

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

CURSO ENGENHARIA CIVIL

Felipe Schmidt Espig

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DA APLICAÇÃO DA BASE EPÓXI EM
REBOCOS COM SOM CAVO**

Santa Cruz do Sul

2025

Felipe Schmidt Espig

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DA APLICAÇÃO DA BASE EPÓXI EM
REBOCOS COM SOM CAVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso
de Engenharia Civil, da Universidade de Santa Cruz do
Sul - UNISC, na área de Patologia.

Orientador: Prof. Ms. Eng. Marcus Daniel F. dos Santos

Santa Cruz do Sul

2025

AGRADECIMENTOS

Chegar a este momento de conclusão é um marco que exige uma pausa para refletir e expressar sincera gratidão às pessoas essenciais nesta jornada. Foi um período de dedicação intensa e crescimento, e cada etapa valeu o esforço.

Dedico minha gratidão incondicional aos meus pais. Por terem sido meu alicerce inabalável, por me fornecerem a educação, os valores e o incentivo constante para perseguir e concluir a graduação. A força de vontade e a determinação de vocês são minha maior inspiração.

Quero agradecer imensamente ao Marcus Daniel Friederich dos Santos, meu orientador. Pela confiança depositada, pelo conhecimento compartilhado e pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa sob sua orientação. Seu suporte e sua expertise foram cruciais para a concretização deste trabalho.

Estendo meus agradecimentos ao Cícero Pimentel Corrêa, por ter me oferecido a oportunidade de aprendizado e desenvolvimento profissional durante o período em que estive sob sua liderança. Esta experiência foi fundamental e contribuiu diretamente para a minha formação acadêmica.

Agradeço a todos os colegas de graduação e amigos que compartilharam esta trajetória. O companheirismo, a troca de experiências e as parcerias formadas ao longo destes anos tornaram a jornada acadêmica mais leve e enriquecedora.

Por fim, agradeço a todos os professores, colaboradores e demais pessoas que, de alguma forma, auxiliaram no meu processo de formação e contribuíram para que este trabalho de conclusão de curso se tornasse realidade.

RESUMO

O descolamento e a presença de som cavo em fachadas representam patologias críticas que exigem intervenção imediata, devido ao risco de segurança e à depreciação do imóvel. A alternativa tradicional de remoção e substituição do revestimento é onerosa, demorada e gera altos custos logísticos e ambientais, como a produção de entulho e a emissão de CO₂ associada à produção de novos materiais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da ancoragem química com resina epóxi (Prego Químico) como alternativa à substituição do revestimento de argamassa em substrato de concreto. A metodologia adotou uma abordagem quantitativa em um estudo de caso comparativo, utilizando dados reais de dois empreendimentos (Obra A - Prego Químico e Obra B - Remoção) em Porto Alegre, focando no levantamento de custos, cronogramas, comparação de produtividade e simulação econômica em cenários de sensibilidade. Os resultados comprovam a superioridade do método químico em todas as esferas analisadas. Em termos de eficiência técnica, a produtividade individual por funcionário aumentou em 245% em comparação à simulação do método de remoção. Consequentemente, o método do Prego Químico demonstrou uma redução de 42% no prazo total de obra. Economicamente, o custo por metro quadrado do método de injeção química resultou em uma economia de 21% no orçamento total. Adicionalmente, a rapidez da execução resultou em economias no custo fixo, que representou apenas 58% do custo fixo da simulação. O método do Prego Químico também apresenta benefícios operacionais superiores, pois é um procedimento limpo que elimina a geração de entulho, ruído e poeira, reduzindo a complexidade logística e os custos com caçambas. A escolha do método demonstra ainda um ganho ambiental significativo, pois evita a necessidade de produção e transporte de nova argamassa. Contudo, a eficácia do método está condicionada a restrições técnicas, como a necessidade de substrato de concreto e a baixa eficácia em argamassas com baixa resistência.

Palavras-chave: Prego Químico. Ancoragem Química. Resina Epóxi. Som Cavo. Viabilidade. Produtividade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas do revestimento em argamassa.....	13
Figura 2 - Solicitações a que o revestimento está sujeito	14
Figura 3 - Adesão inadequada entre o revestimento e o substrato devido à falta de limpeza no substrato	16
Figura 4 - Adesão adequada entre o revestimento e o substrato.....	17
Figura 5 - Chapisco tradicional.....	18
Figura 6 - Chapisco desempenado	18
Figura 7 - Chapisco rolado	19
Figura 8 - Taliscas para controle de espessura e planicidade	20
Figura 9 - Execução do friso de junta horizontal	23
Figura 10 - Reforço do revestimento com tela metálica	24
Figura 11 - Comparativo visual da fachada do Teatro Paiol antes e depois do restauro	27
Figura 12 - Recuperação do desempenho com manutenções.....	34
Figura 13 - Lei de Sitter	35
Figura 14 - Evolução acumulada de custos - prego químico vs. simulação de remoção da obra A	50
Figura 15 - Distribuição dos custos da obra A (prego químico)	51
Figura 16 - Distribuição dos custos simulados da obra A (método de remoção).....	51
Figura 17 - Evolução acumulada de custos - variável de equipe (6 vs 6 funcionários)	53
Figura 18 - Evolução acumulada de custos - variável de equipe (12 vs 12 funcionários).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espessuras admissíveis em revestimentos de argamassa	21
Tabela 2 - Limites de resistência de aderência à tração.....	21
Tabela 3 - Propriedades de resinas para injeção e ancoragem química	40
Tabela 4 - Custo real obra A - prego químico	46
Tabela 5 - Custo real obra B - remoção.....	47
Tabela 6 - Métricas de comparação	48
Tabela 7 - Estimativa de custos - simulação de remoção.....	49
Tabela 8 - Estimativa de custos - simulação de remoção (6 funcionários)	53
Tabela 9 - Estimativa de custos - simulação de prego químico (12 funcionários)	54
Tabela 10 - Resumo de custos fixos.....	56

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Área	11
1.2	Limitação do tema.....	11
1.3	Justificativa	11
1.4	Objetivo geral.....	12
1.5	Objetivos específicos	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Revestimento em argamassa	13
2.1.1	Chapisco	15
2.1.2	Emboço	19
2.1.3	Reboco	20
2.2	Detalhes construtivos.....	22
2.2.1	Juntas.....	22
2.2.2	Pingadeiras	23
2.2.3	Reforço do revestimento com tela metálica.....	23
2.3	Controle de execução	24
2.3.1	Controle de materiais da obra	25
2.4	Projeto de fachadas	25
2.5	Manifestações patológicas em revestimentos argamassados	27
2.5.1	Causas e origens das manifestações patológicas.....	28
2.5.2	Tipos comuns de manifestações patológicas	29
2.5.2.1	Fissuras.....	30
2.5.2.2	Manchamentos e eflorescências	30
2.5.2.3	Som cavo	31
2.6	Manutenção de revestimentos argamassados.....	33
2.7	Ensaios para avaliação de revestimentos argamassados	35
2.7.1	Resistência superficial.....	36
2.7.2	Resistência a abrasão	36
2.7.3	Ensaio de percussão	36
2.7.4	Ensaio de resistência de aderência a tração.....	37
2.8	Epóxi na construção civil.....	37
2.8.1	Classificação e propriedades	39

2.8.2	Propriedades comparativas	40
2.8.3	Desafios e falta de normatização	41
3.	METODOLOGIA	42
3.1	Seleção e caracterização das obras	42
3.2	Coleta e estruturação dos dados	43
3.3	Simulação econômica e cenários de sensibilidade	44
3.4	Identificação de limites de uso e restrições técnicas.....	44
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	45
4.1	Custos da obra A - prego químico	45
4.2	Custos da obra B - remoção	46
4.3	Métricas de comparação	47
4.4	Simulações	48
4.4.1	Simulação I: obra A com remoção	49
4.4.2	Simulação II: variável de equipe (6 vs 6 funcionários).....	52
4.4.3	Simulação III: variável de equipe (12 vs 12 funcionários).....	54
4.5	Comparação do custo fixo	56
4.6	Diferenças operacionais.....	56
4.7	Limitação e restrições técnicas	57
5.	CONCLUSÃO	59
6.	REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços e do desenvolvimento tecnológico na construção civil, as manifestações patológicas em fachadas de edificações, mesmo em empreendimentos relativamente novos, continuam sendo uma preocupação central para a engenharia e para os usuários. Problemas como fissuras, infiltrações, descolamento e deslocamento dos revestimentos argamassados ou cerâmicos, frequentemente resultantes de falhas de projeto, erros de execução ou ausência de manutenção preventiva, comprometem a vida útil e a qualidade das construções. A crescente incidência desses problemas demonstra a necessidade de uma maior atenção ao sistema de revestimento de fachada, em conformidade com os requisitos mínimos de desempenho estabelecidos pela Norma de Desempenho (NBR 15575:2013).

Dentre as patologias mais críticas em revestimentos, o som cavo – que indica a perda de aderência entre as camadas do revestimento ou entre o revestimento e o substrato – exige intervenção imediata, pois apresenta um risco de segurança aos usuários devido à potencial queda de material. Tradicionalmente, a solução para esta manifestação patológica envolve a remoção e substituição completa do revestimento argamassado, um serviço que se caracteriza por ser complexo, demorado e oneroso (ANTUNES, 2010). Além disso, o método convencional gera grandes volumes de entulho, ruído e poeira, implicando custos logísticos significativos e um elevado impacto ambiental.

Com o avanço tecnológico na busca por soluções menos invasivas e mais eficientes, surge a técnica de ancoragem química com resina epóxi – o "Prego Químico" – como uma alternativa promissora. Este método consiste na injeção da resina para restabelecer a aderência do revestimento ao substrato de concreto, evitando a demolição e o consequente retrabalho (CORREA, 2021). Para contextualizar e validar esta alternativa no cenário da construção civil e na Patologia das Construções, o presente trabalho se propõe a quantificar a diferença de desempenho, custos e impacto ambiental entre a solução da ancoragem química e o método tradicional de remoção e substituição.

Assim, no decorrer deste trabalho, a viabilidade técnica, econômica e ambiental da ancoragem química será avaliada por meio de um estudo de caso comparativo com abordagem quantitativa, utilizando dados de obras reais em Porto Alegre. A pesquisa se desenvolverá por meio da comparação direta de produtividade,

custos e simulações econômicas em cenários de sensibilidade, além da quantificação da mitigação de emissões de CO₂ em relação ao método convencional.

1.1 Área

O presente trabalho foi desenvolvido na área da Patologia das Construções, mais especificamente no campo dos Materiais de Construção e Sistemas de Revestimento de Fachada. O estudo está direcionado à análise e comparação da viabilidade de métodos de reparo para manifestações patológicas de som cavo, com foco na ancoragem química por injeção de resina epóxi.

1.2 Limitação do tema

A proposta do presente trabalho é a realização de um estudo de caso comparativo com enfoque na viabilidade econômica da ancoragem química com resina epóxi em relação ao método de remoção e substituição de revestimentos. A análise se restringe à aplicação do método em fachadas que apresentam som cavo, onde o revestimento argamassado está aplicado sobre um substrato de concreto. O estudo utiliza dados de dois empreendimentos localizados em Porto Alegre, servindo como base de referência para a quantificação de custos, produtividade e impacto ambiental dos métodos comparados.

1.3 Justificativa

Em meio ao avanço da tecnologia na construção civil, com o aprimoramento de materiais, observa-se uma preocupação crescente em oferecer produtos que satisfaçam os requisitos mínimos de qualidade e durabilidade impostos pela norma de desempenho (NBR15575:2024). Contudo, manifestações patológicas em revestimentos de fachada, como o som cavo, continuam a ser uma incidência comum em edificações relativamente jovens. Tais patologias comprometem o desempenho do imóvel, gerando riscos de segurança e depreciação.

A solução tradicional para o som cavo – a remoção e substituição do revestimento – é inherentemente onerosa e complexa. Além do alto custo financeiro, este método impõe dificuldades logísticas, como a necessidade de descarte de entulho, e transtornos aos usuários devido ao ruído, poeira e longo tempo de execução.

Neste contexto, a ancoragem química com resina epóxi se apresenta como uma inovação crítica. A justificativa primordial deste estudo reside na necessidade de quantificar a viabilidade desta alternativa. Ao analisar e comparar a produtividade, o cronograma e os custos diretos em cenários reais de obra, o trabalho fornece dados

concretos para a tomada de decisão no mercado da construção civil. A relevância da pesquisa é ainda ampliada pela avaliação ambiental, quantificando a mitigação de emissões de CO₂ e a ausência de geração de entulho, fatores que alinham a engenharia civil às crescentes exigências por práticas sustentáveis e de baixo impacto. Portanto, este estudo visa preencher a lacuna na literatura ao validar a eficiência da ancoragem química em termos de economia, rapidez e sustentabilidade, evidenciando seus benefícios em relação ao método tradicional.

1.4 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade econômica da utilização de ancoragem química com resina epóxi como alternativa à substituição do revestimento de argamassa em substrato de concreto em fachadas que apresentam som cavo, considerando os ganhos de produtividade e a redução de custos.

1.5 Objetivos específicos

- Comparar os cronogramas de execução para o reparo com resina epóxi e a remoção e reaplicação do revestimento em argamassa, quantificando os ganhos de produtividade;
- Levantar os custos diretos envolvidos na aplicação do sistema de ancoragem com resina epóxi e compará-los com os custos da substituição tradicional do revestimento;
- Apresentar os limites de uso e as restrições técnicas do sistema com resina epóxi frente às condições existentes da base.

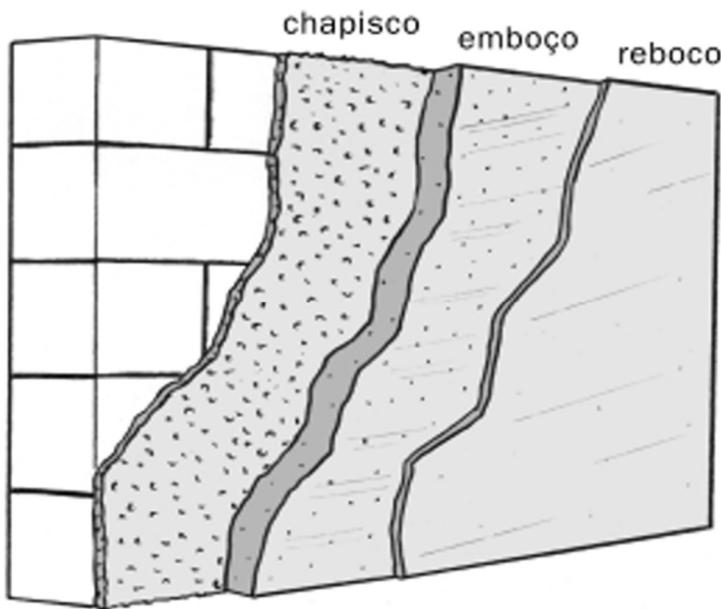
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo estabelece a fundamentação teórica para o trabalho. Serão apresentados os revestimentos argamassados, suas manifestações patológicas e os ensaios para seu diagnóstico. Por fim, o capítulo abordará a resina epóxi na construção civil, suas propriedades e aplicações, servindo como base para a solução proposta no estudo.

