



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS AUGUSTO JACOBS

**FACHADA VENTILADA: ANÁLISE DE DESEMPENHO E PRÁTICAS
CONSTRUTIVAS EM UM ESTUDO DE CASO**

Santa Cruz do Sul

2025

LUCAS AUGUSTO JACOBS

**FACHADA VENTILADA: ANÁLISE DE DESEMPENHO E PRÁTICAS
CONSTRUTIVAS EM UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Eng. Marcus Daniel Friedrich dos Santos

Santa Cruz do Sul

2025

AGRADECIMENTOS

Chegar ao final do curso é uma sensação diferente. O que antes parecia distante, hoje está a um passo de ser concluído junto deste trabalho de conclusão, o tão temido, que gerava dúvidas desde o início da faculdade. Sempre almejei desenvolver algo que fosse inovador, diferente e que pudesse causar um impacto positivo no setor da engenharia civil e, depois de muito esforço, acredito ter alcançado esse objetivo.

O trabalho de conclusão é, sem dúvida, a etapa que coroa a jornada da graduação, encerrando um ciclo. Durante todo o percurso até aqui, nunca estive sozinho. Fui constantemente acompanhado e orientado por doutores e mestres que tanto me ensinaram e que hoje posso considerar, além de futuros colegas de profissão, grandes amigos.

Neste contexto, não poderia deixar de registrar um agradecimento especial ao meu orientador e amigo, Professor Me. Marcus Daniel. Muito obrigado por todos os ensinamentos ao longo do curso e, principalmente, durante a elaboração deste trabalho. Tua vivência prática e vasta experiência de campo sempre contribuíram de forma imensurável não só para mim, mas para todos os meus colegas.

Aos colegas de graduação, minha sincera gratidão. Obrigado por todas as risadas, discussões construtivas e parcerias que firmamos ao longo desses anos, laços que, com certeza, se estenderão por muitos mais.

Aos meus amigos que estiveram comigo desde o início do curso, nos bons e nos maus momentos, sempre me apoiando.

A toda a minha família, que foi meu alicerce. Aos meus pais, Emerson e Fátima; à minha irmã e ao meu cunhado, Helena e Eduardo; às minhas dindas, Ethel e Hedi; e às minhas avós, Maria e Leonida, que não mediram esforços para me incentivar e ajudar sempre que precisei ao longo dessa trajetória.

Aos meus sogros, Cláudia e Douglas, e ao meu cunhado Vitor. E, de forma muito especial, à minha namorada Thaís, obrigado por ter estado sempre ao meu lado, até nos piores dias. Tu tem toda a minha admiração.

Em especial, dedico um forte agradecimento aos meus avós que já não estão conosco, Norberto e Mathias. Obrigado por todos os aprendizados.

Foi um longo caminho até chegar aqui, e ele não seria possível sem cada um de vocês. Muito obrigado!

RESUMO

Diante da crescente busca por alternativas construtivas que aliem durabilidade, eficiência energética e desempenho técnico superior, o presente trabalho se debruça sobre a análise de fachadas ventiladas. Este sistema, apesar de suas vantagens técnicas, ainda possui aplicação limitada no Brasil, situação agravada pela ausência de normativas técnicas específicas. A justificativa para este estudo reside na necessidade de validar o comportamento dessa tecnologia frente às patologias recorrentes em revestimentos aderidos e mitigar a insegurança técnica no setor. O objetivo geral consistiu em analisar a concepção, a execução e o desempenho de um sistema de fachada ventilada em um edifício residencial de alto padrão em Porto Alegre, visando consolidar diretrizes e boas práticas construtivas. Para alcançar tal propósito, a metodologia adotada teve natureza qualitativa e quantitativa, combinando a análise documental do projeto executivo do Sistema PO10 com o acompanhamento presencial de todas as etapas de instalação na obra, desde o tratamento do substrato até a fixação final das peças. A validação experimental in loco foi conduzida através da realização de ensaios fundamentais para o desempenho do sistema. Inicialmente, executou-se a verificação da impermeabilidade do substrato utilizando o Método do Cachimbo (RILEM/CSTC) e buscou-se verificar a permeabilidade à água do sistema completo (SVVIE) pelo método da caixa, conforme preconiza a ABNT NBR 15575-4:2021. De forma complementar, foram realizados testes de arrancamento de ancoragens químicas e mecânicas seguindo as diretrizes da ABNT NBR 14827:2002 para aferir a capacidade de carga das fixações, além de ensaios de resistência a impacto de corpo duro para validar a segurança do revestimento contra impactos mecânicos. Os resultados obtidos demonstraram, em um primeiro momento, falhas na estanqueidade do substrato que decorriam da aplicação do impermeabilizante sobre a base ainda úmida. Após a correção do procedimento e o monitoramento rigoroso da secagem, o sistema atendeu plenamente aos critérios de eficácia pelo Método do Cachimbo, ao passo que o método da caixa se mostrou inconclusivo devido a dificuldades executivas. Nos testes de fixação, observou-se uma disparidade onde os chumbadores mecânicos tiveram excelente desempenho, mas os químicos falharam inicialmente na alvenaria úmida. Essa investigação levou à substituição por um produto específico para condições de umidade, que então atendeu às cargas de projeto. Quanto aos impactos de corpo duro, o revestimento comprovou sua robustez ao resistir às energias aplicadas sem apresentar ruptura ou traspassamento, sofrendo apenas danos superficiais. Como reflexão final, conclui-se que o sucesso da fachada ventilada está intrinsecamente atrelado a um rigoroso controle de qualidade em todas as fases executivas. A investigação demonstrou que a simples especificação de materiais de alta performance é

insuficiente se não for acompanhada da validação de seu comportamento em condições reais por meio de ensaios de campo, garantindo assim a segurança, a estanqueidade e a durabilidade efetiva da edificação.

Palavras-chave: Fachadas ventiladas. Estanqueidade. Sistemas de ancoragem. Edifício Residencial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de fachada aderida	20
Figura 2 - Sistema de fachada não aderida	21
Figura 3 – Fatores de degradação atuantes sobre fachadas	22
Figura 4 – Fachada do Aeroporto de Porto Alegre antes da execução da fachada ventilada ...	24
Figura 5 – Execução do sistema de fachada não aderida	25
Figura 6 – Fachada não aderida finalizada	25
Figura 7 – Fachada cortina	27
Figura 8 – Fachada cortina com sistema stick	28
Figura 9 – Fachada cortina com sistema unitizado	29
Figura 10 – Fachada ventilada com placas rejuntadas	30
Figura 11 – Fachadas ventiladas rejuntadas adaptadas quanto ao clima	31
Figura 12 – Fachada ventilada com placas isoladas	32
Figura 13 – Acoplamento da câmara de ensaio à parede	34
Figura 14 – Detalhes construtivos para garantia da estanqueidade em fachadas	36
Figura 15 – Ensaio de impacto de corpo mole	38
Figura 16 – Ensaio de impacto de corpo duro	40
Figura 17 – Determinação do desempenho acústico de fachadas	42
Figura 18 – Configuração típica para ensaio de tração em chumbadores	48
Figura 19 – Configuração típica para ensaio de cisalhamento em chumbadores	49
Figura 20 - Modelo de compartimentação em fachada envidraçada	52
Figura 21 – Grenfell Tower: antes e depois	53
Figura 22 - Incêndio no edifício Address Downtown	54
Figura 23 – Método do cachimbo (RILEM)	55
Figura 24 – Método do cachimbo (CSTC)	55
Figura 25 – Corte explicativo do sistema de fachada ventilada	57
Figura 26 – Isolamento térmico em poliuretano projetado aplicado em fachada	62
Figura 27 – Isolamento térmico em poliestireno extrudido aplicado em fachada	63
Figura 28 – Processo de instalação da lã de rocha em uma fachada ventilada	66
Figura 29 – Ventilação na caixa-de-ar em fachada ventilada pelo efeito chaminé	67
Figura 30 – Ventilação natural em edifícios	69
Figura 31 - Ventilação mecânica com recuperação de calor	70
Figura 32 – Exemplo de processo de aplicação de chumbadores químicos	73

Figura 33 – Sistema de fixação por grampos visíveis	76
Figura 34 – Sistema de fixação por cavilhas	77
Figura 35 – Sistema de fixação por discos	77
Figura 36 – Ancoragem no tardo por pernos ajustáveis	78
Figura 37 – Ancoragem no tardo por sistema de suspensão.....	78
Figura 38 – Ancoragem no tardo por sistema de aperto	79
Figura 39 – Ancoragem no tardo por ganchos.....	79
Figura 40 – Ripado de madeira fixada por parafusos ou rebites	80
Figura 41 – Ancoragem linear	81
Figura 42 – Sistema de encaixe do tipo cassette	82
Figura 43 – Sistema de encaixe de lâminas na vertical	83
Figura 44 – Lâminas simples fixadas por encaixe.....	84
Figura 45 – Aerodinâmicas fixas e móveis	85
Figura 46 – Tipologia das juntas	86
Figura 47 – Forças que produzem penetração da chuva.....	87
Figura 48 – Penetração da água pelo efeito gravidade	87
Figura 49 – Penetração da água pelo efeito da quantidade de movimento.....	88
Figura 50 – Penetração da água pelo efeito da tensão superficial	89
Figura 51 – Penetração da água pelo efeito da capilaridade.....	89
Figura 52 – Controle de penetração da água pelo efeito da ação do vento	90
Figura 53 - Aplicação do sistema Ventirock Duo	98
Figura 54 – Aplicação do sistema Ultravent Nano	99
Figura 55 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho.....	102
Figura 56 – Localização do Ed. Attimo.....	103
Figura 57 – Fachada do Ed. Attimo.....	103
Figura 58 – Sistema PO10 - Porcelanato + 10mm (sistema oculto).....	109
Figura 59 - Porcelanatos utilizados em obra	110
Figura 60 – Exemplo de paginação	111
Figura 61 - Detalhamento técnico de fixação das cantoneiras	112
Figura 62 – Exemplo de disposição dos perfis	113
Figura 63 - Legenda de cortes dos perfis.....	113
Figura 64 - Vista geral do arremate do forro da esquadria de alumínio	115
Figura 65 – Arremate do forro da esquadria de alumínio.....	115
Figura 66 - Vista geral do arremate lateral da esquadria de alumínio	116

Figura 67 - Arremate lateral da esquadria de alumínio	117
Figura 68 - Vista geral do arremate do peitoril das esquadrias de alumínio	118
Figura 69 - Arremate do peitoril das esquadrias de alumínio.....	119
Figura 70 - Vista geral do canto interno em ângulo de 90°	120
Figura 71 – Canto interno em ângulo de 90°	120
Figura 72 - Vista geral do canto externo em ângulo de 90°.....	121
Figura 73 – Canto externo em ângulo de 90°	122
Figura 74 - Vista geral do canto externo em ângulo de 45°.....	123
Figura 75 - Canto externo em ângulo de 45°	123
Figura 76 - Vista geral do arremate vigas da sacada	124
Figura 77 - Orientativo arremate vigas da sacada	125
Figura 78 – Arremate superior das vigas da sacada (marcação em vermelho da Figura 76) .	126
Figura 79 - Arremate inferior das vigas da sacada (marcação em azul da Figura 76)	126
Figura 80 – Visão geral do arremate do forro de sacadas	128
Figura 81 - Orientativo forro de sacadas	129
Figura 82 – Troca de direção externa da sacada (marcação em azul da Figura 80).....	129
Figura 83 - Troca de direção dentro da sacada (marcação em vermelho na Figura 80).....	130
Figura 84 - Disposição da Fachada ventilada.....	132
Figura 85 - Antes e depois do tratamento de regularização do substrato	133
Figura 87 - Aplicação do produto Nano Gray	134
Figura 89 - Aplicação do produto no contramarco.....	135
Figura 90 - Fixação do chumbador químico.....	136
Figura 91 – Furo (esquerda) e fixação (direita) do chumbador mecânico.....	136
Figura 92 - Perfis metálicos fixados na obra	137
Figura 93 - Peças cerâmicas com defeito de fábrica	138
Figura 94 - Lixação das peças com defeito	139
Figura 95 - Ranhuras para encaixe dos dispositivos de fixação metálicos.....	139
Figura 97 - Aplicação da dupla primarização.....	140
Figura 98 - Aplicação da fita dupla face após a primarização do perfil de alumínio	141
Figura 99 - Encaixe e fixação dos inserts metálicos.....	142
Figura 100 - Ensaio do dia 17/06/2025	143
Figura 101 - Ensaio do dia 07/07/2025	144
Figura 102 - Ensaio do dia 16/07/2025	145
Figura 103 - Controlador de umidade.....	146

Figura 104 - Ensaio do dia 30/07/2025	147
Figura 105 - Ensaio do dia 17/06/2025	149
Figura 106 - Ensaio do dia 25/06/2025	152
Figura 107 - Estrutura para ensaio de impacto de corpo duro	154
Figura 108 – Placa cerâmica após ensaio de impacto de corpo duro com energia de 2,5J	155
Figura 109 - Placa cerâmica após ensaio de impacto de corpo duro com energia de 10J	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipologias de estruturas secundárias de fixação	72
Quadro 2 – Controle de penetração da água pelo efeito da ação do vento	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério e nível de desempenho mínimo de isolamento a ruído aéreo de vedações externas (dormitórios).....	43
Tabela 2 – Classes de eficácia para o teste do cachimbo	57
Tabela 3 - Grau de confiabilidade do substrato como base de ancoragens para sistema de revestimento não aderido.....	59
Tabela 4 - Comparativo de características dos isolantes térmicos	61
Tabela 5 – Prazo de garantia para vedações verticais externas	101
Tabela 6 – Resultados dos ensaios do dia 17/06/2025	143
Tabela 7 - Resultados dos ensaios do cachimbo do dia 07/07/2025	145
Tabela 8 - Resultados dos ensaios do cachimbo do dia 16/07/2025	146
Tabela 9 - Resultados dos ensaios do cachimbo do dia 30/07/2025	147
Tabela 10 - Resultados dos ensaios do dia 17/06/2025	150
Tabela 11 - Resultados dos ensaios do dia 25/06/2025	152
Tabela 12 – Resultados do ensaio de impacto de corpo duro com energia de 2,5J.....	155
Tabela 13 - Resultados do ensaio de impacto de corpo duro com energia de 10J	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BIM - Building Information Modeling

CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction

EPS - Poliestireno expandido

IT - Instrução Técnica

NBR - Norma Brasileira

NIT - Nota de Informação Técnica

PUR - Poliuretano projetado

RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions

SVVIE - Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas

TRRF - Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo

VUP - Vida útil de projeto

XPS - Poliestireno extrudido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Área de pesquisa.....	17
1.2. Limitação da pesquisa	17
1.3. Objetivo geral e específicos.....	17
1.3.1. Objetivo Geral	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificativa.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1. Introdução as fachadas.....	19
2.2. Fachadas aderidas na construção civil atualmente	22
2.3. Fachadas não aderidas na construção civil atualmente	23
2.4. Tipos de fachadas não aderidas	26
2.4.1. Fachada cortina.....	26
2.4.2. Fachada ventilada	29
2.5. Normas técnicas aplicáveis em fachadas.....	33
2.5.1. Norma de desempenho	33
2.5.1.1. Estanqueidade à água.....	33
2.5.1.2. Resistência mecânica a impactos.....	36
2.5.1.3. Isolamento térmico	40
2.5.1.4. Desempenho acústico	41
2.5.1.5. Durabilidade e manutenibilidade.....	44
2.5.1.6. Segurança estrutural	46
2.5.2. Determinação de resistência a tração e cisalhamento de chumbadores.....	47
2.5.3. Instruções técnicas do corpo de bombeiros	50
2.5.4. NIT n° 224:2002 e RILEM Test Method n° II.4	54
2.6. Descrição do sistema	57

2.6.1.	Base suporte de fixação (substrato).....	58
2.6.2.	Isolante térmico	60
2.6.2.1.	Poliuretano projetado (PUR)	61
2.6.2.2.	Poliestireno extrudido (XPS).....	62
2.6.2.3.	Poliestireno expandido (EPS).....	64
2.6.2.4.	Lã de vidro	64
2.6.2.5.	Lã de rocha	65
2.6.3.	Câmara-de-ar	66
2.6.3.1.	Ventilação natural.....	67
2.6.3.2.	Ventilação mecânica.....	69
2.6.4.	Diferenciação de sistemas de fixação	71
2.6.5.	Classificação dos sistemas de fixação	72
2.6.5.1.	Dispositivos de fixação por adesão química.....	72
2.6.5.2.	Dispositivos de fixação mecânica.....	74
2.6.5.2.1.	Fixação pontual.....	74
2.6.5.2.2.	Fixação linear	80
2.6.5.2.3.	Fixação por encaixe	81
2.6.5.2.4.	Sistemas móveis	83
2.6.6.	Juntas entre elementos de revestimento.....	85
2.6.7.	Revestimento exterior.....	90
2.6.7.1.	Cerâmico.....	91
2.6.7.2.	Fenólico	92
2.6.7.3.	Vidro	93
2.6.7.4.	Metal	94
2.6.7.5.	Naturocimento	94
2.6.7.6.	Concreto.....	95
2.6.7.7.	Rocha Natural	95

2.6.7.8.	Caracterização do revestimento porcelanato	96
2.6.7.8.1.	Porcelanatos de fina espessura	96
2.6.8.	Impermeabilização do substrato	97
2.6.9.	Considerações de Manutenção e Acessibilidade	99
3.	METODOLOGIA.....	102
3.1.	Caracterização da pesquisa	102
3.2.	Apresentação do estudo de caso	102
3.2.1.	Análise de Projeto.....	104
3.2.2.	Acompanhamento da Execução em Campo	104
3.3.	Ensaio realizados <i>in loco</i>	105
3.3.1.	Análise da impermeabilidade do substrato	105
3.3.1.1.	Método do Cachimbo	105
3.3.2.	Ensaio de verificação de permeabilidade à água de SVVIE	106
3.3.3.	Teste de arrancamento de chumbadores químicos e mecânicos.....	107
3.3.4.	Teste de impacto de corpo duro em SVVIE	108
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	109
4.1.	Análise do projeto da fachada ventilada.....	109
4.1.1.	Tipologia do sistema.....	109
4.1.2.	Especificação dos componentes	110
4.1.3.	Soluções para pontos críticos	114
4.1.3.1.	Encontro com vãos de esquadrias.....	114
4.1.3.2.	Arremates.....	119
4.2.	Acompanhamento da execução da fachada ventilada	131
4.3.	Atividades preliminares	132
4.4.	Impermeabilização do substrato	133
4.5.	Fixação da estrutura metálica	135
4.6.	Preparação e fixação das peças cerâmicas.....	137

4.6.1.	Inspeção e Preparação das Placas	137
4.6.2.	Processo de fixação do revestimento	140
4.7.	Análise da impermeabilização do substrato	142
4.8.	Teste de arrancamento	148
4.9.	Ensaio de Impacto de corpo curo em SVVIE	153
5.	CONCLUSÕES	158
	REFERÊNCIAS	160

1. INTRODUÇÃO

1.1. Área de pesquisa

A presente pesquisa desenvolve-se na área de construção civil, em um estudo de sistemas de fachadas ventiladas não aderidas. A investigação abrange a análise da concepção, execução e desempenho técnico destes sistemas.

1.2. Limitação da pesquisa

A pesquisa consiste em um estudo de caso de um edifício em Porto Alegre com fachada ventilada de revestimento porcelânico, conforme ensaios de desempenho.

1.3. Objetivo geral e específicos

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar a concepção e a execução de um sistema de fachada ventilada em uma edificação residencial e avaliar seu desempenho por meio de ensaios normatizados e testes de campo, visando à consolidação de diretrizes técnicas e boas práticas construtivas.

1.3.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Examinar os projetos da fachada ventilada do edifício localizado em Porto Alegre, bem como acompanhar as etapas de sua execução;
- Identificar, com base na execução do sistema, as boas práticas construtivas aplicáveis à instalação de fachadas ventiladas;
- Realizar os ensaios previstos na ABNT NBR 15575-4:2021, especificamente os testes de estanqueidade à água e impacto de corpo duro;
- Avaliar a resistência ao arrancamento dos elementos de fixação mecânica e química empregados no sistema em análise.

1.4. Justificativa

A justificativa para este estudo reside na necessidade de explorar alternativas construtivas mais duráveis e eficientes para os revestimentos de fachada. Os sistemas tradicionais, como o reboco aderido, embora amplamente utilizados, demonstram

vulnerabilidade a patologias construtivas recorrentes, como fissuras, trincas e descolamentos, que decorrem de falhas de projeto, execução ou manutenção inadequada. A manutenção constante e os custos de reparo acumulados ao longo do tempo podem se equiparar ou até superar o investimento em sistemas mais modernos, impactando a vida útil e a valorização das edificações.

Neste contexto, a fachada ventilada emerge como uma solução tecnológica inovadora e superior. Seu principal diferencial é a criação de uma câmara de ar entre o revestimento e a parede de suporte, que promove a ventilação contínua por convecção natural, o chamado “efeito chaminé”. Esse mecanismo é fundamental para dissipar o calor absorvido e a umidade acumulada, resultando em ganhos significativos de desempenho térmico, aumento da eficiência energética do edifício e maior durabilidade de todo o sistema.

Apesar de suas vantagens, a aplicação de fachadas ventiladas no Brasil ainda é limitada, em parte pela ausência de uma norma técnica brasileira específica que regule detalhadamente seu projeto e execução. Essa lacuna normativa gera insegurança no setor e dificulta a consolidação de boas práticas construtivas.

Este trabalho propõe-se a mitigar essa carência de informações técnicas ao apresentar um estudo de caso aprofundado. Através do acompanhamento da execução e da realização de ensaios *in loco*, a pesquisa valida o desempenho de componentes críticos. Especificamente, a análise da resistência ao arrancamento das ancoragens e a verificação da eficácia da impermeabilização do substrato fornecem dados quantitativos essenciais para garantir a segurança estrutural e a estanqueidade do conjunto. Ao documentar o processo executivo e seus resultados, o estudo visa consolidar diretrizes técnicas, oferecendo um referencial prático e confiável para projetistas, executores e a comunidade acadêmica, de modo a incentivar a adoção qualificada e segura desta tecnologia no país.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo fundamenta a pesquisa sobre fachadas ventiladas, abordando sua evolução, os métodos construtivos e as normas técnicas aplicáveis de desempenho e segurança contra incêndio. A análise detalha os componentes do sistema, como os tipos de ancoragem e os materiais de revestimento.

2.1. Introdução as fachadas

As fachadas desempenham um papel fundamental na arquitetura e engenharia civil ao funcionar como a interface entre o meio interno e externo das construções. Leão, (2013) aponta que a evolução do conceito de fachada, está totalmente ligada ao avanço cultural e tecnológico ao longo da história da construção civil. Esse avanço tem conexão direta com as melhorias no desempenho em relação a intempéries, a eficiência energética e ao conforto acústico e térmico. Assim, as fachadas deixaram de ser apenas um elemento estético e passaram a contribuir ativamente para o conforto do usuário.

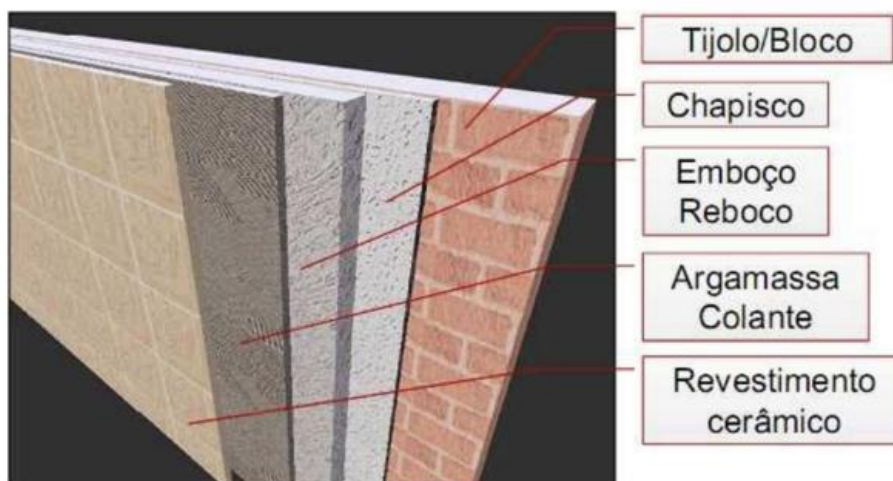
Na antiguidade as fachadas eram construídas com materiais locais, como pedra, madeira e argila. Benevolo (2001) explica que nas construções das civilizações egípcias e da mesopotâmia, era comum a utilização de paredes grossas que proporcionassem maior estabilidade e uma melhor proteção contra as condições climáticas. Já nas edificações da arquitetura grega e romana, Kostof (1995) relata que surgiram as primeiras fachadas que contavam com elementos estéticos. Na época era comum a utilização de colunas e frontões sobre a alvenaria estrutural que servia como base.

Com o surgimento de novos materiais durante a revolução industrial no século XIX, o ferro, aço e vidro, foram essenciais para a dissociação entre a estrutura e os elementos de vedação das edificações. Foi nesse período que surgiram as fachadas aderidas, sistema que é utilizado até hoje, e gerou aumento de produtividade e de possibilidades de design na época, consistindo em um sistema não estrutural aderido diretamente ao edifício (Knaack et al., 2007).

O movimento modernista consolidou o uso de fachadas leves e contínuas por meados do século XX, esse uso se deu especialmente pela adoção grandes áreas envidraçadas nas edificações. Para Frampton (2007), a leveza estrutural e transparência, promovida pelos arquitetos da época, como Le Corbusier e Mies van der Rohe, foram conceitos que contribuíram fortemente para a permanência da estética da arquitetura contemporânea, que valoriza a

utilização de materiais modernos e a sua continuidade. A Figura 1 ilustra um sistema de revestimento de fachada aderida.

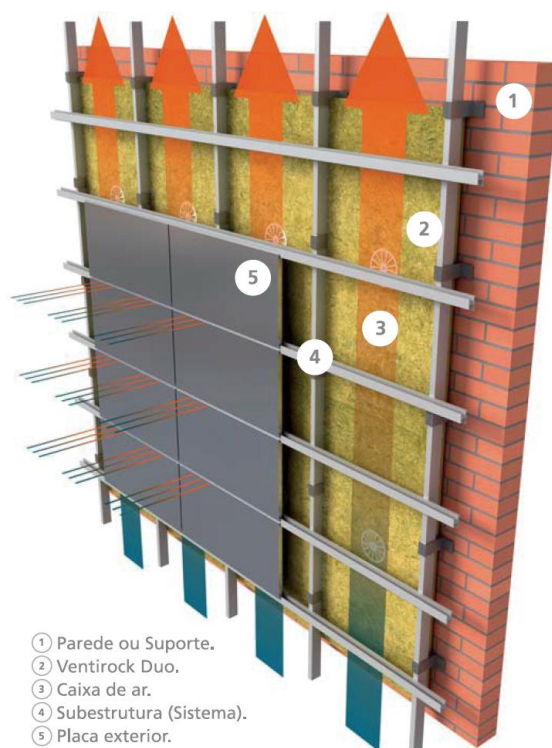
Figura 1 – Sistema de fachada aderida



Fonte: Pereira, 2022

Na busca por maior eficiência energética e sustentabilidade no século XXI, as fachadas não aderidas emergiram como solução inovadora. Esse sistema é composto por uma camada externa (revestimento), uma câmara de ar e um isolamento térmico interno. Ele promove a circulação de ar natural, reduzindo ganhos térmicos indesejados (Mendes, 2009). A Figura 2 ilustra esse sistema em detalhe.

Figura 2 - Sistema de fachada não aderida

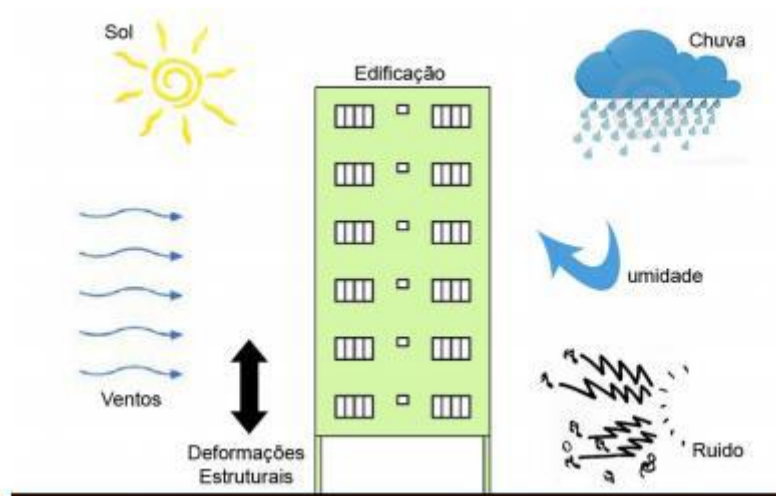


Fonte: Favegrup.

A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) vem se mostrando uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento dessas soluções, permitindo um planejamento mais preciso, simulações de desempenho térmico e acústico, bem como a análise da viabilidade econômica dos sistemas de fachada em diferentes contextos (Carrasco et al., 2023).

O desempenho das fachadas é essencial para garantir o conforto dos usuários da edificação. A escolha do sistema deve considerar fatores climáticos, estéticos e funcionais específicos da região e proposta arquitetônica. As fachadas precisam oferecer segurança, eficiência energética e proteção contra intempéries para garantir a integridade do edifício ao longo do tempo. Além disso, devem atender aos requisitos de conforto térmico e acústico para criar ambientes saudáveis e agradáveis para os ocupantes. A Figura 3 ilustra os fatores de degradação atuantes sobre fachadas em uma edificação.

Figura 3 – Fatores de degradação atuantes sobre fachadas



Fonte: Maciel, 2013

2.2. Fachadas aderidas na construção civil atualmente

A fachada aderida com revestimento de reboco é um sistema tradicionalmente aplicado na construção civil brasileira, sendo bastante comum em projetos de pequeno e médio porte. A técnica envolve a aplicação sucessiva de camadas de argamassa – chapisco, emboço e acabamento – sobre a alvenaria e estrutura de concreto armado.

Apesar de muito utilizado, esse sistema apresenta algumas limitações importantes. Como o processo de execução é na maior parte artesanal, ele demanda mão de obra especializada e pode ser bastante influenciado pelas condições climáticas. O tempo de cura após a aplicação também pode ser um desafio, variando de 7 a 14 dias conforme as características da região. Um estudo realizado por Santos (2023) mostrou que o tempo necessário para executar o reboco pode variar significativamente, indo de 1,38 a 2,27 horas por metro quadrado, dependendo tanto da eficiência das equipes quanto das condições do canteiro de obras.

Do ponto de vista de desempenho, estas fachadas apresentam vulnerabilidade a patologias construtivas, sendo fissuras, trincas e descolamentos os problemas mais recorrentes. Fioriti e Silva (2020), em estudo realizado, observaram que essas manifestações decorrem frequentemente de falhas no projeto, execução ou manutenção inadequada. De forma complementar, Bauer, Souza e Mota (2021) destacam que as fissuras são as patologias mais prevalentes, concentrando-se principalmente nas regiões superiores das edificações.

Manter fachadas revestidas com argamassa em bom estado é um desafio constante, pois elas estão sempre expostas às condições climáticas e ao desgaste natural. Para enfrentar esse problema, Socoloski (2021) desenvolveu indicadores que ajudam a avaliar a gravidade e a urgência de intervenções, usando uma matriz que considera a gravidade dos danos, a urgência da intervenção e a tendência de agravamento. Além disso, Santos (2019) destacou que, com o passar do tempo e a exposição ao clima, a degradação das fachadas se intensifica, reforçando a importância de uma manutenção regular para manter a estrutura segura e conservada.

A manutenção constante dessas fachadas acaba pesando bastante no orçamento ao longo do tempo. Em um período de 10 anos, os custos acumulados podem até se igualar ou superar os de sistemas mais modernos, como as fachadas ventiladas. Embora não haja estudos específicos sobre o impacto no valor residual dos edifícios com revestimento de argamassa, algumas pesquisas indicam que a necessidade frequente de manutenção e o surgimento de problemas estruturais podem prejudicar tanto o desempenho quanto a percepção de valor dessas construções. Socoloski (2021) ressalta que patologias recorrentes aumentam os custos de reparo com o passar dos anos. Da mesma forma, Santos (2019) observa que a degradação contínua compromete a durabilidade e a confiabilidade do sistema.

2.3. Fachadas não aderidas na construção civil atualmente

As fachadas não aderidas têm se tornado cada vez mais presentes na construção civil moderna, especialmente em projetos que buscam aliar conforto térmico, durabilidade e estética diferenciada. Ao contrário das fachadas aderidas, elas contam com uma câmara de ar entre o revestimento externo e a estrutura do edifício, proporcionando ventilação natural e auxiliando na dissipação de calor e umidade.

Outro benefício importante é a durabilidade, especialmente em regiões com clima mais agressivo, já que o revestimento externo não sofre diretamente com os movimentos estruturais nem com a umidade que sobe pela alvenaria. Além disso, a manutenção costuma ser mais prática, pois os componentes ficam acessíveis sem precisar de intervenções que causem grandes danos. Estudos, como o de Maciel (2013), reforçam essas vantagens, destacando a eficiência energética e a durabilidade das fachadas ventiladas em diferentes contextos climáticos brasileiros.

Do ponto de vista estético, esse tipo de fachada se destaca por um visual moderno e modular, valorizando a identidade do edifício e permitindo mais liberdade nos projetos. Alguns

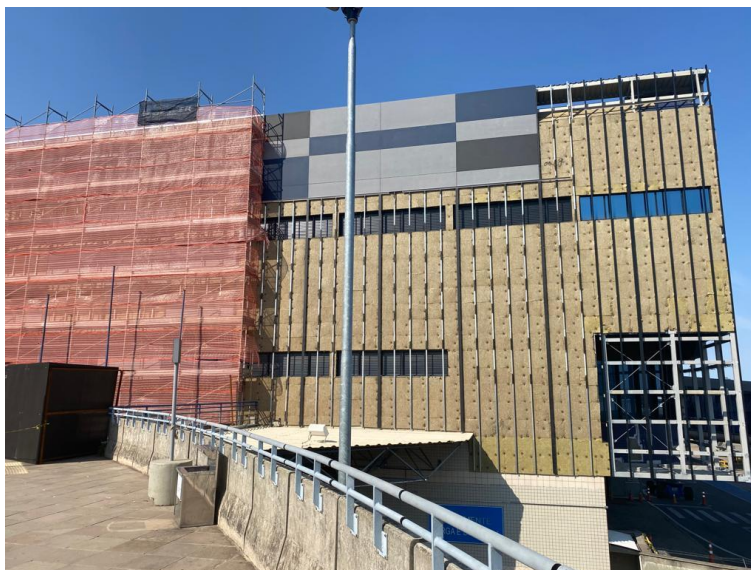
estudos têm mostrado as vantagens desse sistema em diferentes situações. Gindri (2022), por exemplo, analisou o uso de fachadas ventiladas em um hospital de Porto Alegre e destacou sua durabilidade e eficiência térmica, embora tenha apontado a falta de normas específicas como um desafio para sua adoção mais ampla. Souza (2022), ao relatar o *retrofit* do Aeroporto Salgado Filho, também observou ganhos significativos em desempenho térmico e acústico quando comparado a fachadas convencionais. As Figuras 4, 5 e 6 ilustram o edifício antes da instalação do sistema, o processo de execução e o resultado final.

Figura 4 – Fachada do Aeroporto de Porto Alegre antes da execução da fachada ventilada



Fonte: Souza, 2022

Figura 5 – Execução do sistema de fachada não aderida



Fonte: Souza, 2022.

Figura 6 – Fachada não aderida finalizada



Fonte: Souza, 2022

As fachadas ventiladas vêm ganhando espaço na construção civil, especialmente por contribuírem para a eficiência energética das edificações. Um exemplo disso é o estudo de Martini (2019), que analisou a implantação desse sistema na sede da Unisinos, em Porto Alegre. O autor observou que, embora ainda pouco comum no Brasil, a tendência é de crescimento, impulsionada pela busca por conforto ambiental e eficiência energética.

Reuter (2020) também explorou o tema, analisando o uso da fachada ventilada em um prédio residencial, onde destacou vantagens como agilidade na execução, manutenção mais simples e bom desempenho quanto à estanqueidade, desde que sejam seguidas as práticas adequadas de impermeabilização do substrato.

Em outro estudo, Santos Filho et al. (2017) compararam fachadas ventiladas com sistemas de porcelanato aderido em um edifício habitacional em Brasília. Ambos apresentaram bom desempenho térmico e resistência à umidade, mas o isolamento acústico se mostrou diretamente ligado à qualidade das esquadrias. Isso reforça a importância de compatibilizar os diferentes elementos da fachada para garantir um bom desempenho geral.

Entre as opções de fachadas não aderidas, as mais comuns são as fachadas ventiladas, que contam com uma câmara de ar que melhora a ventilação e o conforto térmico, e as fachadas cortina, que utilizam painéis presos a uma estrutura independente, também criando uma câmara de ar interna.

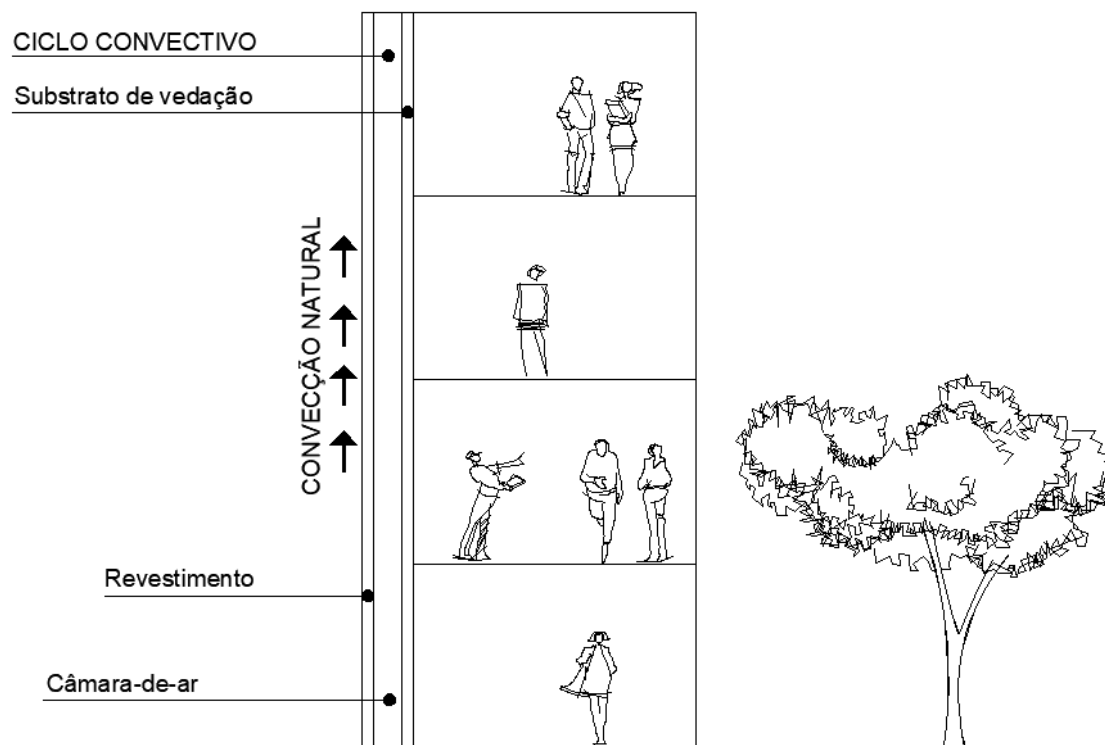
2.4. Tipos de fachadas não aderidas

2.4.1. Fachada cortina

As fachadas do tipo cortina são revestimentos não estruturais amplamente utilizados em edifícios comerciais e residenciais de grande porte. Elas funcionam como uma parede que não suporta cargas, sendo fixadas na estrutura externa do edifício. Essa configuração permite que o desenho da fachada seja independente da estrutura principal, oferecendo flexibilidade arquitetônica e estética (KOSTOF, 1995).

A origem desse sistema remonta ao final do século XIX, tendo o Home Insurance Building, em Chicago, como um dos primeiros exemplos notáveis, embora ainda não represente o conceito moderno de fachada cortina (ALLEN, 1990). Além disso, esse tipo de revestimento apresenta características térmicas particulares, com convecção natural ocorrendo na parte externa da fachada e um ciclo interno sem troca de ar, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Fachada cortina



Fonte: Reuter, 2020.

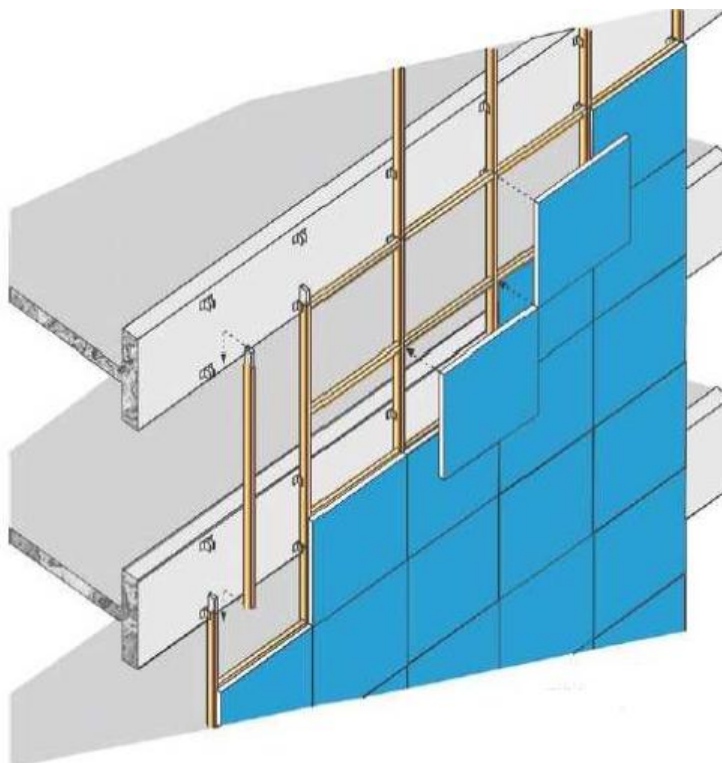
O desempenho das fachadas cortina está diretamente ligado à sua capacidade de oferecer isolamento térmico e acústico, além de permitir a entrada de luz natural de forma eficiente. A estrutura metálica que sustenta os painéis de vidro possibilita uma boa transmissão de luz, enquanto os materiais utilizados contribuem para reduzir as perdas térmicas e minimizar o impacto de ruídos externos (POTIGUARA, 2017). Esses revestimentos são projetados para serem duráveis e de fácil manutenção, contando com estruturas metálicas resistentes à corrosão e ao desgaste, prolongando a sua vida útil (ARRUDA, 2010).

Outro ponto positivo é a construção com uma caixa de ar, que impede a entrada de umidade, garantindo uma vedação eficaz. Segundo a o item 2.1.4 da norma brasileira ABNT NBR 10821-1:2017, esse sistema é descrito como "esquadrias interligadas e estruturadas, com função de vedação, que formam um sistema contínuo desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou largura da edificação, sem interrupção por pelo menos dois pavimentos".

Do ponto de vista construtivo, essas fachadas são compostas por uma base metálica que sustenta os painéis de vidro ou outros materiais. Atualmente, existem dois sistemas de montagem, sendo o mais tradicional o método *stick*, que envolve a montagem no próprio local

da obra. Ele utiliza colunas verticais (montantes) e travessas horizontais instaladas em frente às lajes para suportar a pressão do vento e garantir a vedação. As peças são montadas uma a uma, permitindo ajustes durante o processo, o que garante flexibilidade durante a execução (POTIGUARA, 2017). A Figura 8 ilustra esse método.

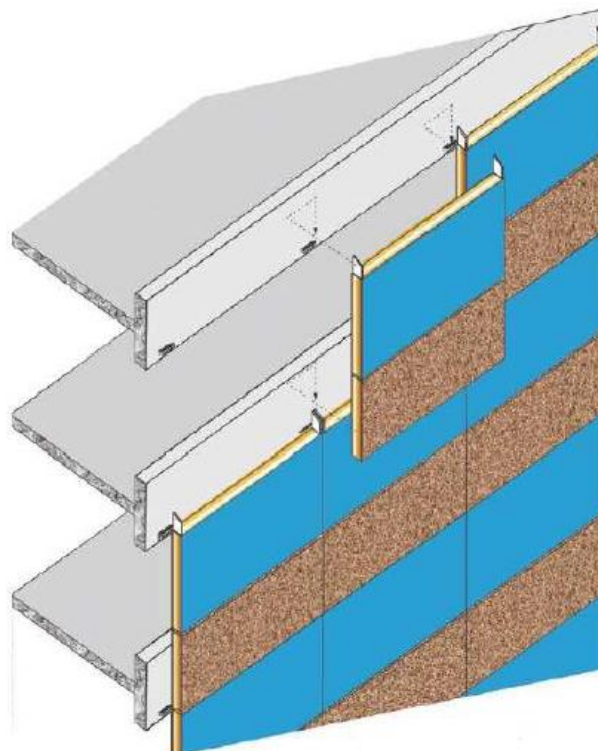
Figura 8 – Fachada cortina com sistema stick



Fonte: Santos, 2005

O segundo método, menos comum, é o sistema unitizado, possuindo uma montagem mais rápida e eficiente. Nele, a fachada é dividida em módulos pré-fabricados enviados à obra já montados com todos os elementos de vedação e fechamento. A Figura 9 ilustra a instalação desses módulos pré-fabricados.

