, p. 65–79, 2015.
- SILVEIRA, D. **Qualidade Na Construção Civil: Um Estudo De Caso Em Uma**

Empresa Da Construção Civil No Rio Grande Do Norte. 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

SILVEIRA, F. A. **Estudo Experimental da Influência de Aditivos no Comportamento Mecânico e Durabilidade de Argamassa de Revestimento em Situação de Variação Térmica.** 2018. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

TARMAC. **Mortar - Tarmac.** Disponível em: <<https://tarmac.com/products/mortar/?mortar/ready-to-use-mortar/>>. Acesso em: 27 maio. 2023.

VIEIRA DE SANTANA, B.; VENÂNCIO ALEIXO, I. **Avaliação Da Absorção Por Capilaridade De Argamassas Para Revestimento Com Diferentes Aditivos Impermeabilizantes.** 2017. 2017.

VON DAAKE, H.; STEPHAN, D. Adsorption kinetics of retarding admixtures on cement with time controlled addition. **Cement and Concrete Research**, v. 102, p. 119–126, 1 dez. 2017.

ZHANG, Y.; KONG, X.; GAO, L.; WANG, J. Rheological behaviors of fresh cement pastes with polycarboxylate superplasticizer. **Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition**, v. 31, n. 2, p. 286–299, 2016.