2.1 Revestimento em argamassa

A NBR 13529 (2013) descreve revestimento em argamassa como cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, conforme figura 1, podendo servir como base para acabamento decorativo, ou ser acabamento da superfície.

Figura 1 - Camadas do revestimento em argamassa



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

O revestimento em argamassa deve cumprir as funções de proteção e acabamento estético aos elementos de estrutura e vedação das edificações. Precisa assegurar a estanqueidade a água e gases poluentes, isolamento térmico e acústico de acordo com as exigências de conforto (figura 2). Precisa oferecer uma superfície regularizada e sem falhas, e também, quando for necessário, um acabamento final satisfatório. Para se conseguir um revestimento argamassado com bom desempenho,

qualidade e durabilidade, é necessário atender diversas exigências ao longo do processo de produção (BAIA e SABBATINI, 2008)

Figura 2 - Solicitações a que o revestimento está sujeito



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

A qualidade do revestimento em argamassa afeta diretamente na habitabilidade das construções, sendo essenciais os aspectos relacionados a salubridade, conforto e durabilidade (BAUER, 1992). Em relação à durabilidade, é importante considerar tanto a preservação das propriedades e da integridade do material, quanto as despesas envolvidas em sua manutenção. Já o conforto abrange não apenas o conforto térmico e acústico, mas também questões funcionais, como adaptação ao uso, e estéticas, como conforto visual e tátil. Para prover um desempenho adequado em relação à salubridade, o revestimento em argamassa deve atender às funções de estanqueidade e impermeabilização.

Entre os critérios de desempenho apresentados, é possível incluir a estabilidade, que seria a capacidade do revestimento em argamassa de absorver as tensões que estão sendo atuadas sobre ele, sem que aconteça o descolamento do revestimento (BAUER, 1992). Tensões vindas das deformações da alvenaria e estrutura e do próprio revestimento, como também das diferentes movimentações na interface entre os elementos.

As características do substrato em que o revestimento será aplicado, e suas condições de exposição, impactam no seu desempenho. Mas além disso, os materiais

utilizados na argamassa e sua proporção na mistura igualmente apresentam uma alteração nas propriedades do revestimento (CANDIA e FRANCO, 2000).

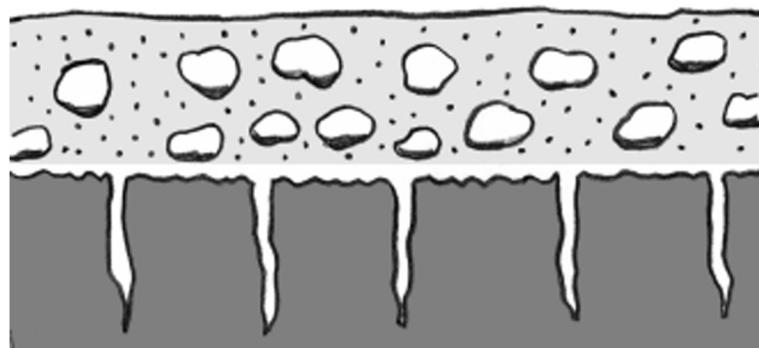
Além das características relacionadas a confecção do revestimento, Resende (2002) comenta que o desempenho deles é influenciado também pelo uso, operação e manutenção das edificações. A manutenção tem o objetivo de manter o desempenho do qual o revestimento foi executado. Precisa ser realizada como uma atividade preventiva de futuros problemas, e não como corretiva. Visto que nessa segunda situação já se perdeu algum dos requisitos de desempenho.

2.1.1 Chapisco

A camada de preparo da base que posteriormente irá receber o revestimento é aplicada com o objetivo de oferecer uma aderência adequada entre a base e a argamassa. Isso acontece porque o chapisco fornece uma camada com maior rugosidade e capacidade de absorção de água, características fundamentais para a aderência mecânica e química do revestimento (CANDIA e FRANCO, 2000).

Antes da aplicação do chapisco, é fundamental que a base esteja devidamente limpa e preparada. Conforme a NBR 7200 (1998), a superfície a ser revestida deve estar livre de pó, graxa, óleo, eflorescências, materiais soltos ou quaisquer incrustações que possam prejudicar a aderência. O processo de limpeza pode envolver escovação e lavagem da superfície, ou a aplicação de jato de água sob pressão, e, em casos mais específicos, o uso de espátula, escova de cerdas de aço ou jato de areia. Além disso, antes de qualquer lavagem, a base deve ser saturada com água limpa para evitar a penetração profunda de soluções de limpeza. A negligência nesse preparo inicial pode levar a falhas de aderência significativas, como ilustra na figura 3.

Figura 3 - Adesão inadequada entre o revestimento e o substrato devido à falta de limpeza no substrato

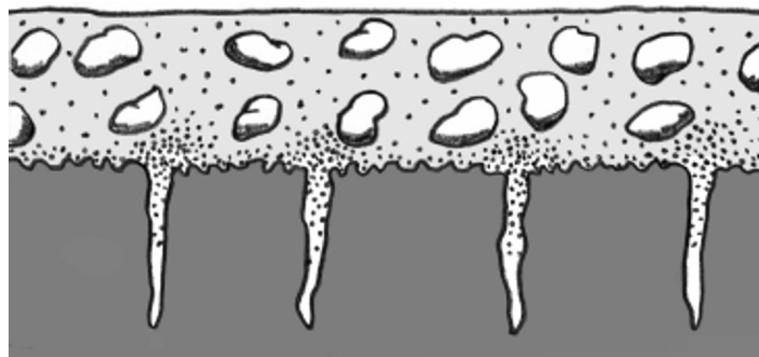


Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

A camada de preparo é apropriada quando o substrato não oferece absorção, porosidade e rugosidade adequadas para proporcionar uma aderência satisfatória entre o revestimento e o substrato (CÂNDIA, 1998). Neste caso, é indispensável o uso de chapisco em substrato de concreto, pois esses apresentam superfícies lisas com pouca rugosidade e com baixa porosidade. Esses aspectos dificultam a aderência dos revestimentos. O chapisco atua promovendo tanto a adesão química pela absorção e transporte de água e produtos de hidratação aos poros do substrato, quanto a adesão mecânica pelo aumento da rugosidade, que eleva a área de contato.

Para que o chapisco cumpra sua função de promover aderência, a composição de sua argamassa é crucial. Ela deve conter agregados com dimensão máxima superior aos agregados presentes na camada de revestimento (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2005). Isso proporciona uma argamassa com maior índice de vazios, beneficiando a absorção que gera a aderência da argamassa de revestimento (figura 4). A característica dos agregados também gera uma rugosidade maior, que oferece uma melhor ancoragem da argamassa de revestimento.

Figura 4 - Adesão adequada entre o revestimento e o substrato

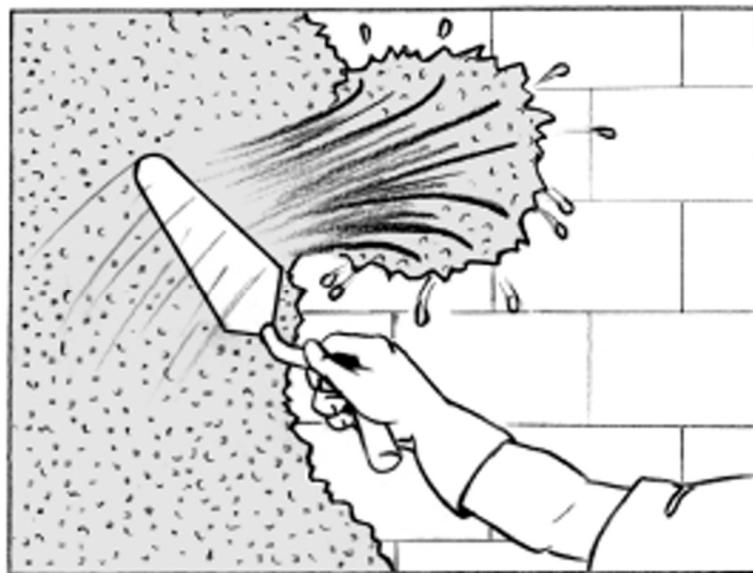


Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

As argamassas de chapisco possuem diferentes mecanismos de aplicação. Cada mecanismo necessitando de uma argamassa com propriedades distintas. No estado fresco, pode ser observado aspectos como a plasticidade e trabalhabilidade. E no estado endurecido, variando as características da sua superfície, como a rugosidade e porosidade. As argamassas de chapisco classificam-se em: convencional, desempenado e rolado.

A NBR 7200 (1998) recomenda que o chapisco convencional (dosado em obra) apresente uma consistência fluida, proporcionando maior facilidade na penetração da pasta de cimento na base a ser revestida, melhorando a aderência na interface revestimento-base. O chapisco deve ser lançado de baixo para cima energeticamente com colher de pedreiro, sobre a base que receberá o emboço (figura 5). Essa forma de aplicação resulta em uma superfície áspera e bastante rugosa, uniforme, porém irregular

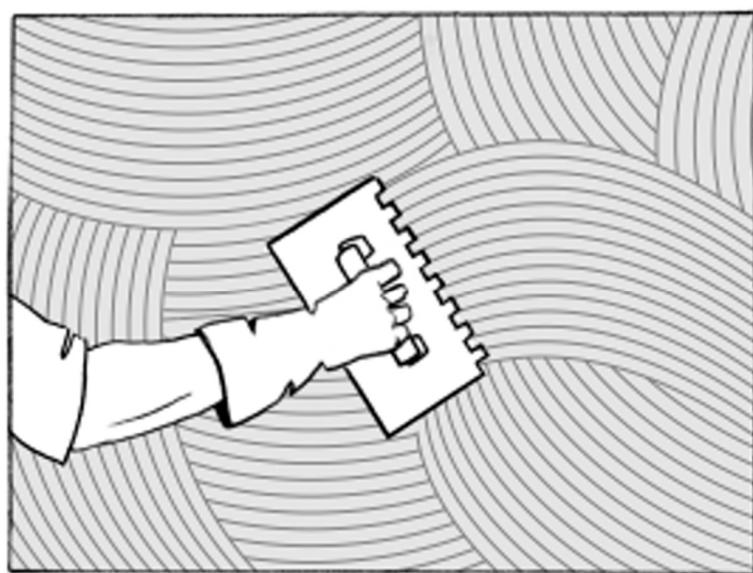
Figura 5 - Chapisco tradicional



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

O chapisco desempenado (figura 6), ou industrializado, é aplicado com desempenadeira dentada, e para realizar a aplicação o chapisco deve possuir uma consistência mais seca, com menos fluidez (CANDIA, 1998). Normalmente realizado sobre estruturas e concreto.

Figura 6 - Chapisco desempenado

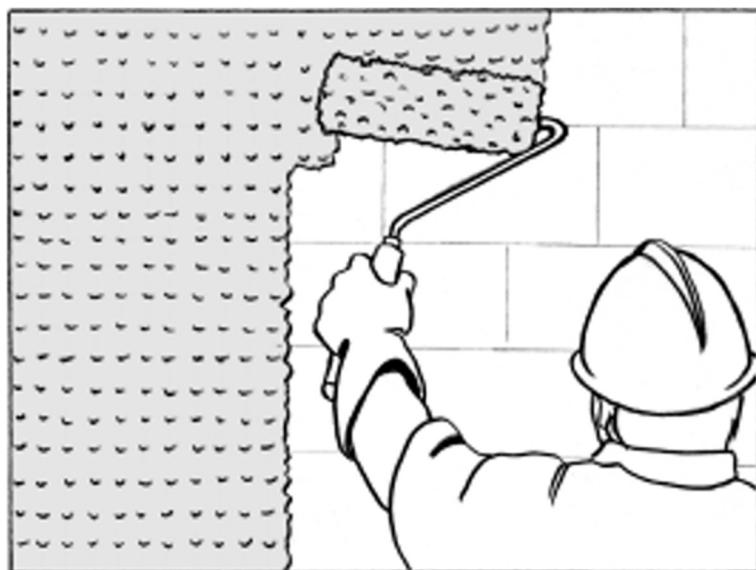


Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

O chapisco rolado (figura 7) é aplicado com rolo de espuma, e pode ser executado tanto em substratos cerâmicos quanto de concreto. Segundo Candia

(1998), sua aplicação requer o proporcionamento de aditivos para melhorar a trabalhabilidade e a aderência.

Figura 7 - Chapisco rolado



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

2.1.2 Emboço

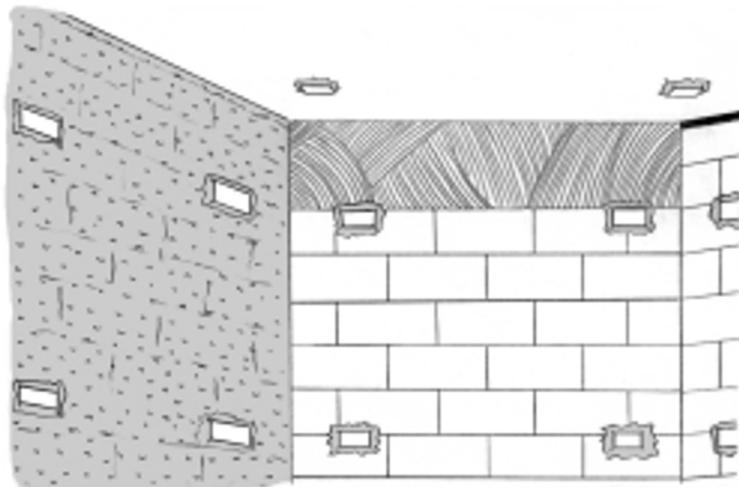
Segundo a NBR 13529 (2013), emboço constitui a camada do sistema de revestimento em argamassa, aplicada sobre o chapisco com a finalidade de regularizar a superfície da alvenaria ou do concreto, proporcionando planicidade, cobrimento e espessura compatíveis com os requisitos da camada de acabamento. O emboço tem como objetivo corrigir irregularidades da base e permitir a aplicação posterior do reboco ou de revestimentos decorativos, cerâmicos ou cimentícios.

Esta camada é geralmente executada com argamassa de cimento, cal e areia, ou, alternativamente, cimento e areia com aditivos, em proporções definidas conforme o tipo de substrato e as exigências de desempenho. Para cumprir sua função, deve possuir textura e porosidade compatíveis com a capacidade de aderência prevista para o acabamento. Além disso, o emboço tem um papel importante na estanqueidade da parede, cujas propriedades são determinadas pela técnica de execução e granulometria dos materiais (SILVA, 2006).