Figura 9 – Fachada cortina com sistema unitizado



Fonte: Santos, 2005

Esse tipo de revestimento apresenta diversas vantagens, como um visual moderno, boa entrada de luz natural e flexibilidade no projeto arquitetônico. Por outro lado, também enfrenta alguns desafios, especialmente no que diz respeito à prevenção de infiltrações e à escolha de materiais de alta qualidade para garantir durabilidade (POTIGUARA, 2017). Existem variações desse sistema, como o modelo convencional, que utiliza estruturas de alumínio aparentes para sustentar os painéis de vidro. A pele de vidro elimina as saliências causadas pelas capas de alumínio, proporcionando uma aparência mais lisa (ARRUDA, 2010). E também o *structural glazing*, sistema que permite colar os vidros diretamente na estrutura metálica, sem perfis visíveis, resultando em um visual mais limpo e moderno.

O tipo *grid* é outra variação importante de ser citada, pois maximiza a entrada de luz natural, proporciona isolamento acústico e térmico e cria uma sensação de espaço aberto nos ambientes internos.

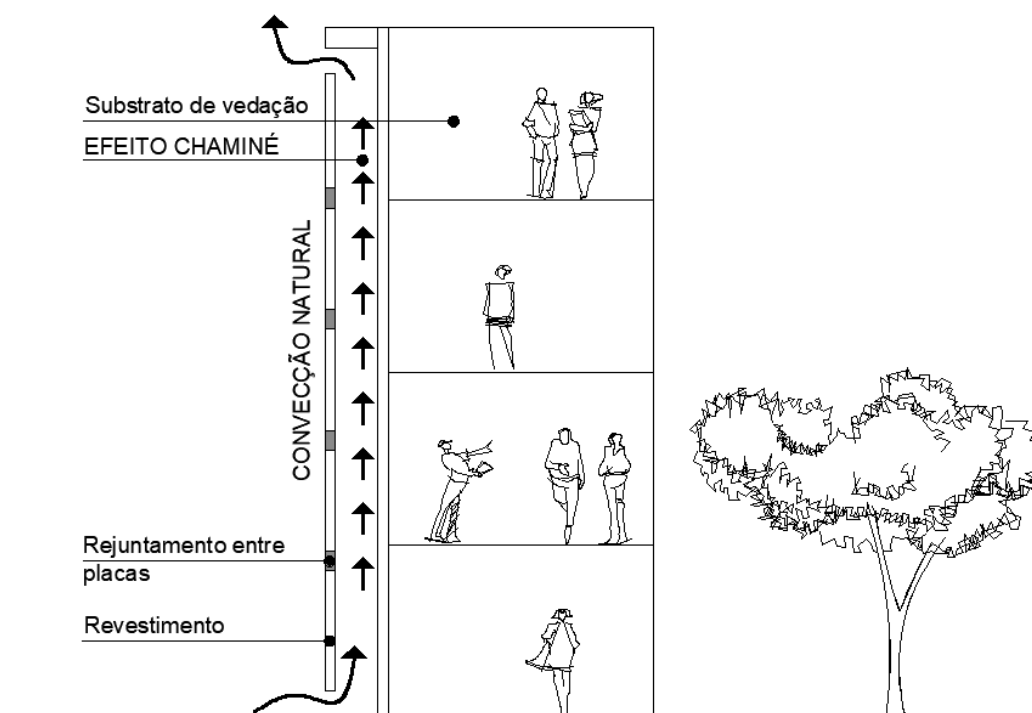
2.4.2. Fachada ventilada

A fachada ventilada é consiste em um sistema não aderido amplamente utilizado na arquitetura contemporânea por proporcionar desempenho térmico elevado, eficiência

energética e proteção contra agentes externos, além de conferir modernidade estética às edificações. Sua principal característica técnica é a existência de uma câmara de ar entre o revestimento externo e a parede de suporte, permitindo a circulação contínua de ar por convecção natural, fenômeno conhecido como “efeito chaminé”. Esse fluxo de ar auxilia na dissipação do calor absorvido pelo revestimento externo, reduzindo a carga térmica transmitida ao interior da edificação e, conseqüentemente, contribuindo para a redução do consumo de energia com climatização. Além disso, a movimentação do ar favorece a secagem de umidade acumulada, o que melhora o desempenho durável do sistema ao longo do tempo.

Dentre os principais sistemas de fachadas ventiladas, destacam-se os tipos com placas rejuntadas e com placas isoladas. A fachada ventilada com placas rejuntadas é composta por grandes painéis com rejuntas visíveis entre as placas, formando um conjunto sólido. Nessa configuração, as aberturas ocorrem apenas nas extremidades superior e inferior da fachada, possibilitando a ventilação da cavidade interna de forma parcial e direcionada, como é ilustrado na Figura 10. Segundo Ribeiro (2010), essa solução é caracterizada pelo afastamento entre o suporte estrutural e o revestimento, formando uma caixa de ar que viabiliza a convecção natural, ainda que de forma mais limitada.

Figura 10 – Fachada ventilada com placas rejuntadas

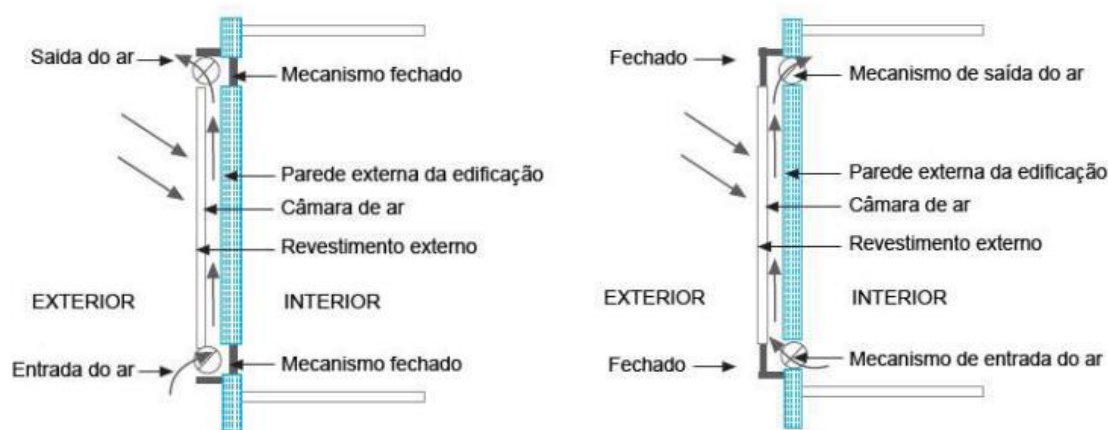


Fonte: Reuter, 2020.

Essa configuração, embora eficaz em muitos contextos, pode exigir adaptações adicionais conforme as condições climáticas da região onde será implantada. Nesse sentido, destaca-se que o sistema de fachada ventilada pode ser executado tanto externamente quanto internamente, dependendo das exigências ambientais e do desempenho desejado. A flexibilidade de aplicação permite ajustes que aumentam sua eficácia, especialmente em regiões com grande variação térmica ou incidência de chuvas intensas.

Essas adaptações são viabilizadas por meio da inserção de dispositivos de abertura e fechamento nos pontos de entrada e saída de ar da câmara ventilada, permitindo um controle mais preciso sobre o fluxo de ar e, conseqüentemente, sobre o comportamento térmico e hidrotérmico da fachada, como é apresentado na Figura 11.

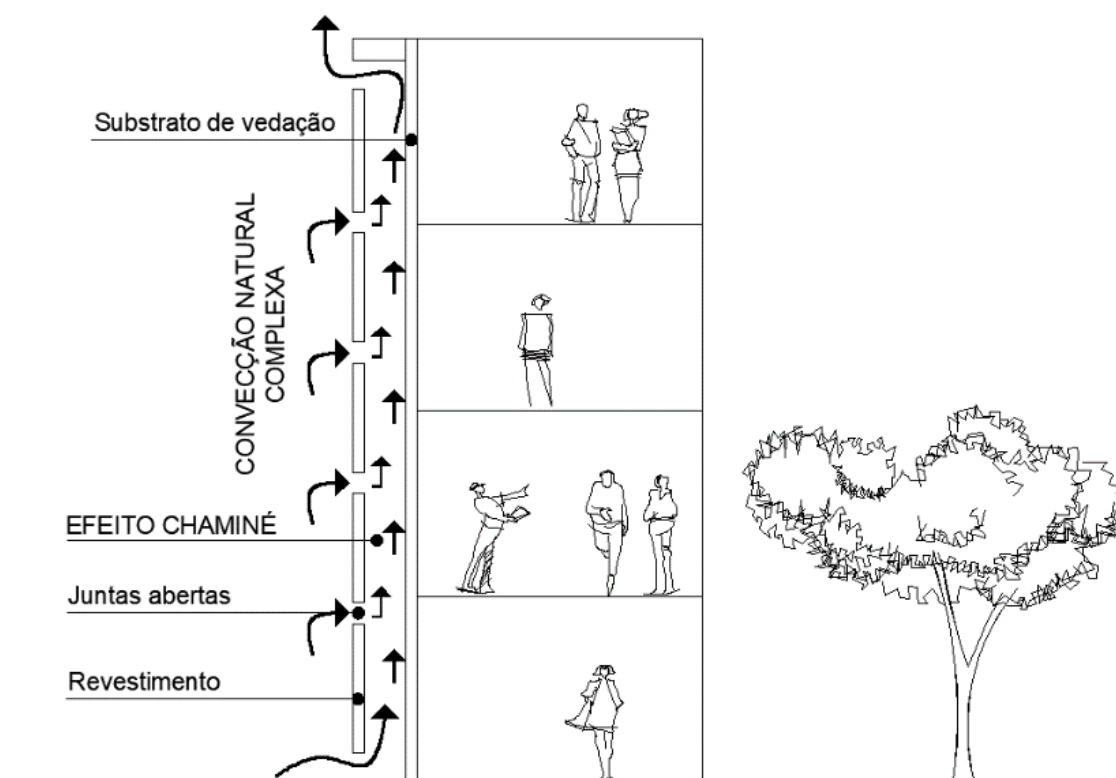
Figura 11 – Fachadas ventiladas rejuntadas adaptadas quanto ao clima



Fonte: Maciel, 2013.

Por outro lado, a fachada ventilada com placas isoladas adota painéis independentes fixados a uma subestrutura, geralmente metálica, com espaçamento entre si e sem preenchimento com rejuntas, permitindo ventilação contínua ao longo de toda a superfície do sistema, como exemplificado na Figura 12. De acordo com Sahade (2017), essa tipologia é composta por múltiplas camadas de revestimento que criam uma ventilação interposta em seu interior. A principal diferença entre os dois sistemas está no grau de ventilação, enquanto as placas rejuntadas possibilitam apenas uma ventilação parcial, as placas isoladas favorecem uma convecção natural completa, resultando em uma fachada totalmente ventilada.

Figura 12 – Fachada ventilada com placas isoladas



Fonte: Reuter, 2020.

É importante ressaltar que o sistema com placas isoladas e juntas abertas não é recomendado para regiões com condições climáticas extremas, uma vez que esse tipo de solução oferece menor proteção contra a ação da chuva. A escolha do sistema mais adequado deve considerar não apenas o desempenho térmico e estético desejado, mas também os fatores relacionados à estanqueidade, manutenção e segurança (Direito, 2011).

Conforme descrito por Siqueira Junior (2003), o sistema de fachada ventilada, quando corretamente segmentado entre os pavimentos, atua como uma barreira de compartimentação vertical, dificultando a propagação de fogo e fumaça pela cavidade ventilada em situações de incêndio. Essa estratégia é fundamental para conter o chamado “efeito chaminé”, em que o ar quente ascende rapidamente pela câmara de ventilação, facilitando a propagação vertical das chamas em edifícios de múltiplos andares. As Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS), especialmente a IT 09 – Compartimentação horizontal e vertical e a IT 10 – Propagação de incêndio pela fachada, reforçam a obrigatoriedade de elementos de proteção horizontal no interior da cavidade ventilada, com materiais

incombustíveis e devidamente ancorados à estrutura, a fim de garantir a eficiência das barreiras corta-fogo.

Mesmo com todos os benefícios técnicos, ainda não existe uma norma brasileira específica que regule detalhadamente os sistemas de fachadas ventiladas. No entanto, a ABNT NBR 15575-4:2021, que trata do desempenho de sistemas de vedações verticais externas, já oferece parâmetros de avaliação importantes quanto a requisitos como isolamento térmico, estanqueidade, durabilidade e segurança estrutural, servindo como base para análise e especificação desses sistemas no contexto da construção civil nacional.

2.5. Normas técnicas aplicáveis em fachadas

2.5.1. Norma de desempenho

A norma ABNT NBR 15575-4:2021, parte integrante do conjunto normativo sobre o desempenho de edificações habitacionais, trata dos requisitos e critérios de desempenho para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE). Embora não aborde diretamente o sistema de fachada ventilada como uma tipologia isolada, os critérios estabelecidos se aplicam integralmente a qualquer solução que atue como vedação vertical externa, incluindo, portanto, as fachadas ventiladas. Os requisitos de desempenho são divididos entre categorias funcionais, de segurança e de habitabilidade, cada uma com critérios mínimos a serem atendidos ao longo da vida útil da edificação. Entre os requisitos mais relevantes para fachadas ventiladas estão a estanqueidade à água, resistência mecânica a impactos, isolamento térmico, desempenho acústico, durabilidade, manutenibilidade e segurança estrutural.

2.5.1.1. Estanqueidade à água

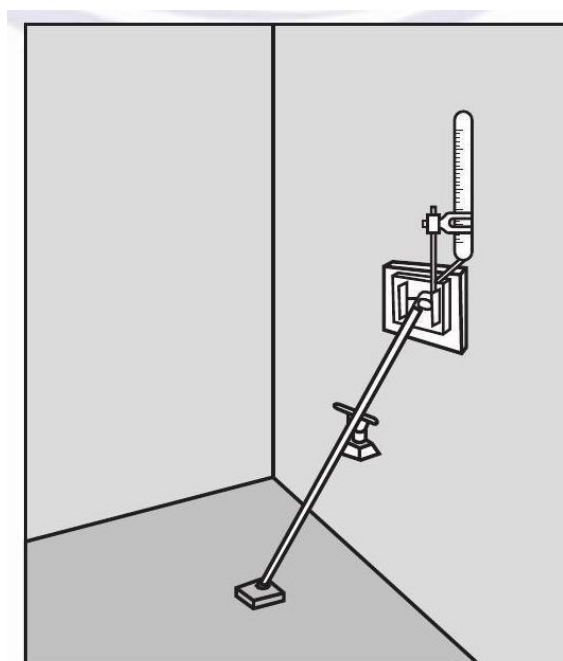
A estanqueidade à água é um requisito fundamental para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE), e a ABNT NBR 15575-4:2021 estabelece critérios detalhados para sua avaliação. A norma diferencia a avaliação da estanqueidade das fachadas sob ação de chuva e vento da verificação de permeabilidade em vedações de áreas molhadas.

Para as condições de exposição à água de chuva com ação de ventos, o item 10.1.1 da norma determina que os SVVIE, incluindo a interface parede-janela, devem ser estanques. A avaliação da estanqueidade considera as condições de exposição ao vento, detalhadas na figura 1 da ABNT NBR 15575-4:2021, e as pressões de ensaio correspondentes, especificadas na Tabela 11 da mesma norma. Sob essas condições, não devem ocorrer infiltrações que resultem

em borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água na face interna da vedação. Contudo, a norma, por meio da tabela 12, admite a possibilidade de pequenas manchas de umidade na face interna. Esta tabela estabelece que, após 7 horas de ensaio, o percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água (em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão) deve ser de 10% para edificações térreas e de 5% para edificações com mais de um pavimento. Para esquadrias, a norma determina que devem atender aos requisitos da ABNT NBR 10821-2:2023.

Adicionalmente, para vedações verticais em contato com áreas molhadas ou molháveis, o item 10.2 da ABNT NBR 15575-4:2021 estabelece um critério de desempenho rigoroso: o volume máximo de água permitido que atravesse a vedação é de 3 cm³ em um período de 24 horas. A verificação do atendimento a este requisito específico pode ser realizada por meio de análise de projeto ou por ensaios laboratoriais, conforme metodologia descrita no anexo D da própria norma. Esse anexo detalha o procedimento padronizado para a verificação da permeabilidade à água dos SVVIE, utilizando uma câmara de ensaio com dimensões internas de 16 cm x 34 cm, que deve ser firmemente acoplada à parede em teste e selada para impedir vazamentos, como exemplificado na Figura 13. O princípio do ensaio consiste em manter uma pressão constante de água na câmara, utilizando uma bureta graduada, cujo nível deve permanecer estável durante o experimento.

Figura 13 – Acoplamento da câmara de ensaio à parede



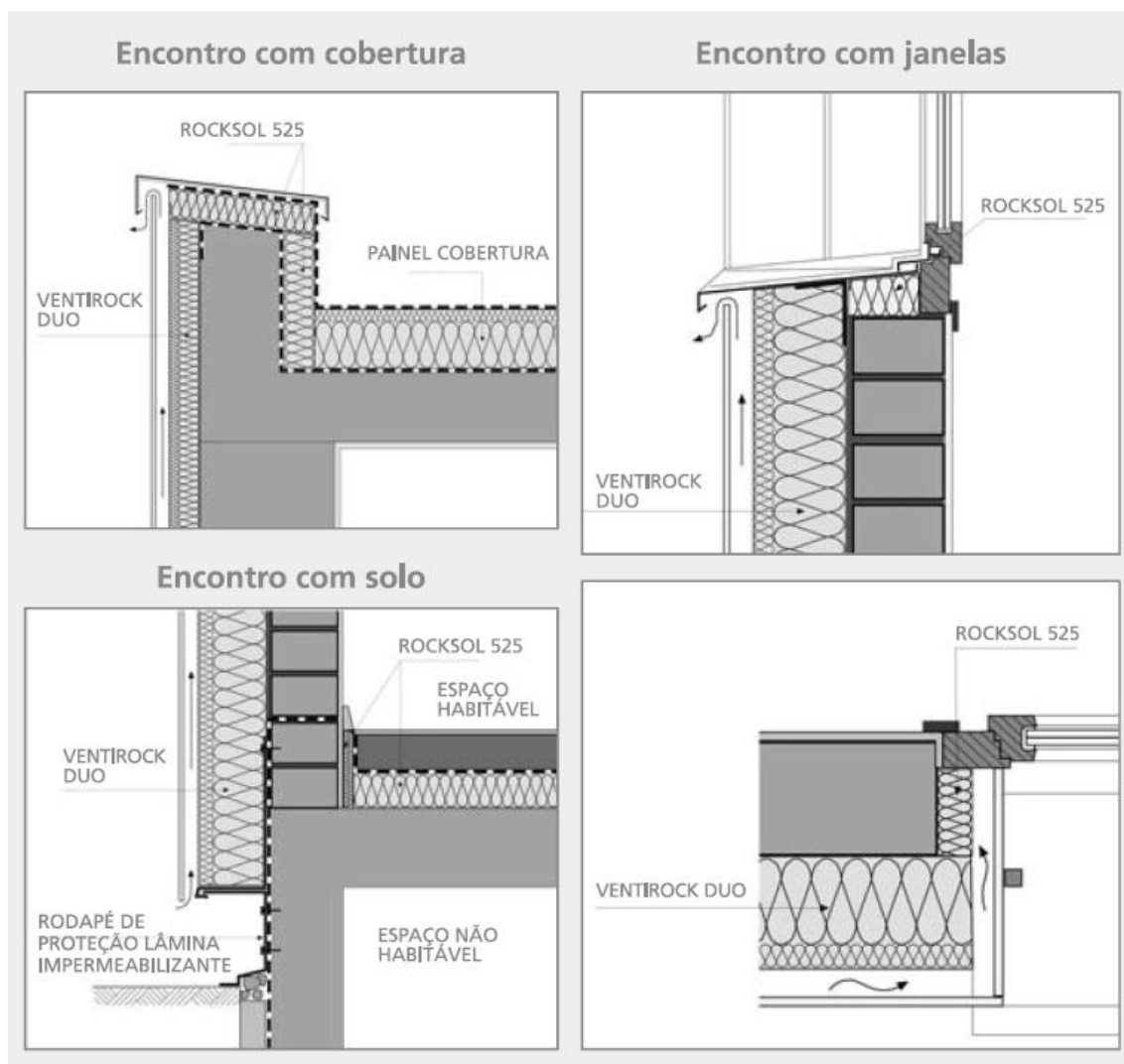
Fonte: ABNT NBR 15575-4:2021

O procedimento prevê a medição do volume de água infiltrado em diferentes intervalos de tempo: 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas e 24 horas. Os resultados devem ser expressos com base no volume total de água que atravessou a vedação durante cada período, e é fundamental identificar regiões críticas, como juntas ou pontos singulares que possam facilitar a penetração de água.

A dissertação de Herrmann (2017) reforça a importância dos ensaios de estanqueidade à água aplicados a sistemas de fachada não tradicionais. Seu estudo analisou o desempenho de diferentes revestimentos utilizados para a recuperação de fachadas degradadas, empregando metodologia compatível com os critérios da ABNT NBR 15575-4:2021. A autora ressalta que a utilização de revestimentos alternativos, especialmente em soluções de *retrofit* e fachadas não aderidas, exige atenção especial às interfaces, rejuntas e pontos de encontro de materiais distintos, visto que são estes os principais caminhos de infiltração hídrica.

A norma também exige que os projetos executivos incluam detalhes construtivos que assegurem a estanqueidade do sistema, especialmente nos pontos de interface entre elementos, como esquadrias, peitoris e encontros de diferentes materiais. Esses detalhes são essenciais para garantir que o desempenho estabelecido em laboratório seja reproduzido nas condições reais de uso, considerando também as demandas de manutenção ao longo da vida útil da edificação. Herrmann (2017) destaca que a durabilidade da estanqueidade está diretamente ligada à correta execução e à manutenção preventiva dessas interfaces ao longo do tempo. A Figura 14 apresenta exemplos de detalhes construtivos essenciais para assegurar a estanqueidade do sistema de vedação vertical externo.

Figura 14 – Detalhes construtivos para garantia da estanqueidade em fachadas



Fonte: Favegrup.

2.5.1.2. Resistência mecânica a impactos

A ABNT NBR 15575-4:2021, que trata dos requisitos de desempenho para sistemas de vedações verticais externas (SVVE) em edificações habitacionais, estabelece critérios rigorosos quanto à resistência a impactos mecânicos. A consideração desses critérios torna-se um elemento crucial desde as fases iniciais do processo de projeto, a fim de garantir que as soluções de vedação adotadas atendam às exigências de segurança e durabilidade preconizadas pela norma de desempenho, aspecto fundamental discutido por Oliveira e Mitidieri Filho (2012) ao analisarem a aplicação da norma no desenvolvimento de projetos de edifícios habitacionais. A norma classifica os impactos em dois grupos principais: impactos de corpo mole e impactos de corpo duro. Ambos os ensaios são obrigatórios para verificar a capacidade

dos sistemas de fachada de suportar solicitações acidentais durante a vida útil da edificação, garantindo a integridade física dos elementos e a segurança dos usuários.

O ensaio de impacto de corpo mole tem como finalidade simular colisões com objetos com baixa rigidez ou com o corpo humano, como quedas acidentais ou impactos provocados por atividades usuais no ambiente habitado. A norma define que os SVVE devem resistir a esse tipo de impacto sem apresentar rupturas ou instabilidades estruturais, caracterizadas como estado-limite último, e sem fissuras, delaminações ou deformações permanentes significativas que comprometam a função do sistema, caracterizando o estado-limite de serviço. O método de avaliação é realizado conforme os critérios estabelecidos na seção 7.4 da ABNT NBR 15575-4:2021, sendo detalhado tecnicamente pela ABNT NBR 11675:2016:2016, norma complementar que especifica os parâmetros de execução do ensaio.

O ensaio de impacto de corpo mole, realizado conforme a ABNT NBR 11675:2016, consiste na liberação pendular de um saco de couro com massa de 50 kg, preenchido com granalha, contra a amostra do sistema de vedação. Para as vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento, os níveis de energia de impacto e os critérios de desempenho são especificados na tabela 3 da ABNT NBR 15575-4:2021. Essa tabela detalha diferentes requisitos dependendo se a vedação possui função estrutural ou não, e também considera a localização do impacto (por exemplo, impacto externo em áreas com acesso ao público, geralmente no andar térreo, ou impacto interno na fachada). As energias de impacto variam significativamente, podendo alcançar até 960 J para impactos externos em áreas de acesso público, onde o critério é a não ocorrência de ruína (estado-limite último). Para outras situações e energias menores (como 480 J, 360 J, 240 J, entre outras), os critérios incluem a não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) e a limitação dos deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}), como, por exemplo, $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1250$ para vedações com função estrutural submetidas a 240 J em cenário de impacto onde exista acesso ao público. A Figura 15 demonstra o ensaio de corpo mole.

Figura 15 – Ensaio de impacto de corpo mole



Fonte: MMC Lab, 2025.

O ensaio de impacto de corpo duro, por sua vez, simula solicitações localizadas de alta rigidez e pequena área de contato sobre a fachada, como aquelas provenientes da queda de ferramentas, impacto de pedras ou outros objetos pontiagudos. Conforme o item 7.6.1 da ABNT NBR 15575-4:2021, os Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) devem resistir a esses impactos sem apresentar ruptura ou traspassamento. A norma também estabelece que, para os impactos de utilização (estado-limite de serviço), não devem ocorrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano que comprometa a função da vedação, sendo, contudo, permitidas moissas localizadas, conforme os critérios indicados nas tabelas 7 (para fachadas) e 8 (para vedações internas).

Para vedações verticais externas (fachadas), a tabela 7 da norma especifica as energias de impacto e os critérios de desempenho. Esses requisitos variam de acordo com o local do impacto: para impacto externo em áreas com acesso ao público, como o andar térreo, a fachada deve resistir a uma energia de 3,75 J sem apresentar falhas que comprometam o estado-limite de serviço, e a uma energia de 20 J sem ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado-limite último). Já para impacto interno aplicado na face interna da fachada, em todos os pavimentos, os níveis de energia são de 2,5 J para o estado-limite de

serviço (sem falhas que comprometam a função) e 10 J para o estado-limite último (sem ruína, ruptura ou traspasse). A importância de se antecipar a esses requisitos de segurança mecânica durante a concepção do projeto é reiterada na literatura técnica, que discute a necessidade de compatibilizar as soluções de vedação com as exigências normativas de resistência a impactos (Oliveira e Mitidieri Filho, 2012).

O método de avaliação, conforme o item 7.6.2, é realizado por meio de ensaio de tipo em laboratório ou em campo, de acordo com o nexo B da ABNT NBR 15575-4:2021 ou ABNT NBR 11675:2016. O anexo B detalha o procedimento para impacto de corpo duro, que prevê a liberação pendular de um corpo percussor rígido contra a amostra, a qual deve representar fielmente as condições de projeto, incluindo acabamentos e fixações. A tabela B.1 do referido anexo especifica os corpos percussores como esferas de aço, sendo uma de 0,5 kg (para energias de 2,5 J e 3,75 J) e outra de 1 kg (para energias de 10 J e 20 J), liberadas de alturas específicas para gerar as energias de impacto requeridas. Os impactos devem ser aplicados em pontos aleatórios distintos na superfície da vedação, registrando-se os deslocamentos e eventuais falhas. O relatório do ensaio deve conter informações como o valor do impacto, a massa do corpo percussor, o registro de todas as falhas, fissuras e as medidas dos deslocamentos ou movimentações, além de detalhes do sistema, identificação do fornecedor e descrição da parede.

A norma, em seu item 7.6.3, estabelece que o atendimento aos critérios da Tabela 7 (para fachadas) corresponde ao nível de desempenho mínimo (M). O anexo F (informativo) da norma apresenta recomendações para níveis de desempenho intermediário (I) e superior (S). Especificamente para fachadas, a tabela F.5 do anexo F indica que para os níveis I e S, além da não ocorrência de falhas no estado-limite de serviço (3,75 J para impacto externo e 2,5 J para interno), a profundidade da moxa (indentação) não deve ultrapassar 2,0 mm ($p \leq 2,0$ mm). Os critérios para o estado-limite último (20 J para impacto externo e 10 J para interno) para os níveis I e S permanecem como não ocorrência de ruptura nem traspasse. A Figura 16 exemplifica o ensaio de corpo duro.

Figura 16 – Ensaio de impacto de corpo duro



Fonte: MMC Lab, 2025.

2.5.1.3. Isolamento térmico

O desempenho térmico das vedações verticais externas (SVVE) é um requisito relevante para o conforto e eficiência energética das edificações habitacionais, sendo tratado na seção 11 da ABNT NBR 15575-4:2021. A norma propõe uma avaliação para os Ambientes de Permanência Prolongada (APP) que se inicia por um procedimento simplificado, visando o atendimento ao nível mínimo (M) de desempenho. Caso os critérios deste procedimento não sejam cumpridos, ou para a classificação no nível intermediário (I) ou superior (S), a norma direciona para uma análise por simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021. Os principais parâmetros avaliados no procedimento simplificado incluem a transmitância térmica (U_{par}) e a capacidade térmica (CT_{par}) das paredes externas, o percentual de abertura para ventilação (PV, APP), e o percentual ou área de elementos transparentes (Pt, APP ou At, APP), todos referenciados ao zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT NBR 15220-3).

A transmitância térmica (U_{par}), que indica a facilidade com que o calor atravessa a parede, deve ser igual ou inferior aos valores de referência apresentados na Tabela 13 da ABNT NBR 15575-4:2021. Estes limites dependem da Zona Bioclimática e da absorvância à radiação

solar da superfície externa da parede. O cálculo de U_{par} é realizado conforme a ABNT NBR 15220-2:2022.

A capacidade térmica das paredes externas (CT_{par}), que representa a aptidão da parede em armazenar calor, deve atender aos valores mínimos de referência especificados na Tabela 14 da norma, sendo o requisito $CT_{par} \geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ para as Zonas Bioclimáticas 1 a 7, e sem requisito para a Zona 8. O cálculo também segue a ABNT NBR 15220-2:2022. Uma diretriz importante da norma (item 11.2.4) é que, para paredes com isolamento térmico significativo (condutividade térmica menor ou igual a $0,065 \text{ W}/(\text{m.K})$ e resistência térmica maior que $0,5 (\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$), o cálculo da capacidade térmica deve desprezar as camadas externas ao isolante.

Para a ventilação, os APP devem atender à legislação local ou, na ausência desta, aos percentuais mínimos de abertura para ventilação (PV, APP) em relação à área de piso, conforme a tabela 15 da norma, que varia segundo a Zona Bioclimática.

No que se refere aos elementos transparentes, a tabela 16 da norma estabelece limites básicos para seu percentual (Pt, APP) ou área (At, APP). Para as zonas bioclimáticas 3 a 8, é possível exceder esses limites básicos mediante o uso de vidros de alto desempenho (conforme critérios da tabela 17, que considera o fator solar) ou elementos de sombreamento horizontal (conforme critérios da tabela 18, que considera o ângulo vertical de sombreamento - AVS).

Quando o procedimento simplificado não é suficiente para atestar o nível Mínimo, ou para almejar os níveis intermediário ou superior, a avaliação do desempenho térmico é realizada por simulação computacional.

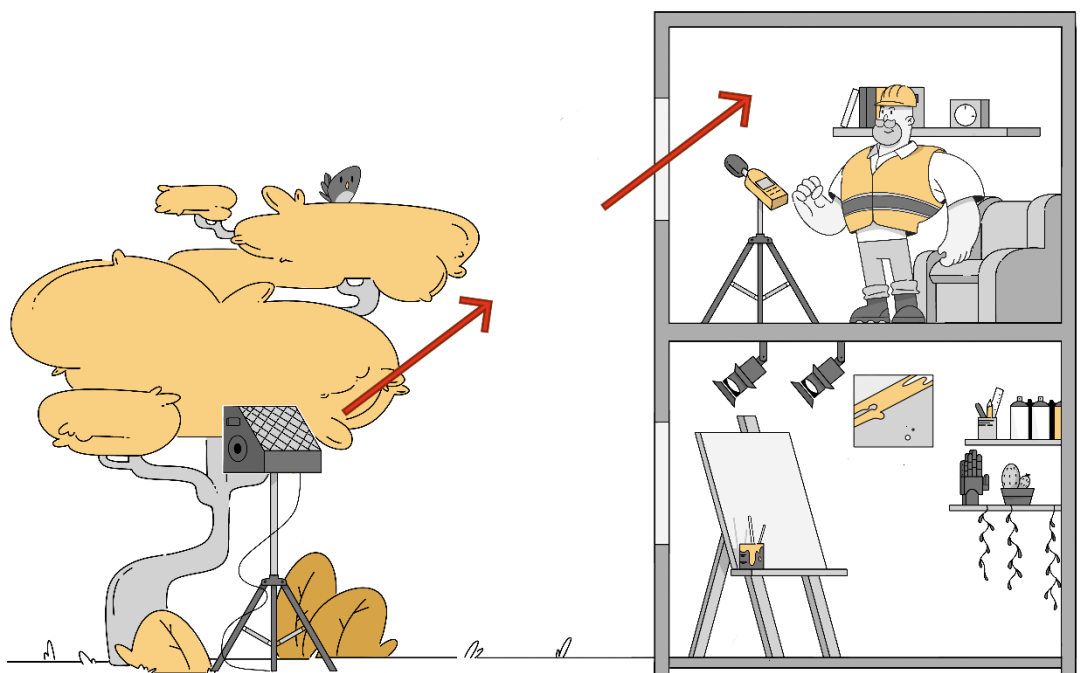
2.5.1.4. Desempenho acústico

O desempenho acústico das vedações verticais externas (SVVE) em edificações habitacionais é um requisito chave da ABNT NBR 15575-4:2021, que estabelece parâmetros para estes sistemas. O objetivo é assegurar que os elementos construtivos proporcionem níveis satisfatórios de isolamento acústico entre os ambientes internos e o meio externo, preservando o conforto acústico e a privacidade dos usuários.

Em síntese, o desempenho acústico visa garantir a proteção dos ambientes internos contra a penetração de ruídos externos, como os gerados pelo tráfego urbano, áreas de lazer ou outras fontes de poluição sonora. A referida norma estabelece que os sistemas de vedação devem assegurar uma considerável redução na transmissão do som aéreo, especialmente aquele

proveniente de conversas, música e outros sons que possam comprometer a habitabilidade. Para as vedações verticais externas, o principal parâmetro de avaliação é a diferença de nível padronizada ponderada a 2 metros da fachada ($D_{2m,nT,w}$), expressa em decibéis (dB). A figura 17 ilustra a concepção da determinação do desempenho acústico de fachadas.

Figura 17 – Determinação do desempenho acústico de fachadas



Fonte: SINTese Acústica. Disponível em: <https://sinteseacustica.com.br/laboratorio/>.

O item 12.2.1 da ABNT NBR 15575-4:2021 descreve os métodos disponíveis para a avaliação do desempenho acústico. O método de engenharia, realizado em campo, é considerado o mais rigoroso para SVVE, determinando o $D_{2m,nT,w}$ conforme as diretrizes das normas ABNT NBR ISO 16283-3:2021 e ABNT NBR ISO 717-1:2021. Este método envolve medições da diferença de nível sonoro entre o ambiente externo e o interior da unidade (com foco em dormitórios), com todas as aberturas (portas e janelas) fechadas. O método simplificado, realizado em campo, descrito nas ABNT NBR ISO 10052:2022 e ABNT NBR ISO 717-1:2021, pode ser utilizado como uma estimativa quando não se dispõe da infraestrutura para o método de engenharia. Adicionalmente, a norma reconhece a possibilidade de ensaios de componentes em laboratório (conforme série ISO 10140) para

determinar o índice de redução sonora (R_w). Os parâmetros de avaliação são detalhados na Tabela 19 da norma.

A ABNT NBR 15575-4:2021 estabelece níveis de desempenho Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) para o isolamento acústico de vedações externas, especificamente para dormitórios. Estes níveis variam conforme o nível de pressão sonora incidente na fachada (L_{inc}), que por sua vez define a Classe de Ruído do local. A Tabela 20 da norma define o nível de desempenho mínimo obrigatório para $D_{2m,nT,w}$ em dormitórios. Por exemplo, para a Classe de Ruído I (onde $L_{inc} \leq 60$ dB), o $D_{2m,nT,w}$ mínimo requerido é ≥ 20 dB. O Anexo F da norma, através da Tabela F.9, apresenta as recomendações para os níveis M, I e S para dormitórios, e a Tabela F.10 para salas, também em função da Classe de Ruído e do L_{inc} . A Tabela 1 ilustra os critérios e nível de desempenho mínimo em vedações externas para dormitórios.

Tabela 1 - Critério e nível de desempenho mínimo de isolamento a ruído aéreo de vedações externas (dormitórios)

Classe do ruído	L_{inc} (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB) - dormitório
I	≤ 60	≥ 20
II	61 a 65	≥ 25
III	66 a 70	≥ 30

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4:2021, Tabela 20.

No caso das fachadas ventiladas, o desempenho acústico pode ser beneficiado por sua concepção multicamadas. Santos Filho et al. (2017) explicam que, embora o sistema de fachada ventilada de porcelanato (FVPo) possua menor massa que o de porcelanato aderido (FPOA), seu mecanismo de isolamento sonoro se baseia nas diferenças de impedância acústica entre o revestimento externo e o substrato da parede. Essa diferença de impedância, juntamente com as distintas frequências críticas dos materiais componentes, pode levar a um isolamento diferenciado em diversas faixas de frequência, potencialmente oferecendo melhor desempenho em baixas frequências onde o ruído de tráfego é intenso. A presença de uma câmara de ar ventilada também pode atuar como uma barreira de desacoplamento, e o desempenho pode ser

aprimorado com o uso de isolantes acústicos no interior dessa camada ventilada, como mantas de lã mineral ou placas compostas, que potencializam o isolamento do conjunto.

Entretanto, é crucial ressaltar que o desempenho acústico final de uma fachada não depende apenas das características intrínsecas dos materiais do sistema de vedação opaca, mas fundamentalmente da qualidade da execução e do tratamento das interfaces. Juntas mal vedadas entre painéis, conexões inadequadas da subestrutura, ou a falta de tratamento acústico apropriado nas interfaces com outros componentes, como as esquadrias, podem criar pontes acústicas. Estas falhas comprometem significativamente a capacidade de isolamento do sistema, permitindo a propagação do som e reduzindo o desempenho global da fachada, uma vez que a transmissão sonora ocorre através de cada elemento constituinte e suas junções.

Nesse sentido, o estudo de Santos Filho et al. (2017), ao comparar o desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato com sistemas de porcelanato aderido em um edifício em Brasília-DF, utilizando simulação computacional com o software Insul e os critérios da ABNT NBR 15575, concluiu que ambos os sistemas de vedação opaca apresentaram índice de isolamento sonoro similar, atendendo ao nível mínimo de desempenho. Contudo, a pesquisa evidenciou de forma contundente que as esquadrias exercem papel determinante na eficiência do isolamento sonoro global da fachada. Por serem frequentemente o elemento com menor índice de isolamento sonoro individual, um aumento na área da esquadria resulta em uma diminuição do isolamento global do sistema de fachada. Essa constatação reforça a necessidade de uma análise integrada e de um projeto cuidadoso das interfaces e da especificação das esquadrias, especialmente quando se objetiva alcançar níveis de desempenho acústico intermediário ou superior.

2.5.1.5. Durabilidade e manutenibilidade

A durabilidade e a manutenibilidade dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) são fatores essenciais para assegurar o desempenho das edificações ao longo do tempo. A ABNT NBR 15575-4:2021 trata desses aspectos na Seção 14, estabelecendo critérios que visam garantir que os sistemas de vedação mantenham sua integridade funcional e estética durante toda a vida útil de projeto (VUP) da edificação.

No que se refere à durabilidade frente à ação do calor e ao choque térmico, o item 14.1.1 da norma determina que as paredes externas, incluindo seus revestimentos, quando submetidas a ensaios de laboratório conforme Anexo E – que consistem em dez ciclos sucessivos de

exposição ao calor a (80 ± 3) °C seguidos de resfriamento com jato de água – não podem apresentar deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, superior a $h/300$, sendo h a altura do corpo de prova. Tampouco podem apresentar falhas visíveis como fissuras, empolamentos, destacamentos, descoloração ou quaisquer outras manifestações patológicas que comprometam o uso do SVVE. O atendimento a este critério corresponde ao nível de desempenho Mínimo (M).

Além disso, o requisito 14.2 da norma exige que os sistemas mantenham sua capacidade funcional e seu desempenho estético compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais, considerando a vida útil de projeto (VUP) previamente definida conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, Anexo C. Essa durabilidade esperada, que para o nível Mínimo deve atender às premissas de projeto, conforme o item 14.2.1.3, depende de uma série de fatores, incluindo a qualidade dos materiais, a técnica construtiva empregada, a correta execução dos detalhes de projeto e, principalmente, a adoção de rotinas de manutenção planejadas.

É nesse ponto que a manutenibilidade, requisito detalhado no item 14.3 da norma, ganha destaque, sendo um complemento indispensável para a conservação do desempenho dos SVVE. Os sistemas devem ser projetados de forma a possibilitar manutenções preventivas e corretivas – realizadas com segurança, eficiência e viabilidade técnica e econômica – durante todo o ciclo de vida da edificação. Para isso, é imprescindível a existência de um manual de uso, operação e manutenção da edificação, critério estabelecido no item 14.3.1 da norma, elaborado conforme as diretrizes da ABNT NBR 5674 e ABNT NBR 14037, sendo o método para análise deste manual descrito no item 14.3.1.1. Este manual deve conter diretrizes claras para inspeções periódicas e intervenções necessárias, incluindo detalhes sobre periodicidade, técnicas e materiais para manutenções, como pinturas e tratamento de fissuras, e recomendações para prevenção de falhas por uso inadequado, conforme detalhado nas premissas de projeto estabelecidas no item 14.3.1.2 da norma. O atendimento a essas premissas de projeto para o manual também corresponde ao nível de desempenho Mínimo (M).

Com base nesse entendimento da importância da gestão da manutenção, Waldir Belisário dos Santos Júnior (2016) propôs uma metodologia denominada Rotina de Sistematização dos Planos de Manutenção (RSPM), voltada ao desenvolvimento estruturado de planos de manutenção de fachadas. A RSPM parte do reconhecimento de que o desempenho duradouro das vedações verticais não depende exclusivamente do projeto e da execução, mas também da gestão eficiente de sua manutenção ao longo do tempo. A metodologia propõe

etapas organizadas para levantamento de dados do sistema de fachada, diagnóstico de patologias recorrentes, definição de periodicidade de inspeções e ações de manutenção adequadas, permitindo uma atuação preventiva mais eficaz. Ao incorporar diretrizes da NBR 15575 e aliar aspectos técnicos com critérios práticos de intervenção, a RSPM demonstra-se como uma ferramenta útil para garantir o atendimento contínuo aos requisitos de desempenho, principalmente em relação à durabilidade e manutenibilidade dos SVVE.

2.5.1.6. Segurança estrutural

A segurança estrutural dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE), mesmo aqueles sem função estrutural como as fachadas ventiladas, é um aspecto crítico para o bom desempenho e a segurança das edificações. A ABNT NBR 15575-4:2021, em sua Seção 7, estabelece os requisitos e critérios para garantir que essas vedações, incluindo suas fixações e componentes, resistam às cargas e ações atuantes ao longo da vida útil da edificação.

Para os SVVE não estruturais, como é o caso típico das fachadas ventiladas, a norma preconiza, em seu item 7.1.3, que deve ser realizada uma verificação analítica ou por ensaio quanto à sua capacidade de resistir a cargas laterais uniformemente distribuídas, que simulam as ações do vento, considerando a solicitação γw_{Swk} . Essa verificação deve abranger um trecho representativo do sistema, incluindo as fixações e vinculações típicas entre os componentes. Adicionalmente, é requisito que estas fachadas, mesmo não sendo estruturais, resistam a impactos acidentais, conforme detalhado nos itens 7.4 (impactos de corpo mole) e 7.6 (impactos de corpo duro) da norma.

O item 7.2 da norma aborda a necessidade de limitar deslocamentos, fissuras e a ocorrência de falhas. A Tabela 1 da ABNT NBR 15575-4:2021 especifica os limites para deslocamentos horizontais instantâneos (dh) e residuais (dhr). Para paredes de fachada que exercem apenas a função de vedação, o deslocamento horizontal instantâneo sob ação de cargas horizontais, como o vento, por exemplo, é limitado a $h/350$, onde h é a altura do elemento parede. A norma também define, em seu item 7.2.2.3, critérios para a aceitabilidade de eventuais fissuras e descolamentos em verificações de campo. O atendimento a esses critérios de limitação de deslocamentos e falhas geralmente corresponde ao nível de desempenho Mínimo (M), uma diretriz estabelecida nos itens 7.1.4 e 7.2.2.5 da norma.