É fundamental que a aplicação do emboço seja realizada após a cura adequada do chapisco e com o substrato limpo, isento de poeira, óleo ou outros contaminantes que comprometam a aderência (NBR 7200, 1998). Além disso, a

argamassa deve ser aplicada em painéis contínuos, evitando interrupções que gerem juntas frias, as quais podem se tornar pontos de fragilidade no sistema. Para garantir a planicidade e a uniformidade de espessura, o emboço é frequentemente aplicado utilizando taliscas (figura 8)

Figura 8 - Taliscas para controle de espessura e planicidade



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

A cura do emboço é importante para o sucesso do revestimento, pois influencia a resistência, a durabilidade e a estabilidade da argamassa. A NBR 7200 (1998) sugere que antes de aplicar o reboco sobre o emboço, ele deve ter pelo menos 21 dias de idade para o emboço de argamassa de cal, e 7 dias de idade do emboço de argamassas mistas ou hidráulicas.

2.1.3 Reboco

O reboco é a camada de revestimento aplicada sobre o emboço. Sua função é complementar o sistema de revestimento, garantindo acabamento superficial adequado e contribuindo para a proteção e o desempenho estético da fachada. Pode se constituir como acabamento final ou como base para aplicação de revestimento decorativo posterior (ABNT NBR 13529:2013).

Atualmente, tem se popularizado o sistema de revestimento em camada única, que substitui o processo tradicional de múltiplas camadas. Nesse método, o emboço e o reboco são executados em uma única etapa, unindo a base com o acabamento. Quando se utiliza esse sistema, ele é frequentemente denominado de

emboço se a superfície receberá placas cerâmicas, e de reboco se a destinação final for a pintura (SOARES, 2017).

A execução do reboco deve respeitar o intervalo mínimo de cura do emboço. Recomenda-se que essa etapa seja realizada apenas após o assentamento de elementos como peitoris e marcos, a fim de evitar descontinuidades ou fissurações localizadas decorrentes de interferências mecânicas ou movimentações diferenciais. Em situações em que as superfícies estejam expostas à ação direta de sol e vento, torna-se necessário proteger o revestimento recém-aplicado, evitando uma secagem acelerada e desigual. O reboco deve apresentar aspecto final plano, uniforme e contínuo, atendendo aos critérios estéticos e funcionais esperados (YAZIGI, 2014).

A espessura total do revestimento é um fator importante para o seu desempenho. A NBR 13749 (2013) estabelece as espessuras máximas e mínimas para revestimentos internos e externos (tabela 1). A mesma norma também estabelece o limite de resistência de aderência à tração dos revestimentos conforme tabela 2.

Tabela 1 - Espessuras admissíveis em revestimentos de argamassa

Revestimento	Espessura (e) mm
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR ABNT 13749:2013

Tabela 2 - Limites de resistência de aderência à tração

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Internas	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Externa		Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

Fonte: NBR ABNT 13749:2013

O reboco pode receber diferentes tipos de acabamento superficial, de acordo com os requisitos de projeto arquitetônico e as condições de exposição. Os principais

tipos de acabamento previstos são: desempenado, camurçado, raspado, chapiscado ou lavado (ABNT NBR 13749:2013). A escolha do acabamento deve considerar aspectos estéticos, condições de exposição, facilidade de manutenção e compatibilidade com os materiais de base e demais elementos da fachada.

2.2 Detalhes construtivos

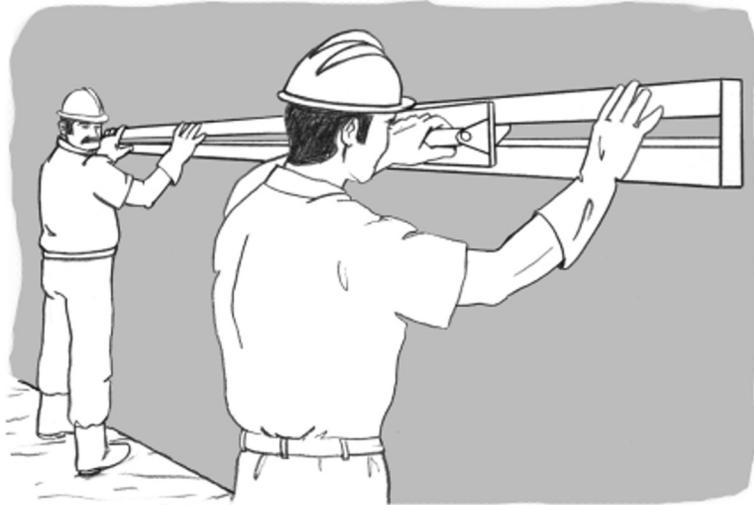
Os detalhes construtivos em revestimentos argamassados de fachadas desempenham grande importância na garantia de desempenho técnico e durabilidade da edificação. Eles são dispostos em locais estratégicos, onde orientam a correta aplicação dos revestimentos e auxiliam na prevenção de manifestações patológicas como fissuras, destacamentos e infiltrações (CEOTTO, 2005). Tais detalhes têm como função primária permitir a dissipação de tensões provenientes de retrações térmicas e variações de umidade, além de movimentações estruturais. Quando bem planejados, favorecem também a estética da fachada e sua manutenção ao longo da vida útil do edifício.

2.2.1 Juntas

Segundo Baía e Sabbatini (2008), as juntas são elementos essenciais para o bom desempenho do revestimento argamassado, pois liberam tensões provocadas por movimentações estruturais ou do próprio sistema de vedação. São colocadas em pontos específicos para concentrar e neutralizar tensões, evitando que elas se dissipem e causem fissuras. Existem diversos tipos de juntas, cada uma com funções específicas. As juntas em revestimentos argamassados dividem os painéis de revestimento e aliviam as tensões internas, que serão liberadas justamente nesses pontos.

As juntas são interrupções físicas na continuidade do revestimento, o que pode representar um ponto de vulnerabilidade, caso não sejam bem projetadas. É recomendado que as juntas horizontais sejam executadas em cada pavimento, preferencialmente no encontro da alvenaria com a estrutura, e as verticais a cada 6 metros, quando o painel ultrapassar 24 m² (BAÍA; SABBATINI, 2008). A execução prática de uma junta horizontal, realizada por meio de friso, é demonstrada na Figura 9.

Figura 9 - Execução do friso de junta horizontal



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

2.2.2 Pingadeiras

Os peitoris e demais superfícies horizontais expostas ao intemperismo têm como função principal proteger a fachada contra a ação da água da chuva (BAÍA; SABBATINI, 2008). Para que essa proteção seja eficaz, devem ser detalhados e executados de forma correta. O peitoril deve avançar do plano da fachada, e, com seu cimento adequado, a água é forçada a se afastar do revestimento ao cair sobre o detalhe construtivo da pingadeira. Assim, impede-se o escorramento da água pela superfície da parede, que poderia comprometer o revestimento. É recomendado a adoção desse sistema em todas as superfícies horizontais expostas

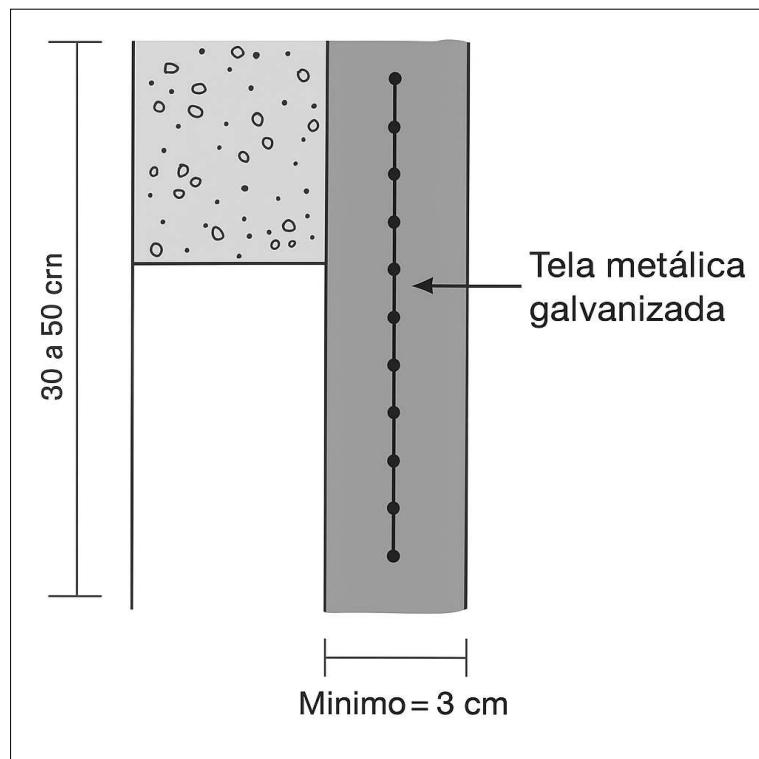
2.2.3 Reforço do revestimento com tela metálica

O reforço do revestimento com tela metálica é uma medida preventiva essencial, aplicada em locais com alta concentração de tensões, visando mitigar o surgimento de fissuras e destacamentos. A importância do seu uso é necessária quando as espessuras do revestimento excedem os limites recomendados pela NBR 13749 (ABNT, 2013), uma vez que camadas muito espessas podem gerar elevada retração.

A aplicação da tela é essencial, principalmente na interface entre a estrutura e a alvenaria, pois ela possui a capacidade de absorver e distribuir as tensões de tração, impedindo a concentração que levaria a grandes fissuras. Nesses casos, a NBR 7200 (ABNT, 1998) indica a utilização de telas metálicas ou de outros materiais

para controle de tensões. O reforço com a tela promove um desenvolvimento aprimorado de aderência e absorção conjunta da tela e da argamassa, o que resulta em maior resistência e segurança para as fachadas. A figura 10 demonstra um revestimento argamassado em que houve a aplicação da tela metálica na interface estrutura-alvenaria.

Figura 10 - Reforço do revestimento com tela metálica



Fonte: Manual de revestimento ABCP, 2002.

2.3 Controle de execução

O controle ao longo da execução do revestimento é um elemento essencial no processo de racionalização da produção. Ele consiste em um conjunto de ações conduzidas ao longo de toda a produção, com o objetivo de identificar não conformidades ainda durante a execução, permitindo a adoção de medidas corretivas antes da conclusão dos serviços (BAIA e SABBATINI, 2008). Dessa forma, o controle contribui diretamente para a obtenção dos resultados esperados, tornando-se parte fundamental da eficiência do processo construtivo.

Os procedimentos de controle em uma obra abrangem diversas etapas que se complementam e se realimentam continuamente durante a execução (SABBATINI, 1990). As etapas compreendem o controle das condições iniciais para o início dos

serviços, o controle da execução propriamente dita e o controle de aceitação do serviço finalizado.

Conforme observado por Toscano (1995), o controle dos revestimentos de argamassa e a verificação da conformidade com as especificações, ocorre frequentemente apenas após a finalização completa do serviço. No entanto, para que haja uma real racionalização do processo, o controle deve ser iniciado desde a fase de projeto, estendendo-se à seleção e verificação dos materiais, à execução em campo e até as etapas de uso e manutenção da edificação.

Essa função de controle geralmente é atribuída ao engenheiro da obra ou ao mestre de obras. Entretanto, é comum que os parâmetros de controle não estejam claramente definidos, o que faz com que esses profissionais acabem se baseando em conhecimentos empíricos adquiridos na prática, o que pode resultar na repetição de erros e falhas construtivas (TOSCANO, 1995).

2.3.1 Controle de materiais da obra

O controle de materiais na obra tem como principal objetivo assegurar que os insumos recebidos estejam em conformidade com as especificações técnicas e nas quantidades solicitadas. Essa etapa é essencial para garantir a qualidade da argamassa a ser produzida e, por consequência, o desempenho adequado do revestimento. Segundo Souza e Tamaki (2001), o controle no recebimento de materiais pode ser realizado por meio de três tipos de verificações: quantitativas, visuais e por ensaios laboratoriais. As verificações quantitativas e visuais devem ocorrer no momento da chegada dos materiais ao canteiro de obras, visando identificar de imediato possíveis inconformidades. Já os ensaios, por sua complexidade técnica, geralmente são realizados por laboratórios especializados.

2.4 Projeto de fachadas

O desenvolvimento de um projeto de revestimento de fachadas é indispensável para assegurar o desempenho satisfatório da edificação ao longo do tempo (CEOTTO et al., 2005). Sua finalidade abrange a determinação de materiais, geometria, juntas, reforços, acabamentos, e os procedimentos de execução e controle. Um projeto bem elaborado eleva a qualidade e produtividade da obra, enquanto reduz a incidência de falhas executivas, manifestações patológicas, desperdícios e custos.

A concepção do projeto exige que seja contemplada a interação dos materiais, as solicitações ao longo do tempo e as futuras necessidades de manutenção. As intervenções periódicas de manutenção e conservação são cruciais para manter a capacidade funcional da fachada durante sua vida útil prevista (BAUER, 1997).

Para a elaboração do projeto, é necessário considerar as condições ambientais, bem como as características da arquitetura, estrutura, instalações e vedações da edificação. Os processos construtivos e os prazos também devem ser analisados, sempre em conformidade com as normas da ABNT, as recomendações dos fabricantes e os procedimentos de execução e controle da construtora (CEOTTO et al., 2005). A compatibilização entre os projetos arquitetônico e estrutural é de suma importância, pois define elementos como a quantidade e posicionamento de juntas, áreas de impermeabilização, detalhes construtivos e as características de deformabilidade da estrutura.

O "Manual de Revestimento de Fachadas" (2006) destaca etapas essenciais para um projeto eficaz. Essas incluem a análise e compatibilização de todos os projetos complementares, a seleção adequada dos materiais, um planejamento detalhado da execução do revestimento externo e a logística de recebimento e aplicação dos insumos.

A qualidade da mão de obra é um dos elementos mais críticos para a correta execução do revestimento. Por isso, o treinamento e capacitação da equipe, conduzido por um profissional qualificado, é essencial. Esse processo deve envolver tanto a teoria quanto a prática, com a realização de painéis-teste no canteiro de obras que simulem as condições reais de execução para diferentes tipos de base (CEOTTO et al., 2005).

O controle de execução e o acompanhamento dos indicadores são processos contínuos e indispensáveis. Durante a aplicação em painéis-teste, é recomendado que se avaliem o rendimento, índice de perdas e consumo das argamassas, além da qualidade da mistura, trabalhabilidade, tempo de puxamento e aderência inicial. A validação da qualidade final do sistema pode ser complementada por ensaios de resistência de aderência à tração, conforme a NBR 13528:2019, verificando a integridade da interface base/argamassa/revestimento.

2.5 Manifestações patológicas em revestimentos argamassados

As fachadas são elementos essenciais na caracterização das edificações e na estética urbana. Petrucci (2000) destaca sua contribuição para a configuração do espaço, influenciando a percepção pública de uma construção. Observa-se que a qualidade de um edifício é, muitas vezes, julgada pelo estado de sua fachada, onde a deterioração pode sugerir uma execução deficiente do todo, comprometendo não apenas a imagem da construtora, mas também o conforto e a segurança dos usuários (RAABE, 2014). A diferença entre uma fachada degradada e uma reabilitada demonstra visualmente essa importância (Figura 11).

Figura 11 - Comparativo visual da fachada do Teatro Paiol antes e depois do restauro



Fonte: Adaptado de Maicon J. Gomes / Átila Alberti.

Além da estética, as fachadas devem cumprir rigorosos requisitos de desempenho dos sistemas de revestimento. Quando manifestações patológicas surgem, esses requisitos são comprometidos. Thomaz (2002) ilustra que fissuras em revestimentos são mais comuns em áreas expostas à água. Peitoris, por exemplo, se mal projetados ou executados, podem permitir o acúmulo hídrico, favorecendo fissuras e manchas e afetando a durabilidade e a aparência. Devido ao contato direto com o ambiente externo, as fachadas sofrem as primeiras agressões dos agentes de degradação, o que resulta na perda de desempenho e durabilidade, reduzindo sua vida útil.

Diante disso, é fundamental compreender as patologias sob a ótica de suas origens e frequência de ocorrência. Essa compreensão é uma ferramenta indispensável para o diagnóstico preciso dos problemas e a implementação de

medidas preventivas eficazes. No campo da engenharia, Helene (1992) define patologia como o estudo dos elementos que compõem o diagnóstico de falhas construtivas, incluindo causas, origens, sintomas e mecanismos.

De forma complementar, Souza e Ripper (1998) relacionam a patologia ao comprometimento do desempenho estrutural em termos de estabilidade, funcionalidade, estética e durabilidade, frente às condições de exposição. Essencialmente, a patologia na construção civil investiga anomalias que afetam o funcionamento adequado dos edifícios, exigindo diagnóstico técnico e reparos para restabelecer sua integridade e funcionalidade.

2.5.1 Causas e origens das manifestações patológicas

As fachadas atuam como barreiras entre o ambiente interno e externo, protegendo contra agentes agressivos, o que naturalmente leva ao envelhecimento dos revestimentos. As recomendações de projeto não buscam eliminar esse processo, mas sim controlá-lo para evitar uma degradação acelerada e desordenada (DORFMAN & PETRUCCI, 1989). A temperatura, por exemplo, é um dos agentes mais agressivos, provocando variações físicas e químicas que resultam em tensões, variações dimensionais e, consequentemente, fissuras e descolamentos. O vento e a poluição também contribuem, transportando partículas que se depositam na superfície, causando erosão e modificando a distribuição de sujeiras.

O controle da degradação deve ser pensado desde as etapas iniciais do projeto da edificação, uma vez que a qualidade e durabilidade das fachadas dependem diretamente das decisões tomadas na fase de concepção. As patologias podem ter múltiplas origens, envolvendo projetistas, construtores, aplicadores e fatores ambientais. Para o controle da degradação, as inspeções devem ser realizadas de modo preventivo e programadas periodicamente pelo projetista da fachada, sendo sugerida a primeira inspeção ao término do primeiro ano e, após a entrega, a cada três anos (CEOTTO et al. 2005).

Ao analisar anomalias em uma estrutura, é crucial compreender suas causas e mecanismos de desenvolvimento para um diagnóstico correto e a prescrição de soluções eficazes. As manifestações patológicas podem surgir em qualquer das três fases do processo construtivo: concepção do projeto, execução e utilização da estrutura (SOUZA & RIPPER, 1998). Essas fases frequentemente apresentam desafios específicos que contribuem para o surgimento de defeitos, como a rápida

evolução dos materiais, a pressa na execução (prejudicando o controle de qualidade), a baixa qualificação profissional e a insuficiência normativa ou inadequação das rotinas de manutenção.

Em uma análise mais detalhada das origens dos problemas na construção civil, Helene (2003), por meio de uma categorização estatística, aponta que as falhas de projeto são as mais significativas (40%), seguidas por falhas na execução (28%), problemas com materiais (18%), uso inadequado da edificação (10%) e falhas no planejamento (4%). Complementando essa perspectiva, Costa (2013) sintetiza as origens do aparecimento de patologias em quatro grupos principais:

- **Materiais** (uso de insumos em desacordo com especificações);
- **Projeto** (falhas na concepção, como falta de compatibilização, especificação incorreta e negligência em detalhes construtivos como juntas e reforços);
- **Execução** (deficiências no controle de materiais, preparo de argamassas e fiscalização de camadas);
- **Uso** (fatores ligados à operação e, crucialmente, à ausência ou inadequação das atividades de manutenção ao longo da vida útil).

A combinação desses fatores reforça a natureza multifacetada das patologias.

2.5.2 Tipos comuns de manifestações patológicas

Na construção civil, diversas manifestações patológicas podem ocorrer, sendo identificáveis por sintomas visíveis em superfícies ou elementos construtivos. Especificamente em revestimentos argamassados, as anomalias mais comuns são apontadas por Bauer (1997). Visto que estas patologias raramente decorrem de uma única causa. Sendo em geral, resultado da associação e sobreposição de diversos fatores. A análise de suas manifestações é crucial para o diagnóstico preciso e a proposição de medidas eficazes de intervenção.

2.5.2.1 Fissuras

As fissuras são manifestações patológicas frequentes, definidas pela NBR 15575-2 (2013) como seccionamentos na superfície de um componente, resultantes de tensões. Elas podem ser passivas, quando estáveis, ou ativas, variando com movimentações causadas por variações de umidade e temperatura. Embora muitas vezes superficiais, as fissuras servem como vias para infiltração de umidade. Essa infiltração contínua pode causar degradação dos materiais e reduzir a durabilidade, levando à desagregação do revestimento ou formação de bolor (SOTANA et al., 2012).

O surgimento dessas manifestações em revestimentos argamassados decorre de uma multiplicidade de fatores. Bauer (1997) aponta causas internas relacionadas ao material e à execução, como o teor de cimento, a granulometria dos agregados, a quantidade de água de amassamento, a aderência do substrato e a perda excessiva de água por evaporação ou sucção da base. Adicionalmente, as fissuras podem ser provocadas por fatores externos e estruturais, que vão desde movimentações térmicas e devido a alteração de umidade, deformações estruturais e recalques de fundação, até a retração de produtos à base de cimento.

As fissuras causadas por movimentação térmica surgem em revestimentos devido a variações de temperatura. Essas variações ocorrem tanto pela diminuição da temperatura após um pico de aquecimento quanto pelo acúmulo de calor de hidratação. A intensidade da fissuração está diretamente ligada às propriedades físicas do material e à magnitude da variação térmica. As fissuras se manifestam quando o sistema de revestimento apresenta movimentações de intensidade diferente. Isso é comum na interface entre materiais distintos, onde a restrição aos movimentos gera tensões que podem levar à formação de trincas e fissuras (SEGAT, 2005).

2.5.2.2 Manchamentos e eflorescências

Manchamentos e eflorescências são manifestações patológicas que afetam a estética e podem indicar problemas de umidade persistente no revestimento. Os manchamentos se apresentam em diversas colorações. Revestimentos expostos à chuva e umidade estão suscetíveis à proliferação de microrganismos, como algas e mofo, que tipicamente causam o surgimento de manchas pretas ou verdes. Manchas de coloração marrom, por sua vez, geralmente indicam a presença de ferrugem (BAUER, 1997).

Já as eflorescências são caracterizadas pelo surgimento de depósitos cristalinos de sais solúveis na superfície do revestimento, geralmente de coloração esbranquiçada. Elas resultam de infiltrações contínuas que transportam sais dissolvidos através da estrutura até a superfície, onde a água evapora e os sais cristalizam. A ocorrência de eflorescências em grande intensidade pode indicar umidade persistente e, dependendo da profundidade da infiltração, pode comprometer elementos estruturais. Para que a eflorescência se forme, é necessária a presença simultânea de três fatores essenciais: teor de sais solúveis nos materiais, água como veículo de transporte, e pressão hidrostática suficiente para impulsionar a solução salina à superfície (SOUZA, 2008).

2.5.2.3 Som cavo

O som cavo em revestimentos argamassados é a manifestação patológica mais relevante para a análise de viabilidade, sendo caracterizado pela presença de vazios ou falhas de aderência entre as camadas do revestimento (chapisco, emboço, reboco) ou na interface entre o revestimento e o substrato. Essa anomalia é detectada por um som oco e distinto, similar a uma caixa vazia, quando a superfície é percutida com um martelo de cabo curto ou similar (BAUER, 1997). Embora a ausência de aderência em si não configure um problema estrutural direto, ela é o indicador primário de uma fragilidade latente no sistema de revestimento.

A persistência do som cavo leva à progressão do descolamento, que ocorre quando uma ou mais camadas do revestimento se separam, manifestando-se em diversas formas, como empolamento da superfície ou desprendimento em placas. Essas patologias podem ser agravadas pela infiltração constante de umidade e pela presença de componentes não completamente hidratados na argamassa, o que contribui para perdas significativas no revestimento (CINCOTTO, 1988).

Se a falha de aderência evoluir, o processo culmina no desplacamento, que é a queda de placas do revestimento, podendo envolver a argamassa de assentamento, o emboço ou até o chapisco. O desplacamento é considerado uma das manifestações patológicas mais graves em fachadas. Além de prejudicar o desempenho estético e a estanqueidade da edificação, representa um risco significativo à integridade física dos usuários e de terceiros, podendo causar acidentes graves pela queda de fragmentos (RAABE, 2014).

A perda de aderência que leva à formação do som cavo está frequentemente associada a uma série de falhas de projeto e execução na interface entre o substrato e o revestimento. A principal delas é a aplicação inadequada do chapisco, que falha em promover a rugosidade e absorção necessárias para garantir a aderência mecânica e química. A preparação incorreta da base, com a presença de resíduos, poeira ou agentes desmoldantes, também impede a hidratação adequada do cimento e contribui para a falha na ligação (CANDIA et al, 2000).

Outras causas estão relacionadas diretamente à composição e manuseio do material. O descolamento com pulverulência, por exemplo, é atribuído a argamassas muito pobres em aglomerantes, o que resulta no esfarelamento da camada ao ser pressionada manualmente. Também contribuem o uso excessivo de cimento, a aplicação de camadas excessivamente espessas, a falta de cura apropriada e a pintura prematura, sem respeito ao tempo mínimo de cura (BARROS, 1997).

A exposição do revestimento a variações ambientais ao longo do tempo acentua as falhas preexistentes. As fissuras e a perda de aderência são provocadas por fatores externos e estruturais, que vão desde variações térmicas e de umidade até a instabilidade do suporte, como deformações estruturais e recalques de fundação. A concentração de cargas causada por aberturas de vãos e a ineficiência na execução das juntas de movimentação também contribuem de forma relevante para esse quadro (BARROS et al, 2001).

Dado o risco de segurança e a complexidade do problema, um simples reparo localizado é frequentemente insuficiente para corrigir o desplacamento. A recuperação de fachadas atingidas pela patologia do som cavo geralmente exige a remoção total do revestimento solto e sua substituição. Essa intervenção é de alta complexidade, trabalhosa e, consequentemente, extremamente onerosa, justificando a busca por alternativas de tratamento que minimizem a necessidade de demolição e o custo final da obra (ANTUNES, 2010).

2.6 Manutenção de revestimentos argamassados

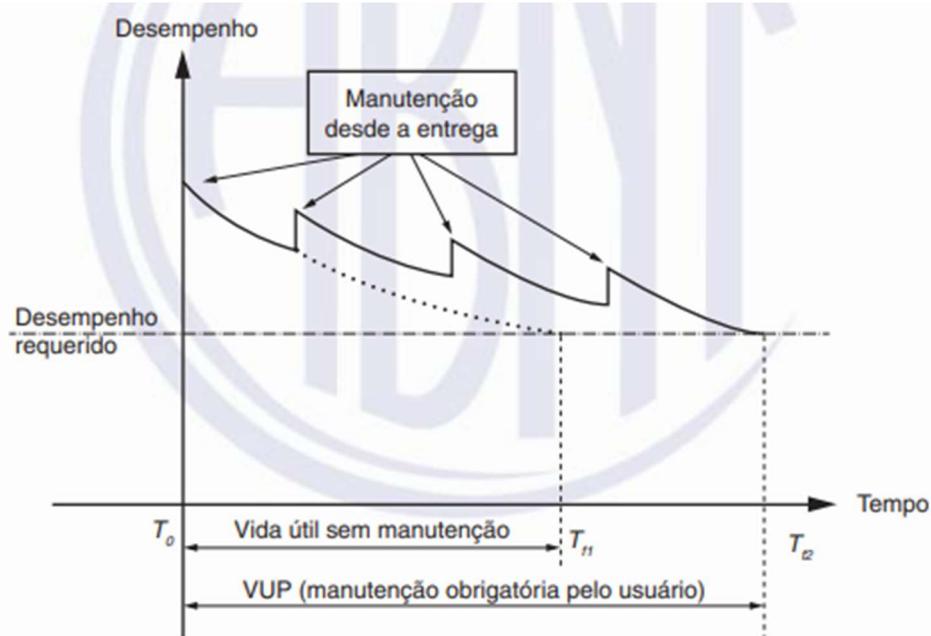
A degradação precoce das edificações e de seus componentes, como os revestimentos, é um desafio constante na construção civil. Esse problema é frequentemente atribuído à qualidade dos materiais, a falhas de projeto e execução, e, crucialmente, à falta de manutenção, conforme apontado por Possan et al. (2013).

No contexto normativo brasileiro, a manutenção das edificações é regida por diretrizes claras. A NBR 14037 (ABNT, 2024), por exemplo, estabelece as diretrizes para a elaboração de manuais de uso, operação e manutenção, enquanto a NBR 5674 (ABNT, 2024) especifica os requisitos para o sistema de gestão da manutenção, incluindo planejamento e controle de atividades. Essas normativas consolidam atribuições e critérios essenciais para a execução da manutenção, visando a preservação da funcionalidade e segurança das edificações.

Nesse cenário, a compreensão de conceitos como Vida Útil (VU) e Vida Útil de Projeto (VUP) é fundamental. A Vida Útil refere-se à medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes. Por sua vez, a Vida Útil de Projeto (VUP) é o período estimado para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho. Essa estimativa considera as normas aplicáveis, o conhecimento técnico disponível no momento do projeto e, essencialmente, a execução periódica e correta dos processos de manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção (ABNT NBR 15575-1:2024).

É crucial distinguir a VUP do tempo de vida útil real, da durabilidade e dos prazos de garantia. A VUP só pode ser alcançada mediante manutenções periódicas, que recuperam parcialmente o desempenho da edificação, conforme ilustrado na Figura 12, que demonstra a evolução do desempenho ao longo do tempo com as intervenções de manutenção. A adoção de uma VUP superior implica na busca pela minimização de custos de operação e manutenção ao longo do tempo, caracterizando uma opção estratégica pela melhor relação custo global versus tempo de usufruto do bem.