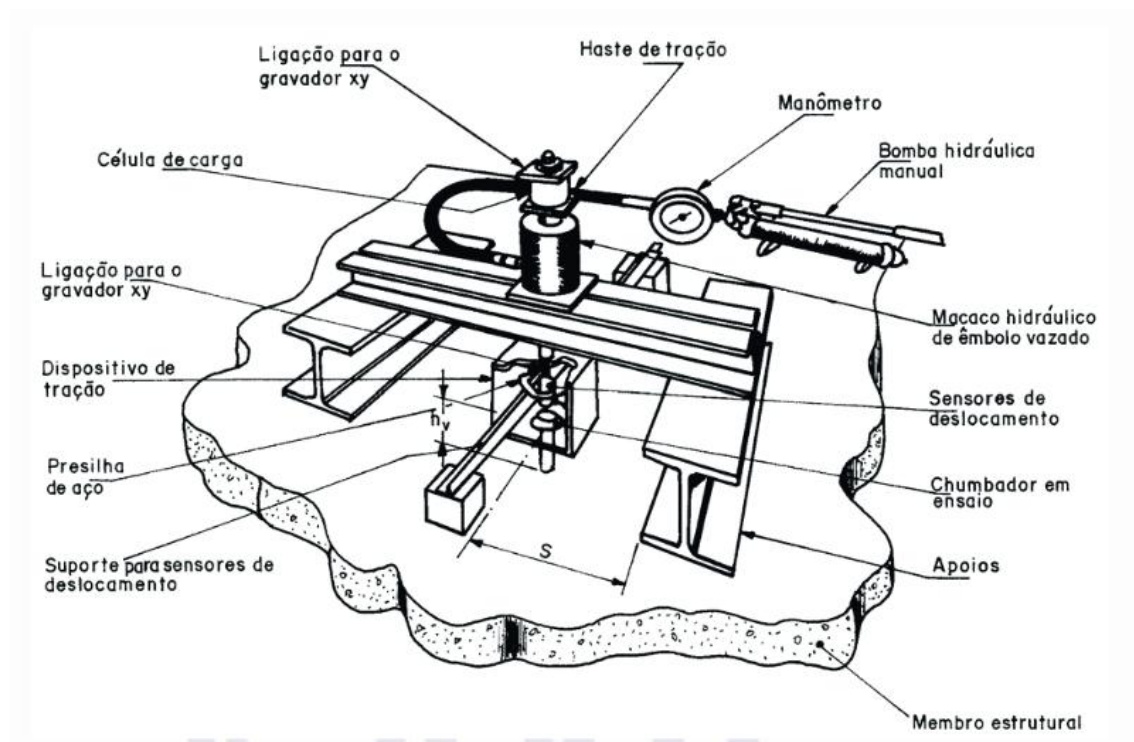
2.5.2. Determinação de resistência a tração e cisalhamento de chumbadores

A fixação segura dos componentes de uma fachada, especialmente em sistemas não aderidos como as fachadas ventiladas, é crucial para a segurança e o desempenho da edificação ao longo de sua vida útil. Os chumbadores, sejam eles químicos ou mecânicos, são elementos fundamentais nesse processo, transferindo as cargas atuantes na fachada para o substrato, seja ele concreto ou alvenaria. Dessa forma, a determinação da sua resistência à tração e ao cisalhamento é uma etapa indispensável no projeto e na verificação de sistemas de ancoragem. A norma técnica brasileira ABNT NBR 14827:2002 estabelece os métodos para a determinação dessas resistências para chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria, sob diversas condições de carregamento, incluindo o estático, que é o mais comum para a verificação de projetos.

A NBR 14827:2002 abrange tanto chumbadores de pré-concretagem quanto os de pós-concretagem, categoria que inclui os chumbadores de expansão, os de adesão química e os de segurança, também conhecidos como "*undercut*". O objetivo principal da norma, conforme seu item 1.1, é prescrever os métodos para determinar a resistência à tração axial e ao cisalhamento perpendicular ao eixo do chumbador. Embora a norma também mencione ensaios sísmicos, de fadiga e de choque, os ensaios estáticos, descritos na Seção 8 da NBR 14827:2002, são frequentemente utilizados para qualificar sistemas de ancoragem e fornecer dados para especificações de projeto.

Para a realização dos ensaios estáticos, a norma detalha a aparelhagem necessária na Seção 5, enfatizando o uso de equipamentos calibrados capazes de medir forças com precisão e registrar continuamente a curva carga versus deslocamento. No ensaio de tração, conforme o procedimento descrito no item 8.4.1 da norma, o sistema de carregamento deve assegurar que a força seja aplicada axialmente ao chumbador, sem induzir momentos fletores. Os apoios do sistema devem ser posicionados de forma a não interferir em uma eventual ruptura por cone do substrato, garantindo que o eixo da haste de tração coincida com o eixo do chumbador. A Figura 18 ilustra uma configuração típica para o ensaio de tração em chumbadores.

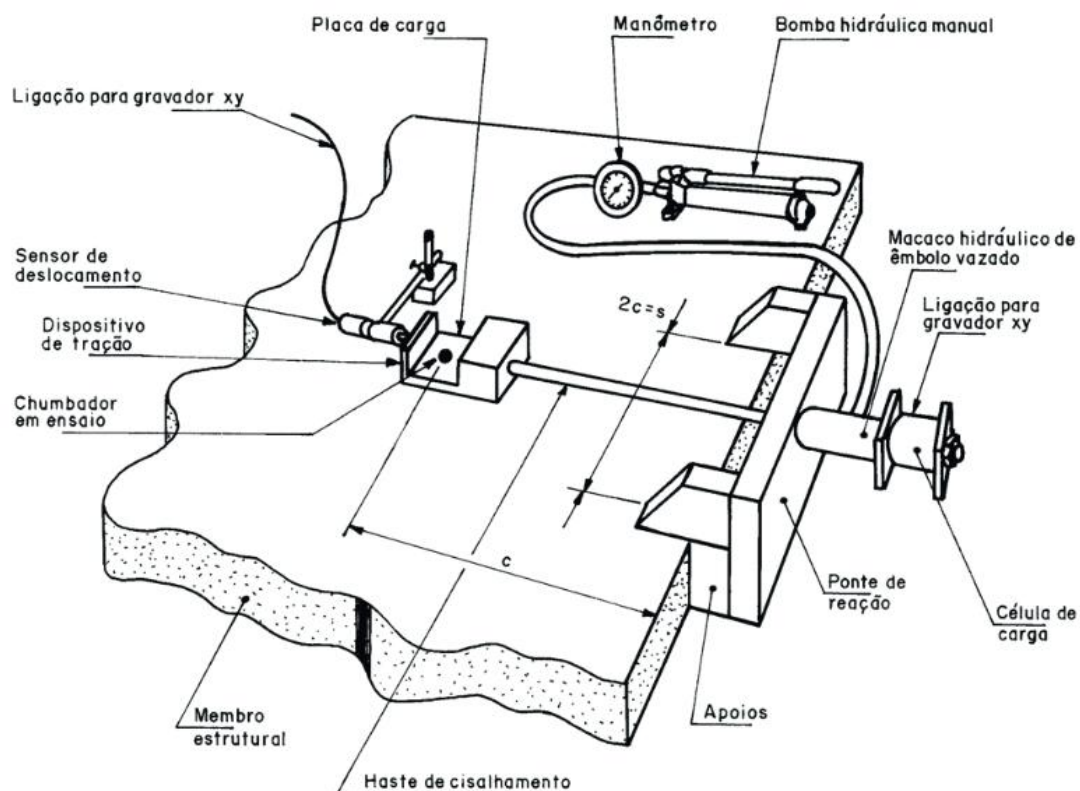
Figura 18 – Configuração típica para ensaio de tração em chumbadores



Fonte: ABNT NBR 14827:2002.

Já no ensaio de cisalhamento, detalhado no item 8.4.2 da NBR 14827:2002, a carga é aplicada perpendicularmente ao eixo do chumbador e paralelamente à superfície do membro estrutural. Utiliza-se uma placa de carga com furo e espessura adequados em relação ao diâmetro do chumbador, e os apoios do sistema de fixação devem ter dimensões e resistência suficientes para impedir escoamentos até a aplicação da carga de ruptura. Uma montagem característica para o ensaio de cisalhamento é apresentada na Figura 19.

Figura 19 – Configuração típica para ensaio de cisalhamento em chumbadores



Fonte: ABNT NBR 14827:2002.

Em ambos os tipos de ensaio estático, a NBR 14827:2002, em seu item 8.5, recomenda a aplicação de uma carga inicial de até 5% da carga última estimada, com o objetivo de eliminar eventuais folgas no sistema de ensaio. A aplicação da carga subsequente, conforme o item 8.6 da norma, pode ser contínua, com uma taxa controlada para produzir a falha em aproximadamente 1 a 3 minutos, ou escalonada, com incrementos não superiores a 15% da carga última esperada e manutenção da carga por 2 minutos em cada degrau. Durante o teste, são monitorados os deslocamentos e as cargas aplicadas.

A avaliação do desempenho não se limita à carga última suportada, mas também aos modos de falha observados, que são cruciais para o entendimento do comportamento do sistema de ancoragem. A Seção 12 da NBR 14827:2002 descreve os possíveis modos de falha, que incluem a falha em cone do substrato, seja concreto ou alvenaria, falha com fissuração radial, escorregamento do chumbador, conhecido como "*pullout*", falha de aderência, no caso de chumbadores químicos, ou a falha por ruptura do próprio aço do chumbador.

A importância da realização desses ensaios é evidenciada em estudos de caso e pesquisas que avaliam sistemas de fixação para fachadas. Por exemplo, Reuter (2020), em seu trabalho de conclusão de curso sobre fachadas ventiladas, realizou ensaios de arrancamento, ou seja, tração, em chumbadores químicos instalados em blocos cerâmicos de diferentes resistências, de 7 MPa e 18 MPa, e em chumbadores mecânicos aplicados em elementos de concreto armado, seguindo as diretrizes da NBR 14827:2002. Os resultados obtidos por Reuter (2020) destacaram a influência do substrato no desempenho da ancoragem, observando, por exemplo, que chumbadores químicos apresentaram melhor desempenho médio em blocos com maior quantidade de vazios, os de 7 MPa, atribuído à melhor ancoragem do composto químico, enquanto chumbadores mecânicos em concreto armado demonstraram resistência significativamente superior, superando as expectativas do fabricante.

2.5.3. Instruções técnicas do corpo de bombeiros

A segurança contra incêndio em edificações verticais, especialmente naquelas que utilizam fachadas ventiladas como sistema de vedação externa, constitui uma preocupação crescente na engenharia civil. Este tipo de fachada, amplamente adotado por suas qualidades estéticas, de conforto térmico e eficiência energética, pode, no entanto, representar um risco adicional em caso de incêndio, caso não sejam implementadas medidas preventivas adequadas. Conforme destaca Direito (2011), a presença de uma câmara de ar contínua entre o revestimento externo e a parede de suporte pode atuar como um caminho para a propagação vertical acelerada de chamas e gases quentes, funcionando como uma verdadeira "chaminé", caso não seja compartimentada corretamente.

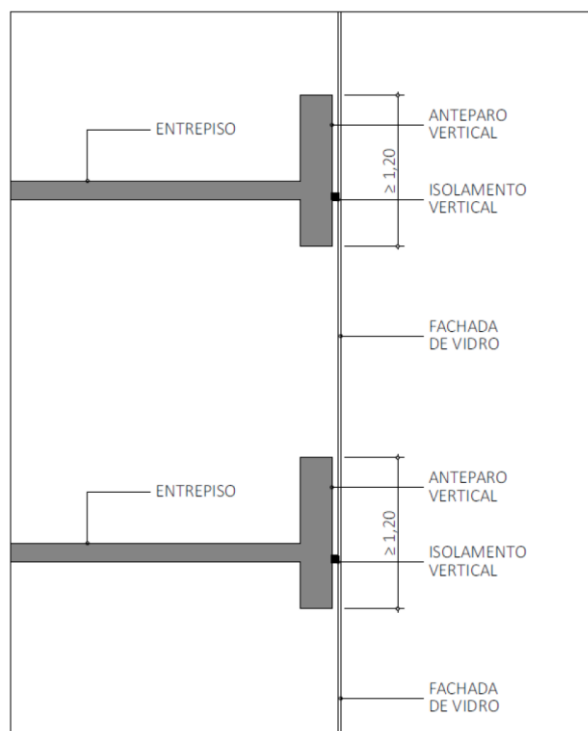
No contexto da segurança contra incêndio em edificações, as Instruções Técnicas (ITs) publicadas pelo Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP) estabelecem requisitos específicos. Para fachadas ventiladas, são particularmente relevantes a IT 08/2025 – Segurança estrutural contra incêndio, a IT 09/2025 – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical, e a IT 10/2025 – Controle de materiais de acabamento e de revestimento.

A IT 08/2025 – Segurança estrutural contra incêndio (Parte 1 - Requisitos gerais), conforme seu item 1.1, visa estabelecer as condições para que os elementos estruturais e de compartimentação atendam aos Tempos Requeridos de Resistência ao Fogo (TRRF), evitando o colapso estrutural e permitindo a evacuação segura e o acesso das equipes de emergência.

Embora as fachadas ventiladas sejam tipicamente sistemas não estruturais, os elementos da edificação que as suportam e os elementos de compartimentação associados a elas devem cumprir os TRRF especificados nesta IT. A comprovação do TRRF, segundo o item 4.2 da IT 08/2025, pode ser feita por ensaios laboratoriais, atendimento a tabelas normativas ou modelos matemáticos analíticos.

A IT 09/2025 – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical é de fundamental importância para fachadas ventiladas. Seu item 5.2.1 detalha as exigências para a compartimentação vertical na envoltória do edifício (fachadas), com o intuito de dificultar a propagação do incêndio pelo exterior entre pavimentos consecutivos. Isso requer a previsão de elementos construtivos corta-fogo, com TRRF determinado pela IT 08/2025, separando aberturas de pavimentos sucessivos. Essa separação pode ser constituída por anteparos verticais (vigas ou parapeitos) com altura mínima de 1,2 m ou por anteparos horizontais (prolongamento dos entrepisos) com projeção mínima de 0,90 m além do plano da fachada. Para fachadas do tipo "cortina" e sistemas análogos que possuem uma cavidade contínua, o item 5.2.1.11 da IT 09/2025 estabelece que, se a própria fachada não for corta-fogo, devem ser previstos elementos corta-fogo internos de separação entre pavimentos, e as frestas ou aberturas entre a fachada e esses elementos de separação devem ser vedadas com selos corta-fogo. Essa medida é essencial para interromper o "efeito chaminé" na câmara de ar das fachadas ventiladas, mitigando o risco de propagação rápida do incêndio, conforme já alertado por Direito (2011). A Figura 20 ilustra o princípio da compartimentação em fachadas.

Figura 20 - Modelo de compartimentação em fachada envidraçada



Fonte: a IT 09/2025 – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical

Por fim, a IT 10/2025 – Controle de materiais de acabamento e de revestimento (CMAR), conforme seu item 1.1, estabelece as condições para que os materiais empregados restrinjam a propagação de fogo e o desenvolvimento de fumaça. Os materiais de fachada são classificados quanto à sua reação ao fogo (por exemplo, Classes I, II-A, III-A, etc.) com base em ensaios normalizados, como os definidos nas Tabelas A.1, A.2 e A.3 do Anexo A da IT 10/2025. A Tabela B.1 do Anexo B desta IT especifica a classe de reação ao fogo exigida para os materiais de acabamento e revestimento de fachadas, dependendo da ocupação e características da edificação. Para edificações residenciais do Grupo A-3 (condomínios residenciais) com altura superior a 12 metros, por exemplo, a Tabela B.1 exige materiais de Classe I, II-A ou III-A para o revestimento da fachada. Um ponto de grande relevância para as fachadas ventiladas é a Nota Genérica 'b' da Tabela B.1 da IT 10/2025, que estipula que materiais isolantes termoacústicos não aparentes, situados em paredes (o que incluiria a câmara da fachada), devem enquadrar-se entre as Classes I a II-A (ou I a III-A para paredes de Grupo A-2, A-3), mesmo que protegidos por outros materiais. Isso impõe um controle rigoroso sobre a combustibilidade do material isolante utilizado na cavidade, um aspecto também enfatizado por Direito (2011) como crítico para a segurança.

Direito (2011) conclui, em sua dissertação, destacando a importância de considerar a fachada ventilada como um sistema integrado, cuja segurança depende da sinergia entre todos os seus elementos, incluindo revestimentos, isolantes e sistemas de fixação, e defende que a regulamentação avance na direção de ensaios de fachada completa (full-scale façade tests), como o método BS 8414, para avaliar o desempenho real do sistema em condições representativas de incêndio. Essa perspectiva é reforçada por incidentes internacionais. Casos emblemáticos, como o incêndio da Grenfell Tower em Londres (2017), onde o fogo se espalhou rapidamente pela fachada ventilada composta por materiais combustíveis, como exemplificado na Figura 21, e o incêndio no edifício Address Downtown em Dubai (2015), mostrado na Figura 22, evidenciam os riscos envolvidos quando não há critérios rigorosos de resistência e reação ao fogo aplicados ao sistema como um todo. Esses episódios, que resultaram em perdas humanas e materiais significativas, impulsionaram mudanças regulatórias em diversos países e reforçam a importância de testes em escala real para avaliação do desempenho das fachadas sob condições reais de incêndio (DIREITO, 2011).

Figura 21 – Grenfell Tower: antes e depois



Fonte: O Globo (2024)

Figura 22 - Incêndio no edifício Address Downtown



Fonte: G1 (2016).

2.5.4. NIT n° 224:2002 e RILEM Test Method n° II.4

O Método do Cachimbo, normatizado pelo RILEM Test Method n° II.4 e pela NIT n° 224:2002, é um ensaio não destrutivo concebido para quantificar a taxa de absorção de água por capilaridade em uma superfície porosa, sob baixa pressão. O equipamento, conhecido como tubo de Karsten ou cachimbo, consiste em um tubo de vidro com uma abertura circular na base de aproximadamente 5 cm² e um tubo vertical graduado. Ele é acoplado diretamente à superfície do material em teste, utilizando silicone, para criar uma vedação estanque que impede qualquer vazamento de água pela interface, garantindo que toda a medição se refira exclusivamente à absorção pelo material. As Figura 23 e 24, apresentam, respectivamente, o esquema do ensaio de acordo com o RILEM Test Method n° II.4 e pela NIT n° 224:2002.

A execução do ensaio inicia-se com o preenchimento do tubo com água até a marca de graduação "0", estabelecendo uma coluna de água com uma altura específica, que na NIT 224 é de 98 mm. Essa altura exerce uma pressão hidrostática sobre a superfície que equivale à pressão dinâmica de um vento de aproximadamente 150 km/h incidindo perpendicularmente sobre a fachada, simulando assim a ação de uma chuva forte. A partir desse momento, o operador registra o volume de água que desce pela coluna graduada em intervalos de tempo definidos, como 1, 5, 15, 30, 60 e 90 minutos. O principal parâmetro de análise é a taxa de absorção, frequentemente expressa como a variação de volume ocorrida entre o quinto e o décimo quinto minuto do ensaio ($\Delta 15-5$).

O resultado final do ensaio é um gráfico que relaciona o volume de água absorvido ao longo do tempo, caracterizando a permeabilidade superficial do ponto analisado. Embora o ensaio seja fundamentalmente comparativo, a Norma Técnica NIT n° 224:2002 avança ao propor um critério de avaliação formal através das Classes de Eficácia, utilizado para qualificar o desempenho de um tratamento impermeabilizante. A eficácia é calculada comparando-se a absorção de água antes e depois do tratamento, conforme a seguinte fórmula:

$$Eficácia (\%) = \left[1 - \frac{\Delta(15 - 5)_{após}}{\Delta(15 - 5)_{antes}} \right] * 100 \quad (1)$$

Onde:

$\Delta(15-5)_{após}$ = absorção em mililitros, após o tratamento, entre o quinto e o décimo quinto minuto do ensaio com a pipeta de vidro.

$\Delta(15-5)_{antes}$ = absorção em mililitros, antes do tratamento, entre o quinto e o décimo quinto minuto do ensaio com a pipeta de vidro.

Com base nesse cálculo, a norma propõe classes de eficácia, que são expressas na Tabela 2.

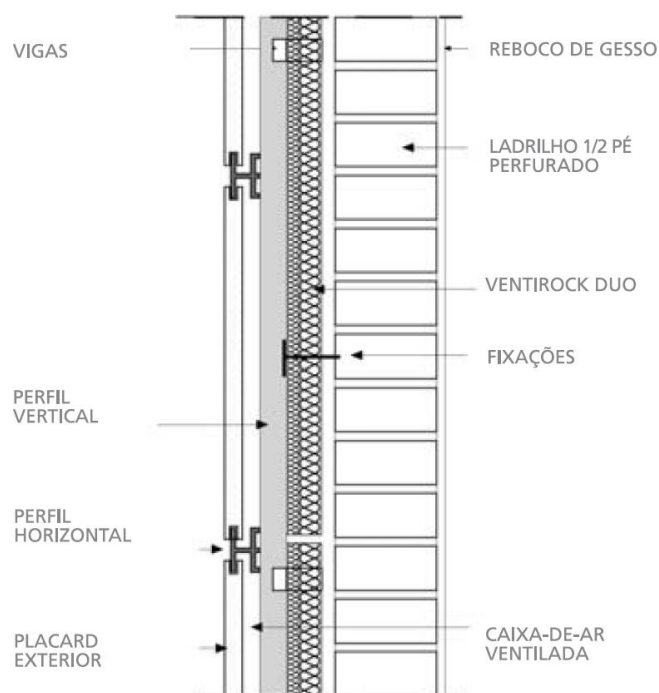
Tabela 2 – Classes de eficácia para o teste do cachimbo

CLASSE	EFICÁCIA CALCULADA
A	$\text{eff.} \geq 95\%$
B	$85\% \leq \text{eff.} < 95\%$
D	$75\% \leq \text{eff.} < 85\%$
C	$\text{eff.} < 75\%$

Fonte: adaptado de NIT n° 224:2002.

2.6. Descrição do sistema

Para um melhor entendimento do sistema de fachada ventilada, esta seção apresenta os elementos que o constituem. Será exposto sobre a base suporte de fixação (substrato), os materiais de isolamento térmico, a função da câmara de ar e os diferentes sistemas de fixação. A análise finalizará com a apresentação dos tipos de juntas, dos revestimentos exteriores mais comuns, da impermeabilização do substrato e das considerações de manutenção do sistema. A Figura 25 ilustra a concepção do sistema de fachada ventilada.

Figura 25 – Corte explicativo do sistema de fachada ventilada

Fonte: Catálogo da Rockwool.

2.6.1. Base suporte de fixação (substrato)

A base de suporte de fixação, ou substrato, é o elemento estrutural da edificação sobre o qual será instalada a subestrutura da fachada ventilada. A correta escolha desse suporte impacta diretamente no desempenho do sistema, pois é nele que se concentram os pontos de ancoragem, responsáveis por suportar as cargas de vento, peso próprio e outras ações incidentes na fachada.

Siqueira Júnior (2003) destaca que o projetista deve possuir domínio técnico sobre os materiais e sistemas construtivos utilizados como vedação vertical, considerando que a resistência à flexão e a deformabilidade do substrato influenciam na estabilidade da fachada. Um substrato inadequado pode comprometer o desempenho mecânico e funcional da solução adotada, além de dificultar a execução e aumentar os custos do sistema.

Segundo Mendes (2009), qualquer tipo de suporte pode ser aceito, desde que garantida a estabilidade dos pontos de fixação. Contudo, a compatibilidade entre tipo de fixação e substrato deve ser avaliada com rigor. A espessura da parede, o tipo de material e sua homogeneidade são fatores determinantes para a escolha do tipo de chumbador ou elemento de ancoragem. Em paredes de alvenaria, por exemplo, a presença de juntas ou ocos pode dificultar a instalação segura dos dispositivos de fixação.

Ainda conforme Siqueira Júnior (2003), é necessário analisar se o substrato oferece condições de execução e estabilidade. Quando as ancoragens são inseridas em pontos instáveis, como regiões de juntas ou blocos ocos, a previsibilidade do comportamento estrutural é reduzida. Soriano (1999), citado pelo autor, propõe uma classificação dos materiais mais utilizados como substrato, conforme o grau de confiabilidade que oferecem como base de ancoragem, esse, que é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Grau de confiabilidade do substrato como base de ancoragens para sistema de revestimento não aderido

Tipo de substrato	Grau de confiabilidade	Observações técnicas
Concreto moldado in loco	Excelente	Alta resistência mecânica, homogeneidade, excelente para ancoragens diretas.
Concreto pré-moldado	Muito bom	Boa previsibilidade, mas exige análise das juntas e pontos de conexão entre peças.
Alvenaria de tijolo maciço	Muito bom	Boa resistência e homogeneidade, ideal para sistemas com cargas leves a moderadas.
Alvenaria de bloco de concreto	Razoável	Resistência variável; pode exigir reforços localizados ou uso de buchas químicas.
Alvenaria de tijolo cerâmico furado	Baixo	Fragilidade em pontos de ancoragem; necessidade de reforços ou preenchimento local.
Bloco cerâmico vazado	Inaceitável (sem reforço)	Muito baixa resistência, exige reforço estrutural ou uso de elementos auxiliares.
Painéis leves (ex: gesso/acartonado)	Inadequado	Não aceita carga estrutural; deve ser evitado como substrato para ancoragens diretas.
Nota: Ao dimensionar a ancoragem, é essencial considerar não apenas a resistência do material, mas também a posição das juntas e bordas da alvenaria.		

Fonte: Adaptado de Soriano (1999) apud Siqueira Júnior (2003), com complementos de Graciano (2018)

Além da resistência mecânica, o substrato também deve atender a requisitos de estanqueidade e compatibilidade com os sistemas de impermeabilização, especialmente em fachadas expostas à ação de vento e chuva. Em superfícies com juntas abertas, é fundamental que o suporte garanta a vedação adequada da edificação. A impermeabilização do substrato é uma prática recomendada para prevenir infiltrações que possam comprometer tanto o substrato quanto os elementos da fachada ventilada. Segundo Reuter (2020), a impermeabilização do substrato é uma boa prática a ser executada para garantir a estanqueidade do sistema. Essa abordagem é corroborada por Martini (2019), que, em estudo de caso sobre a sede da Unisinos

em Porto Alegre, destaca a importância da impermeabilização no desempenho da fachada ventilada.

2.6.2. Isolante térmico

O isolamento térmico em fachadas ventiladas é um componente crucial para assegurar o desempenho energético e o conforto em Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE). A aplicação de um sistema de isolamento contínuo pelo exterior, característica comum em fachadas ventiladas, é fundamental para mitigar o problema das pontes térmicas, conforme aponta Sousa (2010). Embora Siqueira Junior (2003) observe que a necessidade de isolante térmico pode depender de condições climáticas específicas ou das exigências do próprio elemento de vedação, sua instalação é uma prática comum para otimizar o desempenho térmico. Geralmente, o material isolante é aplicado sobre a parede de suporte (substrato), ficando protegido pela câmara de ar e pelo revestimento exterior. A principal justificativa para a aplicação de isolante térmico em edificações reside na potencial economia de energia com climatização, tanto para aquecimento quanto para resfriamento dos ambientes.

Segundo Ribeiro (2010), a função primordial do isolante térmico é "reduzir a transferência de calor através dos elementos onde se encontra aplicado". Tipicamente, são materiais porosos cuja elevada resistência térmica advém da baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios. Para que um material seja classificado como isolante térmico leve, de acordo com Ribeiro (2010) e Cunha (2006), ele deve apresentar condutibilidade térmica (λ) menor ou igual a $0,065 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ e possuir massa volumétrica aparente inferior a $300 \text{ kg}/\text{m}^3$. Além dessas propriedades básicas, Ribeiro (2010) destaca que, para garantir sua eficácia e durabilidade, os isolantes térmicos devem possuir outras características importantes, como boa resistência mecânica, comportamento adequado frente ao fogo (incombustibilidade ou baixa propagação de chama, conforme exigências normativas), baixa permeabilidade ao vapor de água, resistência ao desenvolvimento de fungos e não ser higroscópico.

Direito (2011) identifica uma variedade de isolantes térmicos comumente empregados em fachadas ventiladas, destacando-se entre eles o poliuretano projetado (PUR) e o poliestireno extrudido (XPS), além de outros como o poliestireno expandido (EPS), a lã de vidro e a lã de rocha.

A Tabela 4 apresenta um comparativo das características dos principais isolantes térmicos utilizados em fachadas ventiladas, incluindo propriedades como densidade,

condutibilidade térmica (λ), faixa de temperatura de trabalho, e uma estimativa de espessura e peso equivalentes para se obter um mesmo nível de isolamento térmico.

Tabela 4 - Comparativo de características dos isolantes térmicos

Material	Densidade (kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Temperaturas de trabalho (°C)	Espessura equivalente	Peso equivalente
Poliuretano	32	0,021	200 a 110	1	1
Poliestireno expandido	15	0,033	150 a 70	1,4	0,6
Lã mineral	100	0,041	100 a 980	1,8	5,1
Espuma de vidro	144	0,055	220 a 430	2,4	9,9

Fonte: adaptado de Cunha, 2006.

2.6.2.1. Poliuretano projetado (PUR)

O poliuretano projetado, conhecido pela sigla PUR, é um material plástico termoendurecível formado pela reação química exotérmica entre dois componentes principais: um poliol e um isocianato. Na construção civil, é amplamente reconhecido como um material de isolamento térmico eficaz. Sua aplicação é realizada diretamente na obra, por meio de projeção com equipamento específico. Nesse processo, os dois componentes líquidos são misturados na pistola de projeção e reagem rapidamente ao atingir o substrato, expandindo-se e formando uma espuma rígida de poliuretano. Esta camada contínua adere fortemente à superfície de aplicação, preenchendo cavidades e irregularidades de forma eficiente.

Uma das principais vantagens do poliuretano projetado reside em sua excelente capacidade de isolamento térmico. Ele possui um dos mais baixos coeficientes de condutibilidade térmica (λ) entre os isolantes tradicionais, o que permite alcançar uma elevada resistência térmica com espessuras de aplicação relativamente menores. A formação de uma camada monolítica, sem juntas ou emendas, também contribui significativamente para a eliminação de pontes térmicas e para a melhoria da estanqueidade ao ar do elemento construtivo onde é aplicado, potencializando a eficiência energética da edificação.

No entanto, apesar desses benefícios como isolante térmico, o poliuretano projetado apresenta desvantagens significativas, especialmente no que concerne ao seu comportamento em situação de incêndio. Conforme detalhado por Direito (2011), o poliuretano é intrinsecamente um material combustível. A autora esclarece que, em relação ao seu desempenho de reação ao fogo, o PUR pode apresentar, segundo a norma europeia EN 13501-1:2018, classificações que variam de C a F, indicando diferentes graus de combustibilidade e contribuição para o fogo. Embora existam formulações de PUR com a adição de retardantes de

chama para melhorar sua classificação de reação ao fogo, a natureza orgânica e combustível do material base continua sendo um ponto crítico.

Considerando essas características, a aplicação de poliuretano projetado como isolamento em fachadas ventiladas, onde a presença de uma câmara de ar pode influenciar a dinâmica de um incêndio, exige uma análise de risco criteriosa e o estrito cumprimento das normativas de segurança contra incêndio, como a IT 10/2025 do CBPMESP, que estabelece o controle sobre a reação ao fogo dos materiais de acabamento e isolamento. De fato, em suas conclusões, Direito (2011) ressalta que, apesar de ser um dos isolantes mais utilizados em fachadas ventiladas, o comportamento ao fogo do PUR, juntamente com outros isolantes combustíveis como EPS e XPS, continua a ser crítico. Por essa razão, a autora recomenda a utilização de materiais de isolamento térmico incombustíveis, como a lã de vidro ou lã de rocha, para este tipo de aplicação, visando mitigar os riscos associados à segurança contra incêndio. A Figura 26 demonstra um exemplo da aplicação do poliuretano projetado.

Figura 26 – Isolamento térmico em poliuretano projetado aplicado em fachada



Fonte: Direito, 2011

2.6.2.2. Poliestireno extrudido (XPS)

O poliestireno extrudido (XPS) é um isolamento térmico em placas rígidas de espuma com estrutura celular fechada, formado por um processo de extrusão contínuo que inclui a

adição de um gás expensor inflamável. Esta morfologia confere ao material uma capacidade notável de apresentar absorção de água e humidade quase nula.

O XPS possui diversas características vantajosas para a construção civil, como elevada resistência química e à compressão, boa durabilidade e resistência ao manuseamento em obra. Sua aplicação é considerada simples, e o baixo peso das placas facilita o transporte, tornando-o uma alternativa interessante a outros isolantes como o poliuretano projetado (DIREITO, 2011).

Apesar dos benefícios, o XPS apresenta limitações importantes, principalmente quanto à sua reação ao fogo. As soluções comerciais são geralmente classificadas como Euroclasse E, indicando que o material é combustível e contribui para a propagação de chamas. Este risco é acentuado pelo gás expensor inflamável usado em sua fabricação. Outra desvantagem reside na correta aplicação: uma execução deficiente pode levar à formação de pontes térmicas, especialmente em descontinuidades da camada isolante, como em junções com perfis de alumínio, o que compromete o desempenho térmico esperado (DIREITO, 2011). A Figura 27 ilustra a aplicação de poliestireno extrudido em uma fachada.

Figura 27 – Isolamento térmico em poliestireno extrudido aplicado em fachada



Fonte: Direito, 2011

2.6.2.3. Poliestireno expandido (EPS)

O Poliestireno Expandido (EPS) é um material termoplástico amplamente utilizado como isolamento térmico na construção civil, sendo frequentemente aplicado em placas. É obtido através da expansão do poliestireno, resultando em um material leve com estrutura celular fechada. As densidades do EPS para aplicação em paredes variam tipicamente entre 15 kg/m³ e 45 kg/m³. Possui um ponto de amolecimento em torno de 100°C e um ponto de fusão na ordem de 180°C, embora a temperatura de serviço recomendada pelos fabricantes seja frequentemente mais baixa, por volta de 70°C (MARTINS, 2009).

Entre as suas vantagens, Dutra (2010) destaca a baixa condutividade térmica, leveza, facilidade de manuseamento, resistência ao envelhecimento, além de ser considerado higiênico e inócuo. A condutividade térmica é geralmente situada na faixa de 0,035 a 0,040 W/(m·K) (MARTINS, 2009).

A principal desvantagem do EPS reside no seu comportamento perante o fogo. Martins (2009) classifica-o como um material combustível, que dificilmente atinge uma classe de reação ao fogo melhor que E (quando ignifugado) ou F (sem tratamento antichama). Em contato com as altas temperaturas de um incêndio, o EPS tende a derreter, podendo formar gotículas incandescentes que facilitam a rápida propagação do fogo. Este derretimento também pode criar espaços vazios por trás de revestimentos, como observado em ensaios, o que pode intensificar o efeito chaminé e a propagação oculta do incêndio, sendo este risco agravado com o aumento da espessura do isolante.

2.6.2.4. Lã de vidro

A lã de vidro é um isolante térmico e acústico do grupo das lãs minerais, caracterizado por um entrelaçado de finos filamentos de vidro que lhe conferem flexibilidade. Geralmente é produzida em mantas ou painéis com densidades entre 10 kg/m³ e 100 kg/m³ e possui um ponto de fusão superior a 700°C (MARTINS, 2009).

Suas principais vantagens residem no bom desempenho como isolante térmico, com condutividade térmica na ordem de 0,040 W/(m.°C) a 0,045 W/(m.°C), e no seu excelente comportamento ao fogo. Classificada como incombustível e geralmente enquadrada nas Euroclasses A1 ou A2 de reação ao fogo, a lã de vidro impede a propagação de chamas em cenários extremos, o que assegura tranquilidade durante sua aplicação e vida útil. Estas

propriedades a tornam uma solução com "excelentes características" para sistemas de fachada ventilada (MARTINS, 2009).

Apesar dos benefícios, especialmente sua superioridade em segurança contra incêndio em comparação com isolantes combustíveis como o XPS, é importante considerar a suscetibilidade das lãs minerais à umidade. Cuidados são necessários para evitar o contato com a água, que pode infiltrar-se pelas juntas do revestimento e comprometer o desempenho térmico do material (DUTRA, 2010).

2.6.2.5. Lã de rocha

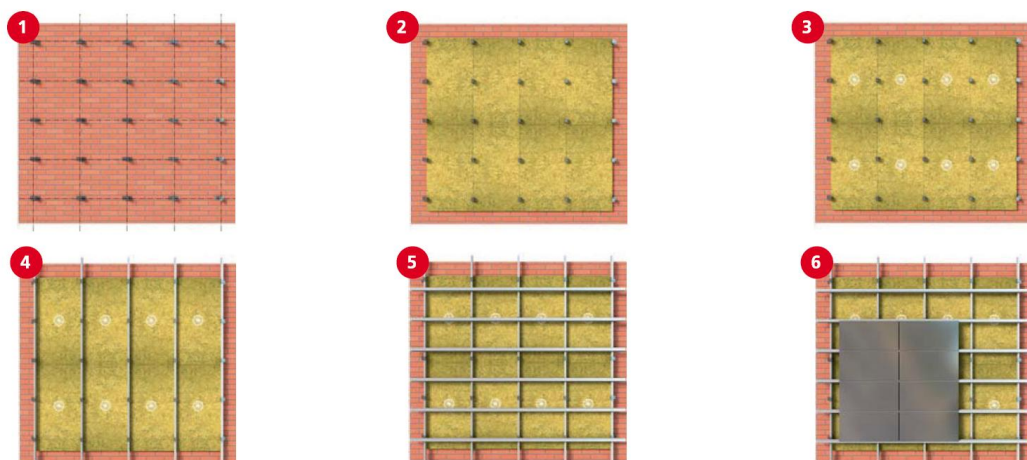
A lã de rocha é um isolante térmico e acústico de origem mineral, fabricado a partir de fibras de rocha vulcânica aglomeradas com resinas (Direito, 2011). Apresenta-se comumente em placas ou mantas, com densidades que variam tipicamente de 32 kg/m³ a 160 kg/m³, e as suas fibras possuem um ponto de fusão superior a 1000°C, o que é fundamental para seu desempenho em altas temperaturas (MARTINS, 2009).

A principal vantagem da lã de rocha é seu excelente comportamento perante o fogo, sendo um material incombustível. Geralmente, atinge a Euroclasse A1 ou A2 de reação ao fogo, significando que não contribui ou contribui muito pouco para o desenvolvimento de um incêndio. Dutra (2010) ressalta que a lã de rocha possui um desempenho ao fogo muito superior ao do XPS, conferindo "total tranquilidade durante a sua montagem, aplicação e vida útil". Adicionalmente, a lã de rocha é eficaz como isolante térmico, com condutividade térmica geralmente na faixa de 0,040 a 0,045 W/(m·K) (MARTINS, 2009), e também se destaca como um excelente isolante acústico devido à sua estrutura fibrosa (DIREITO, 2011).

Apesar das suas qualidades, é importante notar a interação da lã de rocha com a umidade. Embora as fibras individuais sejam descritas como repelentes à água devido à sua estrutura não capilar (DIREITO, 2011), o produto final (painel ou manta) pode ter seu desempenho como isolante térmico prejudicado se houver contato direto e contínuo com a água, pois esta pode alojar-se entre as fibras (DIREITO, 2011; MARTINS, 2009). Dutra (2010) observou que a lã de rocha testada apresentou maior capilaridade que o XPS, reforçando a necessidade de protegê-la da infiltração de água. Deve-se considerar também que o teor de ligantes orgânicos ou eventuais revestimentos podem influenciar ligeiramente o comportamento final do produto em relação à combustibilidade (DIREITO, 2011). A Figura 28 ilustra o processo de instalação da lã de rocha em fachada ventilada.

Figura 28 – Processo de instalação da lã de rocha em uma fachada ventilada

Processo de instalação



1 Fixação das vigas de suporte.

2 Colocação à pressão do painel de lã de rocha VENTIROCK DUO sobre as vigas até este ficar ajustado ao suporte. Os painéis colocam-se sem deixar pontos de junção entre eles de modo a evitar pontes térmicas. Recomenda-se a disposição dos painéis em triângulo, de cima para baixo da fachada. A face menos densa coloca-se sobre o suporte para se ajustar às irregularidades do mesmo e a face mais densa coloca-se no exterior.

3 Uma fixação mecânica por painel.*

4 Ancorar os perfis verticais nas vigas de suporte (estas ficam sobre o isolamento).

5 Perfil horizontal.

6 Fixa-se o acabamento cerâmico aos perfis, criando uma caixa-de-ar ventilada entre a camada de lã de rocha e o placard exterior.

* Teste Bureau Veritas. A necessidade de colocar mais fixações depende da altura do edifício e do quão inóspitas forem as condições ambientais. As fixações devem ter 100 mm de comprimento no mínimo e a cabeça do prego deve ter 90 mm diâmetro no mínimo.

Fonte: Catálogo da Rockwool.

2.6.3. Câmara-de-ar

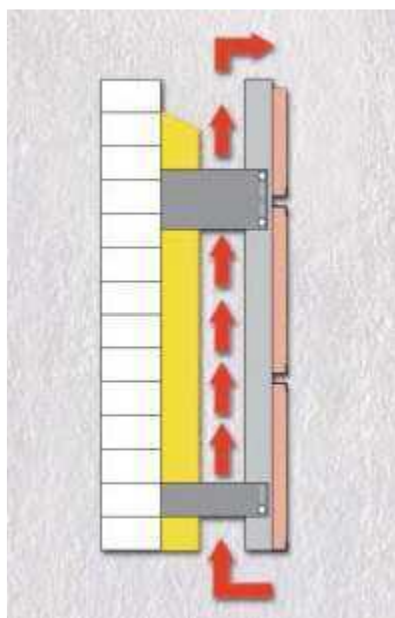
A câmara de ar é o espaço físico criado entre o revestimento exterior e a parede de suporte do edifício (ou o isolamento térmico nela aplicado), sendo um componente essencial que define o sistema de fachada ventilada (MACIEL, 2013). Esta cavidade é projetada para permitir a circulação de ar, o que diferencia este sistema de outras soluções construtivas de fachada.

A existência desta câmara de ar ventilada proporciona benefícios significativos ao desempenho da edificação, como a melhoria do comportamento térmico, a gestão da umidade e o aumento da durabilidade dos componentes da fachada (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003). O movimento do ar no seu interior é crucial e pode ser promovido por diferentes mecanismos, nomeadamente a ventilação natural e a ventilação forçada.

2.6.3.1. Ventilação natural

A ventilação natural constitui o mecanismo predominante para a circulação do ar na câmara das fachadas ventiladas, operando autonomamente, sem recurso a dispositivos mecânicos. O seu funcionamento assenta em princípios físicos, impulsionados por variações de temperatura e pressão do ar. Dentre estes, o efeito chaminé, também denominado tiragem térmica, é amplamente reconhecido como o principal motor deste processo (SIQUEIRA JÚNIOR, 2003; MACIEL, 2018). A Figura 29 ilustra a ventilação pelo efeito chaminé no sistema de fachada ventilada.

Figura 29 – Ventilação na caixa-de-ar em fachada ventilada pelo efeito chaminé



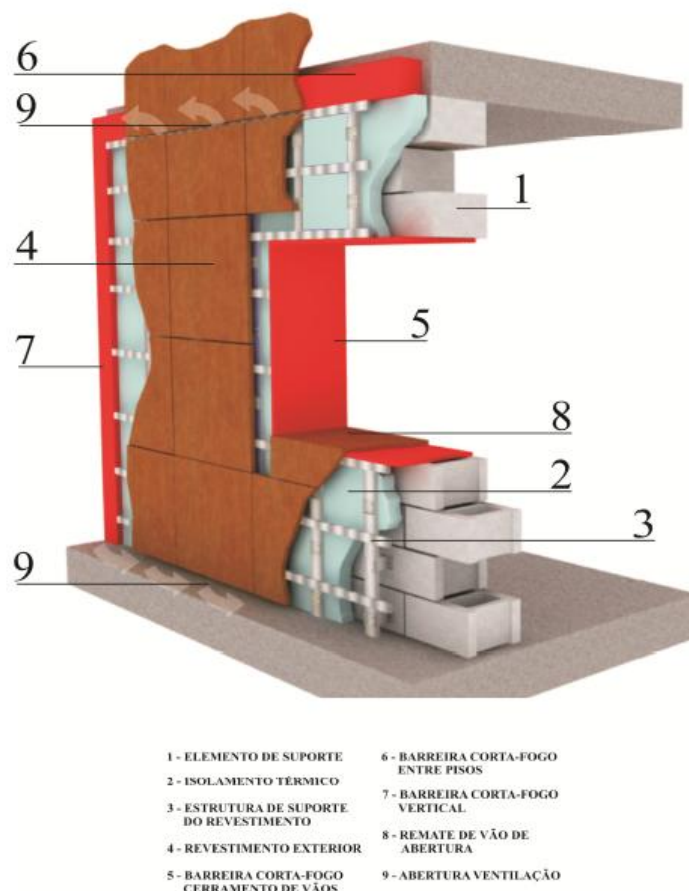
Fonte: Direito, 2011

Este fenômeno é gerado, em grande medida, pelo aquecimento do ar contido na câmara. Durante os períodos de insolação, o revestimento externo da fachada absorve radiação solar, transferindo calor para o ar presente na cavidade; o calor dissipado pelo próprio edifício através da parede de suporte também pode intensificar este aquecimento. Como consequência, o ar aquecido no interior da câmara torna-se menos denso que o ar exterior, mais frio. Esta diferença de densidade origina um movimento convectivo ascendente: o ar quente eleva-se e é expulso através de aberturas na parte superior da fachada, enquanto ar fresco e mais denso é admitido por aberturas na parte inferior, estabelecendo assim um fluxo de ar contínuo (DIREITO, 2011; MACIEL, 2013). Este ciclo constante de renovação do ar é crucial para o desempenho da

fachada, particularmente no verão, quando auxilia na remoção do calor excessivo acumulado, reduzindo a carga térmica sobre a parede de suporte e, por conseguinte, o ganho de calor para o interior do edifício. No inverno, ainda que o efeito chaminé seja menos pronunciado, a ventilação da câmara continua a ser benéfica, contribuindo para a secagem de eventual umidade e para a manutenção da eficácia do isolamento térmico (MARTINS, 2009).