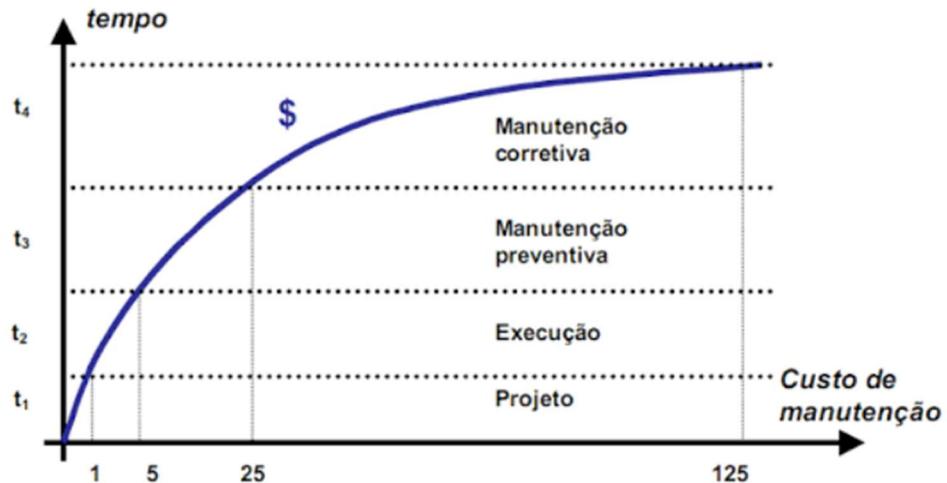
Figura 12 - Recuperação do desempenho com manutenções



Fonte: NBR ABNT 15575-1:2024

A negligência na adoção de ações corretivas em falhas construtivas resulta em impactos econômicos significativos, que se intensificam com o passar do tempo. A Lei de Sitter (SITTER, 1983) é um conceito-chave nesse contexto, estabelecendo que os custos com manutenções tardias podem crescer em projeção geométrica de razão 5 em comparação com os custos de medidas preventivas aplicadas na fase de projeto. Isso significa que a não realização de serviços de manutenção pode gerar acréscimos de até 125 vezes no custo das ações de recuperação, devido ao avanço e à maior extensão das manifestações patológicas, além da crescente complexidade dos reparos e da inflação de insumos e mão de obra (TAUFER, 2020). A Figura 13 apresenta a relação entre o custo de manutenção e o tempo do empreendimento.

Figura 13 - Lei de Sitter



Fonte: Costs of service life optimization “The Law of Fives”

As ações para corrigir esses problemas podem ser implementadas em diferentes fases. Durante o projeto, a intervenção ocorre se o erro estiver na concepção. Na fase de execução, é possível realizar alterações antes da conclusão da obra. Após a obra, a manutenção preventiva é crucial, sendo programável e realizada antes da perda de desempenho. Ela se distingue da manutenção corretiva, que ocorre quando a falha já se manifestou (TAUFER, 2020). Essa distinção ressalta a importância de uma gestão proativa para a longevidade e a eficiência econômica dos revestimentos argamassados.

2.7 Ensaios para avaliação de revestimentos argamassados

O controle de qualidade e a identificação de manifestações patológicas em revestimentos argamassados são processos cruciais que dependem da aplicação de ensaios específicos. Essas avaliações técnicas são indispensáveis para diagnosticar falhas existentes, monitorar o desempenho do revestimento ao longo do tempo e, no contexto de reparos, verificar a eficácia das intervenções realizadas. A seguir, serão abordados os principais testes empregados para identificar patologias e avaliar a aderência em revestimentos de fachadas.

2.7.1 Resistência superficial

O ensaio de resistência superficial avalia a coesão e a dureza da camada mais externa do revestimento argamassado. Esse teste é fundamental para verificar a capacidade do revestimento de resistir à abrasão e ao desgaste decorrentes do uso e da ação de agentes externos. Geralmente, é realizado com a utilização de métodos como o riscômetro ou o esclerômetro de superfície, que fornecem um indicativo da qualidade e da compacidade da superfície do material (BAUER, 1997). Uma boa resistência superficial é crucial para a durabilidade e a estética do revestimento ao longo do tempo.

2.7.2 Resistência a abrasão

A resistência à abrasão em revestimentos argamassados refere-se à capacidade do material de suportar o desgaste provocado pelo atrito de agentes externos, como a ação do vento transportando partículas, ou a limpeza mecânica. Essa propriedade é fundamental para a durabilidade e a manutenção da integridade e da estética das superfícies, especialmente em áreas de alto fluxo ou expostas a condições ambientais severas. A avaliação da resistência à abrasão pode ser realizada por meio de ensaios específicos que simulam o desgaste. A obtenção de um alto desempenho nesse quesito é crucial para a longevidade dos revestimentos (BAUER, 1997).

2.7.3 Ensaio de percussão

O ensaio de percussão é uma técnica não destrutiva utilizada para identificar falhas de aderência em revestimentos, manifestadas pelo som cavo. Essa patologia é caracterizada pela presença de vazios entre as camadas do revestimento ou entre o revestimento e o substrato. O teste consiste em percutir a superfície com um instrumento não contundente, como um cabo de madeira ou martelo de plástico, buscando um som oco (ABNT NBR 13755, 2013), conforme a figura 14.

A norma NBR 13749 (ABNT, 2013), que trata de revestimentos argamassados, descreve a metodologia de aplicação do ensaio de percussão. Os impactos devem ser leves e não contundentes, e a avaliação é realizada por amostragem: aproximadamente a cada 1 m², sendo a cada 50 m² para tetos e a cada 100 m² para paredes. Quando o revestimento apresenta som cavo nessa inspeção por amostragem, toda a área deve ser percutida para estimar a extensão total da falha de aderência, que então necessitará de reparo. Identificar e quantificar o som cavo por meio desse ensaio é um passo crucial para o diagnóstico preciso da saúde do revestimento e para o planejamento das intervenções.

2.7.4 Ensaio de resistência de aderência a tração

O ensaio de resistência de aderência à tração é fundamental para avaliar a qualidade da ligação entre as camadas do revestimento e o substrato. A NBR 13528 (ABNT, 2019) recomenda a realização desse teste quando a equipe técnica julgar necessário ou, por amostragem, a cada 100 m² de área revestida. Para sua execução, são retirados 12 corpos de prova diretamente da superfície. Para que o revestimento argamassado externo seja considerado aceitável, pelo menos 8 desses corpos de prova devem apresentar resistência superior a 0,30 MPa. A análise das formas típicas de ruptura observadas nesse ensaio oferece informações cruciais sobre o local da falha (na interface, na argamassa ou no substrato), auxiliando no diagnóstico e na proposição de soluções eficazes.

2.8 Epóxi na construção civil

O uso de sistemas epóxi na correção de manifestações patológicas tem crescido significativamente na construção civil, tornando-se uma importante solução de reparo. Apesar de sua história relativamente recente, com as primeiras aplicações comerciais para concreto surgindo a partir de 1956, o sucesso inicial como material colante impulsionou uma série de pesquisas voltadas para a reparação de estruturas. Atualmente, esses adesivos são amplamente empregados para unir concreto existente a concreto novo, além de fixar materiais como aço, vidro e cerâmica em diversas estruturas (CORREA, 2021).

A resina epóxi, conforme padronizado pela norma internacional ASTM D1763-00 (2021), é um polímero termorrígido fornecido em forma líquida ou sólida, desenvolvido para diversas aplicações estruturais, como adesivos, revestimentos e

ancoragem. As resinas epóxi foram originalmente desenvolvidas e padronizadas para aplicações estruturais, como a ancoragem química de vergalhões e chumbadores. Seu uso para a injeção em camadas de revestimento com som cavo representa, portanto, uma adaptação da tecnologia para uma finalidade diferente da sua concepção original (SAHADE, 2025).

A resina epóxi é um polímero do tipo termorrígido, cuja polimerização se dá pela reação exotérmica de dois componentes: a resina (base) e um endurecedor, com consequente aumento de viscosidade. As características principais da resina epóxi incluem excelentes qualidades adesivas, permitindo aderência a quase todos os materiais de construção; alta resistência ao ataque de ácidos, óleos, álcalis e solventes; e, em geral, baixa retração, rápido endurecimento e alto grau de impermeabilização. A epóxi se destaca, ainda, pela elevada resistência à compressão, tração, cisalhamento e abrasão, tornando-a ideal para as exigências da construção civil (SAHADE, 2025).

Os sistemas epóxi são geralmente fornecidos em dois componentes: o componente A (resina, à base de epicloridrina e bisfenol A e F) e o componente B (endurecedor, com poliamidas, poliaminas e polissulfídeas). Suas propriedades são frequentemente modificadas por uma infinidade de agentes, como diluentes, aceleradores ou retardadores de endurecimento, cargas e pigmentos, a fim de melhorar o sistema, sua trabalhabilidade e a eficiência de seu uso (CORREA, 2021).

As propriedades da resina epóxi conferem a ela uma notável versatilidade, permitindo sua aplicação em diversas frentes na construção civil:

- **Reparo de fissuras e trincas:** Devido à sua baixa viscosidade em certas formulações, a epóxi é ideal para injetar e selar fissuras em elementos de concreto, restaurando a continuidade da estrutura.
- **Adesivo para colagens e ligações:** Sua excepcional aderência permite a união de elementos pré-moldados, a fixação de chumbadores e barras de aço (ancoragem química), e a ligação de concreto novo com velho.
- **Reforço e Recuperação Estrutural:** Utilizada para aumentar a capacidade de carga de elementos estruturais, como na colagem de chapas de aço ou fibras de carbono.

- **Revestimento e Proteção de Superfícies:** Formulada para criar revestimentos de alto desempenho em pisos industriais e outras áreas sujeitas a alto tráfego ou ataque químico.

2.8.1 Classificação e propriedades

Apesar do destaque da resina epóxi, o mercado de ancoragem química e injeção de fissuras oferece outros sistemas, cujas propriedades variam consideravelmente. A escolha do material adequado depende das condições específicas da aplicação, como a presença de umidade, temperatura, e o tipo de substrato.

As resinas são classificadas, principalmente, por sua base química. As mais comuns incluem:

- **Resinas Epóxi:** Como discutido, são termorrígidas, bicomponentes, e se destacam pela alta resistência mecânica e adesiva. São ideais para aplicações que demandam alta performance e resistência a longo prazo.
- **Resinas Acrílicas (Metacrilato):** São monocomponentes, de cura rápida, e podem ser aplicadas em baixas temperaturas e em substratos úmidos.
- **Resinas Híbridas (Viniléster):** Combinam as propriedades de outras resinas, oferecendo um bom equilíbrio entre resistência, tempo de cura e capacidade de aplicação em diferentes condições. Algumas, como o SOUDAFIX P300-SF, possuem base híbrida de poliéster sem estireno.

A distinção entre sistemas monocomponentes e bicomponentes é crucial. Os sistemas bicomponentes, como o MasterInject 190 e o Hardfix Epóxi Pro, exigem a mistura de dois componentes antes da aplicação, sendo a cura resultado da reação química entre eles. Já os monocomponentes, como a Tecbond Injeção WT, vêm prontos para uso, e sua cura geralmente depende de fatores externos como a umidade do ar.

A aplicabilidade da resina também varia conforme as condições do substrato. O MasterInject 190, por exemplo, é indicado para fissuras e trincas secas e úmidas, mas não saturadas, enquanto o tecbond injeção wt quartzolit é projetado

especificamente para injeção em estruturas de concreto úmidas e saturadas com água.

2.8.2 Propriedades comparativas

A variabilidade de desempenho entre as diferentes resinas exige uma análise detalhada. O doutorado de Sahade (2025) reforça essa necessidade ao demonstrar que, mesmo entre as resinas epóxi, o módulo de elasticidade e o desempenho variam. A Tabela 3, a seguir, sintetiza as propriedades de diferentes produtos analisados a partir de seus respectivos boletins técnicos, destacando a diversidade de características que podem influenciar a escolha do sistema mais adequado para uma aplicação.

Tabela 3 - Propriedades de resinas para injeção e ancoragem química

Produto	Base química	Viscosidade (cP)	Tempo de Manuseio	Temperatura de Aplicação (°C)	Resistência à Compressão (MPa)	Aplicação em Substrato Saturado
Hardfix Epóxi Pro	Epóxi	400	18 min (25°C)	10 a 40	70 a 80	Não
MasterInjet 190	Epóxi	250	18 min (25°C)	10 a 40	65	Não
HILTI HIT-RE 10	Epóxi	N/A	Variável	5 a 40	85	Não
Soudafix X P300-SF	Híbrida	N/A	5-15 min (20°C)	-5 a 35	80	Não
tecbond injeção wt	Epóxi	< 500	25 min (25°C)	10 a 35	60	Sim

*Nota: Os valores de resistência à compressão são uma média do dado nos boletins, com tempo de cura de 7 dias.

Fonte: Ficha técnica de produtos

A análise dessas propriedades mostra que a resina epóxi, apesar de sua alta resistência, não é a única solução para injeção e que a escolha do produto deve levar em conta as condições do canteiro de obras.

2.8.3 Desafios e falta de normatização

Apesar da eficácia demonstrada em aplicações estruturais, a utilização de resinas como o prego químico para a correção de som cavo em revestimentos argamassados apresenta desafios notáveis. Como destacado por Sahade (2025), as resinas são projetadas para aplicações estruturais onde a adesão ao concreto é o principal fator de desempenho. No entanto, no caso de rebocos, a adesão não ocorre apenas com o concreto, mas também com a argamassa e a interface argamassa-concreto. A falta de uma norma brasileira específica que regule o uso e o desempenho de resinas para essa aplicação em particular, dificulta a padronização e a garantia de qualidade dos serviços.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho adotou uma abordagem quantitativa em um estudo de caso comparativo para analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da ancoragem química com resina epóxi em fachadas que apresentam som cavo. Para tal, foram selecionados dois casos reais de intervenção em fachadas de edificações residenciais multifamiliares na cidade de Porto Alegre - RS, permitindo a coleta de dados para a análise comparativa de custos. A pesquisa se desenvolveu em três etapas principais: levantamento de dados, análise de produtividade e simulação econômica em cenários de sensibilidade.

3.1 Seleção e caracterização das obras

A seleção dos estudos de caso (Obra A e Obra B) foi estratégica e fundamental para garantir a validade e a comparabilidade dos dados quantitativos. Devido à natureza relativamente inovadora da técnica de ancoragem química no mercado de reabilitação de fachadas, o número de empresas que executam o serviço é limitado. O estudo foi desenvolvido com o auxílio de uma empresa especializada que, dentre os seus serviços, realiza o mapeamento e a correção de patologias em fachadas. Para a recuperação das fachadas ela realiza tanto o método convencional (remoção e substituição) quanto a técnica de ancoragem química (Prego Químico).