A eficiência da ventilação natural, e em particular do efeito chaminé, é determinada por um conjunto de fatores interligados, tanto de projeto quanto ambientais. A altura da fachada, que estabelece a distância vertical entre as zonas de entrada e saída de ar, influencia diretamente a diferença de pressão e, por conseguinte, a velocidade do fluxo. A espessura da câmara de ar também é um parâmetro determinante, pois se muito reduzida, pode restringir o fluxo, e se excessiva, pode gerar turbulências indesejadas; diversos autores discutem faixas ótimas, geralmente situadas entre alguns centímetros, como os 5 a 15 cm sugeridos por Martins (2009). As características das aberturas de ventilação, incluindo sua área efetiva e a ausência de obstruções, são igualmente críticas para assegurar um fluxo de ar adequado. O diferencial de temperatura entre o ar na câmara e o ar exterior, impulsionado pela radiação solar e pela absortividade do revestimento, é a principal força motriz do sistema (MACIEL, 2018). Elementos como a velocidade e direção do vento, a rugosidade das superfícies internas da câmara e a presença de elementos da subestrutura também modulam o desempenho da ventilação (DIREITO, 2011). A Figura 30 exemplifica a ventilação natural em edifícios.

Figura 30 – Ventilação natural em edifícios



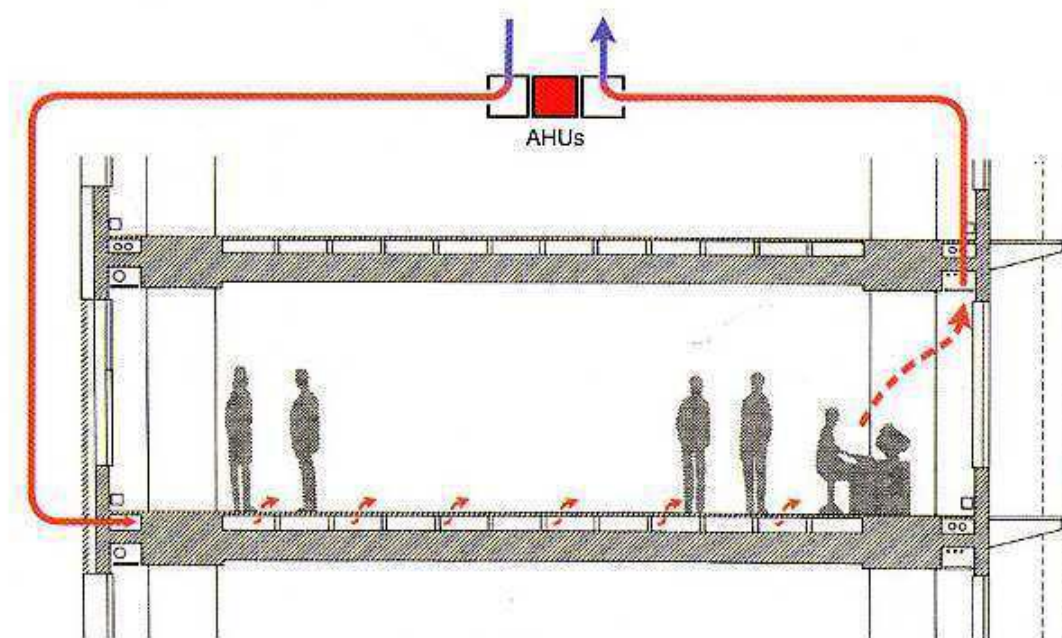
Fonte: Martins, 2009

2.6.3.2. Ventilação mecânica

Embora a ventilação natural, impulsionada pelo efeito chaminé, seja o mecanismo predominante para a circulação de ar na câmara das fachadas ventiladas, o movimento do ar nesta cavidade também pode ser promovido por meios mecânicos, conforme aponta Siqueira Júnior (2003). Esta abordagem, conhecida como ventilação forçada ou mecânica, envolve o uso de dispositivos para induzir ou controlar ativamente o fluxo de ar, em contraste com a operação passiva dos sistemas naturais. A implementação da ventilação forçada na câmara de ar ocorreria através da instalação de equipamentos eletromecânicos, como ventiladores ou exaustores, posicionados estrategicamente para criar um diferencial de pressão e direcionar o fluxo de ar. Ao discutir Fachadas Duplas de Vidro (FDV) com ventilação mecânica, Maciel (2018) descreve que estas utilizam ventiladores para controlar o fluxo de ar na cavidade, podendo inclusive estar conectadas ao sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) do edifício; embora as FDV tenham particularidades, o princípio de usar ventiladores para gerir o fluxo na

cavidade é conceitualmente aplicável. A Figura 31 exemplifica o sistema de ventilação mecânica.

Figura 31 - Ventilação mecânica com recuperação de calor



Fonte: Direito, 2011

A consideração pela ventilação mecânica da câmara de ar pode surgir em cenários onde a ventilação natural se mostre insuficiente para atingir os objetivos de desempenho, como em edifícios de baixa altura onde o efeito chaminé é menos pronunciado, ou em locais com condições climáticas que não favorecem a tiragem térmica. Poderia também ser uma opção quando se busca um controle mais preciso e constante da taxa de renovação do ar na câmara, ou para otimizar a remoção de calor ou umidade em situações específicas. Entre as vantagens potenciais desta abordagem estão a capacidade de manter um fluxo de ar mais constante e controlável, menos dependente das variações ambientais, e a possibilidade de otimizar o desempenho em condições onde a ventilação natural seria limitada, além de oferecer maior flexibilidade no design da fachada.

No entanto, a ventilação forçada apresenta desvantagens consideráveis. A principal delas é o consumo de energia elétrica pelos ventiladores, o que pode anular parte dos benefícios de economia energética usualmente associados às fachadas ventiladas com sistemas passivos. Adicionalmente, há custos iniciais de aquisição e instalação dos equipamentos, bem como a

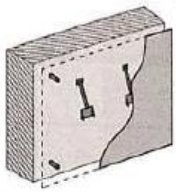
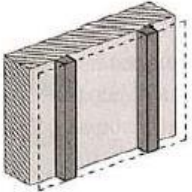
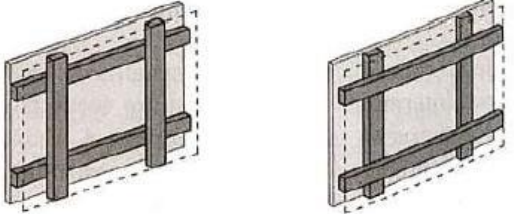
necessidade de manutenção periódica e o potencial de geração de ruído. A complexidade do sistema de fachada também aumenta, podendo requerer integração com sistemas elétricos e de automação predial (MARTINS, 2009; DUTRA, 2010).

2.6.4. Diferenciação de sistemas de fixação

O sistema de fixação é um componente essencial das fachadas ventiladas, responsável por ancorar o revestimento externo à estrutura do edifício e permitir a criação da câmara de ar. Autores como Sousa et al. (2016) enquadram os sistemas de fixação em duas categorias principais: a fixação pontual e a fixação por intermédio de uma estrutura secundária. Enquanto a fixação pontual pode expor o revestimento às deformações do suporte, a utilização de uma estrutura secundária (geralmente metálica) confere maior estabilidade e é o método predominante para garantir a planicidade e o correto desempenho da fachada ventilada, conforme também discutido por Dutra (2010) e Siqueira Júnior (2003) ao detalharem a fixação indireta.

Além do enquadramento do tipo de fixação, Sousa et al. (2016) diferenciam os processos pelos quais os painéis de revestimento são efetivamente presos. Para painéis retangulares, por exemplo, identificam-se tipicamente três processos de fixação: as furações; as ranhuras, sejam elas descontínuas para fixações pontuais ou contínuas para sistemas lineares; e os encaixes, uma solução particular para materiais com maior plasticidade, como metais e plásticos. Estes processos se relacionam diretamente com os métodos de fixação do revestimento à subestrutura, que podem ser aparentes ou ocultos. O Quadro 1 exemplifica as soluções referentes a cada tipologia de estrutura secundária.

Quadro 1 - Tipologias de estruturas secundárias de fixação

TOSCO (SUBSTRATO)	SEM ESTRUTURA (PONTUAL)	 Dispositivos de fixação pontual	 Dispositivos de suspensão
	PERFIS	 Montantes	 Travessas
TOSCO OU PREFABRICAÇÃO	ESTRUTURA RETICULADA	 Montantes e travessas	

Fonte: Reuter, 2020

2.6.5. Classificação dos sistemas de fixação

Conforme Siqueira Júnior (2003), os sistemas de fixação para fachadas podem ser classificados de maneira geral em função da forma como o revestimento é conectado à estrutura de suporte do edifício. Essa classificação inicial nos permite compreender as diferentes abordagens e os mecanismos envolvidos na transferência de cargas e na montagem dos painéis, que serão detalhados em subcategorias como dispositivos de fixação por adesão química e os diversos tipos de fixação mecânica.

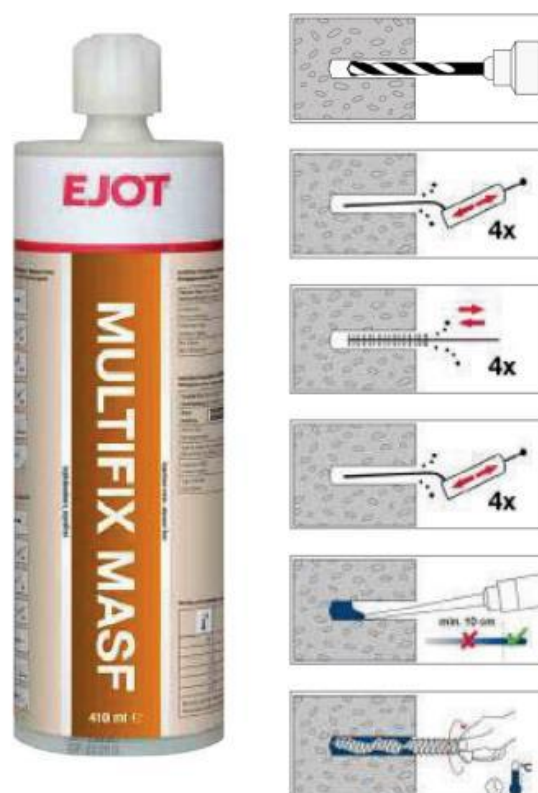
2.6.5.1. Dispositivos de fixação por adesão química

Dentre as soluções disponíveis, os dispositivos de fixação por adesão química, também conhecidos como chumbadores químicos, representam uma tecnologia de alta performance, especialmente em substratos que apresentam desafios para as ancoragens mecânicas tradicionais. A ABNT NBR 14827:2002 define o chumbador de adesão química como um sistema que obtém sua força de ancoragem por meio de um composto químico posicionado

entre a parede do furo e a parte embutida do chumbador. Esse composto, que pode ser uma resina epóxi, poliéster ou materiais cimentícios, endurece por meio de uma reação química. O sistema é tipicamente composto por esta resina e uma barra de aço rosçada ou um vergalhão.

A aplicação dos chumbadores químicos varia fundamentalmente de acordo com a natureza do substrato — se é maciço ou vazado. Para bases sólidas como o concreto, o processo inicia-se com a execução de um furo com o diâmetro especificado, seguida de uma limpeza rigorosa para remover poeira e detritos que possam comprometer a aderência. A resina é então injetada (ou uma ampola é inserida) e a barra de ancoragem é posicionada, promovendo a mistura dos componentes químicos. Já para substratos vazados, como blocos cerâmicos ou de concreto, utiliza-se uma "camisa" plástica ou metálica perfurada que é inserida no furo. A resina é injetada dentro da camisa e, ao extravasar por suas perfurações, trava-se nas paredes internas do bloco, formando uma "bucha" química que garante a fixação. No estudo de caso de Reuter (2020), foi utilizado este método com chumbador químico da marca Ejot Fey em blocos cerâmicos estruturais para a fixação da fachada ventilada, conforme processo exemplificado na Figura 32.

Figura 32 – Exemplo de processo de aplicação de chumbadores químicos



Fonte: EJOT, 2025.

As vantagens dos chumbadores químicos são significativas. Siqueira Jr. (2003) destaca a elevada capacidade de carga, pois a resina distribui as tensões uniformemente ao longo da ancoragem, e a ausência de tensões de expansão no substrato, o que possibilita a aplicação de ancoragens com menores distâncias entre si e em relação às bordas. Em termos de desempenho, Bellei (2006) aponta que a resistência à tração pode variar de 9,3 kN a 168,7 kN, dependendo de fatores como diâmetro da barra, resistência do concreto, profundidade de embutimento e distanciamento entre as fixações.

O desempenho, contudo, é altamente influenciado pela correta execução e pelas características do substrato. Em testes de arrancamento in loco, Reuter (2020) observou que a fixação química em blocos cerâmicos de 7MPa apresentou uma força de ruptura média superior à fixação em blocos de 18MPa. A autora sugere que a maior quantidade de vazios nos blocos de 7MPa permitiu que a resina criasse "buchas" mais robustas e eficientes, otimizando a ancoragem por travamento. Este fato demonstra que, na especificação de sistemas de fachada, a simples consulta a catálogos de fabricantes é insuficiente, sendo fundamental a realização de ensaios de desempenho que considerem as características reais do substrato da obra.

2.6.5.2. Dispositivos de fixação mecânica

Os dispositivos de fixação mecânica são componentes que conectam o sistema de revestimento da fachada ao substrato da edificação, transferindo as cargas por meio de interações físicas como atrito, expansão ou apoio direto. A correta especificação destes sistemas é uma etapa crítica do projeto, pois, conforme Siqueira Jr. (2003), a escolha depende diretamente das propriedades do material de revestimento e da natureza do substrato de ancoragem. A categoria engloba uma vasta gama de soluções, desde chumbadores pré-concretados a dispositivos de pós-instalação, cuja performance é otimizada em substratos de alta confiabilidade como o concreto armado, conforme demonstrado por Reuter (2020). Estes sistemas podem ser classificados de acordo com a geometria e o modo como interagem com as placas, sendo as principais tipologias, que serão detalhadas a seguir: a fixação pontual, a fixação linear, a fixação por encaixe e os sistemas móveis.

2.6.5.2.1. Fixação pontual

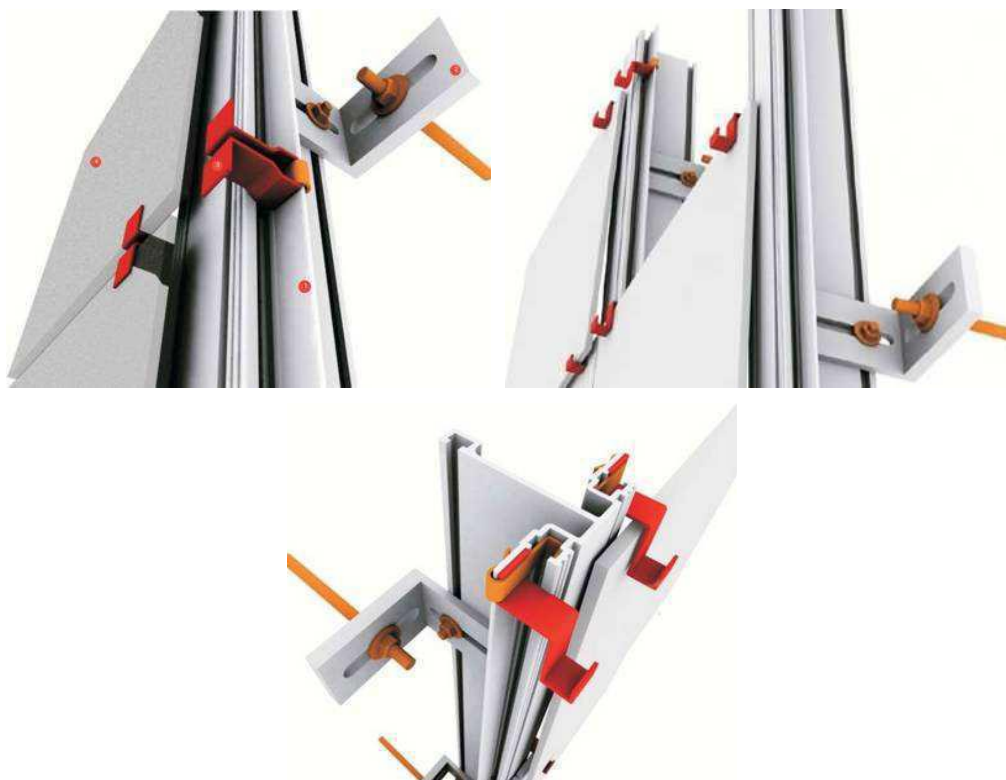
A fixação pontual, também referenciada como ancoragem direta, constitui uma das abordagens mais difundidas para a instalação de fachadas ventiladas, especialmente no cenário

da construção civil brasileira. Este sistema, definido por autores como Siqueira Júnior (2003) e Sousa (2010), caracteriza-se pela aplicação das placas de revestimento diretamente sobre o substrato do edifício — seja ele alvenaria ou concreto — por meio de dispositivos de fixação discretos e individuais, eliminando a necessidade de uma subestrutura auxiliar completa. Conforme aponta Reuter (2020), a principal motivação para sua adoção é a significativa redução de custos. Contudo, essa economia impõe desafios técnicos. Siqueira Júnior (2003) adverte que o sistema exige um controle de qualidade exponencialmente mais rigoroso para cada ponto de ancoragem, a fim de mitigar riscos de falhas e o colapso pontual ou generalizado do revestimento.

As soluções de fixação pontual são classificadas, fundamentalmente, pelo local onde a ancoragem é realizada na placa. Como detalha Reuter (2020) com base em Sousa et al. cite_start, essa divisão ocorre entre a fixação pelos bordos da placa e a fixação pelo seu tardo (a face não aparente). A escolha entre os métodos depende do material de revestimento, sua espessura, dos requisitos estéticos do projeto e das solicitações de cargas atuantes. Siqueira Júnior (2003) distingue que a fixação pelos bordos frequentemente resulta em um "acoplamento visível", enquanto a fixação pelo tardo, também abordada por Sousa (2010), permite um "acoplamento oculto" com acabamento esteticamente mais limpo.

A fixação por grampos é uma das modalidades mais tradicionais de aplicação pelos bordos. Consiste em peças metálicas visíveis que abraçam as placas, funcionando como suporte para as cargas verticais e como retenção contra as forças de sucção do vento. Reuter (2020) destaca o uso de grampos mecânicos reforçados para placas mais pesadas, que permitem ajustes tridimensionais para garantir o alinhamento e a planicidade da fachada. Sousa (2010) também descreve este sistema, confirmando sua aplicabilidade para diferentes tipos de revestimentos, desde que a estética de fixação aparente seja aceita pelo projeto. A Figura 33, exemplifica o sistema de fixação por grampos visíveis.

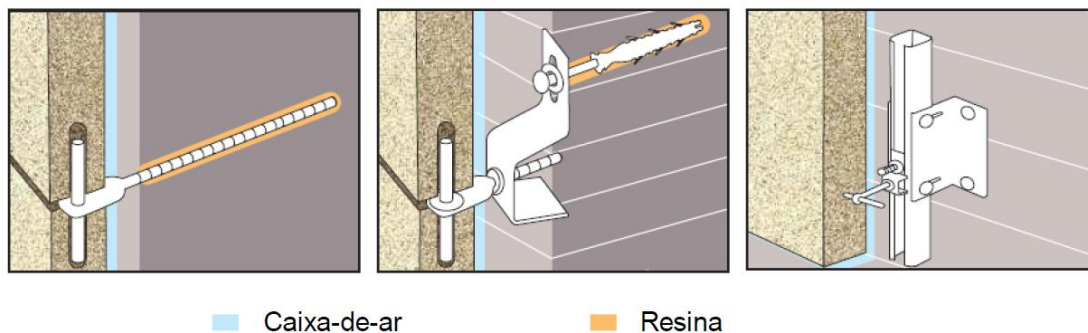
Figura 33 – Sistema de fixação por grampos visíveis



Fonte: Direito, 2011

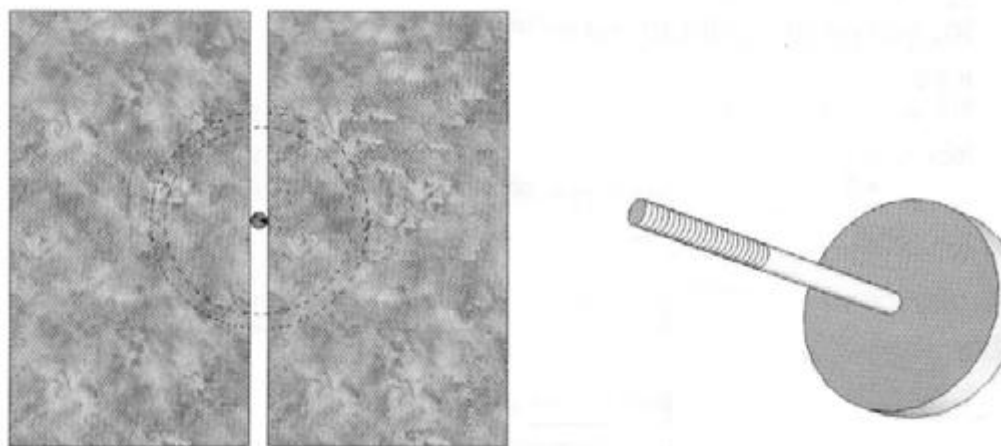
Outra modalidade de fixação pelos bordos é a que utiliza cavilhas e discos. As cavilhas, segundo a análise de Reuter (2020), operam de forma análoga a pinos ou pregos para resistir a esforços de corte. O comportamento mecânico deste tipo de ancoragem foi analisado em profundidade por Sousa (2010), que explica que, em juntas verticais, as cavilhas devem resistir tanto ao peso próprio da placa quanto às ações horizontais. Já em juntas horizontais, as cavilhas resistem apenas aos esforços horizontais, uma vez que o peso da placa descarrega diretamente no varão de sustentação. Uma evolução deste sistema, conforme ambas as fontes, inclui a incorporação de discos, que aumentam a área de contato e oferecem maior resistência aos esforços de vento e sismos, sendo uma solução indicada para revestimentos mais pesados. A Figura 34 e 35 , retratam a fixação utilizando cavilhas e discos respectivamente

Figura 34 – Sistema de fixação por cavilhas



Fonte: Sousa, 2010

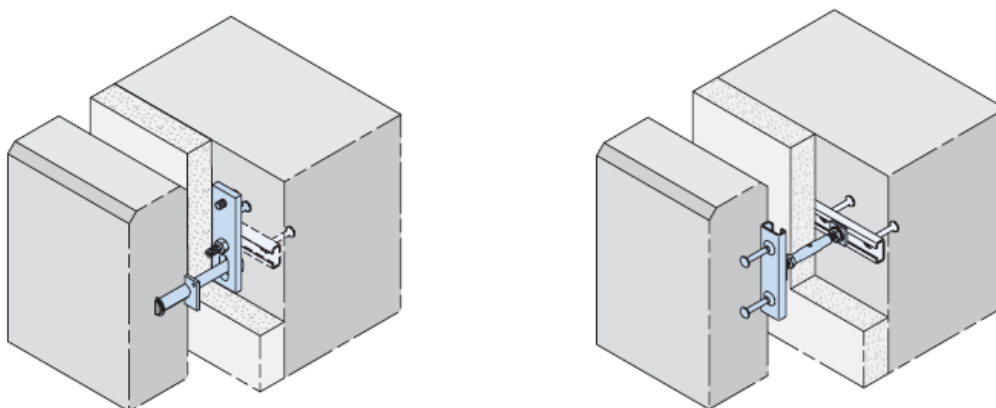
Figura 35 – Sistema de fixação por discos



Fonte: Sousa, 2010

A fixação pelo tardo, abrange diversas técnicas de ancoragem na face posterior das placas. Sousa (2010) aprofunda a análise deste método, detalhando múltiplas soluções, cada uma adequada a um tipo específico de revestimento e solicitação. Entre as variações, o autor descreve a ancoragem por pernos ajustáveis, indicada para revestimentos leves, que se expandem dentro de furos para fixar as placas por pressão radial, como mostra a Figura 36.

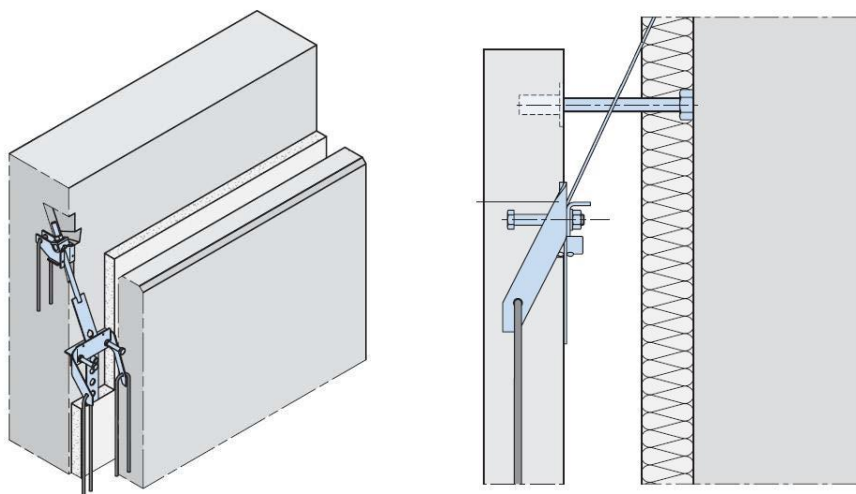
Figura 36 – Ancoragem no tardo por pernos ajustáveis



Fonte: Sousa, 2010

O sistema de suspensão, por sua vez, é projetado para placas mais pesadas, onde o painel é pendurado em um perfil metálico previamente fixado em seu tardo, como exemplificado na Figura 37.

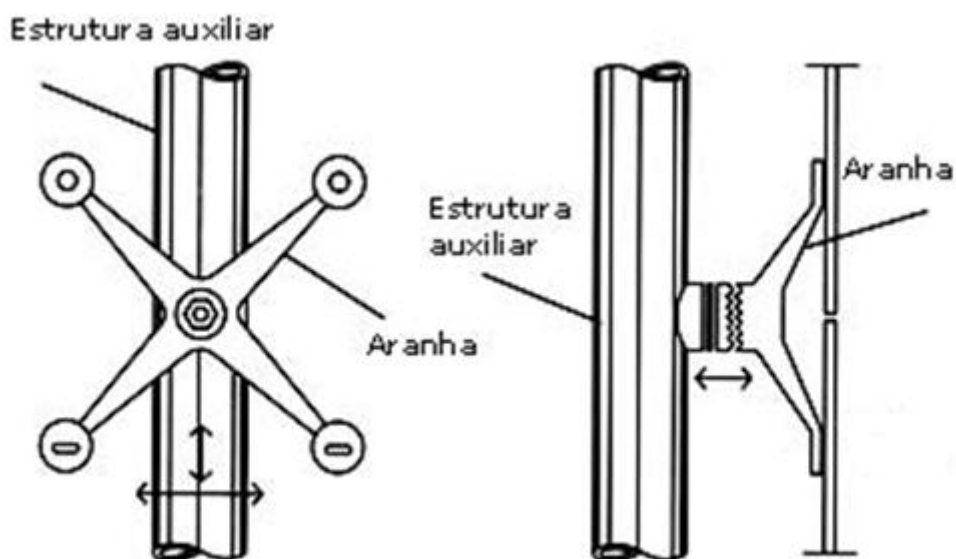
Figura 37 – Ancoragem no tardo por sistema de suspensão



Fonte: Sousa, 2010

Os sistemas de aperto (como a "fixação aranha") são empregados em materiais leves e transparentes como o vidro e o plástico por seu apelo estético e mínima obstrução visual, conforme detalhado na Figura 38.

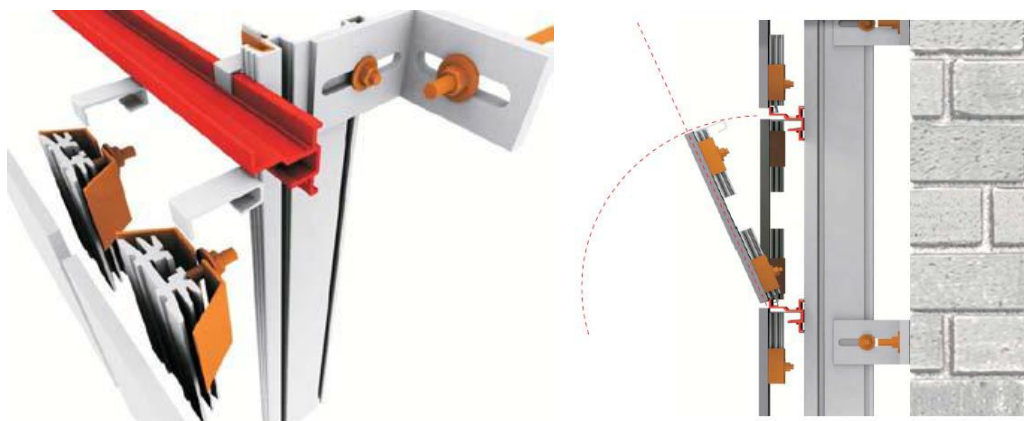
Figura 38 – Ancoragem no tardo por sistema de aperto



Fonte: Sousa, 2010

Já a ancoragem por ganchos encaixa-se em rasgos executados no tardo de materiais, permitindo o acoplamento a uma subestrutura, como ilustrado na Figura 39. Siqueira Júnior (2003) elucida que a execução da maioria destes métodos exige um preparo prévio da placa, como a realização de furos ou rasgos específicos, mas que o resultado é um acabamento limpo, sem elementos de fixação aparentes.

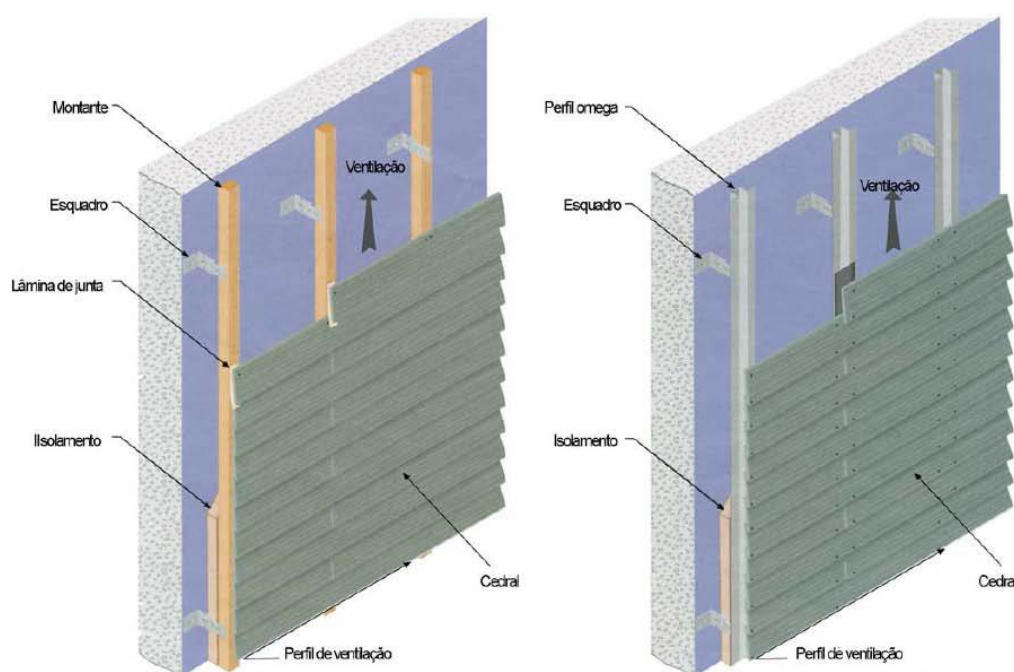
Figura 39 – Ancoragem no tardo por ganchos



Fonte: Sousa, 2010

Adicionalmente, um método de fixação direta amplamente utilizado, especialmente para revestimentos em madeira ou metálicos, é a fixação por parafusos ou rebites. Sousa (2010) distingue os dois elementos: o parafuso é um eixo com sulco helicoidal fixado por rotação, enquanto o rebite é um cilindro fixado pela deformação de sua extremidade. Este sistema pode ser aplicado sobre subestruturas de madeira, utilizando-se parafusos, ou sobre subestruturas metálicas (com perfis tipo "ômega", "L", "U" ou "Z"), onde tanto parafusos quanto rebites são viáveis, como exemplificado na Figura 40.

Figura 40 – Ripado de madeira fixada por parafusos ou rebites



Fonte: Sousa, 2010

2.6.5.2.2. Fixação linear

A fixação linear representa uma evolução do conceito de ancoragem, na qual os esforços do revestimento são transferidos para a estrutura de suporte ao longo de uma linha contínua, em vez de pontos discretos. Segundo Sousa (2010), este sistema se assemelha funcionalmente à ancoragem por grampos, com a diferença fundamental de que o perfil de suporte é contínuo ao longo de todo o bordo do elemento de revestimento, garantindo tanto a sustentação do peso próprio quanto a fixação contra as ações do vento. Esta abordagem resulta, tipicamente, em uma fixação oculta, contribuindo para uma estética de fachada limpa e homogênea.

A aplicação da ancoragem linear é particularmente indicada para revestimentos pesados e de espessura considerável, como placas de pedra natural, concreto ou determinados produtos cerâmicos. Conforme explicam Sousa (2010) e Reuter (2020), a viabilidade do sistema depende da capacidade do material de revestimento de possuir um entalhe ou uma ranhura contínua em seus bordos, onde o perfil de fixação se encaixará. Essa exigência de usinagem torna a espessura e a resistência mecânica da placa fatores críticos para a segurança e durabilidade da solução.

Reuter (2020), com base em Sousa et al. (2016), elucida que a fixação linear pode ser executada de duas maneiras distintas: segundo os bordos horizontais ou os verticais. A fixação linear horizontal é a mais comum, empregando perfis em forma de calha que suportam as placas em suas extremidades superior e inferior. Estes perfis ficam ocultos dentro das ranhuras contínuas do revestimento, como exemplificado na Figura 41. Por outro lado, a fixação linear vertical é descrita pela mesma autora como uma solução menos frequente, geralmente restrita a revestimentos metálicos com bordos nervurados, nos quais perfis de travamento verticais garantem a fixação a uma subestrutura.

Figura 41 – Ancoragem linear



Fonte: Sousa, 2010

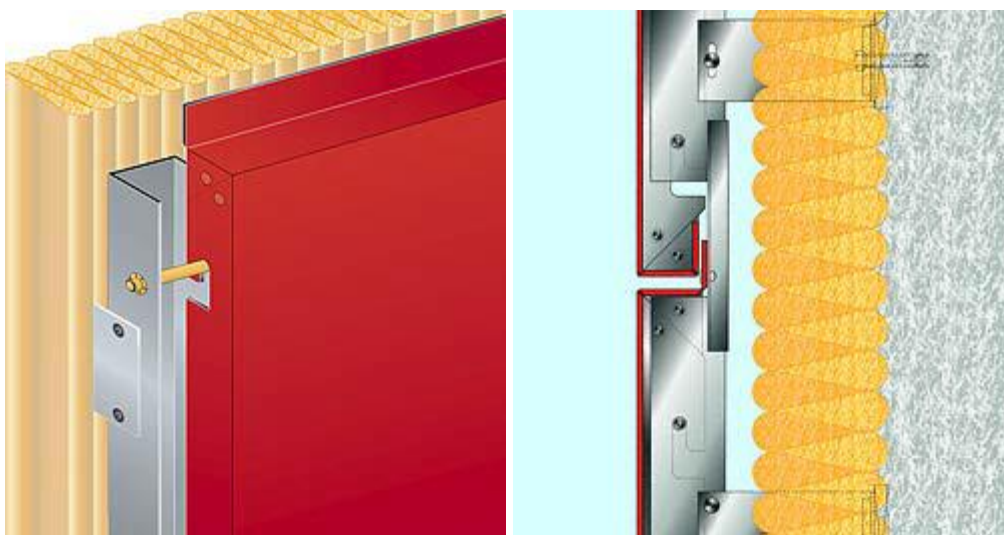
2.6.5.2.3. Fixação por encaixe

O sistema de fixação por encaixe representa uma solução construtiva com alto grau de industrialização, na qual a conexão entre o revestimento e a subestrutura é realizada através da geometria das próprias placas. Conforme descreve Sousa (2010), este método proporciona uma "montagem ágil" que reduz consideravelmente o tempo de execução em obra, sendo aplicável quase que exclusivamente a revestimentos metálicos, com algumas soluções específicas para

cerâmicos e plásticos. O princípio de funcionamento baseia-se na conformação de painéis com dobras ou entalhes que permitem seu acoplamento direto a uma subestrutura, dispensando fixadores externos. Dentre as variações deste sistema, Sousa (2010) destaca duas implementações principais: o sistema tipo "cassette" e a fixação de "lâminas".

O sistema de encaixe tipo "cassette" é uma das implementações mais comuns. Nesta solução, as bordas de um painel metálico são dobradas para formar uma caixa (ou cassete), que pode então ser encaixada ou suspensa em perfis de suporte específicos, como ilustrado na Figura 42. Este método garante uma fixação oculta e segura, sendo ideal para criar fachadas com painéis de grandes dimensões, resultando em superfícies planas e de estética contínua.

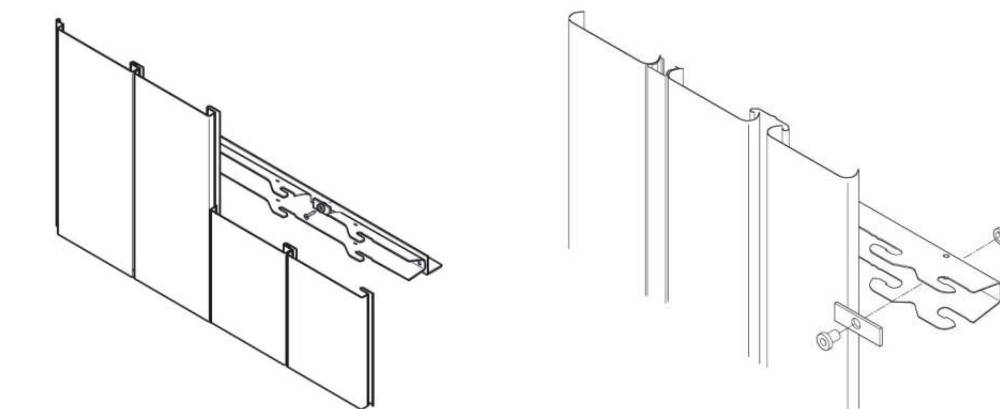
Figura 42 – Sistema de encaixe do tipo cassette



Fonte: Sousa, 2010

De forma similar, o sistema de encaixe para lâminas utiliza o mesmo princípio de geometria para acoplamento, mas aplicado a elementos lineares e estreitos. Esta variação é frequentemente utilizada para criar efeitos de brise, fachadas com texturas lineares ou para revestir superfícies curvas, onde as lâminas são encaixadas individualmente em perfis de suporte verticais. A Figura 43 exemplifica esse sistema.

Figura 43 – Sistema de encaixe de lâminas na vertical



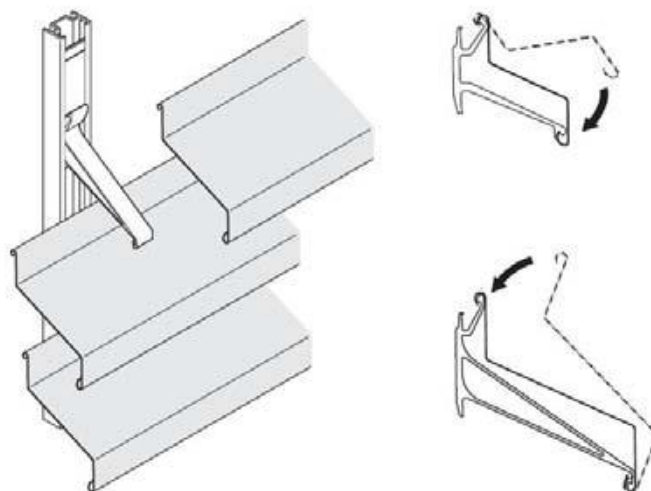
Fonte: Sousa, 2010

2.6.5.2.4. Sistemas móveis

Os sistemas que utilizam lâminas (ou brises) como elemento de revestimento representam uma categoria particular de fachada ventilada, que combina função estética com desempenho ambiental. A origem destes sistemas, como explica Sousa (2010), remonta às soluções de proteção solar que foram expandidas para compor a totalidade da envolvente do edifício, permitindo criar fachadas com texturas lineares e, ao mesmo tempo, controlar a incidência de radiação solar. Dentro desta categoria, destacam-se duas abordagens principais: os sistemas de lâminas simples fixadas por encaixe e os sistemas de lâminas aerodinâmicas, que podem ser fixas ou móveis.

A primeira abordagem utiliza lâminas simples fixadas por encaixe, um sistema estático que se beneficia da agilidade de montagem. Neste método, os elementos de revestimento, geralmente com um perfil metálico simples, são acoplados por pressão ou deslize em perfis de suporte verticais, como ilustrado na Figura 44. Trata-se de uma aplicação direta do princípio de "fixação por encaixe", no qual a geometria da própria peça garante a sua fixação, resultando em uma instalação rápida e um acabamento limpo e oculto.

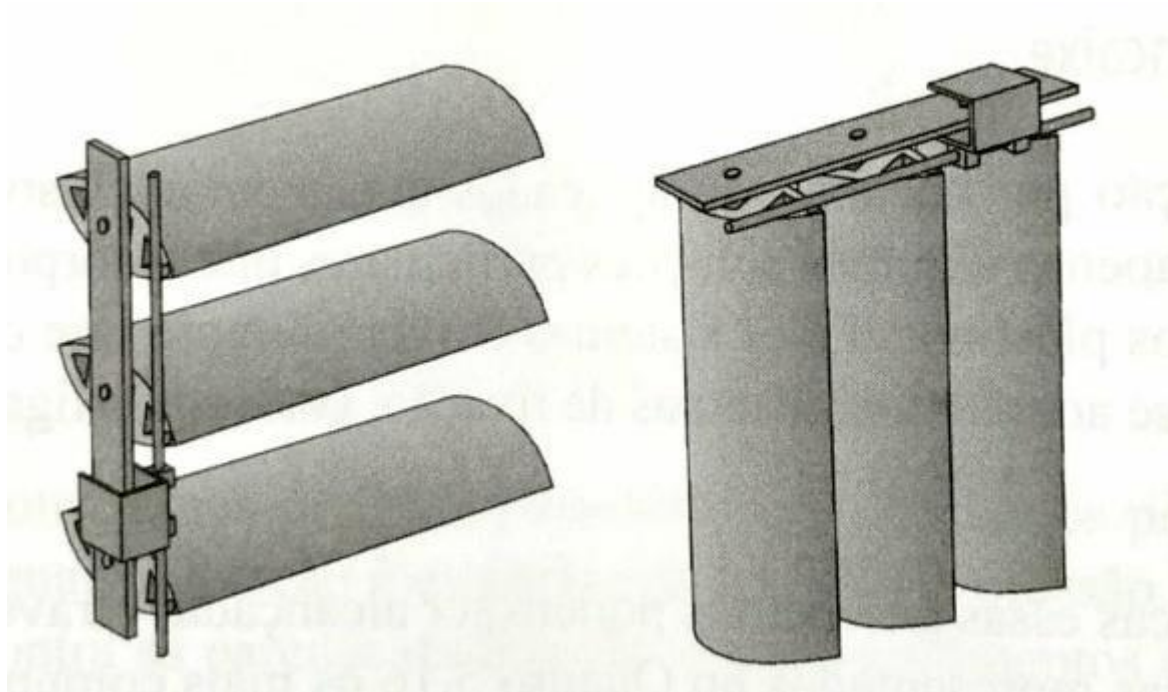
Figura 44 – Lâminas simples fixadas por encaixe



Fonte: Sousa, 2010

A segunda vertente, mais complexa, emprega lâminas de perfil aerodinâmico, que podem ser instaladas de duas formas distintas: fixas em um ângulo pré-determinado ou móveis. É esta versão móvel que constitui um verdadeiro sistema dinâmico de fachada. Sousa (2010) esclarece que, nesta configuração, as lâminas podem girar em seu próprio eixo, permitindo um controle ativo sobre as condições de luminosidade e ventilação no interior do edifício. Contudo, a implementação destes sistemas dinâmicos acarreta exigências específicas. Tanto Sousa (2010) quanto Reuter (2020) advertem para a necessidade de fontes de alimentação para a sua operação, um gasto energético superior durante a vida útil do edifício e a demanda por mão de obra especializada para a montagem e manutenção dos seus complexos mecanismos de movimentação. A Figura 45 detalhe esse tipo de sistema.