A escolha por duas obras atendidas pela mesma empresa de recuperação introduz um fator de controle de variáveis, garantindo uma Uniformidade de Custos Indiretos. Sendo a estrutura de custos de mão de obra (salários e encargos) e os custos fixos/operacionais, similares entre os dois casos. E também gerando uma padronização entre as metodologias de orçamento e a produtividade, visto que são baseadas nos padrões internos da mesma empresa.

Um dos critérios de exclusão mais importantes foi a restrição da patologia, pois o método da ancoragem química com resina epóxi (Prego Químico) é somente aplicável em substratos de concreto. Em ambos os casos, o descolamento do revestimento (som cavo) foi constatado exclusivamente em locais com substrato de concreto. Sendo assim, um ponto de equivalência muito importante para garantir que ambos os casos poderiam, em tese, ser executados por qualquer um dos dois métodos, resultando em uma comparação mais justa e fidedigna.

Embora as duas obras tivessem as condições técnicas para receber ambos os métodos, a decisão final pela intervenção foi escolhida por diferentes fatores:

- **Caso A (Prego Químico):** Intervenção em uma edificação ainda em período de construção. O método da ancoragem química foi escolhido visando a agilidade e a minimização de retrabalho, permitindo que a construtora cumprisse os prazos de entrega do empreendimento.
- **Caso B (Remoção e Substituição):** Intervenção em uma edificação já entregue e ocupada por moradores. A decisão pelo método tradicional de remoção e substituição foi tomada pelo corpo diretivo do condomínio, influenciada pela ausência de normatização específica da técnica do Prego Químico e pelo receio de aplicar um método inovador, apesar das desvantagens logísticas para os condôminos.

3.2 Coleta e estruturação dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos diretamente com a empresa responsável pela execução das intervenções nas Obras A e B. A empresa forneceu os valores totais gastos para cada um dos empreendimentos, e também seus respectivos custos para cada categoria, como material, mão de obra e custos fixos. Além dessas informações foi possível obter a duração total da obra, a área de intervenção e o dimensionamento da equipe em cada um dos casos.

Com a obtenção dos valores, eles foram divididos pela área de intervenção de cada obra para obter os custos unitários. Neutralizando a diferença de escala entre os dois empreendimentos. Dessa forma também foi possível obter o rendimento de cada equipe de trabalho.

É importante notar que, devido à estrutura de orçamento da empresa para o método tradicional, o Caso B (remoção) apresentou os custos de mão de obra e material de forma unificada. Diferentemente do Caso A (prego químico), onde os custos de material (resina) e M.O. puderam ser segregados. Essa limitação da fonte de dados foi considerada no desenvolvimento das simulações econômicas. Os dados obtidos dos casos reais serão utilizados como base para a simulação econômica, que será detalhada na análise dos resultados.

3.3 Simulação econômica e cenários de sensibilidade

A análise de viabilidade econômica não se limitou à comparação direta dos custos reais, mas avançou para a **modelagem de cenários de simulação**, baseados nas métricas unitárias e Produtividade obtidas dos casos de estudo. O objetivo desta etapa é testar a robustez econômica da ancoragem química em diferentes contextos operacionais. Como por exemplo projeções do tempo total de obra em função da variação do tamanho da equipe e da produtividade real observada.

3.4 Identificação de limites de uso e restrições técnicas

O estudo apresentou os limites de uso e as restrições técnicas do método de recuperação de fachada com resina epóxi. Explicando a aplicabilidade em diferentes substratos como alvenaria e concreto, e a capacidade do método em corrigir o som cavo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados do levantamento de dados das duas obras estudadas e estabelece as comparações diretas de produtividade e custo por m², conforme as métricas definidas na metodologia. A análise inicia-se com o detalhamento dos custos reais de cada empreendimento, evidenciando as diferenças na composição orçamentária dos métodos. Em seguida, a partir dessas métricas reais, são estruturados os cenários de simulação econômica que quantificarão a viabilidade do método de injeção química em relação à alternativa convencional de remoção e substituição do revestimento.

Adicionalmente, e para garantir a perenidade e a relevância temporal dos dados econômicos, todos os valores de custo apresentados neste trabalho foram indexados pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC). Desta forma, os custos unitários e totais referem-se à data-base de Julho de 2025, utilizando o índice de 1.191,327. Este procedimento permite que os valores possam ser reajustados por leitores futuros, mantendo o parâmetro necessário para análises comparativas ao longo do tempo.

4.1 Custos da obra A - prego químico

O custo total real da Obra A, que utilizou o método de injeção química para corrigir o som cavo em uma área de 2.306 m², foi de R\$ 833.762,54. Ela foi realizada em um período de 3,75 meses, com uma equipe de 6 funcionários (3 profissionais e 3 serventes), e 3 balancins. Os custos foram classificados em categorias, com seus respectivos valores por metro quadrado e custos mensais, como detalhado na tabela de custos reais da obra a (tabela 4).

Tabela 4 - Custo real obra A - prego químico

Categoria de Custo	Custo Total (R\$)	Custo por m² (R\$/m²)	Custo Mensal (R\$/mês)
Material (Injeção)	257.123,42	111,50	*
Mão de Obra	472.130,12	204,74	125.901,37
Locação de Equipamentos (Furadeira, Compressor, Brocas, Aplicador)	26.400,00	11,45	7.040,00
Balancins	19.984,00	8,67	5.329,07
Custo Fixo	58.125,00	25,21	15.500,00
Total Geral	833.762,54	361,56	153.770,43

*Nota: Valores desembolsados no início da obra, não sendo somados nos custos mensais.

Fonte: Autor, 2025

Conforme indicado pela tabela, o empreendimento teve um desembolso inicial de R\$ 257.123,42, que engloba os custos de materiais de injeção. O custo fixo mensal foi de R\$ 15.500,00 que engloba os custos indiretos de suporte ao projeto, sendo composto pelo salário do mestre de obras e pelos custos mensais de manutenção e operação do escritório da empresa. Este valor resultou em um custo total de R\$ 58.125,00 para a Obra A. O custo mensal do projeto, considerando os gastos recorrentes ao longo dos 3,75 meses de duração, totalizou R\$ 153.770,43. Além desses dados, pode-se chegar no valor da produtividade mensal do empreendimento, que nesse caso foi de 614,93 m² por mês.

4.2 Custos da obra B - remoção

O custo total real da Obra B, que utilizou o método de remoção do revestimento em uma área de 6.406 m², foi de R\$ 2.916.310,00, com uma duração de 18 meses e uma equipe de trabalho composta por 12 funcionários. Os custos foram classificados como detalhado na tabela 5.

Tabela 5 - Custo real obra B - remoção

Categoria de Custo	Custo Total (R\$)	Custo por m² (R\$/m²)	Custo Mensal (R\$/mês)
Material e Mão de obra	2.466.310,00	385,00	137.017,22
Caçambas de Entulho	36.000,00	5,62	2.000,00
Balancins	135.000,00	21,07	7.500,00
Custo Fixo	279.000,00	43,55	15.500,00
Total Geral	2.916.310,00	455,25	162.017,22

Fonte: Autor, 2025

A análise dos custos da Obra B (método de remoção) revela uma diferença na estrutura de orçamento em comparação com a Obra A. No método de injeção química, foi possível obter o detalhamento exato dos gastos com material e mão de obra, enquanto no método de remoção, a empresa fornecedora apresentou um valor unificado que engloba tanto o material quanto a mão de obra. Os valores de custo fixo mensal foram os mesmos da obra A, que englobaram os custos indiretos de suporte ao projeto, sendo composto pelo salário do mestre de obras e pelos custos mensais de manutenção e operação do escritório da empresa.

Nesse cenário a obra empregou 5 balancins, um reflexo devido a maior quantidade de funcionários (12 funcionários) e da maior área de fachada. Embora não houvesse o desembolso inicial, os custos mensais foram maiores, totalizando R\$ 162.017,22. Ao comparar a produtividade, a Obra B apresentou uma produtividade de 355,89 m² por mês.

4.3 Métricas de comparação

Para a realização das simulações e da análise de viabilidade, as métricas de comparação foram estabelecidas e extraídas dos dados reais dos empreendimentos. A Tabela 6 consolida os principais indicadores, permitindo uma análise imediata das métricas reais de custo por e produtividade mensal. Estes valores darão auxílio para os cálculos dos cenários de simulação subsequentes.

Tabela 6 - Métricas de comparação

Obra	A	B
Método	Prego Químico	Remoção
Área (m ²)	2306	6406
Equipe (funcionários)	6	12
Custo (R\$/m ²)	361,56	455,25
Produtividade da equipe (m ² /mês)	614,93	355,89

Fonte: Autor, 2025

Conforme a Tabela 6, o custo por metro quadrado da Obra A (R\$ 361,56) foi 21% inferior ao custo do método de remoção na Obra B (R\$ 455,25). No que tange à produtividade, mesmo com uma equipe de apenas 6 funcionários, a Obra A apresentou um rendimento mensal de 614,93 m², um valor 72,7% superior à média de 355,89 m² por mês alcançada pela Obra B, que utilizou 12 funcionários.

4.4 Simulações

Para a quantificação da viabilidade econômica, foram gerados diferentes cenários de simulação utilizando as métricas de custo por m² e produtividade mensal da equipe (tabela 6). A análise principal consistiu em simular o custo e o cronograma da Obra A caso tivesse sido executada com o método de remoção, fixando se o valor da produtividade mensal obtida para se chegar no tempo que levaria para a obra ser executada, e com isso refazer os cálculos dos custos de cada categoria. Uma mudança de um cronograma mais longo, por exemplo, impacta diretamente despesas de locação mensais e custos fixos. Embora a simulação inversa, de estimar a Obra B com prego químico, não seja apresentada em detalhes, o resultado chegaria à mesma proporcionalidade de economia e rapidez, pois as premissas de cálculo são as mesmas, apenas aplicadas a uma escala diferente.

4.4.1 Simulação I: obra A com remoção

Esta simulação estabelece o cenário hipotético da Obra A utilizando o método de remoção. Para este cenário base, foram aplicados os parâmetros de produtividade e custo da Obra B em suas métricas originais.

O cálculo simulado foi realizado com base na produtividade mensal da Obra B que foi de 355,89 m²/mês. Para cobrir a área de 2.306 m² da Obra A com essa produtividade, seriam necessários 6,48 meses de execução. A Tabela de Estimativa (tabela 7) detalha o custo simulado, resultando em um custo total estimado de R\$ 1.050.339,66 para a Obra A com o método de remoção.

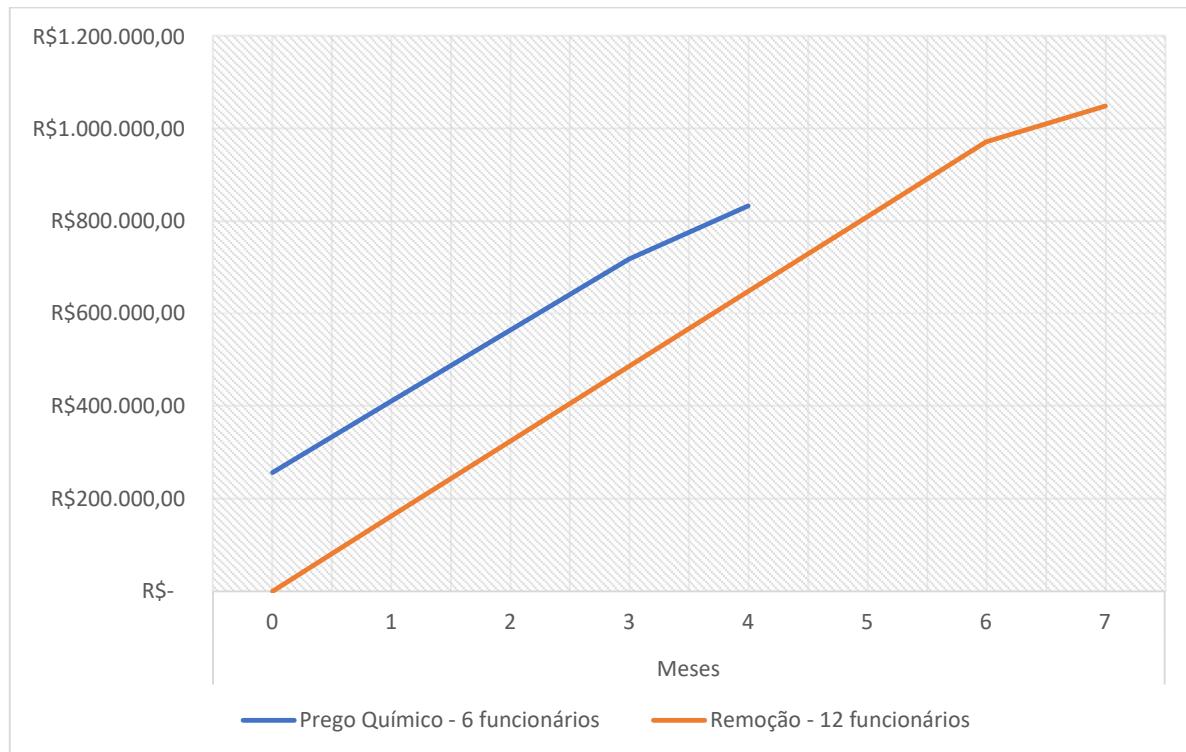
Tabela 7 - Estimativa de custos - simulação de remoção

	Total (R\$)	Custo/m ² (R\$)	Custo mensal (R\$)
Custo Fixo	100.433,03	43,55	15.500,00
Material e Mão de Obra	887.810,00	385,00	137.017,22
Balancins	48.596,63	21,07	7.500,00
Caçambas de entulho	13.500,00	5,85	2.083,48
Total geral	1.050.339,66	455,48	162.100,70

Fonte: Autor, 2025

Ao comparar este cenário simulado com os resultados da Obra A, a vantagem do método de ancoragem química se torna evidente. O custo do Prego Químico que foi de R\$ 833.762,54 representa 79% do custo da simulação com remoção, que chegou em R\$ 1.050.339,66, resultando em uma economia de 21% no orçamento total. No que tange ao tempo de obra, o período de execução de 3,75 meses representa 58% do tempo simulado que chega a 6,48 meses, o que corresponde a uma redução de 42% no prazo total da obra. A figura 15 demonstra os custos em decorrência do tempo nos dois cenários.