Figura 45 – Aerodinâmicas fixas e móveis

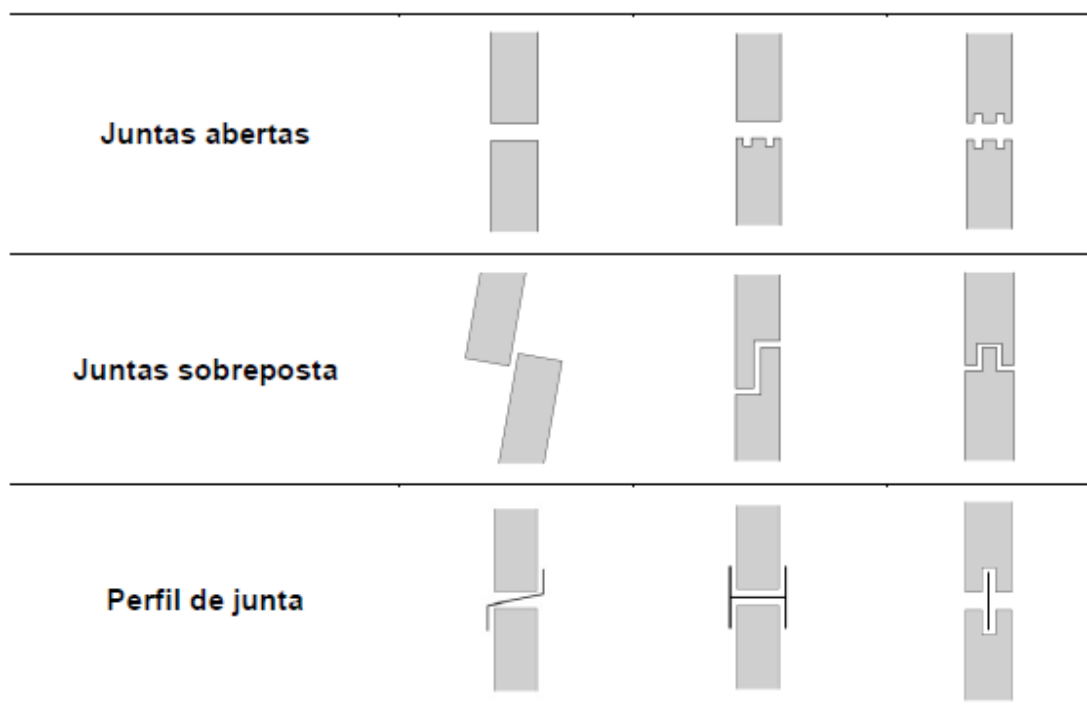


Fonte: Sousa et al., 2016.

2.6.6. Juntas entre elementos de revestimento

As juntas entre os elementos de revestimento são um componente de fundamental importância para o funcionamento e a durabilidade de uma fachada ventilada. Segundo Direito (2011), as juntas desempenham uma dupla função essencial: por um lado, devem ser capazes de absorver as deformações de origem estrutural e as movimentações de expansão e retração dos próprios materiais; por outro, são um elemento chave para garantir a estanqueidade do sistema. Sousa (2010) classifica as soluções de juntas em três tipologias principais: juntas abertas, juntas sobrepostas e juntas com perfil. Em sistemas de fachada ventilada, o preenchimento das juntas com selantes é geralmente evitado, pois isso impediria a livre circulação de ar na câmara, inviabilizando o "efeito chaminé". A Figura 46, exemplifica as tipologias de juntas

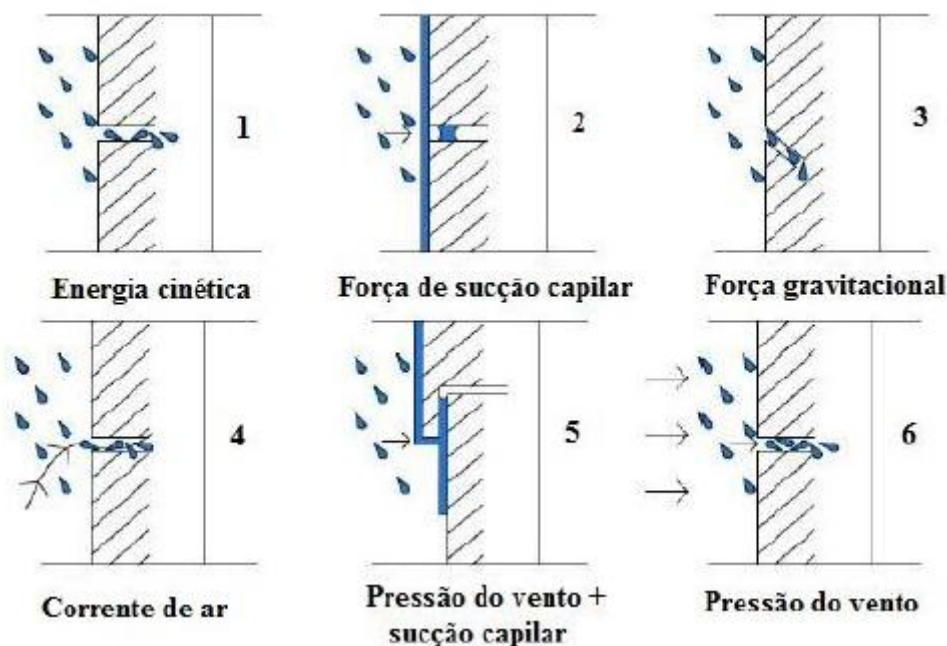
Figura 46 – Tipologia das juntas



Fonte: Sousa, 2010

As juntas abertas, embora sejam a solução mais simples e eficaz para acomodar movimentações, representam um desafio significativo para a estanqueidade. A penetração de água através delas não ocorre de forma passiva; é necessária a combinação de três fatores simultâneos, conforme descrito por Cruz (2019): a presença de água na superfície, a existência de uma abertura (a junta) e a atuação de uma ou mais forças que impulsionem a água para o interior. Estas forças, que podem atuar isoladamente ou em conjunto, são: gravidade, quantidade de movimento (energia cinética), tensão superficial, capilaridade e pressão do vento. A Figura 47 ilustra as forças que produzem penetração da chuva.

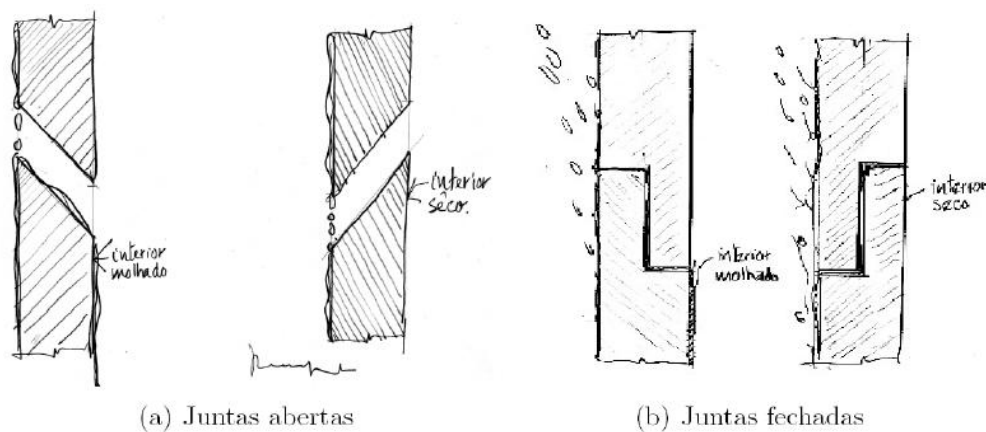
Figura 47 – Forças que produzem penetração da chuva



Fonte: Cruz, 2019

A penetração por gravidade é o mecanismo mais simples e ocorre quando a geometria da junta, especialmente a horizontal, possui uma inclinação para o interior da fachada. Esta falha de projeto direciona o escoamento da água diretamente para a câmara de ar, como detalhado na Figura 48. A prevenção, como apontado por Cruz (2019), baseia-se em detalhes arquitetônicos como peitoris e rufos com inclinação para o exterior e a inclusão de pingadeiras, que forçam o descolamento da gota d'água da superfície.

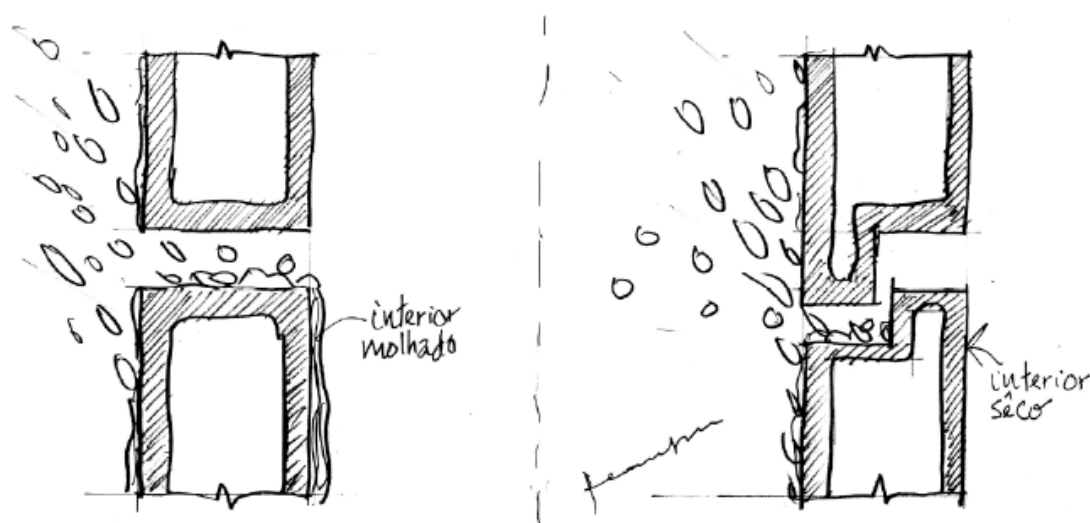
Figura 48 – Penetração da água pelo efeito gravidade



Fonte: Direito, 2011

A penetração por quantidade de movimento, ou energia cinética, acontece quando a chuva, impulsionada pelo vento, atinge a fachada com velocidade e ângulo suficientes para que as gotas atravessem a abertura da junta e atinjam a câmara de ar, como é ilustrado na Figura 49. Este efeito é mais pronunciado em juntas largas e sob chuvas intensas. Sousa (2010) indica que soluções como juntas sobrepostas ou em labirinto são eficazes para mitigar este problema, pois criam uma barreira física que interrompe a trajetória das gotas d'água.

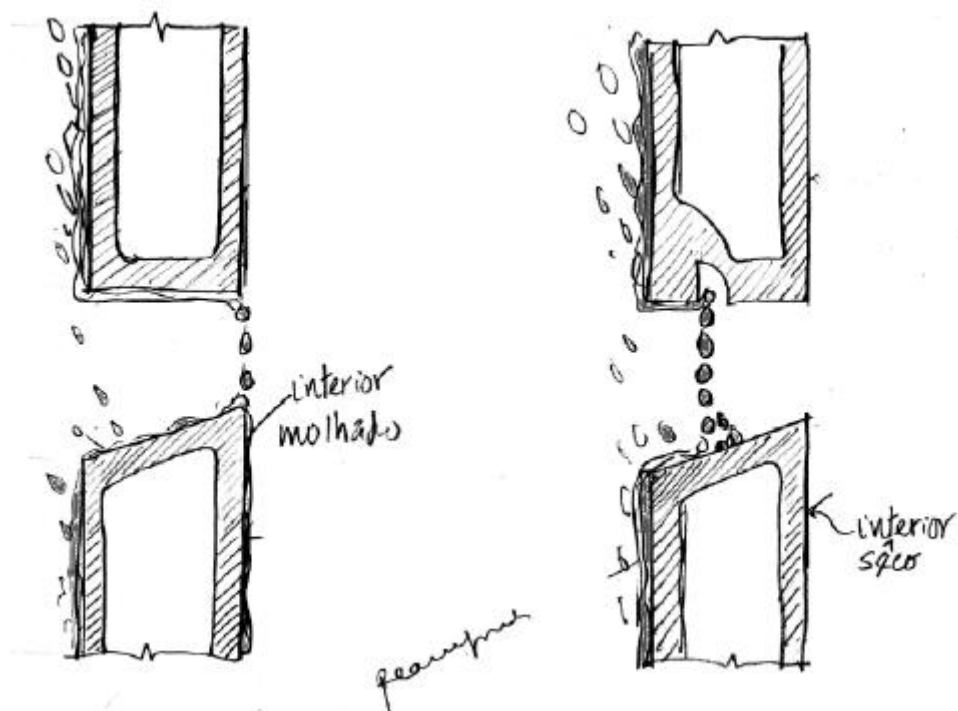
Figura 49 – Penetração da água pelo efeito da quantidade de movimento



Fonte: Direito, 2011

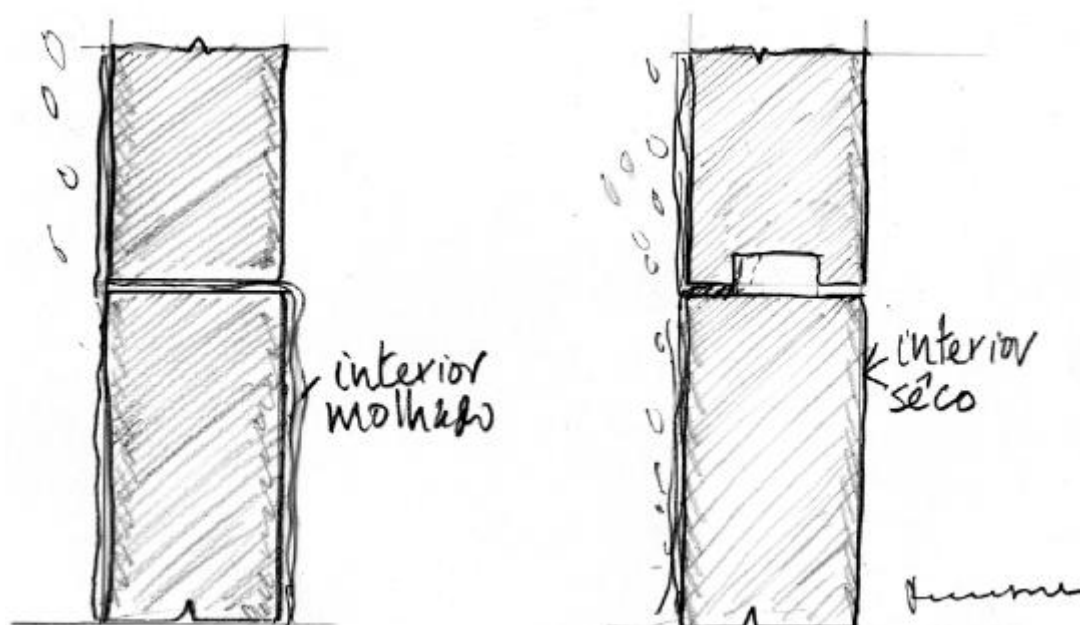
A tensão superficial e a capilaridade são fenômenos relacionados às propriedades físico-químicas da água. A tensão superficial permite que a água que escorre pela face do revestimento adira à superfície inferior de uma junta horizontal, sendo então "puxada" para dentro da cavidade, como exemplificado na Figura 50. A capilaridade, por sua vez, ocorre em juntas muito estreitas, onde as forças de adesão e coesão da água fazem com que ela seja aspirada para dentro da fresta, de forma análoga a um pavio. Para evitar a capilaridade, Direito (2011), recomenda que as juntas tenham uma largura mínima de 3 mm. A Figura 51 mostra a penetração da água pelo efeito da capilaridade.

Figura 50 – Penetração da água pelo efeito da tensão superficial



Fonte: Direito, 2011

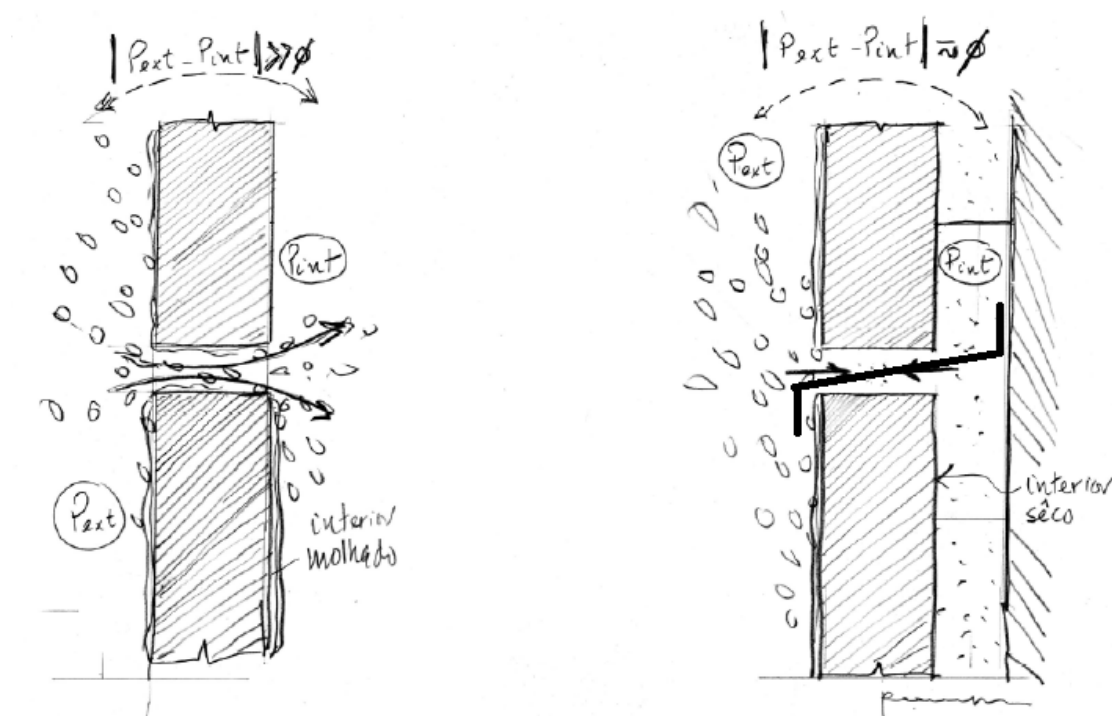
Figura 51 – Penetração da água pelo efeito da capilaridade



Fonte: Direito, 2011

Finalmente, a pressão do vento é frequentemente a força mais significativa na infiltração de água. O vento cria uma zona de alta pressão na face externa da fachada e uma zona de baixa pressão relativa na câmara de ar, e essa diferença de pressão empurra a água através de quaisquer aberturas. A principal estratégia para neutralizar esta força é o próprio princípio da fachada ventilada: as aberturas na base e no topo permitem que o ar entre na cavidade e equalize a pressão com o exterior. Quando a pressão é equilibrada, a principal força motriz para a infiltração de água é eliminada, garantindo o bom desempenho do sistema. A Figura 52 ilustra o controle de penetração da água pelo efeito da ação do vento.

Figura 52 – Controle de penetração da água pelo efeito da ação do vento



Fonte: Direito, 2011

2.6.7. Revestimento exterior

Segundo Sousa (2010), o revestimento exterior constitui um componente fundamental no sistema de fachada ventilada, desempenhando um papel crucial tanto na definição estética quanto no desempenho técnico do edifício. Atuando como a "pele" da edificação, ele desempenha múltiplas funções, sendo a mais imediata a de proteção, ao servir como uma barreira física que defende os componentes internos da parede — como a camada de isolamento

térmico e a estrutura de suporte — contra a ação de intempéries como chuva, vento e radiação solar.

Adicionalmente, o revestimento é um elemento chave para o desempenho térmico do sistema. Conforme aponta Direito (2011), em conjunto com a câmara de ar, ele auxilia na redução da carga térmica sobre o edifício, pois o fluxo de ar contínuo na cavidade, conhecido como "efeito chaminé", dissipa o calor acumulado e contribui para a otimização energética. A segurança é outra função crítica, especialmente no que tange ao comportamento do material em caso de incêndio. A esse respeito, a utilização de revestimentos incombustíveis ou com boa classificação de reação ao fogo pode ser determinante para retardar a propagação das chamas pela fachada (Direito, 2011). Por fim, no campo estético, o material define a identidade visual do edifício, impactando diretamente sua valorização econômica e sua inserção no contexto urbano (Sousa, 2010).

A seleção do material de revestimento, portanto, reverbera por todo o projeto, influenciando a durabilidade e a eficiência do sistema. A escolha impacta diretamente, por exemplo, o dimensionamento da subestrutura de fixação. Como detalhado por Sousa (2010), materiais de maior peso próprio, como a pedra natural ou o concreto, demandam sistemas de ancoragem mais robustos. Em contrapartida, soluções mais leves, a exemplo dos painéis de alumínio composto ou placas de fibrocimento (naturocimento), podem permitir o uso de estruturas de suporte mais esbeltas, otimizando o tempo e a logística da montagem.

2.6.7.1. Cerâmico







O uso de placas cerâmicas em fachadas ventiladas é uma solução tecnológica moderna e consolidada, que evoluiu de peças de pequenas dimensões para placas de grande formato, tornando-se uma opção bastante competitiva (Sousa, 2010). Conforme descrito por Cunha (2006), os materiais cerâmicos para esta finalidade são obtidos principalmente por dois processos: a extrusão, que origina produtos como a terracota e o klinker, e a prensagem a seco, utilizada para fabricar o grés porcelânico.

O grés porcelânico, em particular, destacou-se no mercado como um forte concorrente da pedra natural. Suas principais vantagens, segundo Cunha (2006), incluem um baixíssimo índice de absorção de água (inferior a 0,5%), menor peso, maior homogeneidade e menor propensão ao aparecimento de manchas, o que se traduz em maior durabilidade e menores exigências de manutenção.

Em termos de desempenho, os revestimentos cerâmicos apresentam características muito favoráveis. Do ponto de vista da segurança, são classificados como materiais incombustíveis, geralmente com a Euroclasse A1, indicando que não contribuem para a propagação de incêndios (Direito, 2011). Adicionalmente, seu comportamento frente à ação do vento e a impactos é considerado bom. Para aumentar a segurança, Cunha (2006) menciona a prática de aplicar uma tela de fibra de vidro no tardo de peça, que impede a projeção de fragmentos em caso de quebra.

Os sistemas de fixação para as placas cerâmicas são variados, podendo ser visíveis, como a ancoragem por grampos, ou ocultos, utilizando-se fixações no tardo de ou na espessura da placa, além de sistemas de encaixe e ancoragem linear (Sousa, 2010). O Quadro 2 apresenta as formas e fixações para revestimentos cerâmicos.

Quadro 2 – Controle de penetração da água pelo efeito da ação do vento

	Forma	Fixação	Forma	Fixação
Placa ou Lâmina		<ul style="list-style-type: none"> – Ancoragem por grampos – Ancoragem Linear 		<ul style="list-style-type: none"> – Ancoragem por grampos – Sistema de encaixe
Lâmina		<ul style="list-style-type: none"> – Fixação para lâminas fixas 		<ul style="list-style-type: none"> – Fixação para lâminas fixas – Fixação para lâminas móveis
Placas sobrepostas		<ul style="list-style-type: none"> – Ancoragem por grampos 		<ul style="list-style-type: none"> – Ancoragem por grampos

Fonte: Sousa, 2010.

2.6.7.2. Fenólico

Os painéis fenólicos são placas compostas, fabricadas a partir de lâminas de papel (geralmente kraft) impregnadas com resinas fenólicas. Esse núcleo é submetido a um processo

de alta pressão e temperatura, resultando em um material de elevada rigidez e resistência (Direito, 2011).

A superfície visível do painel é geralmente composta por uma folha decorativa, que pode ser uma folha de madeira natural ou papel com padrões e cores variados. Essa camada é protegida por uma película externa, também tratada com resinas, que confere resistência contra intempéries. Essa versatilidade permite que os painéis fenólicos sejam utilizados em grandes formatos, geralmente retangulares, com uma vasta gama de acabamentos estéticos (Sousa, 2010).

Apesar de sua boa resistência mecânica, Sousa (2010) destaca uma vulnerabilidade importante: a durabilidade de sua aparência pode ser comprometida pela exposição prolongada à radiação ultravioleta, que tende a degradar as cores ao longo do tempo. A fixação destes painéis na subestrutura da fachada pode ser realizada tanto de forma visível, com o uso de parafusos ou rebites, quanto oculta, através de sistemas de ancoragem no tardo do painel ou por meio de encaixes específicos (Direito, 2011).

2.6.7.3. Vidro

A utilização do vidro como revestimento em fachadas ventiladas cria um efeito visual que se assemelha ao de uma fachada-cortina, embora seu sistema construtivo seja distinto (Sousa, 2010). Conforme aponta Direito (2011), esta solução pode ser abordada de duas maneiras: como uma "pele" exterior não estrutural, geralmente em vidro laminado fixado a perfis de alumínio, ou com uma função estrutural, na qual o sistema de suporte fica totalmente oculto.

A escolha do tipo de vidro — seja ele temperado, laminado, impresso ou refletivo — é determinante para o efeito estético e para o controle de luz e calor. Uma das grandes vantagens deste sistema é a possibilidade de incorporar proteções solares, como cortinas venezianas, diretamente na câmara de ar, permitindo um controle dinâmico da luminosidade e dos ganhos solares (Direito, 2011).

O vidro pode ser aplicado tanto em grandes painéis retangulares quanto em lâminas. Os métodos de fixação mais comuns incluem sistemas de caixilharia, ancoragens pontuais no tardo do vidro (fixação tipo "aranha") ou sistemas específicos para lâminas, que podem ser fixas ou móveis (Sousa, 2010).

2.6.7.4. Metal

O metal é um material de grande versatilidade e aplicação em fachadas ventiladas, sendo o aço inoxidável e, principalmente, o alumínio, os mais utilizados. Outros metais como cobre e zinco também são empregados, cada um com suas características estéticas e de durabilidade próprias (Sousa, 2010).

Segundo Direito (2011), o alumínio se destaca por ser um material leve, resistente e durável, com uma notável plasticidade que facilita sua conformação em obra. Essa flexibilidade permite a criação de painéis com diversas formas e acabamentos, que vão além das superfícies lisas, incluindo painéis estampados, perfurados ou perfilados, oferecendo uma vasta gama de possibilidades estéticas para a fachada (Sousa, 2010).

Uma das soluções mais comuns são os painéis de alumínio composto, que consistem em duas chapas de alumínio com um núcleo de polietileno ou resinas termoplásticas. Essa composição resulta em painéis leves e rígidos (Direito, 2011). Contudo, é fundamental atentar para o comportamento ao fogo desses materiais. Como alerta Direito (2011), o núcleo de polietileno é combustível e, em caso de incêndio, pode derreter, entrar em combustão e contribuir para a rápida propagação das chamas pela fachada.

Os sistemas de fixação para os painéis metálicos podem ser visíveis, com o uso de parafusos e rebites, ou ocultos, como no sistema de "cassetes", onde as dobras nas bordas do painel permitem o encaixe em uma subestrutura, conferindo um acabamento visualmente limpo (Sousa, 2010).

2.6.7.5. Naturocimento

O naturocimento surge como uma evolução do fibrocimento tradicional, desenvolvido como uma resposta às preocupações ecológicas e de saúde, sendo isento de amianto. Segundo Sousa (2010), sua composição inclui cimento Portland, fibras de reforço (como álcool polivinílico - PVA e celulose), sílica, aditivos e água.

Uma das suas principais vantagens é a versatilidade de formas. Além de ser utilizado em painéis planos e lâminas, o naturocimento pode ser moldado em chapas perfiladas e em peças especiais para o arremate de cantos, uma flexibilidade que o distingue de materiais mais rígidos como a pedra ou o concreto (Sousa, 2010).

Os painéis podem receber coloração na própria massa ou em sua superfície, com acabamentos que variam do liso ao areado, ou até mesmo imitando a textura da madeira. Quanto

à sua instalação, além dos métodos de ancoragem comuns a outros painéis, as placas de naturocimento de espessura reduzida podem ser fixadas diretamente à subestrutura com o uso de parafusos (Sousa, 2010).

2.6.7.6. Concreto

O concreto é um material robusto para o revestimento de fachadas, mas seu uso em painéis de grandes dimensões enfrenta como principal desafio o elevado peso próprio das soluções tradicionais (Direito, 2011). Para contornar essa limitação, a indústria desenvolveu compósitos mais leves e com desempenho otimizado.

Uma das soluções mais inovadoras é o Concreto Reforçado com Fibra de Vidro (GRC), que, segundo Sousa (2010), consiste em uma matriz cimentícia reforçada com fibras de vidro. Essa tecnologia permite a fabricação de painéis de grandes dimensões com espessura reduzida (entre 10 e 15 mm), boa resistência à tração e ao impacto. Outra alternativa é o concreto polímero, um compósito de agregados (como sílica e quartzo) ligados por resinas de poliéster, que resulta em elementos mais leves, com resistência mecânica superior e baixíssima absorção de água quando comparado ao concreto convencional (Direito, 2011).

Os painéis de concreto podem ser planos ou nervurados, sendo que as nervuras são frequentemente utilizadas em peças de GRC para aumentar a rigidez sem adicionar peso significativo. Os sistemas de fixação para os painéis de concreto são, em geral, semelhantes aos utilizados para a pedra natural, incluindo ancoragens por pinos (cavilhas) e sistemas de ancoragem oculta no tardo da placa (Sousa, 2010).

2.6.7.7. Rocha Natural

A rocha natural é uma solução de revestimento tradicionalmente utilizada em fachadas ventiladas, valorizada pela sua elevada resistência e durabilidade (Direito, 2011). Dentre os tipos mais comuns, destacam-se o granito, o mármore, os calcários e a ardósia, cada um com diferentes possibilidades de acabamentos superficiais, como polido, amaciado ou flamejado (Sousa, 2010).

O principal ponto de atenção ao especificar a rocha natural é o seu comportamento frente à água. Segundo Cunha (2006), muitos materiais pétreos absorvem água por capilaridade devido à sua porosidade. Essa retenção de água pode comprometer a durabilidade da pedra, pois o congelamento da água nos poros pode provocar a ruptura do material e sua consequente

desagregação (Direito, 2011). Além disso, a água pode dissolver sais presentes na pedra que, ao serem transportados para a superfície, cristalizam e dão origem a manchas por eflorescência (Cunha, 2006).

Os sistemas de fixação para placas de pedra são robustos e frequentemente utilizam ancoragens pontuais, que são inseridas diretamente em furos ou rasgos executados na espessura ou no tardo da peça. Cunha (2006) ressalta que essa operação deve ser realizada por mão de obra especializada e com equipamento apropriado, nunca em canteiro de obra, para não comprometer a integridade da placa. Para este tipo de fixação, recomenda-se que as placas de pedra natural tenham uma espessura mínima de 30 mm (Cunha, 2006).

2.6.7.8. Caracterização do revestimento porcelanato

O porcelanato é definido pela norma ABNT NBR ISO 13006:2020 como uma placa cerâmica prensada a seco, totalmente vitrificada e com baixíssima absorção de água, pertencente ao Grupo BIa. Esta classificação é a mais nobre e exigente da norma, destinada a produtos de alto desempenho.

As propriedades que o caracterizam são rigorosamente especificadas. A absorção de água deve ser igual ou inferior a 0,5%. De acordo com o Anexo G da referida norma, o porcelanato (Grupo BIa) deve apresentar um módulo de resistência à flexão de, no mínimo, 35 N/mm² e uma carga de ruptura de, no mínimo, 1300 N para placas com espessura igual ou superior a 7,5 mm.

Essas características técnicas conferem ao porcelanato vantagens importantes sobre materiais como a pedra natural, incluindo menor massa, maior homogeneidade de cor e aspecto, e menor necessidade de controle de qualidade no recebimento do material, conforme detalhado por Cunha (2006). A tecnologia de produção atual permite a fabricação de placas de grandes formatos com alta precisão dimensional, o que é fundamental para a perfeita paginação e montagem em sistemas de fachada (Sousa, 2010).

2.6.7.8.1. Porcelanatos de fina espessura

Os porcelanatos de fina espessura são uma evolução tecnológica desenvolvida para atender à demanda por materiais de revestimento mais leves e versáteis. Com espessuras que podem ser de 7,5 mm ou menos, sua principal vantagem é a drástica redução de peso por metro

quadrado, o que facilita o transporte, o manuseio em canteiro e pode permitir a especificação de uma estrutura de suporte mais esbelta (Sousa, 2010).

O comportamento mecânico desses produtos é um ponto de atenção na normalização. A ABNT NBR ISO 13006:2020, por exemplo, estabelece um requisito de carga de ruptura diferente para placas com espessura inferior a 7,5 mm. Enquanto as placas mais espessas devem resistir a uma carga mínima de 1300 N, para as de menor espessura o requisito é de, no mínimo, 700 N.

Essa distinção normativa evidencia que, embora mantenham as excelentes características de superfície, os porcelanatos de fina espessura possuem um comportamento mecânico particular. Sua especificação em fachadas ventiladas exige uma análise criteriosa da documentação técnica do fabricante e, principalmente, o uso de sistemas de fixação projetados especificamente para acomodar a maior flexibilidade e as características próprias desses painéis, garantindo a segurança e o desempenho do sistema a longo prazo.

2.6.8. Impermeabilização do substrato

Embora o sistema de fachada ventilada seja concebido para que o revestimento externo atue como a principal barreira contra a água da chuva, a estanqueidade absoluta não é garantida pelas juntas entre as placas. Estudos demonstram que uma pequena, porém mensurável, quantidade de água consegue ultrapassar o revestimento e atingir a câmara de ar. Siqueira Júnior (2003), citando dados técnicos, estima que esse volume pode chegar a 16% da água incidente quando as juntas são abertas, embora apenas uma fração mínima (cerca de 0,4%) atinja efetivamente a parede de suporte. Ainda assim, para garantir a integridade do sistema a longo prazo e a proteção do interior da edificação, a impermeabilização do substrato (a parede de alvenaria ou concreto) torna-se uma prática essencial, funcionando como uma segunda linha de defesa.

O tratamento do substrato desempenha uma dupla função crucial. A primeira, mais óbvia, é garantir a estanqueidade à água, impedindo que a umidade que penetra na câmara de ar seja absorvida pela parede de suporte. Graciano (2018), ressalta que essa etapa é especialmente importante em sistemas de fachada ventilada, pois o substrato frequentemente não recebe uma camada de reboco tradicional, ficando mais exposto. A segunda função, conforme aponta Siqueira Júnior (2003), é servir como uma barreira de ar eficaz. O correto funcionamento do princípio de equalização de pressão da fachada ventilada depende de uma

câmara de ar estanque em relação ao interior do edifício. Se o substrato for permeável ao ar, o diferencial de pressão não se estabelece corretamente, comprometendo o desempenho do sistema contra a penetração de água impulsionada pelo vento.

Na prática, a impermeabilização do substrato é realizada antes da instalação da subestrutura metálica. Graciano (2018) destaca que, devido à ausência de um revestimento argamassado sobre a base, é comum a necessidade de um tratamento para garantir a estanqueidade do sistema, evitando que a pequena, mas existente, parcela de água que penetra na câmara de ar infiltre para o interior da edificação. Em sua análise de mercado, o autor informa que uma das soluções empregadas é um cimento polimérico à base de resina acrílica. Um detalhe construtivo de grande importância, é o tratamento das interfaces entre diferentes materiais, como a junção da alvenaria com vigas e pilares de concreto. Nesses pontos, recomenda-se a aplicação de um véu de poliéster antes da impermeabilização, a fim de absorver movimentações diferenciais e evitar que fissuras estruturais se propaguem para a camada impermeabilizante, o que criaria um ponto de falha no sistema.

Como exemplo prático das soluções empregadas no mercado, a empresa Favegrup, em seu material técnico de apresentação, detalha dois sistemas principais para o tratamento do substrato. A primeira opção é o sistema Ventirock Duo, que utiliza painéis rígidos de lã de rocha vulcânica de dupla densidade. Este material, além de atuar como isolante termoacústico incombustível, é classificado como hidrorrepelente em toda a sua massa, funcionando como a própria barreira de umidade. A Figura 53 exemplifica a aplicação do sistema Ventirock Duo.

Figura 53 - Aplicação do sistema Ventirock Duo



Fonte: Apresentação de fachadas ventiladas disponibilizada pela empresa Favegrup

A segunda opção, denominada comercialmente Ultravent Nano, consiste em um sistema de impermeabilização líquida da empresa Ultra Protec. Este processo se inicia com a preparação da base, na qual é realizada a vedação de juntas de dilatação e das junções entre alvenaria e a estrutura de concreto armado com o selante Ultrapro Gel. Posteriormente, aplica-se por spray de alta pressão o Nano Black, um impermeabilizante à base de emulsão acrílica estirenada com nanotecnologia. Essa aplicação cria uma membrana monolítica que atua como barreira de ar e de água, ao mesmo tempo em que permite a permeabilidade ao vapor, impedindo o aprisionamento de umidade na parede. A Figura 54 mostra a aplicação do sistema Ultravent Nano.

Figura 54 – Aplicação do sistema Ultravent Nano



Fonte: Apresentação de fachadas ventiladas disponibilizada pela empresa Favegrup

2.6.9. Considerações de Manutenção e Acessibilidade

Apesar de as fachadas ventiladas serem frequentemente citadas por sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção em comparação com sistemas tradicionais, as considerações sobre reparos e acessibilidade são cruciais desde a fase de projeto para garantir o desempenho e a segurança a longo prazo (Cunha, 2006). Nesse contexto, a norma ABNT NBR 17170:2022 estabelece as diretrizes para garantias, reforçando que sua validade está diretamente condicionada à correta execução do plano de manutenção previsto no manual da edificação.

A facilidade de manutenção está diretamente ligada ao sistema de fixação escolhido. O principal desafio consiste na substituição de um único painel danificado. Sousa (2010) detalha que a complexidade dessa tarefa varia drasticamente: sistemas de fixação com parafusos aparentes ou certos tipos de ancoragens ocultas (como a fixação "aranha") podem permitir a remoção e substituição de uma única placa de forma isolada, o que representa o cenário ideal em termos de custo e simplicidade. Em contrapartida, sistemas que utilizam perfis contínuos de encaixe ou ancoragens em juntas de topo frequentemente exigem a desmontagem de toda uma fileira de painéis — seja na vertical ou na horizontal — até alcançar a peça a ser trocada, tornando o processo de reparo significativamente mais complexo e oneroso (Sousa, 2010).

Conclui-se que a escolha do sistema de revestimento e de sua fixação deve ponderar não apenas a estética e o custo inicial, mas também a viabilidade de futuras manutenções. Essa ponderação é ainda mais relevante ao se considerar os prazos de garantia recomendados pela ABNT NBR 17170:2022, que sugere um prazo de 5 anos tanto para falhas de integridade do sistema de vedação externa quanto para a dessolidarização (desprendimento) dos próprios painéis de revestimento. Portanto, a escolha de um sistema de fixação que facilite reparos pontuais, como os descritos por Sousa (2010), não é apenas uma decisão econômica, mas uma estratégia fundamental para assegurar a manutenibilidade da fachada e, consequentemente, a validade de suas garantias ao longo do tempo. A Tabela 5 apresenta os prazos de garantia para vedações verticais externas.

Tabela 5 – Prazo de garantia para vedações verticais externas

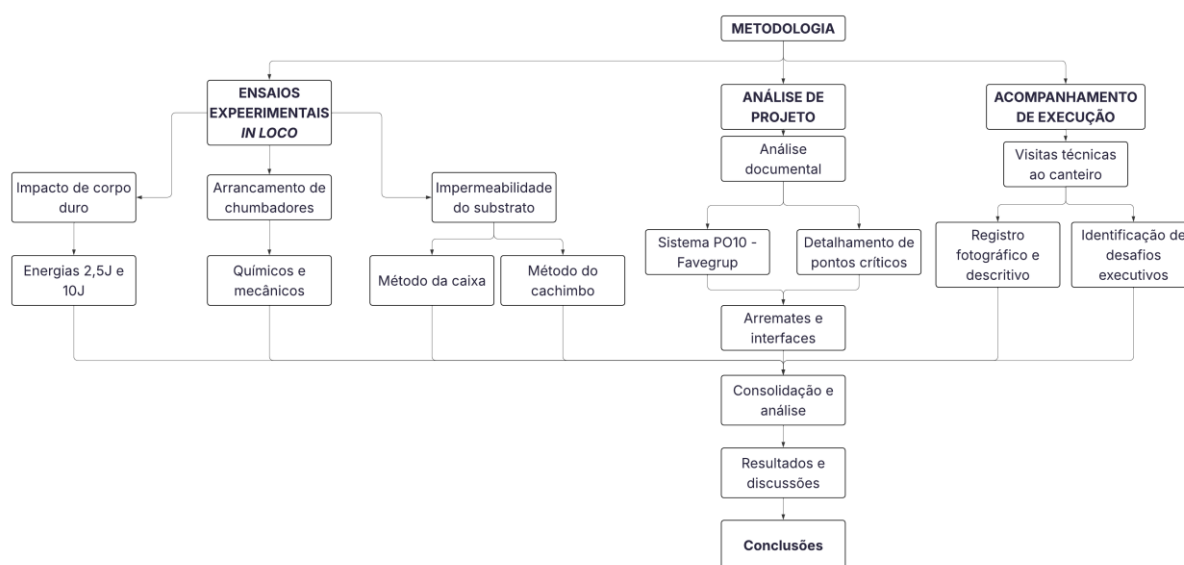
Sistema	Descrição	Tipos de falhas	Prazo tecnicamente recomendado
Vedações verticais externas	Vedações das fachadas, sejam elas compostas por alvenaria, sistema envidraçado do tipo pele de vidro, painéis de concreto ou painéis de outros materiais, paredes moldadas “in loco” ou outras, excetuando-se as esquadrias entre vãos	Perda de Integridade, dessolidarização de materiais ou componentes que fazem parte da vedação	5 anos
	Selantes, juntas de dilatação	Perda de estanqueidade	3 anos
<p>NOTA 1: As vedações verticais externas, as fachadas, diante da exposição às variações térmicas, ventos, umidade e chuva, agentes poluentes, névoa salina, têm maior probabilidade de ocorrência de falhas em comparação às vedações verticais internas. Assim, torna-se ainda mais relevante do que nos demais elementos construtivos destacar que a garantia é condicionada a que as orientações de uso, operação, conservação e manutenção indicadas pelo construtor e/ou prestador de serviços de construção sejam estritamente seguidas.</p>			

Fonte: adaptado de ABNT NBR 17170:2022, Tabela 2.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, a metodologia foi estruturada em três etapas principais: análise de projeto, acompanhamento da execução e realização de ensaios in loco. Essa organização permitiu avaliar o sistema de fachada ventilada desde a sua concepção técnica até a validação do seu desempenho real no canteiro de obras. A Figura 55 exemplifica as etapas do trabalho através de um fluxograma.

Figura 55 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento do trabalho



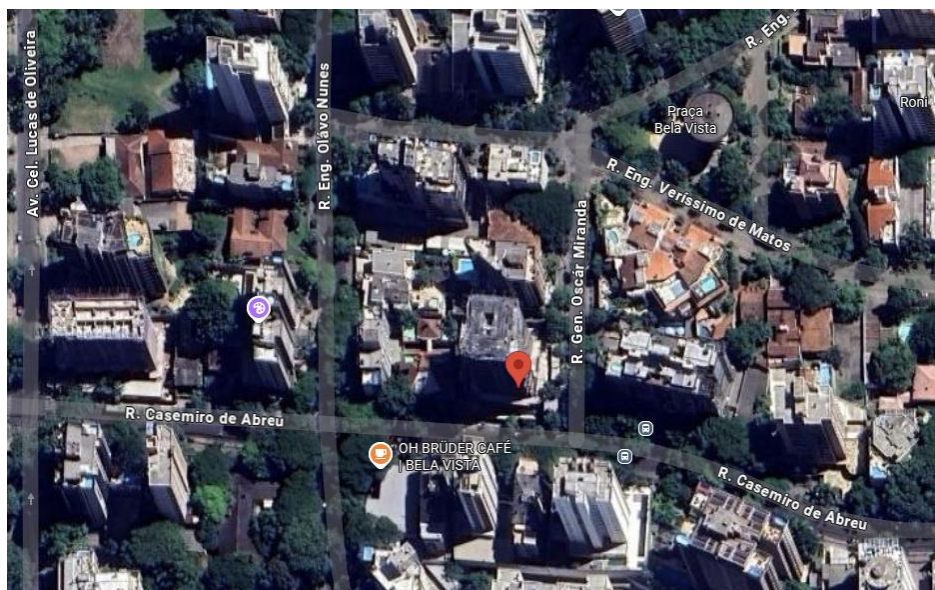
Fonte: O autor (2025).

3.1. Caracterização da pesquisa

A metodologia deste trabalho se caracteriza por ser de natureza qualitativa e quantitativa, com levantamento de dados experimentais.

3.2. Apresentação do estudo de caso

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, abordagem metodológica que permite uma investigação aprofundada do sistema de fachada ventilada em um contexto real de aplicação. O objeto de estudo selecionado é o Edifício Attimo, um empreendimento residencial de alto padrão da construtora Roque Chies, localizado no bairro Bela Vista na cidade de Porto Alegre, RS. A Figura 56 mostra a localização do empreendimento escolhido.

Figura 56 – Localização do Ed. Attimo

Fonte: Google Maps, 2025.