Figura 14 - Evolução acumulada de custos - prego químico vs. simulação de remoção da obra A

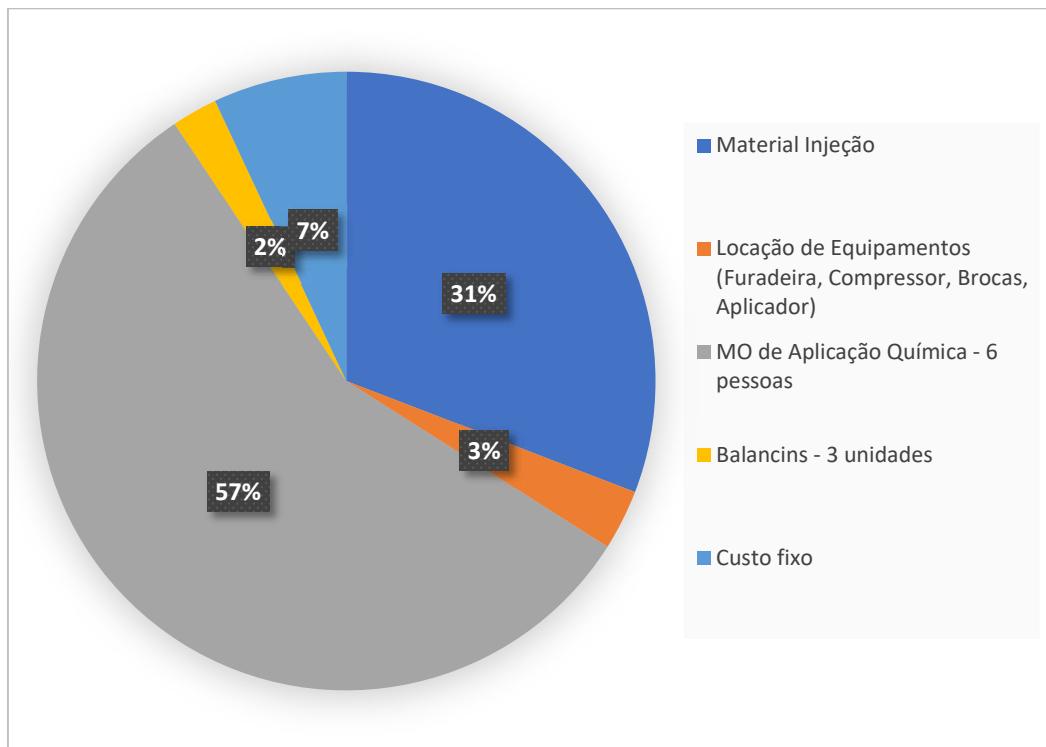


Fonte: Autor, 2025

O gráfico de evolução de custos ilustra esta diferença, mas a produtividade individual reforça o ganho de eficiência do método químico. A produtividade mensal por funcionário na Obra A foi de 102,49 m², enquanto na simulação do método de remoção, o rendimento é de apenas 29,66 m² por funcionário. Isso significa que a produtividade individual aumenta em 245% ao se adotar o método de injeção química.

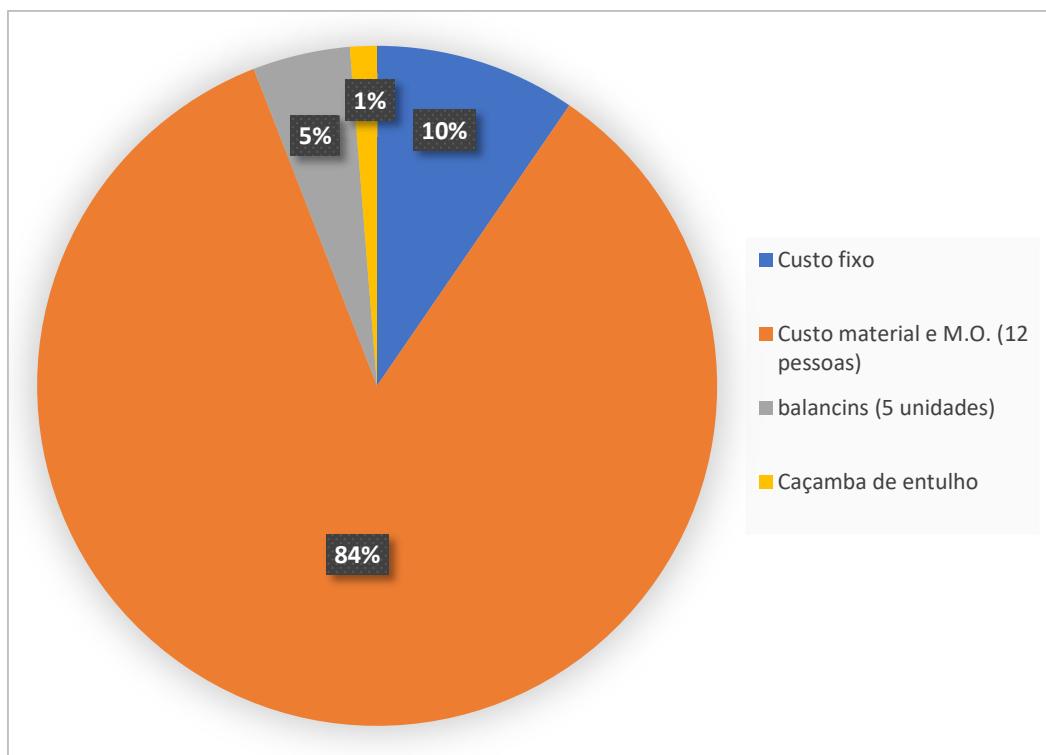
As Figuras 16 e 17 representam a proporção da distribuição de custos nos dois cenários. É importante notar a diferença na apresentação dos dados: no cenário do Prego Químico, os custos foram separados em diversos itens (material, mão de obra, locações etc.), permitindo uma análise item a item. Por outro lado, no cenário de Remoção, o custo de material e mão de obra está unificado em um único bloco. Isso se deve ao fato de que a empresa fornecedora não possuía os dados estratificados, mas sim um valor de referência de R\$ 385,00 por m² para este item.

Figura 15 - Distribuição dos custos da obra A (prego químico)



Fonte: Autor, 2025

Figura 16 - Distribuição dos custos simulados da obra A (método de remoção)



Fonte: Autor, 2025

A partir da proporção dos custos apresentados, chega-se que, na situação do Prego Químico a soma do material de injeção e da mão de obra totaliza R\$ 729.253,54, o que representa 87% do valor total da obra. Essa proporção é similar ao método de remoção, onde o custo unificado de material e M.O. totaliza 84%.

O tempo de execução da obra A também é um fator limitante para a entrega. Caso o método de Remoção tivesse sido adotado, o prazo estipulado para entrega do empreendimento não seria cumprido. Esse atraso geraria uma multa com custo financeiro estimado de R\$ 1.932.000,00. Ao adicionar esse valor de penalidade ao custo simulado do método de Remoção, o custo total do cenário atingiria R\$ 2.982.339,66. Nesse cenário, o valor da multa por atraso representa 64,78% do custo total. Em comparação direta, o custo total do método de Remoção com a penalidade por tempo é 257,70% superior ao custo real da Obra A com o Prego Químico que foi de R\$ 833.762,54.

4.4.2 Simulação II: variável de equipe (6 vs 6 funcionários)

Esta simulação foi desenvolvida para estabelecer um cenário de equivalência de mão de obra e isolar o impacto da produtividade do método. O cenário hipotético da Obra A com o método de remoção foi reajustado para uma equipe de 6 funcionários, igualando o número de trabalhadores utilizados na Obra A com Prego Químico. Consequentemente, a produtividade mensal foi ajustada pela metade, para 177,94 m²/mês, e uma redução na quantidade de balancins para 3 unidades.

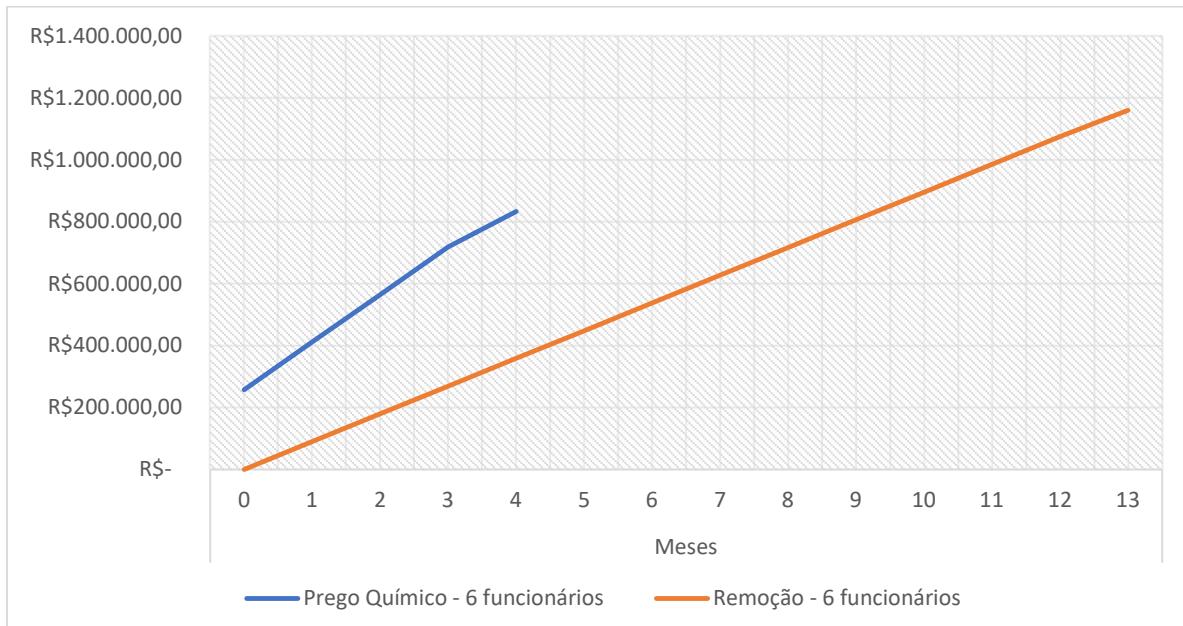
A redução na produtividade resultou em uma extensão do tempo de obra para 12,96 meses. Esse aumento no prazo implicou uma alteração dos custos atrelados ao tempo, como Custo Fixo e Balancins. O custo total estimado para este cenário atingiu R\$ 1.160.492,02, com um Custo por m² de R\$ 503,25. A tabela 8 detalha o custo simulado desse cenário. Os custos recalculados mostram que o Custo Fixo atingiu R\$ 200.866,06, e os Balancins totalizaram R\$ 58.315,95, refletindo a duração estendida da obra.

Tabela 8 - Estimativa de custos - simulação de remoção (6 funcionários)

	Total (R\$)	Custo/m² (R\$)	Custo mensal (R\$)
Custo Fixo	200.866,06	87,11	15.500,00
Material e Mão de Obra	887.810,00	385,00	68.508,61
Balancins	58.315,95	25,29	4.500,00
Caçambas de entulho	13.500,00	5,85	1.041,74
Total geral	1.160.492,02	503,25	89.550,35

Fonte: Autor, 2025

Ao comparar este cenário simulado com a execução real do Prego Químico, a diferença nos indicadores é a seguinte: O custo do Prego Químico representa 72% do valor do método de remoção estimado de R\$ 1.160.492,02. O prazo de 3,75 meses para o Prego Químico representa 29% do tempo simulado de 12,96 para a remoção.

Figura 17 - Evolução acumulada de custos - variável de equipe (6 vs 6 funcionários)

Fonte: Autor, 2025

O aumento do prazo para 12,96 meses neste cenário implicaria um acréscimo no valor da multa por atraso, que seria superior à penalidade de R\$ 1.932.000,00 calculada no Cenário I. O gráfico de evolução acumulada de custos (figura 18) ilustra a curva de desembolso mais lenta, mas de maior duração.

4.4.3 Simulação III: variável de equipe (12 vs 12 funcionários)

Este cenário propõe o oposto a simulação I, escalando a equipe de trabalho para 12 funcionários nas duas obras. O objetivo é comparar diretamente a execução do método químico em escala maior de funcionários com o método de remoção no mesmo porte de equipe.

Ao dobrar o número de funcionários, a produtividade mensal foi ajustada para 1.229,87 m²/mês. Com isso, o tempo de execução da obra seria reduzido para 1,88 meses. O custo total estimado para este cenário é de R\$ 820.084,04, com um Custo por m² de R\$ 355,63. A redução no prazo impactou o custo fixo, reduzindo-o para R\$ 29.062,50.

Tabela 9 - Estimativa de custos - simulação de prego químico (12 funcionários)

Categoria de Custo	Custo Total (R\$)	Custo por m ² (R\$/m ²)	Custo Mensal (R\$/mês)
Material (Injeção)	257.123,42	111,50	*
Mão de Obra	472.130,12	204,74	251.802,73
Locação de Equipamentos (Furadeira, Compressor, Brocas, Aplicador)	21.800,00	9,45	11.626,67
Balancins	19.984,00	8,67	10.658,13
Custo Fixo	29.062,50	12,60	15.500,00
Total Geral	800.100,04	346,96	289.587,53

*Nota: Valores desembolsados no início da obra, não sendo somados nos custos mensais.

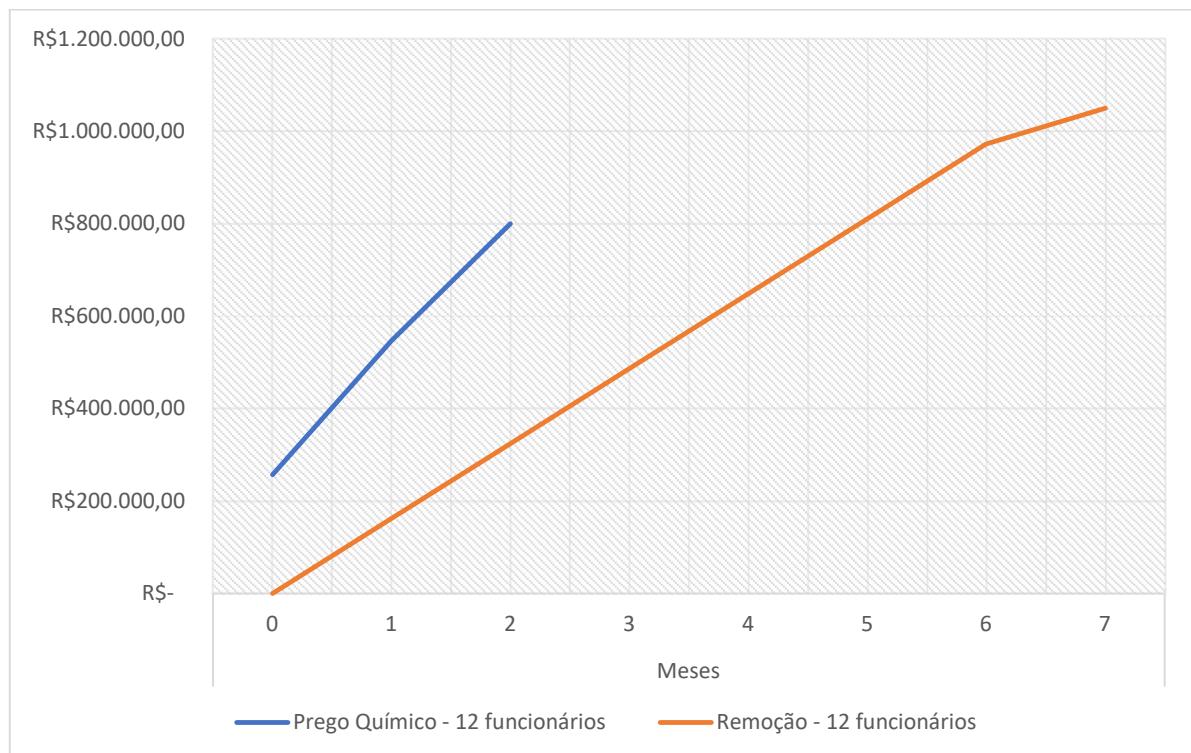
Fonte: Autor, 2025

Ao confrontar a tabela de estimativa de custos da simulação do prego químico (tabela 9) com a tabela 7 apresentada na simulação 1, chega-se a uma proporção similar a apresentada na simulação 2, visto que estão sendo comparados cenários com uma igualdade de funcionários nos dois métodos.