Trata-se de uma edificação de porte médio, cuja área total construída se aproxima de 10.000 m². A distribuição vertical do edifício compreende três níveis de subsolo, o pavimento térreo e dezessete andares, sendo estes compostos por catorze pavimentos-tipo e uma cobertura. A Figura 57 ilustra a fachada do empreendimento.

Figura 57 – Fachada do Ed. Attimo

Fonte: ROQUE CHIES. Attimo.

A caracterização do estudo de caso foi desenvolvida em duas frentes complementares: análise documental do projeto de fachadas e acompanhamento da sua execução em campo. Essa abordagem visa confrontar as especificações de projeto com a prática construtiva, permitindo uma análise crítica dos processos e desafios envolvidos, que serviu de base para a seção de Resultados e Discussão.

3.2.1. Análise de Projeto

A primeira etapa da caracterização consistiu na análise da documentação técnica referente ao sistema de fachada ventilada do Edifício Attimo. Foram examinados os projetos de arquitetura e, com especial atenção, os projetos executivos e detalhes construtivos da fachada. O foco desta análise foi identificar:

- A tipologia do sistema de fachada ventilada adotado (materiais do revestimento, sistema de fixação, etc.);
- As especificações dos componentes, incluindo as ancoragens, perfis e placas de revestimento;
- As soluções para pontos críticos, como juntas de dilatação, encontros com vãos de esquadrias e arremates;

As informações levantadas nesta fase permitiram compreender as premissas teóricas que nortearam a concepção do sistema e serviram como parâmetro de referência para a avaliação da etapa executiva.

3.2.2. Acompanhamento da Execução em Campo

A segunda etapa consistiu no acompanhamento prático da obra, realizado por meio de três visitas técnicas ao canteiro. O objetivo destas visitas foi entender e documentar o processo de instalação da fachada ventilada, com foco em identificar os principais desafios enfrentados pela equipe de execução. Durante esta fase, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Registro fotográfico e descritivo: Documentação visual e textual das etapas de montagem, desde a marcação e instalação das ancoragens até a fixação das placas de revestimento final.
- Observação direta: Verificação in loco do cumprimento das técnicas executivas preconizadas em projeto, do manuseio dos materiais e da sequência de instalação.

- Análise de desafios executivos: Identificação e registro de eventuais dificuldades, não conformidades, adaptações e soluções práticas adotadas pela equipe para garantir a qualidade e o desempenho do sistema.
- Coleta de dados: Realização dos ensaios de campo descritos previamente nesta metodologia (testes de arrancamento de ancoragens, etc.), cujos resultados fornecerão dados quantitativos para a análise.

A consolidação dos dados coletados, tanto da análise de projeto quanto do acompanhamento da execução, forneceu os subsídios para uma análise crítica e comparativa. Esta, foi apresentada na seção de Resultados e Discussão, onde as especificações de projeto serão confrontadas com os processos executivos observados e os resultados dos ensaios, permitindo, assim, discutir as particularidades e desafios da implementação do sistema de fachada ventilada no estudo de caso.

3.3. Ensaios realizados *in loco*

Para a validação do desempenho do sistema de fachada, os ensaios de campo descritos a seguir foram executados pela empresa especializada MMC Lab, em conformidade com as normativas técnicas aplicáveis a cada procedimento.

3.3.1. Análise da impermeabilidade do substrato

A presente etapa da metodologia visa analisar o desempenho do sistema de impermeabilização aplicado sobre o substrato do Edifício Attimo. A avaliação foi conduzida por meio de dois métodos de ensaio distintos, um de caráter internacional e outro regido por norma nacional, para verificar a eficácia do produto impermeabilizante Nano Gray da marca ULTRAPROTEC na parede de substrato executada com blocos estruturais de 8 MPa de resistência.

3.3.1.1. Método do Cachimbo

Para avaliar a capacidade do produto impermeabilizante em reduzir a absorção de água superficial do substrato, foi empregado o Método do Cachimbo. Este ensaio não destrutivo é fundamentado nas especificações internacionais do test method n° II.4 (1987) da RILEM e na Nota de Informação Técnica (NIT) n° 224:2002 do CSTC.

A execução do ensaio consistiu na fixação de tubos de vidro em formato de "L" com borda plana circular, conhecidos como cachimbos ou tubos de Karsten. A fixação dos tubos foi realizada diretamente sobre o substrato impermeabilizado, utilizando um selante de silicone para garantir a estanqueidade na interface. Com o objetivo de avaliar o comportamento tanto do bloco quanto da junta, as amostras foram fixadas diretamente sobre a face do bloco cerâmico e sobre a argamassa de assentamento.

Cada cachimbo foi posicionado no prumo e em nível para assegurar a correta aplicação da coluna de água. Com o auxílio de uma seringa, os tubos foram preenchidos com água até a marca de referência zero, estabelecendo uma coluna de 98 mm. Esta coluna exerce sobre a superfície uma pressão hidrostática equivalente à pressão dinâmica de um vento de aproximadamente 150 km/h. Em seguida, foram realizadas as leituras do nível de água para verificar o volume absorvido pelo substrato nos intervalos de 30, 60 e 90 minutos.

3.3.2. Ensaio de verificação de permeabilidade à água de SVVIE

A verificação da permeabilidade à água nos Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) seguiu estritamente as diretrizes estabelecidas no Anexo D da norma ABNT NBR 15575-4:2021. O princípio do método consiste em submeter um trecho da parede à presença de água sob pressão constante, o que foi feito por meio de uma câmara acoplada diretamente à superfície.

A aparelhagem necessária inclui uma câmara de ensaio com formato de caixa e dimensões internas de 16 cm x 34 cm, a qual é selada contra a parede com um selante de silicone. Em conjunto com a câmara, foi utilizada uma bureta graduada em centímetros cúbicos (cm³). Este dispositivo possui a dupla função de manter a pressão da água constante e de medir o volume que eventualmente se infiltra na parede. Ao ser emborcada na câmara, ela repõe o volume de água infiltrado, permitindo uma medição direta.

O procedimento de ensaio teve início com o acoplamento da câmara a uma região representativa da parede. Conforme a norma, a escolha do local deu preferência a pontos considerados mais desfavoráveis, como sobre juntas ou outras singularidades que possam favorecer a infiltração. Após o preenchimento da câmara e da bureta com água, o nível inicial foi registrado. O monitoramento é realizado por meio do registro do nível da água na bureta nos seguintes intervalos: 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas e 24 horas.

A avaliação do desempenho do sistema foi feita com base no critério de estanqueidade para áreas molhadas, que estabelece que o volume de água que penetra na vedação não pode ultrapassar 3 cm³ ao longo das 24 horas de ensaio. Os resultados são expressos pelo volume de água infiltrado em cada período, calculado pela diferença entre a leitura atual e a leitura inicial na bureta.

3.3.3. Teste de arrancamento de chumbadores químicos e mecânicos

A metodologia para a verificação da capacidade de carga das ancoragens consistiu na realização de ensaios de arrancamento (tração) em campo, aplicados a chumbadores químicos e mecânicos (de expansão). Os procedimentos de ensaio seguiram rigorosamente as diretrizes da ABNT NBR 14827:2002 — Chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria - Determinação de resistência à tração e ao cisalhamento. Os requisitos de desempenho e as cargas aplicadas tomaram como referência as especificações para sistemas de proteção contra queda, conforme preconizado pela ABNT NBR 16325:2014 (Partes 1 e 2).

Para os chumbadores químicos, o procedimento compreende a perfuração do substrato, a limpeza rigorosa do furo e a injeção do composto químico, respeitando-se o tempo de cura indicado pelo fabricante antes da aplicação de qualquer carga. Para os chumbadores mecânicos, a instalação envolve a aplicação do torque de aperto especificado para garantir a correta expansão.

Para a execução dos ensaios de tração em campo, foi utilizado o equipamento de tração digital da marca DOIS DEZ INDUSTRIAL, modelo PREVQ TESTE 210, com capacidade de 2.000 kgf e calibrado conforme o certificado 4340-25, emitido em 10 de março de 2025 pela Qualisul Metrologia. O sistema foi montado de forma que a força de tração seja aplicada axialmente ao chumbador, coincidindo com seu eixo para evitar a introdução de esforços de flexão. Um tripé de reação foi posicionado sobre a superfície, garantindo que seus apoios estejam suficientemente afastados do chumbador para não influenciar uma eventual ruptura em cone do substrato. O deslocamento axial do chumbador foi monitorado por um relógio comparador ou dispositivo equivalente com precisão mínima de 0,025 mm.

O procedimento de ensaio estático de tração se iniciou com a aplicação de uma carga inicial de até 5% da carga última estimada, com o objetivo de acomodar o sistema e eliminar folgas existentes. Após essa etapa, a carga foi aplicada de forma contínua e uniforme: até a ruptura, no caso dos chumbadores químicos, e até atingir a carga de projeto, no caso dos

chumbadores mecânicos. A capacidade do chumbador foi determinada pela carga última atingida no ensaio.

3.3.4. Teste de impacto de corpo duro em SVVIE

A metodologia para a verificação da resistência a danos superficiais dos Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) consistiu na realização de ensaios de impacto de corpo duro, que foram executados em campo. Os procedimentos foram conduzidos em estrita conformidade com as diretrizes do Anexo B da norma ABNT NBR 15575-4:2021 — Verificação da resistência a impactos de corpo duro. Os requisitos de desempenho e as energias de impacto aplicadas tiveram como referência os critérios estabelecidos na Tabela 7 da Seção 7.6.1 da referida norma.

O princípio do ensaio baseia-se na liberação de um corpo percussor em um movimento pendular, a partir de uma altura determinada, para atingir a superfície do SVVIE. Para esta aplicação, considerando que os locais onde a fachada ventilada será instalada não possuem acesso ao público, as energias de impacto aplicadas serão de 2,5 J para o estado-limite de serviço e 10 J para o estado-limite último. A aparelhagem utilizada foi um dispositivo de impacto pendular com um percussor de corpo duro, que consiste em uma esfera de aço com massa e diâmetro definidos para cada nível de energia (respectivamente, 0,5 kg e 1,0 kg). A quantificação de eventuais moissas ou deformações foi realizada com um paquímetro digital de resolução mínima de 0,1 mm.

Para a execução dos ensaios, o corpo de prova deve representar fielmente as condições de projeto, incluindo acabamentos, tipos de apoio e vinculações. O procedimento inicia-se com a suspensão do percussor, que foi então liberado para gerar a energia de impacto requerida. Foram aplicados dez impactos para cada nível de energia, em pontos distintos e aleatórios da superfície, garantindo que não haja repiques. Durante a aplicação, foram registradas todas as falhas, como fissuras, escamações, ruptura ou traspassamento do sistema.

A aprovação do sistema foi determinada por sua capacidade de resistir aos impactos sem apresentar falhas que comprometam o estado-limite de serviço ou o estado-limite último.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, será apresentada a análise de desempenho e das práticas construtivas do estudo de caso. Primeiramente, é realizada a caracterização detalhada do empreendimento. Na sequência, os dados de projeto e de execução coletados são analisados e discutidos, comparando as práticas construtivas observadas com a fundamentação teórica apresentada na revisão bibliográfica, de modo a avaliar o desempenho do sistema de fachada ventilada no objeto de estudo.

4.1. Análise do projeto da fachada ventilada

4.1.1. Tipologia do sistema

O projeto de fachada ventilada adotado no Edifício Attimo emprega o Sistema PO10 da empresa Favegrup, responsável técnica pela especificação e execução. O sistema, cuja nomenclatura "PO10" faz referência à utilização de placas de porcelanato com espessura nominal de 10 mm, foi o escolhido por critérios estéticos, uma vez que sua fixação oculta proporciona um acabamento com uma superfície uniforme e visualmente limpa. A Figura 58 exemplifica o sistema supracitado.

Figura 58 – Sistema PO10 - Porcelanato + 10mm (sistema oculto)



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

4.1.2. Especificação dos componentes

Para o acabamento da fachada, foram selecionados dois modelos de porcelanato técnico não esmaltado (tipologia PORC UGL) da marca Eliane. No volume vertical principal do edifício, foi utilizado o porcelanato Matéria Carbono NA, com dimensões nominais de 80x80 cm e espessura de 9,5 mm. Já nas áreas de forros de sacada e em vigas decorativas, aplicou-se o porcelanato Stelar White NA, de 60x120 cm e 10,0 mm de espessura.

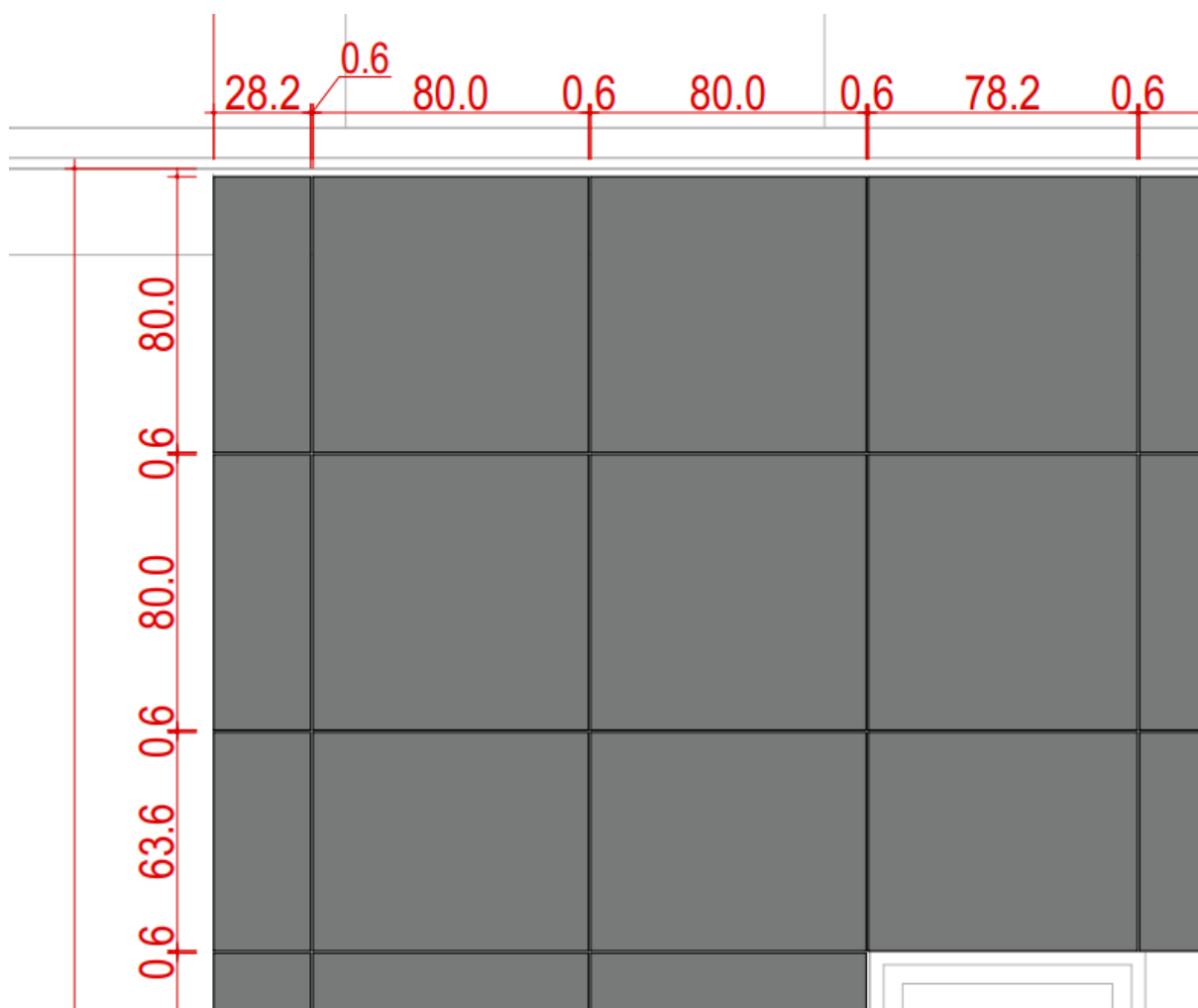
Ambos os produtos são indicados pelo fabricante para uso em fachadas externas (WFA), possuem bordas retificadas e permitem uma junta de assentamento mínima de 1 mm, garantindo alta precisão no acabamento. Conforme suas especificações técnicas, os revestimentos apresentam características essenciais para a durabilidade em aplicações externas, como baixíssima absorção de água ($\leq 0,10\%$) e elevado módulo de resistência à flexão (38 MPa para o Stelar White e ≥ 48 MPa para o Matéria Carbono). A Figura 59 apresenta os modelos utilizados, e a Figura 60 exemplifica a paginação do porcelanato 80x80.

Figura 59 - Porcelanatos utilizados em obra



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

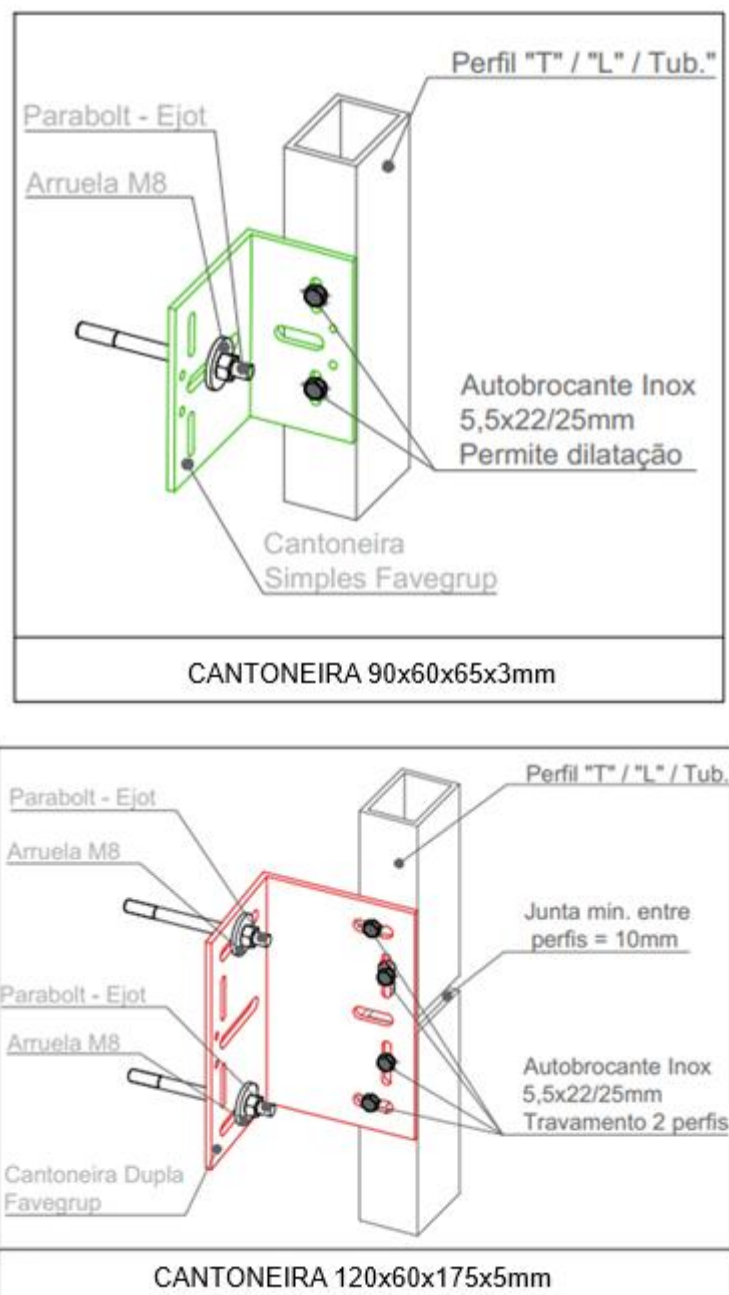
Figura 60 – Exemplo de paginação



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

A subestrutura que suporta os painéis de porcelanato é composta por perfis e elementos de fixação de alumínio, utilizando quatro componentes principais: perfis em formato "L", perfis em formato "T", perfis tubulares e cantoneiras de ancoragem. Todos os perfis de sustentação são dispostos na vertical, formando alinhamentos paralelos. As cantoneiras e os perfis "L" são fixados na estrutura do edifício para ancorar e sustentar os montantes verticais (compostos pelos perfis "T" e tubulares), nos quais as placas cerâmicas são fixadas, conforme Figura 61. Este método permite a realização de ajustes finos de alinhamento e prumo em obra, fator que facilita a execução e assegura a planicidade da fachada. Para ilustrar, a Figura 61 exemplifica o detalhe de fixação das cantoneiras presente no projeto.

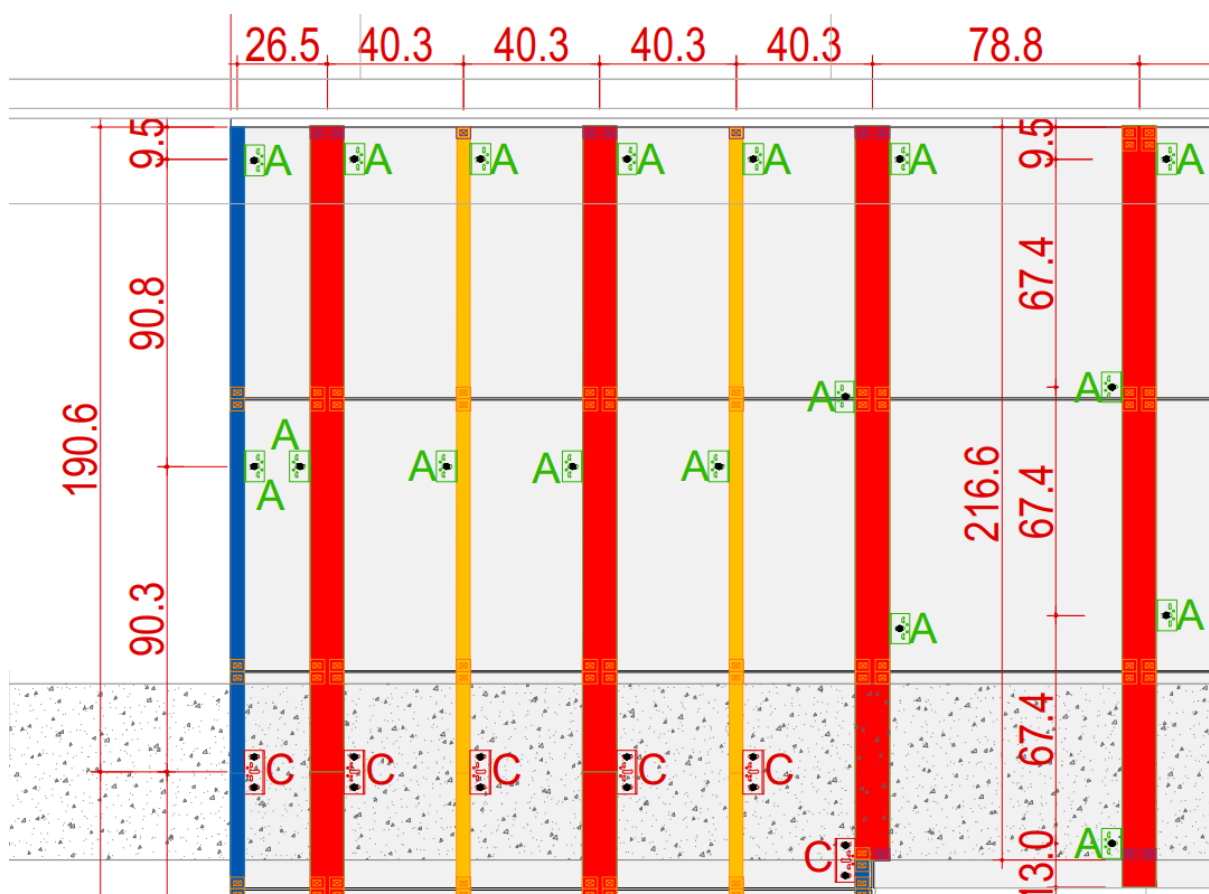
Figura 61 - Detalhamento técnico de fixação das cantoneiras



Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

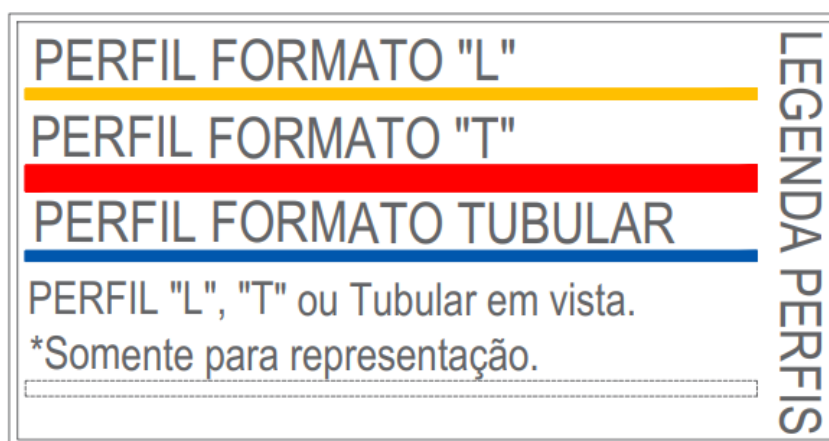
A Figura 62 detalha um exemplo de disposição dos perfis na fachada do edifício, e a Figura 63 apresenta uma legenda de cores para identificá-los.

Figura 62 – Exemplo de disposição dos perfis



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 63 - Legenda de cortes dos perfis



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Conforme a legenda, o sistema utiliza três geometrias de perfis: o "T" (vermelho), o "L" (amarelo) e o Tubular (azul). Destaca-se o uso predominante do perfil "T" (vermelho) como

montante vertical principal em espaçamentos modulares, ditados pelo formato das placas. O perfil Tubular (azul) é observado na extremidade, e o "L" (amarelo) em posições intermediárias. A utilização dessas três geometrias distintas revela uma otimização estrutural e de custo do sistema. O perfil "T" é o montante padrão para panos contínuos, pois sua geometria é ideal para fixar placas em ambos os lados de seu eixo, coincidindo com as juntas. O perfil Tubular, por ser uma seção fechada e mais rígida, é a escolha lógica para arremates de borda, onde se exige maior resistência. O detalhe também exhibe os pontos de ancoragem "A" (intermediárias) e "C" (na estrutura).

4.1.3. Soluções para pontos críticos

4.1.3.1. Encontro com vãos de esquadrias

A interface entre a fachada ventilada e as esquadrias (janelas e portas) revelou-se um dos pontos de maior complexidade e detalhamento no projeto analisado. Observou-se que a solução adotada para topo do vão consiste em um rufo conformado a partir de uma chapa de alumínio de 1,5 mm de espessura. Este componente é fixado na cantoneira de estruturação do sistema de fachada com o uso de um adesivo de alta performance (especificado em projeto como Soltec) e possui uma dobra que acompanha o plano de face do porcelanato.

Funcionalmente, o detalhe é projetado para que a chapa avance sobre o marco da esquadria, estendendo-se até o limite da folha. Esta geometria de sobreposição assegura a correta drenagem da água que escoar superficialmente, atuando como uma pingadeira efetiva que direciona o fluxo para além do vão e mitiga o risco de infiltração nesta junta crítica.

Adicionalmente, o projeto prescreve a aplicação de um selante de silicone para uso externo no encontro entre este perfil de alumínio e o marco da esquadria. Embora a referência específica do produto não seja indicada, a decisão pela utilização de um selante elastomérico é tecnicamente coerente. Esta interface é uma junta ativa, sujeita a movimentações diferenciais significativas induzidas pelas distintas respostas térmicas dos materiais (alumínio, vidro, alvenaria). Portanto, o selante é imprescindível não apenas para garantir a estanqueidade à água e ao ar, mas também para absorver tais movimentações sem sofrer ruptura ou falha de adesão. A Figura 64 apresenta a vista geral do arremate e a Figura 65 exhibe o detalhe ampliado deste ponto.

Figura 64 - Vista geral do arremate do forro da esquadria de alumínio

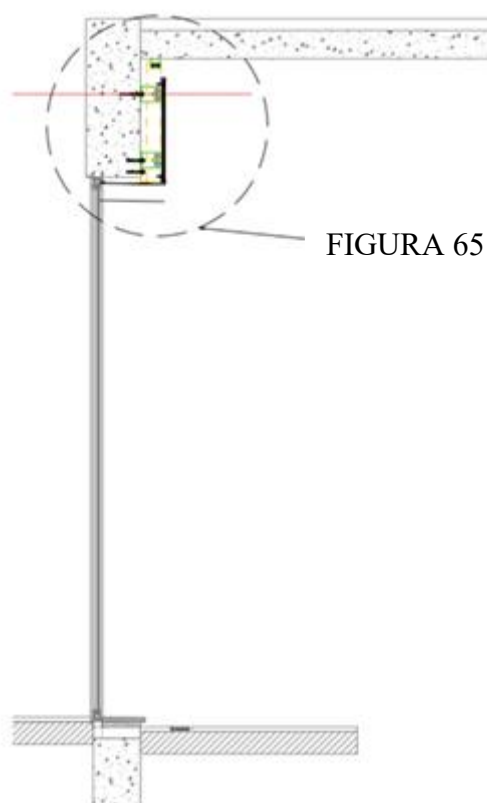
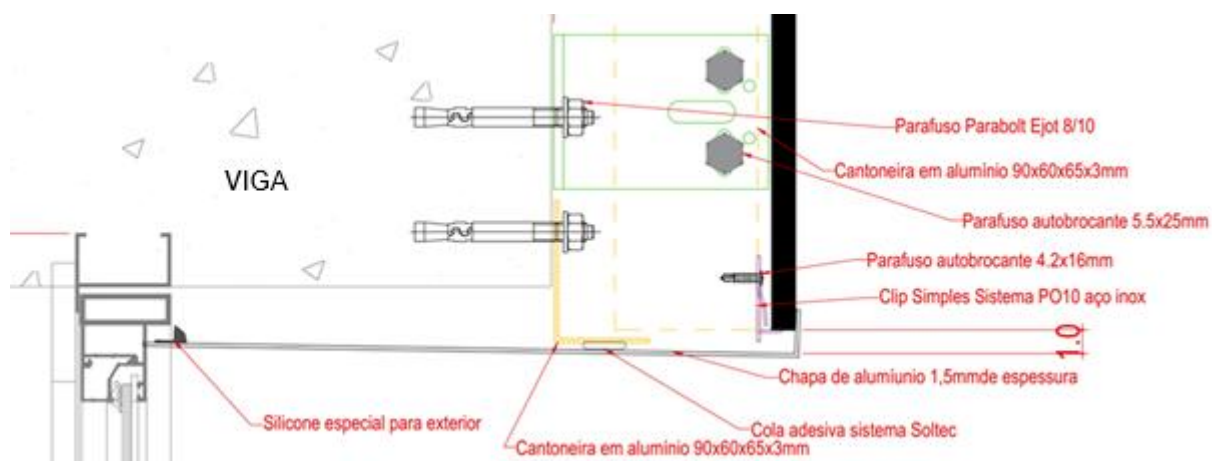


FIGURA 65

Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 65 – Arremate do forro da esquadria de alumínio



Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

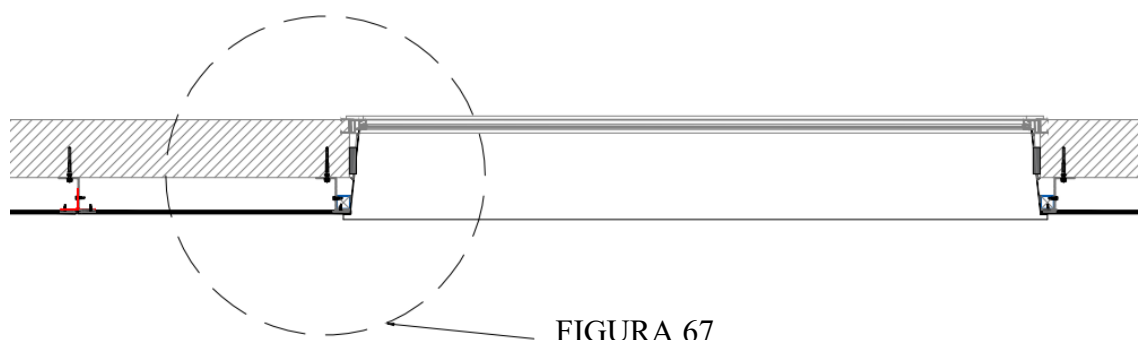
Para os arremates laterais da esquadria, o projeto detalha uma solução construtiva muito similar àquela adotada no topo, também empregando um perfil conformado em chapa de

alumínio. No entanto, o detalhe introduz uma especificidade crucial: a prescrição de uma vedação dupla.

Além da aplicação do selante de silicone na interface direta com o marco da esquadria — que cumpre a função de vedação primária contra a passagem de ar e água — o projeto também especifica a aplicação de silicone na junta entre este mesmo perfil de arremate e a alvenaria do vão.

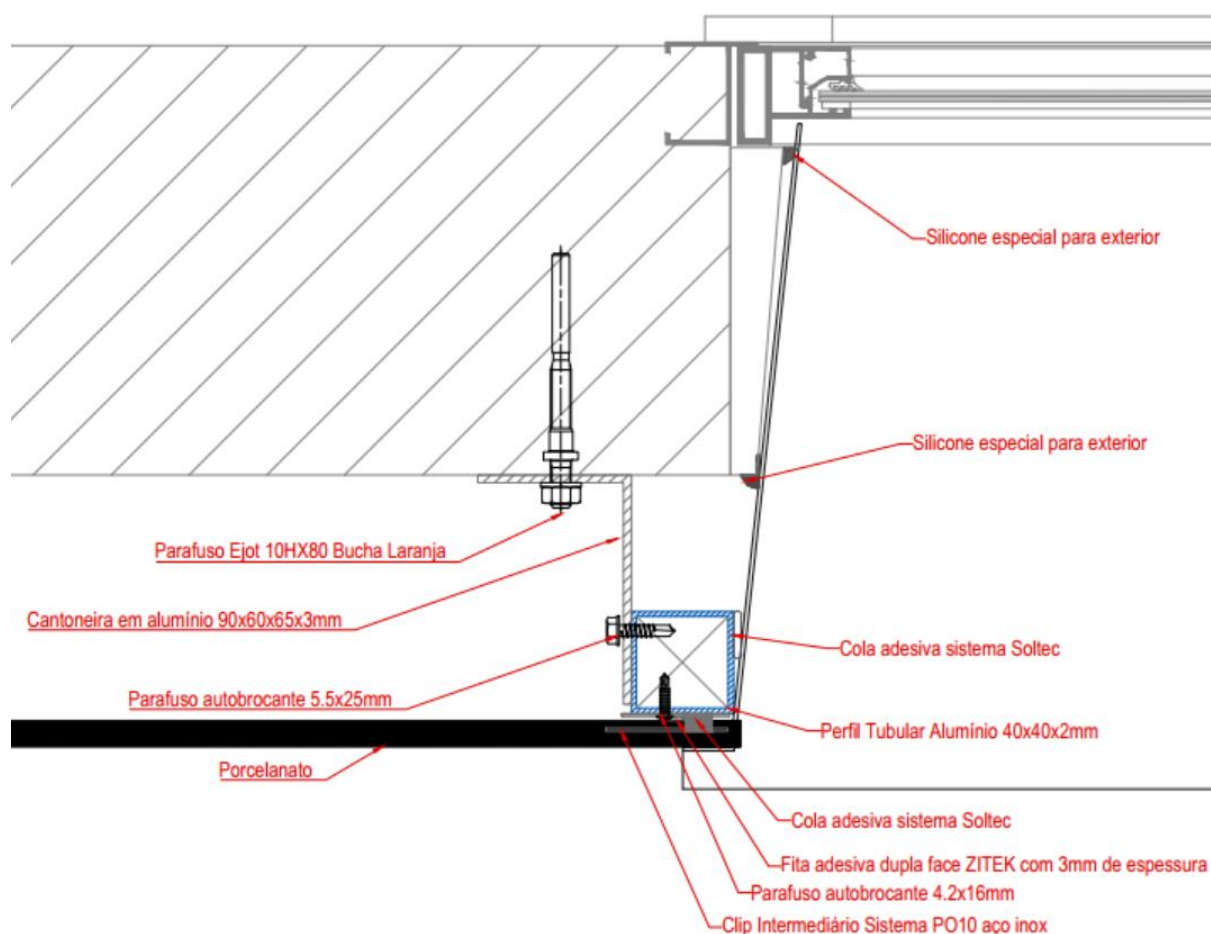
Esta segunda linha de vedação, aplicada na junção com a alvenaria, funciona como uma barreira de redundância. Ela visa selar o "vão bruto" de forma independente. Esta abordagem de projeto é robusta, pois cria uma proteção adicional contra eventuais falhas na vedação principal (junto ao caixilho) e impede que a umidade encontre caminhos alternativos de infiltração por trás do perfil de arremate, protegendo tanto o interior do ambiente quanto a própria câmara de ar da fachada. A Figura 66 ilustra a vista geral do arremate lateral da esquadria de alumínio, enquanto a Figura 67 apresenta o detalhe técnico ampliado.

Figura 66 - Vista geral do arremate lateral da esquadria de alumínio



Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 67 - Arremate lateral da esquadria de alumínio



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

O detalhamento dos peitoris, por sua vez, apresenta uma solução funcionalmente correta, embora se note uma menor profundidade na especificação de projeto — como o tipo exato de chapa metálica ou o percentual de inclinação — quando comparado aos detalhes de topo e lateral dos arremates das esquadrias.

Apesar da omissão desses parâmetros, o conceito da solução é claro e tecnicamente adequado. O projeto especifica o uso de uma chapa metálica conformada, dotada de inclinação voltada para a face externa do edifício e uma pingadeira destacada na face inferior. A *discussão* deste ponto reside na sua importância funcional crítica: a inclinação é projetada para garantir o rápido escoamento da água, enquanto a pingadeira é o elemento vital que interrompe o fluxo de água por tensão superficial.

Esta interrupção força o gotejamento afastado do plano da fachada, impedindo que a água retorne e se infiltre na alvenaria de base ou na interface inferior do caixilho, protegendo

assim um dos pontos mais vulneráveis à infiltração em todo o vão. A Figura 68 exibe a localização geral do detalhe. Em seguida, a Figura 69 apresenta este mesmo ponto em zoom, destacando os componentes.

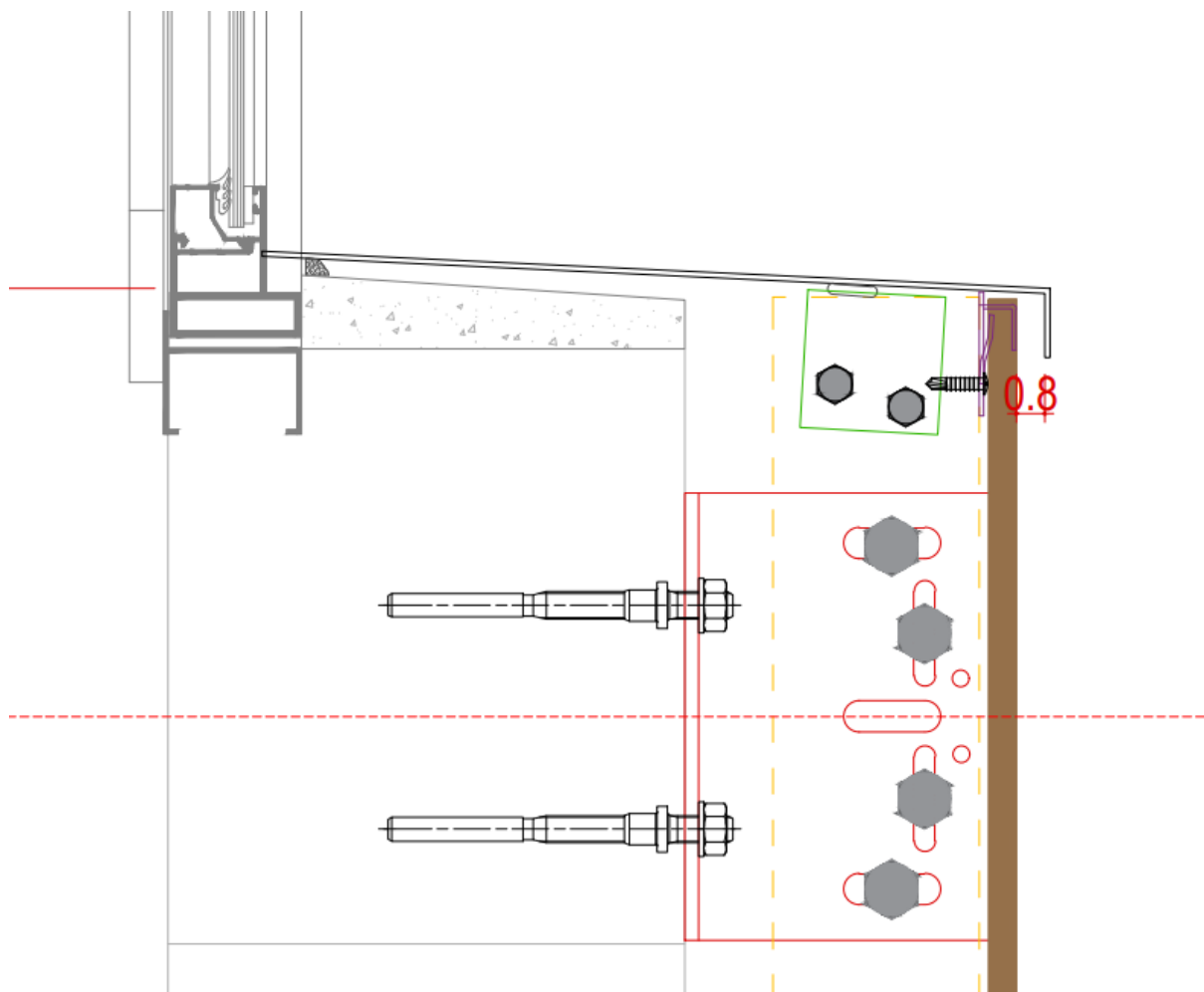
Figura 68 - Vista geral do arremate do peitoril das esquadrias de alumínio



FIGURA 69

Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 69 - Arremate do peitoril das esquadrias de alumínio



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

4.1.3.2. Arremates

Os detalhes de arremates apresentam muitas variações e especificações para cada aplicação. Abordando inicialmente os encontros de canto das placas de porcelanato, destaca-se o detalhe de canto interno de 90°.

Nessa solução, as placas de porcelanato — fixadas nas cantoneiras presas ao substrato — não se encontram diretamente no vértice. Para realizar o acabamento da fresta entre as chapas, utiliza-se um perfil “L” (60x90x3mm). Este perfil é fixado com fita dupla face ZITEK (3mm de espessura) e cola adesiva do sistema Soltec, como pode ser visto na Figura 70 em uma visão geral e, posteriormente, detalhado na Figura 71.

Figura 70 - Vista geral do canto interno em ângulo de 90°

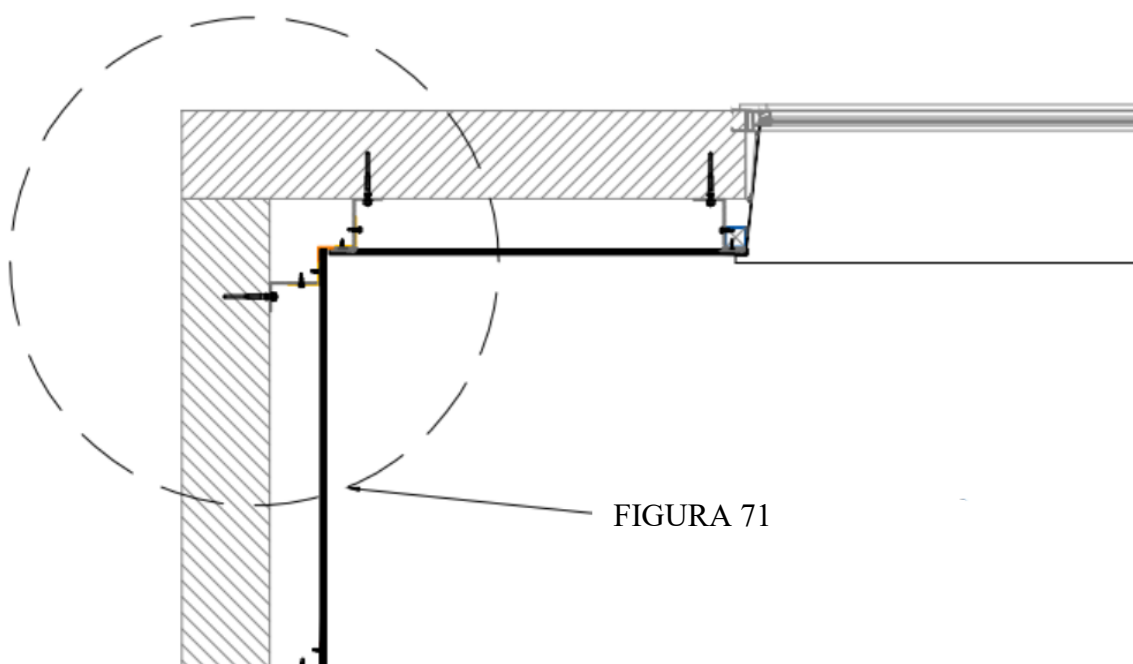
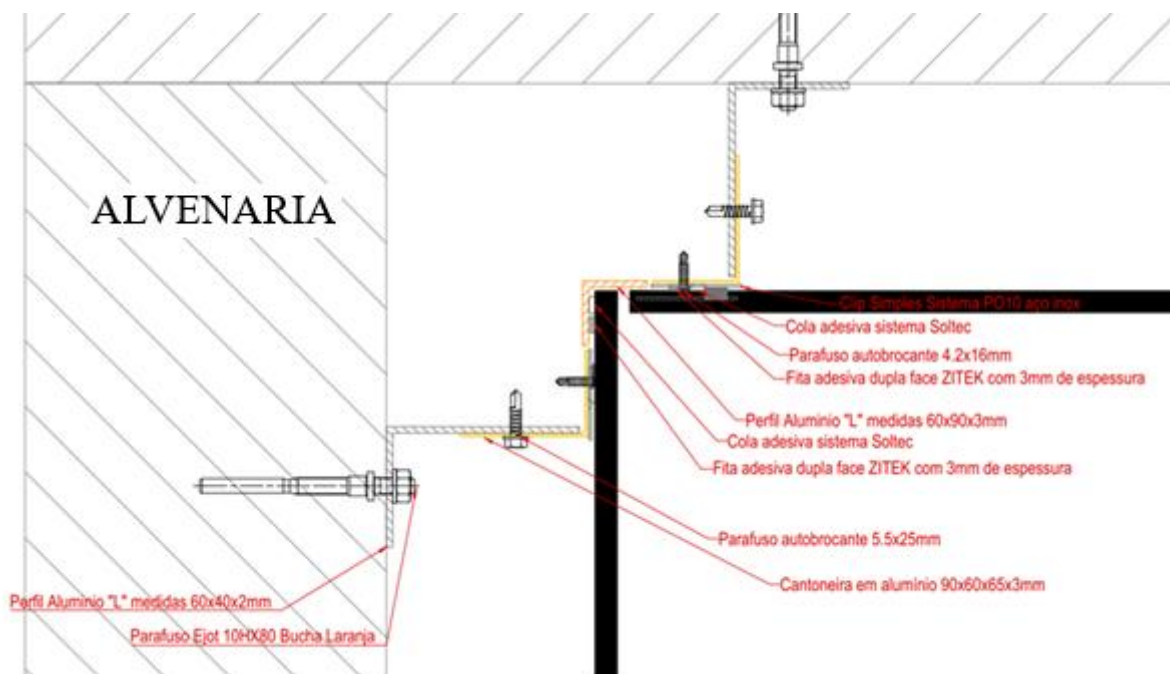


FIGURA 71

Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 71 – Canto interno em ângulo de 90°

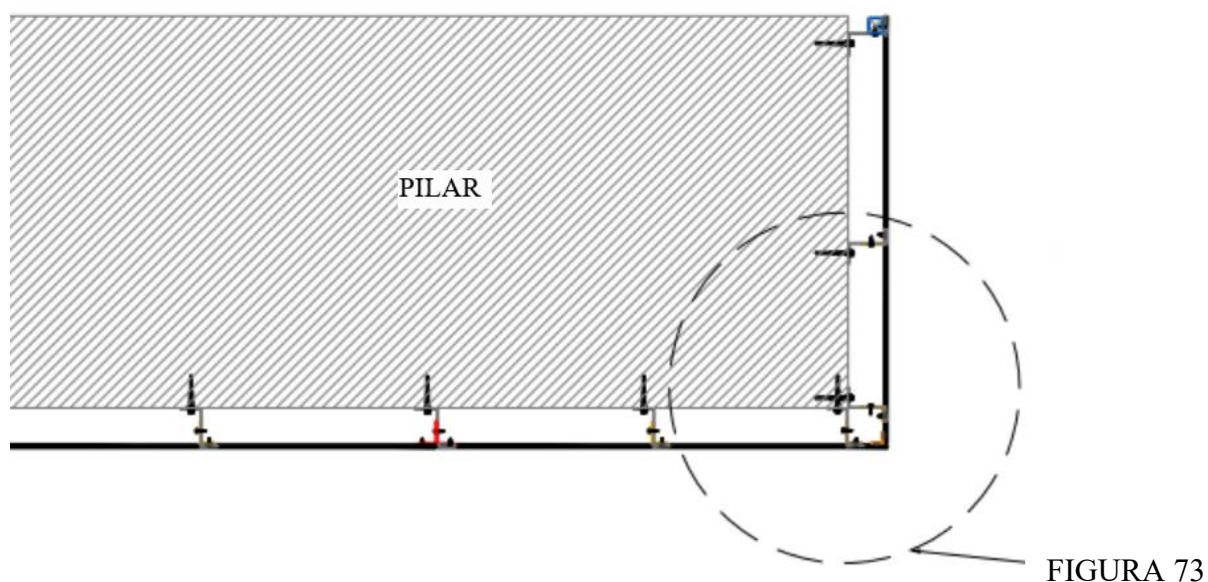


Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Para os cantos externos de 90°, a solução segue um padrão similar ao anterior. O mesmo perfil “L” (60x90x3mm) é empregado, mas posicionado de forma inversa: seu vértice é voltado para a face externa, cobrindo a junta entre as duas placas.

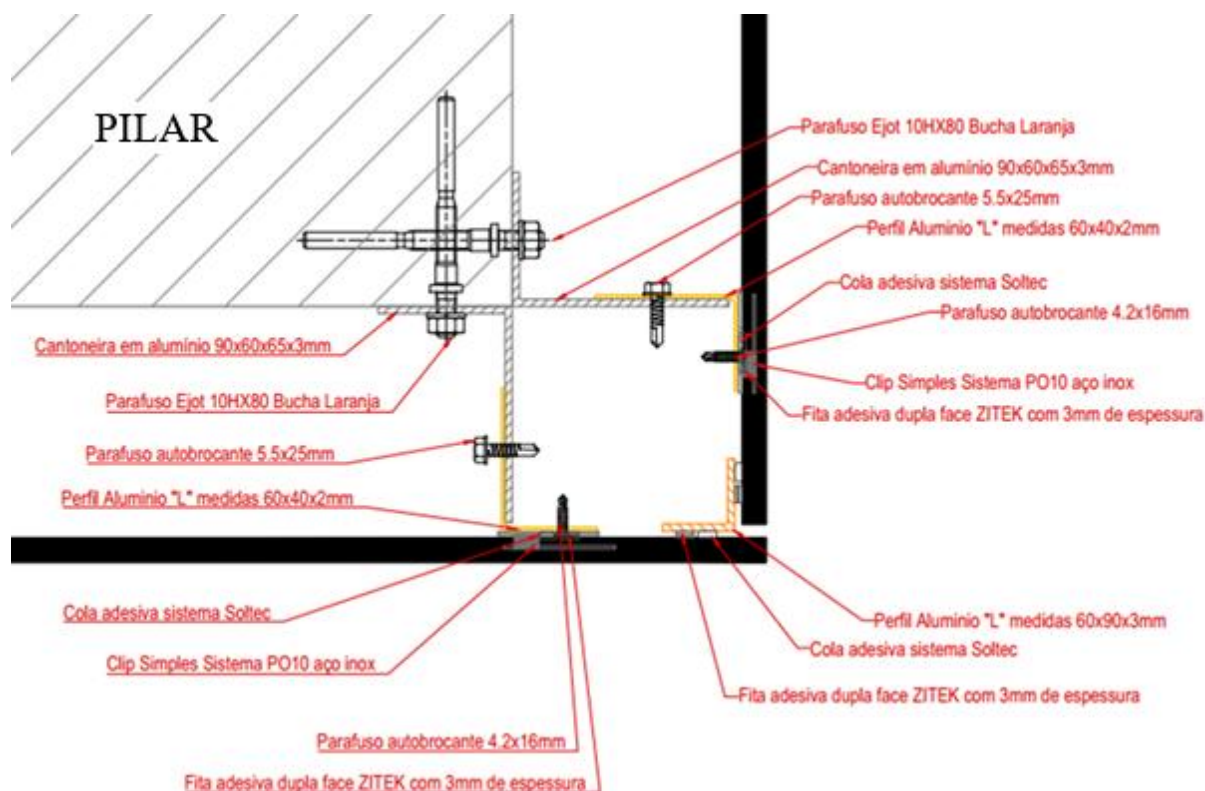
A principal diferença reside no método de fixação. Neste detalhe externo, o sistema adesivo (fita dupla face ZITEK e cola Soltec) é aplicado em ambas as placas de porcelanato que formam o canto, e não em apenas uma, como ocorre na solução para o canto interno. A Figura 72 apresenta a vista geral do arremate. A Figura 73 exibe o detalhe ampliado deste ponto.

Figura 72 - Vista geral do canto externo em ângulo de 90°



Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 73 – Canto externo em ângulo de 90°

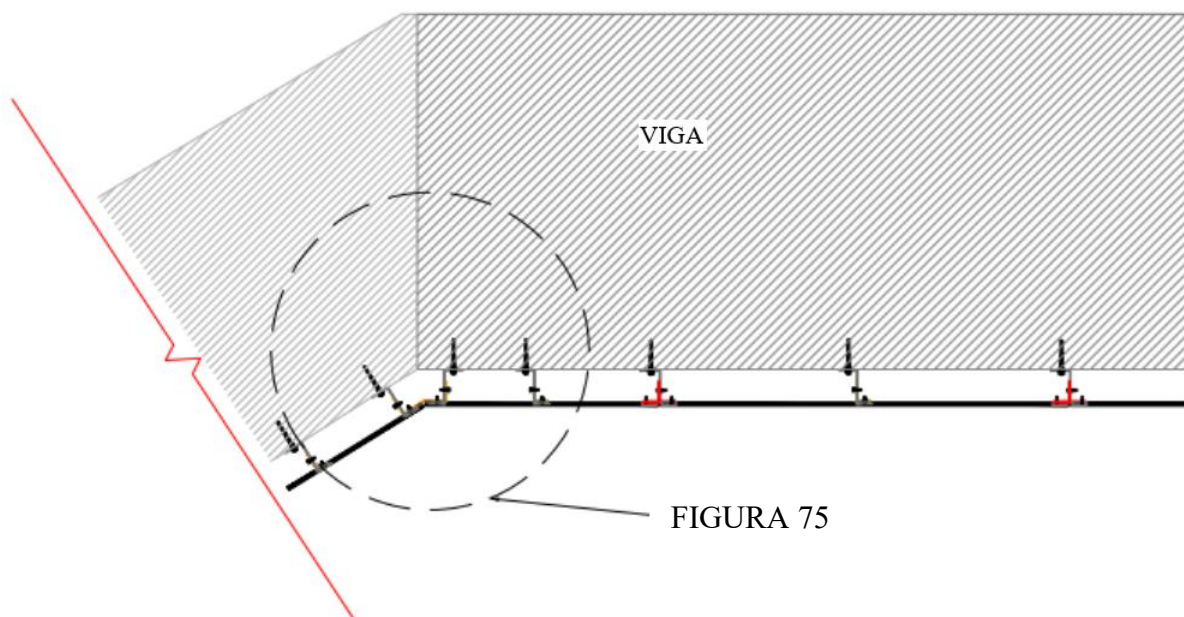


Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

No detalhe de canto externo com ângulo de 45°, a concepção segue o mesmo padrão da solução de 90°. A diferença fundamental reside na conformação do perfil "L" (60x90x3mm): em vez de ser utilizado em seu ângulo reto original, ele é mecanicamente dobrado para se ajustar ao ângulo de 45° da fachada, acompanhando assim a geometria das placas de porcelanato, conforme a visão geral ilustrada na Figura 74 e o detalhe na Figura 75.

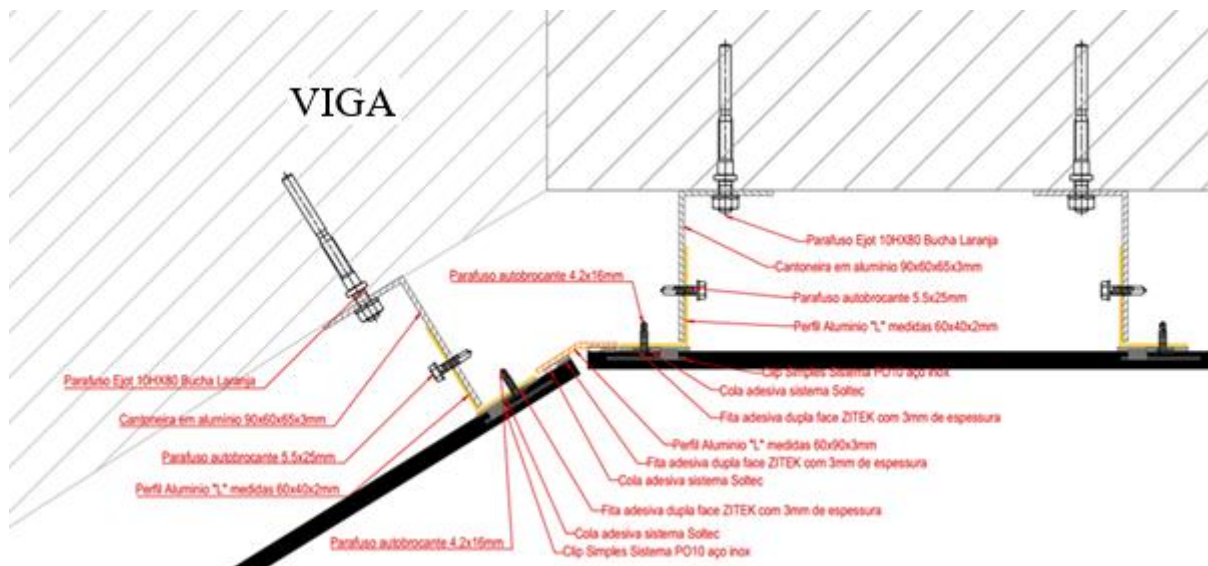
Um ponto relevante a ser observado no detalhe da Figura 73 é a sobreposição aparente dos parafusos de fixação. Esta é uma consequência da representação em vista 2D, na prática, os fixadores são instalados em alturas distintas, não havendo, portanto, colisão física entre eles.

Figura 74 - Vista geral do canto externo em ângulo de 45°



Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 75 - Canto externo em ângulo de 45°



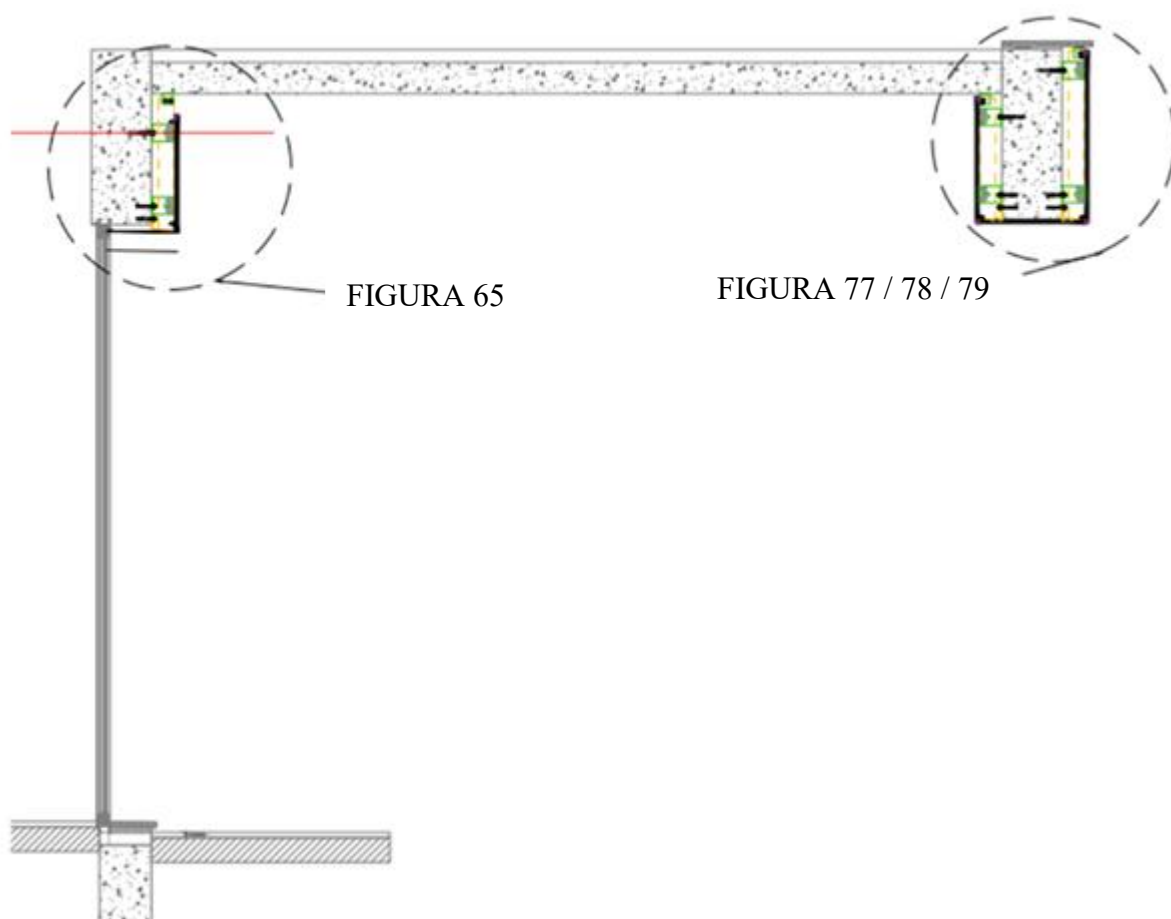
Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

A análise dos arremates de canto revela uma escolha clara pela padronização e eficiência executiva através do uso do perfil "L". Esta solução simplifica a montagem ao eliminar a

necessidade de cortes complexos a 45° nas placas, ao mesmo tempo que oferece proteção mecânica para as quinas. O sistema demonstra adaptabilidade ao exigir apenas ajustes pontuais: a aplicação de adesivo em ambas as placas no canto externo, para maior robustez contra intempéries, e a simples dobra mecânica do perfil para se ajustar ao ângulo de 45°.

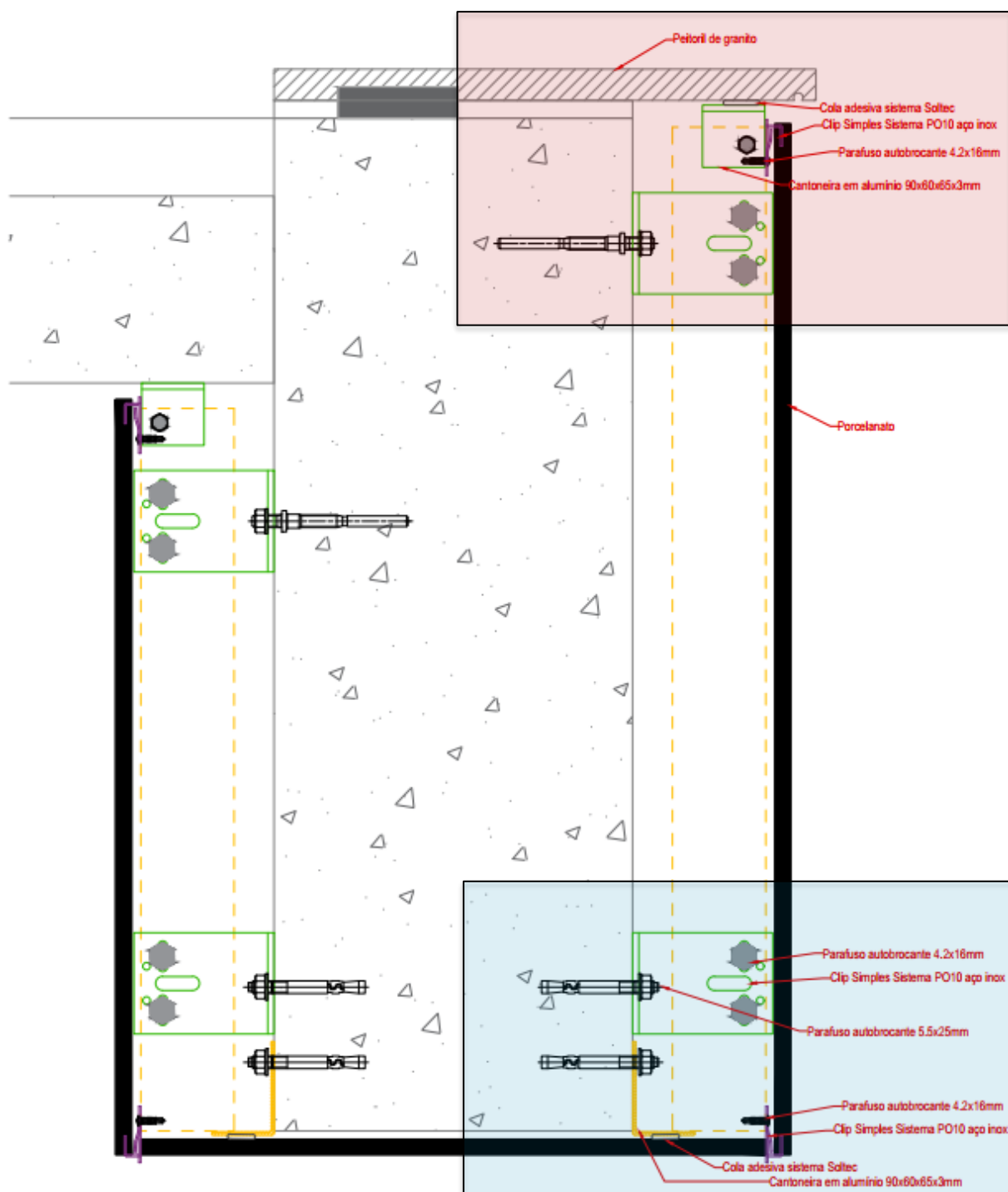
O detalhamento das vigas de borda das sacadas também exige uma solução específica, ilustrada na vista geral da Figura 77. Este arremate é composto por duas zonas principais, indicadas por marcações coloridas na figura: o detalhe da parte superior (destaque em vermelho), referente ao encontro com o peitoril de granito e apresentado na Figura 78, e o detalhe da parte inferior (destaque em azul), que corresponde ao arremate do forro da viga e é exibido na Figura 79. A Figura 76 mostra a visão geral dos detalhes de arremate das vigas da sacada.

Figura 76 - Vista geral do arremate vigas da sacada



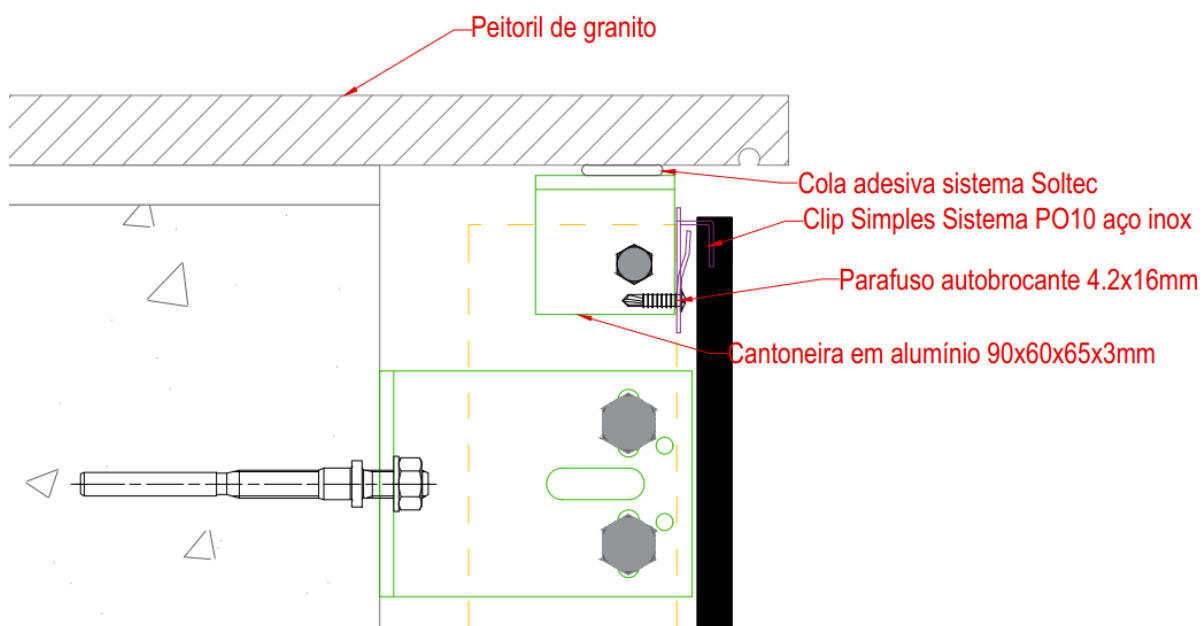
Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 77 - Orientativo arremate vigas da sacada



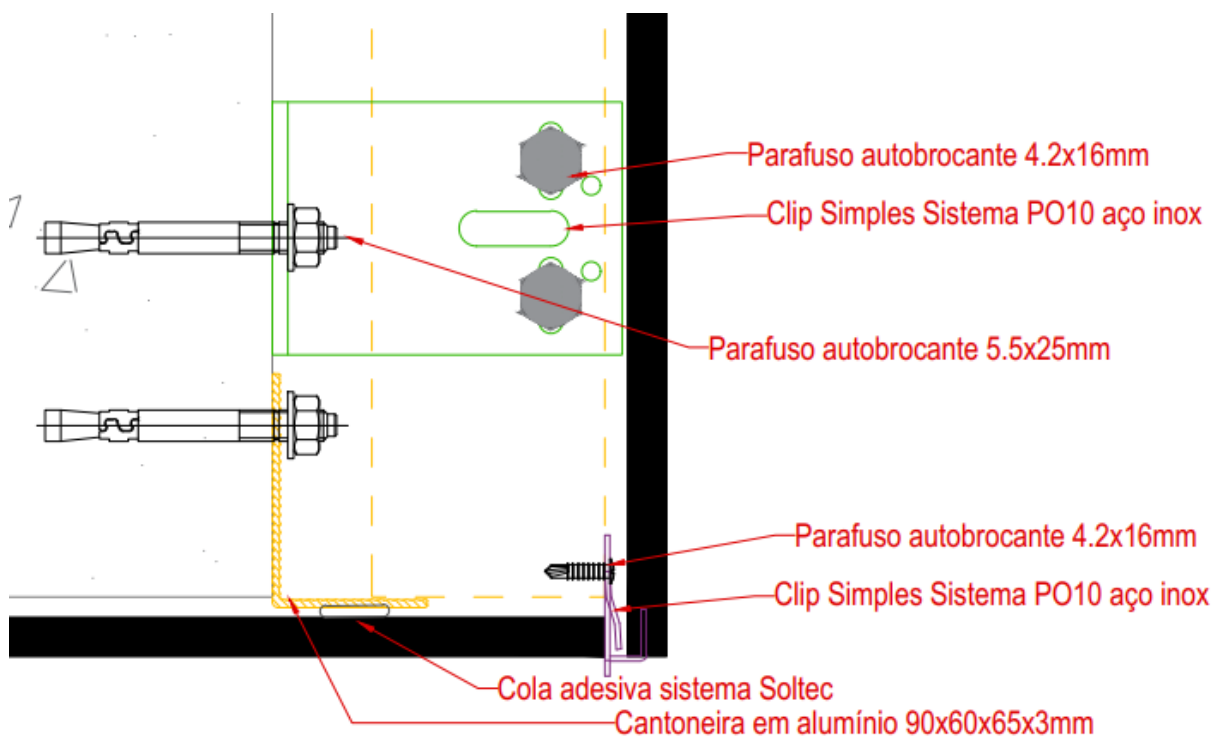
Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 78 – Arremate superior das vigas da sacada (marcação em vermelho da Figura 77)



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 79 - Arremate inferior das vigas da sacada (marcação em azul da Figura 77)



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

No arremate superior, que trata do encontro da fachada com o peitoril de granito, a fixação da placa de porcelanato é feita de forma indireta.

Primeiramente, uma cantoneira de alumínio (90x60x65x3mm) é colada com adesivo do sistema Soltec diretamente na face inferior do peitoril de granito e parafusada ao perfil transversal da estrutura da fachada. Em seguida, a placa de porcelanato é fixada nesse perfil utilizando o clip simples do sistema PO10 (aço inox), preso por um parafuso autobrocante (4,2x16mm). Esta configuração de montagem resulta em uma fresta de arremate na parte superior da viga, estrategicamente posicionada próximo à pingadeira do peitoril.

Já no arremate inferior, a placa de porcelanato que compõe o forro (face inferior da viga) é fixada de maneira distinta. Esta peça horizontal é fixada apenas por colagem, utilizando o adesivo do sistema Soltec.

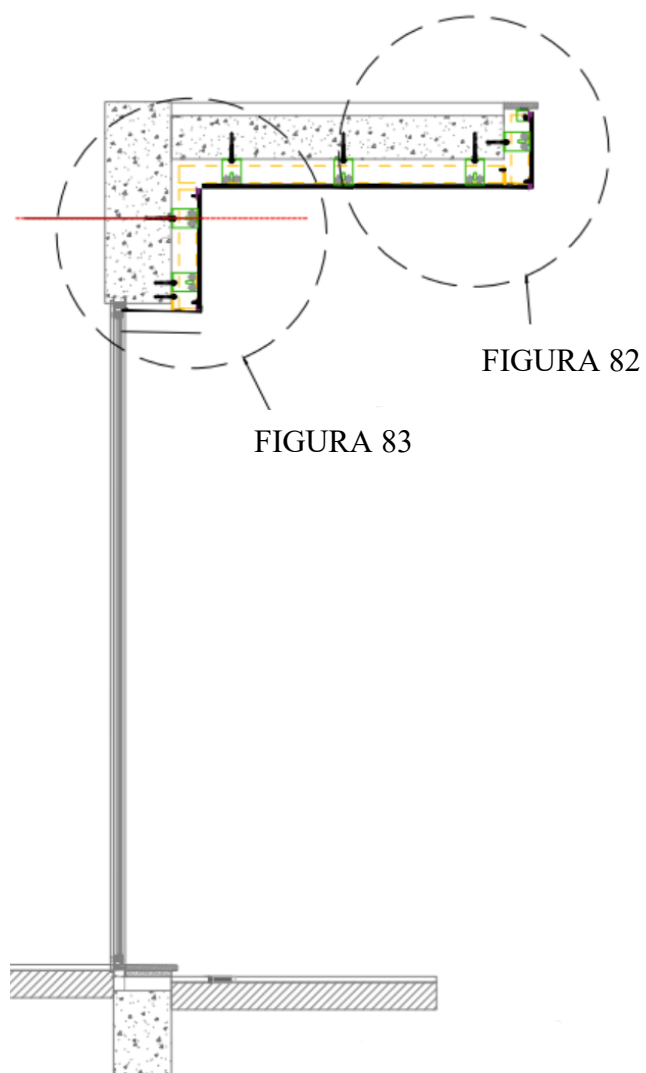
O adesivo é aplicado sobre uma cantoneira de alumínio adicional (90x60x65x3mm), que é fixada mecanicamente na viga com um parafuso autobrocante (5,5x25mm), cuja função é exclusivamente servir de suporte para esta placa. Para garantir a sustentação, a colagem é realizada em ambas as bordas da placa de forro.

A análise dos arremates da viga de borda evidencia duas abordagens distintas. O detalhe superior prioriza a redundância e a funcionalidade: utiliza uma fixação híbrida (cola e parafuso) na cantoneira-suporte, um clip mecânico (PO10) para a placa e ainda garante a fresta de ventilação do sistema ("efeito chaminé"). Em contrapartida, o arremate inferior foca na estética: a placa de forro é fixada apenas com adesivo na cantoneira (esta sim, ancorada mecanicamente) para obter uma superfície monolítica. Essa escolha, contudo, transfere todo o risco de sustentação da placa ao desempenho do adesivo, um fator de segurança crítico em aplicações de forro.

Como últimos detalhes de arremates, o projeto apresenta a solução para os forros de sacada executados diretamente sob a laje maciça (sem viga de borda), conforme a vista geral na Figura 81. Esta solução é composta por dois detalhamentos, indicados por marcações coloridas: o detalhe do canto interno (destaque em vermelho e detalhado na Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025).

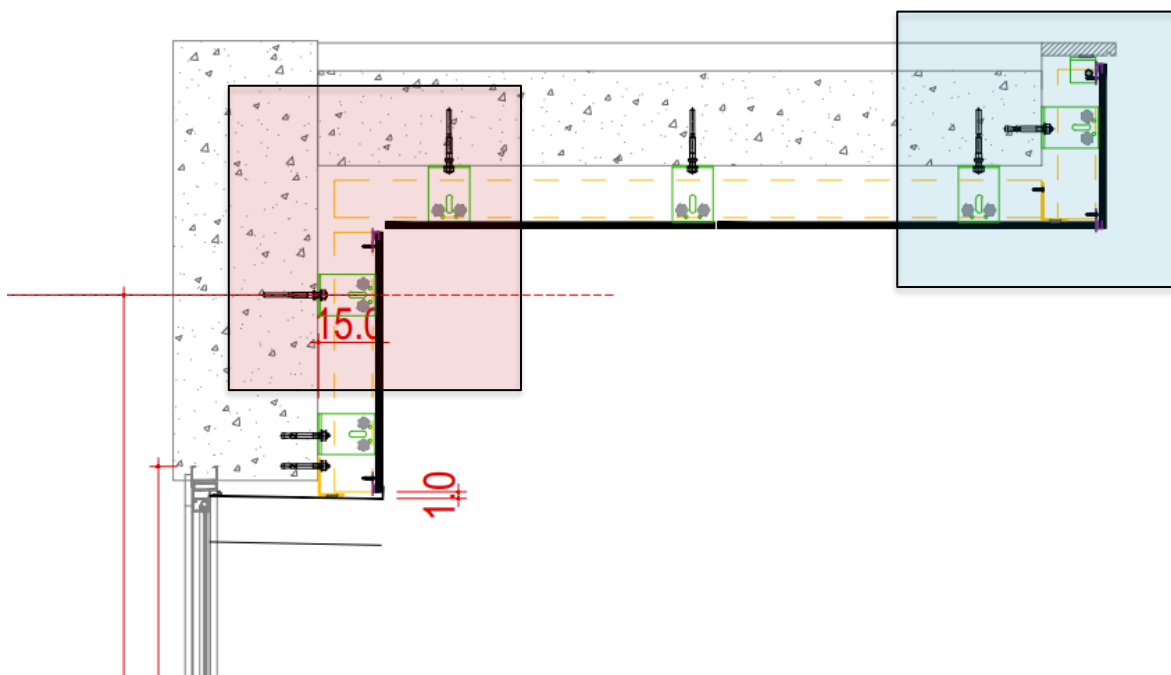
Figura 82), referente ao encontro do forro com a parede da fachada, e o detalhe do canto externo (destaque em azul e mostrado na Figura 83), que corresponde ao arremate na borda da laje. A Figura 80 ilustra a visão geral dos detalhes de arremate do forro de sacadas.

Figura 80 – Visão geral do arremate do forro de sacadas



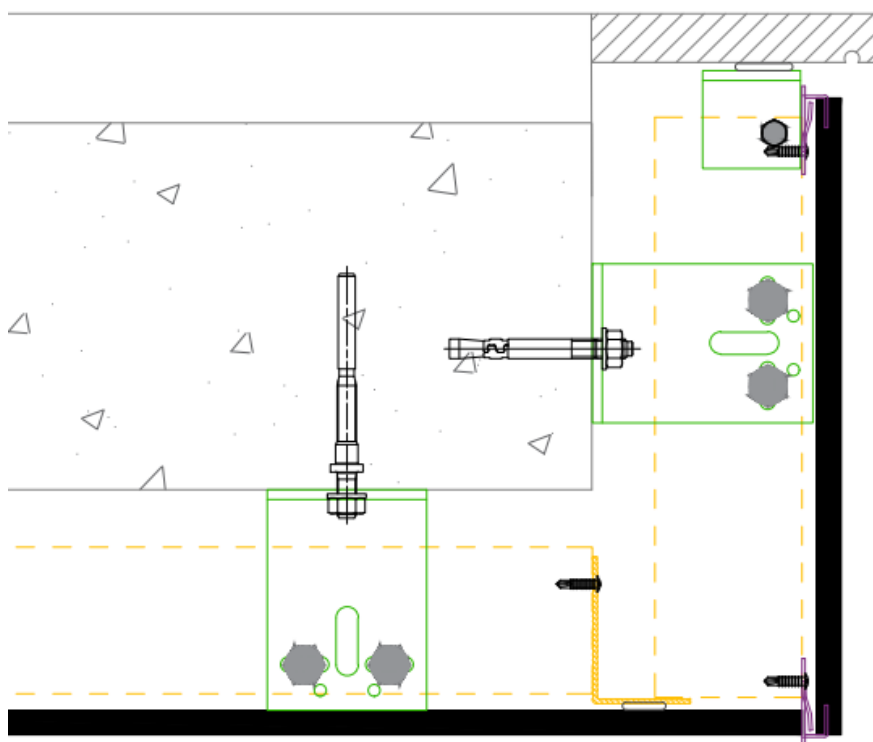
Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 81 - Orientativo forro de sacadas



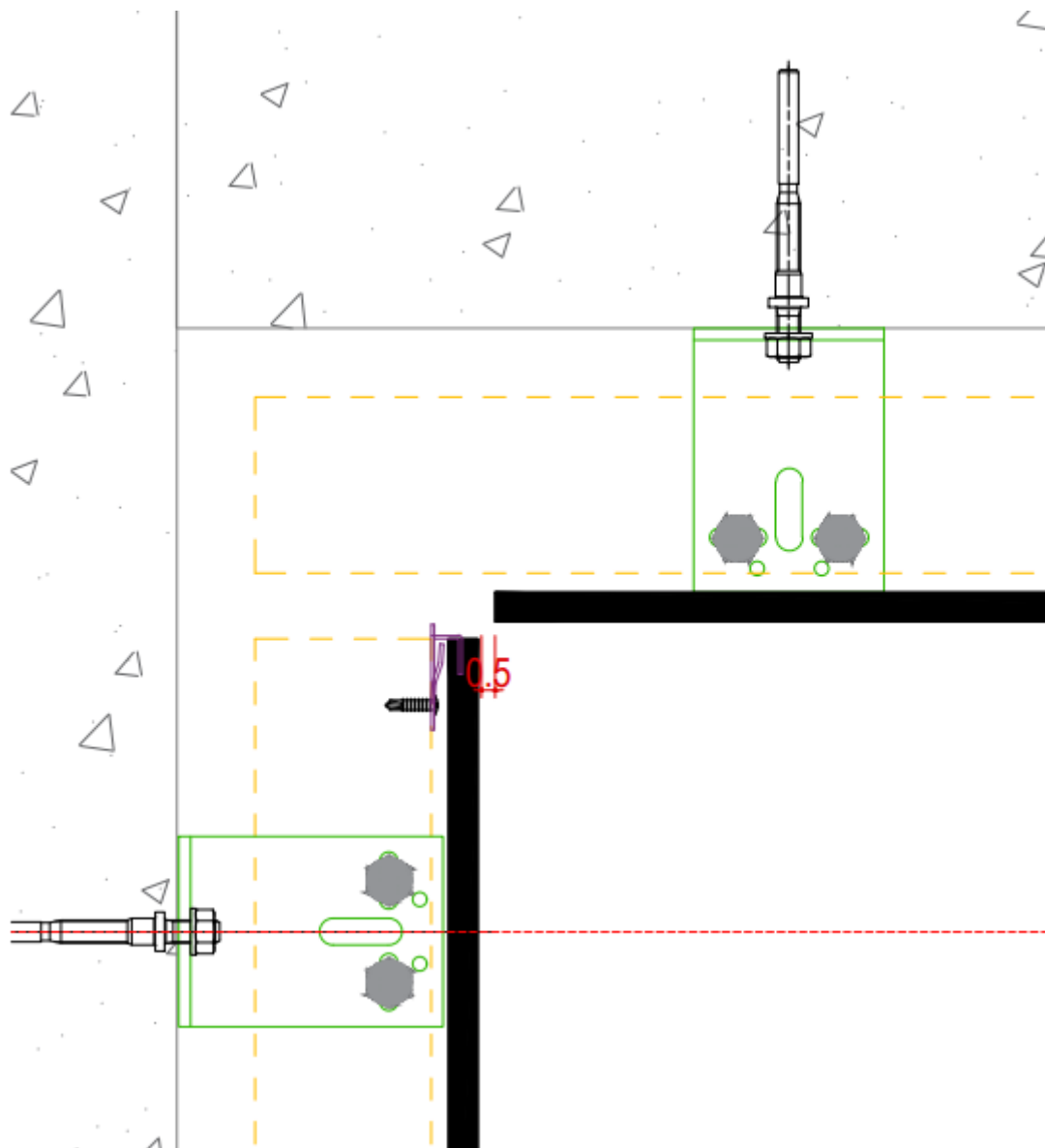
Fonte: Adaptado do projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 82 – Troca de direção externa da sacada (marcação em azul da Figura 81)



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Figura 83 - Troca de direção dentro da sacada (marcação em vermelho na Figura 81)



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

No detalhe do canto externo da laje (Figura 74), a solução é híbrida, combinando conceitos dos arremates de viga (superior e inferior).

A ancoragem do sistema é feita de forma dupla: o perfil transversal principal é conectado tanto a uma cantoneira fixada mecanicamente na borda da laje quanto a outra cantoneira fixada quimicamente (adesivo) no peitoril de granito. Neste perfil principal, a placa vertical da fachada é fixada mecanicamente (com clip e parafuso). A geometria do arremate resulta em uma fresta protegida por pingadeira, similar ao detalhe superior da viga.

A placa horizontal (forro), por sua vez, é fixada apenas por colagem (adesivo Soltec). O adesivo é aplicado sobre uma cantoneira auxiliar, que é parafusada diretamente no perfil transversal principal.

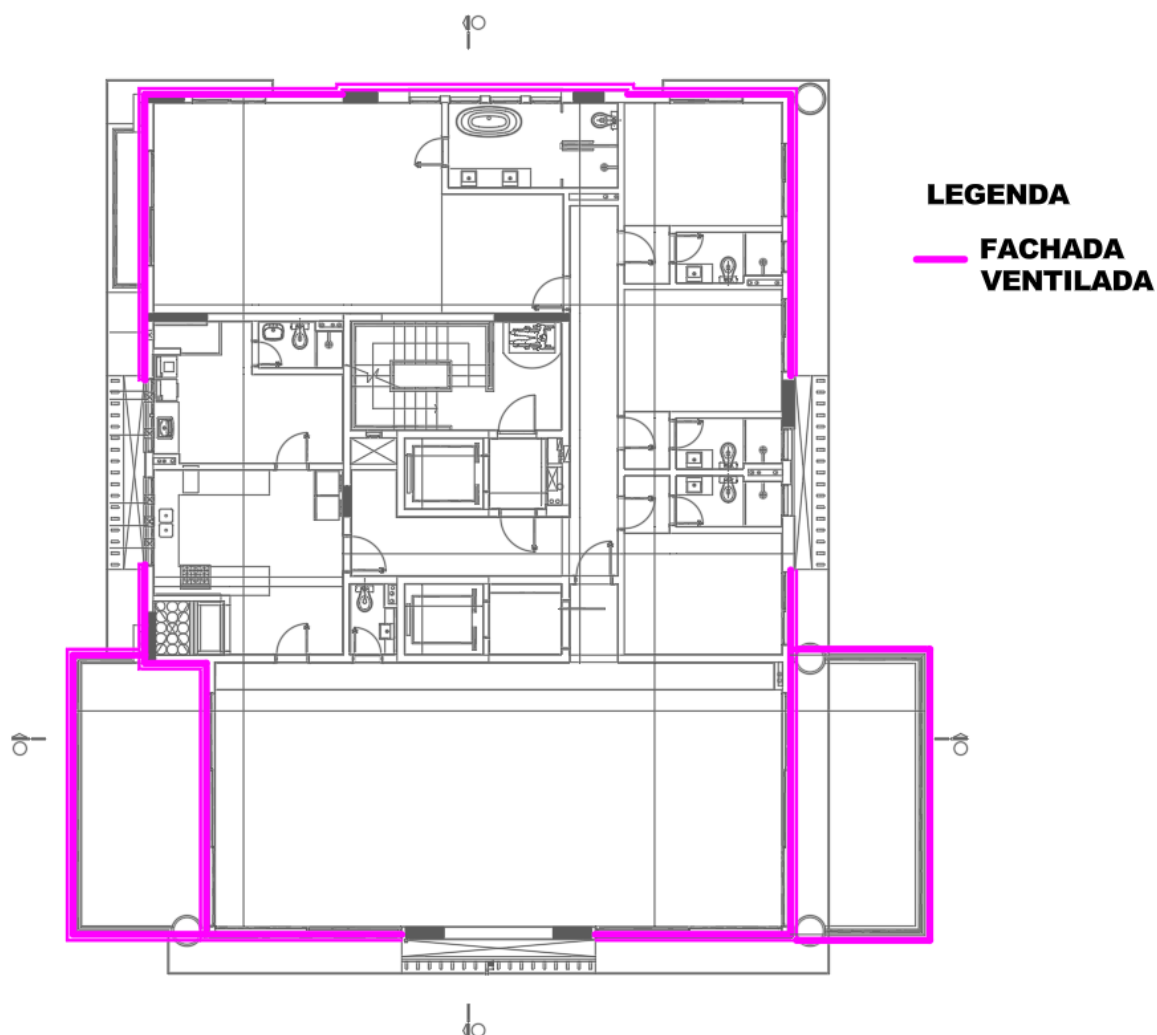
No detalhe do canto interno da sacada (Figura 73), a solução para a parede vertical apresenta similaridade com os padrões anteriores. A placa é fixada mecanicamente (clips e parafusos) ao perfil transversal da fachada. Este perfil, por sua vez, é ancorado na estrutura do edifício por meio de cantoneiras, também fixadas mecanicamente.