O custo do método do prego químico de R\$ 820.084,04 representa 78% do valor do método de remoção, resultando em uma economia de 22% no orçamento total. O prazo de 1,88 meses para o Prego Químico representa apenas 29% do tempo simulado de 6,48 meses para a remoção, o que corresponde a uma redução de 71% no prazo total.

Neste cenário de prego químico com 12 funcionários, o custo total de R\$ 820.084,04 não está sujeito à penalidade por atraso. Ao contrário do método da remoção onde se enquadraria na mesma situação apresentada na simulação 1, havendo a aplicação da multa por atraso de entrega da obra. Totalizando um custo de R\$ 2.982.339,66 caso fosse escolhido o método da remoção.

Figura 18 - Evolução acumulada de custos - variável de equipe (12 vs 12 funcionários)



Fonte: Autor, 2025

É importante notar que o tempo reduzido de obra se reflete em um custo mensal de R\$ \$300.245,66. Apesar dessa alteração no valor mensal, o custo inicial para aquisição da resina epóxi se manteve constante em relação aos outros cenários, pois a quantidade de material necessária é fixa, independentemente do tempo de execução. O gráfico de evolução de custos (figura 19) ilustra a situação apresentada.

4.5 Comparação do custo fixo

A análise entre as simulações demonstra que o método de injeção química consegue reduzir custos atrelados à duração da obra, como o Custo Fixo. A Tabela 10 resume os custos fixos totais calculados nos diferentes cenários de simulação

Tabela 10 - Resumo de custos fixos

Simulação	Prego Químico		Remoção	
	Número de funcionários	Custo (R\$)	Número de funcionários	Custo (R\$)
I	6	58.125,00	12	100.433,03
II	6	58.125,00	6	200.866,06
III	12	29.062,50	12	100.433,03

Fonte: Autor, 2025

No cenário inicial, onde as equipes foram mantidas como nas obras reais, o custo fixo total do método do prego químico, que foi de R\$ 58.125,00, representa 58% do custo da simulação com remoção que totaliza R\$ 100.433,03.

Nos cenários de equivalência de equipe, a diferença entre os valores aumenta. Com o valor do custo fixo do prego químico representando 29% do custo fixo do método de remoção.

4.6 Diferenças operacionais

Além da análise econômica, os dois métodos de recuperação de fachada apresentam diferenças que impactam o ambiente de trabalho e o entorno do empreendimento.

O método de remoção e substituição do revestimento exige a utilização de equipamentos de alto impacto, como rompedores, para a retirada do reboco. Esta etapa gera volumes consideráveis de entulho, ruído e emissão de poeira no local de

trabalho. O entulho gerado na Obra B, por exemplo, implicou um custo de R\$ 36.000,00 apenas para a locação de caçambas, um custo logístico que deve ser considerado. Adicionalmente, o manuseio e o descarte do entulho aumentam a complexidade logística do canteiro.

Em contraste, o método de injeção química é caracterizado como um procedimento limpo. Ele exige apenas a perfuração e a aplicação da resina, eliminando a geração de entulho e, consequentemente, o custo e a necessidade de descarte. A redução de ruído e poeira no local da obra é um fator relevante, especialmente em edifícios que já estão habitados, minimizando o impacto nos moradores. Do ponto de vista da mão de obra, o serviço de remoção com a utilização de rompedor e transporte de material, é fisicamente mais desgastante em comparação com a aplicação da injeção, o que pode influenciar a rotatividade de funcionários e a gestão da equipe no método convencional.

4.7 Limitação e restrições técnicas

A análise de viabilidade dos métodos de reparo exige a identificação das restrições técnicas inerentes ao sistema de injeção química. Uma das principais limitações deste método é a necessidade do substrato de concreto. No caso das obras analisadas, Obra A e Obra B, este requisito foi atendido em ambas. Mesmo que o método do prego químico não tenha sido utilizado na obra B, possibilitou a comparação da viabilidade entre os métodos.

A eficácia do método está diretamente ligada às propriedades da resina epóxi utilizada. O trabalho de Sahade (2025) demonstrou uma grande variabilidade nas propriedades mecânicas e térmicas entre diferentes resinas comerciais, indicando que para a correta implementação do método, deve haver uma prévia análise das propriedades delas para desempenho esperado.

O sucesso da injeção não depende apenas da resina em si, mas também da correta aplicação e preparação do local. Conforme destacado no trabalho de Correa (2021), a presença de sujeira ou pó compromete a formação do "prego" químico. Sendo assim, a limpeza inadequada dos furos com ar comprimido podendo comprometer a aderência e a eficácia do tratamento.

A utilização da ancoragem química também está restrita às condições do revestimento. A técnica demonstrou ser ineficaz quando a argamassa de emboço apresenta baixa resistência superficial ou esfarelamento. Adicionalmente, a presença

de fissuras que permitam a percolação da resina para o meio, compromete a solidificação da argamassa à base. Assim, a aplicação exige um estudo detalhado da manifestação patológica e da qualidade dos componentes do sistema, como reforça a análise de Sahade (2025).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou avaliar a viabilidade técnica e econômica da ancoragem química com resina epóxi como alternativa à substituição do revestimento de argamassa em fachadas com som cavo. Por meio de um estudo de caso comparativo e análises quantitativas, foram obtidos resultados que comprovam a eficácia do método químico em todas as esferas de avaliação.

A comparação dos cronogramas de execução demonstra uma redução de 42% no prazo total de obra para o método do Prego Químico, em relação ao tempo simulado para a remoção. Em termos de eficiência, a produtividade individual por funcionário no método de injeção química foi 245% superior à produtividade do método convencional. Esses ganhos de produtividade e rapidez reforçam a superioridade técnica da ancoragem química.

A análise econômica confirmou a viabilidade financeira do Prego Químico. O custo por metro quadrado do método de injeção química resultou em uma economia de 21% no orçamento total, chegando a 28% de economia em um cenário de equivalência de equipe. A rapidez de execução é um fator que gera economias significativas em custos atrelados à duração da obra, como o Custo Fixo, que no Prego Químico representou apenas 58% do custo fixo da simulação com remoção. Contudo, é importante ressaltar que o método químico apresenta um alto desembolso inicial para materiais, uma característica ausente na alternativa tradicional.

Em relação aos componentes de custo, a soma dos materiais de injeção e da mão de obra no Prego Químico totalizou 87% do valor total da obra. Essa proporção de custo unitário principal é similar ao método de remoção, onde o custo unificado de material e mão de obra totalizou 84%. Contudo ao analisar-se apenas as proporções, mascara-se uma diferença significativa de valor absoluto. Pois mesmo o método do prego químico apresentando uma proporção maior do custo total, ele resulta em uma economia de cerca de 18%, no valor dos custos de material e mão de obra.

Além das vantagens de prazo e custo, o método do Prego Químico apresenta benefícios operacionais e logísticos superiores ao método convencional. Enquanto a remoção exige o uso de equipamentos de alto impacto (rompedores), gerando ruído, poeira e volumes consideráveis de entulho, o método de injeção química é um procedimento limpo. Essa diferença elimina o custo logístico com locação de caçambas e reduz o impacto em edifícios habitados.

Os resultados desta pesquisa fornecem dados para a tomada de decisão em projetos de reabilitação. Para profissionais na área de recuperação de fachadas, o método de injeção química se estabelece como uma alternativa muito atrativa em edifícios habitados, pois a ausência de entulho, ruído e poeira elimina os transtornos logísticos e operacionais, sendo uma opção mais eficiente, mais limpa e com maior valor agregado para o usuário final.

O estudo também identificou as limitações técnicas cruciais para a aplicação. A eficácia da ancoragem química demonstrou ser comprometida quando a argamassa apresenta baixa resistência, e quando a resina apresenta baixa aderência no substrato de concreto. A presença de fissuras que permitem a percolação da resina também compromete o resultado. A técnica está restrita à aplicação em fachadas com substrato de concreto, e seu sucesso depende da correta preparação do local.

Os resultados quantitativos validam a viabilidade técnica, econômica e ambiental da ancoragem química com resina epóxi para a correção de som cavo em fachadas. O método se estabelece como uma solução mais rápida, mais eficiente e ecologicamente superior ao método tradicional de remoção e substituição.

Sugestões para futuras pesquisas/aplicações

- Estudo para a quantificação da emissão de CO₂ associada à produção e aplicação da resina epóxi, permitindo a comparação direta do impacto ambiental com o método convencional.
- Análise de viabilidade para a redução do custo da resina epóxi, item de impacto significativo no custo total do método de ancoragem química.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, N. J. D. Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento. 2002. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Brasília, Brasília.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D1763-00 (2021): Standard Specification for Epoxy Resins. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.

ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília - sistematização da incidência de casos. 2010. Dissertação (Mestrado em Estrutura e Construção Civil) - Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Manual de Revestimentos de Argamassa. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT.NBR 5674. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2024.

_____.NBR 7200. Execução de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1998.

_____.NBR 13528. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

_____.NBR 13529. Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____.NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____.NBR 13755. Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____.NBR 14037. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2024.

_____.NBR 15575. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024.

_____.NBR 15575. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

BAÍA, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. Projeto e execução de revestimento de argamassa. 4^a edição, O nome da rosa editora Ltda - São Paulo - SP, 2008.

BARROS, M. M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais. EPSUSP/ PCC. São Paulo, 1997.

BAUER, R. J. F. Materiais de construção 2. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1992. 349 p.

BAUER, R.J.F. Patologia em revestimento de argamassa inorgânica. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997. Salvador, 1997.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 2000.

CARASEK, H. Argamassas. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo, Ibracon, 2010.

CEOTTO, L. H.; BONDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. Revestimentos de argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação. Porto Alegre: ANTAC, 2005. Recomendações Técnicas Habitare, v. 1.

CINCOTTO, M.A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Ed. Pini. 1988.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO DE PORTO ALEGRE. Projeto de racionalização das estruturas de concreto e revestimentos de argamassa. In: COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Porto Alegre. Cd-rom... Porto Alegre, 2005.

CORREA, G. A.; DOS SANTOS, M. D. F.; TATIM FILHO, Y. D. S. Utilização da injeção de resina epóxi como método de correção do som cavo em fachadas com revestimento cerâmico. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5. 2021.

HELENE, P. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. Editora Reabilitar, São Paulo, 2003

MANUAL DE REVESTIMENTO DE FACHADA. Salvador: Comunidade da Construção - Sistema à Base de Cimento, v. 1, 2006.

PETRUCCI, H. M. C. A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, Durabilidade E Vida Útil Das Edificações: Abordagem Geral. Revista Técnico-Científica CREA-PR, v. 1, 2013.

RAABE, Ana Luiza; GROFF, Cristine. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS EM REVESTIMENTOS DE FACHADA: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2014. 7 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Maceió - Al, 2014. Cap. 1.

SABBATINI, F. H. Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas. In: SIMPATCON - SIMPOSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO, 13., 1990, Campinas. Anais ... Campinas, 1990.

SAHADE, Renato F.; DAMMANN, Edgar. Reabilitação de Fachadas Por Injeção de Resinas Epóxi: Recomendações Para Ensaios de Desempenho – Estudo De Caso. XV SFTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais...Porto Alegre, 2025.

SANTOS, M. D. F. DOS; CORREA, G. A. Reabilitação De Sistema De Revestimento Argamassado De Fachadas Com Som Cavo. XIV SFTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais...João Pessoa, 2023.

SEGAT, Gustavo Tramontina. Manifestações Patológicas Observadas em Revestimento de Argamassa: Estudo de Caso em Conjunto Habitacional Popular na Cidade de Caxias do Sul (RS). 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, S. N. Caracterização das Manifestações Patológicas Presentes em Fachadas de Edificações Multipavimentados da cidade de Ijuí/RS. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. UNIJUI. Ijuí, 2006.

SITTER, W. R. Costs of service life optimization “The Law of Fives”. In: 1983, Copenhagen, Denmark. CEB-RILEM Workshop on Durability of Concrete Structures. Copenhagen, Denmark: Comité Euro International du Béton, 1983.

SOARES, Carlos Henrique Araújo. Análise de Desempenho de Revestimentos Externos da Fachada: Cerâmico e Argamassado com o Intuito de Avaliar a Manutenção Corretiva Adequada a Ser Utilizada no Estudo de Caso em Águas Claras - DF. 2017. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.

SOTANA, A.; BAMBERG, A.E.; COSTA, T.B. Patologia das estruturas, pisos de concreto dos revestimentos. Maio, 2012.

SOUZA, M.F. Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. 2008. 64f. Monografia (Especialista em construção civil) Minas Gerais, 2008, Universidade Federal de Minas Gerais.

SOUZA, R de; TAMAKI, M. R. Especificação e recebimento de materiais de construção. São Paulo: O Nome da Rosa, 2001.

SOUZA, R. H. F.; ALMEIDA, I. R.; VERÇOSA, D. K. Fachadas prediais: considerações sobre o projeto, os materiais, a execução, a utilização, a manutenção e a deterioração. Revista Internacional Construlink, v. 3, p. 1-8, 2005.

SOUZA V. C. M.; RIPPER T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto: Editora Pini, São Paulo/SP, 1998.

TAUFER, R. Avaliação da Realização da Manutenção Predial nos Primeiros Anos de Uso em Diferentes Edificações. Trabalho De Conclusão De Curso - Universidade De Caxias Do Sul, Bento Gonçalves, 2020.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 2002.

TOSCANO, A. B. Procedimiento simplificado para el control de calidad y produccion de morteros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Anais ... Goiânia, 1995.

YAZIGI, Walid. A técnica de edificar. 14 ed. São Paulo: PINI: Sinduscon, 2014.