Contudo, em relação ao arremate da placa de forro (horizontal) neste canto interno, constata-se uma omissão no detalhamento do projeto. Não é especificado como esta peça deve ser fixada. Por analogia ao detalhe do canto externo (Figura 74), sugere-se que a solução siga o mesmo padrão: a fixação química (adesivo) da placa a uma cantoneira auxiliar, que, por sua vez, é parafusada no perfil transversal da fachada.

4.2. Acompanhamento da execução da fachada ventilada

O acompanhamento da execução do sistema de fachada ventilada foi realizado em uma obra na qual a construtora responsável implementa esta solução pela primeira vez. O projeto e a execução desta fachada estão a cargo da empresa especializada Favegrup, uma das pioneiras na introdução do sistema no Brasil, atuando no ramo desde 2010. Ressalta-se que a aplicação do sistema é parcial, sendo o restante do envelope da edificação finalizado com um revestimento de argamassa texturizada aderida diretamente ao substrato. A disposição da fachada ventilada pode ser vista na Figura 84.

Figura 84 - Disposição da Fachada ventilada



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2025.

Conforme o cronograma, a conclusão do empreendimento está prevista para o final do ano de 2026. No momento do presente estudo (agosto de 2025), a estrutura metálica de suporte da fachada encontrava-se instalada até o quinto pavimento, com o início do assentamento das placas cerâmicas programado para a terceira semana do mesmo mês. O prazo estimado para a execução completa da fachada ventilada é de 11 meses.

4.3. Atividades preliminares

A preparação da base, que antecede a montagem da fachada ventilada, é uma fase de crucial importância para o desempenho e a durabilidade de todo o sistema. Esta etapa visa assegurar que o substrato de alvenaria apresente as condições ideais de planicidade, coesão e

estanqueidade, estabelecendo os pré-requisitos técnicos para a correta instalação da subestrutura metálica. Falhas nesta fase podem se converter em manifestações patológicas graves no futuro, como infiltrações na vedação e deslocamentos.

O processo inicia-se com a conclusão das alvenarias, incluindo o travamento final da parede por meio do encunhamento e o chumbamento dos contramarcos das esquadrias. Em seguida, a superfície é minuciosamente inspecionada para o reparo de eventuais fissuras ou juntas que possam comprometer a estanqueidade do conjunto. Procede-se, então, à aplicação de uma argamassa de regularização para uniformizar todo o pano de alvenaria, eliminando desníveis e imperfeições que prejudicariam a instalação dos perfis. A Figura 85 ilustra o substrato antes (esquerda) e depois (direita) do devido tratamento de regularização.

Figura 85 - Antes e depois do tratamento de regularização do substrato



Fonte: O autor (2025).

4.4. Impermeabilização do substrato

Após a conclusão das atividades preliminares e a cura da argamassa de regularização, procede-se à etapa de impermeabilização. Esta fase é fundamental para garantir a estanqueidade da parede de vedação, que atua como a principal barreira de proteção contra a umidade que possa transpor a câmara de ar da fachada. Para essa finalidade, foi adotado um sistema composto por dois produtos com funções distintas e complementares.

O primeiro, Nano Gray, foi utilizado para a proteção geral da alvenaria. Trata-se de um impermeabilizante de base aquosa com nanotecnologia, composto por sílica e polisilanos.

Aplicado por aspersão até a saturação completa do substrato, seu princípio de funcionamento baseia-se em nanopartículas de 9 nanômetros que penetram nos poros e reagem com o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, formando uma rede cristalina interna sem criar uma película superficial. Este processo confere ao material uma capacidade de absorção de água inferior a 0,5%, sendo que seu desempenho máximo é atingido após um período de reação de 14 dias. A Figura 86 ilustra a aplicação do produto na obra.

Figura 86 - Aplicação do produto Nano Gray



Fonte: O autor (2025).

O segundo produto, Pró-Gel, foi empregado na vedação de áreas de movimentação e pontos singulares, como as juntas entre a alvenaria e a estrutura e a região de chumbamento dos contramarcos.

O produto em questão, consiste em uma borracha líquida em gel à base de estireno-etileno-butileno-estireno, desenvolvida para vedações que exigem alta aderência e elasticidade. Caracteriza-se pela elevada flexibilidade e por uma taxa de absorção de água de apenas 0,03%. Sua aplicação é realizada de forma pontual com pincel em demão única, assegurando a selagem

de regiões críticas sujeitas a movimentações que o sistema cristalizante não é projetado para absorver. A Figura 87 mostra o contramarco com o produto aplicado.

Figura 87 - Aplicação do produto no contramarco



Fonte: O autor (2025).

A validação da eficácia do sistema de impermeabilização é um passo obrigatório antes de se avançar para a montagem da subestrutura metálica. Conforme o planejamento da obra, após o tempo de cura dos produtos, foram realizados ensaios de estanqueidade in loco para verificar o desempenho do tratamento. Tais ensaios, que visam assegurar que a base atingiu os critérios de proteção contra a infiltração de água, serão discutidos e detalhados em tópico à parte no presente trabalho.

4.5. Fixação da estrutura metálica

Com a impermeabilização concluída e validada, a execução avança para a instalação das ancoragens da subestrutura. Na presente obra, a estratégia de fixação foi definida conforme o tipo de substrato: utilizou-se a ancoragem química para a fixação nos blocos de alvenaria (Figura 88) e a ancoragem mecânica (por expansão) nos elementos de concreto, como vigas, pilares, e blocos cerâmicos grauteados (Figura 89).

Figura 88 - Fixação do chumbador químico



Fonte: O autor (2025).

Figura 89 – Furo (esquerda) e fixação (direita) do chumbador mecânico



Fonte: O autor (2025).

Após a instalação de ambos os tipos de ancoragens e respeitado o tempo de cura da resina dos chumbadores químicos, a etapa seguinte é a validação de seu desempenho. Para isso, realiza-se o ensaio de arrancamento, que visa aferir a capacidade de carga das fixações. A

metodologia e os resultados deste ensaio serão abordados em um tópico específico deste trabalho.

Uma vez confirmada a resistência das ancoragens, inicia-se a montagem dos perfis de alumínio que compõem a subestrutura. Estes perfis são instalados respeitando-se rigorosamente a paginação definida no projeto executivo e são responsáveis por suportar e distribuir as cargas das placas de porcelanato, além de garantir o alinhamento e a estabilidade de todo o sistema. A Figura 90 exemplifica os perfis instalados na obra.

Figura 90 - Perfis metálicos fixados na obra



Fonte: O autor (2025).

4.6. Preparação e fixação das peças cerâmicas

Com a subestrutura metálica instalada e conferida, a etapa final consiste na preparação e instalação das placas de porcelanato técnico que compõem o revestimento.

4.6.1. Inspeção e Preparação das Placas

O processo inicia-se com uma rigorosa inspeção visual das placas no recebimento, verificando-se conformidade de tonalidade, calibre e a ausência de defeitos de fabricação que poderiam comprometer o resultado estético. No caso em estudo, as peças especificadas possuíam uma tela de reforço aplicada em seu tardo, um recurso de segurança que permite a remoção futura da placa sem risco de fragmentação.

Durante a inspeção, identificou-se uma não conformidade: em algumas placas, o adesivo estrutural utilizado para fixar a tela de reforço havia extravasado para as bordas, ocasionando uma falha estética (Figura 91).

Figura 91 - Peças cerâmicas com defeito de fábrica



Fonte: O autor (2025).

Para solucionar a questão, a equipe de obra incorporou uma etapa adicional ao processo: a lixação das bordas das peças (Figura 92). Este procedimento foi executado em conjunto com a execução dos frisos (ranhuras) necessários para o encaixe dos dispositivos de fixação metálicos (Figura 93), otimizando o tempo e garantindo o padrão de acabamento desejado.

Figura 92 - Lixação das peças com defeito



Fonte: O autor (2025).

Figura 93 - Ranhuras para encaixe dos dispositivos de fixação metálicos



Fonte: O autor (2025).

4.6.2. Processo de fixação do revestimento

Com as placas devidamente preparadas, inicia-se a fase de fixação, que emprega um sistema de colagem elástica para complementar a fixação mecânica, garantindo maior segurança e desempenho. Nesta obra, foi utilizado o sistema Panel-Fix® da empresa Soltec, projetado especificamente para a colagem de painéis em fachadas ventiladas. Ele atua em conjunto com a fixação mecânica (inserts), criando um método híbrido que distribui as tensões uniformemente e absorve as vibrações.

A primeira e mais crítica etapa do processo é a preparação das superfícies. Tanto o tardo da placa cerâmica quanto o perfil de alumínio são rigorosamente limpos com álcool isopropílico.

O passo seguinte é a ativação química das superfícies por meio de um sistema de dupla primarização (Figura 94). Conforme a especificação do fabricante, aplica-se primeiramente o promotor de aderência Soltec Promoter P202 e, na sequência, a imprimação Soltec Imprimación 451sw. A aplicação destes primers é essencial para preparar quimicamente os substratos (cerâmica e alumínio).

Figura 94 - Aplicação da dupla primarização



Fonte: O autor (2025).

Após a cura dos primers, o sistema de colagem é montado. Primeiramente, a fita dupla face Soltec é aplicada verticalmente sobre o perfil de alumínio (Figura 95). Esta fita possui duas funções essenciais, garantir a fixação inicial e o posicionamento exato da placa e assegurar uma espessura constante e controlada de 3 mm para o cordão de adesivo. Ao lado da fita, aplica-se o adesivo elástico Soltec, um polímero MS de alto desempenho. É este adesivo que, após curado, realiza a colagem estrutural de longo prazo, conferindo ao sistema resistência às intempéries, aos raios UV e, principalmente, a capacidade de absorver as movimentações de dilatação e contração dos materiais.

Figura 95 - Aplicação da fita dupla face após a primarização do perfil de alumínio



Fonte: O autor (2025).

Uma vez que a placa é posicionada sobre os perfis e imobilizada pelo sistema adesivo, procede-se à fixação mecânica definitiva. Para isso, o *insert* metálico é encaixado nas ranhuras previamente usinadas no tardo da placa e, em seguida, parafusado diretamente ao perfil de alumínio (Figura 96). Essa conexão mecânica atua em sinergia com a colagem elástica, resultando em um sistema de fixação duplo que confere máxima segurança e estabilidade ao revestimento.

Figura 96 - Encaixe e fixação dos inserts metálicos



Fonte: O autor (2025).

A instalação das placas segue rigorosamente a paginação definida em projeto, observando-se continuamente a planicidade da superfície, o alinhamento entre os painéis e a uniformidade das juntas, que neste projeto foram de 1,5 mm. Após a fixação de cada "pano" de fachada, a equipe avança para a seção seguinte, mantendo o padrão técnico e estético estabelecido.

4.7. Análise da impermeabilização do substrato

A proteção do substrato é uma etapa de fundamental importância na execução de fachadas ventiladas, atuando como uma barreira de segurança contra a passagem de água para o interior da edificação. Embora a câmara de ar minimize o contato direto da água com a parede de vedação, garantir a estanqueidade desta superfície é indispensável para a durabilidade do sistema e para prevenir o surgimento de patologias construtivas.

Com o objetivo de avaliar o desempenho do tratamento de superfície da alvenaria, foram conduzidos ensaios de estanqueidade baseados em duas metodologias distintas: o método do cachimbo e o método da caixa. Ambos foram realizados sobre o substrato onde haviam sido aplicados os produtos impermeabilizantes.

A primeira etapa de ensaios de estanqueidade, conduzida em 17 de junho de 2025 com o emprego do método do cachimbo (Figura 97), revelou resultados significativos, que estão compilados na Tabela 6.

Figura 97 - Ensaio do dia 17/06/2025

Fonte: O autor (2025).

Tabela 6 – Resultados dos ensaios do dia 17/06/2025

Tempo (min)	Amostra 1 (ml)	Amostra 2 (ml)	Amostra 3 (ml)	Amostra 4 (ml)	Amostra 5 (ml)
Local	Junta de Argamassa	Bloco	Bloco	Junta de Argamassa	Bloco
0	0	0	0	4	0
30	0,1	0	0	4	0
60	0,1	0	0	4	0
90	0,1	0	0	4	0

Fonte: O autor (2025).

Observou-se um desempenho notavelmente superior do tratamento quando aplicado diretamente sobre os blocos de alvenaria. As Amostras 2, 3 e 5 demonstraram total estanqueidade, não apresentando qualquer penetração de água ao longo dos 90 minutos de monitoramento.

Entretanto, a performance sobre as juntas de argamassa mostrou-se inconsistente. Enquanto a Amostra 1 teve uma absorção de água residual (0,1 ml), a Amostra 4 falhou de forma acentuada, registrando uma absorção de 4 ml imediatamente após a aplicação da carga d'água, o que indica uma provável descontinuidade na película de proteção nesta região.

Essa falha pontual, quando comparada ao excelente desempenho nos blocos, levou à conclusão de que a causa provável não era uma deficiência do produto, mas sim uma falha na sua aplicação. Diante disso, o procedimento de aplicação do impermeabilizante foi revisado e corrigido junto à equipe responsável.

É importante mencionar que, neste dia, não foi possível executar o ensaio da caixa. O insucesso do procedimento ocorreu em função da dificuldade encontrada para a correta fixação dos parafusos de suporte na alvenaria.

Tendo em vista a necessidade de validar a eficácia do produto com a aplicação correta, uma nova rodada de avaliações foi realizada em 7 de julho de 2025, empregando-se tanto o método da caixa de estanqueidade, com o modelo de fixação ajustado, quanto o método do cachimbo (Figura 98).

Figura 98 - Ensaios do dia 07/07/2025



Fonte: O autor (2025).

O ensaio da caixa, novamente não pode ser realizado por conta da dificuldade encontrada na correta fixação e vedação da mesma junto aos blocos cerâmicos, diante disso, esse método de ensaio foi descartado.

Os ensaios do cachimbo executados na mesma data (Tabela 7) reforçaram o comportamento heterogêneo do tratamento. Em consonância com as avaliações anteriores, a amostra aplicada sobre o bloco de alvenaria demonstrou total estanqueidade. Contudo, a amostra localizada próxima à junta de argamassa, embora tenha apresentado baixo volume de absorção, exibiu uma penetração de água progressiva ao longo do tempo.

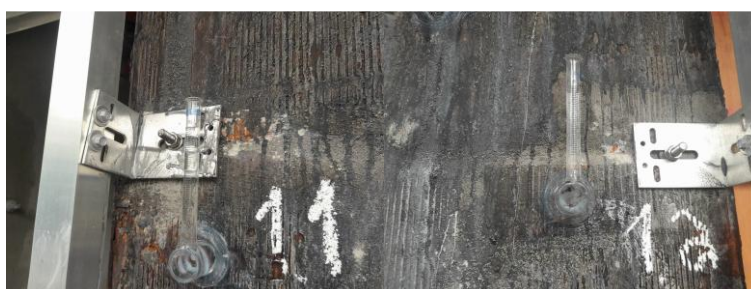
Tabela 7 - Resultados dos ensaios do cachimbo do dia 07/07/2025

Tempo (min)	Amostra 1.1 (ml)	Amostra 1.2 (ml)
Local	Bloco	Bloco
0	0	0
30	0	0,1
60	0	0,3
90	0	0,5

Fonte: O autor (2025).

A persistência de resultados negativos, mesmo após a correção do método de aplicação, indicou a existência de outra variável crítica não controlada. Uma análise mais aprofundada revelou que a umidade residual dos blocos no momento da aplicação do impermeabilizante era um fator determinante para a falha. A hipótese levantada foi que o substrato úmido impedia a correta aderência e cura do produto.

Dessa forma, uma nova rodada de ensaios foi agendada para 16 de julho de 2025 (Figura 99). No entanto, por uma falha no controle de execução, a aplicação do produto foi novamente realizada sobre um substrato que ainda apresentava umidade residual, não atendendo à condição ideal de base seca que se pretendia testar.

Figura 99 - Ensaios do dia 16/07/2025

Fonte: O autor (2025).

Os resultados do ensaio do cachimbo (Tabela 8) vieram a reforçar a hipótese da umidade. De forma similar aos testes anteriores em base úmida, foi observada uma pequena, mas progressiva, infiltração na Amostra 1.2, que atingiu 0,2 ml aos 90 minutos. A repetição da falha, mesmo com a mão de obra ciente dos problemas anteriores, consolidou a tese de que a umidade da base era, de fato, o fator crítico que impedia a estanqueidade total do sistema.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios do cachimbo do dia 16/07/2025

Tempo (min)	Amostra 1.1 (ml)	Amostra 1.2 (ml)
0	0	0
30	0	0,1
60	0	0,1
90	0	0,2

Fonte: O autor (2025).

Diante da confirmação de que o controle de umidade era o ponto-chave, foi estabelecido um procedimento de aplicação final, com rigoroso controle. A superfície foi monitorada com o medidor de umidade para alvenaria, modelo MUV 200 da marca Vonder (Figura 100). O equipamento afere o percentual de água no substrato através do contato de dois pinos com a superfície, e a aplicação do impermeabilizante só foi liberada após a garantia de que o substrato estava completamente seco.

Figura 100 - Controlador de umidade

Fonte: O autor (2025).

Uma última rodada de ensaios do cachimbo foi então executada em 30 de julho de 2025, sob as condições ideais de controle (Figura 101).

Figura 101 - Ensaio do dia 30/07/2025

Fonte: O autor (2025).

Todas as cinco amostras apresentaram absorção nula (0 ml) durante os 90 minutos de monitoramento (Tabela 9). Este resultado validou de forma definitiva a hipótese levantada: o desempenho do sistema impermeabilizante é altamente eficaz, mas sua aplicação é estritamente dependente das condições do substrato.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios do cachimbo do dia 30/07/2025

Tempo (min)	Amostra 1 (ml)	Amostra 2 (ml)	Amostra 3 (ml)	Amostra 4 (ml)	Amostra 5 (ml)
0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2025).

A falha, portanto, não estava no produto, mas na sua aplicação sobre uma base úmida, que impedia a correta aderência e cura. Com o rigoroso controle da secagem da alvenaria, verificado por instrumento, o tratamento atingiu a estanqueidade total, comprovando sua adequação para a proteção do substrato da fachada ventilada.

4.8. Teste de arrancamento

Para a verificação da capacidade de carga de ancoragens em diferentes substratos da obra, foram realizados ensaios de arrancamento. Tais ensaios seguiram os procedimentos detalhados na metodologia deste trabalho e foram executados pela empresa especializada MMC Lab, utilizando um equipamento de tração axial, modelo Prevq Teste 210, com capacidade de 2.000 kgf.

Os substratos ensaiados consistiram em elementos de concreto, blocos cerâmicos estruturais (8 MPa), juntas de argamassa de assentamento e blocos canaleta grauteados que compõem as vergas e contravergas. A taxa de aplicação de carregamento do equipamento foi mantida entre 50 mm/min e 150 mm/min, atendendo aos parâmetros da norma ABNT NBR 15825-1:2020.

Conforme especificado, foram utilizados dois tipos de ancoragens, chumbadores mecânicos, aplicados nos elementos de concreto e nos blocos canaleta grauteados, e chumbadores químicos, aplicados diretamente nos blocos cerâmicos e nas juntas de argamassa.

Os primeiros ensaios de arrancamento foram realizados no dia 17/06/2025. Os resultados consolidados desta etapa estão apresentados na Tabela 10. A Figura 102 mostra os ensaios realizados no dia 17/06/2025.

Figura 102 - Ensaio do dia 17/06/2025



Fonte: O autor (2025).

Tabela 10 - Resultados dos ensaios do dia 17/06/2025

Identificação (Obra)	Patamar de Carregamento (kgf)	Carga Aplicada (kgf)	Tempo de Permanência (min)	Solicitação (Atendida / Não Atendida)
Pilar - Ponto 01	600	>600	1	Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 02	Escoar	250	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 03	Escoar	150	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 04	Escoar	250	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 05	Escoar	<50	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 06	Escoar	<50	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 07	Escoar	80	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 08	Escoar	<50	-	Não Atendida
Bloco Grauteado - Ponto 09	600	>600	1	Atendida
Bloco Grauteado - Ponto 10	600	>600	1	Atendida
Bloco Grauteado - Ponto 11	600	>600	1	Atendida
Bloco Grauteado - Ponto 12	600	>600	1	Atendida
Bloco - Ponto 13	Escoar	230	-	Não Atendida
Bloco - Ponto 14	Escoar	240	-	Não Atendida

Fonte: O autor (2025).

A análise dos dados da Tabela 7 revela uma clara distinção no desempenho das ancoragens a depender do substrato. Observou-se que todos os pontos ancorados em elementos

de concreto (Ponto 01) ou alvenaria grauteada (Pontos 09,10,11,12) atenderam à solicitação de carga, resistindo a um carregamento superior a 600 kgf.

O sucesso nos ensaios em concreto e graute pode ser atribuído à elevada resistência do substrato, que permitiu o desempenho ideal do chumbador mecânico utilizado, o EJOT® Through Bolt BA-E Plus 8/23/10. Este componente é um chumbador de expansão do tipo passante (through bolt), fabricado em aço inoxidável A4, que a partir da aplicação de um torque, é expandido, gerando fixação por atrito. A ficha técnica do produto informa os valores de resistência com base em um concreto C20/25, para o qual a carga de tração recomendada em condição não fissurada é de 3,8 kN (aproximadamente 387 kgf).

Contudo, como a obra utilizou um concreto com f_{ck} de 40 MPa, a capacidade de carga real da ancoragem é ainda maior. Essa condição de um substrato mais resistente justifica o desempenho verificado nos testes, onde os chumbadores suportaram cargas superiores a 600 kgf antes do escoamento ou falha.

Em contrapartida, verificou-se que nenhum dos pontos de ensaio localizados nas juntas de argamassa de assentamento (Pontos 02 a 08) atendeu à solicitação de carga. As cargas de ruptura variaram entre valores inferiores a 50 kgf e um máximo de 250 kgf. A análise inicial indicou uma falha de aplicação do chumbador químico utilizado nesta fase (Hard VI 420), atribuída a uma provável reação adversa à umidade presente no substrato no momento da instalação. Essa condição pode ter comprometido o processo de cura e a correta propagação da resina, resultando em uma aderência deficiente.

Diante do desempenho insatisfatório e da necessidade de garantir a segurança e a eficácia das ancoragens em alvenaria, optou-se pela substituição do produto. O novo chumbador especificado foi o EJOT® Multifix VSF, um sistema de ancoragem química bicomponente à base de resina viniléster sem estireno. A escolha foi técnica, baseada em suas características de alto desempenho para cargas elevadas e, crucialmente, em sua recomendação explícita pelo fabricante para aplicação em furos secos, úmidos e inundados. Esta tolerância à umidade seria fundamental para mitigar os problemas encontrados na primeira bateria de testes. Novos ensaios foram conduzidos no dia 25/06/2025, conforme figura 60, com o intuito de validar o novo chumbador químico aplicado. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Figura 103 - Ensaio do dia 25/06/2025

Fonte: O autor (2025).

Tabela 11 - Resultados dos ensaios do dia 25/06/2025

Identificação (Obra)	Patamar de Carregamento (kgf)	Carga Aplicada (kgf)	Tempo de Permanência (min)	Solicitação (Atendida / Não Atendida)
Bloco - Ponto 01	Escoar	451	-	Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 02	Escoar	307	-	Atendida
Bloco - Ponto 03	Escoar	690	-	Atendida
Bloco - Ponto 04	Escoar	261	-	Atendida
Bloco - Ponto 05	Escoar	192	-	Não Atendida
Bloco - Ponto 06	Escoar	123	-	Não Atendida
Junta de Argamassa - Ponto 07	Escoar	650	-	Atendida
Bloco - Ponto 08	Escoar	261	-	Atendida

Fonte: O autor (2025).

Os resultados desta etapa mostraram um desempenho consideravelmente superior em comparação aos ensaios anteriores em alvenaria. Dos oito pontos testados, seis atenderam à solicitação de carga, incluindo pontos em juntas de argamassa (Ponto 02 com 307 kgf e Ponto 07 com 650 kgf) que haviam falhado categoricamente na primeira bateria de testes.

O sucesso da segunda fase de ensaios pode ser diretamente atribuído à troca pelo chumbador químico EJOT® Multifix VSF. As características superiores do produto, notavelmente sua formulação que permite a aplicação em substratos úmidos, superaram as condições de obra que provavelmente levaram à falha da ancoragem anterior. Os pontos que ainda assim não atenderam à solicitação (Ponto 05 com 192 kgf e Ponto 06 com 123 kgf) podem ser atribuídos a heterogeneidades pontuais do substrato, como um bloco com microfissuras ou uma falha localizada na argamassa, e não a uma deficiência do produto, visto seu desempenho robusto nos demais pontos sob condições similares. A mudança de especificação provou ser, portanto, uma decisão acertada para a viabilidade técnica da solução.

4.9. Ensaio de Impacto de corpo duro em SVVIE

A capacidade de uma fachada em resistir a choques acidentais é um requisito essencial para garantir sua integridade estética e funcional ao longo da vida útil. Impactos de corpo duro, provenientes do uso e da operação do entorno da edificação, podem causar danos como mossas, fissuras ou até a ruptura de componentes, comprometendo o desempenho do sistema. Diante disso, foram realizados ensaios de impacto de corpo duro sobre o revestimento cerâmico da fachada ventilada, com o objetivo de avaliar seu comportamento sob solicitações de serviço e de segurança, conforme orientações da ABNT NBR 15575-4:2021.

Os ensaios foram conduzidos no dia 18/09/2025, aplicando-se energias de 2,5 J e 10 J. Tais valores foram definidos com base nos critérios da Tabela 7 da referida norma para "Impacto interno", uma vez que as áreas de fachada avaliadas não são sujeitas ao acesso do público, representando um cenário de uso menos severo. A Figura 104 apresenta o esquema montado *in loco* para realização dos ensaios.

Figura 104 - Estrutura para ensaio de impacto de corpo duro



Fonte: O autor (2025).

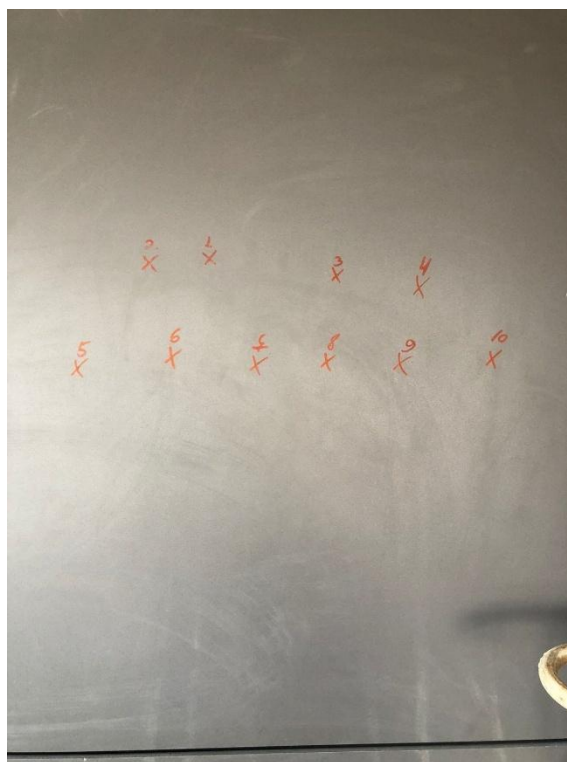
Para a solicitação de 2,5 J, que simula o estado-limite de serviço, a inspeção visual e tátil da superfície cerâmica após a aplicação dos dez impactos não revelou quaisquer anomalias. O sistema manteve sua superfície íntegra, sem a formação de mossas, trincas, lascas ou qualquer outro tipo de falha que pudesse comprometer sua aparência ou função. Este resultado indica que o revestimento possui elevada resistência a impactos de baixa energia, atendendo com folga ao critério normativo que exige a não ocorrência de falhas que comprometam a utilização. A Tabela 12 exhibe os resultados obtidos no ensaio.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de impacto de corpo duro com energia de 2,5J

Corpo de Prova (número)	Local	Energia de Impacto (J)	Mossas (mm)	Limite (mm)	Solicitação Atendida / Não Atendida	Observações
1	EXTERNO	2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
2		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
3		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
4		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
5		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
6		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
7		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
8		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
9		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
10		2,5	-	-	Atendida	Não ocorrência de falhas
Parâmetros para nível (I) intermediário e / ou (S) Superior conforme a tabela F.5 da ABNT 15757:2021						

Fonte: O autor (2025).

A figura Figura 105 mostra a placa cerâmica após a realização do ensaio de impacto de corpo duro com energia de 2,5J.

Figura 105 – Placa cerâmica após ensaio de impacto de corpo duro com energia de 2,5J

Fonte: O autor (2025).

Posteriormente, o sistema foi submetido ao ensaio com energia de 10 J, que representa o estado-limite último. Nesta condição mais severa, embora o revestimento não tenha apresentado mossas ou deformações plásticas, foram observadas a ocorrência de trincas e o lascamento superficial em alguns dos pontos de impacto. Contudo, os danos eram estritamente superficiais, com profundidade não excedendo em nenhum caso 2mm de profundidade. É de fundamental importância ressaltar que em nenhum momento ocorreu a ruptura completa da placa cerâmica ou o seu traspasse. A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos no ensaio.

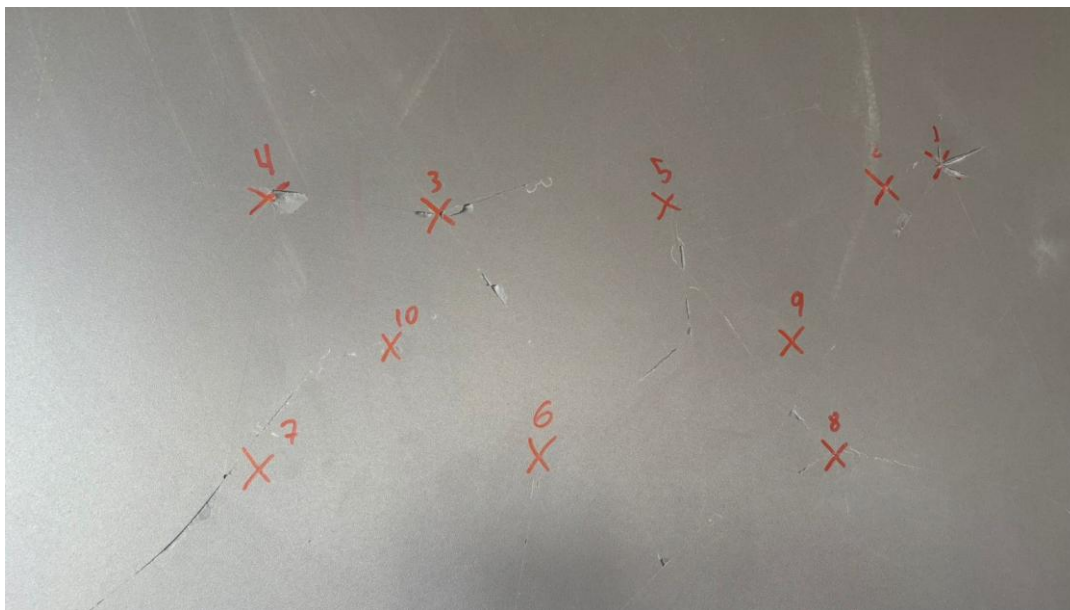
Tabela 13 - Resultados do ensaio de impacto de corpo duro com energia de 10J

Corpo de Prova (número)	Local	Energia de Impacto (J)	Mossas (mm)	Limite (mm)	Solicitação Atendida / Não Atendida	Observações
1	EXTERNO	10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
2		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
3		10	1,02	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
4		10	0,87	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
5		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
6		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
7		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
8		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
9		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
10		10	-	-	Atendida	Não ocorrência de ruptura nem transpasse
Parâmetros para nível (I) intermediário e / ou (S) Superior conforme a tabela F.5 da ABNT 15757:2021						

Fonte: O autor (2025).

A Figura 106 mostra a placa cerâmica após a realização do ensaio de impacto de corpo duro com energia de 10J.

Figura 106 - Placa cerâmica após ensaio de impacto de corpo duro com energia de 10J



Fonte: O autor (2025).

A natureza localizada dos danos, sem comprometer a estabilidade do componente ou do sistema de fixação, demonstra que, mesmo sob um impacto de alta energia, a fachada manteve sua integridade estrutural. O critério da ABNT NBR 15575-4:2021 para esta solicitação é a "não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento". Como as falhas observadas se limitaram a danos estéticos superficiais, conclui-se que o sistema atendeu satisfatoriamente ao requisito de segurança, validando seu desempenho e sua capacidade de resistir a choques acidentais mais severos sem falhar de modo catastrófico.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho se dedicou a analisar a concepção, a execução e o desempenho de um sistema de fachada ventilada, tomando como base um estudo de caso em um edifício residencial de Porto Alegre. Ao unir a pesquisa bibliográfica com a análise detalhada do projeto executivo do Sistema PO10, o acompanhamento prático no canteiro de obras e a realização de ensaios normatizados *in loco*, foi possível não apenas atingir os objetivos propostos, mas também traçar um panorama real dos desafios e potencialidades dessa solução construtiva no cenário brasileiro. A análise de projeto revelou soluções específicas para pontos críticos, como encontros com vãos de esquadrias e arremates de cantos e vigas, detalhando a aplicação dos componentes do sistema.

A pesquisa confirmou a percepção de que a fachada ventilada, embora represente um avanço técnico em relação aos sistemas tradicionais, exige um elevado rigor em todas as suas fases. O acompanhamento da execução no Edifício Attimo tornou evidente que o sucesso do sistema está diretamente ligado ao controle de qualidade de etapas que muitos consideram preliminares, como a regularização e, de forma crucial, a impermeabilização do substrato. A experiência com os ensaios de estanqueidade demonstrou a importância das condições de aplicação: falhas iniciais foram observadas quando o produto impermeabilizante foi aplicado sobre a base ainda úmida. Embora o ensaio de verificação de permeabilidade previsto na ABNT NBR 15575-4:2021 (método da caixa) não tenha sido executado com sucesso devido a dificuldades operacionais em campo, a avaliação prosseguiu utilizando o método do cachimbo, conforme as normas internacionais RILEM Test Method n° II.4 e NIT n° 224:2002. Após garantir a aplicação do produto impermeabilizante sobre o substrato seco, monitorado por instrumento, os ensaios pelo método do cachimbo demonstraram a estanqueidade total da superfície tratada, validando a eficácia do sistema quando aplicado sob as condições corretas.

A análise dos sistemas de fixação, um dos componentes mais críticos para a segurança, reforçou a necessidade da validação empírica em detrimento da simples confiança em catálogos de fabricantes. Os ensaios de arrancamento revelaram uma notável diferença de desempenho entre as ancoragens, influenciada diretamente pelo tipo de substrato e pelas condições de umidade no momento da aplicação dos chumbadores químicos. A decisão de substituir o chumbador químico inicial por um produto mais tolerante à umidade foi determinante para atender às cargas de projeto na alvenaria, comprovando que a especificação correta do insumo, validada em campo, é um fator decisivo para a viabilidade e segurança da solução.

De forma positiva, os ensaios de impacto de corpo duro validaram a robustez do revestimento porcelânico, que atendeu aos critérios de segurança da ABNT NBR 15575-4:2021. Mesmo sob o impacto de maior energia, os danos observados foram apenas superficiais, sem comprometer a integridade da placa ou da fixação, um indicativo importante da segurança que a fachada oferece aos usuários.

Dessa forma, este trabalho contribui para o setor ao ajudar a mitigar a carência de informações técnicas sobre fachadas ventiladas no Brasil, um campo que ainda aguarda uma normalização específica. Ao documentar um estudo de caso real, do projeto à validação em campo, a pesquisa oferece um referencial prático que consolida diretrizes e boas práticas, podendo orientar as decisões de projetistas e executores. Fica claro, portanto, que a especificação criteriosa de materiais, o rigor nos processos executivos — incluindo o controle das condições do substrato — e a realização de ensaios de validação *in loco* são etapas indissociáveis para garantir a segurança, a estanqueidade e a durabilidade que o sistema de fachada ventilada promete.

Para trabalhos futuros, sugere-se o monitoramento do desempenho desta fachada a longo prazo, abrangendo análises de comportamento térmico e acústico. Recomenda-se também o desenvolvimento de pesquisas focadas no dimensionamento estrutural do sistema, visando a otimização dos perfis da subestrutura e das ancoragens frente às cargas de vento e peso próprio. Além disso, considerando os desafios enfrentados com a umidade da base, sugere-se a investigação de soluções de impermeabilização específicas para substratos com alto teor de umidade ou saturação, avaliando produtos que permitam a aplicação e cura eficazes sem a estrita necessidade de secagem completa da alvenaria, visando maior agilidade no cronograma de obras.

REFERÊNCIAS

ALLEN, Edward; IANO, Joseph. Fundamentals of building construction: materials and methods. 6. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

ARRUDA, Tiago Schnorr de. Estudos de modalidades para a execução de fachada cortina. 2010. 54 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10821-1: Esquadrias para edificações - Parte 1: Esquadrias externas e internas - Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10821-2: Esquadrias para edificações - Parte 2: Esquadrias externas - Requisitos e classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11675: Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência aos impactos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14827: Chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria — Determinação de resistência à tração e ao cisalhamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-4: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE - Emenda 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17170: Edificações — Garantias — Prazos recomendados e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 39 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10052: Acústica — Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais — Método simplificado. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 13006: Placas cerâmicas — Definições, classificação, características e marcação. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 59 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 16283-3: Acústica — Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações — Parte 3: Isolamento de fachada a ruído aéreo. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 717-1: Acústica — Classificação de isolamento acústico em edificações e elementos de edificações — Parte 1: Isolamento a ruído aéreo. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 30 p.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez. 2021.

BENEVOLO, Leonardo. História da arquitetura moderna. Tradução de Ana M. Goldberger. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2001.

CARRASCO, César A. *et al.* Building Information Modeling (BIM 6D) and its application to thermal loads calculation in retrofitting. *Buildings*, Basel, v. 13, n. 8, art. 1901, jul. 2023. DOI: 10.3390/buildings13081901. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/8/1901>. Acesso em: 15 jul. 2025.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). Hydrofugation de surface: Note d'Information Technique 224 (Remplace la NIT 140). Bruxelles: CSTC, 2002.

CORPO DE BOMBEIROS (São Paulo). Instrução Técnica Nº 08/2025: Segurança estrutural contra incêndio. Parte 1 - Requisitos gerais. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2025.

CORPO DE BOMBEIROS (São Paulo). Instrução Técnica nº 09/2025: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2025.

CORPO DE BOMBEIROS (São Paulo). Instrução Técnica nº 10/2025: Controle de materiais de acabamento e de revestimento. São Paulo: Corpo de Bombeiros, 2025.

CRUZ, Ana Flávia Ramos. Fachadas Ventiladas: Contribuição para a sistematização da sua aplicação. 2011. 237 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

CUNHA, Márcio Manuel Ferreira da. Desenvolvimento de um sistema construtivo para Fachadas Ventiladas. 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2006.

DIREITO, Joana Ferreira. Estudo da segurança contra incêndio em fachadas ventiladas. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.

DUTRA, Miguel Resendes. Caracterização de Revestimentos em Fachadas Ventiladas: Análise do Comportamento. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

EJOT. Catálogo Fachadas Ventiladas. [S.l.]: EJOT, 2025.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 13501-1: Fire classification of construction products and building elements: Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. Brussels: CEN, 2018.

FAVEGRUP. Ventirock Duo: resistência e velocidade. São Paulo, [s.d.]. Catálogo.

FOCOS de incêndio continuam ativos no hotel de luxo em Dubai. G1, Mundo, 1 jan. 2016. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2016/01/focos-de-incendio-continuam-ativos-no-hotel-de-luxo-em-dubai.html>. Acesso em: 2 set. 2025.

FRAMPTON, Kenneth. História crítica da arquitetura moderna. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

GINDRI, Natália de Oliveira. Fachada ventilada: análise da execução em edificação hospitalar de Porto Alegre. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

GRACIANO, Tiago Duarte. Fachadas Ventiladas: análise da tecnologia e do suporte técnico fornecido ao mercado nacional. 2018. 87 f. Trabalho de Diplomação (Engenharia Civil) – Comissão de Graduação Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

GRENFELL TOWER: 72 mortes no incêndio que atingiu moradias sociais na Inglaterra, em 2017, poderiam ter sido evitadas, aponta investigação. O Globo, Mundo, 4 set. 2024. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2024/09/04/grenfell-tower-72-mortes-no-incendio-que-atingiu-moradias-sociais-na-inglaterra-em-2017-poderiam-ter-sido-evitadas-aponta-investigacao.ghtml>. Acesso em: 20 set. 2025.

HERRMANN, Thiana Dias. Avaliação do desempenho à estanqueidade à água de diferentes revestimentos para a recuperação de uma fachada degradada. 2017. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

KNAACK, U. *et al.* Facades: Principles of Construction. Basel: Birkhäuser, 2014.

KOSTOF, S. A History of Architecture: Settings and Rituals. Oxford: Oxford University Press, 1995.

LEÃO, Silvia Lopes Carneiro. A evolução do conceito de fachada: Do renascimento ao modernismo. Arquisur revista, [S. l.], ano 3, n. 4, 2013. Disponível em: http://www.fadu.unl.edu.ar/arquisurrevista/articulo.php?nld_Articulo=47. Acesso em: 10 jul. 2025.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes. Energia incorporada de fachadas ventiladas. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília-DF. 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

MACIEL, Ana Filipa da Silva. Fachadas ventiladas: acabamento e fixação: contributos para a sistematização do seu processo de execução. 2017. 148 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Arquitetura, Especialização em Tecnologia da Construção) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

MARTINI, Leonardo Ehlert. Estudo de caso: projeto e execução da fachada ventilada da sede da Unisinos em Porto Alegre. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MARTINS, José Augusto Stoffel Maia Tito. Análise comportamental do fogo em sistemas de fachada com isolamento pelo exterior. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, especialidade de Construção) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

MENDES, Francisco Melo Vaz Pinto. Durabilidade das fachadas ventiladas: aplicação da Norma ISO 15686-1. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

MMC LAB. Impacto de corpo mole e corpo duro. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.mmclab.com.br/impacto-de-corpo-mole-e-corpo-duro>. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, Luciana Alves; MITIDIERI FILHO, Claudio Vicente. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 90-100, maio 2012.

PEREIRA, Amanda Aparecida Silva. Apresentação de sistemas de revestimento em fachadas com ênfase em fachada ventilada. 2022. 49 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

POTIGUARA, Luiz Guilherme Pereira. Fachadas cortina: processo construtivo e patologias associadas. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS (RILEM). Commission 25-PEM. Measurement of water absorption under low pressure: Rilem Test Method - Test No. II.4. Paris: RILEM, 1987.

REUTER, Júlia Weber. Análise de condicionantes de projeto e execução de fachada ventilada em edifício residencial. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2020.

RIBEIRO, Manuel Maria L. B. Sousa. Durabilidade na construção: estimativa da vida útil de fachadas ventiladas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções Cíveis) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

ROQUE CHIES. Attimo. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://roquechies.com.br/empreendimento/attimo/>. Acesso em: 25 set. 2025.

SAHADE, Renato. A Fachada Ventilada: conceito, vantagens e desvantagens. In: *CONCRETE SHOW, SOUTH AMERICA BRAZIL*, 2017, São Paulo. [Anais...]. São Paulo: [s.n.], 2017.

SANTOS FILHO, Vamberto Machado dos; SPOSTO, Rosa Maria; CALDAS, Lucas Rosse. Análise do desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em um edifício habitacional em Brasília-DF. REEC Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 116-130, jul./dez. 2017.

SANTOS, Gustavo Pianho dos. Estudo comparativo da produtividade da mão de obra no serviço de revestimento com reboco. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023.

SANTOS, Luiz Carlos. Fachadas de alumínio: como alcançar um desempenho eficiente em alumínio. Contramarco & Companhia, São Paulo, n.55, p.28-37, set./out. 2005.

SANTOS, Sthefany Suweny. Patologias construtivas em revestimentos de fachada. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SANTOS JÚNIOR, Waldir Belisário dos. Desempenho, durabilidade, degradação e vida útil: aspectos técnicos no desenvolvimento do plano de manutenção de fachadas. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, Amanda Menoti; FIORITI, Cesar Fabiano. Mapeamento de manifestações patológicas em revestimentos argamassados externos de edifícios de múltiplos pavimentos. REEC Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 192-202, jul./dez. 2019.

SILVA, Ricardo Leopoldo e. Interface Concreto-e-Aço: Análise, dimensionamento e detalhes de ligações semirrígidas. 2010. 521 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SÍNTESE ACÚSTICA. Laboratório. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://sinteseacustica.com.br/laboratorio/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury Antunes de. Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato. 2003. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOCOLOSKI, Rafaela Falcão. Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com Revestimento de Argamassa. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

SOUSA, Fernando Manuel Fernandes de. Fachadas Ventiladas em Edifícios: Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento. 2010. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

SOUSA, H. D.; *et al.* Fachadas de Edifícios. 1. ed. Porto: Lidel, 2016.

SOUZA, Leonardo Oliveira de. Execução de fachada ventilada no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre: estudo de caso. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Ritter dos Reis, Porto Alegre, 2022.

